

CICLO DE RANKINE IDEAL

TEORIA



Fonte de Calor



Q_g



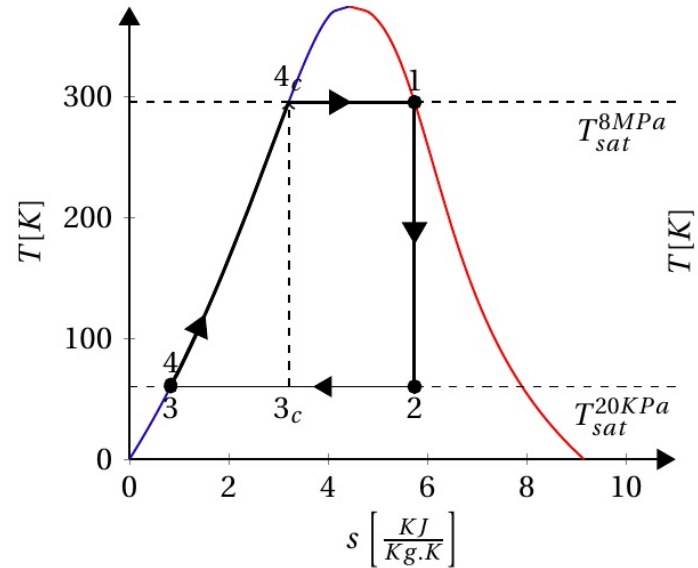
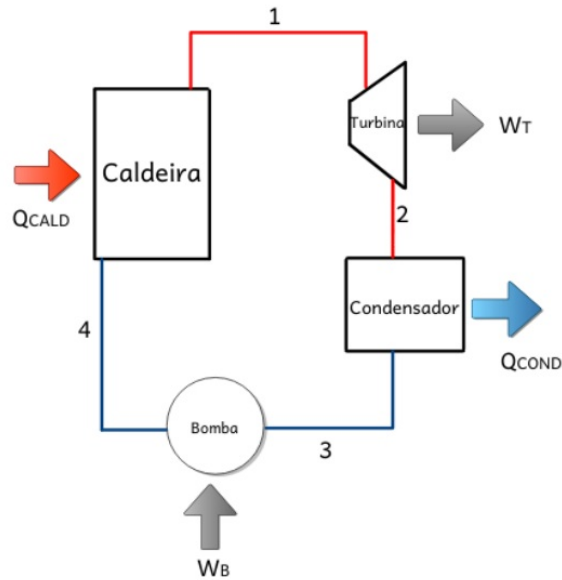
W

Q_f



Fonte Fria

(Ambiente ou Sumidouro)



Ciclo de geração de Potência a Vapor de Rankine Ideal

OBJETIVOS

Identificar os componentes do ciclo de Rankine ideal & Hipóteses

Desenhar o diagrama Temperatura-Entropia

Balanco de energia em cada componente para cálculo dos trabalhos e calores

Cálculo do rendimento

Procedimento de solução

Pré-Requisitos:

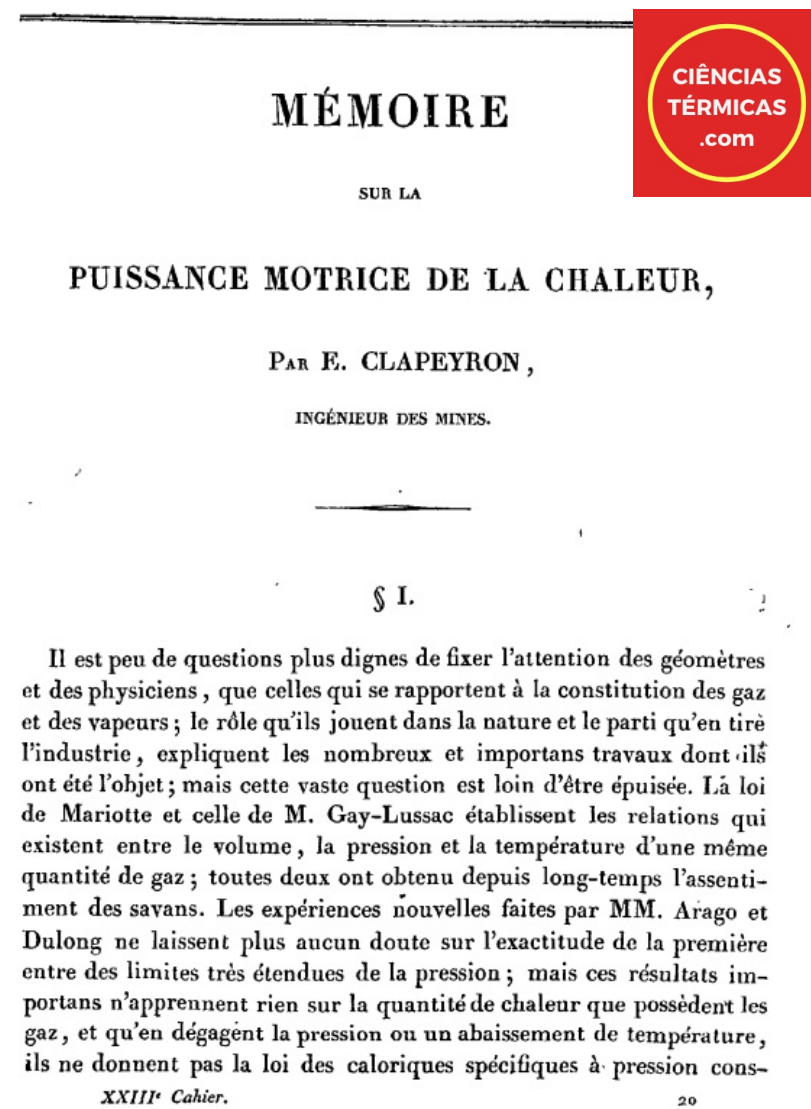
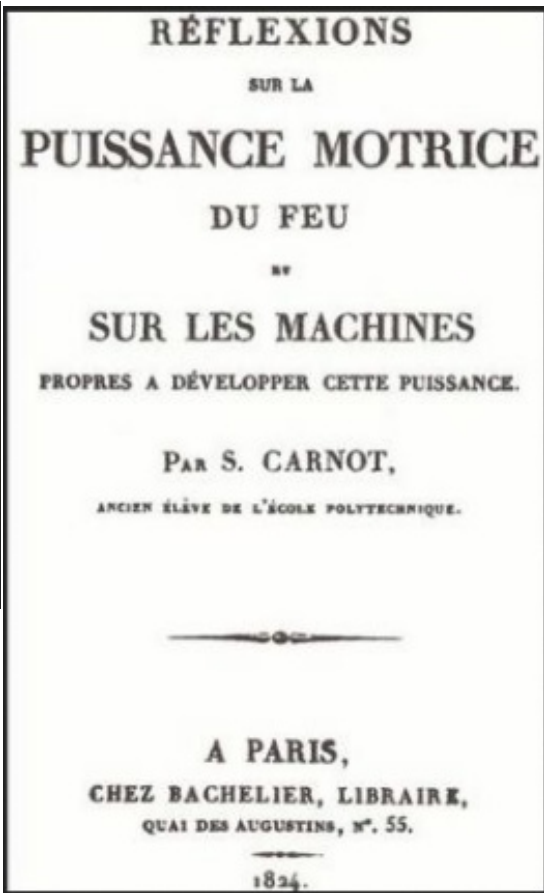
1ª e 2ª Leis das Termodinâmica;

Estados Termodinâmicos;

SLIDES no Site (Ciclos Termodinâmicos)

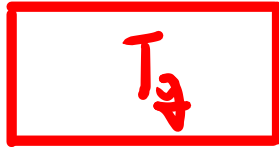
Dúvidas e sugestões: email: rodrigo@cienciastermicas.com ou comentários





O Motor térmico idealizado

Fonte de Calor



Fonte Fria

(Ambiente ou Sumidouro)

Balanco de ENERGIA (1ª Lei)

$$Q_g = W + Q_f$$

$$\Rightarrow W = Q_g - Q_f$$

Rendimento

O que quer
O que gasta

$$\eta = \frac{W}{Q_g} = \frac{Q_g - Q_f}{Q_g} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_g}$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_f}{T_g}$$

CARNOT



PROCESSOS REVERSÍVEIS

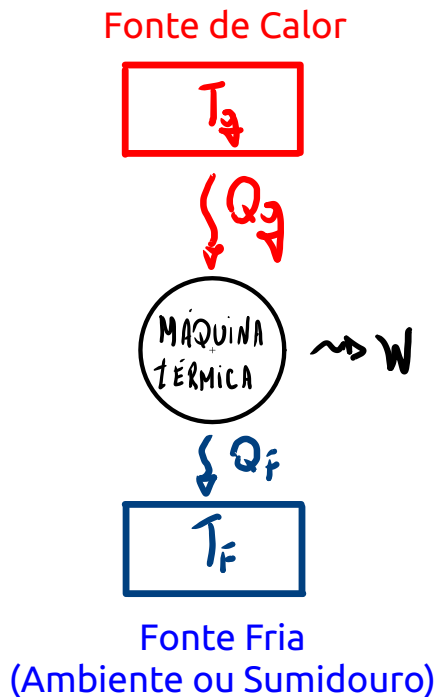
MÁQUINA TÉRMICA \approx ISOTÉRMICA! $\dot{V} = 0$; $\dot{E}_d = 0$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR A TEMPERATURAS CONSTANTES

↳ PROCESSOS DE MUDANÇA DE FASE \rightarrow Calor latente

↳ Variação de temperatura = fonte de irreversibilidade

↳ Processos dissipativos



\approx Processo de SATURAÇÃO \propto TEMPERATURA DE SATURAÇÃO

Ciclos

(Adiabático e Reversível)

Pressão kPa	Temp. °C	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
P	T	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0,6113	0,01	0,001000	206,132	0	2375,3	2375,3	0,00	2501,30	2501,30	0,0000	9,1562	9,1562
1	6,98	0,001000	129,20802	29,29	2355,69	2384,98	29,29	2484,89	2514,18	0,1059	8,8697	8,9756
1,5	13,03	0,001001	87,98013	54,70	2338,63	2393,32	54,70	2470,59	2525,30	0,1956	8,6322	8,8278
2	17,50	0,001001	67,00385	73,47	2326,02	2399,48	73,47	2460,02	2533,49	0,2607	8,4629	8,7236
2,5	21,08	0,001002	54,25385	88,47	2315,93	2404,40	88,47	2451,56	2540,03	0,3120	8,3311	8,6431
3	24,08	0,001003	45,66502	101,03	2307,48	2408,51	101,03	2444,47	2545,50	0,3545	8,2231	8,5775
4	28,96	0,001004	34,80015	121,44	2293,73	2415,17	121,44	2432,93	2554,37	0,4226	8,0520	8,4746
5	32,88	0,001005	28,19251	137,79	2282,70	2420,49	137,79	2423,66	2561,45	0,4763	7,9187	8,3950
7,5	40,29	0,001008	19,23775	168,76	2261,74	2430,50	168,77	2406,02	2574,79	0,5763	7,6751	8,2514
10	45,81	0,001010	14,67355	191,79	2246,10	2437,89	191,81	2392,82	2584,63	0,6492	7,5010	8,1501
15	53,97	0,001014	10,02218	225,90	2222,83	2448,73	225,91	2373,14	2599,06	0,7548	7,2536	8,0084
20	60,06	0,001017	7,64937	251,35	2205,36	2456,71	251,38	2358,33	2609,70	0,8319	7,0766	7,9085
25	64,97	0,001020	6,20424	271,88	2191,21	2463,08	271,90	2346,29	2618,19	0,8930	6,9383	7,8313

