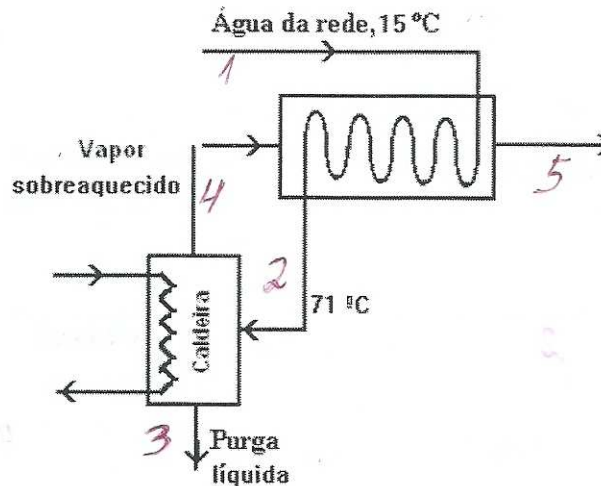


Caso 1.8

Uma caldeira, alimentada com água da rede contendo 320 mg/L de mineralização, produz 2,5 ton/h de vapor sobreaquecido mas de baixa pressão (150 °C; 300 kPa, abs). A mineralização máxima permitida para a água da caldeira é de 800 mg/L para não haver redução do tempo de vida do equipamento. As perdas caloríficas na caldeira são estimadas em cerca de 86 Mcal/h.



a) Calcular:

- O caudal horário de água da rede consumida. (R: 4,17 ton/h)
- O calor fornecido à caldeira. (R: 1692 Mcal/h)

b) Caracterizar o vapor efluente do permutador de calor: temperatura; estado: vapor sobreaquecido/ vap. saturado/ água líquida; (título ou grau de sobreaquecimento, consoante o caso).

A-1) Caudal horário de água da rede consumida

Mineralização numa água significa o teor / concentração em minerais dessa água. Em termos de balanço entálpico a mineralização é irrelevante pois apresenta valores muito baixos (centenas de ppm ou seja centenas de mg/L) e o Cp da água não é significativamente afectado.

Mas em termos de balanços mássicos já é necessário entrar com a mineralização:

Vamos ter um sistema 2×2 :

Balanço Global $Q_1 = Q_3 + Q_5$

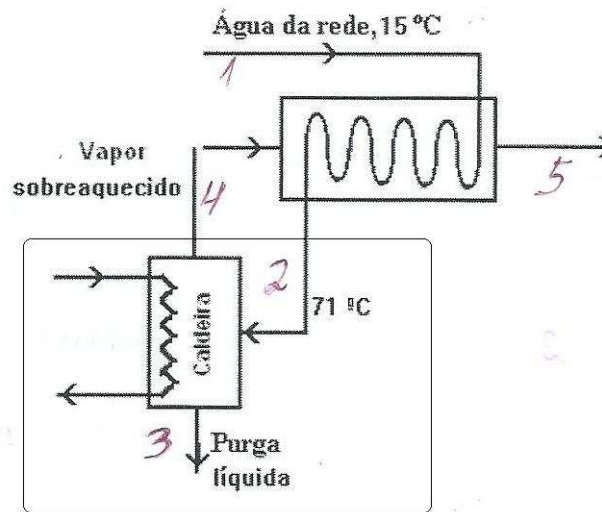
Balanço aos minerais $320 \times Q_1 = 800 \times Q_3$

Sabendo-se que $Q_5 = 2500 \text{ kg/h}$ obtém-se $Q_1 = 4166,67 \text{ kg/h}$ e $Q_3 = 1666,67 \text{ kg/h}$

A resposta a esta alínea será: **$Q_1 = 4166,67 \text{ kg/h}$**

A-2) Calor fornecido à caldeira

Agora temos que realizar um balanço entálpico à caldeira:



Estado de referência: 0°C, água (l), P_T

Escolhe-se este estado de referência para podermos recorrer às Tabelas Termodinâmicas

O balanço entálpico vem: $\Delta H_2 + Q_F = \Delta H_3 + \Delta H_4 + P$

$$\Delta H_2 = 4166,67 \times 4,18 \times (71 - 0) = 1,23658 \times 10^6 \text{ kJ/h}$$

Efectuou-se este cálculo porque 71°C é uma temperatura relativamente baixa e assim podemos considerar que C_p da água líquida = 1 cal/g °C = 4,18 J/g °C = 4,18 kJ/kg °C

