GUET / 80 / 05

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

TERMODINÂMICA GERAL

SUBSTÂNCIAS PURAS

I - SISTEMAS BIFÁSICOS
II - SISTEMAS MONOFÁSICOS
(Problemas)

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

II - SISTEMAS MONOFÁSICOS

PROBLEMA 12 - A massa de um gás ideal em um determinado recipiente é de 0.0288 Kg_m. A pressão é de 0.5 atm, a temperatura de 15.6 ^oC e o volume do gás vale 0.085 m^3. Determinar o peso molecular do gás.

RESOLUÇÃO

$$P\,V = M\,R\,T \qquad\qquad R = \frac{P \times V}{M \times T}$$

$$R = \frac{0.5 \times 9.8 \times 10^4 \times 0.085}{10^3 \times 0.0288 \times (15.6 - 273)} = 0.5019 \text{ KJ/Kg } ^oK$$

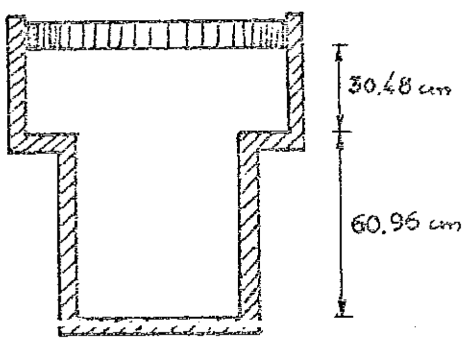
$$\bar{R} = 8.314 \text{ KJ/Kmol } ^oK$$

$$\bar{R} = R \times M \qquad\qquad M = \frac{\bar{R}}{R} = \frac{8.314}{0.5019} = 16.6 \text{ Kg/Kmol}$$

Peso molecular = 16.6 u.m.a.

o O o

PROBLEMA 13 - Um cilindro em degrau provido de um êmbolo sem atrito, contem ar. A secção transversal de maior área tem 0.0093 m^2, enquanto que a menor tem 0.00697 m^2. Com o êmbolo na posição indicada na figura, o ar está a 3.52 Kgf/cm^2 e 426 ^oC.



O ar é então arrefecido devido à transferência de calor para a vizinhança.

a) Qual a temperatura do ar quando o êmbolo atinge o degrau ?

b) Se o ar continuar a ser arrefecido até 21.1 ^oC, qual será a pressão no estado final?

RESOLUÇÃO

a)

Em virtude de, como se disse no enunciado, o êmbolo deslizar sem atrito à medida que o sistema vai perdendo calor o embolo vai descendo mantendo a pressão constante.

$$P_1V_1 = M\,R\,T_1 \qquad \text{e} \qquad P_2V_2 = M\,R\,T_2$$

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= \frac{M\,R\,T_1}{V_1} \\ P_2 &= \frac{M\,R\,T_2}{V_2} \\ P_1 &= P_2 \end{aligned}\right\} \Longrightarrow \frac{\cancel{M}\,\cancel{R}\,T_1}{V_1} = \frac{\cancel{M}\,\cancel{R}\,T_2}{V_2} \quad \therefore$$

$$\frac{T_1}{V_1} = \frac{T_2}{V_2} \qquad \therefore \qquad T_2 = \frac{T_1\,V_2}{V_1}$$

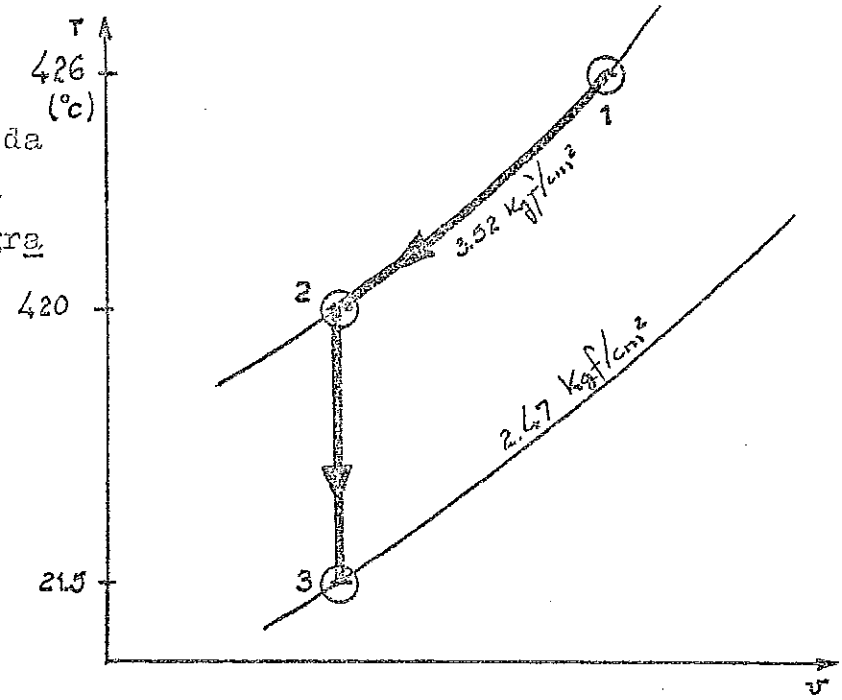
$$T_2 = \frac{(426 + 273.15) \times 0.00697 \times 0.6096}{(0.00697 \times 0.6096) + (0.0093 \times 0.3048)} = 419.58\ ^{o}K$$

b) A partir do momento em que o êmbolo assenta a evolução passa a ser a volume constante e assim:

$$V_2 = V_3 \qquad \Longrightarrow \qquad \frac{\cancel{M}\,\cancel{R}\,T_2}{P_2} = \frac{\cancel{M}\,\cancel{R}\,T_3}{P_3}$$

$$P_3 = \frac{T_3}{T_2} \times P_2 = \frac{(21.5 + 273.15)}{419.58} \times 3.52 = 2.47\ \ Kgf/cm^2$$

A evolução sofrida pelo sistema é a mostrada no diagrama T-v :



——— o O o ———

PROBLEMA 14 - Uma bomba de vácuo é usada para fazer vácuo num banho de hélio líquido. O fluxo de entrada na bomba é de 80 m^3/min. A pressão de admissão da bomba é de 0.1 torr. e a temperatura é de -23 °C. Qual a massa de hélio que entra na bomba por minuto?

RESOLUÇÃO

1 torr. = 1 mm Hg $\qquad P = \rho \times g \times h = \frac{13.6 \times 9.81 \times 0.001}{1000} = 0.133 \times 10^{-3}$ KN/m^2

$R_{He} = 2.079$ KJ/Kg °K

$P \times \dot{V} = \dot{M} \times R \times T \qquad \dot{M} = \frac{P \times \dot{V}}{R \times T}$

$$M = \frac{0.133 \times 10^{-3} \times 80}{2.079 \times (273.15 - 23)} = 0.2 \times 10^{-4} \text{ Kg/min}$$

I - SISTEMAS BIFÁSICOS

PROBLEMA 1 - Calcular os volumes específicos de:

a) H_2O - 37 Kgf/cm^2 e 78% de título;

b) H_2O - 245 ^oC e 85% de título;

c) R-12 - 1.5 atm e 19 ^oC.

RESOLUÇÃO

a) Das tabelas termodinâmicas:

$$\left.\begin{array}{l} H_2O \\ 37\ Kgf/cm^2 \end{array}\right| \Rightarrow \left| \begin{array}{l} v' = 1.2391\times10^{-3}\ m^3/Kg \\ v'' = 5.499\times10^{-2}\ m^3/Kg \end{array}\right.$$

Da definição de título podemos afirmar que:

$$v = (1-x)v' + xv'' \qquad \text{e como} \qquad x = 0.78$$

$$v = (1-0.78)\times1.2391\times10^{-3} + 0.78\times5.499\times10^{-2}$$

$$v = 4.3165\times10^{-2}\ m^3/Kg$$

b) Da mesma forma que na alínea anterior:

$$\left.\begin{array}{l} H_2O \\ 245\ ^oC \end{array}\right| \Rightarrow \left| \begin{array}{l} v' = 1.2399\times10^{-3}\ m^3/Kg \\ v'' = 5.462\times10^{-2}\ m^3/Kg \end{array}\right.$$

$$v = (1-0.85)\times1.2399\times10^{-3} + 0.85\times5.462\times10^{-2}$$

$$v = 4.661\times10^{-2}\ m^3/Kg$$

c) Da consulta das tabelas de vapor saturado do R-12 verifica-se que a pressão de saturação para 19 ^oC é de 5.6172 atm o que implica que o ponto em causa se encontra na fase de vapor sobreaquecido. Assim e da respectiva tabela obtemos os seguintes valores:

$$\left.\begin{array}{l} \text{R-12} \\ 1.5 \text{ atm} \end{array}\right| \Rightarrow \left|\begin{array}{ll} \theta = 15\ ^{o}C & v = 0.1312\ m^3/Kg \\ \theta = 20\ ^{o}C & v = 0.1337\ m^3/Kg \end{array}\right.$$

Como o valor para 19 ^{o}C não está tablado há necessidade de recorrer à interpolação entre os dois valores correspondentes mais próximos, ou seja, imediatamente acima e abaixo dos 19 ^{o}C.

$$5 \text{ ——— } 0.0025$$

$$4 \text{ ——— } \quad X = \frac{4\times 0.0025}{5} = 0.002 \quad \text{e finalmente}$$

$$\theta = 19\ ^{o}C \qquad v = 0.1312 + 0.002 = 0.1332\ m^3/Kg$$

——— o O o ———

PROBLEMA 2 – Determinar o título dos seguintes estados:

a) H_2O a 676.659 N/m^2 e 0.01425 m^3/Kg

b) R-12 a 75 ^{o}C e 0.0296 m^3/Kg

RESOLUÇÃO

Dado que em ambas as alíneas se pede o título é evidente que os valores a encontrar se situam no patamar de saturação que é a zona onde o título tem significado.

a)
$$\left.\begin{array}{l} H_2O \\ 676.659\ N/cm^2 \end{array}\right| \Rightarrow \left|\begin{array}{l} v' = 1.3434\times 10^{-3}\ m^3/Kg \\ v'' = 2.843\times 10^{-2}\ m^3/Kg \end{array}\right.$$

Sabendo-se que:

$$x = \frac{v - v'}{v'' - v'} = \frac{1.425\times 10^{-2} - 1.3434\times 10^{-3}}{2.843\times 10^{-2} - 1.3434\times 10^{-3}} \simeq 0.476$$

b)
$$\left.\begin{array}{l} \text{R-12} \\ 75\ ^{o}C \end{array}\right| \Rightarrow \left|\begin{array}{l} v' = 9.149\times 10^{-4}\ m^3/Kg \\ v'' = 3.14\times 10^{-3}\ m^3/Kg \end{array}\right.$$

-/-

$$x = \frac{v - v'}{v'' - v'} = \frac{2.96\times10^{-2} - 1.343\times10^{-3}}{2.843\times10^{-2} - 1.343\times10^{-3}} = 0.919$$

——————— o 0 o ———————

PROBLEMA 3 - Um tanque contem H_2O líquido e vapor em equilíbrio a 230 °C. Suponha que a distância do fundo do tanque ao nível do líquido é de 8m.

a) Qual será a leitura da pressão no fundo do tanque?

b) Sabendo-se que após um arrefecimento até à temperatura de 60 °C o volume de líquido é de 75 m^3, determine qual o título inicial atendendo a que o volume do tanque é de 250 m^3.

RESOLUÇÃO

a) A pressão no fundo do tanque é a resultante da soma de duas pressões, ou seja, a pressão devida ao peso da coluna de água desde o fundo até ao nível de líquido e a pressão exercida pelo vapor de água. Enquanto que a primeira terá de ser calculada a segunda pode ser obtida directamente das tabelas de vapor saturado pois a pressão do vapor é a pressão de saturação para a água a 230 °C. Assim:

$$P_{fundo} = P_{sat.} + P_{peso\ H_2O}$$

$$\left.\begin{array}{l} H_2O \\ 230\ ^oC \end{array}\right| \Rightarrow \left| \begin{array}{l} P_{sat} = 28.531\ Kgf/cm^2 = 2.7979\times10^6\ N/m^2 \\ \rho = \frac{1}{v} = 827.34\ Kg/m^3 \end{array}\right.$$

$$P_{peso\ H_2O} = \frac{Peso}{S} = \frac{Massa \times g}{S} = \frac{V \times \rho \times g}{S} = \frac{\cancel{S} \times h \times \rho \times g}{\cancel{S}}$$

$$P_{peso\ H_2O} = \rho \times g \times h = 827.34\times9.8\times8 = 6.4863\times10^4\ N/m^2$$

$$P_{fundo} = 2.7979 \times 10^6 + 6.4863 \times 10^4 = 2.8628 \times 10^6 \quad N/m^2$$

b) Dado que não há variação nem do volume total, nem da massa total do sistema durante o processo, podemos afirmar que o volume mássico se mantem constante desde o início até ao final do processo. Assim vamos determinar o volume específico do sistema no estado final e com este valor determinar o titulo no patamar de saturação a 230 °C.

$$\left.\begin{array}{l} H_2O \\ 60\ ^oC \end{array}\right| \Rightarrow \left| \begin{array}{l} v' = 1.0171 \times 10^{-3} \quad m^3/Kg \\ v'' = 7.678 \quad m^3/Kg \end{array}\right.$$

$$M_{liq} = \frac{V_{liq}}{v'} = \frac{75}{1.0171 \times 10^{-3}} = 7.3739 \times 10^4 \ Kg$$

$$M_{vap} = \frac{V_{vap}}{v''} = \frac{250 - 75}{7.678} = 22.79 \ Kg$$

$$M_{total} = M_{vapor} + M_{líquido} = 22.79 + 7.3739 \times 10^4 = 7.3762 \times 10^4 Kg$$

$$v_{sistema} = \frac{V_{total}}{M_{total}} = \frac{250}{7.3762\ 10^4} = 3.389 \times 10^{-3} \ m^3/Kg$$

Como $v_{inicial} = v_{final} = 3.389 \times 10^{-3} \quad m^3/kg$ e das tabelas

$$\left.\begin{array}{l} H_2O \\ 230\ ^oC \end{array}\right| \Rightarrow \left| \begin{array}{l} v' = 1.2087 \times 10^{-3} \ m^3/Kg \\ v'' = 7.147 \times 10^{-2} \quad m^3/Kg \end{array}\right. \qquad x_{inicial} = \frac{v_{inicial} - v'}{v'' - v'}$$

$$x_{inicial} = \frac{6.7756 \times 10^{-3} - 1.2087 \times 10^{-3}}{7.147 \times 10^{-2} - 1.2087 \times 10^{-3}} = 0.0792$$

$$x_{inicial} = 7.92 \ \%$$

PROBLEMA 4 - O reservatório de uma astronave com 57 dm^3 de capacidade, contem 45 Kg de oxigénio saturado a 3.74 Kgf/cm^2 Determinar a percentagem de líquido e vapor no reservatório em massa e em volume.

RESOLUÇÃO

$$v_{sist.} = \frac{5.7\times10^{-3}}{45} = 1.267\times10^{-3} \; m^3/Kg$$

$$\left.\begin{array}{l} O_2 \\ 3.74 \; Kgf/cm^2 \end{array}\right| \Rightarrow \left| \begin{array}{l} v' = 0.94\times10^{-3} \; m^3/Kg \\ v'' = 6.6\times10^{-2} \; m^3/Kg \end{array}\right.$$

$$x = \frac{1.267\times10^{-3} - 0.94\times10^{-3}}{6.6\times10^{-2} - 0.94\times10^{-3}} = 0.005$$

Por definição de título temos então que as percentagens em massa são:

% Vapor = 0.5 %

% Líquido = 100 - 0.5 = 99.5 %

Para as percentagens em volume temos:

$$V_{vap.} = M_{vap}\times v'' = M_{tot}\times x\times v'' = 0.005\times45\times6.6\;10^{-2} = 1.485\times10^{-2} \; m^3/Kg$$

% Vapor =(0.01485 / 0.057)x100 = 26 %

% Líquido = 100 - 26 = 74 %

Resumo:

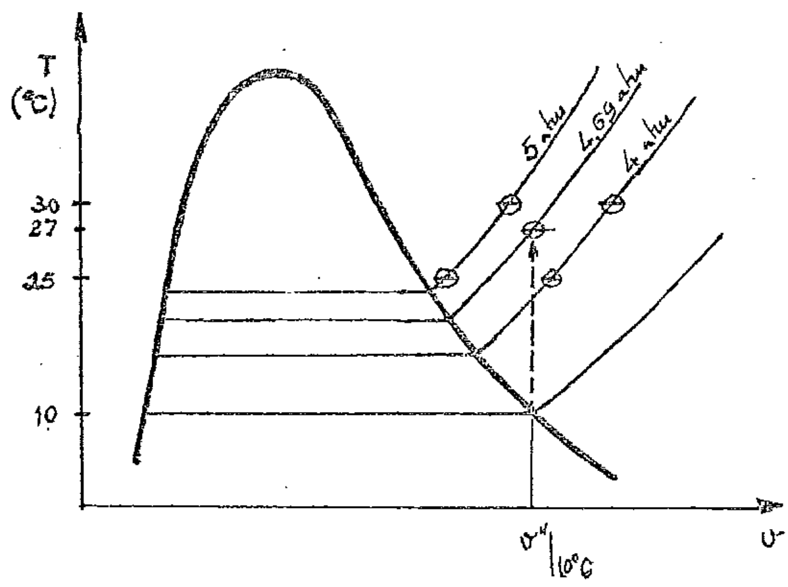
PERCENTAGEM EM	MASSA	VOLUME
LÍQUIDO	99.5	74
VAPOR	0.5	26

PROBLEMA 5 - Um tubo de vidro selado contem vapor de R-12 a 27 ^oC, para a realização de uma dad ex eriência. Deseja saber-se a pressão no interior do tubo e nestas condições, mas não é possivel medi-la pois o tubo está selado. No entanto, quando o tubo é resfriado a 10 ^oC observa-se a formação de pequenas gotas de líquido nas paredes do vidro.

Determine a pressão no tubo a 27 ^oC.

RESOLUÇÃO

Como não há variação da massa e do volume do sistema trata-se, também neste caso, de uma evolução do sistema a volume específico constante. O sinal do aparecimento das gotas de líquido nas paredes do tubo indica que começou nesse instante o fenómeno de condensação e como tal o sistema está no patamar de saturação a 10^oC mais precisamente no ponto de vapor saturado.



$$v_{sist.} = v''|_{10^oC} = 0.04204 \ m^3/Kg$$

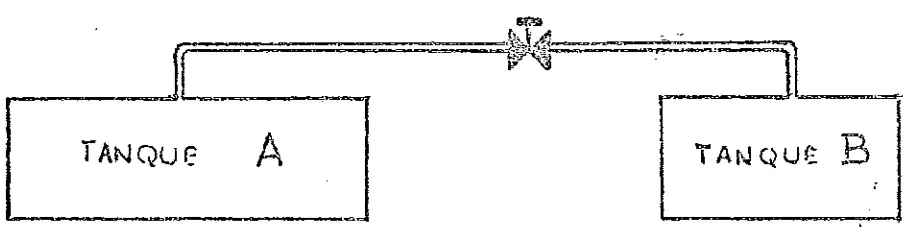
Através da tabela de vapor saturado podemos concluir que o sistema, no início, se encontra no estado de vapor sobreaquecido. É, portanto, nas tabelas de vapor sobreaquecido que vamos procurar a pressão a que está o sistema no estado inicial (27 °C e 0.04204 m^3/Kg). Verifica-se que tal ponto não está tabelado, mas é possível prever, através da observação do andamento dos valores, que a pressão estará entre 4 e 5 atm. O valor exacto será obtido por três interpolações: as duas primeiras para obter os valores do volume específico para 27 °C a, respectivamente, 4 e 5 atm; finalmente, na última interpolação obtemos o valor da pressão dado que já conhecemos os três volumes específicos à desejada temperatura. Para melhor visualização do processo de calculo atente no diagrama seguinte:

25 °C	27 °C	30 °C	PRESSÃO
0.0490	0.0494	0.0500	4 atm
——	0.04204	——	$\boxed{4.69 \text{ atm}}$
0.0385	0.0388	0.0393	5 atm

$$P_{inicial} = 4.69 \text{ atm}$$

——————— o O o ———————

PROBLEMA 6 - O tanque A tem um volume de 2.7 dm^3 e contem Freon-12 a 27 °C estando 10 % em volume na fase líquida e os restantes 90 % na fase vapor. Enquanto isso o tanque B está vazio. A valvula é então aberta e após um certo tempo os tanques ficam à mesma pressão de 2 Kgf/cm^2. Durante todo o processo a temperatura mantem-se constante e igual a 27 °C. Qual é o volume do tanque B ?