Temp. °C	Pressão kPa	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
T	P	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0,01	0,6113	0,001000	206,132	0,00	2375,33	2375,33	0,00	2501,35	2501,35	0,0000	9,1562	9,1562
5	0,8721	0,001000	147,118	20,97	2361,27	2382,24	20,98	2489,57	2510,54	0,0761	8,9496	9,0257
10	1,2276	0,001000	106,377	41,99	2347,16	2389,15	41,99	2477,75	2519,74	0,1510	8,7498	8,9007
15	1,705	0,001001	77,925	62,98	2333,06	2396,04	62,98	2465,93	2528,91	0,2245	8,5569	8,7813
20	2,339	0,001002	57,7897	83,94	2318,98	2402,91	83,94	2454,12	2538,06	0,2966	8,3706	8,6671
25	3,169	0,001003	43,3593	104,86	2304,90	2409,76	104,87	2442,30	2547,17	0,3673	8,1905	8,5579
30	4,246	0,001004	32,8922	125,77	2290,81	2416,58	125,77	2430,48	2556,25	0,4369	8,0164	8,4533
35	5,628	0,001006	25,2158	146,65	2276,71	2423,36	146,66	2418,62	2565,28	0,5052	7,8478	8,3530
40	7,384	0,001008	19,5229	167,53	2262,57	2430,11	167,54	2406,72	2574,26	0,5724	7,6845	8,2569
45	9,593	0,001010	15,2581	188,41	2248,40	2436,81	188,42	2394,77	2583,19	0,6386	7,5261	8,1647
50	12,350	0,001012	12,0318	209,30	2234,17	2443,47	209,31	2382,75	2592,06	0,7037	7,3725	8,0762
55	15,758	0,001015	9,56835	230,19	2219,89	2450,08	230,20	2370,66	2600,86	0,7679	7,2234	7,9912
60	19,941	0,001017	7,67071	251,09	2205,54	2456,63	251,11	2358,48	2609,59	0,8311	7,0784	7,9095
65	25,03	0,001020	6,19656	272,00	2191,12	2463,12	272,03	2346,21	2618,24	0,8934	6,9375	7,8309

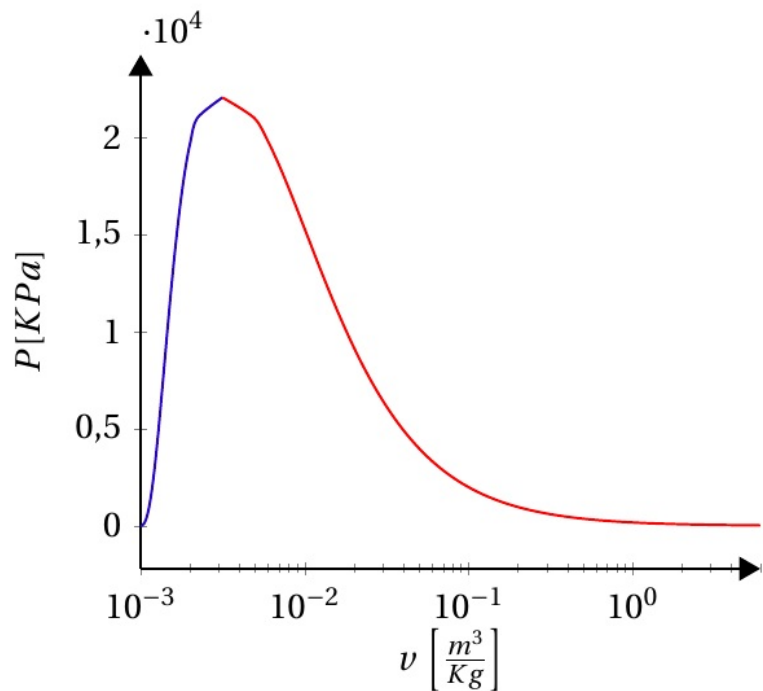


Diagrama P vs log(v) para água

titulo

$$X = \frac{mv}{m}$$

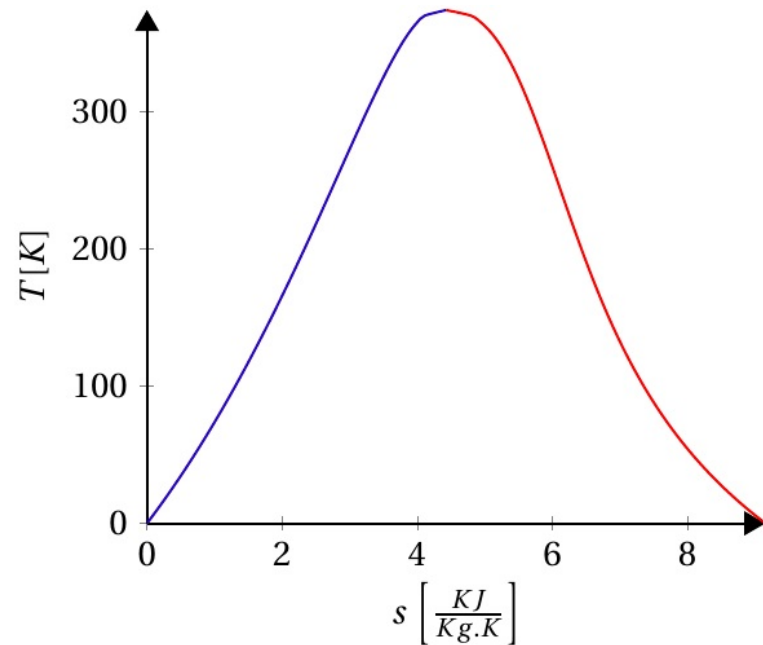


Diagrama temperatura entropia para água

Pressão kPa	Temp. °C	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
P	T	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0,6113	0,01	0,001000	206,132	0	2375,3	2375,3	0,00	2501,30	2501,30	0,0000	9,1562	9,1562
1	6,98	0,001000	129,20802	29,29	2355,69	2384,98	29,29	2484,89	2514,18	0,1059	8,8697	8,9756
1,5	13,03	0,001001	87,98013	54,70	2338,63	2393,32	54,70	2470,59	2525,30	0,1956	8,6322	8,8278
2	17,50	0,001001	67,00385	73,47	2326,02	2399,48	73,47	2460,02	2533,49	0,2607	8,4629	8,7236
2,5	21,08	0,001002	54,25385	88,47	2315,93	2404,40	88,47	2451,56	2540,03	0,3120	8,3311	8,6431
3	24,08	0,001003	45,66502	101,03	2307,48	2408,51	101,03	2444,47	2545,50	0,3545	8,2231	8,5775
4	28,96	0,001004	34,80015	121,44	2293,73	2415,17	121,44	2432,93	2554,37	0,4226	8,0520	8,4746
5	32,88	0,001005	28,19251	137,79	2282,70	2420,49	137,79	2423,66	2561,45	0,4763	7,9187	8,3950
7,5	40,29	0,001008	19,23775	168,76	2261,74	2430,50	168,76	2406,02	2574,79	0,5763	7,6751	8,2514
10	45,81	0,001010	14,67355	191,79	2246,10	2437,89	191,81	2392,82	2584,63	0,6492	7,5010	8,1501
15	53,97	0,001014	10,02218	225,90	2222,83	2448,73	225,91	2373,14	2599,06	0,7548	7,2536	8,0084
20	60,06	0,001017	7,64937	251,35	2205,36	2456,71	251,38	2358,33	2609,70	0,8319	7,0766	7,9085
25	64,97	0,001020	6,19656	272,00	2191,12	2463,12	272,03	2346,21	2618,24	0,8934	6,9375	7,8309

Temp. °C	Pressão kPa	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
T	P	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0,01	0,6113	0,001000	206,132	0,00	2375,33	2375,33	0,00	2501,35	2501,35	0,0000	9,1562	9,1562
5	0,8721	0,001000	147,118	20,97	2361,27	2382,24	20,98	2489,57	2510,54	0,0761	8,9496	9,0257
10	1,2276	0,001000	106,377	41,99	2347,16	2389,15	41,99	2477,75	2519,74	0,1510	8,7498	8,9007
15	1,705	0,001001	77,925	62,98	2333,06	2396,04	62,98	2465,93	2528,91	0,2245	8,5569	8,7813
20	2,339	0,001002	57,7897	83,94	2318,98	2402,91	83,94	2454,12	2538,06	0,2966	8,3706	8,6671
25	3,169	0,001003	43,3593	104,86	2304,90	2409,76	104,87	2442,30	2547,17	0,3673	8,1905	8,5579
30	4,246	0,001004	32,8922	125,77	2290,81	2416,58	125,77	2430,48	2556,25	0,4369	8,0164	8,4533
35	5,628	0,001006	25,2158	146,65	2276,71	2423,36	146,66	2418,62	2565,28	0,5052	7,8478	8,3530
40	7,384	0,001008	19,5229	167,53	2262,57	2430,11	167,54	2406,72	2574,26	0,5724	7,6845	8,2569
45	9,593	0,001010	15,2581	188,41	2248,40	2436,81	188,42	2394,77	2583,19	0,6386	7,5261	8,1647
50	12,350	0,001012	12,0318	209,30	2234,17	2443,47	209,31	2382,75	2592,06	0,7037	7,3725	8,0762
55	15,758	0,001015	9,56835	230,19	2219,89	2450,08	230,20	2370,66	2600,86	0,7679	7,2234	7,9912
60	19,941	0,001017	7,67071	251,09	2205,54	2456,63	251,11	2358,48	2609,59	0,8311	7,0784	7,9095
65	25,03	0,001020	6,19656	272,00	2191,12	2463,12	272,03	2346,21	2618,24	0,8934	6,9375	7,8309

