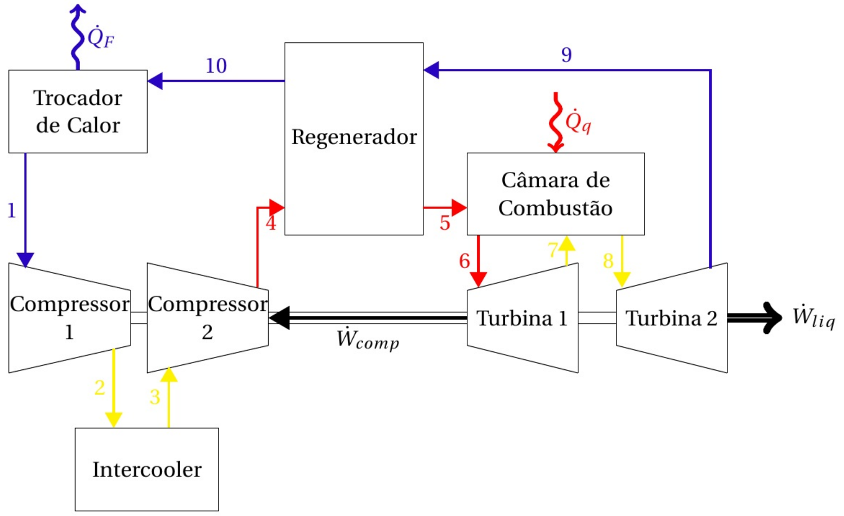
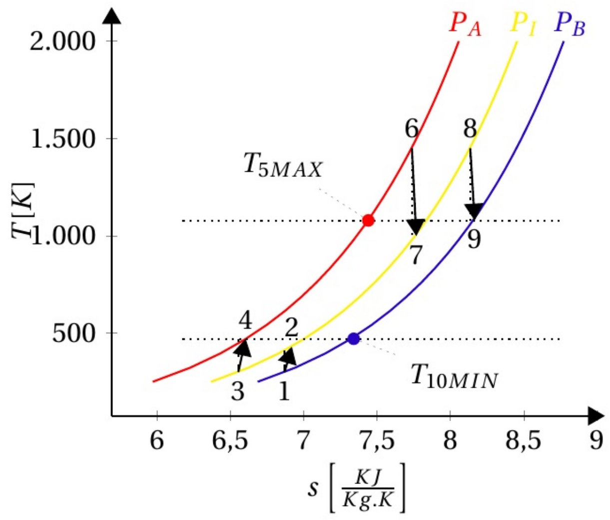
Ciclo de Potência a gás Brayton com Intercooler e Reaquecimento