RESOLUÇÃO

Como a massa irá permanecer constante ao longo de todo o processo, é útil e necessário determinar a sua grandeza, o que pode ser feito por duas vias:

$$\left.\begin{array}{l}\text{R-12}\\ 27\ ^{o}C\end{array}\right| \Rightarrow \left|\begin{array}{l} v' = 7.669\times10^{-4}\ m^3/Kg \\ v'' = 2.629\times10^{-2}\ m^3/Kg\end{array}\right.$$

i)

$$V_{liq.} = 0.1\times2.7\times10^{-3} = 2.7\times10^{-4}\ m^3$$

$$V_{vap.} = 0.9\times2.7\times10^{-3} = 2.43\times10^{-3}\ m^3$$

$$M_{liq.} = \frac{V_{liq.}}{v_{liq.}} = \frac{2.4\times1\cancel{0}^{-4}}{7.669\times1\cancel{0}^{-4}} = 0.352\ Kg$$

$$M_{vap.} = \frac{V_{vap.}}{v_{vap.}} = \frac{2.43\times10^{-3}}{2.629\times10^{-2}} = 0.092\ Kg$$

$$M_{total} = M_{liq.} + M_{vap.} = 0.352 + 0.092 = 0.444\ Kg$$

ii)

$$\frac{V_{liq.}}{V_{sist}} = \frac{(1-x)v'}{(1-x)v' + xv''} = 0.1$$

$(1 - x)v' = 0.1(1 - x)v' + 0.1(x)v''$ resolvendo em ordem a x temos:

$$x = \frac{0.9v'}{0.9v' + 0.1v''} = \frac{0.9\times7.669\times10^{-4}}{0.9\times7.669\times10^{-4} + 0.1\times2.629\times10^{-2}}$$

$x = 0.208$ e $v_{sist} = (1-x)v' + xv''$

$$v_{sist} = (1-0.208)\times7.669\times10^{-4} + 0.208\times2.629\times10^{-2}$$

$v_{sist} = 6.076\times10^{-3}\ m^3/Kg$ e $M_{total} = V_{tot}/v_{sist}$.

$$M_{total} = \frac{2.7\times10^{-3}}{6.076\times10^{-3}} = 0.444\ Kg$$

Conhecendo-se o estado final (27 °C; 2 atm) podemos determinar o volume específico do sistema nesse estado:

2 atm

25 °C	——			0.1014 m³/Kg
27 °C	——	Por interpolação	——	0.1022 m³/Kg
30 °C	——			0.1034 m³/Kg

$$V_{total} = M_{total} \times v_{sist} = 0.444 \times 0.1022 = 4.538 \times 10^{-2}\ m^3$$

$$V_{total} = V_{tanque\ A} + V_{tanque\ B}$$

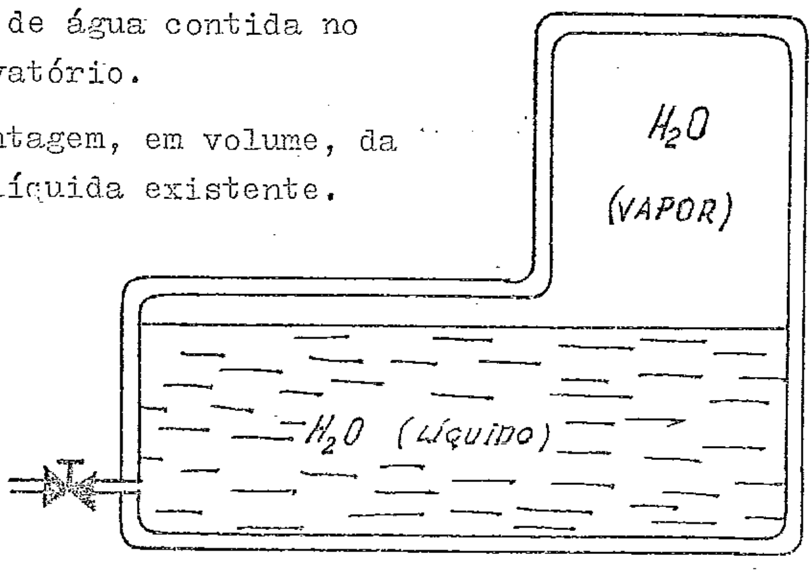
$$V_B = V_{total} - V_A = 4.538 \times 10^{-2} - 2.7 \times 10^{-3} = 4.268\ 10^{-2}\ m^3$$

———— o O o ————

PROBLEMA 7 - Um reservatório rígido de 52 dm^3 contem água saturada a 1.2 Kgf/cm^2, tal que ao ser aquecida ela passa pelo ponto crítico. Determinar:

a) Massa de água contida no reservatório.

b) Percentagem, em volume, da fase líquida existente.



RESOLUÇÃO

a) H_2O , $1.2\ Kgf/cm^2$ $\Longrightarrow$ $\begin{cases} v' = 1.0468 \times 10^{-3}\ m^3/Kg \\ v'' = 1.455\ m^3/Kg \end{cases}$

Também das tabelas tiramos o valor do volume específico crítico:

$$v_{cr} = 0.0318\ m^3/Kg$$

$$M_{H_2O} = \frac{V_{tot}}{v_{cr}} = \frac{5.2 \times 10^{-2}}{0.0318} = 1.64\ Kg$$

b) Pretende-se conhecer a razão : $V_{liq.} / V_{tot.}$

Por definição de título temos que:

$$x = \frac{M_{vap.}}{M_{tot.}} \Longrightarrow (1 - x) = \frac{M_{liq.}}{M_{tot.}} \qquad (I)$$

Conhecidas estas duas equações:

$$\begin{cases} V_{liq.} = M_{liq.} \times v' \\ V_{tot.} = M_{tot.} \times v_{sist.} \end{cases}$$ e dividindo membro a membro

obtem-se:

$$\frac{V_{liq.}}{V_{tot.}} = \frac{M_{liq.}}{M_{tot.}} \times \frac{v'}{v_{sist.}}$$ que, dada a equação I

se transforma na equação seguinte:

$$\frac{V_{liq.}}{V_{tot.}} = (1 - x) \times \frac{v'}{v_{sist.}}$$ basta-nos, portanto

determinar

$$x = \frac{0.0318 - 1.0468 \times 10^{-3}}{1.455 - 1.0468 \times 10-3} = 2.12 \times 10^{-2}$$

e finalmente,

$$\frac{V_{liq.}}{V_{tot.}} = (1 - 2.12\times10^{-2})\times\frac{1.0468\times10^{-3}}{0.0318} = 3.22\times10^{-2}$$

$$\text{Percentagem}\Big|_{\text{vol.}} \text{ de líquido} = 3.22\ \%$$

NOTA: De realçar que a percentagem em volume e em massa não são a mesma coisa e muito menos tem o mesmo significado. Neste caso a percentagem de vapor em massa é de 2.12 % no entanto a sua percentagem em volume é de 96.78 %.

——————— o O o ———————

PROBLEMA 8 - Um tanque contem R-12 a 38 °C. O volume do tanque é 56.75 dm^3 e, inicialmente, o volume do líquido no tanque é igual ao volume de vapor. Uma quantidade adicional de Freon-12 é forçada para dentro do tanque até que a massa de R-12 no mesmo atinga 45 Kg. Qual é o volume final de líquido no tanque, assumindo-se que a temperatura seja mantida a 38 °C? Que quantidade de massa entrou no tanque?

RESOLUÇÃO

$$\left.\begin{array}{l}\text{R-12}\\ 38\ ^{o}C\end{array}\right| \Longrightarrow \left|\begin{array}{l} v' = 0.7927\ dm^3/Kg \\ v'' = 0.0198\ m^3/Kg\end{array}\right.$$

Na fase inicial: $V_{liq.} = V_{vap.} = V_{tot.}/2 = 56.75/2 = 28.38 dm3$

$$M_{liq.} = \frac{V_{liq}}{v'} = \frac{28.38}{0.7927} = 35.795\ Kg$$

$$M_{vap.} = \frac{V_{vap.}}{v''} = \frac{28.38 \times 10^{-3}}{0.0198} = 1.433 \text{ Kg}$$

$$M_{tot.}\Big|_{inicio} = 35.795 + 1.433 = 37.228 \text{ Kg}$$

Na fase final:

$$v_{sist} = \frac{V_{tot}}{M_{tot.}} = \frac{56.75 \times 10^{-3}}{45} = 0.001261 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Dado que a temperatura se manteve constante ao longo de todo o processo, podemos afirmar que:

$$x_{final} = \frac{0.001261 - 0.7927 \times 10^{-3}}{0.0198 - 0.7927 \times 10^{-3}} = 0.0246$$

$$M_{liq.} = M_{tot.} \times (1 - x) = 45 \times (1 - 0.0246) = 43.89 \text{ Kg}$$

$$V_{liq.} = M_{liq.} \times v' = 43.89 \times 0.7927 \times 10^{-3} = 0.03479 \text{ m}^3$$

$$V_{liq.}\Big|_{final} = 34.79 \text{ l}$$

b) $$M_{entrou} = M_{final} - M_{inicial}$$

$$M_{entrou} = 45 - 37.228 = 7.772 \text{ Kg}$$

o O o

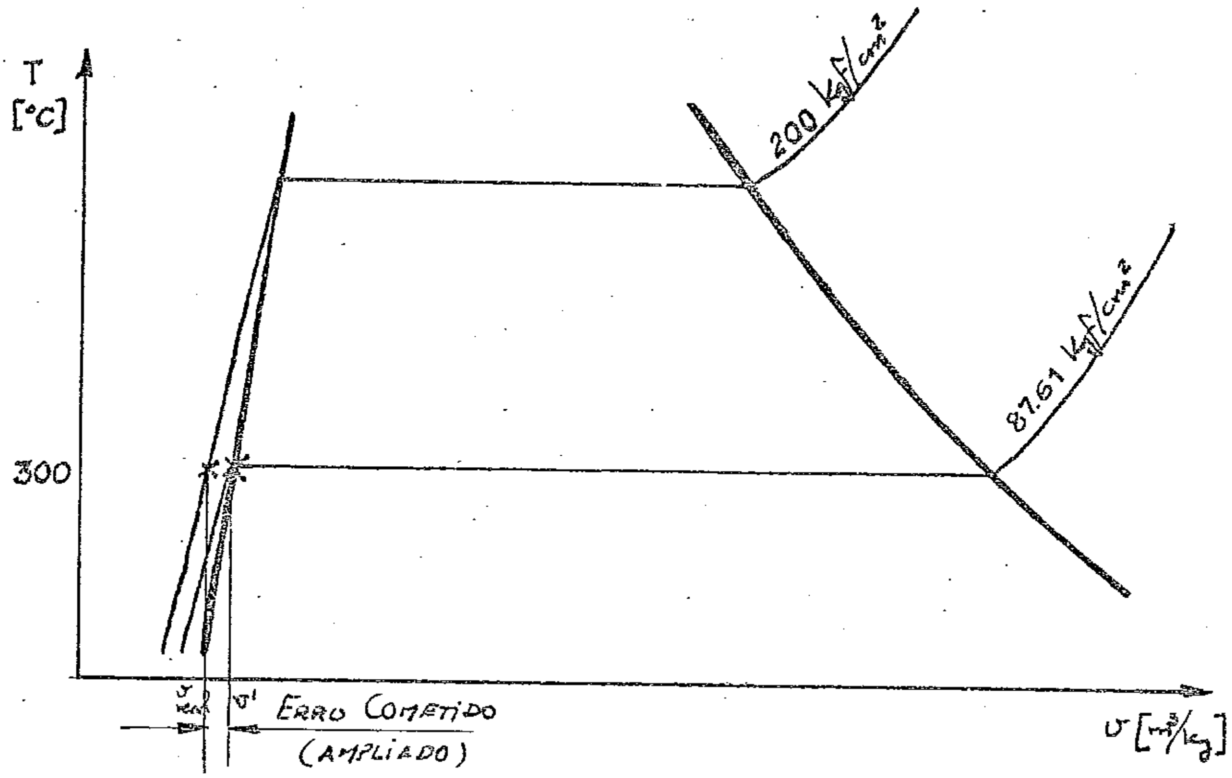
PROBLEMA 9 - A bomba de alimentação de uma caldeira fornece 1.35×10^4 Kg de água por hora a 300 °C e a 200 Kgf/cm².

a) Qual é a descarga em m3/min ?

b) Qual seria o erro percentual se tivessem sido usadas as propriedades do líquido saturado a 300 °C nos calculos efectuados ?

RESOLUÇÃO

a)



$$\left.\begin{array}{l} H_2O \\ 200\ \text{Kgf/cm}^2 \end{array}\right\} \Rightarrow \qquad v = 0.00\,13612\ m^3/kg$$

$$\dot{V} = \dot{M}\, v = 1.35\times10^4 \times 0.0013612 = 18.762 \quad m^3/h$$

$$\dot{V} = 18.762/60 = 0.313 \quad m^3/min.$$

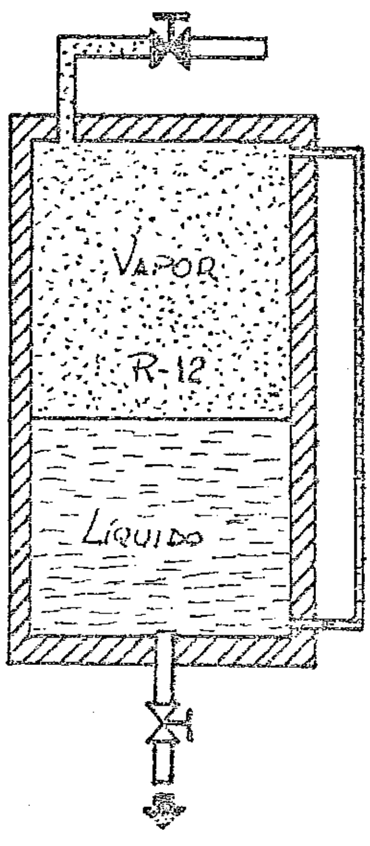
$$\left.\begin{array}{l} H_2O \\ 300\ ^oC \end{array}\right\} \Longrightarrow \quad v' = 0.0014036 \quad m^3/Kg$$

$$\dot{V} = 1.35\times 10^4 \times 0.0014036 = 18.949\ m^3/h$$

$$\text{Erro percentual} = \frac{18.949 - 18.376}{18.376} \times 100 = 3.12\ \%$$

——— o O o ———

PROBLEMA 10 - Um reservatório equipado com um visor contem Freon-12 a 27 ^oC. O líquido é retirado pelo fundo, lentamente , e a temperatura permanece constante durante todo o processo. A área da secção do reservatório é de 300cm^2 e o nível cai 15 cm.
Retirar a massa de R-12 retirado.



RESOLUÇÃO

$$\left.\begin{array}{l} R\text{-}12 \\ 27\ ^oC \end{array}\right| \Longrightarrow \left|\begin{array}{lll} v' - 0.7676\ 10^{-3} & m^3/Kg \\ v'' - 0.0263 & m^3/Kg \end{array}\right.$$

Considere-se o volume correspondente aos 15 cm que irão ser retirados:

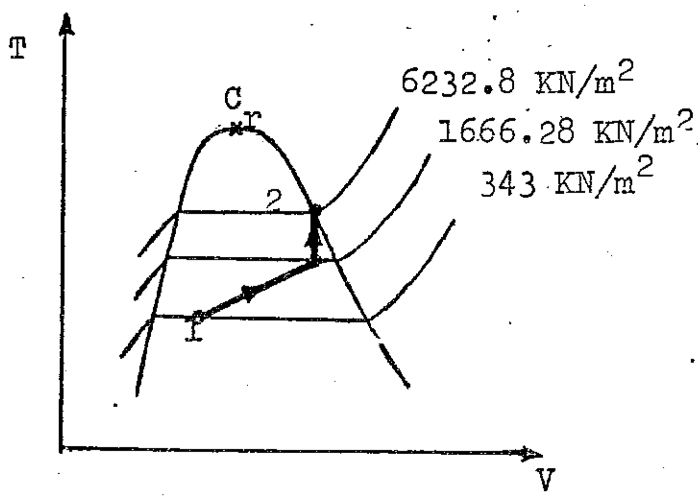
$$V_{ret.} = 300\times 15 = 4500\ cm^3 = 4.5\times 10^{-3}\ m^3$$

Substituindo estes valores na expressão da pressão:

$$p = 3.5\times98 + 11.9\times10^{3}(0.14 - 0.0288)$$

$p = 1666.28\ KN/m^2$ que é inferior à pressão final do processo $p_2 = 63.6 Kgf/cm^2 = 6232.8\ KN/m^2$

Assim a evolução total num diagrama T-v é:



PROBLEMA 7 - Comprime-se amónia num cilindro por meio de um êmbolo. A temperatura inicial é 38^oC, a pressão inicial é $4\ Kgf/cm^2$ e a pressão final é $12\ Kgf/cm^2$. São disponíveis os seguintes dados do processo:

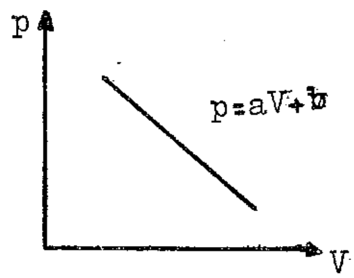
Pressão(Kgf/cm^2)	Volume(cm^3)
4	1300
6	1100
8	900
10	700
12	500

a) Determinar o trabalho realizado no processo, considerando a amónia como sistema

b) Qual a temperatura final da amónia

RESOLUÇÃO

a) O diagrama da variação da pressão com o volume face aos dados disponíveis é



Para obtermos a lei da variação da pressão com o volume não temos mais do que determinar as constantes a e b da equação da recta - $p = aV + b$. Face aos dados fornecidos temos:

$$a = 0.98\times10^{6}$$
$$b = 1666$$

ficando a equação da recta

$$p = -98\times10^{4}V+1666$$

O trabalho vem:

$$W = \int p\,dV = \int\left[-98\times10^{4}V+1666\right]dV$$

$$W = \frac{-98\times10^{4}}{2}\left[(500\ 10^{-6})^{2}-(1300\ 10^{-6})^{2}\right]+1666(500-1300)\times10^{-6}$$

$$W = -6.272\times10^{-1}KJ$$

b) Considerando a amónia como um gás perfeito:

$$p_2V_2 = mRT_2 \qquad (R = 0.488\ KJ/Kg^{o}K)$$

Torna-se pois necessário conhecer o valor da massa, uma vez que se conhecem os restantes valores da equação superior. Aplicando novamente a equação geral dos gases perfeitos, mas desta vez ao estado inicial

$$4\times98\times1300\times10^{-6} = m\times0.488\times(38\ 273.15)$$

$$m = 3.35\ 10^{-3}Kg$$

Substituindo este valor e os demais conhecidos na primeira equação:

$$12\times98\times500\times10^{-6} = 3.35\times10^{-3}\times0.488\times T_2$$

$$T_2 = 359^{o}K = 86.5^{o}C$$

PROBLEMA 8 - Um balão esférico tem um diâmetro de 26 cm e contem ar à pressão de 1.7 Kgf/cm^2. O diâmetro do balão aumenta para 35 cm devido ao aquecimento e durante o processo, a pressão é proporcional ao diâmetro. Calcular o trabalho realizado pelo ar durante esse processo

RESOLUÇÃO

$$W = \int p dV$$

Temos que determinar a relacção entre a pressão e o volume. Sabe-se porem que:

$$p = Kd = 2Kr$$

$$\text{Como } V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$p = 2K\sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$$

$$W = \int 2K\sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}\ dV$$

tornando-se assim necessário determinar V_1, V_2 e K:

$$V_1 = 0.0092\ m^3$$

$$V_2 = 0.02244\ m^3$$

A constante K pode-se determinar aplicando a equação da lei da variação da pressão com o volume ao instante inicial:

$$p = 2K\sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$$

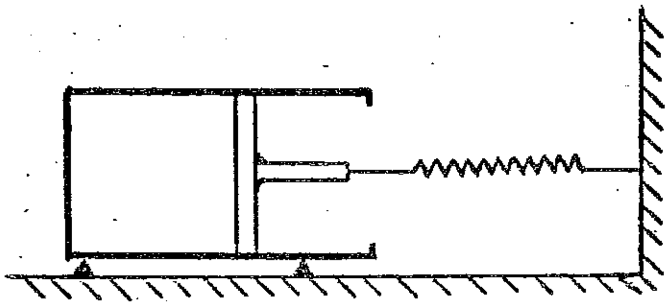
$$1.7 \times 98 = 2K\sqrt[3]{\frac{3 \times 0.0092}{4\pi}}$$

$$K = 640.76\ KN/m^3$$

$$W = 2 \times 640.76\sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}}\int V^{1/3}\ dV$$

$$W = 2.62\ KJ$$

PROBLEMA 9 - Considere o esquema indicado na figura. O êmbolo tem 0.4 m de diâmetro, desliza sem atrito e juntamente com o cilindro encerra uma determinada quantidade de fluido. A outra face está aberta à atmosfera, e ligado a uma mola de $K = 40$ KN/m. Inicialmente a pressão dentro do cilindro é de 200KN/m^2 e a pressão atmosférica é de 100 KN/m^2. Calcule a distância que o êmbolo percorrerá bem como a energia acumulada na mola à medida que a pressão no interior do cilindro sobe até atingir 500 KN/m^2



RESOLUÇÃO

Antes de o êmbolo iniciar o seu deslocamento, e fazendo um equilibrio de forças:

$$p_1 A = p_a A + F_1$$

em que: p_1 - pressão dentro do cilindro no instante inicial

p_a - pressão atmosférica

F_1 - força exercida pela mola sobre o êmbolo

Depois do deslocamento do êmbolo:

$$p_2 A = p_a A + F_2$$

em que: p_2 - pressão dentro do cilindro na nova situação

F_2 - força da mola na nova situação

Somando membro a membro as duas equações anteriores e depois de reagrupar os termos:

$$F_2 - F_1 = (p_2 - p_1)A$$

Por outro lado, atendendo a que:

$$dF = Kdx \quad \text{para a mola:}$$

$$\Delta F - K\Delta x$$

$$\Delta x = \frac{F_2 - F_1}{K}$$

Substituindo nesta expressão a obtida anteriormente para $F_2 - F_1$:

$$x = \frac{(p_2 - p_1)A}{K}$$

$$x = \frac{(500-200)\pi \times 0.4^2}{40}$$

$$\Delta x = 0.942 \text{ m}$$

A energia acumulada pela mola não é mais do que o trabalho que ela recebe devido ao deslocamento do êmbolo:

$$E_{acu.} = W$$

O trabalho realizado pelo sistema é:

$$W = \int p dV$$

em que a relacção entre a pressão e o volume vem dada por:

$$p = p_1 + \frac{K}{A^2}(V - V_1)$$

obtendo-se para o trabalho a seguinte expressão:

$$W = p_1 (V_2 - V_1) + \frac{K}{A^2}\left[\frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^1) - V_1(V_2 - V_1)\right]$$