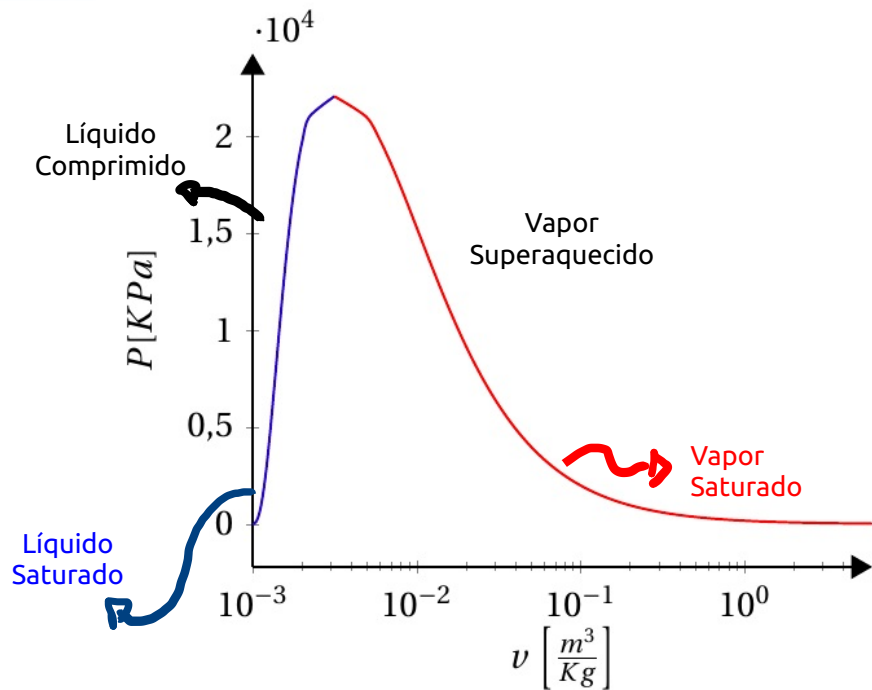


Diagrama P vs log(v) para água

titulo

$$X = \frac{m_v}{m}$$

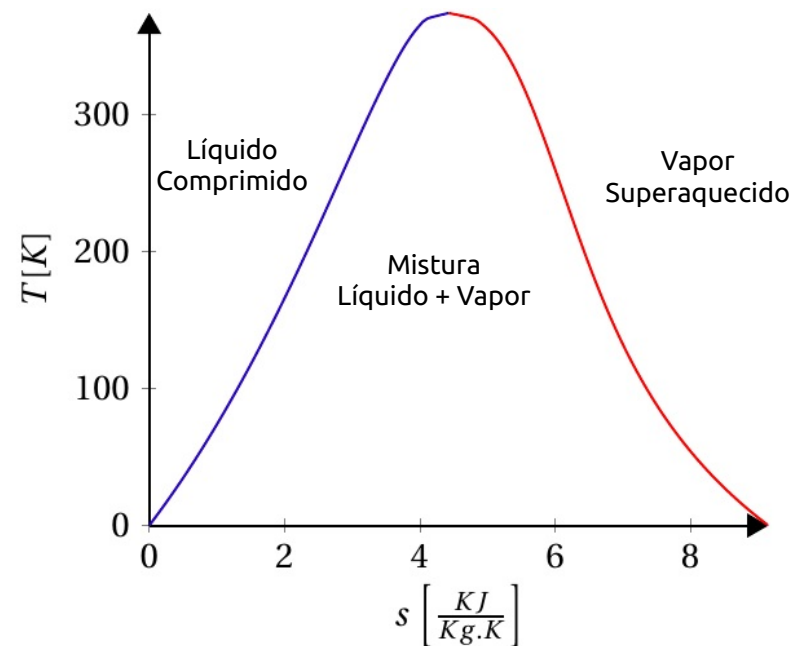


Diagrama temperatura entropia para água

O Ciclo de CARNOT

Fonte de Calor



Fonte Fria

(Ambiente ou Sumidouro)

1->2: adição de calor
temperatura constante
Pressão constante
Caldeira

T_g

T_f

MAIOR QUANTIDADE POSSÍVEL DE
CALOR ADICIONADO SEM MUDAR DE FASE!

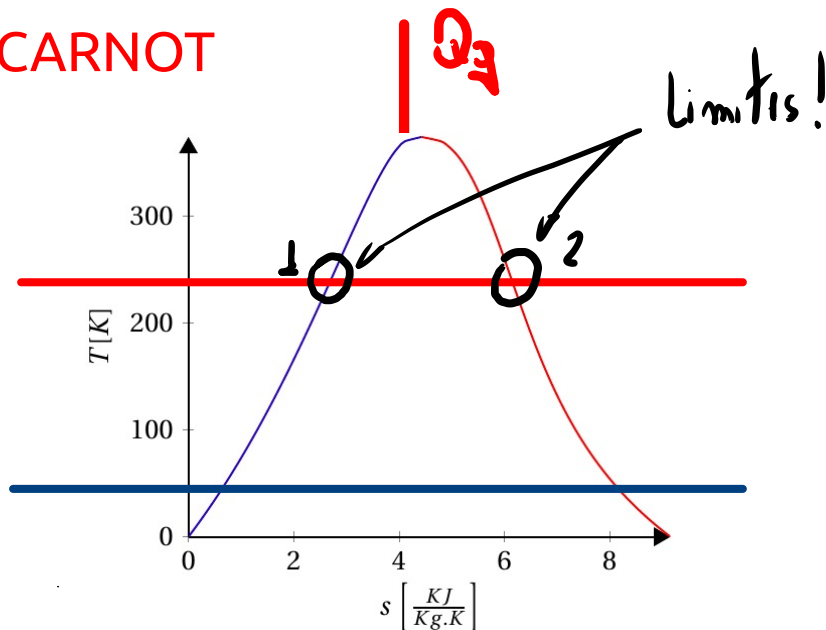
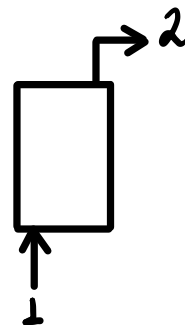


Diagrama temperatura entropia para água

Caldeira



O Ciclo de CARNOT

Fonte de Calor



Fonte Fria
(Ambiente ou Sumidouro)

1->2: adição de calor
T,P constante
Caldeira

2->3: expansão isoentrópica
Turbina

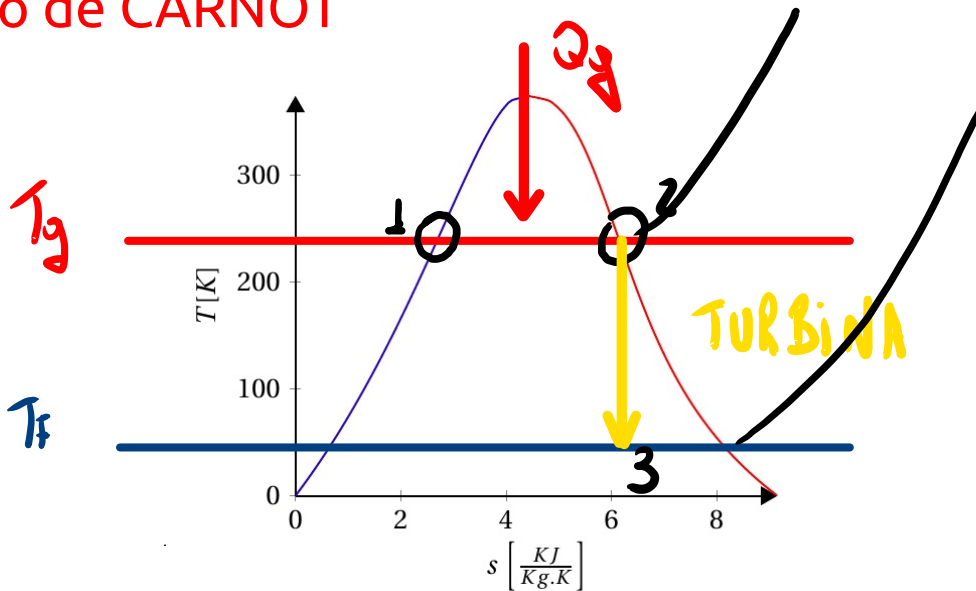
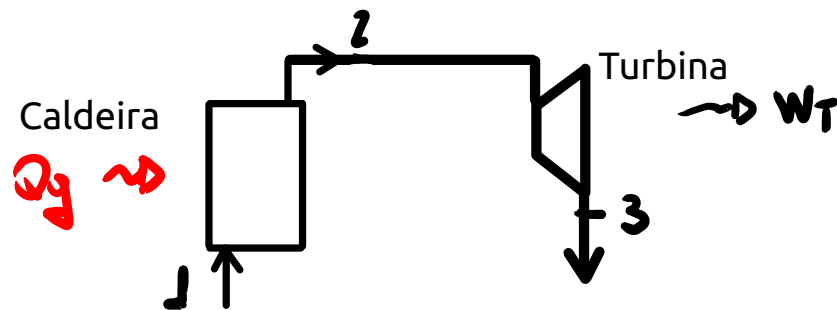


Diagrama temperatura entropia para água



O Ciclo de CARNOT

Fonte de Calor



Fonte Fria

(Ambiente ou Sumidouro)

1->2: adição de calor
T,P constante
Caldeira

2->3: expansão isoentrópica
Turbina

3->4: Rejeição de Calor
Temperatura Constante
Pressão Constante
Condensador

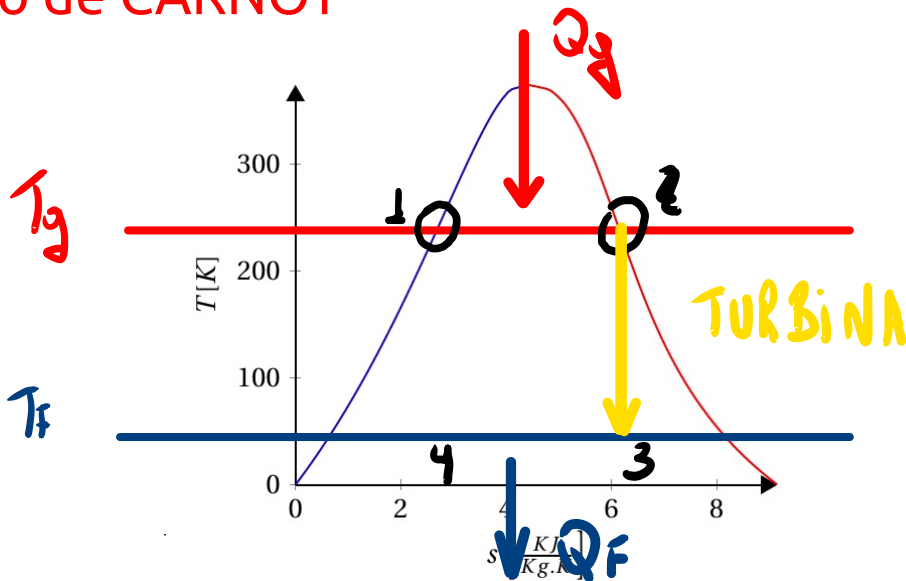
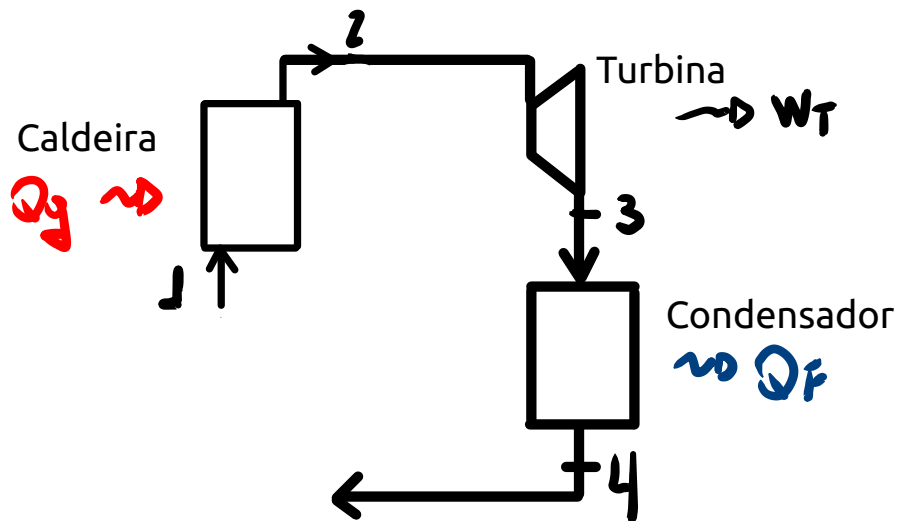


