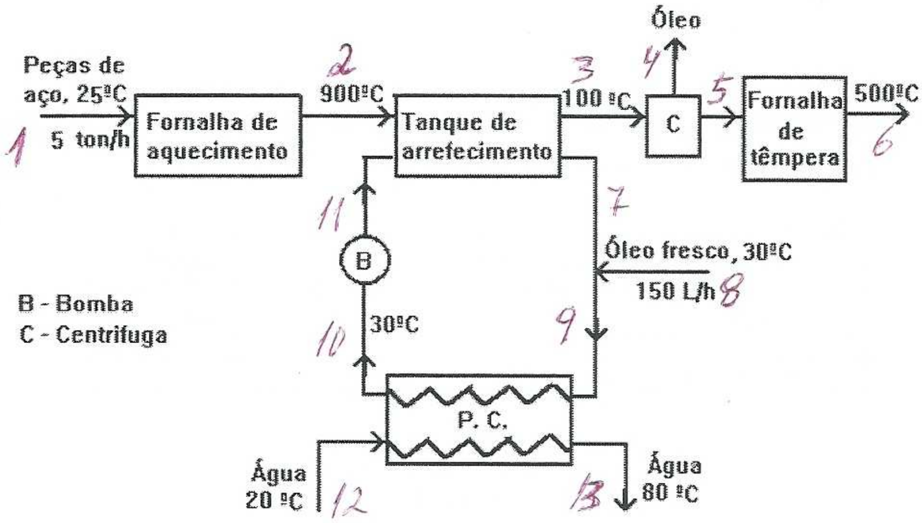
Caso 1.1

Certas peças de aço maquinadas devem ser submetidas a um tratamento térmico contínuo, constituido por dois fortes aquecimentos, intercalados com um arrefecimento brusco das peças por imersão em óleo a 100 ºC. Na centrífuga, que elimina 99% do óleo arrastado pelas peças de aço, verifica-se uma dissipação de calor de 5 MJ/h. Determinar:

a) O calor útil a fornecer, por hora, nas fornalhas de aquecimento e de têmpera. (R: 525 e 241 Mcal/h)

b) O caudal de água de arrefecimento que circula no permutador de calor. (R: ≅ 8 ton/h)



Dados:

- Óleo : Densidade = 0,91; Calor específico médio = 0,42.
- Aço: Calor específico médio = 0,12.
- Potência da bomba do óleo: 1,5 kW

A) Sempre que o Balanço Mássico não seja fornecido é necessário começarmos pelo Balanço Mássico.

Neste caso não temos informação para calcularmos as correntes (7), (9), (10) e (11).

O único cálculo a efectuar é o cálculo da corrente (8):

$Q_8 = Q_V \times \rho = 150 \text{ L/h} \times 0{,}91 \text{ kg/L} = 136{,}135 \text{ kg/h}$

O óleo que entra em (8) sai em (3). Deste 99 % sai em (4) e 1 % sai em (6)

Vem assim:

kg/h	1 , 2	3	4	5 , 6	8
Peças	5000	5000		5000	
Óleo		136,5	135,135	1,365	136,5
Total	5000	5136,5	135,135	5001,365	136,5

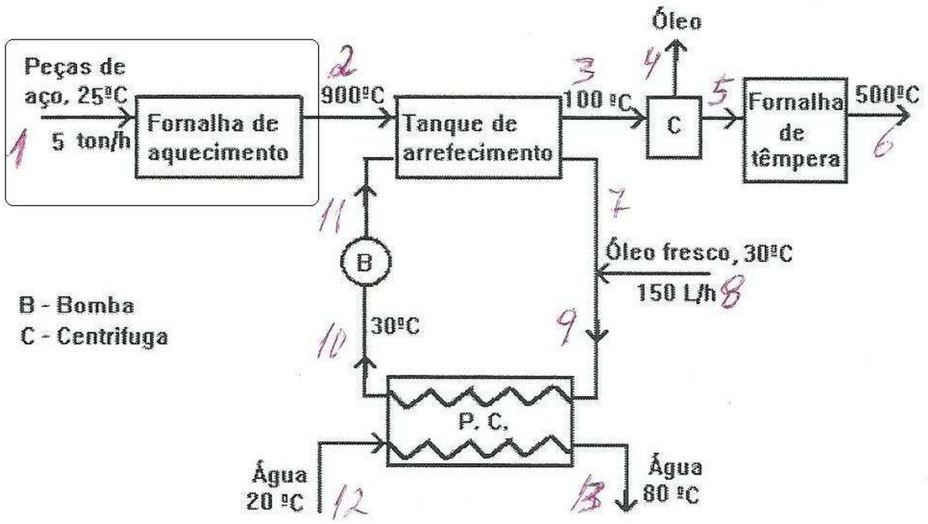
Seguidamente é necessário escolher-se o Estado de Referência. Neste problema poderíamos usar dois estados de referência: um para as corrente (1) a (11) e outro para as correntes (12) e (13). Mas como se trata do primeiro problema, e para não complicar, vou usar um único Estado de Referência.