A corrente (3) consiste em água líquida a 150°C e agora já não poderemos considerar C_p da água líquida = 1 cal/g °C = 4,18 J/g °C. Temos de recorrer às Tabelas termodinâmicas para vapor saturado (entrada por temperatura – Tabela da Página II.59)

125	0.23222	0.0010649	0.77011	525.06	2713.1	1.5815	7.0770	125
130	0.27026	0.0010697	0.66808	546.39	2720.1	1.6346	7.0264	130
135	0.31320	0.0010747	0.58180	567.77	2726.9	1.6872	6.9772	135
140	0.36150	0.0010798	0.50852	589.20	2733.4	1.7393	6.9293	140
145	0.41563	0.0010850	0.44602	610.69	2739.8	1.7909	6.8826	145
150	0.47610	0.0010905	0.39250	632.25	2745.9	1.8420	6.8370	150
155	0.54342	0.0010962	0.34650	653.88	2751.8	1.8926	6.7926	155
160	0.61814	0.0011020	0.30682	675.57	2757.4	1.9428	6.7491	160
165	0.70082	0.0011080	0.27246	697.35	2762.8	1.9926	6.7066	165
170	0.79205	0.0011143	0.24262	719.21	2767.9	2.0419	6.6649	170

Pela tabela h_L a 150°C = 632,25 kJ/kg

$$\Delta H_3 = Q_3 \times h_L = 1666,67 \times 632,25 = 1,05375 \times 10^6 \text{ kJ/h}$$

A corrente (4) consiste em vapor superaquecido a 150°C e á pressão de 300 kPa = 0,3 Mpa. Agora temos de recorrer às Tabelas termodinâmicas para vapor superaquecido (Tabela da Página II.63)

0.25 (127.41)	v	0.7644	0.8621	0.9574	1.0517	1.1454	1.2387	1.3317	1.4246	1.5174	1.6101	1.7952
	h	2765.2	2868.4	2969.6	3070.8	3172.9	3276.2	3380.9	3487.1	3594.9	3704.4	3928.5
	s	7.1707	7.4013	7.6046	7.7895	7.9602	8.1196	8.2696	8.4116	8.5467	8.6759	8.9188
0.30 (133.53)	v	0.6340	0.7164	0.7965	0.8753	0.9536	1.0315	1.1092	1.1867	1.2641	1.3414	1.4958
	h	2761.2	2866.0	2967.9	3069.6	3172.0	3275.4	3380.2	3486.6	3594.5	3704.0	3928.2
	s	7.0791	7.3132	7.5181	7.7037	7.8749	8.0346	8.1848	8.3269	8.4622	8.5914	8.8344
0.35 (138.86)	v	0.5408	0.6124	0.6815	0.7494	0.8167	0.8836	0.9503	1.0168	1.0832	1.1495	1.2819
	h	2757.1	2863.5	2966.3	3068.4	3171.0	3274.6	3379.6	3486.0	3594.0	3703.6	3927.9
	s	7.0002	7.2381	7.4445	7.6310	7.8026	7.9626	8.1130	8.2553	8.3906	8.5199	8.7630

Pela tabela h_v a 150°C e $0,3\text{ Mpa} = 2761,2\text{ kJ/kg}$

$$\Delta H_4 = Q_4 \times h_v = 2500 \times 2761,2 = 6,903 \times 10^6\text{ kJ/h}$$

Segundo o enunciado as perdas são: $86\text{ Mcal/h} = 86 \times 4,18 = 359,48\text{ MJ/h} = 3,5948 \times 10^5\text{ kJ/h}$

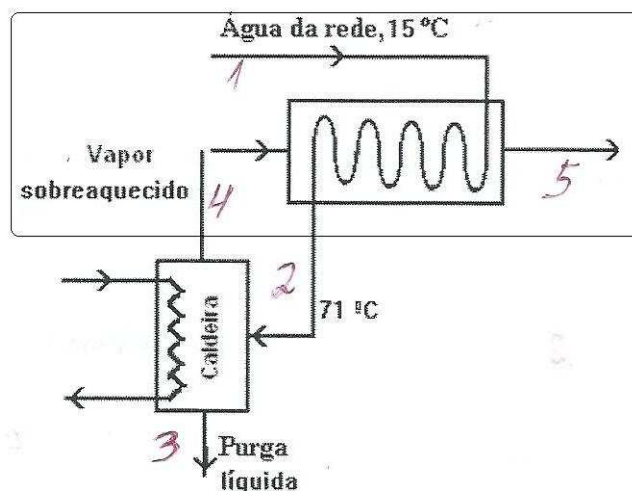
Substituindo: $\Delta H_2 + Q_F = \Delta H_3 + \Delta H_4 + P$

$$1,23658 \times 10^6 + Q_F = 1,05375 \times 10^6 + 6,903 \times 10^6 + 3,5948 \times 10^5$$