Diagrama temperatura entropia para água



O Ciclo de CARNOT

Fonte de Calor



Fonte Fria
(Ambiente ou Sumidouro)

1->2: adição de calor
T,P constante
Caldeira

2->3: expansão isoentrópica
Turbina

3->4: Rejeição de Calor
T,P constante
Condensador

4-> Aumento da pressão
Isoentrópico
Bomba

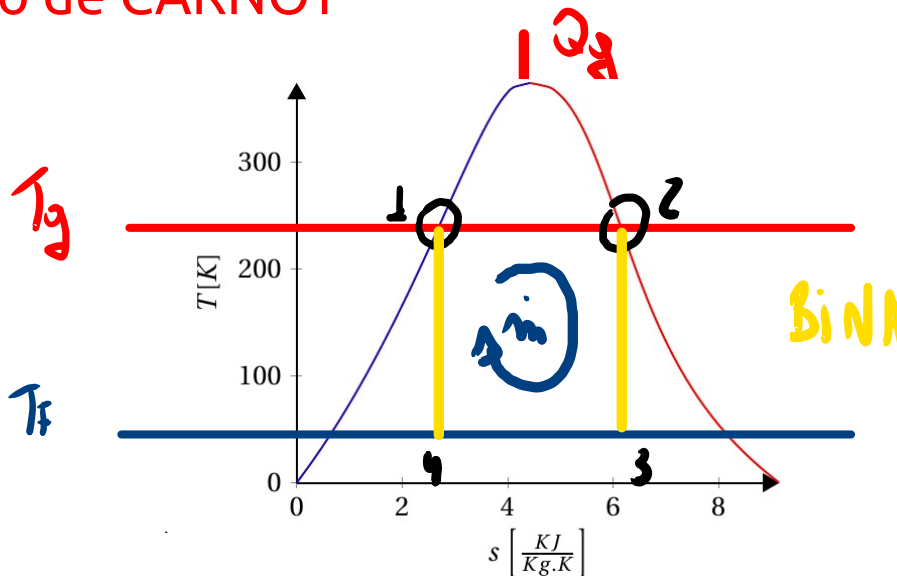
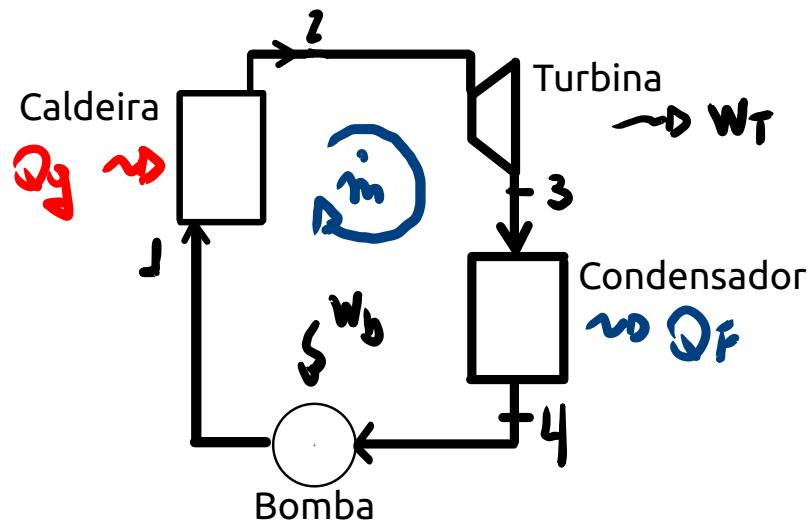
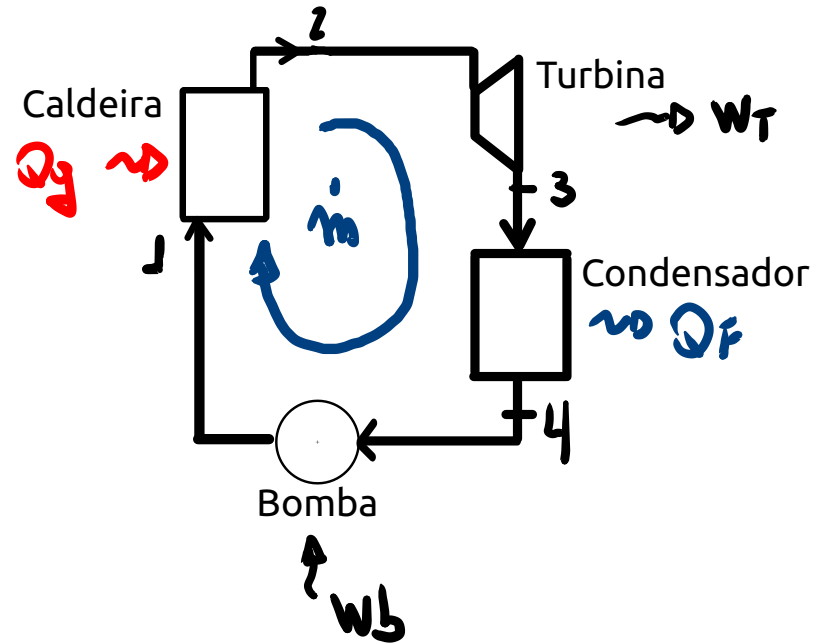
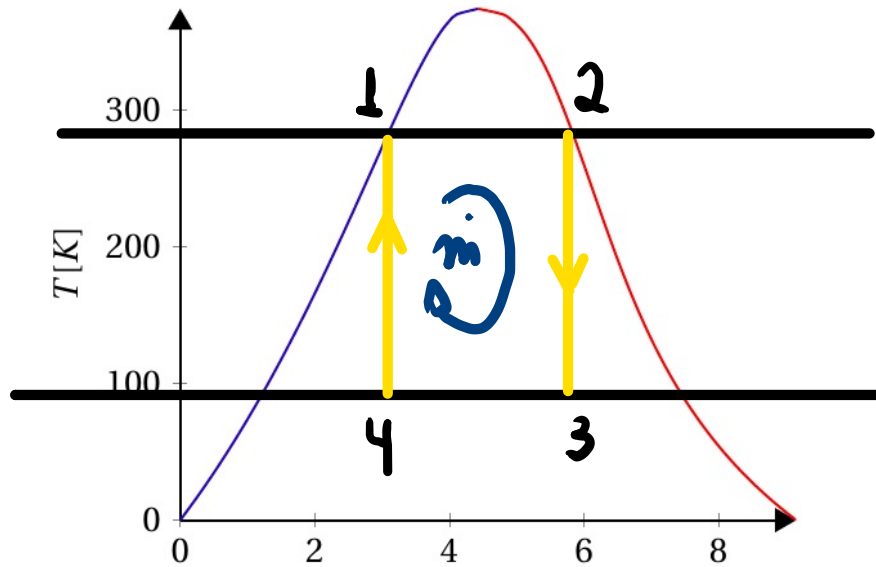


Diagrama temperatura entropia para água



O Ciclo de CARNOT

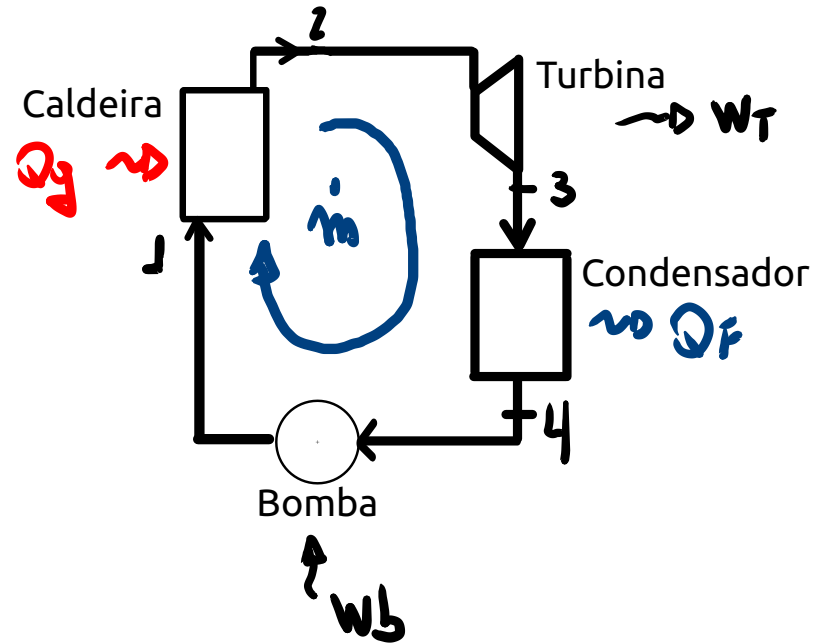
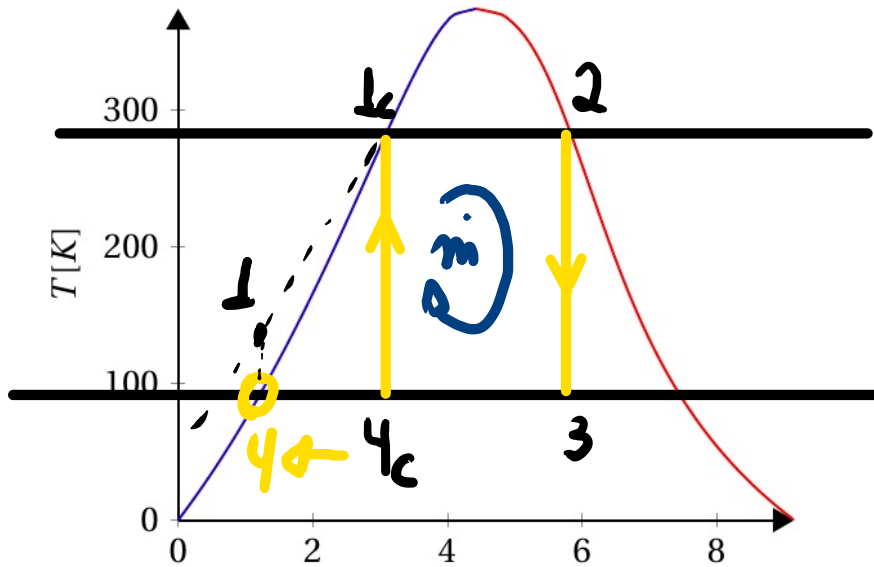


