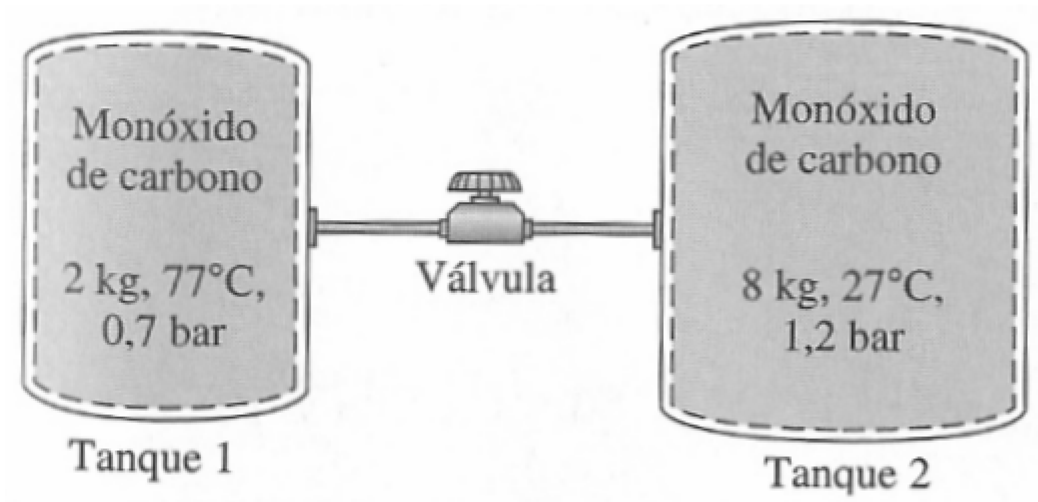
Meeting 10

Exercises Chapter 4 & Self Evaluation

Exemplo: **Dois tanques estão conectados por uma válvula. Um tanque contém 2 kg de CO a 77ºC e 0.7 Bar o outro tem 8 kg do mesmo gás a 27ºC e 1.2 Bar. A válvula é aberta, os gases se misturam enquanto que calor é transferido. A temperatura final é 42ºC. Determine a pressão final de equilíbrio e o calor transferido.**

(Dados: R = 296 J/kgK; Cv = 745 J/kgK tab A7)



A pressão final depende da temperatura, massa e volumes finais. Note porém que o volume se mantém constante,

$$P_f = \frac{(M_1 + M_2)RT_f}{V_1 + V_2}$$

Mas os volumes dos tanques 1 e 2 são dados por:

$$V_1 = \frac{M_1 R T_1}{P_1} \text{ e } V_2 = \frac{M_2 R T_2}{P_2}$$

Substituindo em Pf vamos encontrar que:

$$P_f = \frac{(M_1 + M_2)T_f}{\frac{M_1 T_1}{P_1} + \frac{M_2 T_2}{P_2}} = \frac{(8+2)\cdot 315}{\frac{2\cdot 350}{0.7} + \frac{8\cdot 300}{1.2}} = 1.05\,\mathbf{Bar}$$

O calor transferido é determinado a partir da primeira lei:

$$Q - \overset{0}{\cancel{W}} = \Delta U \rightarrow Q = U_f - U_i$$

A energia interna final $U_f = (M_1 + M_1)C_v T_f$

A energia interna inicial $U_i = M_1 C_v T_1 + M_2 C_v T$

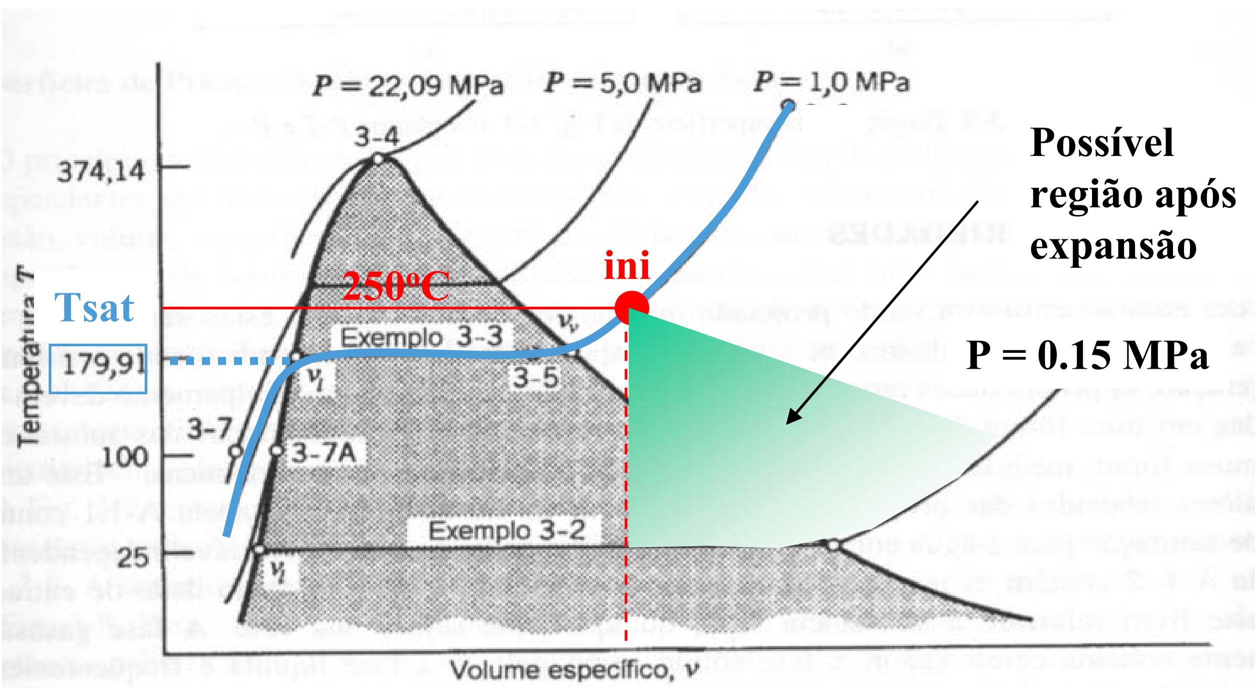
O calor: $Q = M_1 C_v (T_f - T_1) + M_2 C_v (T_f - T_2) = +37.25\,kJ$

Exemplo: Um sistema contém 0.1 kg de vapor a uma pressão e temperatura de 1.0 MPa e 250 ºC. Ele se expande adiabaticamente para uma pressão de 0.15 MPa enquanto produz 26 KJ de trabalho.

a) Determine o estado inicial (saturado ou superaquecido)

b) Calcule a energia interna, o volume e o título no estado final;

c) Calcule a eficiência do processo;



Parte (b) – Propriedades estado (2)

Tab. A1-2, P = 1.0 MPa -> Tsat = 179.9°C. Como a temperatura inicial é 250°C, portanto o estado inicial é super-aquecido. Tab A1-3: 1.0MPa & 250°C -> v_1 = 0.2327 m^3/kg , u_1 = 2709 KJ/kg e s1 = 6,9247 kJ/Kkg

Primeira Lei: $\Delta U = -W$, processo adiabático, Q = 0

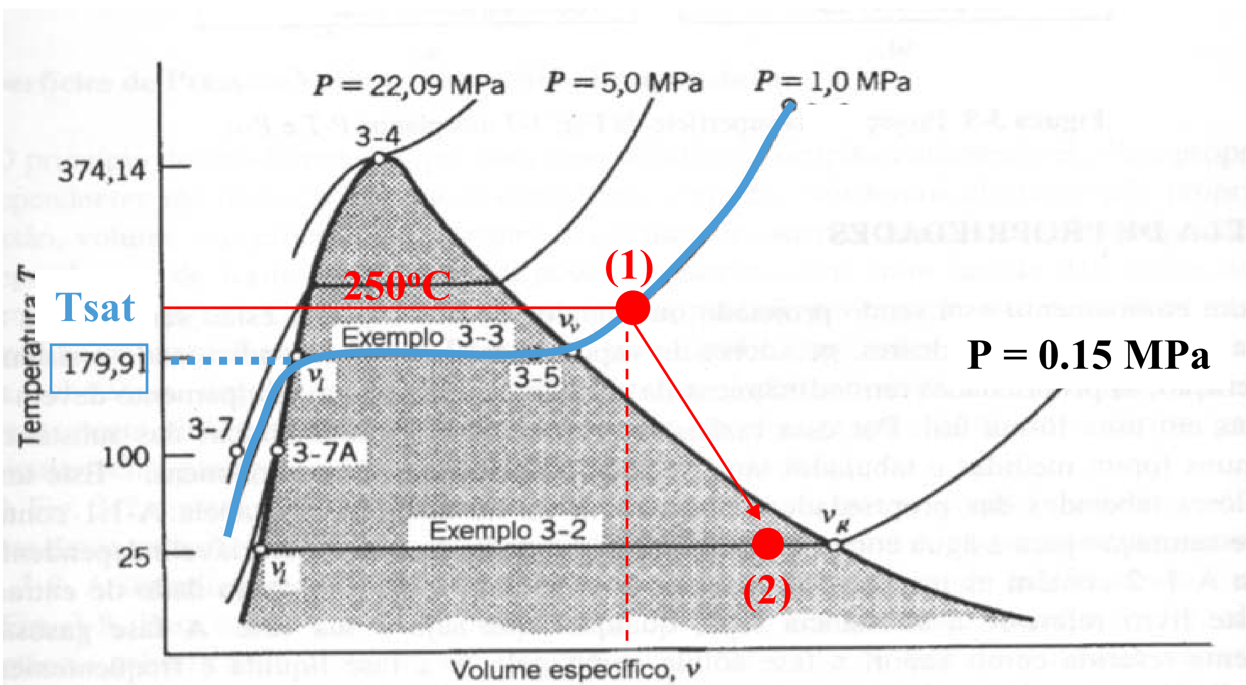
O trabalho específico: w = 26/0.1 = 260 kJ/kg