Estado de Referência: 0 ºC, óleo, água (l), aço (c), P_T

Poder-se-ia escolher qualquer temperatura como Tref. A escolha de 0 ºC facilita o cálculo como se verá abaixo. A escolha dos estados de agregaçao de referência foi a óbvia

Cálculo do calor fornecido à Fornalha de Aquecimento

Começamos por seleccionar a Zona de Controle que, obviamente, será à volta da fornalha de aquecimento:



O Balanço entálpico vem:

$\Delta H_1 + Q_{FA} = \Delta H_2$

$\Delta H_1 = M\ Cp\ (T - T_R) = 5 \times 10^6 \times 0{,}12 \times (25 - 0) = 1{,}5 \times 10^7$ cal/h

$\Delta H_2 = 5 \times 10^6 \times 0{,}12 \times (900 - 0) = 5{,}4 \times 10^8$ cal/h

Vem finalmente

$Q_{FA} = \Delta H_2 - \Delta H_1 = 5{,}4 \times 10^8 - 1{,}5 \times 10^7 = 5{,}25 \times 10^8$ cal/h = **525 Mcal/h**

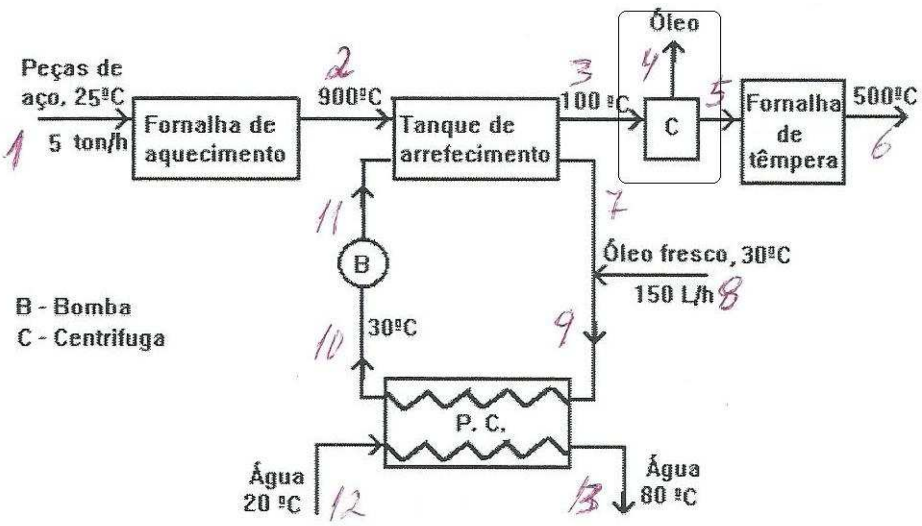
Cálculo do calor fornecido à Fornalha de Aquecimento

Agora a situação é mais complexa, pois se seleccionássemos a Zona de Controle à volta da fornalha de têmpera teríamos duas incógnitas, T_4 e Q_{FT}, e em Balanços Entálpicos só podemos ter uma incógnita.

Assim dividimos o Balanço Entápico em dois Balanços: à centrifuga e à fornalha de têmpera.

