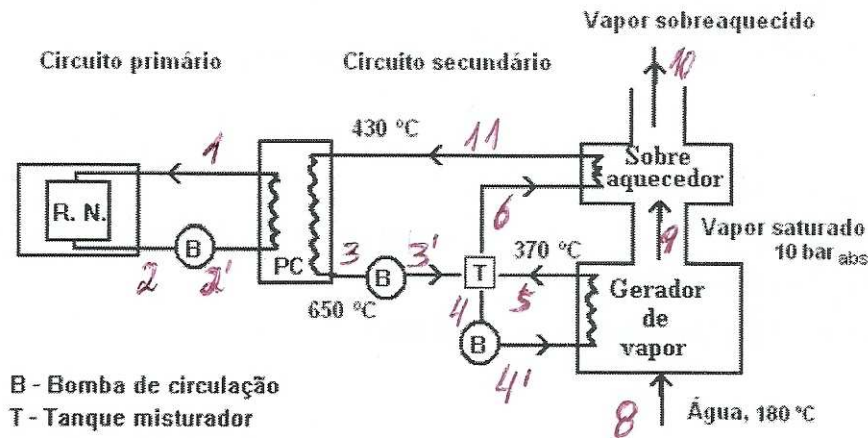


Caso 1.9

Considere o esquema muito simplificado de uma central nuclear onde se produzem 45 ton/h de vapor de água de média pressão.



O fluido de arrefecimento do reactor nuclear (circuito primário) é arrefecido num permutador de calor (PC) com uma liga de sódio e potássio que circula no circuito secundário. Esta liga é por sua vez arrefecida num sistema de permutadores de calor, produzindo-se vapor de água sobreaquecido a 10 bar e 400 °C. Calcular:

- O caudal da liga de Na-K que circula no sobreaquecedor de vapor. (R: 446,3 ton/h)
- A temperatura desta liga à entrada do sobreaquecedor de vapor. (R: $\cong 473^{\circ}\text{C}$)
- O caudal da liga de Na-K que circula no gerador de vapor. (R: 769,3 ton/h)

Dados:

- Composição ponderal da liga Na-K: 60% de sódio.
- Considere desprezável a potência das bombas de circulação

Trata-se de uma central nuclear, real, mas de um modelo antigo.

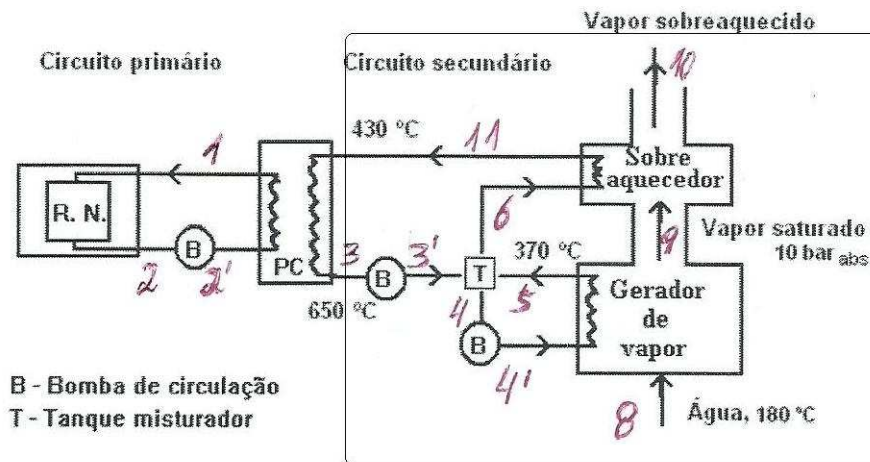
Por questões de segurança, existem dois circuitos: o circuito primário (onde circula sódio derretido) que entra em contacto com o material radioactivo e o circuito secundário (onde circula uma liga de Na + K derretidos (eutético)) que não entra em contacto com o material radioactivo e que vai aquecer a caldeira que produza vapor o qual posteriormente acciona uma turbina para produção de electricidade.

Nas centrais nucleares mais recentes, nos circuitos primários e secundários circula água sob pressão.

Estado de Referência = 0°C ; H_2O (l) , Na (l) , K (l), P_T (estado de referência das tabelas termodinâmicas)

A) Caudal de liga Na-K que circula no sobreaquecedor de calor

Iremos ter como zona de controle:



O balanço entálpico virá: $\Delta H_8 + \Delta H_3 = \Delta H_{10} + \Delta H_{11}$

PA do Na = 23 g/mole PA do K = 39,1 g/mole

$C_p \text{ Na(l)} = 7,5 \text{ cal/mole K} / 23 = 0,3261 \text{ cal/g K}$ Tabela da página II.11

$C_p \text{ K(l)} = 7,7 \text{ cal/mole K} / 39,1 = 0,1969 \text{ cal/g K}$ Tabela da página II.11

$C_p \text{ médio} = 0,3261 \times 0,6 + 0,1969 \times 0,4 = 0,27442 \text{ cal/g K} = 1,14708 \text{ J/g K}$

