

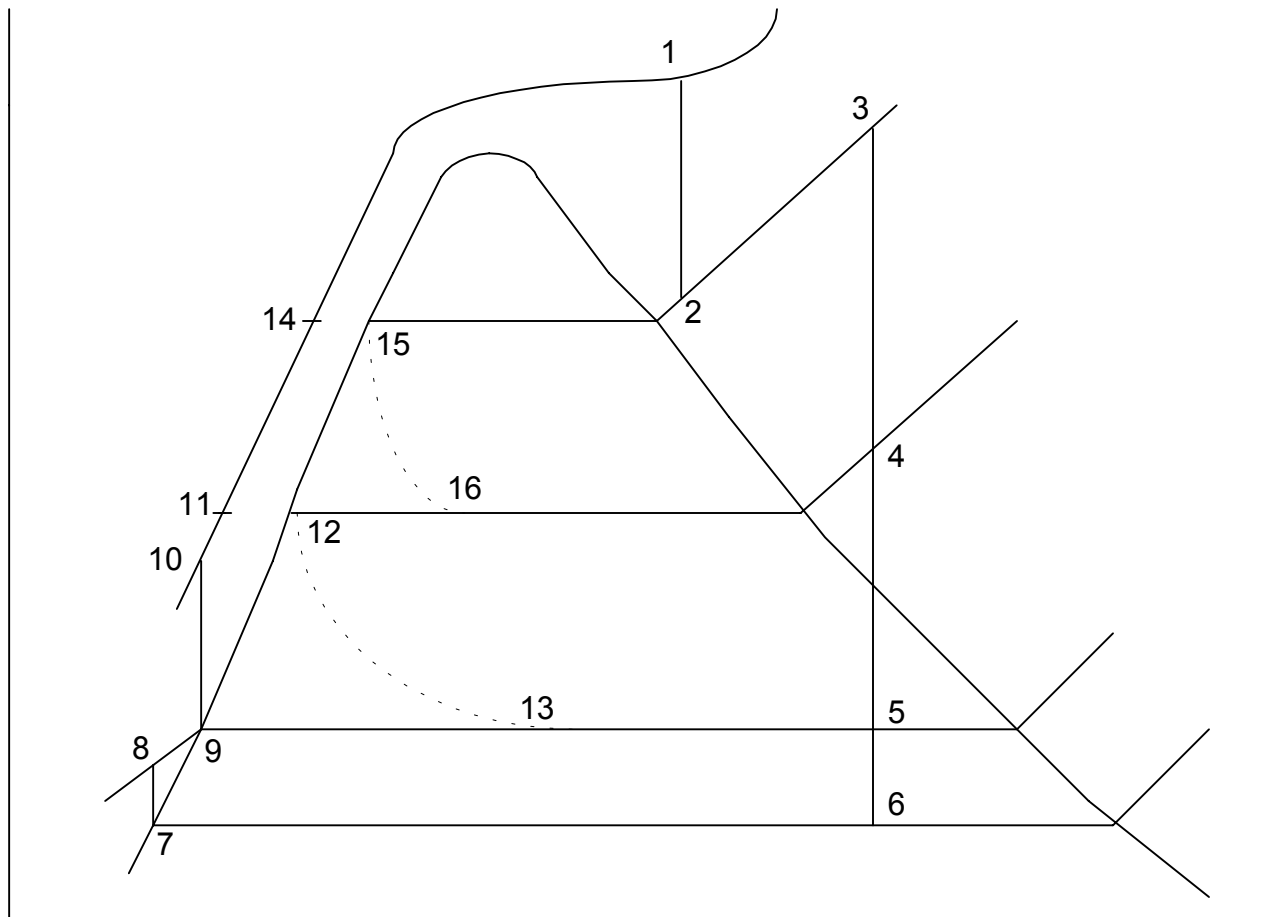
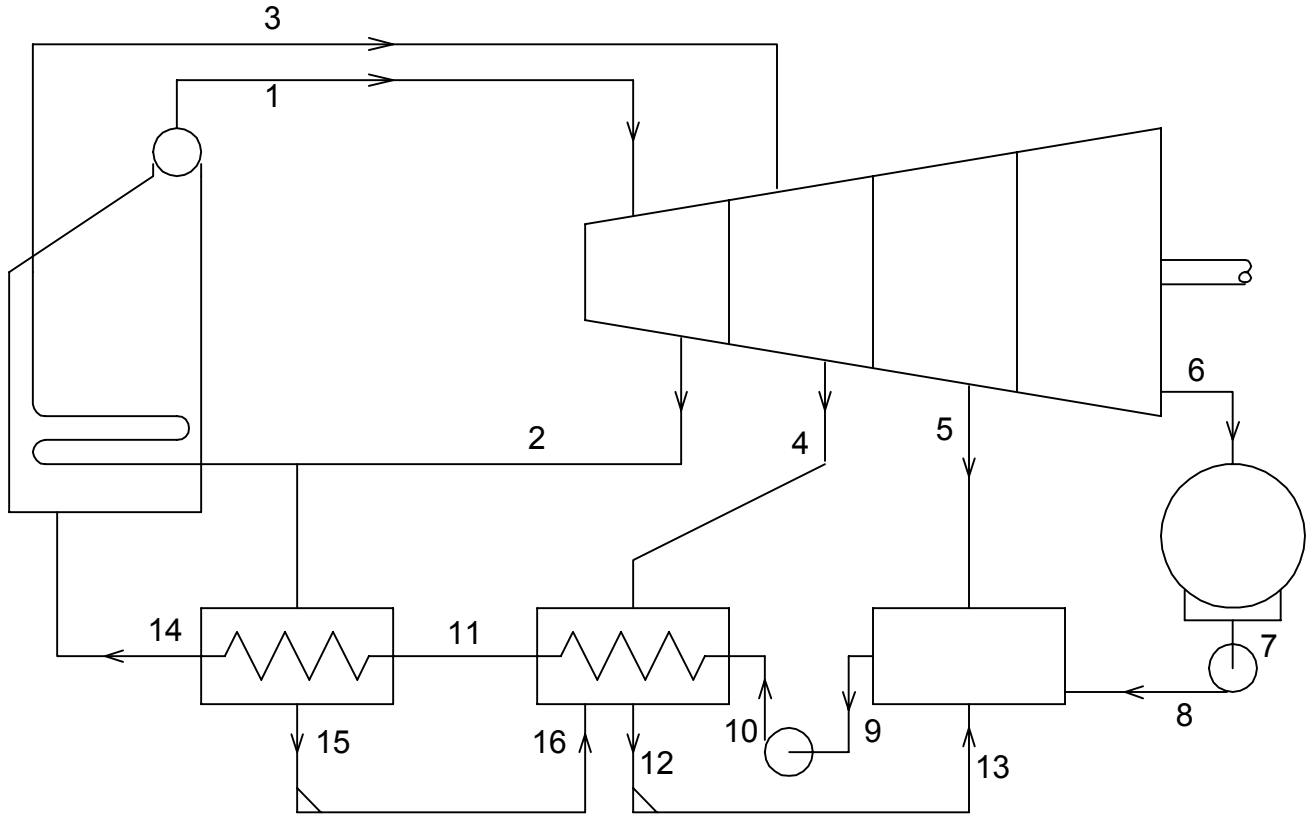
EXEMPLO PARA CICLO MOTOR A VAPOR