Resolvendo-se obtém-se $Q_F = 6,77965 \times 10^6\text{ kJ/h} = 1621,93\text{ Mcal/h}$

B) Caracterizar o vapor à saída do permutador de calor (Corrente (5))

Agora temos que fazer um balanço entálpico à volta do permutador para obter ΔH_5 . E depois, a partir do valor obtido, tentar determinar qual o estado deste vapor:



Vem: $\Delta H_1 + \Delta H_4 = \Delta H_2 + \Delta H_5$

$\Delta H_1 = 4166,67 \times 4,18 \times (15 - 0) = 2,6125 \times 10^5 \text{ kJ/h}$

$\Delta H_4 = 6,903 \times 10^6 \text{ kJ/h}$

$\Delta H_2 = 1,23658 \times 10^6 \text{ kJ/h}$

Substituindo-se:

$2,6125 \times 10^5 + 6,903 \times 10^6 = 1,23658 \times 10^6 + \Delta H_5$

Resolvendo-se vem: $\Delta H_5 = 5,92767 \times 10^6 \text{ kJ/h}$

Quando se fala em caracterizar um vapor devemos indicar a temperatura, pressão e título.

Numa situação destas em que temos vapor sobreaquecido e lhe retiramos energia, é de prever que o vapor arrefeça a pressão constante até à temperatura de saturação. Depois começa a condensar, a temperatura e pressão constante, e ficamos com vapor húmido. Continuando a retirar calor ficamos com água líquida e a temperatura e pressão começarão a diminuir.

Para obtermos a temperatura de saturação podemos recorrer à Tabela de vapor sobreaquecido ou às Tabelas termodinâmicas para vapor saturado (entrada por pressão – Tabela da Página II.61)

0.20	120.21	0.0010605	0.88574	504.68	2706.2	1.5301	7.1269	0.20
0.25	127.41	0.0010672	0.71870	535.35	2716.5	1.6072	7.0524	0.25
0.30	133.53	0.0010732	0.60579	561.46	2724.9	1.6718	6.9916	0.30
0.35	138.86	0.0010786	0.52420	584.31	2732.0	1.7275	6.9401	0.35
0.40	143.61	0.0010836	0.46239	604.72	2738.1	1.7766	6.8954	0.40

Temperatura de saturação = 133,53°C.

Desta última tabela também podemos obter o $h_L = 561,46 \text{ kJ/kg}$ e o $h_V = 2724,9 \text{ kJ/kg}$ à pressão de 0,3 Mpa.

Seguidamente iremos calcular a entalpia específica do vapor em (5):

$$h_5 = \frac{\Delta H_5}{Q_5} = \frac{5,92767 \times 10^6}{2500} = 2371,068 \text{ kJ/kg}$$

Agora poderemos estar perante três situações:

- $h_5 > h_V \rightarrow$ teremos vapor sobreaquecido à pressão de 0,3 MPa e $133,54^\circ\text{C} < T_5 < 150^\circ\text{C}$
- $h_L < h_5 < h_V \rightarrow$ teremos vapor húmido a $T_5 = 133,54^\circ\text{C}$
- $h_5 < h_L \rightarrow$ teremos água líquida com $P < 0,3 \text{ Mpa}$ e $T < 133,54^\circ\text{C}$

Neste problema verificamos que temos vapor húmido e assim este vapor será caracterizado pelo título, t .

$$t = \frac{\text{massa de vapor}}{\text{massa de vapor} + \text{massa de água condensada}}$$

Este título calcula-se através de expressão: $h_i = t \times h_v + (1 - t) \times h_L$

$$2371,068 = t \times h_v + (1 - t) \times h_L = t \times 2724,9 + (1 - t) \times 561,46$$

Vem: $t = 0,836$