Ciclo Teórico

Não existe na prática

Referência para análise de desempenho dos demais ciclos

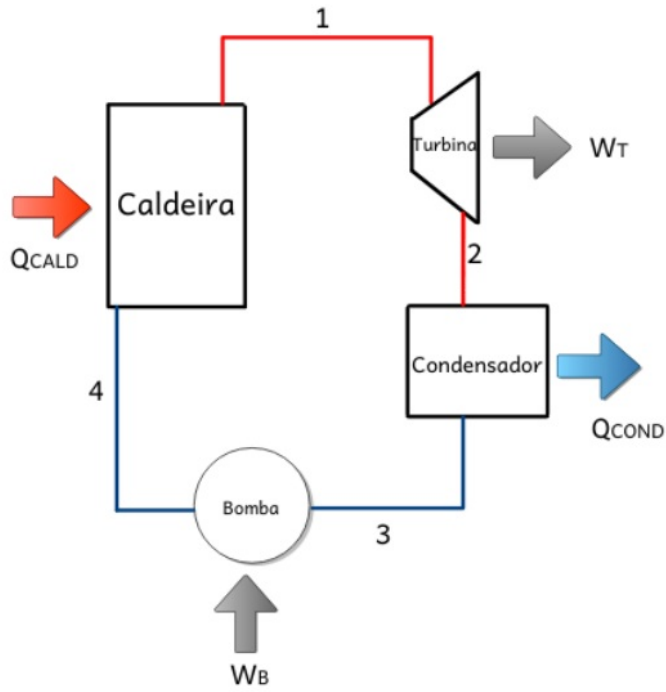
O Ciclo de RANKINE IDEAL



Mínima modificação possível

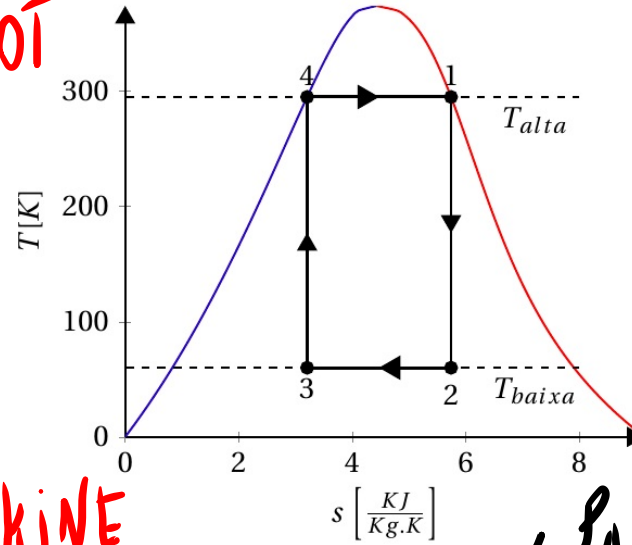
Ciclo de Carnot prático

IDEAL -> sem irreversibilidades na turbina e bomba

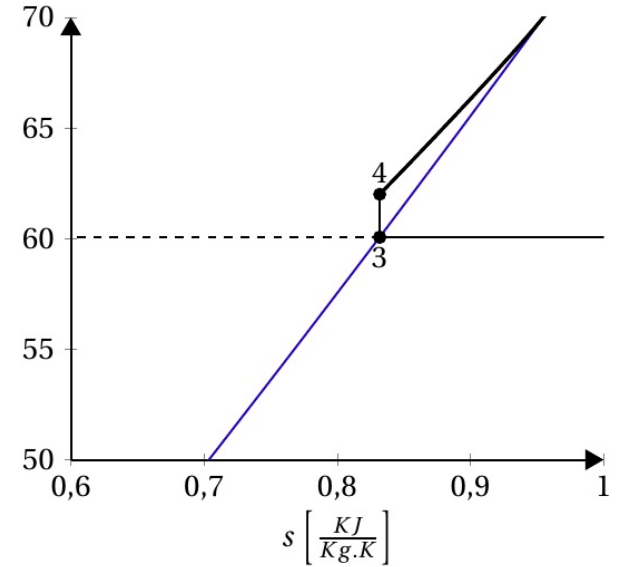
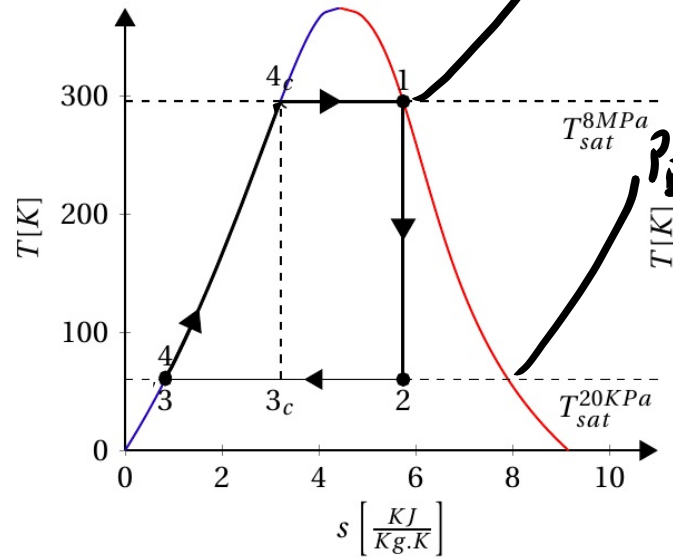


- 4 estados termodinâmicos
Caldeira
Turbina
Condensador
Bomba
- 4 Componentes
- Considera componentes perfeitos $\sigma_T = 0$, $\sigma_B = 0$

CARNOT



RANKINE



1ª LEI

$$\frac{DE}{Dt} = \frac{d}{dt} \int_V e(\rho dV) + \int_{sc} e(\rho \vec{v} \cdot d\vec{A}) = \dot{Q} + \dot{W}$$

Regime permanente

Desprezando forças DE corpo

FORÇA SUPERFÍCIE \rightarrow PRESSÃO

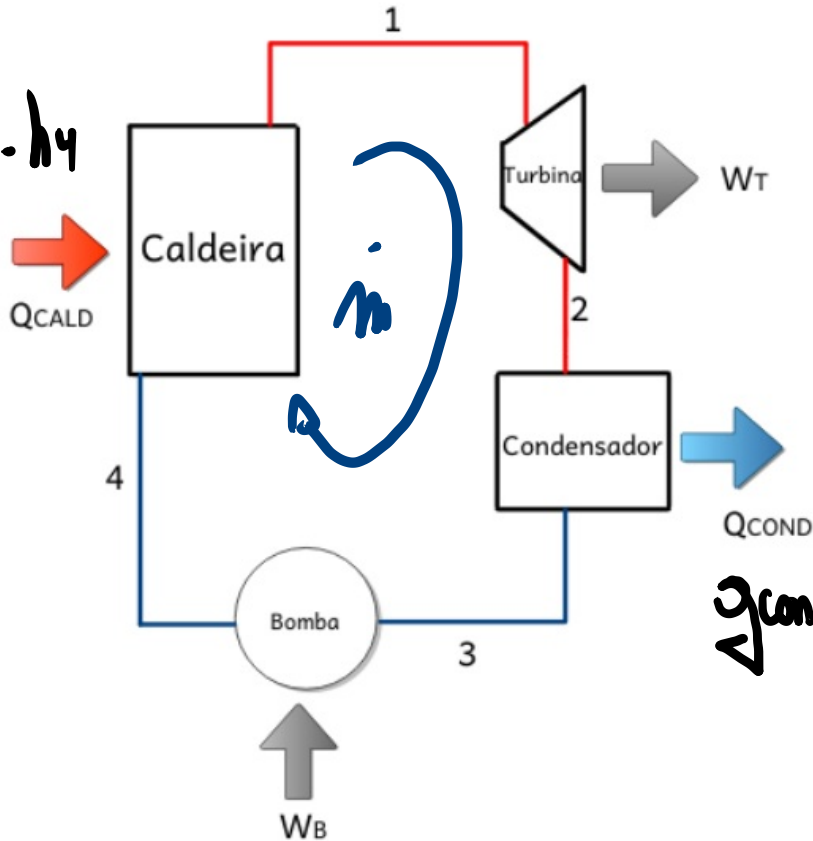
$$h \equiv u + p \cdot v$$

$$du + d(p \cdot v) + d\left(\frac{v^2}{2}\right) + d(gz) = \dot{q} + w$$

$$dh + d\left(\frac{v^2}{2}\right) + d(gz) = \dot{q} + w$$

$$de = \delta q + \delta w \quad \approx \quad dh = q + w$$

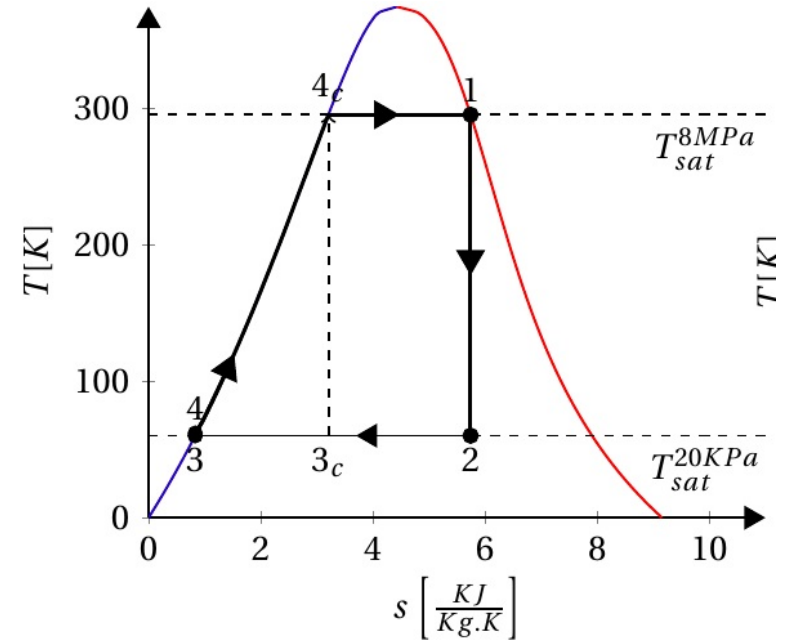
$$\Delta q_{CALD} = h_1 - h_4$$

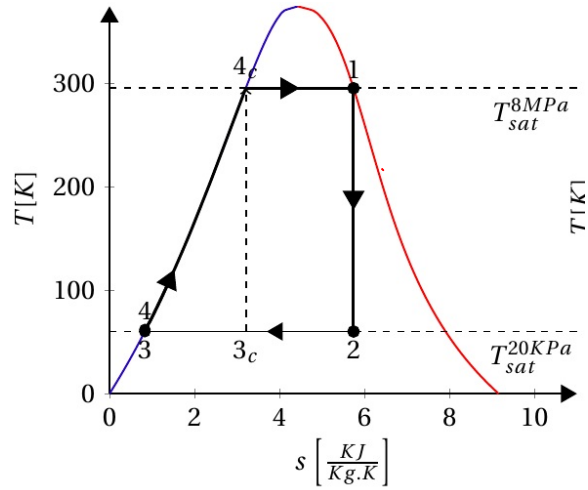


$$w_T = h_2 - h_1$$

$$\Delta q_{COND} = h_3 - h_2$$

$$w_B = h_4 - h_3$$





O trabalho na Bomba

$$\underline{du} + d(Pv) + \cancel{d\left(\frac{v^2}{2}\right)} + \cancel{d(gz)} = \cancel{q} + w$$