A energia interna final -> u_2 = -260+2709 KJ/kg-> u_2 = 2450 kJ/kg

No estado final: P_2 = 0.15MPa -> u_l = 467 kJ/kg & u_v = 2520 kJ/kg

Como $u_l < u_f < u_v$, logo o estado final saturado,

O título: $x = (u_f-u_l)/(u_v-u_l) = 0.966$



Parte (c) – Eficiência do Processo

Se a expansão fosse reversível, $s_1=s_{2s}$. Vamos definir o estado ideal o ponto 2s;

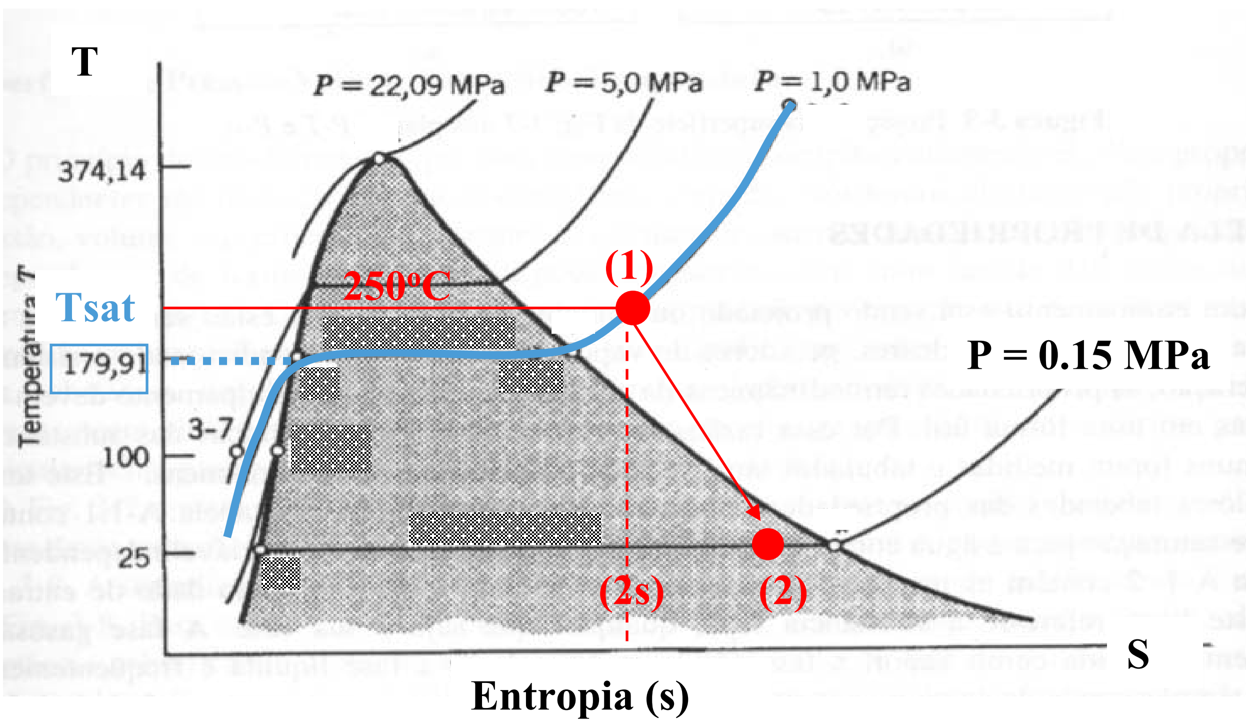
$x_{2s} = (s-s_l)/(s_v-s_l) = (6,9247-1.4336)/(7.2233-1.4336) = 0.984$ (Tab A1-2)