Porém para determinarmos V_1 e V_2 necessitamos de conhecer x_1 e x_2:

$$x_1 = \frac{(p_1 - p_a) A}{K}$$

$$x_1 = \frac{(200 - 100)\pi \times 0.4^2/4}{40}$$

$$x_1 = 0.314 \text{ m}$$

$$x_2 - x_1 = 0.942 \text{ m}$$

$V_1 = 0.0394\ m^3$

$V_2 = 0.157\ m^3$

vakores estes que substituídos na expressão do trabalho dá-nos o seguinte valor:

$$W = 41.035\ KJ$$

Este trabalho porem é realizado para comprimir a mola e tambem para vencer a atmosfera. Nesta alínea nós somente pretendemos a primeira parte do trabalho. Assim:

$$W_{mola} = W_{total} - W_{atm.}$$

$$W_{mola} = 41.035 - p_{atm}(V_2 - V_1)$$

$$W_{mola} = 41.035 - 100(0.157 - 0.0394)$$

$$W_{mola} = 29.27\ KJ$$

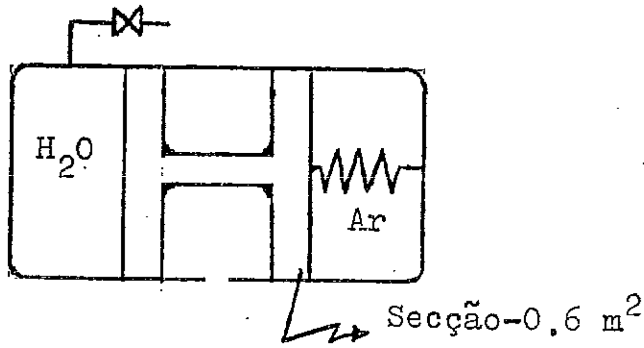
——— o O o ———

PROBLEMA 10 - O dispositivo mostrado contem inicialmente 0.8 Kg de ar a 2.1 atm. e 150°C e água à temperatura de 320°C. A mola, que não se encontra tensionada nas condições iniciais, tem uma constante de 240 Kgf/cm. A massa do conjunto êmbolo-haste é de 2.7 Kg e desloca-se sem atrito. Abrindo-se a válvula fornece-se H_2O oa recipiente da esquerda sendo o processo de expansão quase-estático e tal que a evolução seguida pelo ar é isotérmica. No estado final o conjunto êmbolo-haste está a 15 cm da sua posição inicial. Calcular:

a) A pressão final da água

b) O trabalho realizado pela água

c) Represente num diagrama P-V a evolução seguida pelo ar parametrando convenientemente os estados inicial e final



RESOLUÇÃO

a) No estado final a pressão da água é igual à da criada pela mola mais a do ar no estado final.
Por se tratar de uma compressão isotérmica do ar, a sua pressão final é:

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

sendo necessário, portanto, calcular o volume inicial e final. Aplicando a equação geral dos gases perfeitos ao estado inicial obtem-se:

$$p_1V_1 = mRT_1$$

em que $R = 0.287\ KJ/Kg^oK$
Substituindo os valores conhecidos na expressão:

$$V_1 = \frac{0.8 \times 0.287 \times (150+273.15)}{21 \times 98}$$

$$V_1 = 0.472\ m^3$$

$$V_2 = V_1 - \Delta V$$

$$p_2 = \frac{p_1V_1}{V_2}$$

$$p_2 = \frac{2.1 \times 0.472}{0.472 - 0.15 \times 0.6}$$

$$p_2 = 2.594\ Kgf/cm^2$$

A pressão final da mola é:

$$p_{mola} = \frac{Kx}{A}$$

Como foi dito:

$$p_{2,H_2O} = p_{2,ar} + p_{mola}$$

$$p_{2,H_2O} = 2.594 + \frac{240 \times 15}{6000} = 3.194 \text{ Kgf/cm}^2$$

b) O trabalho realizado pela água será igual ao trabalho de compressão do ar mais o trabalho de compressão da mola.
O trabalho de compressão do ar (isotérmico) é dado pela expressão:

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

$$W = 2.1 \times 98 \times 0.472 \ln \frac{0.472 - 0.15 \times 0.6}{0.472}$$

$$W = -20.550 \text{ KJ}$$

O trabalho da mola vem dado por:

$$W = -\int F dx = -\int Kx dx = -\left[\frac{1}{2} Kx^2\right]_0^{x_1}$$

$$W = -\frac{1}{2} \times 240 \times 10^2 (0.15)^2 \times 9.8/10^3$$

$$W = -2.646 \text{ KJ}$$

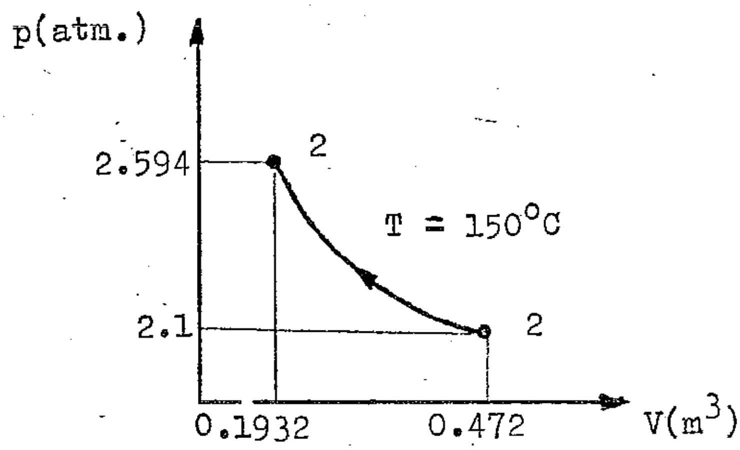
O trabalho da água é igual ao somatório dos dois anteriores mas de sinal contrário

$$W_{H_2O} = -(W_{ar} + W_{mola})$$

$$W_{H_2O} = -(-20.55 - 2.646)$$

$$W_{H_2O} = 23.188 \text{ KJ}$$

c)



o O o

PROBLEMA 11 - A figura representa esquematicamente um evaporador e um compressor alternativo componentes de uma instalação frigorífica. O evaporador ao retirar o calor do espaço a refrigerar provoca o aumento da temperatura e consequentemente vaporização do fluido frigorigénio. Assim que a temperatura ultrapassar determinado valor um termostato produz o arranque do compressor e a válvula de expansão introduz novo vapor húmido no sistema. No nosso caso o evaporador contem 3 Kg de R-12 a $-20^{\circ}C$ com um título de 3%. A secção transversal do evaporador vale 0.17 m^2.

a) Supondo que existe uma avaria no termostato (o que implica que o compressor não arranca e a válvula tambem não debita) determine a diferença de nível de líquido no evaporador quando a temperatura atingir os $-10^{\circ}C$.

b) Trace no diagrama p-v a evolução sofrida pelo R-12 contido no reservatório e indique as coordenadas dos pontos inicial e final.

Considerando que em funcionamento normal a tem-

-peratura se mantem constante (-20^oC) e sabendo que a compressão sofrida pelo vapor de R-12 é do tipo $pv^K = c^{te}$ em que $K = 1.13$, a pressão relativa à saída é de 7 atm. e que as características do compressor são:

velocidade de rotação ——— 500 r.p.m

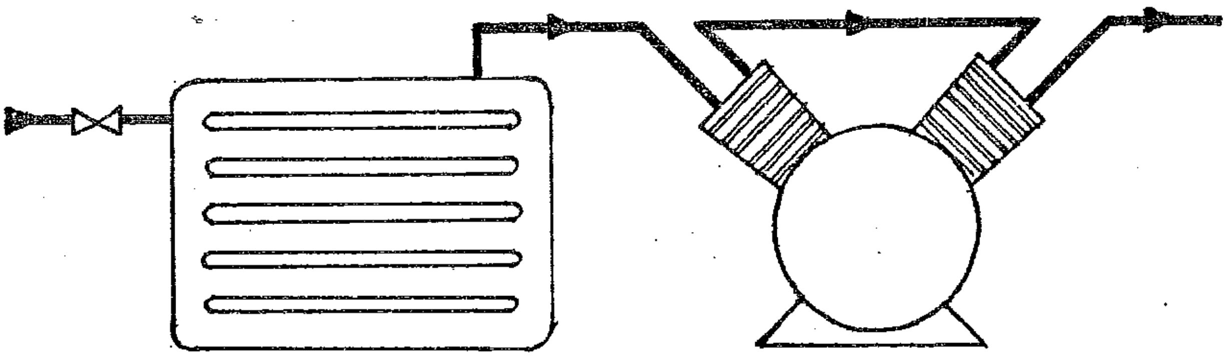
diam.x curso ——— 56x80 mm

número de cilindros ——— 2

determine:

c) A temperatura do R-12 à saída do compressor

d) O caudal volúmico à saída do compressor



RESOLUÇÃO

a) A diferença de nível de líquido será obtido pelo quociente entre a diferença de volume de líquido no estado inicial e final pela área do evaporador.

$$\text{a } -20^oC \quad \left| \begin{array}{l} v_l = 0.0006868 \ m^3/Kg \\ v_v = 0.1107 \ m^3/Kg \end{array} \right.$$

$$v_1 = (1-x)v_l + xv_v$$

$$v_1 = (1-0.03)0.0006868 + 0.03x0.1107$$

$$v_1 = 0.0039871 \ m^3/Kg$$

$$V_1 = 0.0039871x3 = 0.0119615 \ m^3$$

Por outro lado, atendendo à definição de título:

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

$$m_v = 0.03 \times 3 = 0.09 \text{ Kg}$$

$$m_l = 3 - 0.09 = 2.91 \text{ Kg}$$

O volume de líquido no estado inicial vem dado por:

$$V_{liq,1} = 0.0006868 \times 2.91$$

$$V_{liq,1} = 0.0019985 \text{ m}^3$$

Tratando-se de um processo a volume constante: $v_1 = v_2$

$$\text{a } -10^oC \quad \begin{array}{|l} v_l = 0.0007018 \text{ m}^3/\text{Kg} \\ v_v = 0.07813 \text{ m}^3/\text{Kg} \end{array}$$

Como se pode constatar o ponto 2 está na região de vapor húmido:

$$v_2 = v_1 = 0.0039871 = (1-x_2)0.0007018 + x_2 \times 0.07813$$

$$x_2 = 4.24\%$$

Atendendo novamente à definição de título:

$$x_2 = \frac{m_v}{m_t}$$

$$m_v = 0.1272 \text{ Kg}$$

$$m_l = 3 - 0.1272 = 2.8728 \text{ Kg}$$

$$V_{liq,2} = 0.0007018 \times 2.8728$$

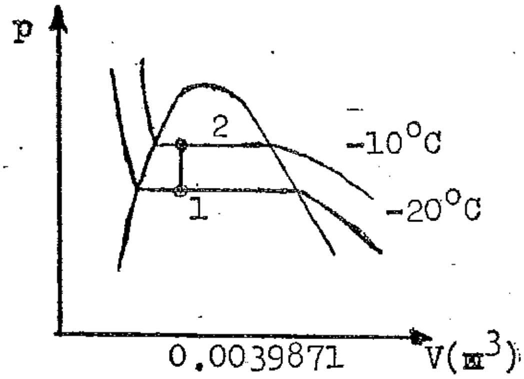
$$V_{liq,2} = 0.0020161 \text{ m}^3$$

obtendo-se para a diferença de nível:

$$h = \frac{V_{liq,2} - V_{liq,1}}{A}$$

$$h = \frac{0.0020161 - 0.0019985}{0.17} = 103.712\ 10^{-6} \text{m}$$

b)



c) Nesta alínea os dados conhecidos são:

$$p_1(-20^oC) = 1.5396 \ Kgf/cm^2$$

$$p_2 = 7+1 = 8 \ atm.$$

$$v_1 = v_v = 0.1107 \ m^3/Kg$$

Por se tratar de uma evolução politrópica:

$$p_1 v_1^n = p_2 v_2^m$$

$$v_2 = \left(\frac{1.5396}{8}\right)^{1/1.13} \times 0.1107$$

$$v_2 = 0.02575 \ m^3/Kg$$

Tendo já duas propriedades independentes, pode-se determinar a temperatura final (p_2 e v_2). Assim a 8 atm. e depois de interpolar obtem-se :

$$T_2 = 57.5^oC$$

d) O caudal volúmico à saída é:

$$\dot{V}_2 = \dot{m} \ v_2$$

necessitando determinar o caudal mássico - $\dot{m}$ -.

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}_{cil.}}{v_1}$$

em que $\dot{V}_{cil} = V_{cil} \times n$

$$\dot{V}_{cil} = \pi \times \frac{0.056^2}{4} \times 0.08 \times 2 \times 500/60$$

$$\dot{V}_{cil} = 0.0032833 \ m^3/s$$

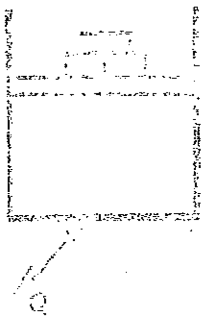
$$e \ \dot{m} = \frac{0.0032833}{0.1107} = 0.0296594 \ Kg/s$$

tendo então:

$$\dot{V}_2 = 0.0296594 \times 0.02575 = 0.0007637 \ m^3/s$$

EXEMPLO 1 - Considere o sistema indicado na figura, contendo um determinado fluido. Sobre o êmbolo estão colocados pesos. A pressão inicial é de 200 KN/m² e o volume inicial é de 0,04 m³. Calcule o trabalho nas seguintes condições:

a) - É fornecido calor ao sistema até que o volume seja de 0.1 m³, mantendo-se a pressão constante.



b) - É fornecido calor ao sistema até que o volume seja de 0.1 m³, mas são retirados pesos do êmbolo de modo a que a relação entre a pressão e o volume durante o processo seja do tipo $PV = c^{te}$.

c) - É fornecido calor ao sistema até que o volume seja de 0.1 m³, mas os pesos são retirados de modo a que a relação entre a pressão e o volume seja do tipo $PV^{1.3} = c^{te}$.

d) - Suponha-se que no instante inicial se fixa o êmbolo e que o sistema perde calor até que a pressão final seja de 100 KN/m².

e) - Represente todos os processos num diagrama P-V

RESOLUÇÃO

a) - $p_1 = 200\ KN/m^2 = p_2$ - processo a pressão constante

$V_1 = 0.04\ m^3$; $V_2 = 0.1\ m^3$

$$W = \int_1^2 p\,dV = 200 \times (0.1 - 0.04) = 12\ KJ$$

b) - $p_1 = 200\ KN/m^2$; $PV = c^{te}$

$V_1 = 0.04\ m^3$; $V_2 = 0.1\ m^3$

Num processo em que se verifique $PV = c^{te}$, tem-se que:

$$W = \int_1^2 p\,dV = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$W = 200 \times 0,04 \times \ln \frac{0,1}{0,04} = 7,33\ KJ$$

Podemos tambem calcular a pressão final:

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

$$p_2 = \frac{p_1V_1}{V_2}$$

$$p_2 = \frac{200\ 0.04}{0.1} = 80\ KN/m^2$$

c) - $p_1 = 200\ KN/m^2$; $PV^{1.3} = c^{te}$

$V_1 = 0.04\ m^3$; $V_2 = 0.1\ m^3$

Num processo em que se verifique $PV^n = c^{te}$, tem-se que:

$$W = \int_1^2 pdV = \frac{p_2V_2 - p_1V_1}{1 - n}$$

É necessario saber o valor de p_2 antes de calcularmos o trabalho; assim:

$$p_1V_1^{1.3} = p_2V_2^{1.3}$$

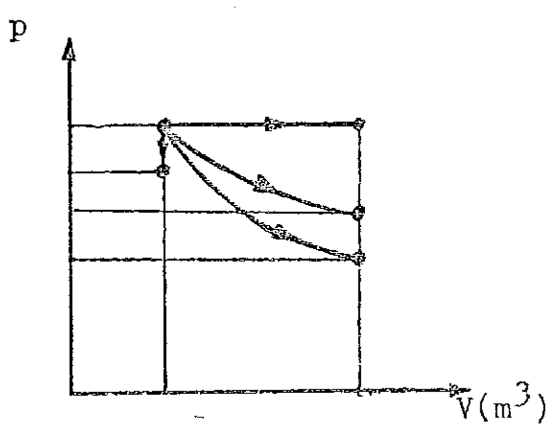
$$p_2 = \frac{p_1V_1^{1.3}}{V_2^{1.3}} = 200 \times \frac{0.04}{0.1}^{1.3} = 60.77\ KN/m^2$$

Sendo n = 1.3 e substituindo os restantes dados na expressão do trabalho, obtem-se:

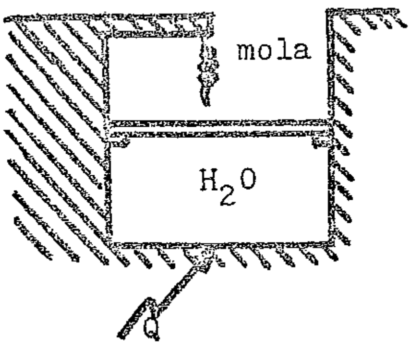
$$W = \frac{60.77\ 0.1 - 200\ 0.04}{1 - 1.3} = 6.41\ KJ$$

d) - Como o êmbolo está fixo, dV = 0 ∴ W = 0

e) - Diagrama p-V :



PROBLEMA 2 - Considere o arranjo cilindro - êmbolo indicado na figura, no qual um êmbolo sem atrito, com área seccional de 650 cm^2, repousa sobre batentes nas paredes do cilindro de modo que o volume contido seja de 30 dm^3. A massa do êmbolo é tal que uma pressão de 3.5 Kgf/cm^2 é necessária para levantar o êmbolo contra a pressão atmosférica. Quando o êmbolo atinge um ponto onde o volume contido é de 75 dm^3 ele encontra uma mola linear que requer 350 Kgf para deflexão de 1 cm. Inicialmente o cilindro contém 5 Kg de água saturada a 38°C. Quando a pressão atingir 5.4 Kgf/cm^2, determine:



a) - O trabalho realizado pela água

b) - A temperatura final (se sobreaquecida) ou o título (se vapor húmido) da água.

RESOLUÇÃO

a) - O trabalho realizado pela água é:

$${}_1W_4 = {}_1W_2 + {}_2W_3 + {}_3W_4 \qquad \text{em que:}$$

${}_1W_2$ - trabalho realizado até que a pressão atinja 3.5 Kgf/cm^2

${}_2W_3$ - trabalho realizado desde que o êmbolo levante dos batentes até atinjir a mola

${}_3W_4$ - trabalho realizado desde que o êmbolo toca a mola até atingir a pressão final de 5.4 Kgf/cm^2

No estado inicial a $T = 38°C \Rightarrow p_s = p_1 = 0.06755$ Kgf/cm^2

Como a pressão necessária para levantar o êmbolo dos batentes é $p_2 = 3.5$ $Kgf/cm^2 > p_1$, o processo 1-2 é a volume constante $\therefore$

$${}_1W_2 = \int p dV = 0$$

Tem-se tambem que:

$$v_2 = v_1 = \frac{V_1}{m} = \frac{30\ 10^{-3}}{5} = 0.006\ m^3/Kg$$

Das tabelas de vapor saturado a p_1 consta-se que:

$$v_l < v_1 < v_v$$

implicando que no estado inicial a água se encontre na região de vapor húmido.

No estado em que o êmbolo atinge a mola o volume específico é:

$$v_3 = \frac{V_3}{m} = \frac{75\times10^{-3}}{5} = 0.015\ m^3/Kg$$

Como o processo 2-3 é a pressão constante: $p_3 = p_2 = 3.5\ Kgf/cm^2$.