EXERCÍCIO



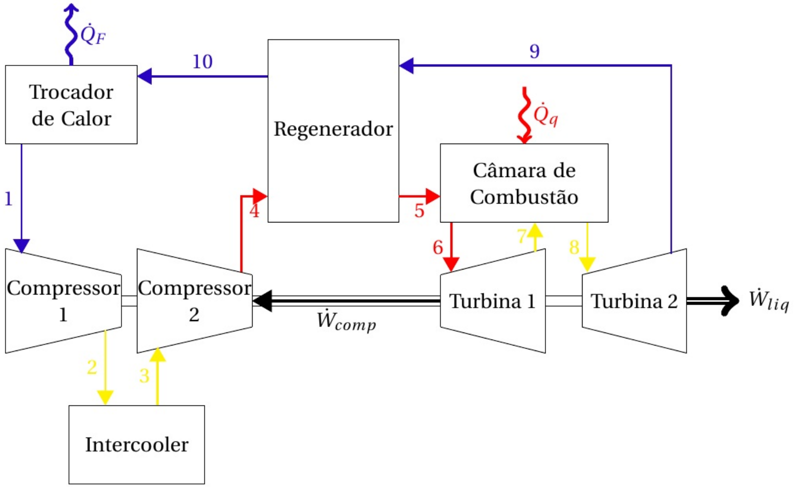


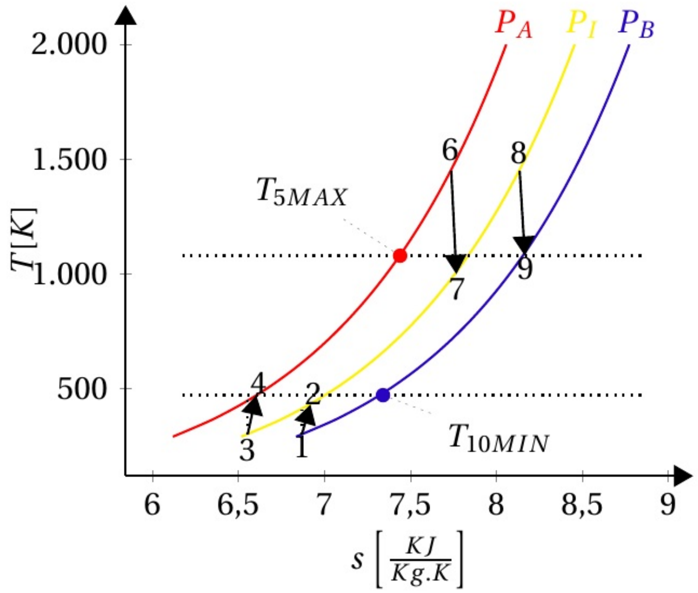
www.cienciastermicas.com

Sistemas de Potência a gás: ciclo Brayton com Reaquecimento e Intercooler

Um ciclo a ar padrão Brayton com intercooler e reaquecimento produz $10MW$ de potência. Ar entra no primeiro compressor a 1bar e 300K, razão de pressão de 3. O segundo compressor tem razão de pressão de 4. A primeira turbina tem razão de pressão de 4 e a segunda de 3. O intercooler resfria o ar para 300K. A temperatura do ar após cada combustor é de 1450K. A eficiência isoentrópica dos compressores é de 85% e das turbinas de 95%. A efetividade do regenerador é de 80%. Determine:

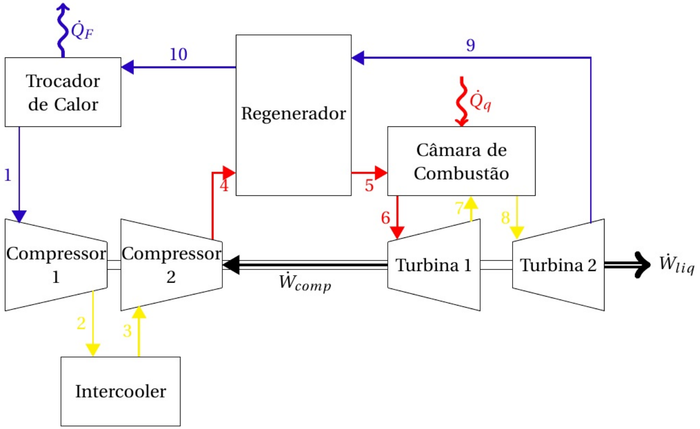
a) Fluxo de massa
b) Taxa de calor adicionado nos combustores
c) rendimento do ciclo



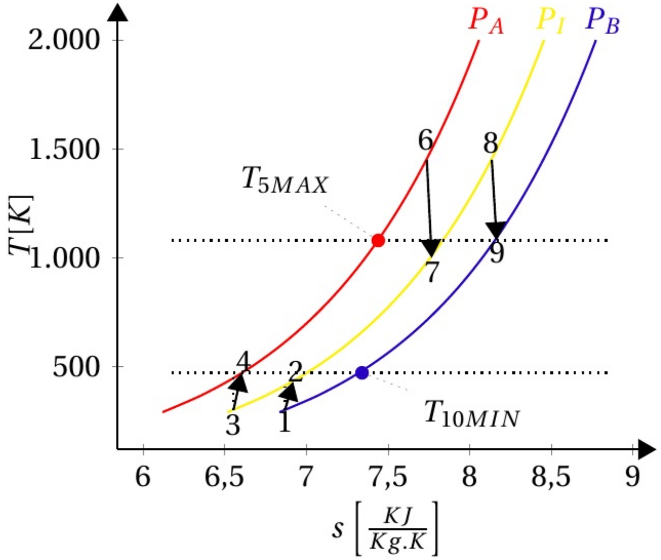


Procedimento de Solução:

Desenhe os componentes do ciclo e identifique-os



Faça o diagrama T-s

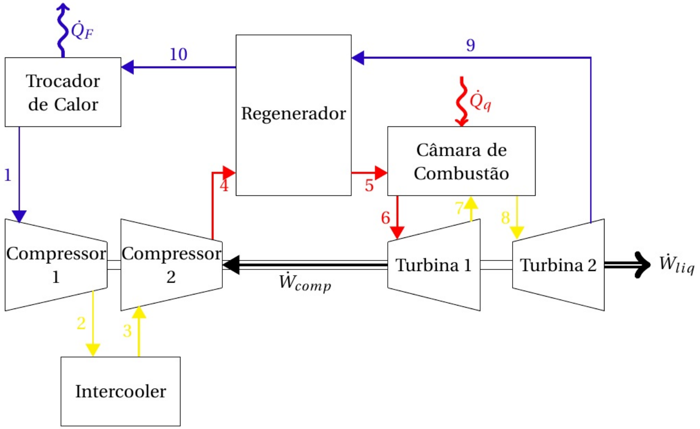


Faça uma tabela dos estados e preencha os valores conhecidos na tabela

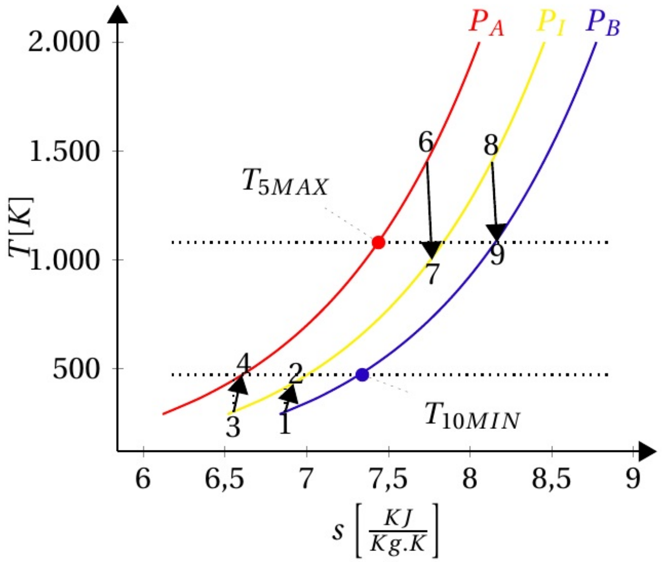
Estado	P[bar]	T[K]
1	1	300
2s	P_i	
2	P_i	
3	P_i	300
4s	P_a	
4	P_a	
5	P_a	
6	P_a	1450
7s	P_i	
7	P_i	
8	P_i	1450
9s	P_b	
9	P_b	
10	P_b	

Procedimento de Solução:

Desenhe os componentes do ciclo e identifique-os



Faça o diagrama T-s



- Ponto 2s

Do enunciado: $r = \frac{P_2}{P_1} = 3$. Logo, $P_2 = P_{2s} = 3[bar]$. Para a temperatura, vamos utilizar as equações isoentrópicas:

$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow \frac{T_{2s}}{300} = 3^{\frac{1,4-1}{1,4}} \rightarrow T_{2s} = 410,62[K]$$