$\Delta H_3 = M_{sa} \times 1,14708 \times (650 - 0) = 745,602 \times M_{sa}$

$\Delta H_{11} = M_{sa} \times 1,14708 \times (430 - 0) = 493,244 \times M_{sa}$

Recorrendo-se às Tabelas termodinâmicas obtemos h_8 :

175	0.89245	0.0011207	0.21660	741.15	2772.7	2.0909	6.6241	175
180	1.0026	0.0011274	0.19386	763.19	2777.2	2.1395	6.5841	180
185	1.1233	0.0011343	0.17392	785.32	2781.4	2.1878	6.5447	185
190	1.2550	0.0011414	0.15638	807.57	2785.3	2.2358	6.5060	190
195	1.3986	0.0011488	0.14091	829.92	2788.9	2.2834	6.4679	195

* $h_8 = 763,19 \text{ kJ/kg} = 763,19 \text{ J/g}$

$\Delta H_8 = 45 \times 10^6 \times 763,19 = 3,4344 \times 10^{10} \text{ J/h}$

E h_{10} :

0.90	<i>v</i>	0.2304	0.2596	0.2874	0.3145	0.3411	0.3675	0.3938	0.4199	0.4459	0.4718	0.4977	0.5236	0.5494
(175.36)	<i>h</i>	2834.1	2946.9	3054.3	3160.2	3266.0	3372.5	3480.1	3589.0	3699.3	3811.2	3924.7	4039.8	4156.6
	<i>s</i>	6.7538	6.9806	7.1768	7.3538	7.5172	7.6698	7.8136	7.9501	8.0803	8.2049	8.3246	8.4399	8.5513
1.0	<i>v</i>	0.2060	0.2327	0.2580	0.2825	0.3066	0.3304	0.3541	0.3777	0.4011	0.4245	0.4478	0.4711	0.4944
(179.89)	<i>h</i>	2828.3	2943.2	3051.7	3158.2	3264.4	3371.2	3479.0	3588.1	3698.6	3810.5	3924.1	4039.3	4156.2
	<i>s</i>	6.6955	6.9266	7.1247	7.3028	7.4668	7.6198	7.7640	7.9007	8.0309	8.1557	8.2755	8.3909	8.5024
1.1	<i>v</i>	0.1860	0.2107	0.2339	0.2563	0.2783	0.3001	0.3217	0.3431	0.3645	0.3858	0.4070	0.4282	0.4494
(184.07)	<i>h</i>	2822.3	2939.5	3049.1	3156.2	3262.8	3369.9	3477.9	3587.2	3697.8	3809.9	3923.5	4038.8	4155.7
	<i>s</i>	6.6414	6.8772	7.0773	7.2564	7.4210	7.5745	7.7189	7.8558	7.9863	8.1111	8.2310	8.3465	8.4580

$$* h_{10} (400^{\circ}\text{C}, 10 \text{ Bar}) = 3264,4 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H_{10} = 45 \times 10^6 \times 3264,4 = 1,469 \times 10^{11} \text{ J/h}$$

$$1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pa} \rightarrow 10 \text{ Bar} = 10^6 \text{ Pa}$$

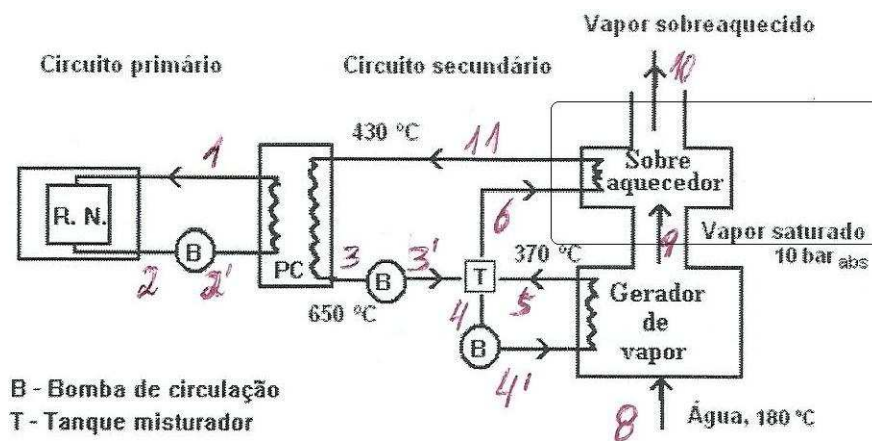
Substituindo-se:

$$745,602 \times M_{sa} + 3,4344 \times 10^{10} = 1,469 \times 10^{11} + 493,244 \times M_{sa}$$

$$\text{Vem } M_{sa} = \text{caudal no sobreaquecedor de vapor} = 4,4602 \times 10^8 \text{ g/h} = \mathbf{446 \text{ ton /h}}$$

B) Temperatura da liga à entrada do sobreaquecedor

Agora a zona de controle é à volta do sobreaquecedor:



$$\Delta H_6 + \Delta H_9 = \Delta H_{10} + \Delta H_{11}$$

$$\Delta H_6 = 4,4602 \times 10^8 \times 1,14708 \times T_6 = 5,1162 \times 10^8 \times T_6$$