A esta pressão tem-se novamente

$$v_l < v_3 < v_v$$

consequentemente o ponto 3 encontra-se tambem na região de vapor húmido. Para este processo o trabalho vem dado por:

$$_2W_3 = \int pdV = m\times p\times(v_3 - v_2)$$

$$_2W_3 = 5\times3.5\times98\times(0.015 - 0.006) = 15.4KJ$$

No processo final a relacção entre a pressão e o volume devido à presença da mola é: (processo 3-4)

$$p = p_i + \frac{K\ (V-V_i)}{A^2}$$

em que: - K é a constante da mola que neste caso é 350 Kg/cm

$p_i = 3.5\ Kg/cm^2$

$V_i = 75\ dm^3$

$A = 650\ cm^2$

Antes de calcularmos o trabalho para este processo temos que determinar o volume final:

$$p_4 = p_3 + \frac{K\ (V_4-V_3)}{A^2}$$

$$5.4 = 3.5 + \frac{350\ (V_4 - 75\ 10^3)}{650^2}$$

$$V_4 = 77293\ cm^3$$

E o trabalho vem dado por:

$$_3W_4 = \int pdV = \int\left[p_3 + \frac{K\ (V - V_3)}{A^2}\right]dV$$

Substituindo os valores ja conhecidos na expressão do trabalho, obtem-se para o mesmo o valor de:

$$_3W_4 = 0.8 \text{ KJ}$$

Assim o trabalho total realizado pelo sistema é:

$$_1W_2 + {}_2W_3 + {}_3W_4 = 0 + 15.4 + 0.8 = 16.2 \text{ KJ}$$

b) - Para determinarmos a temperatura final temos de conhecer primeiramente o valor do volume específico final:

$$v_4 = \frac{V_4}{m} = \frac{77.293 \times 10^{-3}}{5} = 0.0154 \text{ m}^3/\text{kg}$$

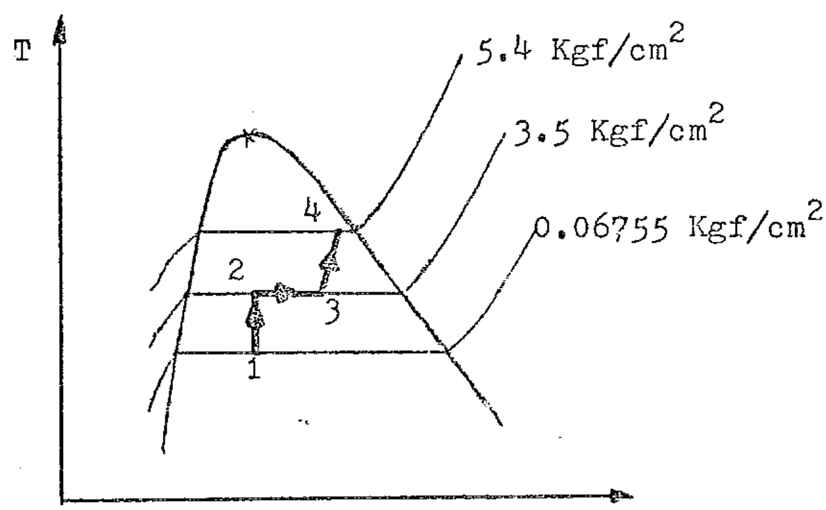
À pressão de 5.4 Kg/cm^2 = p_4 (pressao final) tem-se que:

$$v_l < v_4 < v_v$$

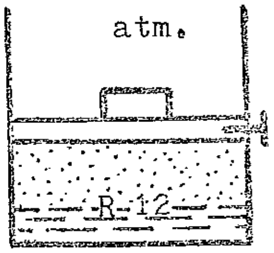
portanto o p$^{\underline{to}}$ 4 é vapor húmido. Assim sendo a sua temperatura será a de saturação correspondente a p_4:

$$T_4 = 154.02^oC$$

A evolução de todo o processo num diagrama T-v é:



PROBLEMA 3 - Um cilindro vertical com èmbolo contêm 3 dm^3 de R-12 a 27^oC e título de 90%. O êmbolo tem uma massa de 100 Kg, área seccional de 65 cm^2 e é mantido no lugar por um pino, como mostrado na figura. A pressão ambiente é de 1 Kg/cm^2. O pino é removido, permitindo que o êmbolo se mova. Após um certo espaço de tempo o sistema atinge o equilíbrio, sendo a temperatura final de 27^oC.



a) - Determine a pressão e o volume final do R-12

b) - Calcular o trabalho realizado pelo R-12 durante o processo e explicar contra o quê ele e feito.

RESOLUÇÃO

a) - O sistema ao atingir o equilíbrio implica que nesse estado a pressão interior contrabalança a exterior:

$$p_2 = p_{emb} + p_{atm}$$

$$p_{emb} = \frac{F}{A} = \frac{100 \times 9.8 \times 10^{-3}}{65 \times 10^{-4}} = 150.76 \ KN/m^2$$

$$p_{atm} = 1 \times 98 = 98 \ KN/m^2$$

$$p_{ext} = 150.76 + 98 = 248.76 \ KN/m^2 = p_2$$

À temperatura de 27^oC corresponde uma pressão de saturação de 686.6 KN/m^2; como o ponto 2 encontra-se a 27^oC e $p_2 < p_s(27^oC)$, o mesmo está na região de vapor sobreaquecido.

Para determinar o volume final temos que primeiramente conhecer a massa do sistema bem como o volume específico final. Assim das tabelas obtem-se:

$p = 241.51 \ KN/m^2 = 2.5$ atm
$$\left| \begin{array}{ll} T = 25^oC & v = 0.0796 \ m^3/Kg \\ T = 30^oC & v = 0.0812 \ m^3/Kg \end{array} \right.$$

$p = 294.41 \ KN/m^2 = 3$ atm
$$\left| \begin{array}{ll} T = 25^oC & v = 0.0664 \ m^3/Kg \\ T = 30^oC & v = 0.0677 \ m^3/Kg \end{array} \right.$$

Interpolando estes valores tem-se:

$$v(27^oC, \ 248.76 \ KN/m^2) = 0.079 \ m^3/Kg$$

A massa do sistema será determinada com a ajuda do volume específico inicial:

$$\text{a } 27^{o}C \quad \left| \begin{array}{l} v_l = 0.0007669 \ m^3/Kg \\ v_v = 0.02629 \ m^3/Kg \end{array} \right.$$

$$v_1 = (1-x)v_l + xv_v$$

$$v_1 = (1-0.9)x0.0007669 + 0.9x0.02629$$

$$v_1 = 0.02373 \ m^3/Kg$$

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{3 \ 10^{-3}}{0.02373} = 0.126 \ Kg$$

$$V_2 = m x v_2 = 0.126x0.079 = 0.00995 \ m^3$$

b) - O processo total divide-se em dois: um a pressão constante desde o ponto inicial até ao estado de vapor saturado (1') e o segundo desde este último até ao estado final, sendo do tipo $pv^n = c^{te}$. Assim:

$$_1W_2 = {_1W_{1'}} + {_{1'}W_2}$$

$$_1W_{1'} = m\int pdv = m x p x (v_2 - v_1)$$

$$_1W_{1'} = 0.126x686.6x(0.02629 - 0.0237)$$

$$_1W_{1'} = 0.22 \ KJ$$

O segundo processo é politrópico e o trabalho vem dado por:

$$_{1'}W_2 = m \ \frac{p_2v_2 - p_1v_1}{1-n}$$

É necessário pois, determinar o valor do coeficiente politrópico; atendendo a que:

$$p_1v_1^n = p_2v_2^n$$

$$686.6x0.02629^n = 248.76x0.079^n$$

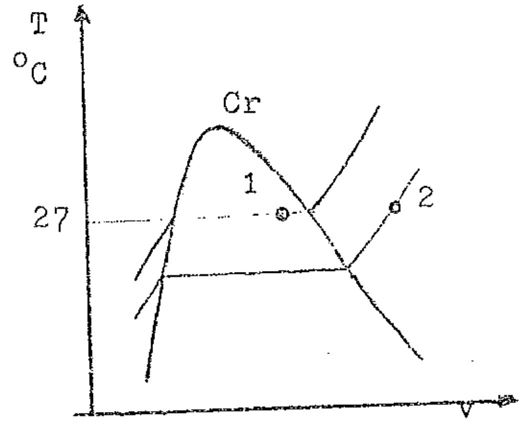
obtendo-se:

$$n = 0.922$$

$$_{1'}W_2 = \frac{0.126 \ (248.76 \ 0.079 - 686.6 \ 0.02629)}{1 - 0.922} = 2.58 \ KJ$$

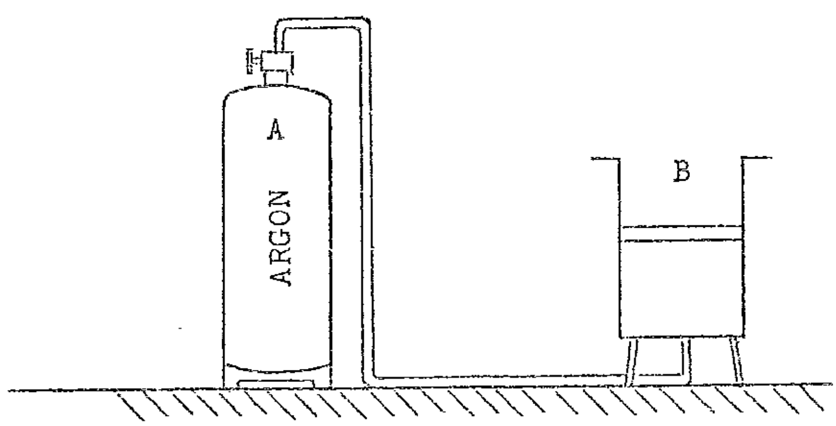
$$_1W_2 = 0.22 + 2.58 = 2.8 \ KJ$$

O estado inicial e final estão indicados no diagrama T-v:



———— o O o ————

PROBLEMA 4 - O tanque A tem um volume de 0.3 m^3 e contêm árgon a 2.35 Kgf/cm^2 e 32°C. O cilindro B contêm um êmbolo que desliza sem atrito e com uma massa tal, que é necessaria uma pressão de 1.35 Kgf/cm^2 dentro do cilindro para fazê-lo subir. A válvula que liga os dois recipientes é aberta, permitindo a entrada de árgon para o cilindro. No final do processo o árgon está num estado uniforme de 1.35 Kgf/cm^2 e 32°C. Calcular o trabalho realizado pelo árgon durante o processo.



Considerando o sistema termodinâmico constituido pelo tanque A e o cilindro B, as condições iniciais são:

$$p_1 = 2.35 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$T_1 = 32^oC \qquad\qquad R = 0.208 \text{ KJ/Kg}$$

$$V_1 = 0.3 \text{ m}^3$$

As condições no estado final são:

$$p_2 = 1.35 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$T_2 = 32^oC$$

Será necessario determinar o volume no estado final:

A massa de argon dentro do tanque A no instante inicial é

$$p_{A1}V_{A1} = m_{A1}RT_{A1}$$

$$2.35 \times 98 \times 0.3 = m_{A1} \times 0.208 \times (32 + 273.15)$$

$$m_{A1} = 1.085 \text{ Kg}$$

A massa de argon dentro do tanque A no instante final é

$$p_{A2}V_{A2} = m_{A2}RT_{A2}$$

em que: $V_{A2} = V_{A1}$

$T_{A2} = T_{A2}$

$$1.35 \times 98 \times 0.3 = m_{A2} \times 0.208 \times (32 + 273.15)$$

$$m_{A2} = 0.62 \text{ Kg}$$

A massa que passa para o cilindro B é

$$m_B = m_{A1} - m_{A2} = 1.085 - 0.62 = 0.468 \text{ Kg}$$

O volume do cilindro B no final do processo vale

$$p_{B2}V_{B2} = m_BRT_{B2}$$

$$1.35 \times 98 \; V_{B2} = 0.468 \times 0.208 \times (32 + 273.15)$$

$$V_{B2} = 0.225 \text{ m}^3$$

Assim o volume final do sistema vem dado por:

$$V_A + V_{B2} = 0.3 + 0.225 = 0.525 \ m^3$$

Sendo o processo pilitropico, o trabalho vem dado por:

$$W = \frac{p_2V_2 - p_1V_1}{1 - n}$$

tornando-se necessario determinar o coeficiente n:

$$p_1V_1^n = p_2V_2^n$$

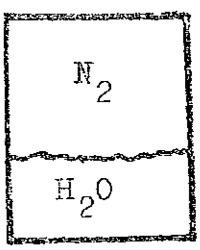
$$2.35 \times 98 \times 0.3^n = 1.35 \times 98 \times 0.525^n$$

$$n = 0.99$$

$$W = \frac{(1.35 \times 0.525 - 2.35 \times 0.3) \times 98}{1 - 0.99} = 36.75 \text{ KJ}$$

——— o O o ———

PROBLEMA 5 - O espaço de gás acima da água num tanque fechado contem azoto a 40°C e 1.2 Kgf/cm^2. O tanque tem um volume total de 3 m^3 e contem 450 Kg de água à temperatura de 40°C. Uma quantidade adicional de 450 Kg de água é lentamente forçada para dentro do tanque. Assumindo-se que a temperatura permanece constante, calcular a pressão final do azoto e o trabalho realizado sobre o mesmo durante o processo.



RESOLUÇÃO

No estado inicial a pressão a que se encontra a água é igual à do azoto = 1.2 Kgf/cm^2. A esta pressão e temperatura = 40°C, conclui-se que o estado da água é de líquido comprimido.
O volume específico inicial da água é:

$$v_1 = 0.0010078 \ m^3$$

que corresponde a um volume inicial ocupado pela água de:

$$V_1 = v_1 \times m$$

$$V_1 = 0.0010078 \times 450 = 0.45351 \ m^3$$

Para o azoto o volume inicial é:

$$V_{1,N_2} = V_T - V_{1,H_2O} \quad (V_T \text{ - volume total})$$

$$V_{1,N_2} = 3 - 0.45357 = 2.546\ m^3$$

A massa de azoto ao longo do processo é constante e igual a:

$$p_1 V_1 = mRT_1$$

em que para o azoto $R = 0.296\ KJ/Kg^oK$

$$m = \frac{1.2 x 98 x 2.546}{0.296\ (40-273.15)} = 3.23\ Kg$$

Do estado final somente conhecemos o volume total do sistema que é igual ao inicial, a massa de água e azoto e temperatura que é constante ao longo de todo o processo. Não sabemos qual será a pressão final no sistema nem os volumes parciais de H_2O e N_2. Assim temos que realizar um processo iterativo de modo a podermos determinar o volume final de cada uma das substâncias presentes, bem como a pressão final.Arbitrando a pressão final (igual para a H_2O e N_2), pode-se estabelecer o seguinte processo:

$$p_{N_2}\ (\text{ arb.}) \xrightarrow{pV = mRT} V_{final\ N_2}$$

$$p_{H_2O}\ (\text{ arb.}) \text{ e } T = 40^oC \longrightarrow v_{2,H_2O} \xrightarrow{m} V_{2,H_2O}$$

Se $V_{2,N_2} + V_{2,H_2O} = 3m^3$ o processo está terminado; caso contrario arbrita-se nova pressão e repete-se o processo. Assim, para:

$p_{arb.} = 1.4 Kgf/cm^2$

$$V_{2,N_2} = 2.182\ m^3$$

$$V_{2,H_2O} = 0.90702\ m^3$$

$$V_T = 3.0892\ m^3$$

$p_{arb.} \cong 1.5$ Kgf/cm^2

$$\left| \begin{array}{l} V_{2,N_2} - 2.03671 \text{ m}^3 \\ V_{2,H_2O} - 0.90702 \text{ m}^3 \end{array} \right.$$

$$V_T - 2.9437 \text{ m}^3$$

A pressão final está compreendida entre 1.4 e 1.5 Kgf/cm^2. Como o volume específico de H_2O tanto a 1.4 como a 1.5 Kgf/cm^2 é constante e igual a 0.0010078 m^3/Kg correspondendo a um volume de 0.90702 m^3 para a massa de 900 Kg, basta-nos neste caso determinar o volume final de N_2 por diferença para 3 m^3:

$$V_{2,N_2} = 3 - 0.90702 = 2.09298 \text{ m}^3$$

que corresponde a uma pressão final de:

$$p = \frac{3.23 \times 0.296 \times (40+273.15)}{2.09298}$$

$$p = 143.04 \text{ KN/m}^2$$

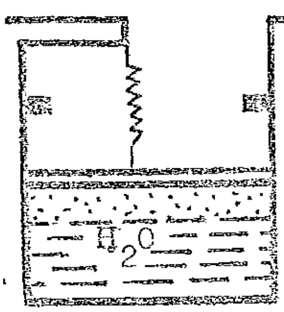
Por a compressão ter sido isotérmica:

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

$$W = 1.2 \times 98 \times 2.546 \ln \frac{2.09298}{2.546}$$

$$W = -58.66 \text{KJ}$$

PROBLEMA 6 - O cilindro indicado na figura possui um êmbolo submetido à acção de uma mola de modo que, quando o volume do cilindro for nulo, a mola está totalmente estendida. A força da mola é proporcional ao deslocamento da mesma e o peso do êmbolo é desprezável. O volume do cilindro é de 140 dm^3 quando o êmbolo encontra o batente. O cilindro contem 4.5 Kg de água, inicialmente a 3.5 Kgf/cm^2 e título de 1% a qual é aquecida até se tornar vapor saturado. Mostre o processo num diagrama T-v e determine:



a) pressão final

b) trabalho

RESOLUÇÃO

a) O volume específico no estado final é:

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{140\times10^{-3}}{4,5} = 31.11\times10^{-3}\ m^3/Kg$$

Por condição do problema o estado final coincide com vapor saturado, ou seja $v_2 = v_v$. Resta-nos somente nas tabelas determinar qual a pressão de saturação correspondente a v_2 já calculado. Assim a

$$\left| \begin{array}{l} v_v = 0.03142\ m^3/Kg \longrightarrow p = 63\ Kgf/cm^2 \\ v_v = 0.03089\ m^3/Kg \longrightarrow p = 64\ Kgf/cm^2 \end{array} \right.$$

Interpolando, obtem-se:

$$p_2 = 63.6\ Kgf/cm^2$$

b) A lei da variação de pressão com o volume é:

$$p = p_1 + \frac{K}{A^2}\times(V - V_1)$$

e o trabalho vem dado por:

$$W = \int p dV = \int\left[p_1 + \frac{K}{A^2}\times(V - V_1)\right] dV$$

$$W = p_1(V_2 - V_1) + \frac{K}{A^2}\left[\frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) - V_1(V_2 - V_1)\right]$$

Necessitamos de determinar V_1 e $\frac{K}{A^2}$:

No estado inicial a $p = 3.5\ Kgf/cm^2$

$$\left| \begin{array}{l} v_l - 0.0010779\ m^3/Kg \\ v_v - 0.5338\ m^3/Kg \end{array} \right.$$

$$v_1 = (1 - x)v_l + xv_v$$

$$v_1 = (1 - 0.01)\times0.0010779 + 0.01\times0.5338$$

$$v_1 = 0.0064051\ m^3/Kg$$

$$V_1 = v_1\ m$$

$$V_I = 0.0064051 \times 4.5 = 0.0288 \ m^3$$

A pressão dentro do cilindro vem dada por:

$$p = p_i + \frac{K}{A^2} \times (V - V_i)$$

Aplicando a expressão da variação da pressão desde o ponto em que a mola está completamente estendida (0) (V=0 e p=0) até ao estado inicial (1):

$$p_1 = p_0 + \frac{K}{A^2} \times (V_1 - V_0)$$

como $p_0 = 0$ e $V_0 = 0$

$$p_1 = \frac{K}{A^2} \times V_1$$

$$3.5 \times 98 = \frac{K}{A^2} \times 0.0288$$

$$\frac{K}{A^2} = 11.9 \times 10^3 \ KN/m^5$$

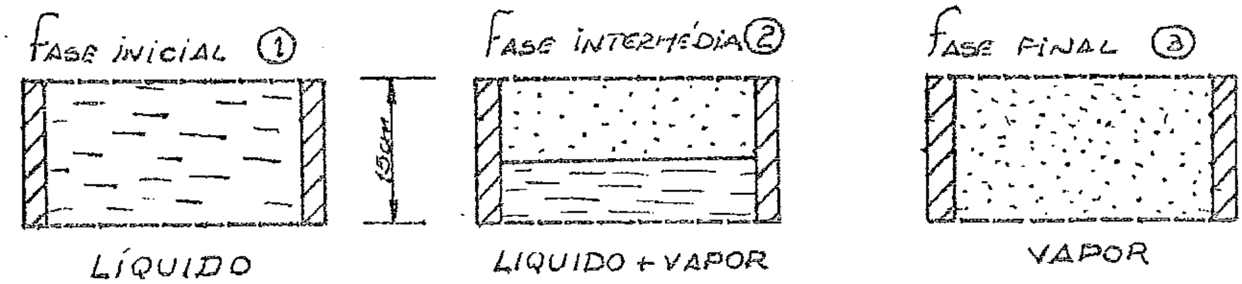
Substituindo estes valores na expressão do trabalho obtem-se:

$$W = 111.71 \ KJ$$

Para desenharmos o processo num diagrama T-v temos que determinar a pressão da água mal o êmbolo toque nos batentes, de modo a podermos saber se o processo termina nesse ponto (a pressão seria igual a p_2 já calculado na alínea anterior) ou se ainda continuará (pressão inferior a p_2) seguindo uma evolução do tipo V - c^{te}, uma vez que o êmbolo não pode subir mais. Para esse cálculo recorremos à expressão da pressão em função do volume entre o estado inicial e o ponto em que o êmbolo toca nos batentes:

$$p = p_1 + \frac{K}{A^2} \times (V - V_1)$$

em que: $K/A^2 = 11.9 \ 10^3 \ KN/m^5$
$p_1 = 3.5 \ Kgf/cm^2$
$V_1 = 0.0288 \ m^3$
$V = 0.14 \ m^3$



Dado que o processo se realiza, lentamente, a temperatura constante e dado que existe líquido e vapor em equilíbrio, então a pressão também se manterá constante ao longo de todo o processo. À medida que se vai retirando o líquido, por baixo, parte deste (na superfície líquido-vapor) vai vaporizando de forma a manter a pressão estabilizada. No final, o volume retirado estará totalmente preenchido por vapor. Assim:

$$\text{Massa}_{ret.} = M_{liq.}\Big|_1 - M_{vap.}\Big|_3$$

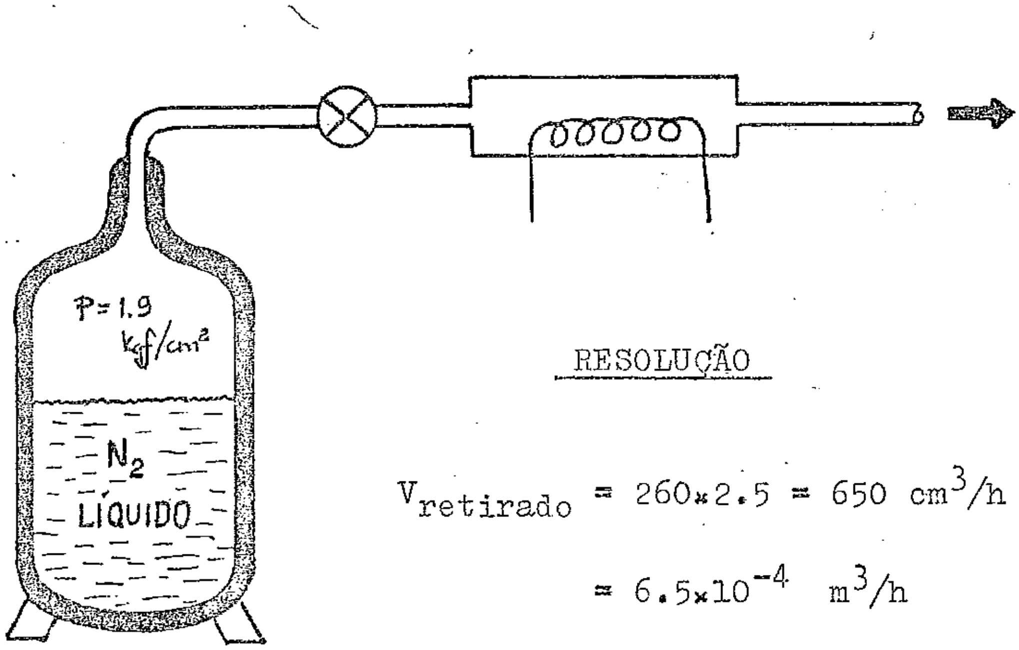
$$M_{ret.} = \frac{V_{liq.1}}{v'} - \frac{V_{vap.3}}{v''}$$

$$M_{ret.} = \frac{4.5\times10^{-3}}{0.7676\times10^{-3}} - \frac{4.5\times10^{-3}}{0.0263} = 5.69 \text{ Kg}$$

——— o O o ———

PROBLEMA 11 - Um recipiente com secção transversal de 260 cm^2 contem Azoto líquido à pressão de 1.9 Kgf/cm^2. Como resultado de uma transferência de calor para o recipiente, parte do Azoto líquido vaporiza a uma taxa tal que ao fim de uma hora o nível, de líquido desceu 2.5 cm. O vapor que deixa o recipiente isolado passa através de um aquecedor e deixa este último a 1.36 Kgf/cm^2 e -17.5 ^oC.