Vapor entra no primeiro estágio de uma turbina de um ciclo a vapor com rea aquecimento e regeneração a 32 MPa, 600°C e se expande até 8 MPa. Uma parte da descarga é desviada para um trocador de calor de superfície a 8 MPa e o restante é rea aquecido até 560°C antes de entrar no segundo estágio da turbina. A expansão no segundo estágio ocorre até 1 MPa onde uma outra parte da descarga é desviada para um segundo trocador de calor de superfície a 1 MPa. O restante da descarga se expande através do terceiro estágio da turbina até 0,15 MPa onde uma porção da descarga é desviada para um trocador de calor de mistura operando a 0,15 MPa, e o restante se expande através do quarto estágio da turbina até a pressão do condensador de 6 kPa. O condensado deixa cada trocador de calor de superfície como líquido saturado na respectiva pressão de extração. As descargas deixam cada trocador de calor de superfície numa temperatura igual à de saturação na respectiva pressão de extração imediatamente inferior. As descargas de condensado dos trocadores de calor de superfície passam através de purgadores para os próximos aquecedores em pressões mais baixas. O líquido saturado que deixa o trocador de calor de mistura é bombeado até a pressão do gerador de vapor. Para operação isoentrópica da turbina e das bombas:

- a) Esquematize o ciclo e o represente num diagrama T-s;
- b) Determine a eficiência térmica do ciclo;
- c) Calcule a descarga no primeiro estágio da turbina para produzir uma potência de 500 MW;
- d) Determine a taxa de disponibilidade, em MW, fornecida ao fluido de trabalho que passa pelo gerador de vapor. Efetue os cálculos para levar em conta todas as saídas, perdas e destruição desta disponibilidade ($T_0 = 15^\circ\text{C}$, $P_0 = 0,1 \text{ MPa}$).