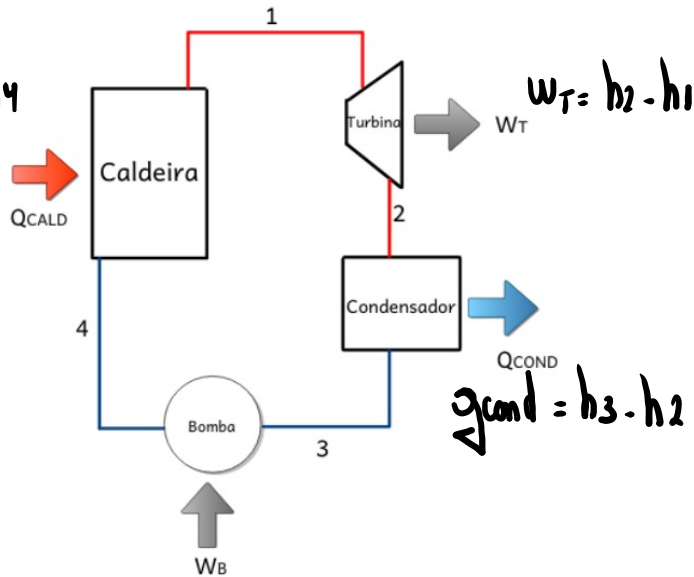
$$d(Pv) = w$$

Líquido = incompressível $\Delta v \approx 0$

$$v dp = w \approx dh$$

$$h_4 - h_3 = v_3 (P_4 - P_3)$$

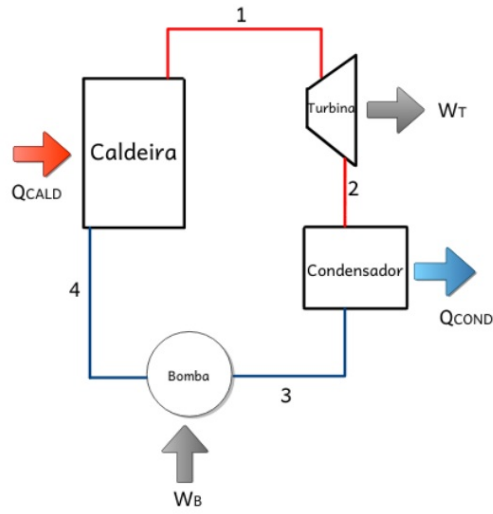
$$q_{CALD} = h_1 - h_4$$



$$w_T = h_2 - h_1$$

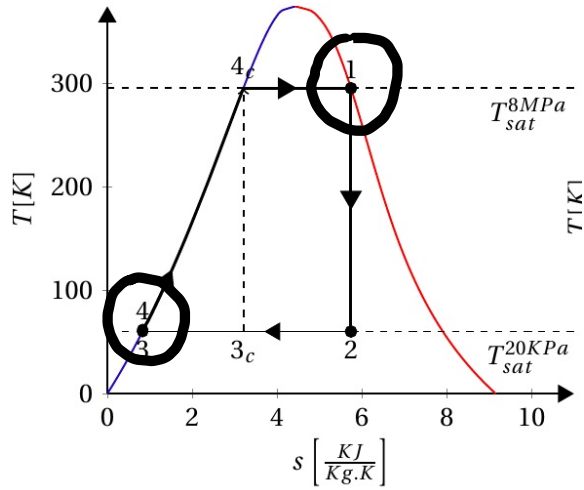
$$q_{COND} = h_3 - h_2$$

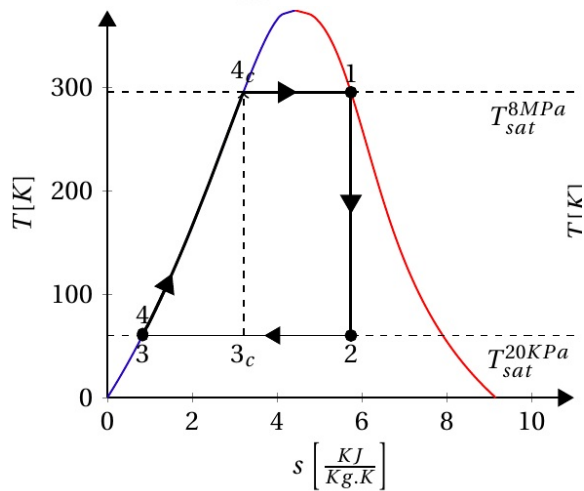
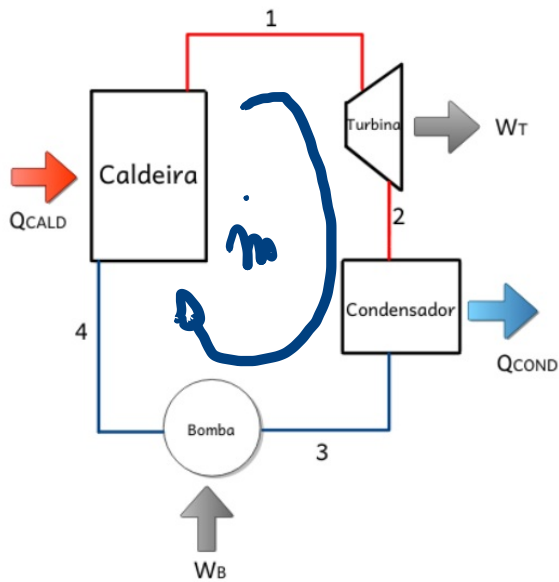
$$w_B = h_4 - h_3$$



Estado	P[KPa]	T[°C]	x	v[m ³ /Kg]	h[KJ/Kg]	s[KJ/Kg.K]
1	<i>P_A</i>	<i>~ T_s</i>	<i>↓</i>		<i>h₁</i>	<i>S₁</i>
2	<i>P_B</i>	<i>~ T_s</i>				<i>S₂ ↓</i>
3	<i>P_B</i>	<i>~ T_s</i>	<i>0</i>		<i>h₃</i>	<i>S₃</i>
4	<i>P_A</i>					<i>S₄ ↓</i>

T₄ = ?





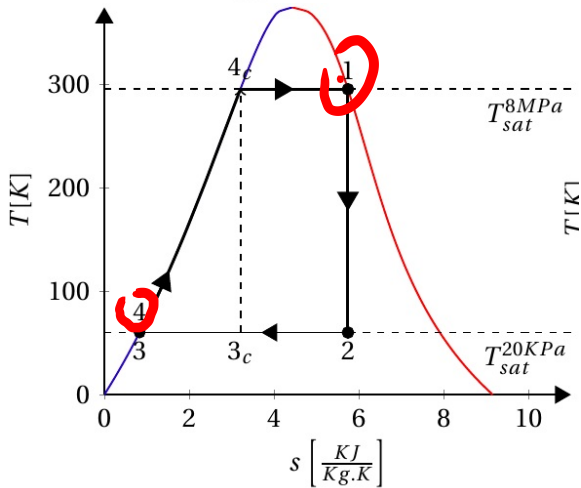
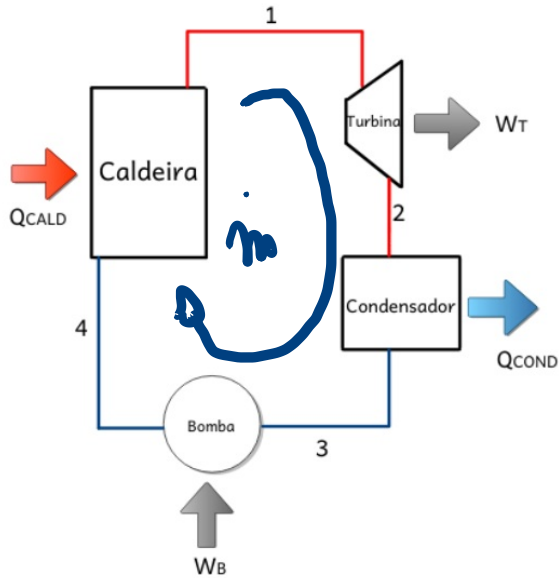
Estado	P[KPa]	T[°C]	x	v[m ³ /Kg]	h[KJ/Kg]	s[KJ/Kg.K]
1						
2						
3						
4						

Componente	q [KJ/Kg]	w [KJ/Kg]
Turbina	0	$h_2 - h_1$
Condensador	$h_3 - h_2$	0
Bomba	0	$h_4 - h_3$
Caldeira	$h_1 - h_4$	0
Σ	q_{liq}	w_{liq}

$$\eta = \frac{|w_{liq}|}{q_{CALD}}$$

$$bwn = \frac{w_b}{w_T}$$

$$Pot = \dot{m} \left[\frac{kJ}{kg} \right] \cdot \left[\frac{kg}{s} \right] = \frac{kJ}{s} = kW$$



TEMPERATURAS MÉDIAS

$$ds = \frac{\delta q}{T}$$

CALDEIRA

Fonte QUENTE :

$$T_g = \frac{q_g}{\Delta s_g} = \frac{h_1 - h_4}{s_1 - s_4}$$

Fonte Fria

$$T_f = \frac{q_f}{\Delta s_f} = \frac{h_3 - h_2}{s_3 - s_2}$$

Condensador

$$\eta_c = 1 - \frac{T_f}{T_g}$$

The logo consists of a large yellow circle centered on a red background. Inside the circle, the text "CIÊNCIAS TÉRMICAS" is written in a bold, white, sans-serif font, with "CIÊNCIAS" on the top line and "TÉRMICAS" on the bottom line. Below this, ".com" is written in a smaller, white, sans-serif font.

**CIÊNCIAS
TÉRMICAS**
.com

Componente	q [KJ/Kg]	w [KJ/Kg]
Turbina	0	$h_2 - h_1$
Condensador	$h_3 - h_2$	0
Bomba	0	$h_4 - h_3$
Caldeira	$h_1 - h_4$	0
Σ	q_{liq}	w_{liq}

$$de = \delta q + \delta w$$

$$de = \delta q - \delta w$$



Aspectos importantes a serem levados em consideração:

- $|q_{liq}| = |w_{liq}|$

Todo ciclo os valores em módulo de todo o calor trocado devem ser iguais ao valor em módulo de todo o trabalho realizado e recebido.

- $q_{liq} = q_{condensador} + q_{caldeira}$

$q_{caldeira} > 0$: calor adicionado ao sistema

$q_{condensador} < 0$: calor rejeitado pelo sistema

- $w_{liq} = w_{turbina} + w_{bomba}$

neste caso estamos considerando a primeira lei na forma: $de = \delta q + \delta w$. O sinal virá naturalmente dos cálculos realizados.