Calcule a descarga do aquecedor em m^3/h, assumindo comportamento de gás perfeito e compare-a com o resultado obtido, usando-se as tabelas do Azoto.



RESOLUÇÃO

$$V_{retirado} = 260 \times 2.5 = 650 \ cm^3/h$$

$$= 6.5 \times 10^{-4} \ m^3/h$$

Massa de líquido associada ao volume retirado de Azoto:

$$N_2 \begin{cases} 1.349 \ Kgf/cm^2 \text{ --- } v' = 1.258 \times 10^{-3} \ m^3/Kg \\ \text{P/ interpolação --- } 1.9 \ Kgf/cm^2 \text{ --- } v' = 1.2817 \times 10^{-3} \ m3/kg \\ 2.254 \ Kgf/cm^2 \text{ --- } v' = 1.297 \times 10^{-3} \ m^3/Kg \end{cases}$$

$$M_{liq.} = \frac{\dot{V}_{ret.}}{v'} = \frac{0.56 \times 10^{-4}}{1.2817 \times 10^{-3}} = 0.5071 \ Kg/h$$

Massa retirada será, pelas razões já apontadas no problema anterior, igual a:

$$M_{ret.} = M_{líq.} - M_{vap.}$$

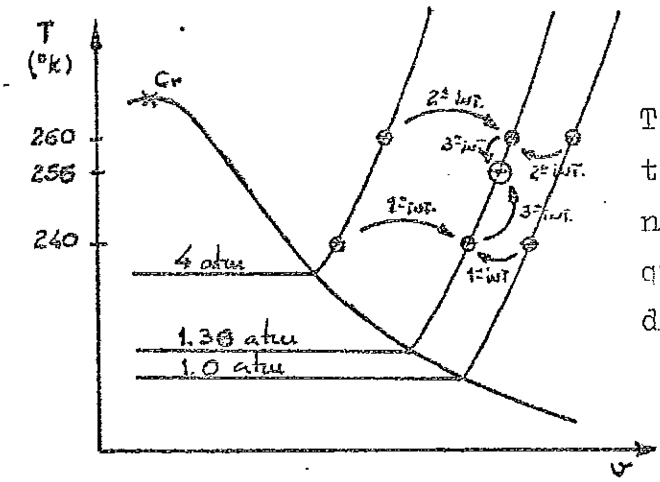
$$N_2 \begin{cases} 1.349 \ Kgf/cm^2 \text{ --- } v'' = 164.7 \times 10^{-3} \ m^3/Kg \\ \text{P/ interpolação --- } 1.9 \ Kgf/cm^2 \text{ --- } v'' = 126.678 \times 10^{-3} \ m^3/Kg \\ 2.254 \ Kgf/cm^2 \text{ --- } v'' = 102.2 \times 10^{-3} \ m^3/Kg \end{cases}$$

$$M_{vap} = \frac{\dot{V}_{ret}}{v''} = \frac{650 \times 10^{-6}}{126.678 \times 10^{-3}} = 0.00513 \quad Kg/h$$

$$M_{ret.} = 0.5071 - 0.00513 = 0.50197 \quad Kg/h$$

Quando sai do aquecedor o vapor sai sobreaquecido:

$- 17.5\ ^oC + 273.15 = 255.65\ ^oK \Rightarrow p_{sat} \simeq$ Superior à pressão crítica



Temos, portanto, de recorrer às tabelas de vapor sobreaquecido na posse das duas propriedades que nos definem o estado termodinâmico $\rightarrow$ 256 ^oK e 1.36 Kgf/cm^2.

N_2 1atm

240 ^oK	$\Rightarrow$	$v = 0.7023\ m^3/Kg$
P/ interpolação — 256 ^oK	$\Rightarrow$	$v = 0.7493\ m^3/Kg$
260 ^oK	$\Rightarrow$	$v = 0.7611\ m^3/Kg$

N_2 4atm

240 ^oK	$\Rightarrow$	$v = 0.1751\ m^3/Kg$
P/ interpolação — 256 ^oK	$\Rightarrow$	$v = 0.1869\ m^3/Kg$
260 ^oK	$\Rightarrow$	$v = 0.1899\ m^3/Kg$

N_2 256 ^oK

$$\begin{cases} 1\ atm — v = 0.7493\ m^3/Kg \\ P/\ interp. — 1.36\ atm — v = 0.67921\ m^3/Kg \\ 4\ atm — v = 0.1869\ m^3/Kg \end{cases}$$

Finalmente, para o caudal volúmico virá:

$$\dot{V} = \dot{M} \times v = 0.50197 \times 0.67921 = 0.34 \quad m^3/h$$

Utilizando, agora, a equação dos gases perfeitos:

$$P \times \dot{V} = \dot{M} \times R \times T$$

$$(R_{N_2} = 30.26 \ Kgf \times m/Kg \ ^oK)$$

$$\dot{V} = \frac{0.50197 \times 30.26 \times 256}{1.36 \times 10^4} = 0.286 \ m^3/h$$

NOTA: De reparar que este último calculo conduziu a um erro, no resultado, na ordem dos 15% por defeito. Lembremo-nos, no entanto, que este gás aproxima-se tanto mais do comportamento do gás perfeito quanto mais baixa for a sua pressão e mais elevada a sua temperatura e, implicitamente nessas condições, menor será o erro cometido ao considerar-se o gás em causa, como um gás perfeito.

o O o

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

TERMODINAMICA GERAL

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

SISTEMAS FECHADOS

(Problemas)

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

PROBLEMA 1 - Num motor Diesel, a pressão no fim da compressão é de 34 atm e o volume é de 0.0025 m^3. O processo de combustão desenvolve-se a pressão constante até que o volume ocupado pelo fluído de trabalho tenha duplicado. Até ao momento já tinham sido fornecidos 24 KJ de calor. Calcule a variação de energia interna sofrida pelo fluido de trabalho devida à combustão.

RESOLUÇÃO Da 1ª Lei podemos afirmar que:

$${}_1Q_2 - {}_1W_2 = U_2 - U_1$$

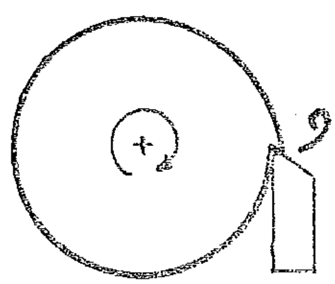
$${}_1Q_2 - p(V_2 - V_1) = U_2 - U_1$$

$$U_2 - U_1 = 24 - 34 \times 98 \times 0.0025 = 15.67 \text{ KJ}$$

——— o O o ———

PROBLEMA 2 - A força tangencial num buril de um torno quando máquina uma peça de 0.35 m de diâmetro é de 120 N. Após 10 minutos de operação a energia interna da peça e aparas aumentou de 200KJ. Se a velocidade de rotação da peça for de 200 r.p.m. , calcule o calor libertado pela peça e aparas naquele período de tempo.

RESOLUÇÃO De novo da 1ª Lei:



$${}_1Q_2 - {}_1W_2 = U_2 - U_1$$

Neste caso sabemos que o trabalho vale:

$_1W_2$ = Binário x Deslocamento angular

$$_1W_2 = \left(120 \times \frac{0.35}{2}\right) \times \left(\frac{2 \times \pi \times 200}{60} \times 10 \times 60\right) = 263900 \text{ J}$$

$$_1Q_2 - (-263900) = 200\,000$$

$$_1Q_2 = -63900 \text{ J} = -63.9 \text{ KJ}$$

———— o 0 o ————

PROBLEMA 3 - Um sistema recebe 180 KJ de calor a volume constante, rejeitando, de seguida, 200 KJ de calor à medida que recebe 50 KJ de trabalho a pressão constante.

a) Se for possível realizar um processo de forma a fazer voltar o sistema ao estado inicial, sem haver trocas de calor para ou do sistema, qual a quantidade de trabalho realizada pelo sistema durante esse processo?

b) Tomando a energia interna inicial como nula (zero), calcule a energia interna nos ontros dois pontos.

RESOLUÇÃO Como $Q - W = \Delta U$

De 1 para 2	$180 - 0$	$= U_2 - U_1$
" 2 " 3	$-200 - (-50)$	$= U_3 - U_1$
" 3 " 1	$0 - W$	$= U_1 - U_3$

$$(180 - 200) - (W - 50) = 0 \qquad \text{(Para o ciclo)}$$

$$W = 30 \text{ KJ}$$

PROBLEMA 4 - Um sistema A tem uma massa de 5 Kg, uma energia interna de 15 KJ, uma temperatura de 500 °K e move-se a uma velocidade de 100 m/s e altitude de 200 m acima do nível do mar.
Qual será a direcção do fluxo de calor quando o sistema é posto em contacto térmico com um sistema B com uma energia total de 950 KJ e uma temperatura de 499 °K, deslocando-se à mesma altura, velocidade e direcção ?

RESOLUÇÃO $\bar{E}_A = U_A + m_A \times g \times z_A + (1/2) \times m_A \times c_A^2$

$$E_A = 15 + 5 \times 9.81 \times 200 + 0.5 \times 5 \times (100)^2 = 49.81 \text{ KJ}$$

$$\left.\begin{array}{l} E_B = 950 \text{ KJ} \\ E_A = 50 \text{ KJ} \end{array}\right\} \Rightarrow E_B > E_A$$

No entanto o fluxo de calor ocorrerá de A para B dado que a redução do nível de temperatura se dá nesse sentido.

——— o O o ———

PROBLEMA 5 - Num recipiente fechado com o volume de 0.14 m³, um fluido exerce uma pressão de 10 bar a 250 °C. Se o recipiente for arrefecido até à pressão de 3.5 bar, determine para os dois casos, vapor e ar:

a) Temperatura final;
b) Calor transferido;
c) Variação de entalpia.

RESOLUÇÃO

Para o ponto (1) :

$V_1 = 0.14\ m^3$

$p_1 = 10\ bar = 100\ N/cm^2$

$T_1 = 250\ ^oC = 523.15\ ^oK$

Para o ponto (2) :

$V_2 = V_1 = 0.14\ m^3$

$p_2 = 3.5\ bar = 35\ N/cm^2$

a) I - VAPOR (H_2O)

Das tabelas obtemos:

T (^oC)	P (N/cm^2)	v (m^3/Kg)	h ($KJ/Kg\ ^oK$)
250	98.0665	0.2374	2940.808
250	100.0	0.2333	2940.065
250	117.6798	0.1963	2933.272

Como $v_2 = v_1$ e recorrendo às tabelas para 35 N/cm^2 verificamos que o sistema se encontra no patamar de saturação àquela pressão, assim a temperatura final será, no caso de vapor:

P (N/cm^2)	$T_{sat.}$ (^oC)
34.32328	138.19
35.0	138.87
35.30394	139.18

$$T_2 = 138.87\ ^oC = 412.02\ ^oK$$

II - AR (Considerado gás perfeito)

$R_{ar} = 0.287\ KJ/KG\ ^oK$

$Cp_{ar} = 1.005\ KJ/Kg\ ^oK$

$$\frac{p_1 \times V_1}{p_2 \times V_2} = \frac{M \times R \times T_1}{M \times R \times T_2} \qquad T_2 = T_1 \times \frac{p_2}{p_1}$$

$$T_2 = (273.15 + 250) \times \frac{3.5}{10} \qquad T_2 = 183.10\ {}^{o}K$$

b) I - VAPOR

Da primeira lei da Termodinâmica sabemos que, para um sistema:

$${}_1Q_2 - {}_1W_2 = U_2 - U_1$$

Como o trabalho,entre os dois estados em causa, é nulo pois não há variação da fronteira do sistema teños que a equação anterior se simplifica e assim:

$${}_1Q_2 = U_2 - U_1 = m \times (u_2 - u_1)$$

O nosso problema resume-se agora à determinação dos valores da propriedade "energia interna" nos estados 1 e 2 . Esses valores serão obtidos através da definição da propriedade entalpia:

$$h_1 = u_1 + p_1 v_1 \qquad u_1 = h_1 - p_1 v_1$$

$$h_2 = u_2 + p_2 v_2 \qquad u_2 = h_2 - p_2 v_2$$

p (N/cm^2)	v' (m^3/Kg)	v" (m^3/Kg)	h' (KJ/Kg)	h" (KJ/Kg)
34.32328	0.0010779	0.5338	581.547	2731.468
35.00	0.0010786	0.5242	584.436	2732.335
35.30394	0.0010789	0.5199	585.733	2732.724

Para conhecermos os valores no ponto dois necessitamos de conhecer o título:

$$v_2 = v_1 = 0.2333 \ m^3/Kg$$

$$x_2 = \frac{v_2 - v'}{v'' - v'} = \frac{0.2333 - 0.0010786}{0.5242 - 0.0010786} = 0.444$$

$$h_2 = (1 - 0.444)*584.436 + 0.444*2732.335 = 1538.103 \quad KJ/Kg$$

$$u_2 = 1538.103 - 350*0.2333 = 1456.448 \quad KJ/Kg$$

$$u_1 = 2940.065 - 10^3*0.2333 = 2706.765 \quad KJ/Kg$$

Para a obtenção do valor do calor posto em jogo restanos apenas determinar a massa existente no sistema:

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.14}{0.2333} = 0.6 \quad Kg$$

Finalmente;

$$_1Q_2 = m*(u_2 - u_1) = 0.6*(1456.448 - 2706.765) = - 750.190 \ KJ$$

II - AR

Da mesma forma que para o caso do vapor, a expressão da 1ª lei reduz-se a:

$$_1Q_2 = U_2 - U_1 = m*(u_2 - u_1)$$

Como neste problema consideramos o ar como um gás perfeito, podemos afirmar que a energia interna é apenas função da temperatura e que a sua variação pode ser contabilizada pela expressão:

$$u_2 - u_1 = C_v*(T_2 - T_1)$$

$$C_v = C_p - R = 1.005 - 0.287 = 0.718 \quad KJ/Kg\ ^oK$$

$$m = \frac{p_1 \times V_1}{R \times T_1} = \frac{10 \times 10^2 \times 0.14}{0.287 \times 523.15} = 0.932 \quad Kg$$

$$_1Q_2 = m \times C_v \times (T_2 - T_1) = 0.932 \times 0.718 \times (183.10 - 523.15)$$

$$_1Q_2 = -227.533 \quad KJ$$

c) I - VAPOR

$$H_2 - H_1 = m \times (h_2 - h_1)$$

$$H_2 - H_1 = 0.6 \times (1538.103 - 2946.065) = -841.177 \quad KJ$$

II - AR

$$H_2 - H_1 = (U_2 + p_2 \times V_2) - (U_1 + p_1 \times V_1)$$

$$H_2 - H_1 = (U_2 - U_1) + V(p_2 - p_1)$$

$$H_2 - H_1 = -227.553 + 0.14 \times (3.5 - 10) \times 10^2$$

$$H_2 - H_1 = -314.158 \quad KJ$$

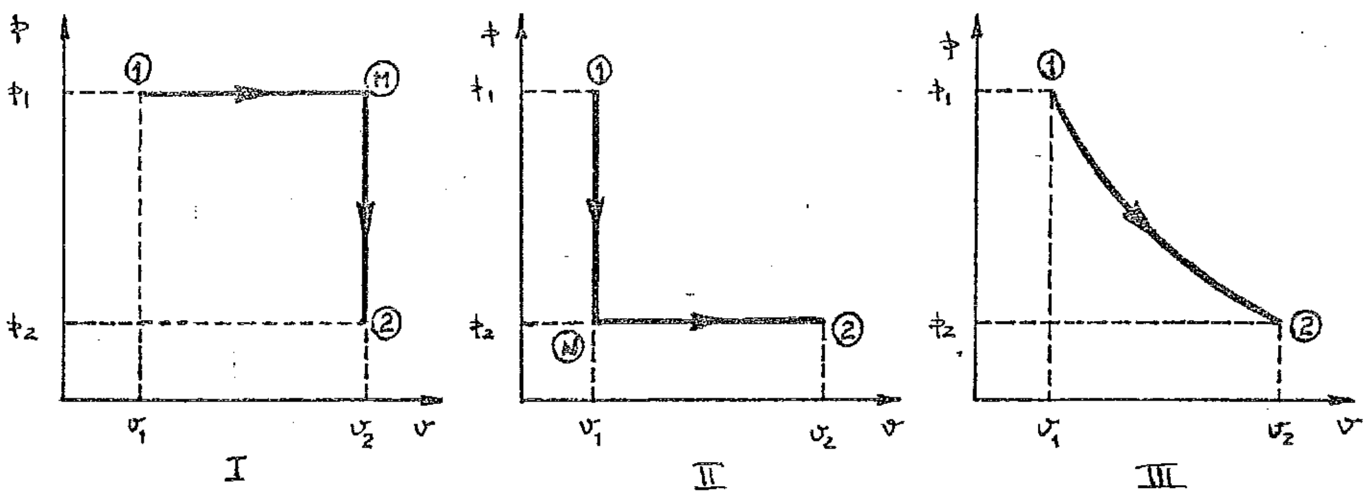
o O o

PROBLEMA 6 - Uma massa de gás perfeito à pressão de 2 bar, ocupando um volume de 6 m^3, é aquecido, evoluindo segundo três processos diferentes indicados na figura, até ocupar um volume de 12 m^3, à pressão de 1 bar. Determine, para cada processo:

a) Trabalho realizado;

b) Quantidade de calor necessária;

c) Variações de energia interna e de entalpia.