O trabalho para o processo isoentrópico:

$W = M(u_1-u_{2s}) = 0.1.(2710-2412)=29.7$ kJ

A energia interna, $u_{2s} = u_l(1-x)+u_v(x) = 466.94.(1-0.984)+2519.7.0.984 = 241.9$ kJ/kg

A eficiência isoentrópica do processo $$\eta = \frac{W_{real}}{W_{isoentrópico}} = \frac{26}{29,7} = 0,875$$



2-32E O trabalho de uma bomba de bicicleta manual pode ser descrito como segue (veja Fig. P2-32):

(i) Inicialmente, o pistão está na posição mais inferior e ambas as válvulas de admissão e descarga estão fechadas. Não há ar no cilindro nesse momento.

(ii) A válvula de admissão é aberta na medida que o pistão se desloca para cima. Ar atmosférico entra no cilindro através da válvula. A pressão na cabeça do pistão é 14,7 psi ao longo do processo de aspiração.

(iii)Quando o pistão alcança o ponto superior, a válvula de admissão é fechada. O volume do cilindro é de 20 $in.^3$.

(iv) O pistão é então empurrado para baixo. Com ambas as válvulas fechadas, o movimento descendente do pistão comprime o ar no cilindro de acordo com o processo reversível $PV^{1,2} = C$.

(v) Quando a pressão do ar no cilindro alcança 44 psi, a válvula de descarga se abre. O pistão continua no seu movimento descendente, enquanto o ar comprimido é descarregado através da válvula de descarga para o pneu da bicicleta. A pressão no cilindro pode ser assumida como constante durante o processo de descarga.

(vi) Quando o pistão alcança o ponto inferior, todo o ar foi expulso e a válvula de descarga é fechada. Nova sequência de eventos acontece até que o pneu da bicicleta esteja cheio.

(a) Esquematize os processos num diagrama *PV*.

(b) Calcule o trabalho realizado pelo ar na cabeça do pistão durante os processos de admissão, de compressão e de descarga à pressão constante. Assuma ar como sendo gás ideal, isto é, $PV = MRT$.

(c) Qual é o trabalho líquido realizado pelo ar na cabeça do pistão por ciclo?

(d) Se a pessoa operando a bomba realiza 50 ciclos/min, quanto cavalo-vapor (HP) a pessoa está produzindo?

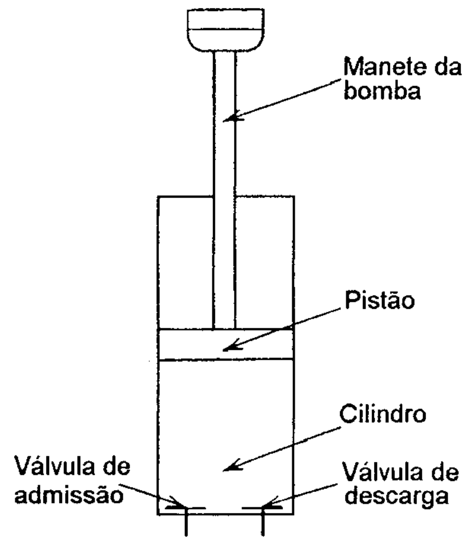


Figura P2-32 Esquema de uma bomba de pneu de bicicleta

Auto Avaliação

- Clique no link e abaixe um teste para você realizar uma auto-avaliação dos Capítulos 1 a 4.