$w_{turbina} < 0$: trabalho realizado pelo sistema na vizinhança

$w_{bomba} > 0$: trabalho realizado pela vizinhança no sistema

Ciclo

processo cujo estado

$j_{final} = i_{inicial}$

$$de = 0$$

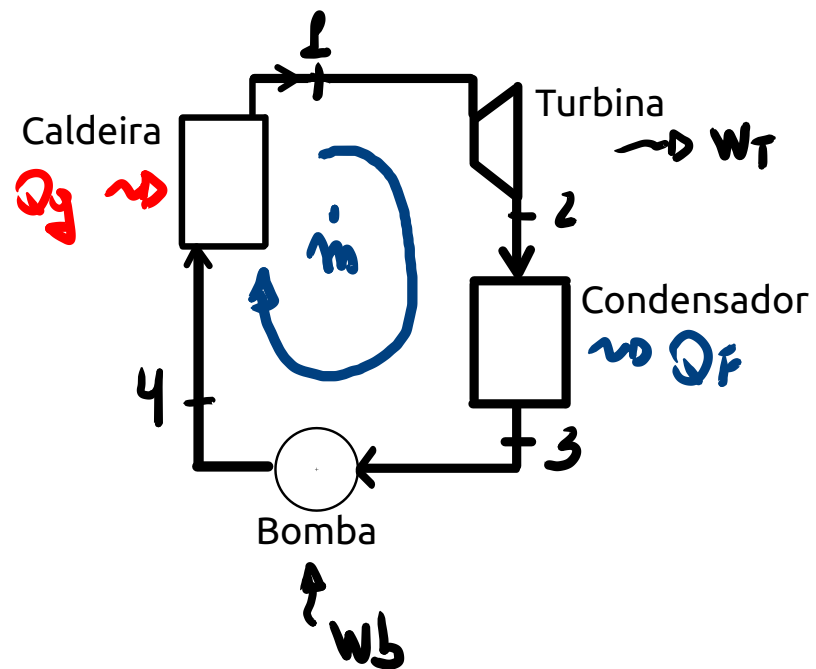
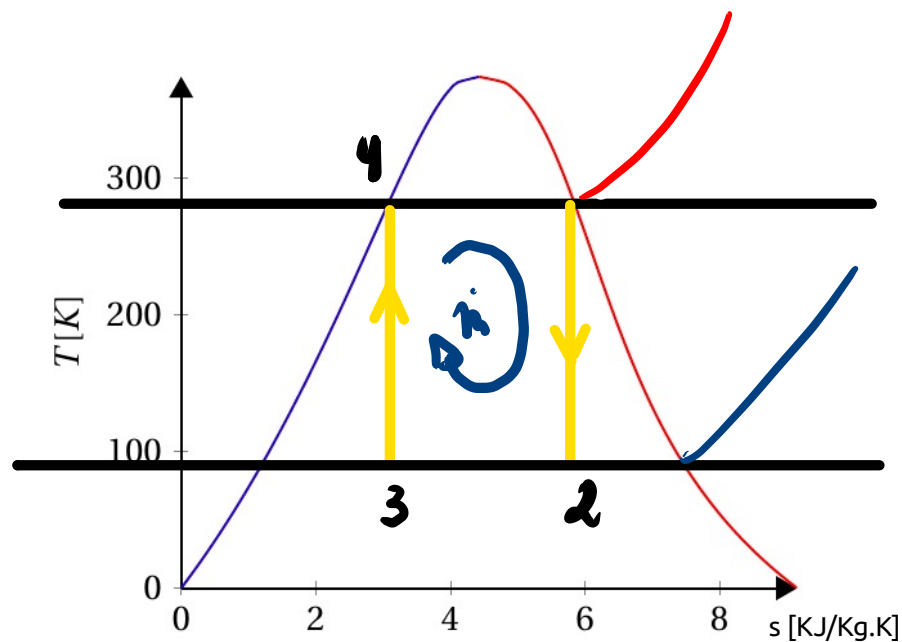
Água é o fluido de trabalho em um ciclo de potência a vapor de Carnot. A caldeira opera a 8 [MPa] e o condensador a 20 [KPa]. Determine:

- a) Trabalho desenvolvido pela turbina e bomba
- b) Transferência de calor na caldeira e no condensador
- c) bwr
- d) Eficiência térmica
- e) Eficiência de Carnot

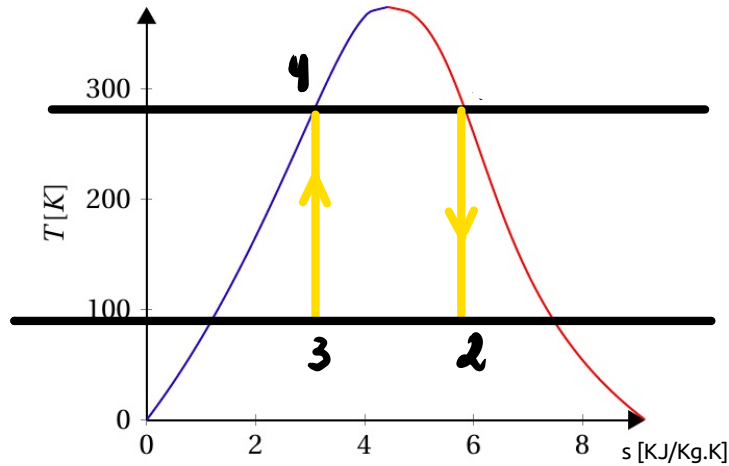
1. Desenhar os componentes do ciclo
2. Fazer os diagramas $P - v$ e $T - s$
3. Fazer uma tabela das propriedades
4. Fazer uma tabela dos calores e trabalhos de cada componente
5. Calcular rendimento e bwr

Água é o fluido de trabalho em um ciclo de potência a vapor de Carnot. A caldeira opera a 8 [MPa] e o condensador a 20 [KPa]. Determine:

- Trabalho desenvolvido pela turbina e bomba
- Transferência de calor na caldeira e no condensador
- bwr
- Eficiência térmica
- Eficiência de Carnot



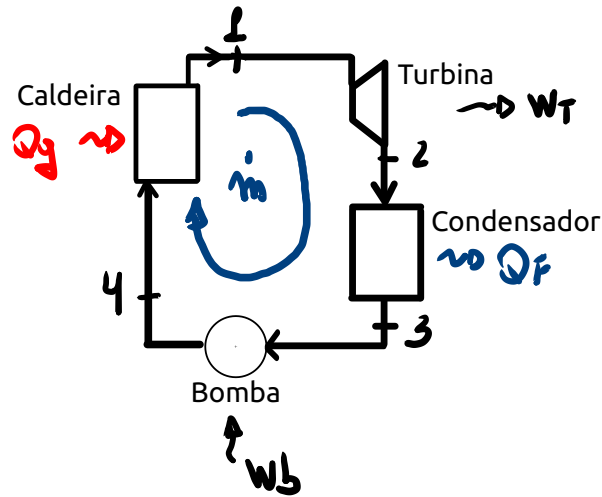
- Desenhar os componentes do ciclo
- Fazer os diagramas $P - v$ e $T - s$
- Fazer uma tabela das propriedades
- Fazer uma tabela dos calores e trabalhos de cada componente
- Calcular rendimento e bwr



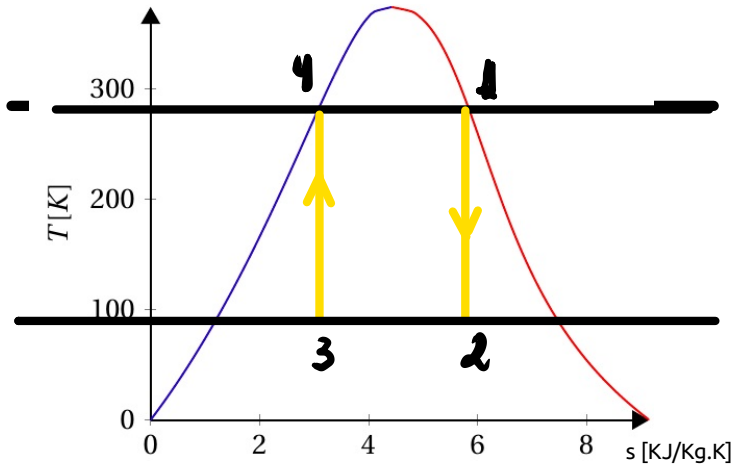
Água é o fluido de trabalho em um ciclo de potência a vapor de Carnot. A caldeira opera a 8 [MPa] e o condensador a 20 [KPa]. Determine:

- Trabalho desenvolvido pela turbina e bomba
- Transferência de calor na caldeira e no condensador
- bwr
- Eficiência térmica
- Eficiência de Carnot

- Desenhar os componentes do ciclo
- Fazer os diagramas $P - v$ e $T - s$
- Fazer uma tabela das propriedades
- Fazer uma tabela dos calores e trabalhos de cada componente
- Calcular rendimento e bwr

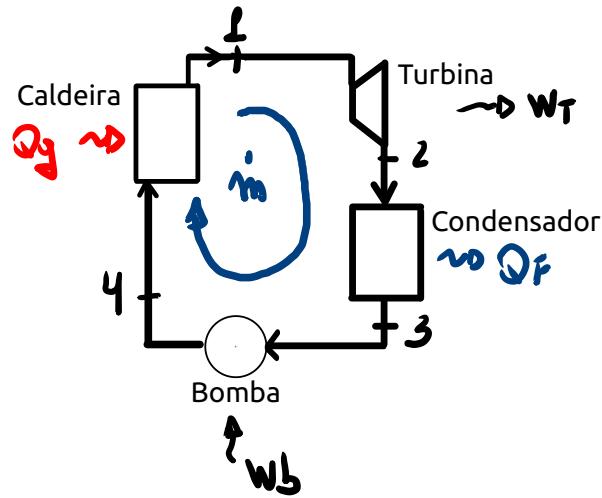


Estado	P [KPa]	T [°C]	x	h [KJ/Kg]	s [kJ/Kg.K]
1	8000		1		
2	20				
3	20				
4	8000		0		



Estado	P [KPa]	T [°C]	x	h [kJ/Kg]	s [kJ/Kg.K]
1	8000	295,06	1	2757,94	5,7431
2	20				
3	20				
4	8000	295,06	0	1316,61	3,2067

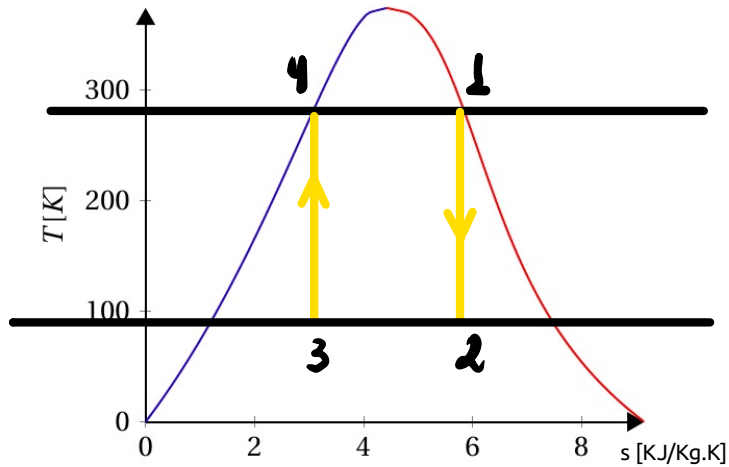
Pressão kPa	Temp. °C	(m ³ /kg)		(kJ/kg)			(kJ/kg)			(kJ/kg K)		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
P	T	v _l	v _v	u _l	u _{lv}	u _v	h _l	h _{lv}	h _v	s _l	s _{lv}	s _v
6000	275,64	0,001319	0,03244	1205,41	1384,27	2589,69	1213,32	1571,00	2784,33	3,0266	2,8625	5,8891
7000	285,88	0,001351	0,02737	1257,51	1322,97	2580,48	1266,97	1505,10	2772,07	3,1210	2,6922	5,8132
8000	295,06	0,001384	0,02352	1305,54	1264,25	2569,79	1316,61	1441,33	2757,94	3,2067	2,5365	5,7431
9000	303,40	0,001418	0,02048	1350,47	1207,28	2557,75	1363,23	1378,88	2742,11	3,2857	2,3915	5,0771



Estado $\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 4 \end{array} \right.$ $P = 8000 \text{ kPa}$ $x_1 = 1$ Vapor SATURADO
 $x_4 = 0$ Líquido SATURADO

