

SIMULAÇÃO DE UMA USINA COM CICLO SIMPLES A VAPOR (CICLO RANKINE)

Glauber Rocha¹

Adilson Luiz da Silva²

Fausto Neves Silva³

RESUMO

Para gerar vapor necessário aos processos de uma usina existe na caldeira uma transferência de calor para o fluido operador “geralmente a água” sobre uma alta compressão que adquire uma grande quantidade de energia disponível ao longo do ciclo vapor “Ciclo Rankine”, onde parte é destinada ao processo e parte destinada a produção de trabalho na turbina a vapor. Neste artigo temos a simulação de um Ciclo Rankine Simples enfatizando variações de temperatura e pressão no ciclo que possam aumentar o rendimento térmico retirando assim a maior quantidade de calor possível.

PALAVRAS-CHAVE

Ciclo Rankine, Rendimento, Termodinâmica

1 - INTRODUÇÃO

Ciclos a vapor simples utilizados em usinas são ciclos termodinâmicos cuja sua eficiência máxima é obtida pela eficiência de um Ciclo de Carnot e são conhecidos como Ciclos Rankine.

1.1 - CICLO RANKINE

AUTORES

1 Docente da AEMS – Faculdade Integradas de Três Lagoas – MS. Mestre em Engenharia Mecânica pela UNESP.

2 Docente da AEMS – Faculdade Integradas de Três Lagoas – MS. Mestre em Filosofia pela UNESP.

3 Docente da AEMS – Faculdade Integradas de Três Lagoas – MS. Mestre em Física pela UEL/Londrina.

Considerando um ciclo onde temos quatro processos que ocorre em regime permanente (Fig. 1), sendo o estado 1 como liquido saturado e o estado 3 como vapor superaquecido. Temos como elementos característicos a Caldeira que pode produzir tanto vapor saturado quanto superaquecido devido a transferência de calor provinda da queima do combustível, a turbina a vapor responsável pela expansão do vapor a alta pressão, o condensador representando os processos que utilizam o vapor de baixa na usina e a bomba responsável por aumentar a pressão do liquido saturado na entrada da caldeira.

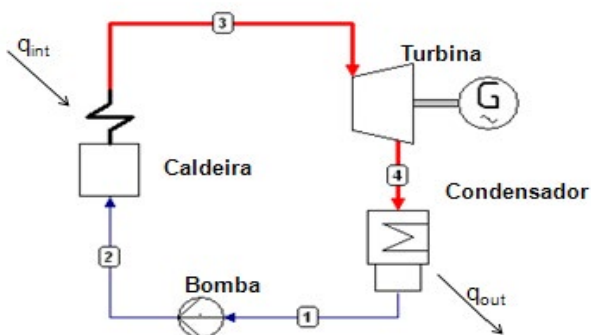


Figura 1 – Esquema de uma usina a vapor simples que opera segundo o ciclo Rankine.

1.2 - PROCESSOS QUE COMPÕE O CICLO RANKINE.

- 1-2: Processo de bombeamento adiabático reversível na bomba.
- 2-3: Transferência de Calor a pressão constante na caldeira.
- 3-4: Expansão adiabática reversível na turbina.
- 4-1: Transferência de calor a pressão constante no condensador.

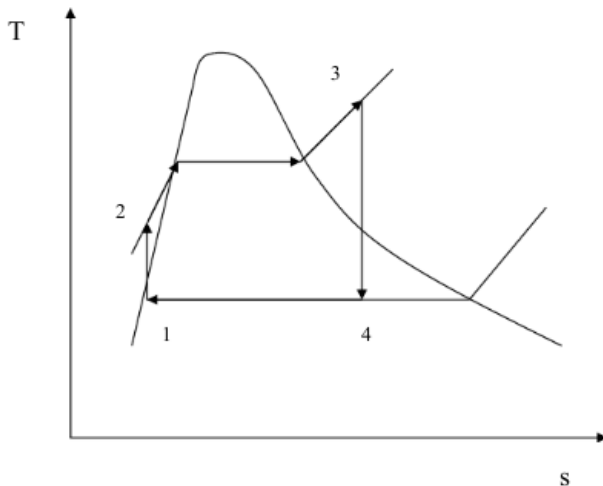


Figura 2 – Diagrama Temperatura por entropia para o Ciclo Rankine Simples.