Balanço à centrifuga

A zona de controle será à volta da centrifuga:



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

$\Delta H_3 = (5 \times 10^6 \times 0{,}12 + 136{,}5 \times 10^3 \times 0{,}42) \times (100 - 0) = 6{,}5733 \times 10^7$ cal/h

$\Delta H_4 = 135{,}135 \times 10^3 \times 0{,}42 \times (T - 0) = 56756{,}7\ T$ sendo $T = T_4 = T_5$

$\Delta H_5 = (5 \times 10^6 \times 0{,}12 + 1{,}365 \times 10^3 \times 0{,}42) \times (T - 0) = 600573{,}3\ T$

Perdas = 5 MJ/h = $5 \times 10^6 / 4{,}18 = 1{,}1962 \times 10^6$ cal/h

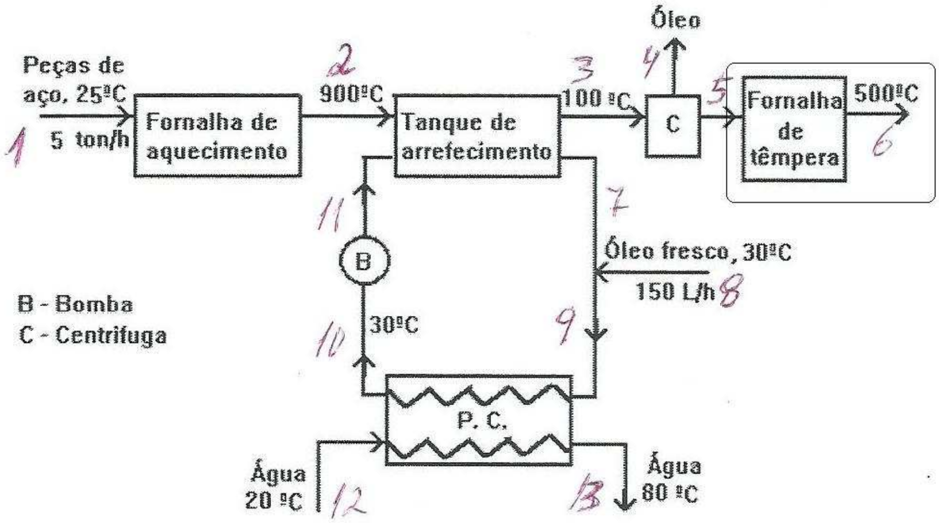
$6{,}5733 \times 10^7 = 56756{,}7\ T + 600573{,}3\ T + 1{,}1962 \times 10^6$

Resolvendo-se vem: $T = T_4 = T_5 = 98{,}18$ ºC

É devido a este cálculo que se usou $T_R = 0$ºC. Se usássemos $T_R \neq 0$ºC o cálculo seria muito mais trabalhoso.

Balanço à fornalha de têmpera

$\Delta H_5 + Q_{FT} = \Delta H_6$



$\Delta H_5 = 600573,3\ T = 600573,3 \times 98,18 = 5,8966 \times 10^7$ cal/h

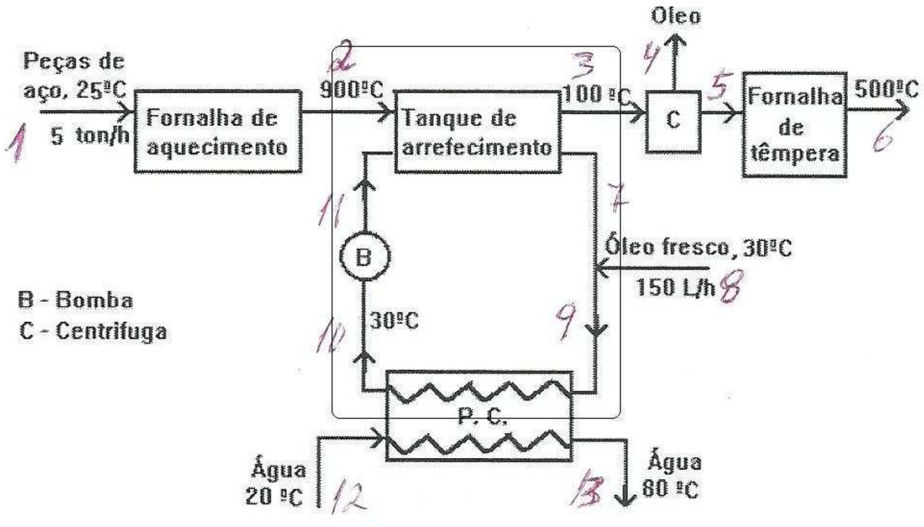
$\Delta H_6 = (5 \times 10^6 \times 0,12 + 1,365 \times 10^3 \times 0,42) \times (500 - 0) = 3,00287 \times 10^8$ cal/h