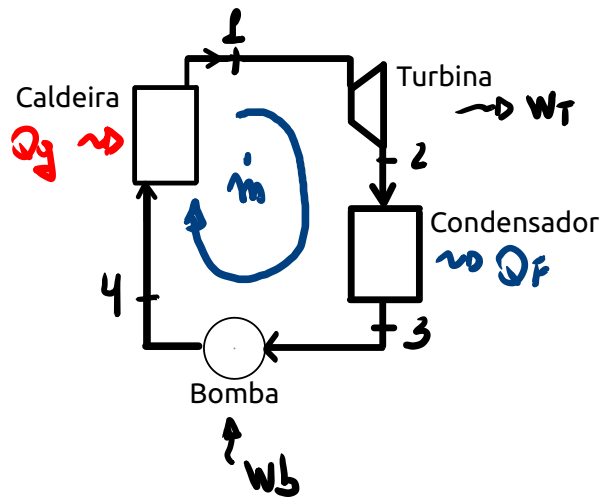
$$T_1 = T_{SAT}(P_1); h_1 = h_v(P_1); s_1 = s_v(P_1)$$

$$T_4 = T_{SAT}(P_4); h_4 = h_L(P_4); s_4 = s_L(P_4)$$



Estado	P [kPa]	T [°C]	x	h [KJ/Kg]	s [kJ/Kg.K]
1	8000	295,06	1	2757,94	5,7431
2	20	60,06	0,694	1888,067	5,7431
3	20				
4	8000	295,06	0	1316,61	3,2067

Pressão kPa	Temp. °C	(m ³ /kg)		(kJ/kg)			(kJ/kg)			(kJ/kg K)		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
P	T	v _l	v _v	u _l	u _{lv}	u _v	h _l	h _{lv}	h _v	s _l	s _{lv}	s _v
0,6113	0,01	0,001000	206,132	0	2375,3	2375,3	0,00	2501,30	2501,30	0,0000	9,1562	9,1562
15	53,97	0,001014	10,02218	225,90	2222,83	2448,73	225,91	2373,14	2599,06	0,7548	7,2536	8,0084
20	60,06	0,001017	7,64937	251,35	2205,36	2456,71	251,38	2358,33	2609,70	0,8319	7,0766	7,9085

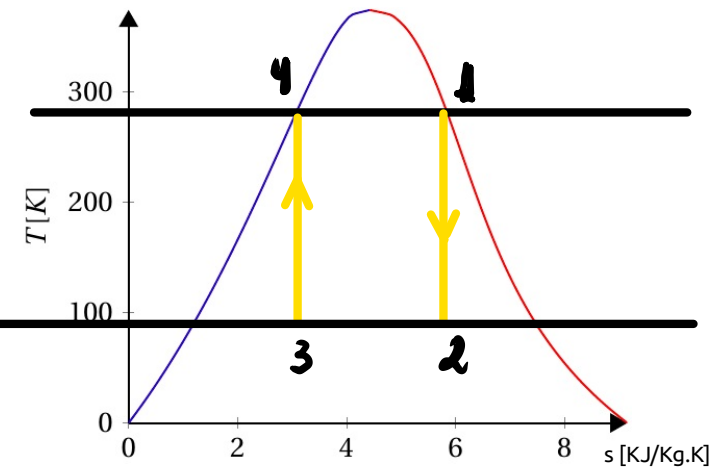


Estado 2: $P = 20 \text{ kPa}$ $\left\{ \begin{array}{l} s_L = 0,8319 \\ s_V = 7,9085 \end{array} \right. s_2$

$$x_2 = \frac{5,7431 - 0,8319}{7,9085 - 0,8319} \approx x_2 = 0,694$$

$$h_2 = 251,38 + 0,694 (2609,7 - 251,38)$$

$$h_2 = 1888,067$$



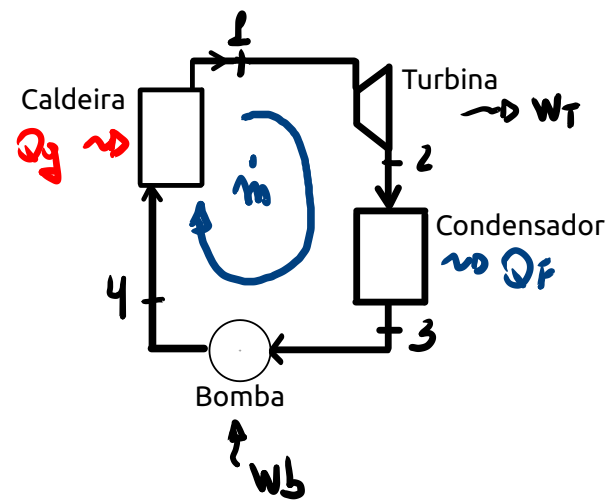
Estado	P [KPa]	T [°C]	x	h [KJ/Kg]	s [kJ/Kg.K]
1	8000	295,06	1	2757,94	5,7431
2	20	60,06	0,694	1888,067	5,7431
● 3	20	60,06	0,3355	5042,796	3,2067
4	8000	295,06	0	1316,61	3,2067

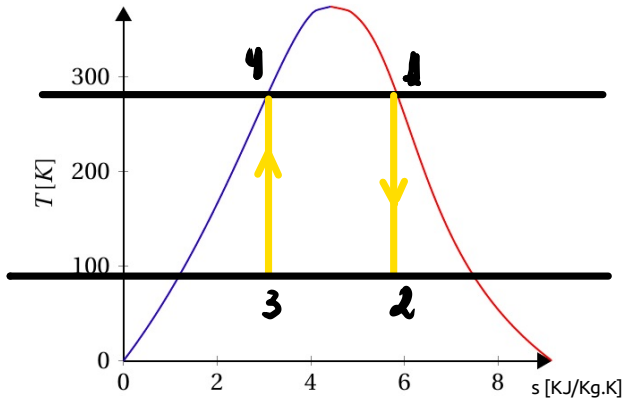
Pressão kPa	Temp. °C	(m³/kg)		(kJ/kg)			(kJ/kg)			(kJ/kg K)		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
P	T	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0,6113	0,01	0,001000	206,132	0	2375,3	2375,3	0,00	2501,30	2501,30	0,0000	9,1562	9,1562
15	53,97	0,001014	10,02218	225,90	2222,83	2448,73	225,91	2373,14	2599,06	0,7548	7,2536	8,0084
20	60,06	0,001017	7,64937	251,35	2205,36	2456,71	251,38	2358,33	2609,70	0,8319	7,0766	7,9085

Estado 3: $P = 20 \text{ kPa}$ $\left\{ \begin{array}{l} s_L = 0,8319 \\ s_V = 7,9085 \end{array} \right. s_3 = 3,2067$

$x_3 = \frac{3,2067 - 0,8319}{7,9085 - 0,8319} \approx x_3 = 0,3355$

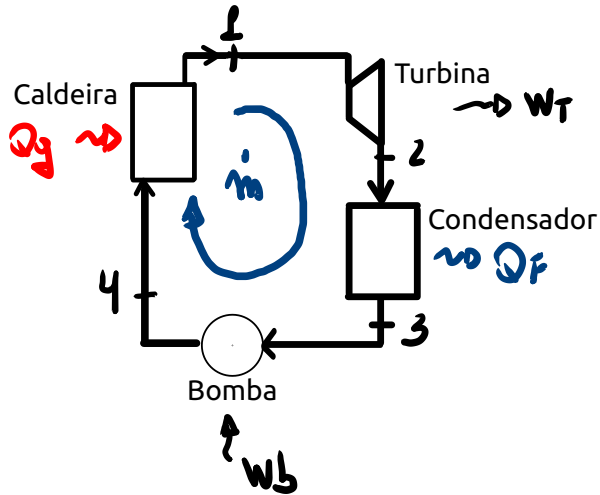
$h_3 = 254,38 + 0,3355 (2609,7 - 254,38)$
 $h_3 = 5042,796$





Ponto	P[KPa]	T[°C]	x	h[KJ/Kg]	s[KJ/Kg.K]
1	8000	295,06	1	2757,94	5,7431
2	20	60,06	0,694	1888,067	5,7431
3	20	60,06	0,3355	1042,7965	3,2067
4	8000	295,06	0	1316,61	3,2067

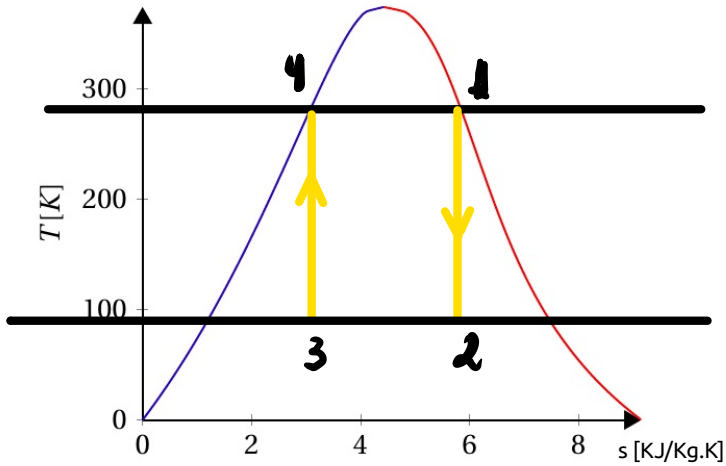
Componente	q[KJ/Kg]	w[KJ/Kg]
Caldeira	$h_1 - h_4 = 1441,33$	0
Turbina	0	$h_2 - h_1 = -869,873$
Condensador	$h_3 - h_2 = -845,2705$	0
Bomba	0	$h_4 - h_3 = 273,8135$
Σ	$q_{liq} = 596,0595$	$w_{liq} = -596,0595$



$$\eta = \frac{596,0595}{1441,33} = 0,4135$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_c}{T_h} = 1 - \frac{(60,06 + 273,15)}{(295,06 + 273,15)} = 0,4135$$

$$bwn = \frac{w_b}{w_T} = \frac{273,8135}{869,813} = 0,3148$$

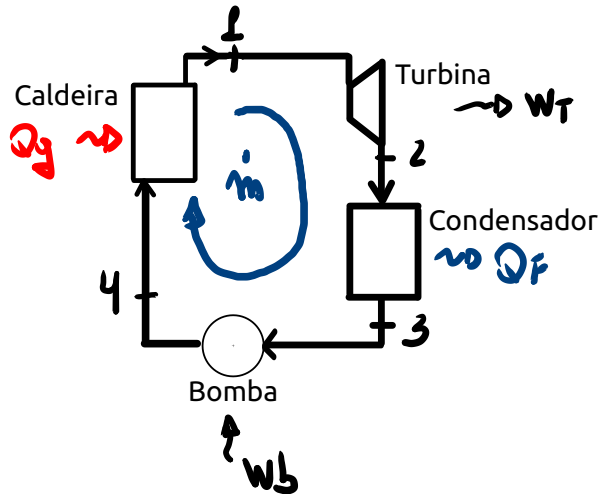


Ponto	P[KPa]	T[°C]	x	h[KJ/Kg]	s[KJ/Kg.K]
1	8000	295,06	1	2757,94	5,7431
2	20	60,06	0,694	1888,067	5,7431
3	20	60,06	0,3355	1042,7965	3,2067
4	8000	295,06	0	1316,61	3,2067

$$\Delta s_g = s_1 - s_4 = 5,7431 - 3,2067 = 2,5364 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.K}}$$

$$\Delta s_f = s_3 - s_2 = 3,2067 - 5,7431 = -2,5364 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.K}}$$

$$\oint ds = 2,5364 + (-2,5364) = 0$$



$$ds_g = \int \frac{\delta Q}{T} \leadsto T_g = \frac{h_1 - h_4}{s_1 - s_4} = 568,258 \text{ K} = 295^\circ \text{C}$$

$$ds_f = \int \frac{\delta Q}{T} \leadsto T_f = \frac{h_3 - h_2}{s_3 - s_2} = 333,25 \text{ K} = 60,09^\circ \text{C}$$