Da tabela termodinâmica para vapor saturado apresentada anteriormente tira-o h_9 :

$$* h_9 = 2777,2 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H_9 = 45 \times 10^6 \times 2777,2 = 1,2497 \times 10^{11} \text{ J/h}$$

$$\Delta H_{10} = 1,469 \times 10^{11} \text{ J/h}$$

$$\Delta H_{11} = 493,244 \times 4,4602 \times 10^8 = 2,2000 \times 10^{11} \text{ J/h}$$

Substituindo-se:

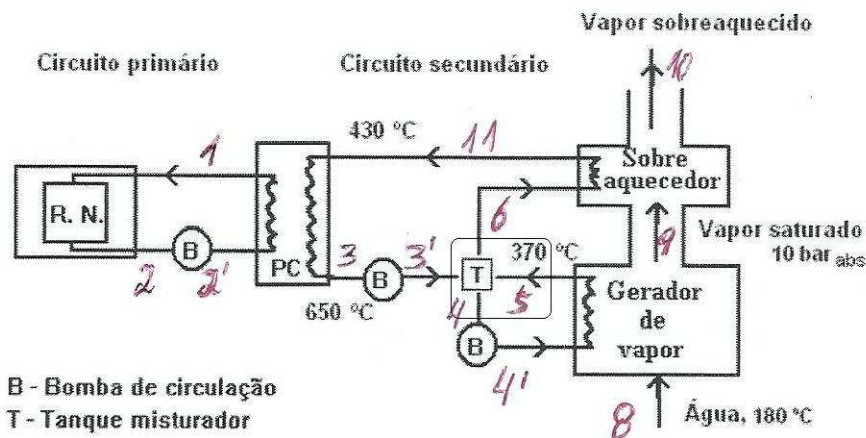
$$5,1162 \times 10^8 \times T_6 + 1,2497 \times 10^{11} = 1,469 \times 10^{11} + 2,2 \times 10^{11}$$

$$\text{Vem } T_6 = 472,87 \text{ }^\circ\text{C}$$

C) Caudal de liga Na-K que circula no gerador de calor

Nesta alínea podemos admitir que $T_4 = T_6 = 472,87 \text{ }^\circ\text{C}$

Temos agora duas alternativas de zona de controle. Uma alternativa é à volta da válvula T:



$$\text{Vem: } \Delta H_3 + \Delta H_5 = \Delta H_6 + \Delta H_4$$

$$\Delta H_3 = 745,602 \times 4,4602 \times 10^8 = 3,3255 \times 10^{11} \text{ J/h}$$

$$\Delta H_5 = \text{Mgv} \times 1,14708 \times (370 - 0) = 424,420 \times \text{Mgv}$$

$$\Delta H_4 = \text{Mgv} \times 1,14708 \times (472,87 - 0) = 542,4197 \times \text{Mgv}$$

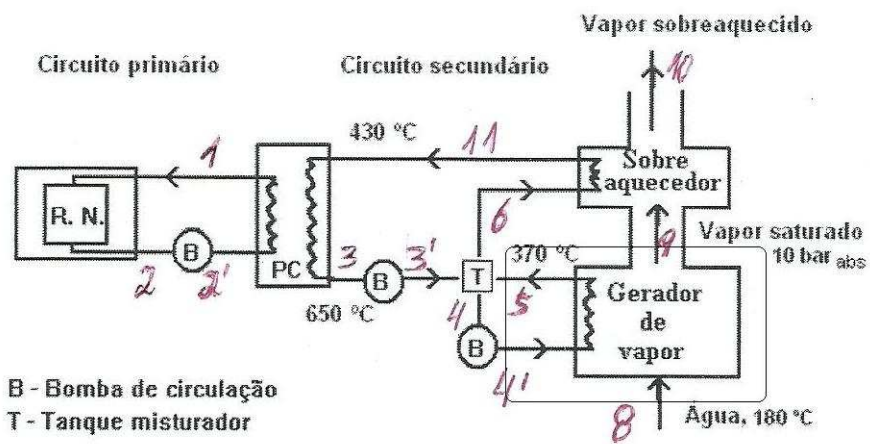
$$\Delta H_6 = 5,1162 \times 10^8 \times 472,87 = 2,4193 \times 10^{11} \text{ J/h}$$

Substituindo-se:

$$3,3255 \times 10^{11} + 424,42 \times \text{Mgv} = 2,4193 \times 10^{11} + 542,4197 \times \text{Mgv}$$

$$\text{Vem } \text{Mgv} = 7,6805 \times 10^8 \text{ g/h} = 768 \text{ ton/h}$$

Esta alínea também podia ser resolvida seleccionando-se uma zona de controle à volta do gerador de calor:



Nesta alternativa o balanço entálpico viria: $\Delta H_4 + \Delta H_8 = \Delta H_5 + \Delta H_9$

É indiferente optar-se por uma ou por outra resolução.