- Ponto 2

$$w_{cr} = \frac{w_{cs}}{\eta_c}$$

$$h_2 - h_1 = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_c} \rightarrow c_P(T_2 - T_1) = \frac{c_P(T_{2s} - T_1)}{\eta_c} \rightarrow T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_c}$$

$$T_2 = 300 + \frac{410,62 - 300}{0,85} = 430,14[K]$$

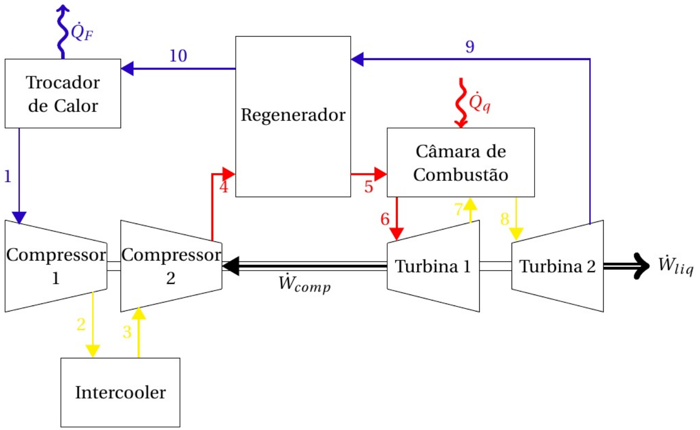
$$\Delta s_{2-2s} = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_{2s}}\right) - R\ln\left(\cancel{\frac{P_2}{P_{2s}}}\right)$$

Atualizando a tabela dos estados:

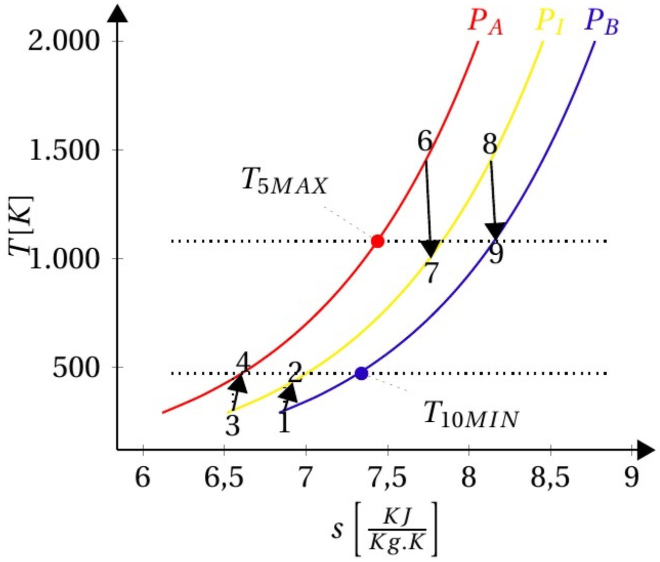
Estado	P[bar]	T[K]
1	1	300
2s	3	410,62
2	3	430,14
3	3	300
4s	Pa	
4	Pa	
5	Pa	
6	Pa	1450
7s	3	
7	3	
8	3	1450
9s	Pb	
9	Pb	
10	Pb	

Procedimento de Solução:

Desenhe os componentes do ciclo e identifique-os



Faça o diagrama T-s



- Ponto 4s

Do enunciado: $r = \frac{P_4}{P_3} = 4$. Logo, $P_4 = P_{4s} = 12[bar]$. Para a temperatura, vamos utilizar as equações isoentrópicas:

$$\frac{T_{4s}}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow \frac{T_{4s}}{300} = 4^{\frac{1,4-1}{1,4}} \rightarrow T_{4s} = 445,80[K]$$