1.3 - EQUACIONAMENTO DO CICLO RANKINE

Volume de Controle Bomba

Podemos observar no diagrama Ts que o processo de bombeamento é isoentrópico ou seja possui entropia constante no decorrer do processo 1-2 e regime permanente, portanto conforme a primeira Lei da Termodinâmica podemos definir:

$$q_{1-2} = w_{1-2} + (h_2 - h_1) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2}\right) + g(Z_2 - Z_1) \quad (1)$$

Entretanto levando em consideração o processo adiabático onde o calor trocado na bomba é nulo e desprezando a variação de energia cinética e potencial

$$w_{1-2} = (h_1 - h_2) \quad (2)$$

Aplicando a primeira e segunda Lei da Termodinâmica a bomba considerando o processo onde a variação de entropia é nula teremos:

$$T ds = dh - v dp \quad (3)$$

$$dh = v dp \quad (4)$$

A partir da integral da equação (4) considerando a entrada e saída da bomba temos:

$$(h_2 - h_1) = v(P_2 - P_1) \quad (5)$$

Por Substituição o trabalho da bomba pode ser definido por:

$$w_b = v(P_1 - P_2) \quad (6)$$

Volume de controle Caldeira

Na caldeira temos adição de calor a pressão constante, e fluido operante água, que entra como líquido comprimido e sai como vapor superaquecido ou vapor saturado, da primeira lei temos:

$$q_{2-3} = w_{2-3} + (h_3 - h_2) + \left(\frac{V_3^2 - V_2^2}{2}\right) + g(Z_3 - Z_2) \quad (7)$$

Desprezando as variações de energia cinética e potencial e levando em consideração o trabalho nulo na caldeira temos que o calor fornecido pela caldeira é dado por:

$$q_H = (h_3 - h_2) \quad (8)$$

Volume de controle Turbina

Na turbina temos o trabalho produzido através do fluido operante água que entra como vapor saturado seco ou superaquecido e sai como vapor saturado úmido ou saturado seco, aplicando a primeira Lei da Termodinâmica para este volume de controle temos:

$$q_{3-4} = w_{3-4} + (h_4 - h_3) + \left(\frac{V_4^2 - V_3^2}{2}\right) + g(Z_4 - Z_3) \quad (9)$$

Considerando o processo como adiabático e desprezando as variações de energia cinética e potencial temos que o trabalho fornecido pela turbina é dado por:

$$w_t = (h_3 - h_4) \quad (10)$$

Volume de controle Condensador

No condensador temos a transferência do calor do fluido operante água que entra como vapor saturado úmido ou saturado seco e sai como líquido saturado, onde a primeira Lei da Termodinâmica é dada por:

$$q_{4-1} = w_{4-1} + (h_1 - h_4) + \left(\frac{V_1^2 - V_4^2}{2}\right) + g(Z_1 - Z_4) \quad (11)$$

Desprezando as energias cinéticas e potenciais e sendo nulo o trabalho no condensador temos que o calor perdido no condensador é:

$$q_L = (h_1 - h_4) \quad (12)$$

1.4 - RENDIMENTO TÉRMICO DO CICLO RANKINE

É importante enfatizar que o rendimento do Ciclo Rankine é menor que o rendimento do Ciclo Carnot. E é dado pelas equações:

$$\eta = \frac{W_{liq}}{q_H} = \frac{W_t + W_b}{q_H} = \frac{q_H - q_L}{q_H} \quad (13)$$

$$\eta = \frac{(h_3 - h_4) + (h_1 - h_2)}{(h_3 - h_2)} = \frac{(h_3 - h_2) + (h_1 - h_4)}{(h_3 - h_2)} \quad (14)$$

2. METODOLOGIA

O presente artigo trata da simulação de uma planta térmica simples de um Ciclo Rankine adotada por Usinas para fornecer calor ao processo e geração de Potência a planta. Com isso variou-se a pressão na saída da turbina e na entrada da caldeira com intuito de observar o comportamento do rendimento térmico da planta.

A resolução do sistema de equações resultante foi efetuada utilizando-se o programa EES® (Engineering Equation Solver), desenvolvido por Klein & Alvarado (1995), que permite a determinação das propriedades termodinâmicas do sistema, como entalpia e entropia, e possibilita a realização de cálculos de uma maneira simples e eficiente, sem a necessidade de se recorrer a tabelas termodinâmicas.

3. RESULTADOS

Na Figura 3 procurou-se variar a pressão de saída da turbina mantendo constante a pressão de entrada no ciclo, a fim de verificar o comportamento do rendimento térmico.