$Q_{FT} = \Delta H_6 - \Delta H_5 = 3,00287 \times 10^8 - 5,8966 \times 10^7 = 2,41323 \times 10^8$ cal/h = **241 Mcal/h**

B) <u>Caudal de água de arrefecimento</u>

Este cálculo pode ser feito de diferentes maneiras. Neste caso decide dividir o cálculo em duas partes: balanço entálpico ao processo para calcular o calor trocado ou permutado no permutador de calor e balanço entálpico ao permutador de calor para determinação do caudal de água.

<u>Balanço entálpico ao processo</u>



$\Delta H_2 + \Delta H_8 + B = \Delta H_3 + Q_T$

$\Delta H_2 = 5{,}4 \times 10^8$ cal/h calculado anteriormente

$\Delta H_3 = 6{,}5733 \times 10^7$ cal/h calculado anteriormente

$\Delta H_8 = 136{,}5 \times 10^3 \times 0{,}42 \times (30 - 0) = 1{,}7199 \times 10^6$ cal/h

B – trabalho executado pela bomba

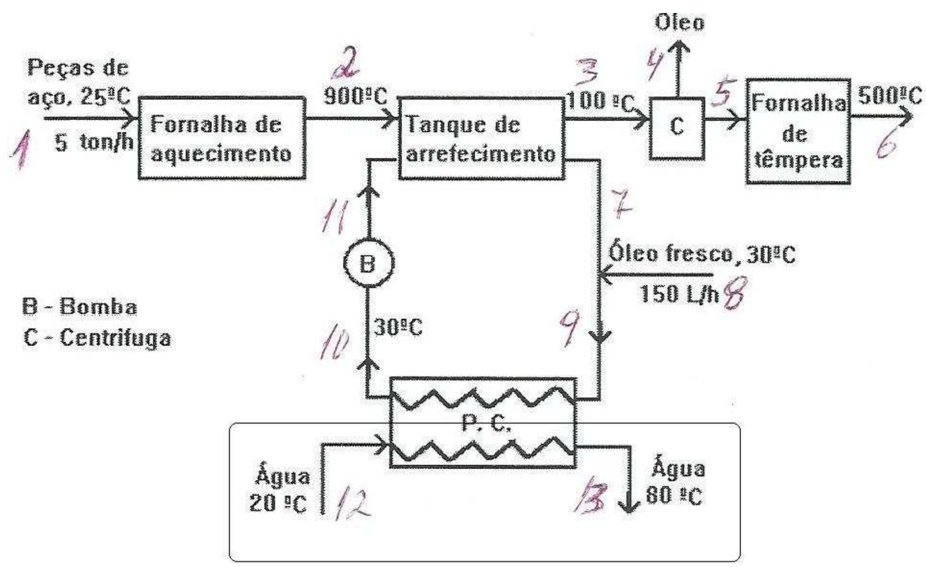
$$\mathbf{B} = 1{,}5\,\text{kW} = 1500\ \text{J/s} = \frac{1500 \times 3600}{4{,}18} = 1{,}29187 \times 10^6\ \text{cal/h}$$

Subtituindo-se:

$5{,}4 \times 10^8 + 1{,}7199 \times 10^6 + 1{,}29187 \times 10^6 = 6{,}5733 \times 10^7 + Q_T$

Vem $Q_T = 4{,}7728 \times 10^8$ cal/h

Balanço entálpico ao permutador de calor



$\Delta H_{12} + Q_T = \Delta H_{13}$

$\Delta H_{12} = Q_{água} \times Cp \times (T - 0) = Q_{água} \times 1 \times (20 - 0) = 20 \times Q_{água}$

$\Delta H_{13} = Q_{água} \times Cp \times (T - 0) = Q_{água} \times 1 \times (80 - 0) = 80 \times Q_{água}$

Subtituindo-se:

$20 \times Q_{água} + 4{,}7728 \times 10^8 = 80 \times Q_{água}$

Vem $Q_{água} = 7{,}9547 \times 10^6$ g/h = **8 ton/h**