AUTO AVALIAÇÃO Caps 1 a 4 - EM 524
(1 HORA)

1. 100 KPa, 200°C e 10 m^3 para um volume final de 1.5 m^3. Determine a temperatura e a pressão se o expoente politrópico vale n=0; n=1 e n=1.3. *Resp.: (n=0, 70.9K,100KPa), (n=1, 473K, 666.7KPa) e (n=1.3, 836K, 1178KPa)*

Resolução:

Dados:

Expoente politrópico → [n=0,0 ; n=1,0 ; n=1,3]

Estado Inicial → $\begin{cases} P_i = 100kPa \\ T_i = 200^o C = 473K \\ V_i = 10m^3 \end{cases}$

Estado Final → $\begin{cases} P_f = ? \\ T_f = ? \\ V_f = 1{,}5m^3 \end{cases}$

Sabendo que:

[1.01] $$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n$$

Utilizando os valores de pressão e volumes dados, tem-se:

[1.02] $$P_2 = P_1\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{-n} \rightarrow P_2 = 100\left(\frac{1{,}5}{10}\right)^{-n} \rightarrow P_1 = 100(0{,}15)^{-n}$$

Utilizando equação de gases ideais, tem-se:

[1.03] $$P = \frac{RT}{V}$$

Substituindo [1.03] em [1.01] vem:

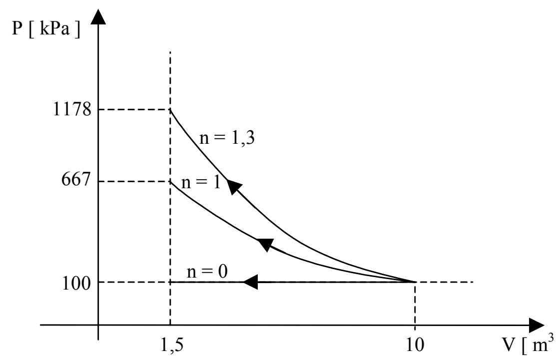
[1.04] $$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1}$$

Utilizando os valores de temperatura e volumes dados, tem-se:

[1.05] $$T_2 = T_1 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-n} \rightarrow T_2 = 473 \left(\frac{1,5}{10} \right)^{1-n} \rightarrow T_2 = 473 (0,15)^{1-n}$$

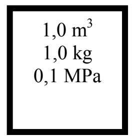
Utilizando-se as equações [1.03] e [1.05] tem-se como resultado a tabela abaixo:

	n	P_2 [kPa]	V_2 [m^3]	T_2 [k]
Isobárico	0	100,00	1,5	71
Isotérmico	1	666,7	1,5	473
Politrópico	1,3	1178	1,5	836



2. Um tanque rígido de 1 m^3 contém 1 kg de vapor saturado a uma pressão de 0.1 MPa. Determine a temperatura e o título que se encontra a mistura líquido mais vapor nestas condições. Calor é adicionado no vapor de forma a aumentar sua pressão para 0.2 Mpa. Represente o processo num diagrama termodinâmico. Qual é a temperatura final do vapor nestas condições. Utilizando a primeira lei determine a quantidade necessária de calor a ser adicionado para o sistema atingir este estado. *Resp.: estado inicial, 100^{o}C & x = 0.60; estado final, 200^{o}C & 0.2MPa superaquecido e calor adicionado Q = 982 KJ.*

Resolução:



P=0,1Mpa → Tabela A.1 [pag. 392]→ $\begin{cases} T = 100^o C \\ v_l = 0{,}001044 m^3/kg \\ v_v = 1{,}6729 m^3/kg \\ u_l = 418{,}94 kJ/kg \\ u_v = 2506{,}5 kJ/kg \end{cases}$

Sabendo que:

[2.01] $$x = \frac{v - v_l}{v_v - v_l}$$

Substituindo vem:

[2.02] $$x = \frac{1 - 0{,}001044}{1{,}6729 - 0{,}001044} \rightarrow x = 0{,}60$$

Processo de aquecimento a volume constante.