Solução:

Estado 1:	$P_1 = 320 \text{ bar}$	$T_1 = 600^\circ\text{C}$	$h_1 = 3424,6 \text{ kJ/kg}$	$s_1 = 6,1858 \text{ kJ/kg.K}$
Estado 2:	$P_2 = 80 \text{ bar}$		$h_2 = 3022,3 \text{ kJ/kg}$	$s_2 = 6,1858 \text{ kJ/kg.K}$
Estado 3:	$P_3 = 80 \text{ bar}$	$T_3 = 560^\circ\text{C}$	$h_3 = 3545,3 \text{ kJ/kg}$	$s_3 = 6,9072 \text{ kJ/kg.K}$
Estado 4:	$P_4 = 10 \text{ bar}$		$h_4 = 2934,0 \text{ kJ/kg}$	$s_4 = 6,9072 \text{ kJ/kg.K}$
Estado 5:	$P_5 = 1,5 \text{ bar}$	$s_5 = s_3$	$x_5 = 0,9454$	$h_5 = 2934,0 \text{ kJ/kg}$
Estado 6:	$P_6 = 0,06 \text{ bar}$	$s_6 = s_3$	$x_6 = 0,81776$	$h_6 = 2127,2 \text{ kJ/kg}$
Estado 7:	$P_7 = 0,06 \text{ bar}$	$x_7 = 0$	$h_7 = 151,53 \text{ kJ/kg}$	
Estado 8:	$h_8 = h_7 + v_7 (P_8 - P_7) = 151,3 + 0,14 = 151,67 \text{ kJ/kg}$			
Estado 9:	$P_9 = 1,5 \text{ bar}$	$x_9 = 0$	$h_9 = 467,11 \text{ kJ/kg}$	
Estado 10:	$h_{10} = h_9 + v_9 (P_{10} - P_9) = 467,11 + 33,53 = 500,64 \text{ kJ/kg}$			
Estado 11:	$P_{11} = 320 \text{ bar}$	$T_{11} = T_{\text{sat}}(10\text{bar}) = 180^\circ\text{C}$	Tab. A5	$h_{11} = 781,7 \text{ kJ/kg}$
Estado 12:	$P_{12} = 10 \text{ bar}$	$x_{12} = 0$	$h_{12} = 762,81 \text{ kJ/kg}$	
Estado 13:	processo de estrangulamento $h_{13} = h_{12} = 762,81 \text{ kJ/kg}$			
Estado 14:	$P_{14} = 320 \text{ bar}$	$T_{14} = T_{\text{sat}}(80\text{bar}) = 295^\circ\text{C}$	Tab. A5	$h_{14} = 1303,8 \text{ kJ/kg}$
Estado 15:	$P_3 = 80 \text{ bar}$	$x_{15} = 0$	$h_{15} = 1316,6 \text{ kJ/kg}$	
Estado 16:	processo de estrangulamento $h_{16} = h_{15} = 1316,6 \text{ kJ/kg}$			



$$\dot{m}_5 = \frac{(h_{11} - h_{14}) + (h_{11} - h_{14})}{h_2 - h_{15}} \dot{m}_1 = (h_{11} - h_{14}) \dot{m}_1$$

Fazendo-se um balanço de massa e energia no volume de controle no TC de superfície de 80 bar, a fração da descarga extraída no ponto 2 é:

$$0 = y'(h_2 - h_{15}) + (h_{11} - h_{14})$$

$$y' = \frac{h_{14} - h_{11}}{h_2 - h_{15}} = \frac{1303,8 - 781,7}{3022,3 - 1316,6} = 0,3061$$

Para o TC de superfície de 10 bar, um balanço de energia resulta em

$$0 = y''h_4 + y'h_{16} + (h_{10} - h_{11}) - (y' + y'')h_{12}$$

$$y'' = \frac{(h_{11} - h_{10}) + y'(h_{12} - h_{16})}{(h_4 - h_{12})} = \frac{(781,7 - 500,64) + 0,3061(762,81 - 1316,6)}{2934,0 - 762,81} = 0,0514$$

Analogamente, para o trocador de calor de mistura

$$0 = y'''h_5 + (y' + y'')h_{13} + (1 - y' - y'' - y''')h_8 - h_9$$

$$y''' = \frac{(h_9 - h_8) + (y' + y'')(h_8 - h_{13})}{(h_5 - h_8)} = \frac{(467,11 - 151,67) + 0,3575(151,67 - 762,81)}{2572,0 - 151,67} = 0,0401$$