- Ponto 4

$$w_{cr} = \frac{w_{cs}}{\eta_c}$$

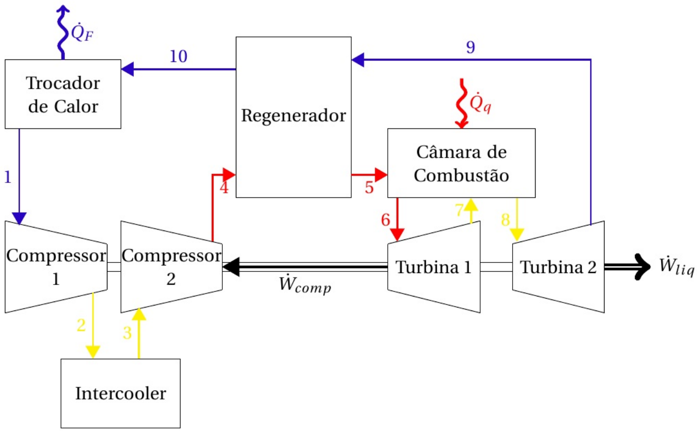
$$T_4 = 300 + \frac{445,80 - 300}{0,85} = 471,53[K]$$

Atualizando a tabela dos estados:

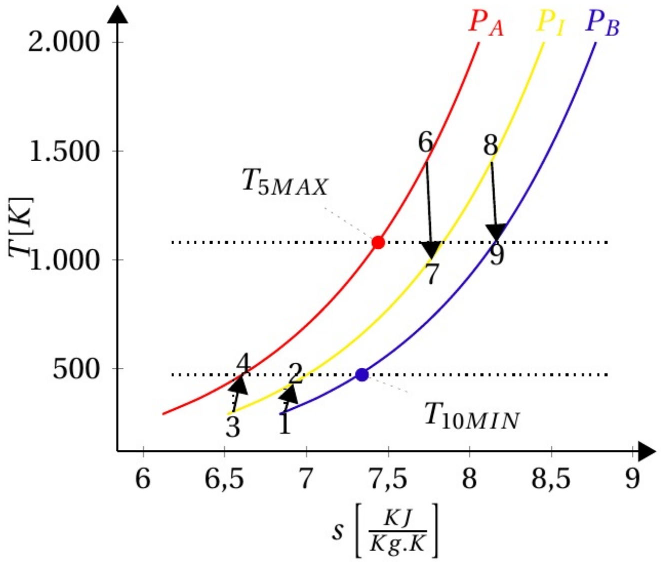
Estado	P[bar]	T[K]
1	1	300
2s	3	410,62
2	3	430,14
3	3	300
4s	12	445,80
4	12	471,53
5	12	
6	12	1450
7s	3	
7	3	
8	3	1450
9s	1	
9	1	
10	1	

Procedimento de Solução:

Desenhe os componentes do ciclo e identifique-os



Faça o diagrama T-s



- Ponto 7s

O ponto 7s está na linha de pressão intermediária, logo $P_7 = P_{7s} = P_2 = 3[bar]$.
Para a temperatura, novamente utilizamos as equações isoentrópicas:

$$\frac{T_{7s}}{T_6} = \left(\frac{P_7}{P_6}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow \frac{T_{7s}}{1450} = \left(\frac{3}{12}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \rightarrow T_{7s} = 975,78[K]$$

$\Delta s_{7-7s} = c_p \ln\left(\frac{T_7}{T_{7s}}\right)$

- Ponto 7 $w_{Tr} = w_{Tiso}.\eta_T$ $h_7 - h_6 = (h_{7s} - h_6)\eta$

$$T_7 = 1450 + 975,78 - 1450.0,95 = 999,49[K]$$

- Ponto 9s e 9

$$\frac{T_{9s}}{T_8} = \left(\frac{P_9}{P_8}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow \frac{T_{9s}}{1450} = \left(\frac{1}{3}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \rightarrow T_{9s} = 1059,37[K]$$