RESOLUÇÃO

a) - I

$$\left.\begin{array}{l} {}_1W_2 = {}_1W_M + {}_MW_2 \\ {}_MW_2 = 0 \quad (dV=0) \end{array}\right\} \quad {}_1W_2 = p_1 \times (V_2 - V_1)$$

$${}_1W_2 = 2\times10^5 \times (12 - 6) = 12\times10^5 \text{ J}$$

- II

$${}_1W_2 = {}_1W_N + {}_NW_2$$

$$_1W_N = 0 \quad (dV = 0)$$

$$_1W_2 = {}_NW_2 = p_2 * (V_2 - V_1) = 10^5 * (12 - 6) = 6*10^5 \text{ J}$$

\- (III) .

$$_1W_2 = p_1 * V_1 * \ln \frac{V_2}{V_1} = 2*10^5 * 6 * \ln \frac{12}{6} = 8.32*10^5 \text{ J}$$

NOTA: De notar que os resultados obtidos estão de acordo com as representações das evoluções no diagrama P-v . Dada a definição de trabalho, o seu valor é dado pela área abaixo da linha do processo no diagrama P-v e assim fácilmente se observa que as áreas, no nosso caso, são por ordem decrescente: I ; III ; II.

b) Da aplicação da 1ª lei sabemos que:

$$_1Q_2 - {}_1W_2 = U_2 - U_1 \qquad \text{donde}$$

$$_1Q_2 = {}_1W_2 + (U_2 - U_1)$$

Em virtude de já conhecermos o valor do trabalho em cada um dos casos, restanos determinar a variação da energia interna para assim obtermos o valor do calor posto em jogo. Como o sistema é constituído por um gás perfeito, podemos afirmar:

$$U_2 - U_1 = m * C_v * (T_2 - T_1)$$

Por outro lado, sabendo que os pontos 1 e 2 são os mesmos para os três casos e que uma das evoluções é uma isotérmica, isso implica que para todos os casos $T_1 = T_2 =$ Cte. Daí que:

$$U_2 - U_1 = 0 \qquad \text{donde} \qquad {}_1Q_2 = {}_1W_2$$

– (I) $\quad {}_1Q_2 = {}_1W_2 = 12 \times 10^5 \text{ J}$

– (II) $\quad {}_1Q_2 = {}_1W_2 = 6 \times 10^5 \text{ J}$

– (III) $\quad {}_1Q_2 = {}_1W_2 = 8.32 \times 10^5 \text{ J}$

c) As variações de energia interna são nulas pois que, como já foi dito, para os gases perfeitos a energia interna é somente função da temperatura e como, neste caso, $T_1 - T_2$ a energia interna permanece constante.

$$H_2 - H_1 = (U_2 + p_2 \times V_2) - (U_1 + p_1 \times V_1)$$

$$H_2 - H_1 = (U_2 - U_1) + (p_2 \times V_2) - (p_1 \times V_1)$$

Mas como $T_1 = T_2$ implica que a variação de energia interna seja nula e como, por outro lado:

$$T = \text{Cte} \Rightarrow p \times V = \text{Cte} \Rightarrow p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$$

temos finalmente que: (Para os três casos)

$$H_2 - H_1 = 0$$

PROBLEMA 7 - É fornecido calor a 0.45 Kg de água líquida, contida num cilindro com pistão, inicialmente a 16 atm e 195 °C. O líquido é convertido em vapor, e expandido até uma atmosfera, durante um processo isotérmico reversível. Determine:

a) Variação de volume;
b) Calor fornecido;
c) Trabalho realizado.

RESOLUÇÃO

Das tabelas de vapor de água obtemos:

p (atm)	T (°C)	v (m^3/Kg)	h (KJ/Kg)
14	180	0.0011270	763.254
14	195	0.0011491	830.138
14	200	0.0011565	852.432
1	180	2.119	2835.301
1	195	2.190	2864.818
1	200	2.214	2874.657

a)

$$V_2 - V_1 = m \times (v_2 - v_1) = 0.45 \times (2.190 - 0.0011491)$$

$$V_2 - V_1 = 0.985 \quad m^3$$

b)

$$_1Q_2 - {}_1W_2 = U_2 - U_1$$

$$ {}_1Q_2 = U_2 - U_1 + {}_1W_2 $$

$$ {}_1Q_2 = m \times {}_1q_2 \qquad {}_1Q_2 = m \times \left[(u_2 - u_1) + {}_1w_2\right] $$

$$ u_2 - u_1 = (h_2 - p_2\,v_2) - (h_1 - p_1\,v_1) $$

$$ u_2 - u_1 = (2864.818 - 98 \times 2.190) - (830.138 - 16 \times 98 \times 0.0011491) $$

$$ u_2 - u_1 = 1821.862 \quad KJ/Kg $$

$$ {}_1w_2 = p_1 \times v_1 \times \ln \frac{v_2}{v_1} = 16 \times 98 \times 0.0011491 \times \ln \frac{2.190}{0.0011491} $$

$$ {}_1w_2 = 13.608 \quad KJ/Kg $$

Finalmente:

$$ {}_1Q_2 = 0.45 \times (1821.862 - 13.608) = 825.96 \quad KJ $$

c)

$$ {}_1W_2 = m \times {}_1w_2 $$

$$ {}_1W_2 = 0.45 \times 13.608 $$

$$ {}_1W_2 = 6.124 \quad KJ $$

PROBLEMA 8 - Num dado sistema 0.9 Kg de fluido, inicialmente a 16 atm e 250 °C, expandem-se isentropicamente até 1.5 atm. Determine, para os dois casos, vapor e ar:

a) Temperatura final;

b) Trabalho realizado.

RESOLUÇÃO A evolução ser isentropica implica que a propriedade entropia (S) se mantem constante ao longo de todo o processo e, dado a definição de entropia, que não existem trocas de calor com a vizinhança do sistema. Das tabelas podemos também obter os valores tabelados da entropia para um dado estado de uma substância, nomeadamente o vapor de água.

a) - VAPOR

H_2O $\quad p_1 = 16$ atm, $T_1 = 250$ °C $\Rightarrow$ $v_1 = 0.1447$ m³/Kg, $h_1 = 2917.781$ KJ/Kg $\quad s = 6.6784$ KJ/Kg °K

Em virtude de a evolução ser isentropica $s_2 = s_1$ e na posse da pressão final já posso determinar a temperatura final:

$p_2 = 1.5$ atm :

$v' = 0.0010522$ m³/Kg	$h' = 464.693$ KJ/Kg	$s' = 1.4273$ KJ/Kg °K
$v'' = 1.181$ m³/Kg	$h'' = 2692.531$ KJ/Kg	$s'' = 7.2298$ KJ/Kg °K

como $s' < s_2 = 6.6784$ KJ/Kg °K $< s''$ podemos concluir que a temperatura final do vapor é a temperatura de saturação correspondente à pressão de 1.5 atm, ou seja, 110.79 °C.

- AR Para os gases perfeitos a evolução ser adiabática implica que ela pode ser expressa pela equação:

$$p \times V^{K} = Cte \qquad K = \gamma \qquad \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

No caso particular do ar vem para γ o valor de

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{1.005}{0.718} = 1.4$$

Assim, no nosso problema, teremos:

$$\left.\begin{array}{l} p \times V^{1.4} = Cte \\ p \times V = M \times R \times T \end{array}\right\} \Rightarrow T \times p^{\left(\frac{1-k}{k}\right)} = Cte$$

$$T_1 \times p_1^{\left(\frac{1-k}{k}\right)} = T_2 \times p_2^{\left(\frac{1-k}{k}\right)} \qquad T_2 = T_1 \times \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\left(\frac{1-k}{k}\right)}$$

$$T_2 = (250 + 273.15) \times \left(\frac{16}{1.5}\right)^{(-0.4/1.4)} = 266.014\ {}^{o}K$$

b) - VAPOR

$$\left.\begin{array}{l} {}_1Q_2 - {}_1W_2 = U_2 - U_1 \\ {}_1Q_2 = 0 \quad \text{(isentropica)} \end{array}\right\} \quad {}_1W_2 = U_1 - U_2$$

$${}_1W_2 = m \times (u_1 - u_2) = m \times \left[(h_1 - h_2) + p_2\, v_2 - p_1\, v_1\right]$$

Para determinarmos as propriedades no estado final necessitamos conhecer o título, o que podemos já fazê-lo:

$$x_2 = \frac{6.6784 - 1.4273}{7.2298 - 1.4273} = 0.905$$

$$h_2 = (1 - 0.905)\times 464.693 + 0.905\times 2692.531 = 2480.886 \quad KJ/Kg$$

$$v_2 = (1 - 0.905)\times 0.0010522 + 0.905\times 1.181 = 1.069 \quad m^3/Kg$$

$${}_1W_2 = 0.9\left[(2917.781 - 2480.886) + 1.5\times 98\times 1.069 - 16\times 98\times 0.1447\right]$$

$${}_1W_2 = 330.434 \quad KJ$$

AR

$${}_1W_2 = \frac{p_2\times V_2 - p_1\times V_1}{1 - k} = \frac{M\times R}{1-k}\times(T_2 - T_1)$$

$${}_1W_2 = \frac{0.9\times 0.287}{1 - 1.4}\times(266.014 - 523.15) = 166.046 \text{ KJ}$$

——— o O o ———

PROBLEMA 9 - Um calorímetro tipo bomba é usado para medir a energia libertada por uma certa reacção química. O calorímetro é um recipiente fechado contendo as substâncias químicas e localizado num grande tanque de água. Quando as substâncias químicas reagem é transferido calor da bomba para a água, fazendo a temperatura desta subir. A potência de accionamento de um agitador usado para agitar a água é de 0.06 HP. Num período de 20 minutos o calor transferido da bomba é de 300 Kcal e o calor transferido da água para o meio é de 15 Kcal. Assumindo que não há evaporação da água, determinar o aumento de energia interna da água.

RESOLUÇÃO Sistema água: $\;_1Q_2 - \;_1W_2 = U_2 - U_1$

$\;_1Q_2 = 300 - 15 = 275$ Kcal

$\;_1\dot{W}_2 = 0.06 \times 0.17555 = 0.010533$ Kcal/s

$\;_1W_2 = 0.010533 \times 20 \times 60 = 12.63$ Kcal

Nota: $\left.\begin{array}{l} 1 \text{ HP} = 75 \text{ Kgm/s} = 0.735 \text{ KW} \\ 1 \text{ Kcal} = 4.1868 \text{ KJ} \end{array}\right\} \Rightarrow 1 \text{ HP} = 0.17555 \text{ Kcal/s}$

$$U_2 - U_1 = 275 - (-12.63) = 287.63 \text{ Kcal}$$

——————— o O o ———————

PROBLEMA 10 - Uma caldeira de vapor tem um volume total de 2.270 m3. Ela contem, inicialmente 1.200 m3 de vapor em equilíbrio a 1 Kgf/cm2. A caldeira é posta em funcionamento e calor é então transferido para a água e vapor na caldeira. Por razões várias as valvulas de admissão e de descarga da caldeira são deixadas fechadas. Sabendo que a valvula de descarga de segurança actua quando a pressão atinge os 55 Kgf/cm2, determine a quantidade de calor que foi transferida para a água até ao momento em que a referida valvula operou.

RESOLUÇÃO Facilmente se identifica um processo a volume constante, daí que

$$_1W_2 = 0 \qquad _1Q_2 = U_2 - U_1$$

Das tabelas de vapor de água obtemos:

$p_1 = 1$ Kgf/cm2	$v' = 0.0010428$ m3/Kg	$h' = 415.289$ KJ/Kg
	$v'' = 1.725$ m3/Kg	$h'' = 2674.528$ KJ/Kg

Dado que temos líquido e vapor em equilíbrio podemos afirmar que:

$$V_t = V_l + V_v \qquad V_l = V_t - V_v = 2.27 - 1.7 = 0.57 \text{ m3}$$

$$M_l = \frac{V_l}{v'} = \frac{0.57}{0.0010428} = 546.605 \text{ Kg}$$

$$M_v = \frac{V_v}{v''} = \frac{1.7}{1.725} = 0.986 \text{ Kg}$$

$$M_{total} = M_l + M_v = 546.605 + 0.986$$

$$M_{total} = 547.59 \text{ Kg}$$

$$v = \frac{V_t}{M_t} = \frac{2.27}{547.59} = 0.004145 \text{ m3/Kg}$$

$$x = \frac{0.004145 - 0.0010428}{1.725 - 0.0010428} = 0.0018$$

$$h_1 = (1 - 0.0018) \times 415.298 + 0.0018 \times 2674.528 = 419.365 \text{ KJ/Kg}$$

De novo das tabelas:

H_2O	$\Rightarrow$	$v' = 0.0012986$ m3/Kg	$h' = 1178.584$ KJ/Kg
$p = 55$ Kgf/cm2		$v'' = 0.03639$ m3/Kg	$h'' = 2790.921$ KJ/Kg

Devido à evolução ser isocórica podemos desde já calcular o título final e, consequentemente, a entalpia e energia interna nesse estado.

$$x_2 = \frac{0.004145 - 0.0012986}{0.03639 - 0.0012986} = 0.081 \; ; \; x_2 = 8.1\ \%$$

$$h_2 = (1 - 0.081) \times 1178.584 + 0.081 \times 2790.921 = 1309.183 \text{ KJ/Kg}$$

Da 1ª lei temos que:

$${}_1Q_2 - \underbrace{\cancel{{}_1W_2}}_{=0} = U_2 - U_1 + \tfrac{1}{2} \times m \times \underbrace{\cancel{(c_2 - c_1)}}_{=0} + m \times g \times \underbrace{\cancel{(z_2 - z_1)}}_{=0}$$

$${}_1Q_2 = U_2 - U_1 = m \times (u_2 - u_1)$$

$$u_1 = h_1 - p_1 \times v_1 = 419.365 - 98 \times 0.004145 = 418.959 \text{ KJ/Kg}$$

$$u_2 = h_1 - p_2 \times v_2 = 1309.183 - 55 \times 98 \times 0.004145 = 1286.842 \text{ KJ/Kg}$$

$${}_1Q_2 = 547.59 \times (1286.842 - 418.959)$$

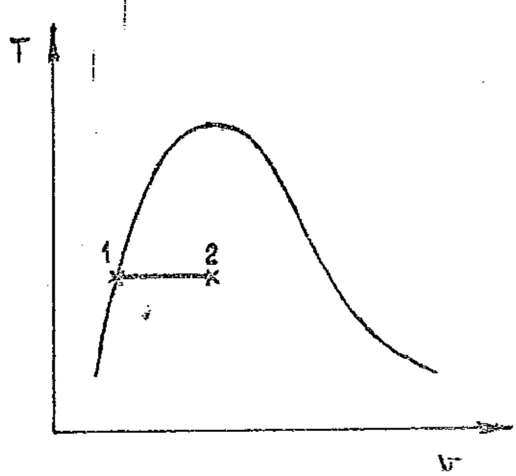
$${}_1Q_2 = 475.2 \text{ MJ}$$

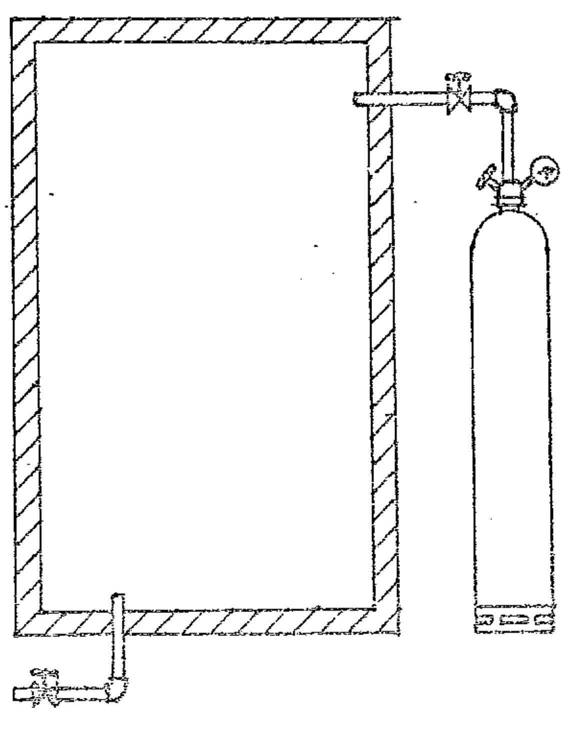
o O o

PROBLEMA 11 - Pretende-se carregar um tanque com amónia. Como o tanque está inicialmente em vácuo, ao ligar-se uma garrafa de enchimento com amónia no estado líquido saturado a 27 °C , esta escoa-se para dentro daquele. No final a garrafa permanece ligada ao tanque (valvula aberta) sendo a temperatura final de 27 °C . Sabendo que a garrafa tem um volume de 14dm3 e o tanque de 420 dm3, determine qual a quantidade de calor transferida para a amónia.

RESOLUÇÃO Para se poder resolver este problema teremos de considerar o conjunto formado pela garrafa mais o tanque como o nosso sistema. Deste modo não há variação da fronteira entre os estados inicial e final e assim garantimos que o trabalho posto em jogo na evolução é nulo. Como não há variações de energia cinética e potencial, a expressão da 1ª lei reduz-se a:

$${}_1Q_2 = U_2 - U_1$$





Das tabelas da amónia tiramos os seguintes valores:

T_{sat}-27 °C $\Rightarrow$

v' = 0.0016672 m3/Kg	h' = 545.917 KJ/Kg
v" = 0.1209 m3/Kg	h" =1704.153 KJ/Kg

No nosso sistema e no estado inicial temos:

$$m_i = \frac{V_i}{v_i} = \frac{14 \times 10^{-3}}{0.0016672} = 8.397 \text{ Kg}$$

E no estado final temos:

$$v_i = \frac{V_i}{m} = \frac{(420 + 14) \times 10^{-3}}{8.397} = 0.005168 \text{ m3/Kg}$$

Da observação dos valores correspondentes a este patamar con clui-se que continuamos no patamar e assim:

$$x_f = \frac{0.005168 - 0.0016672}{0.1209 - 0.0016672} = 0.0294$$

$$h_f = (1 - 0.029) \times 545.917 + 0.029 \times 1704.153 = 579.506 \text{ KJ/Kg}$$

Finalmente, teremos:

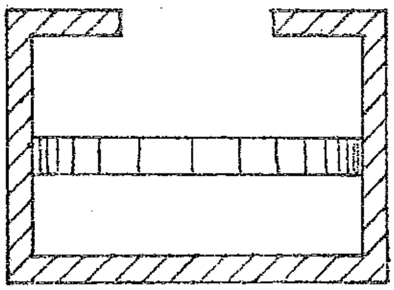
$$u_i = h_i - p_i \times v_i = 545.917 - 10.87 \times 98 \times 0.0016672 = 544.141 \text{ KJ/Kg}$$

$$u_f = h_f - p_f \times v_f = 579.506 - 10.87 \times 98 \times 0.005186 = 573.982 \text{ KJ/Kg}$$

$$_iQ_f = m \times (u_f - u_i) = 8.397 \times (573.982 - 544.141)$$

$$_iQ_f = 250.58 \text{ KJ}$$

PROBLEMA 12 - 2.3 Kg de água a 15 °C estão contidos num cilindro vertical por um êmbolo sem atrito que tem uma massa tal que a pressão da água é 6.0 Kgf/cm2 Transfere-se, lentamente, calor para a água fazendo com que o êmbolo suba no cilindro até atingir os batentes quando, então, o volume interno do cilcindro é de 0.425 m^3. Continua-se a fornecer calor à água até que seja atingido um estado de vapor saturado.



a) Determine a pressão final no cilindro, o calor fornecido ao sistema e o trabalho realizado durante o processo.

b) Mostre o processo num diagrama T - v .

RESOLUÇÃO Quando o êmbolo atinge os batentes o volume específico da água vale:

$$v_2 = \frac{V_2}{M} = \frac{0.425}{2.3} = 0.1847 \quad m^3/Kg$$

A partir deste ponto a evolução passa a ser isocorica e daí que a pressão final seja aquela para a qual o volume especifiho de vapor saturado seja 0.1847 m3/kg.

$$p_3 = 10.8 \quad Kgf/cm^2$$

Para determinar o calor e trabalho posto em jogo em todo o processo recorremos à 1ª lei e assim:

$${}_1Q_2 - {}_1W_2 = U_3 - U_1$$

$${}_1Q_3 - {}_1W_2 = U_3 - U_1$$

$${}_1W_3 = {}_1W_2 + \underbrace{\cancel{{}_2W_3}}_{=0}$$

Como a evolução entre o estado 1 e o estado 2 processa-se a pressão constante imediatamente se pode calcular o trabalho:

$$ {}_1W_2 = \int p\, dV = m \times p \times (v_2 - v_1) $$

Recorrendo às tabelas sabemos o valor para v_1:

$p = 6\ Kgf/cm^2$:

$T\ (^oC)$	$v\ (m^3/Kg)$	$h\ (KJ/Kg)$
0	0.000999	0.419
15	0.0010010	63.535
20	0.0010016	84.573

Donde:

$$ {}_1W_2 = 2.3 \times 6 \times 98 \times (0.1847 - 0.0010010) $$

$$ {}_1W_2 = 248.435\ KJ/Kg $$

$$ u_1 = h_1 - p_1 \times v_1 = 63.535 - 6 \times 98 \times 0.0010010 = 62.946\ \ KJ/Kg $$

Para o ponto 3:

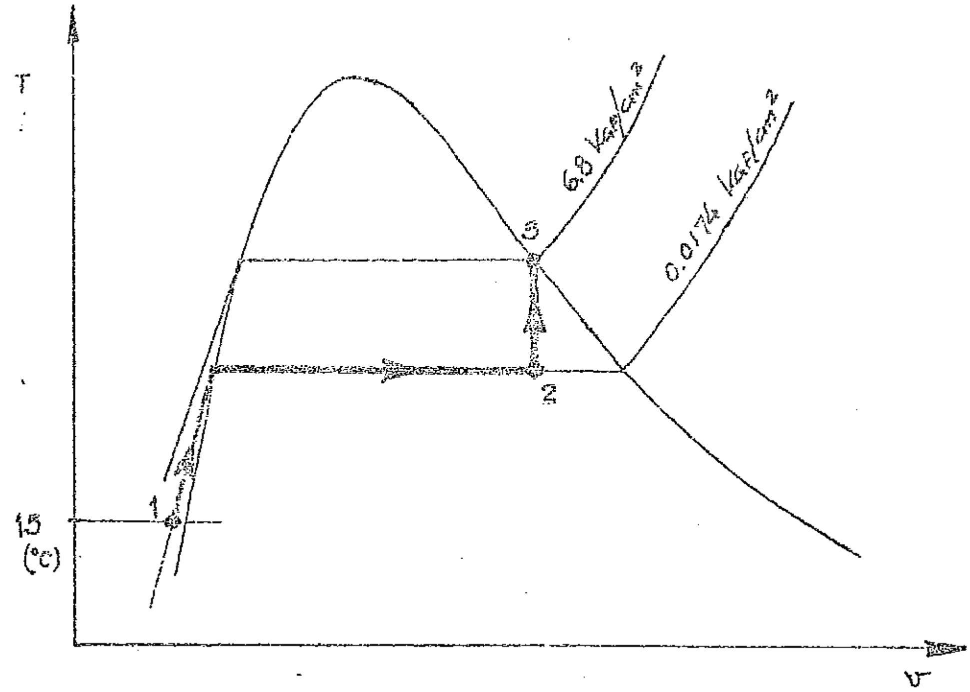
$p_{sat}\ (Kgf/cm^2)$	$h''\ (KJ/Kg)$
10.5	2778.779
10.8	2779.784
11.0	2780.454

$$ u_3 = h_3 - p_3 \times v_3 = 2779.784 - 10.8 \times 98 \times 0.1847 = 2584.298\ KJ/Kg $$

$$ U_3 - U_1 = 2.3 \times (2584.298 - 62.946) = 5799.108\ KJ $$

$$ {}_1Q_3 = U_3 - U_1 + {}_1W_3 = 5799.108 + 248.435 = 6047.543\ \ KJ $$

b)



o O o

PROBLEMA 13 - 1600 KJ de calor são transferidos par 1 m^3 de ar a 14 bar e 200 °C. Determine:

a) A temperatura e pressão final se o volume permanece constante.

b) A temperatura e volume final se a pressão se mantem constante.

c) Após qual dos processos é que a energia interna apresenta maior valor?

d) Quando o ar se expande isotermicamente até à pressão de 7 bar, qual é o volume final? E o valor da energia interna?