Tabela A-1.3 [pag. 397] Vapor supersaturado → $\begin{cases} P = 0{,}2 MPa \\ T = 200^o C \\ v = 1{,}083 m^3/kg \\ u_2 = 2654{,}4 kJ/kg \end{cases}$

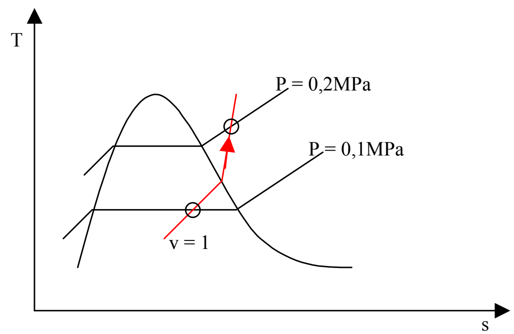
Aplicando a primeira lei da termodinâmica:

[2.03] $$\Delta u = q_{12} - \overset{zero \rightarrow \text{volume constante}}{w_{12}}$$

então:

[2.04] $$q_{12} = \Delta u \rightarrow q_{12} = 2654{,}4 - 1671{,}47 \rightarrow q_{12} = 982 kJ/kg$$

Diagrama Termodinâmico



3. Um sistema contém 0.1 kg de vapor a uma pressão de 1.0 MPa e a uma temperatura de 250°C. Ele se expande adiabaticamente para uma pressão de 0.15 Mpa enquanto produz 26 KJ de trabalho. Qual é o título real do estado final? Calcule a eficiência de expansão adiabática definida por: $\eta = \frac{W_{REAL}}{W_{ISOENTROPICO}}$ onde o trabalho ideal considera o processo de expansão adiabático e reversível desde o estado inicial até a pressão final. Finalmente, esboce os processos reais e ideais num diagrama TS. *Resp.: título final x = 0.97, trabalho isoentr. W_S = 32.12 KJ, eficiência expansão η = 0.809*

Resolução:

Dados:

Estado Inicial → $\begin{cases} \mathrm{m} = 0{,}1\,\mathrm{kg} \\ \mathrm{P} = 1{,}0\,\mathrm{Mpa} \\ \mathrm{T} = 250^\circ\mathrm{C} \end{cases}$

Utilizando a Tabela A.1 → $\begin{matrix} P = 1{,}0MPa \\ T_{sat} = 179{,}9^\circ C \end{matrix}$ → Superaquecido →

Tabela A-1.3 [pag.398]→ $\begin{cases} u_1 = 2709{,}9kJ/kg \\ s_1 = 6{,}9247kJ/kg.K \end{cases}$

Estado Final → Expansão Adibática → $\begin{cases} Q_{12} = zero \\ W_{12} = 26kJ \\ P = 0{,}15MPa \end{cases}$

a) Calculo do Título do Estado Final do Processo Real

Aplicando a 1º Lei da Termodinâmica

[3.01] $\Delta u = q_{12} - w_{12} \rightarrow u_2 = u_1 - w_{12}$

Substituindo os valores dados:

[3.02] $u_2 = u_1 - w_{12} \rightarrow u_2 = 2709{,}9 - 26/0{,}1 \rightarrow u_2 = 2449{,}9kJ/kg$

Utilizando a Tabela A.1, tem-se:

$$\begin{cases} P = 0{,}15MPa \\ u_l = 466{,}94kJ/kg \\ u_v = 2519{,}7kJ/kg \end{cases}$$ → como $u_l < u_2 < u_v$ → o estado final está saturado

→ com T_{sat} = 111,37ºC

Título real é dado por:

[3.03] $$x = \frac{u_2 - u_l}{u_v - u_l} \rightarrow x = \frac{2449{,}9 - 466{,}94}{2519{,}7 - 466{,}94} \rightarrow x = 0{,}97$$

a) Cálculo da eficiência da expansão

Trabalho isoentrópico [s=constante] → s_1 = 6,9247kJ/kg.K

Para $\begin{cases} s_2 = 6{,}9247kJ/kg.K \\ P_2 = 0{,}15Mpa \end{cases}$ → $\begin{cases} s_l = 1{,}4336kJ/kg.K \\ s_v = 7{,}22kJ/kg.K \end{cases}$

→ como $s_l < s_2 < s_v$ → x_s = 0,948

então:

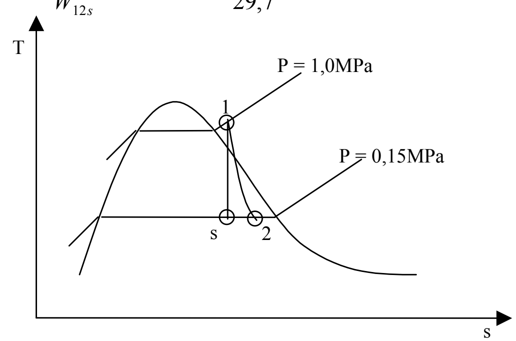
[3.04] $$u_{2s} = 466{,}94(1 - 0{,}948) + 2519{,}7.0{,}948 \rightarrow u_{2s} = 2412{,}9kJ/kg$$