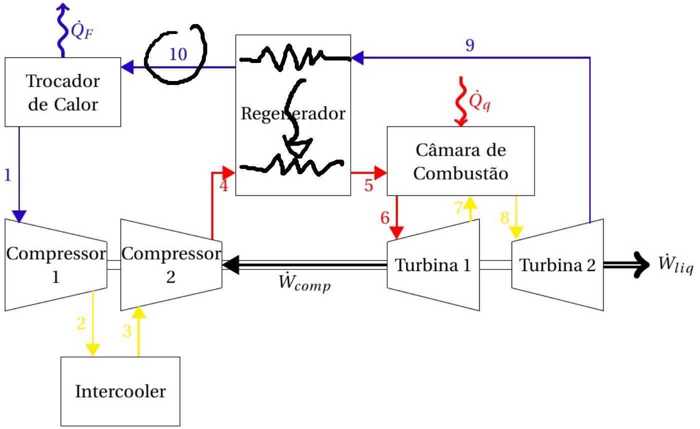
$$h_9 - h_8 = (h_{9s} - h_8)\eta_T \rightarrow T_9 = T_8 + (T_{9s} - T_8)0,95 \rightarrow T_9 = 1078,90[K]$$

Atualizando a tabela dos estados:

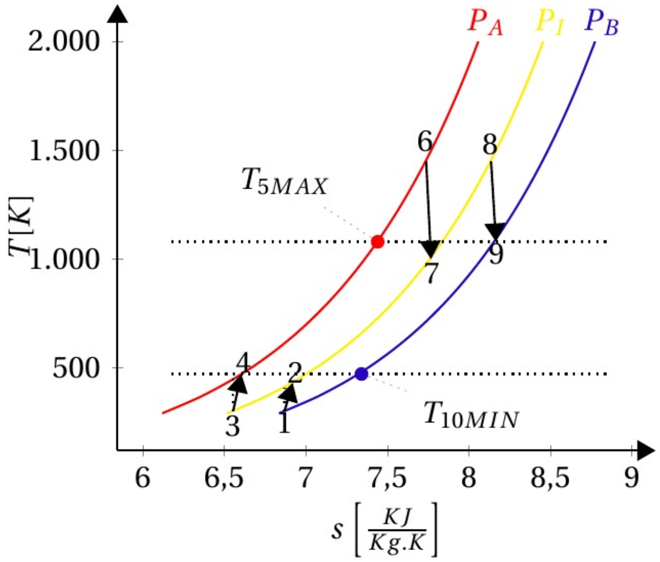
Estado	P[bar]	T[K]
1	1	300
2s	3	410,62
2	3	430,14
3	3	300
4s	12	445,80
4	12	471,53
5	12	
6	12	1450
7s	3	975,78
7	3	999,49
8	3	1450
9s	1	1059,37
9	1	1078,90
10	1	

Procedimento de Solução:

Desenhe os componentes do ciclo e identifique-os



Faça o diagrama T-s



- Ponto 5

$$\epsilon = \frac{h_5 - h_4}{h_9 - h_4} = -\frac{(h_{10} - h_9)}{h_9 - h_4}$$

$$T_5 = \epsilon(T_9 - T_4) + T_4$$

$$T_5 = 0,8(1078,90 - 471,53) + 471,53 = 957,43$$

- Ponto 10

$$\dot{m}h_4 + \dot{m}h_9 = \dot{m}h_5 + \dot{m}h_{10} \rightarrow h_{10} - h_9 = h_4 - h_5$$

$$h_{10} - h_9 = -(h_5 - h_4)$$

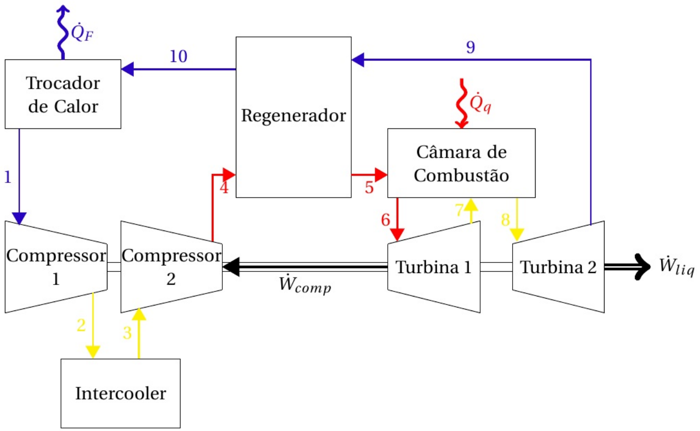
$$T_{10} = T_9 + T_4 - T_5 \rightarrow T_{10} = 1078,90 + 471,53 - 957,43 = 593[K]$$