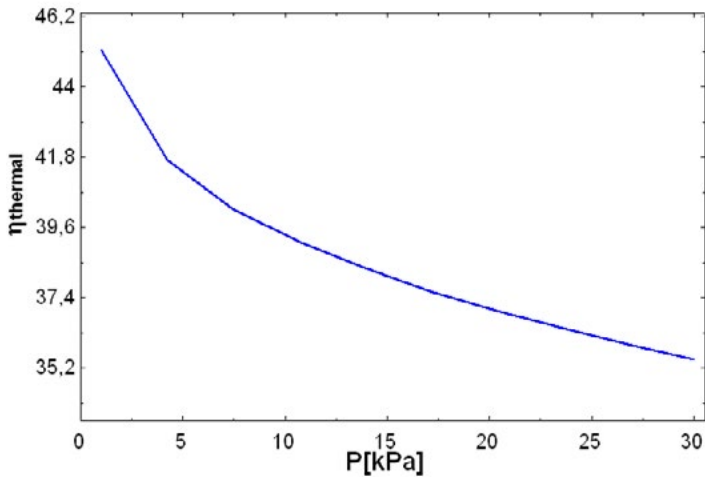


Figura 3 – Efeitos da variação de pressão de saída na turbina sobre o rendimento térmico.

Na Figura 4 manteve-se fixo a pressão de baixa e variou-se a pressão de alta na saída da caldeira afim de verificar o comportamento do rendimento térmico.

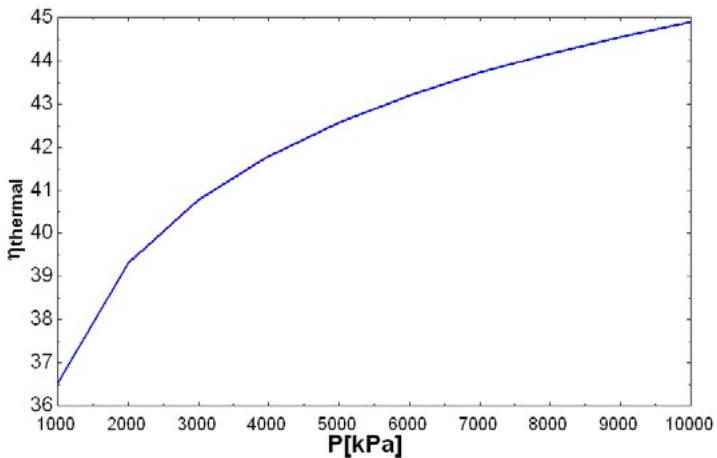


Figura 4 – Efeitos da variação de pressão no fornecimento de calor sobre o rendimento térmico.

4. CONCLUSÃO

De acordo com a Figura 3 pode-se observar que quanto menor a pressão de saída da caldeira maior vai ser o rendimento do ciclo, pois para uma mesma pressão de entrada quanto menor for na saída da turbina maior será a expansão realizando uma maior quantidade de trabalho no ciclo para uma mesma quantidade de calor.

Outra forma para otimizar em termos de rendimento térmico é aumentar a pressão no fornecimento de calor de acordo com a Figura 4.

Podemos afirmar que o rendimento de um ciclo de Rankine pode ser aumentado pela redução da pressão de saída, pelo aumento da pressão no fornecimento de calor. O título do vapor que deixa a turbina aumenta pelo superaquecimento do vapor e diminui pelo abaixamento da pressão de saída e pelo aumento da pressão no fornecimento de calor.

5. REFERÊNCIAS

BEJAN, ADRIAN, TSATSARONIS, GEORGE AND MORAN, MICHAEL, Thermal Design and Optimization, U.S.A. John Wiley & Sons, 1996.

FIOMARI, M.C. ; MASHIBA, M. H. S. ; CAMPITELLI, F. M. ; ROCHA, G. ; DIB, F. H. ; RAMOS, R.A.V. . Análise Termodinâmica Aplicada aos Sistemas de Cogeração de Energia da Destilaria Pioneiros. In: V Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 2006, Recife. Anais do IV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 2006.

ROCHA, G. ; LIMA, R. S. ; STAFUZZA, U. B. D. ; PASSOLONGO, R. ; RAMOS, R.A.V. . Análise Termodinâmica e Termoeconômica de Extração por Difusão. In: VII Congresso Latinoamericano Generación y Transporte de Energia Eléctrica (CLAG-TEE-2007), 2007, Valparaíso. Anais do VII Congresso Latinoamericano Generación y Transporte de Energia Eléctrica, 2007.

VAN WYLEN, G. J & SONNTAG, R.E. Fundamentos da Termodinâmica Clássica. São Paulo : Edgar Blumcher, 1993. 318p.