Aplicando a 1º Lei, tem-se:

[3.05] $$w_{12} = u_2 - u_1 \rightarrow w_{12} = 2709{,}9 - 2412{,}9 \rightarrow w_{12} = 297kJ/kg \rightarrow W_{12} = 29{,}7kJ$$

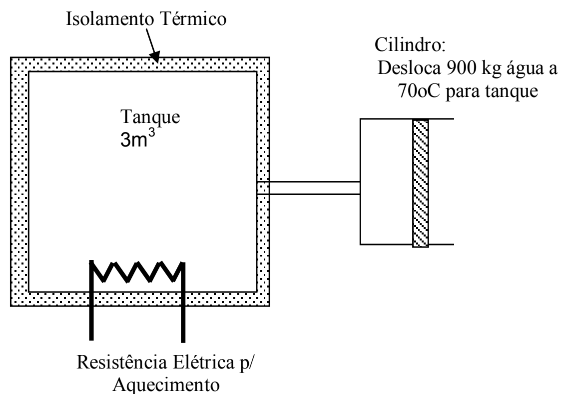
logo:

[3.06] $$\eta_{expansão} = \frac{W_{12}}{W_{12s}} \rightarrow \eta_{expansão} = \frac{26}{29{,}7} \rightarrow \eta_{expansão} = 0{,}875$$



DESAFIO:

Um tanque isolado termicamente de $3m^3$ de capacidade contém 1400 kg de água líquida em equilíbrio com seu vapor que preenche o restante do volume do tanque. A temperatura inicial é de 280°C. Uma quantidade de 900 kg de água líquida a 70°C é adicionada a massa inicial de água no tanque e mais nada é removido. Quanto de calor deve ser adicionado neste processo se deseja manter a temperatura inicial do tanque inalterada, isto é, 280°C? *Resp.: 771 MJ*



Resolução:

T	P	u_l	u_v	v_l	v_v	v	x	u
ºC	Mpa	kJ/kg	kJ/kg	m^3/kg	m^3/kg	m^3/kg		kJ/kg
280	6,412	1227	2586	0,001332	0,03017	0,00214	0,0281	1266
100	0,101	419	2507	0,001044	1,6729			
70	0,03119	293	2470	0,001023	5,042	0,00102	0	293

1. Vamos expandir o pistão até que o volume específico fique o mesmo do vaso. Será realizado trabalho a pressão constante 0,101Mpa

Aplicando a 1º Lei

[4.01] $$U_2 - U_1 = Q_{12} - W_{12}$$

com:

[4.02] $$W_{12} = m.p.\Delta v$$

Com estas equações tem-se a tabela abaixo:

u_1 [kJ/kg]		293
u_2 [kJ/kg]		419
$U_2 - U_1$ [kJ]	(419-293)*900	113 400
v_2 [m^3/kg]		0,002 14
v_1 [m^3/kg]		0,001 02
P [kPa]		101
W_{12} [kJ]	900*101(0,00214-0,00102)	101,808
Q_{12} [kJ]	113400 + 101,808	02

2. Vamos adicionar calor a volume constante até atingir T = 280ºC, nesta etapa não há trabalho, e o título em (3) é igual a 0,0281, P = 6,412Mpa (sat).

u_3 [kJ/kg]		1 266
$U_3 - U_2$ [kJ]	(1266 - 419)*900	762 300
W_{23} [kJ]		0
Q_{23} [kJ]		300

3. A água está no mesmo estado do tanque e no pistão. Ao abrir a válvula, não há choques e o volume do sistema passa a ser a soma do dois. Nesta etapa deve haver uma compressão a P constante para que toda massa passe a ocupar somente os 3m^3 do tanque, isto é, o volume específico final deve ser 3/2300 = 0,001304 m^3/kg.

v_F [m^3/kg]	3/2300	0,001304
x_F	$v_F < v_l < v_v$ $\rightarrow$	0
u_F [kJ/kg]		1227
$U_F - U_3$ [kJ]	(1227 – 1266)*2300	-89 700
W_{3F} [kJ]	2300*6,412*(0,001304-0,00214)	-12 329
Q_{3F} [kJ]		-102 029
Q [MJ]		774