Atualizando a tabela dos estados:

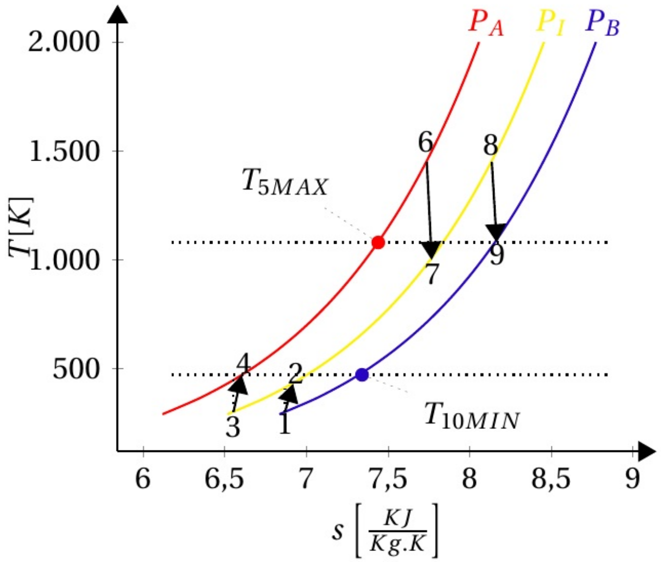
Estado	P[bar]	T[K]
1	1	300
2s	3	410,62
2	3	430,14
3	3	300
4s	12	445,80
4	12	471,53
5	12	957,43
6	12	1450
7s	3	975,78
7	3	999,49
8	3	1450
9s	1	1059,37
9	1	1078,90
10	1	593

Procedimento de Solução:

Desenhe os componentes do ciclo e identifique-os



Faça o diagrama T-s



Faça a tabela de calores e trabalhos dos componentes

$de = \delta q + \delta w$

Componente	q[KJ/Kg]	w[KJ/Kg]
Câmara de combustão 1	$c_P(T_6 - T_5) = 494,54$	0
Turbina 1	0	$c_P(T_7 - T_6) = -452,31$
Câmara de combustão 2	$c_P(T_8 - T_7) = 452,31$	0
Turbina 2	0	$c_P(T_9 - T_8) = -372,58$
Trocador de calor	$c_P(T_1 - T_{10}) = -294,17$	0
Compressor 1	0	$c_P(T_2 - T_1) = 130,66$
Intercooler	$c_P(T_3 - T_2) = -130,14$	0
Compressor 2	0	$c_P(T_4 - T_3) = 172,22$
Σ	$q_{liq} = 522,54$	$w_{liq} = -522,01$

Estado	P[bar]	T[K]
1	1	300
2s	3	410,62
2	3	430,14
3	3	300
4s	12	445,80
4	12	471,53
5	12	957,43
6	12	1450
7s	3	975,78
7	3	999,49
8	3	1450
9s	1	1059,37
9	1	1078,90
10	1	593

$$\eta = \frac{522,0}{494,54 + 452,31} = 55,13\%$$

$$bwr = \frac{130,66 + 172,22}{452,31 + 372,58} = 36,7\%$$

A taxa mássica será:

$$\dot{m}.w_{liq} = 10[MW] \rightarrow \dot{m} = \frac{10.10^6[W]}{522,01.10^3[J/Kg]} = 19,15[Kg/s]$$