- Considere o ar como um gás perfeito e admita que nesta gama de temperaturas os calores específicos são constantes.

C_p = 1.005 KJ/Kg °K   R = 0.287 KJ/Kg °K

RESOLUÇÃO a) $_1Q_2 = \underbrace{\cancel{_1W_2}}_{=0} = U_2 - U_1$

$$U_2 - U_1 = m \times C_v \times (T_2 - T_1) \qquad T_2 = T_1 + \frac{_1Q_2}{m \times C_v}$$

$$m = \frac{p_1 \times V_1}{R \times T_1} = \frac{14 \times 10^5 \times 1}{287 \times 473} = 10.313 \text{ Kg}$$

$$T_2 = 473 + \frac{1800}{10.313 \times 0.718} = 716.09 \ {}^oK = 443 \ {}^oC$$

$$\left.\begin{matrix} P \times V = M R T \\ V_1 = V_2 \end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \qquad p_2 = p_1 \times \frac{T_2}{T_1}$$

$$p_2 = 14 \times 10^5 \times \frac{716.09}{473} = 21.195 \text{ bar}$$

b) Em virtude de a pressão se manter constante e por definição de calor específico a pressão constante:

$$_1Q_2 = m \times C_p \times (T_2 - T_1) \qquad T_2 = T_1 + \frac{_1Q_2}{m \ C_p}$$

$$T_2 = 473 + \frac{1800}{10.313 \times 1.005} = 646.7 \ {}^oK = 373.5 \ {}^oC$$

$$\left.\begin{matrix} P V = M R T \\ p_1 = p_2 \end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \qquad V_2 = \frac{T_2}{T_1} \times V_1$$

$$V_2 = 1 \times \frac{646.7}{473} = 1.37 \ m^3$$

c) No 1º processo:

$$V_1 = V_2 \quad \Longrightarrow \quad {}_1W_2 = 0 \quad \Longrightarrow \quad {}_1Q_2 = U_2 - U_1$$

$${}_1Q_2 = 1800 \text{ KJ}$$

No 2º processo:

$${}_1W_2 = p \times (V_2 - V_1) = 14 \times 10^5 \times (1.37 - 1) = 5.18 \times 10^5 \text{ J}$$

$$U_2 - U_1 = {}_1Q_2 - {}_1W_2 = 18 \times 10^5 - 5.18 \times 10^5 = 1280 \text{ KJ}$$

Nota: No primeiro processo a variação de energia interna experimentada pela sistema é maior dado que todo o calor fornecido é canalizado para o aumento daquela propriedade, ao passo que no segundo processo parte dessa energia é gasta no trabalho de expansão realizado pelo sistema.

d)

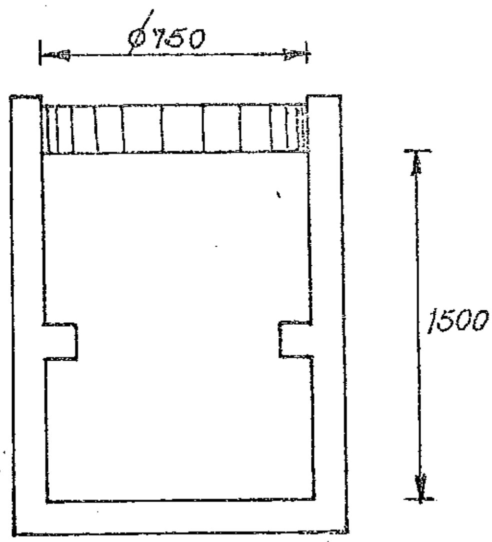
$$\left.\begin{aligned} p \times V &= M \times R \times T \\ T_1 &= T_2 \end{aligned}\right\} \quad p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2 \qquad V_2 = \frac{p_1 \times V_1}{p_2}$$

$$V_2 = \frac{14}{7} \times V_1$$

O volume final é o dobro do volume inicial. $V_2 = 2 \text{ m}^3$

A energia interna, para os gases perfeitos, num processo isotérmico permanece constante pois $u = u(T)$ e assim a energia interna final é igual à inicial.

PROBLEMA 14 - A figura representa um cilindro contendo vapor de água a 5 atm e 600 °C, em equilíbrio:



a) Determine o trabalho recebido pelo sistema quando o êmbolo desce até assentar nos limitadores (que estão a meia altura) em virtude da transmissão de calor para o exterior.

b) Qual é o valor do calor cedido ao exterior?

c) Qual é a variação da energia interna da água.

d) Represente o processo nos diagramas T - v e P - v.

RESOLUÇÃO a) Por definição de trabalho:

$$_1W_2 = \int p\, dv = p \int dv = p \times (V_2 - V_1)$$

$$V_2 = \frac{V_1}{2} \quad \Rightarrow \quad _1W_2 = -p \times \frac{V_1}{2}$$

$$V_1 = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L = \frac{3.14159 \times (0.75)^2}{4} \times 1.5 = 0.663 \text{ m}^3$$

$$_1W_2 = -5 \times 1.013 \times 10^5 \times \frac{0.663}{2} = -1.68 \times 10^5 \text{ J}$$

b) Da aplicação da 1ª lei ao nosso sistema vem:

$$_1Q_2 - {_1W_2} = U_2 - U_1$$

mas, como já vimos, para o trabalho temos:

$$_1W_2 = p*(V_2 - V_1) = p*V_2 - p*V_1 \quad \text{donde}$$

$$_1Q_2 = p*V_2 - p*V_1 + U_2 - U_1 \quad \text{ou rearranjando}$$

$$_1Q_2 = (U_2 + p\,V_2) - (U_1 + p\,V_1) = H_2 - H_1$$

Para calcular o calor libertado basta retirar os valores de h_1 e h_2 das tabelas.

$$H_2O \Rightarrow \left| \begin{array}{l} p = 5 \text{ atm} \\ T = 600\ ^oC \end{array} \right. \Longrightarrow \left| \begin{array}{ll} h_1 = 3701.55 & KJ/Kg \\ v_1 = 0.8198 & m^3/Kg \end{array} \right.$$

No estado final apenas conhecemos uma propriedade do sistema, ou seja,a pressão que se manteve constante em todo o processo. No entantto podemos determinar o volume específico:

$$M = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.663}{0.8198} = 0.809 \text{ Kg}$$

$$v_2 = \frac{V_2}{M} = \frac{0.332}{0.809} = 0.4103 \ m^3/Kg$$

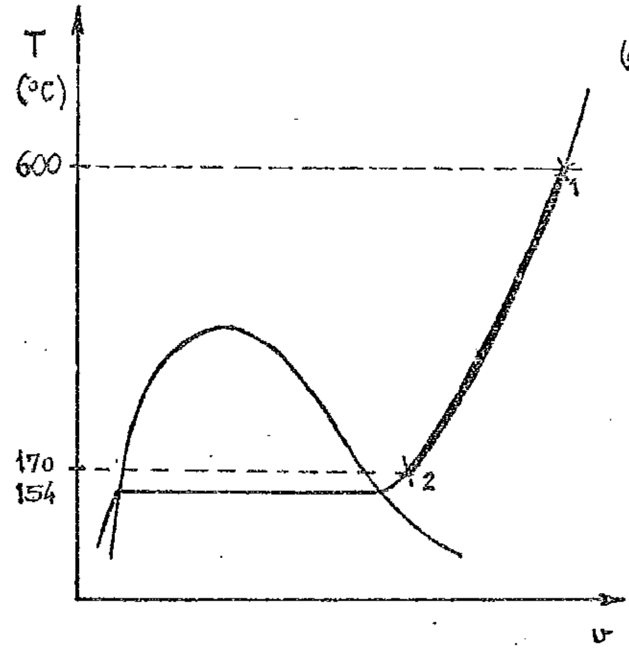
Das tabelas da água a 5 atm tira-se que:

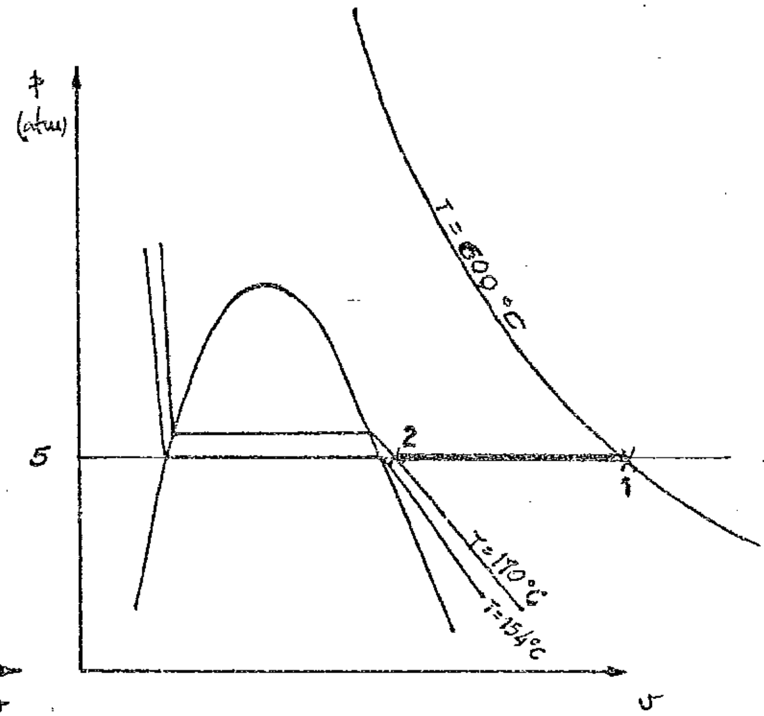
$v\,(m^3/Kg)$	$h\,(KJ/Kg)$
0.3917	2768.731
0.4103	2807.298
0.4127	2812.274

$${}_1Q_2 = m\times(h_2 - h_1) = 0.809\times(2807.298 - 3701.55) = -723.449 \text{ KJ}$$

c) $U_2 - U_1 = {}_1Q_2 - {}_1W_2 = -7.24\ 10^5 - (-1.68\ 10^5)$

$$U_2 - U_1 = -5.56\ 10^5 \text{ J}$$

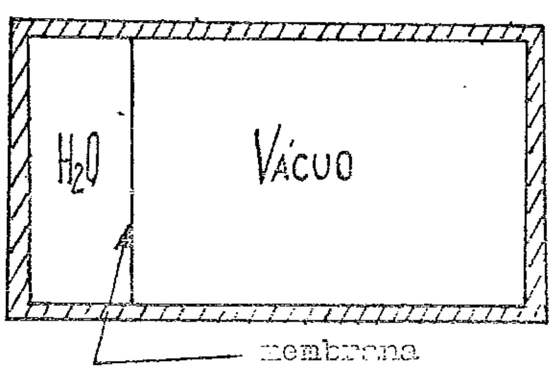
d) 



——————— o O o ———————

PROBLEMA 15 - Considere o recipiente isolado mostrado na figura. Ele possui um compartimento em vácuo separado por uma membrana de um segundo compartimento que contem 500 gr de água a 65 °C, e a 7 Kgf/cm². A membrana rompe-se e a água passa a ocupar todo o volume, com uma pressão resultante de 0.14 Kgf/cm².

Determinar a temperatura final da água e o volume final do recipiente.



RESOLUÇÃO Da aplicação da 1ª lei ao nosso sistema resulta que:

$$\cancel{Q}_{1\,2} - \cancel{W}_{1\,2} = U_2 - U_1 \qquad \text{donde}$$

$$U_2 - U_1 = m\times(u_2 - u_1) = 0 \quad \Rightarrow \quad u_2 = u_1$$

Das tabelas da água: $p = 7\ Kgf/cm^2$

T (°C)	v (m³/Kg)	h (KJ/Kg)
60	0.0010168	251.627
65	0.0010198	272.561
80	0.0010286	335.363

$$u_1 = h_1 - p_1 \times v_1 = 272.561 - 7\times 98\times 0.0010198 = 271.861 \quad KJ/Kg$$

Na posse de duas propriedades do estado final (p ; u) vamos comparar o nosso valor da energia interna com os valores dessa propriedade para os extremos do patamar de saturação e para a mesma pressão:

H_2O, $p = 0.14\ Kgf/cm^2$ $\Rightarrow$ $v' = 0.0010131\ m^3/Kg$, $v'' = 10.89\ m^3/Kg$; $h' = 218.425\ KJ/Kg$, $h'' = 2595.397\ KJ/Kg$

$$u' = h' - p\times v' = 218.425 - 0.14\times 98\times 0.0010131 = 218.411\ KJ/Kg$$

$$u'' = h'' - p\times v'' = 2595.397 - 0.14\times 98\times 10.89 = 2445.986\ KJ/Kg$$

Como $u' < u_2 = u_1 < u''$ o que nos leva a concluir que a temperatura final é a temperatura de saturação a 0.14 Kgf/cm^2, ou seja:

$$T_2 = 51.18\ ^{o}C$$

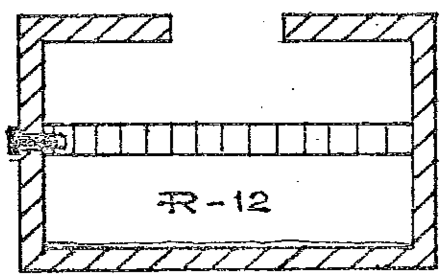
$$x_2 = \frac{u_2 - u'}{u'' - u'} = \frac{271.861 - 218.441}{2445.986 - 218.441} = 0.024 \qquad x_2 = 2.4\ \%$$

$$v_2 = (1 - 0.024)\times 0.0010131 + 0.024\times 10.89 = 0.2624\ m^3/Kg$$

$$V_2 = m\times v_2 = 0.5\times 0.2624 = 0.1312\ m^3$$

———————— o O o ————————

PROBLEMA 16 - Um cilindro isolado equipado com um êmbolo travado por um pino, contem R-12 a 27 ^oC com um título de 90 %. O volume nesse estado é de 30 dm^3. O êmbolo é então libertado e o Freon expande-se até ao estado de vapor saturado. Durante este processo o fluido realiza 1 Kcal de trabalho contra o êmbolo. Determinar a temperatura final supondo o processo adiabático.



RESOLUÇÃO

$$\underset{0}{{}_1Q_2} - {}_1W_2 = U_2 - U_1$$

Das tabelas de Freon R-12 obtemos:

$T = 27\ ^oC \Rightarrow p = 7.002$ atm $\Rightarrow$ $\left|\begin{array}{ll} v' = 0.0007669\ m^3/Kg \\ v'' = 0.02629\ m^3/Kg \end{array}\right| \begin{array}{l} h' = 444.848\ KJ/Kg \\ h'' = 585.373\ KJ/Kg \end{array}$

$$v_1 = (1 - 0.9)\times 0.0007669 + 0.9\times 0.02629 = 0.023661\ m^3/Kg$$

$$h_1 = (1 - 0.9)\times 444.848 + 0.9\times 585.373 = 571.3205\ KJ/Kg$$

Finalmente:

$$u_1 = h_1 - p_1\times v_1 = 571.3205 - 7.002\times 98\times 0.023661 = 555.08442\ KJ/Kg$$

A massa de R-12 exi tente no sistema será:

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{30\times10^{-3}}{0.023661} = 1.2679 \text{ Kg}$$ o que nos dá

um $$_1w_2 = \frac{_1W_2}{m} = \frac{1\times1.4868}{1.2679} = 3.302 \text{ KJ/Kg}$$

Para o estado final sabemos que:

$$_1w_2 = u_2 - u_1 \Rightarrow u_2 = {_1w_2} + u_1$$

$$u_2 = 3.302 + 555.084 = 558.386 \text{ KJ/Kg}$$

Teremos agora de procurar, nas tabelas, qual o valor da temperatura do patamar, para o R-12, a que corresponde um valor da energia interna em vapor saturado de: $u'' = 558.386$ KJ/Kg

p(Kgf/cm^2)	T(°C)	v''(m^3/Kg)	h''(KJ/Kg)
3.6959	5	0.04863	575.852
3.8135	6	0.04721	576.313

Donde finalmente podemos tirar o valor da temperatura T_2

T= 5 °C $u'' = 575.852 - 3.6959\times98\times0.04863 = 558.238$ KJ/Kg

T= 6 °C $u'' = 576.313 - 3.8135\times98\times0.04721 = 558.670$ KJ/Kg

E, por interpolação:

u''(KJ/Kg)	T(°C)
558.238	5.0
558.386	$\boxed{5.34}$
558.670	6.0

PROBLEMA 17 - 500 gr de vapor estão contidos numa membrana elástica esférica que suporta uma pressão interna dictamente proporcional ao seu diâmetro. A condição inicial é de vapor saturado a 100 °C. É fornecido calor ao sistema até que neste a pressão atinja 1.4 Kgf/cm^2. Determine:

a) Temperatura final;

b) Quantidade de calor fornecida.

RESOLUÇÃO a) $p = K \times d$

$$V = \frac{4}{3} \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^3 \qquad V = \frac{1}{6} \times \pi \times d^3 \qquad d = \sqrt[3]{\frac{6 \times V}{\pi}}$$

Das tabelas da água saturada:

$$T = 100\ ^oC \Rightarrow v'' = 1.673\ m^3/Kg \ \wedge \ p = 1.00\ atm$$

$$V_1 = 1.673 \times 0.5 = 0.8365\ m^3 \qquad d_1 = \sqrt[3]{\frac{6 \times 0.8365}{\pi}} = 1.16\ m$$

$$p_1 = K\ d_1 \Rightarrow K = \frac{1.0332 \times 10^4}{1.16} = 8906.89\ Kgf/m^3$$

$p_2 = 1.4\ 10^4\ Kgf/cm^2$ vem para o volume final:

$$d_2 = \frac{p_2}{K} = \frac{1.4 \times 10^4}{8906.89} = 1.5718\ m$$

$$V_2 = \frac{4}{3} \times \pi \times \frac{1.5718^3}{8} = 2.033\ m^3$$

Daqui vamos para as tabelas onde encontraremos a temperatura final:

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{2.033}{0.5} = 4.066\ m^3/Kg$$

Como $v_2 > v''|_{1.4\ Kgf/cm^2}$ estamos na zona de vapor sobreaquecido:

$v\,(m^3/Kg)$	$T\,(^oC)$	$h\,(KJ/Kg)$
4.010	920.0	4443.032
4.066	T_2 = 936.5	4482.339
4.078	940.0	4490.762

b) $$_1Q_2 - {_1W_2} = U_2 - U_1$$

$$_1W_2 = \int_{V_1}^{V_2} p\,dv = \int_{0.8365}^{2.033} 8906.89 \times \sqrt[3]{\frac{6 \times V}{\pi}} \times dv$$

$$_1W_2 = 8906.89 \times \left(\frac{6}{\pi}\right)^{1/3} \times \frac{3}{4} \times \left[V^{4/3}\right]_{0.8365}^{2.033}$$

$$_1W_2 = 14812.928\ \text{Kgfm} = 145.16\ \text{KJ}$$

$$u_1 = h_1 - p_1 \times v_1 = 2675.784 - 1.0332 \times 98 \times 1.673 = 2506.38\ \text{KJ/Kg}$$

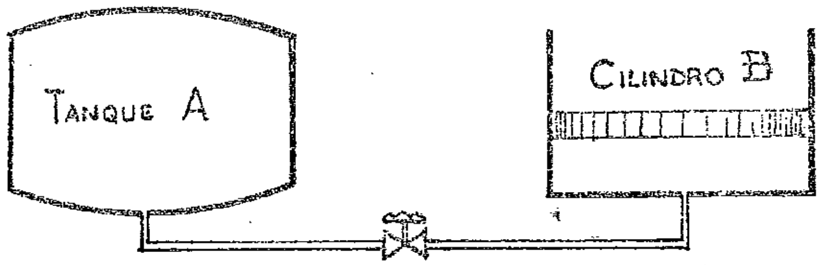
$$u_2 = h_2 - p_2 \times v_2 = 4482.339 - 1.4 \times 98 \times 4.066 = 3924.48\ \text{KJ/Kg}$$

$$U_2 - U_1 = 0.5 \times (3924.48 - 2506.38) = 709.05\ \text{KJ}$$

$$_1Q_2 = {_1W_2} + U_2 - U_1 = 709.05 + 145.16 = 854.21\ \text{KJ}$$

o O o

PROBLEMA 18 - Considere um sistema como o mostrado na figura. O tanque A tem um volume de 140 litros e contem vapor de R-12 saturado a 27 °C. Quando a valvula é aberta o R-12 escoa lentamente para o cilindro B. A massa do êmbolo é tal que é necessária uma pressão de 1.4 Kgf/cm^2, no cilindro B, para levantá-lo.