Para um VC na turbina, em todos os estágios,

$$\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = (h_1 - h_2) + (1 - y')(h_3 - h_4) + (1 - y' - y'')(h_4 - h_5) + (1 - y' - y'' - y''')(h_5 - h_6)$$

$$= (3424,6 - 3022,3) + 0,6939 (3545,3 - 2934,0) + 0,6425 (2934,0 - 2572,0) +$$

$$0,6024 (2572,0 - 2127,2) = 1327 \text{ kJ/kg}$$

Para um VC nas bombas

$$\frac{\dot{W}_b}{\dot{m}} = (h_{10} - h_9) + (1 - y' - y'' - y''')(h_8 - h_7)$$

$$= (500,64 - 467,11) + 0,6024 (151,67 - 151,53) = 33,61 \text{ kJ/kg}$$

A taxa total de transferência de calor para o gerador de vapor, superaquecedor e reaquecedor, por unidade de massa de vapor que entra no primeiro estágio da turbina é

$$\begin{aligned}\frac{\dot{Q}}{\dot{m}_1} &= (h_1 - h_{14}) + (1 - y')(h_3 - h_2) \\ &= (3424,6 - 1303,8) + 0,6939 (3545,3 - 3022,3) = 2483,7 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Portanto, a eficiência térmica é

$$\eta = \frac{\dot{W}_t / \dot{m} - \dot{W}_b / \dot{m}}{\dot{Q} / \dot{m}} = \frac{1327 - 33,61}{2483,7} = 0,521$$

A potência líquida produzida pelo ciclo é

$$\dot{W}_{liq} = \dot{m}_1 [\dot{W}_t / \dot{m}_1 - \dot{W}_b / \dot{m}_1]$$

Para uma potência do ciclo de 500 MW, a descarga deve ser

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{W}_{liq}}{\dot{W}_t / \dot{m}_1 - \dot{W}_b / \dot{m}_1} = \frac{500 \text{ MW}}{(1327 - 33,61) \text{ kJ/kg}} \left(\frac{10^3 \text{ kJ/s}}{1 \text{ MW}} \right) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = 1,392 \times 10^6 \text{ kg/h}$$

Avaliação da taxa de disponibilidade fornecida ao fluido de trabalho que passa pelo gerador de vapor

Entradas:

Gerador de Vapor – Superaquecedor

$$\begin{aligned}\dot{m}_1 (a_{f1} - a_{f14}) &= \dot{m}_1 [(h_1 - h_{14}) - T_0 (s_1 - s_{14})] \\ &= 386,7 \text{ kg/s} [(3424,6 - 1303,8) - 288 (6,1858 - 3,2064)] \text{ kJ/kg} \\ &= 488.299 \text{ kJ/s} = 488,3 \text{ MW}\end{aligned}$$

Reaquecedor

$$\dot{m}_1 (1 - y')(a_{f3} - a_{f2}) = \dot{m}_1 (1 - y') [(h_3 - h_2) - T_0 (s_3 - s_2)] = 84,6 \text{ MW}$$

Total de entradas: 572,9 MW

Saídas:

Potência líquida produzida pelo ciclo:

$$\begin{aligned}\dot{W}_{liq} &= \dot{m}_1 [\dot{W}_t / \dot{m}_1 - \dot{W}_b / \dot{m}_1] \\ &= 386,7 (1327 - 33,61) \text{ kJ/s} = 500.100 \text{ kJ/s} = 500,1 \text{ MW}\end{aligned}$$

Perdas:

Perdas no condensador para o ambiente

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_1(1 - y' - y'' - y''')(a_{f6} - a_{f7}) = \dot{m}_1(1 - y' - y'' - y''')[(h_6 - h_7) - T_0(s_6 - s_7)] = 31,8MW$$

Destruição de disponibilidades:

No TCS de 80 bar

$$\dot{I} = \dot{m}_1 T_0 (\dot{\sigma} / \dot{m}_1) = \dot{m}_1 T_0 [y'(s_{15} - s_2) + (s_{14} - s_{11})] = 17,25MW$$

No TCS de 10 bar

$$\dot{I} = \dot{m}_1 T_0 [s_{11} - s_{10} + (y' + y''')s_{12} - y's_{16} - y''s_4] = 9,7MW$$

No TCM

$$\dot{I} = \dot{m}_1 T_0 [s_9 - y''s_5 - (y' + y'')s_{13} - (1 - y' - y'' - y''')s_8] = 6,2MW$$

Nos purgadores:

$$\dot{I} = \dot{m}_1 T_0 [(s_{16} - s_{15})y'] = 5,25MW$$

$$\dot{I} = \dot{m}_1 T_0 [(y' + y'')(s_{13} - s_{12})] = 2,54MW$$

Total de disponibilidade destruída: 40,94 MW

Em resumo:

Entrada	572,9 MW	Saída	500,1 MW
		Perdas	31,8 MW
		Destruição	<u>40,94 MW</u>
			572,84 MW