O processo termina quando a pressão no tanque A tiver caído para 1.4 Kgf/cm^2. Durante o processo é trocado calor com o meio de modo que a temperatura do R-12 permanece constante.
Calcular a quantidade de calor transferida.

RESOLUÇÃO No estado inicial as propriedades do R-12 são:

$$\left| \begin{array}{l} T = 27\ ^{o}C \\ p = 7.002\ Kgf/cm^2 \end{array} \right. \qquad \left| \begin{array}{l} v'' = 0.02629\ m^3/Kg \\ h'' = 585.373\ KJ/Kg \end{array} \right.$$

As condições do estado final são determinadas através de três interpolações mostradas nos quadros seguintes:

p(Kgf/cm^2)	T(°C)	v(m^3/Kg)	h(KJ/Kg)
1.0	25	0.2014	591.47
1.0	27	0.2027	592.71
1.0	30	0.2047	594.40

p(Kgf/cm^2)	T(°C)	v(m^3/Kg)	h(KJ/Kg)
1.5	25	0.1362	591.30
1.5	27	0.1372	592.54
1.5	30	0.1387	594.40

Destes dois últimos quadros elaboramos a intrpolação final:

T (°C)	p(Kgf/cm^2)	v(m^3/Kg)	h(KJ/Kg)
	1.0	0.2027	592.71
27	1.4	0.1503	592.57
	1.5	0.1372	592.54

Da 1ª lei podemos concluir que:

$$ {}_1Q_2 = {}_1W_2 + U_2 - U_1 $$

O trabalho realizado durante o processo existe somente no cilindro B e é levado a cabo, a pressão constante, pela massa de R-12 que passa do reservatório A para este, devido à abertura da valvula. Assim:

$$ {}_1w_2 = \int p\,dv = p \times (v_2 - v_1)\Big|_B = p\,v_2\Big|_B $$

$$ M_{A\to B} = \left[M_1 - M_2\right]_A = \left[\frac{V_1}{v_1} - \frac{V_2}{v_2}\right]_A = \frac{0.14}{0.02629} - \frac{0.14}{0.1503} $$

$$ M_{A\to B} = 5.33 - 0.93 = 4.4 \text{ Kg} $$

$$ {}_1W_2 = m \times {}_1w_2 - M_{A\to B} \times p \times v_2 = 4.4 \times 1.4 \times 98 \times 0.1503 = 90.733 \text{ KJ} $$

Resta-nos calcular a variação da energia interna sofrida por todo o R-12:

$$u_1 = h_1 - p_1 \times v_1 = 585.373 - 7.002 \times 98 \times 0.02629 = 567.333 \quad KJ/Kg$$

$$u_2 = h_2 - p_2 \times v_2 = 592.57 - 1.4 \times 98 \times 0.1503 = 571.494 \quad KJ/Kg$$

$$U_2 - U_1 = M_{total} \times (u_2 - u_1) = 5.33 \times (571.949 - 567.333)$$

$$U_2 - U_1 = 24.603 \quad KJ$$

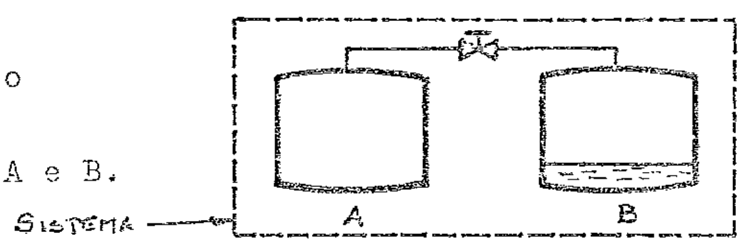
Finalmente,

$$_1Q_2 = 90.733 + 24.603 = 115.336 \quad KJ$$

———— o O o ————

PROBLEMA 19 - Dois tanques isolados, A e B, estão ligados por uma valvula. O tanque A tem um volume de 560 l e contem vapor a 1.4 Kgf/cm^2 e 200 ^oC. O tanque B tem um volume de 280 l e contem vapor a 5.5 Kgf/cm^2 com um título de 90 %. Abre-se a valvula e os dois tanques atingem um estado de equilíbrio. Supondo que não haja transferência de calor durante o processo, determine a pressão final de todo o sistema.

<u>RESOLUÇÃO</u> Para podermos resolver o problema vamos considerar o nosso sistema como o conjunto formado pelos dois tanques, A e B.



No estado inicial temos:

- No tanque A: H_2O | $v = 1.578 \ m^3/Kg$

$p = 1.4 \ Kgf/cm^2$ | $h = 2872.563 \ KJ/Kg$

- No tanque B: H_2O

$p(Kgf/cm^2)$	$T(^oC)$	$v'(m^3/Kg)$	$v''(m^3/Kg)$	$h'(KJ/Kg)$	$h''(KJ/Kg)$
5.4	154.02	0.0010951	0.3550	649.373	2751.146
5.5	154.72	0.0010959	0.3491	652.513	2751.984
5.6	155.41	0.0010967	0.3431	655.653	2752.821

$$v = (1 - 0.9)\times 0.0010959 + 0.9\times 0.3491 = 0.3143 \quad m^3/Kg$$

$$m_A = \frac{V_A}{v_A} = \frac{560\times 10^{-3}}{1.578} = 0.355 \ Kg$$

$$m_B = \frac{V_B}{v_B} = \frac{280\times 10^{-3}}{0.3143} = 0.891 \ Kg$$

$$m_{sist} = m_A + m_B = 0.355 + 0.891 = 1.246 \quad Kg$$

No estado final, no sistema, teremos:

$$v_2 = \frac{V_A + V_B}{m_{sist}} = \frac{(560 + 280)\times 10^{-3}}{1.246} = 0.6742 \quad m^3/Kg$$

Para determinarmos o estado final necessitamos de conhecer uma outra propriedade para além do volume específico, a qual ser-nos-á dada pela 1ª lei:

$$\underbrace{\cancel{{}_1Q_2}}_{=0} - \underbrace{\cancel{{}_1W_2}}_{=0} = U_2 - U_1 \quad \Longrightarrow \quad U_2 - U_1 = 0$$

$$U_2 = U_1 \Rightarrow (m_A \times u_{1A} + m_B \times u_{1B}) = m_{sist} \times u_2$$

$$u_2 = \frac{m_A \times u_{1A} + m_B \times u_{1B}}{m_{sist}}$$

$$u_{1A} = h_1 - p_1 \times v_1 = 2872.563 - 1.4 \times 98 \times 1.578 = 2656.061 \quad KJ/Kg$$

No tanque B.

$$u' = h' - p \times v' = 652.513 - 5.5 \times 98 \times 0.0010959 = 651.922 \quad KJ/Kg$$

$$u'' = h'' - p\, v'' = 2751.984 - 5.5 \times 98 \times 0.3491 = 2563.819 \quad KJ/Kg$$

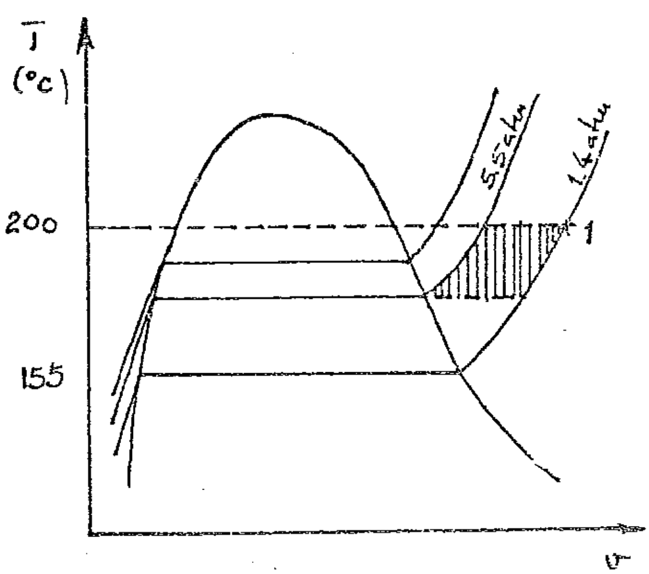
$$u_{1B} = (1 - 0.9) \times 651.922 + 0.9 \times 2563.819 = 2372.629 \quad KJ/Kg$$

$$u_2 = \frac{(2656.061 \times 0.355 + 2372.629 \times 0.891)}{1.246} = 2453.382 \quad KJ/Kg$$

Temos então no estado final:

$$v_2 = 0.6742 \ m^3/KG$$

$$u_2 = 2453.382 \quad KJ/Kg$$



Dado que as tabelas de que dispomos não têm tabelados os valores da energia interna teremos que ir, por tentativas, determinar o valor da pressão final, que estará na área tracejada não incluindo 5.5 Kgf/cm^2 pois para esta pressão

$$v'' < v_2$$

$p(Kgf/cm^2)$	$v(m^3/Kg)$	$u(KJ/Kg)$
3	0.6643	2340.41
3	0.6742	2423.46
3	0.6975	2618.93
4	0.6676	2803.46
4	0.6742	2812.22
4	0.6917	2835.46

E finalmente:

$v(m^3/Kg)$	u (KJ/Kg)	p (Kgf/cm^2)
	2423.46	3.00
0.6742	2453.38	3.08
	2812.22	4.00

$$p_2 = 3.08 \ Kgf/cm^2$$

——— o O o ———

PROBLEMA 20 - Ar contido num cilindro equipado com êmbolo é comprimido num processo quasi-estático. Durante o processo de compressão a relacção entre pressão e volume é dada pela expressão $p\ V^{1.25} =$ Cte. A massa de ar no cilcindro é de 0.05 Kg. A pressão e temperatura iniciais são, respectivamente, 1 Kgf/cm^2 e 21 °C. O volume final é 1/8 do inicial. Determine o trabalho realizado e o calor trocado.

RESOLUÇÃO Para determinar o trabalho temos dois caminhos possíveis:

i)
$$p_1 \times V_1^{1.25} = p_2 \times V_2^{1.25} \qquad p_2 = p_1 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1.25}$$

$$p_2 = 1 \times 98 \times 8^{1.25} = 1318.53 \quad KN/m^2$$

$$V_1 = \frac{M \times R \times T_1}{p_1} = \frac{0.05 \times 0.287 \times 294.15}{1 \times 98} = 0.043 \quad m^3$$

$$V_2 = \frac{1}{8} \times V_1 = \frac{0.043}{8} = 0.005375 \quad m^3$$

$${}_1W_2 = \frac{p_2 \times V_2 - p_1 \times V_1}{1 - k} = \frac{1318.53 \times 0.005375 - 1 \times 98 \times 0.043}{1 - 1.25}$$

$${}_1W_2 = -11.49 = -11.5 \quad KJ$$

ii)
$$T_1 \times V_1^{k-1} = T_2 \times V_2^{k-1} \qquad T_2 = T_1 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$$

$$T_2 = 294.15 \times 8^{0.25} = 494.70 \quad {}^oK$$

$${}_1W_2 = \frac{M \times R}{1 - k} \times (T_2 - T_1) = \frac{0.05 \times 0.287}{1 - 1.25} \times (494.70 - 294.15)$$

$${}_1W_2 = -11.51 = -11.5 \quad KJ$$

Da 1ª lei podemos concluir:

$${}_1Q_2 = (U_2 - U_1) + {}_1W_2$$

Por definição $\quad C_v = \frac{du}{dT} \implies du = C_v \times dT$

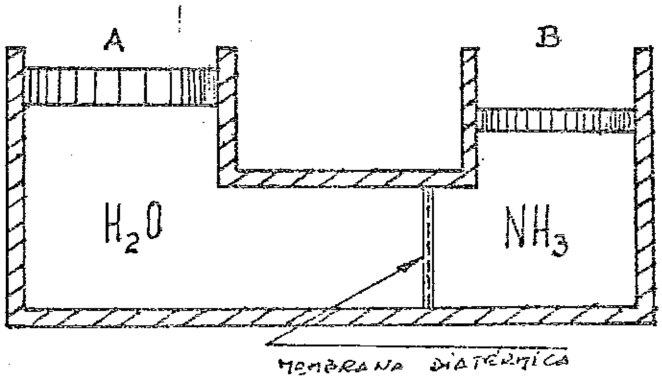
donde, $\quad U_2 - U_1 = m \times C_v \times (T_2 - T_1) \qquad C_v\big|_{ar} = 0.718$ KJ/Kg ^oK

$$U_2 - U_1 \doteq 0.05 \times 0.718 \times (494.70 - 294.15) = 7.20 \text{ KJ}$$

$${}_1Q_2 = 7.20 - (-11.5) = 18.8 \text{ KJ}$$

o O o

PROBLEMA 21 - Um sistema de dois fluidos, H_2O e NH_3, está contido num recipiente em U porvido de paredes adiabáticas e de êmbolos, A e B, igualmente adiabáticos. A membrana que separa os 10 Kg de vapor de água saturado a 149 ^oC dos 5Kg de NH_3 líquido saturado a 15.5 ^oC é diatérmica.



O calor escoa do vapor, que condensa, para o líquido através da parede diatérmica de modo que o NH_3 entra em ebulição. Determine, para o instante em que o NH_3 se encontra no estado de vapor saturado:

a) O calor trocado;
b) Quantidade de H_2O que condensa;
c) O trabalho realizado pelo sistema.
d) Acha que a energia interna do sistema varia? Porquê?

RESOLUÇÃO a) Considerando o nosso sistema como sendo apenas o NH_3, temos:

$$_1Q_2 - {_1W_2} = U_2 - U_1$$

Dado que o trabalho se realiza a pressão constante pois estamos no patamar de vaporização, podemos afirmar:

$$_1Q_2 = H_2 - H_1 = m\times(h_2 - h_1)$$

$$\left.\begin{array}{l} h_2 = h''_{15.5\ ^oC} \\ h_1 = h'_{15.5\ ^oC} \end{array}\right\} \quad h_2 - h_1 = h'' - h' = \left[I_{lv}\right]_{15.5\ ^oC}$$

NH_3:

T (^{o}C)	I_{lv} (KJ/Kg)
15.0	1206.929
$\boxed{15.5}$	$\boxed{1204.982}$
16.0	1203.035

$$_1Q_2 = 5\times1204.982 = 6204.91 \ \ KJ$$

b) A massa de água que condensa é a necessária para libertar o calor de condensação suficiente à vaporização do NH_3 ou seja, a necessária para libertar 6204.91 KJ.
Da 1ª lei e pelas mesmas razões da alínea anterior:

$$_1Q_2 = m_{H_2O} \times I_{lv_{149\ ^oC}} \qquad m_{H_2O} = \frac{_1Q_2}{\left[I_{lv}\right]_{149\ ^oC}}$$

$$\left[I_{1v}\right]^{H_2O}_{149\ ^oC} = 2117.265 \quad KJ/Kg$$

$$m_{H_2O} = \frac{6204.91}{2117.265} = 2.93 \quad Kg$$

c) Como já foi afirmado, tanto para a água como para o NH_3 os trabalhos realizam-se a pressão constante daí que:

Para o NH_3

$T(^oC)$	$p(Kgf/cm^2)$	$v'(m^3/Kg)$	$v''\ (m^3/Kg)$
15.0	7.427	0.0016193	0.1749
15.5	7.552	0.0016231	0.1722
16.0	7.677	0.0016231	0.1694

$$_1W_2\Big|_{NH_3} = m_{NH_3} \times p \times (v'' - v') = 5 \times 7.552 \times 98 \times (0.1722 - 0.0016231)$$

$$_1W_2\Big|_{NH_3} = 631.216 \quad KJ$$

Para a H_2O

$T = 149\ ^oC \Rightarrow \left[p = 4.725 \text{ atm};\ v' - 0.0010895\ m^3/Kg;\ v'' - 0.4026\ m^3/Kg\right]$

No estado final temos (da alínea b)):

$$m_{liq} \doteq 2.93 \text{ Kg} \qquad m_{vap} = m_{tot} - m_{liq} = 10 - 2.93$$

$$x_2 = \frac{m_{vap}}{m_{tot}} = \frac{10 - 2.93}{10} = \frac{7.07}{10} = 0.707$$

$$v_2 = (1 - 0.707) \times 0.0010895 + 0.707 \times 0.4026 = 0.285 \quad m^3/Kg$$

$$ {}_1W_2\Big|_{H_2O} = m_{tot} \times p \times (v_2 - v'') = 10 \times 4.725 \times 98 \times (0.285 - 0.4026) $$

$$ {}_1W_2\,_{H_2O} = -544.547 \text{ KJ} $$

$$ {}_1W_2\Big|_{tot} = {}_1W_2\Big|_{NH_3} + {}_1W_2\Big|_{H_2O} = 631.216 - 544.547 = 86.67 \text{ KJ} $$

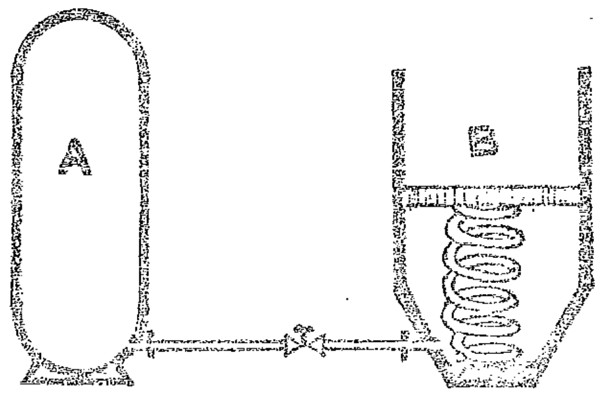
d) Sim. Varia a energia interna do sistema de uma quantidade igual ao trabalho do sistema. Tal é imposto pela primeira lei.

$$ \underbrace{\cancel{{}_1Q_2}}_{=0} - {}_1W_2 = U_2 - U_1 $$

$$ U_2 - U_1 = -\,{}_1W_2 = -86.67 \text{ KJ} $$

——————— o O o ———————

PROBLEMA 22 - O sistema termodinâmico esquematizado é constituído pelo ar no tanque A, inicialmente a 21 ^oC e 14 bar, e pelo ar contido no cilindro B o qual consta de 0.05 Kg a 21 ^oC e 1.2 bar. A valvula de comunicação entre os dois vasos encontra-se inicialmente fechada e a mola não está tensionada. Esta tem uma constante de 20 Kgf/cm.
Abre-se então a valvula passando ar de A para B, admitindo-se que tal processo é quasi-estático. Durante esta evolução a energia interna do sistema termodinâmico permanece constante.



$S = 0.008\ m^2$

a) Calcule a temperatura final do sistema. Justifique convenientemente.

b) Calcule igualmente a pressão e volume finais.

RESOLUÇÃO

a) A temperatura final do sistema é a mesma que a inicial. Como para os gases perfeitos a energia interna é somente função da temperatura $u = (u)\ T$ e se $du = 0$ implica que T se mantem constante.

b) A pressão final no cilindro B é dada pela expressão:

$$p_{B2} = p_{B1} + \frac{K}{s^2} \times (V_{B2} - V_{B1})$$

Mas $V_{B2} - V_{B1} = V_{B2} + V_A - V_{B1} - V_A = (V_{B2} + V_A) - (V_{B1} + V_A)$

$$V_{B2} - V_{B1} = V_{T2} - V_{T1}$$

Dado que a expressão que nos dá a pressão final em B (p_{B2}) tem duas incógnitas ($p_{B2}; V_{T2}$) temos de fazer sistema com a equação de estado dos gases perfeitos aplicada ao sistema no estado final:

NOTA: O índice T refere-se ao sistema formado pelos 2 vasos.

$$\begin{cases} p_{B2} = p_{B1} + \dfrac{K}{S^2}\times(V_{T2} - V_{T1}) \\ p_{B2} = \dfrac{m_T\times R\times T_2}{V_{T2}} \end{cases}$$

$$p_{B1} + \frac{K}{S^2}\times(V_{T2} - V_{T1}) = \frac{m_T\times R\times T_2}{V_{T2}}$$

que operando se chega à expressão:

$$(I) \qquad \frac{K}{S^2}\times V_{T2}^2 + (p_{B1} - \frac{K}{S^2}\times V_{T1})\times V_{T2} - m_T\times R\times T_2 = 0$$

nécessitamos de determinar, previamente, os valores de V_{T1} e m_T

$$V_{B1} = \frac{m_{B1}\times R\times T_1}{p_{B1}} = \frac{0.05\times 0.287\times 294.15}{1.2\times 10^2} = 0.0352 \quad m^3$$

$$V_{T1} = V_A + V_{B1} = 0.015 + 0.0352 = 0.0502 \quad m^3$$

$$m_{A1} = \frac{p_{A1}\times V_{A1}}{R\times T_1} = \frac{0.015\times 14\times 10^2}{0.287\times 294.15} = 0.249 \quad Kg$$

$$m_T = m_{A1} + m_{B1} = 0.249 + 0.05 = 0.299 \quad Kg$$

Substituindo na equação I vem $\qquad V_{T2} = 0.0514 \quad m^3$

$$p_{T2} = \frac{m_T\times R\times T_2}{V_{T2}} = \frac{0.299\times 0.287\times 294.15}{0.0514} = 491.09 \quad KN/m^2$$

$$p_{T2} = 4.91 \quad bar$$