Caso 1.4

Numa fornalha de aquecimento, operando à pressão atmosférica, circulam lingotes de ferro a uma cadência de 850 lingotes/hora. O aquecimento é realizado pela insuflação, em contra-corrente, de gases de combustão a 700 °C e composição: CO_2 - 25%; CO - 1%; O_2 - 7%; N_2 - 67%. Os gases descarregados, a 260 °C, são aquecidos num aquecedor eléctrico e reciclados à entrada da fornalha. Calcular:

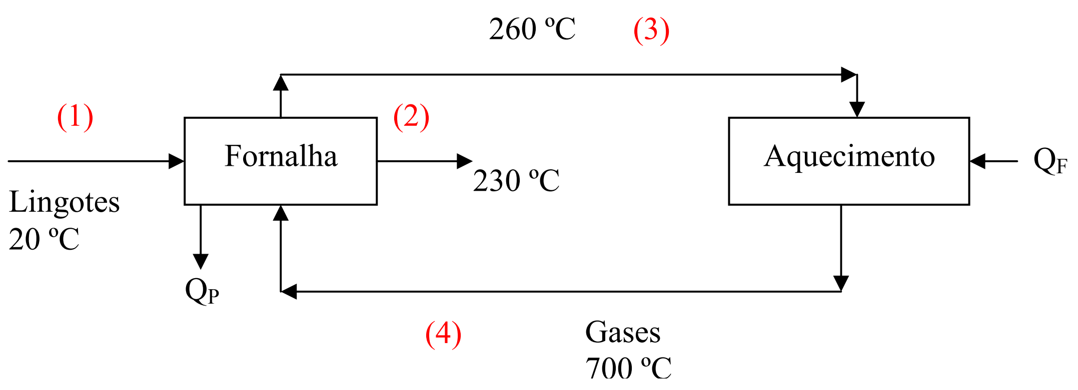
a) O caudal molar de gases que circula no processo. (R: 1346 kmol/h)

b) A potência eléctrica útil do aquecedor dos gases. (R: 5,94 MW)

Dados:

- Lingotes: Peso unitário = 236 kg; Temperatura de entrada = 20 °C; Temperatura de saída = 230 °C; Capacidade calorífica média = 0,12 cal/g,°C.
- Calor perdido por radiação na fornalha = 60 Mcal/h.
- Considere, como aproximação, que a energia perdida nas tubagens dos gases é desprezável.

Para se perceber melhor o problema começo por desenhar o flow-sheet:

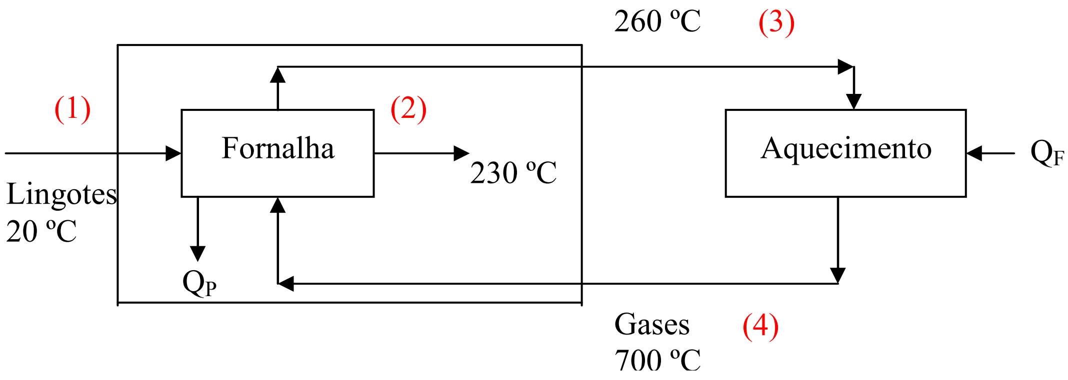


Seguidamente seleccionei o Estado de Referência:

<u>Estado de Referência:</u> 25ºC, lingotes (c), gases (g), P_T

A) Cálculo do caudal molar dos gases que circulam no processo

Começa-se por seleccionar a Zona de Controle



$\Delta H_1 + \Delta H_4 = \Delta H_2 + \Delta H_3 + Q_P$

Para calcularmos ΔH_3 e ΔH_4 precisamos de calcular o $\overline{Cp}$ de cada gás entre 25ºC (Tref) e 260ºC e 700ºC. Para este cálculo recorremos aos parâmetro a, b, c e d da Tabela da Página II.26 das Tabelas de PEQ e à equação:

$$\overline{\mathbf{Cp}} = \int_{\mathbf{Tref}}^{\mathbf{T}} \frac{\mathbf{a + bT + cT^2 + dT^3dt}}{\mathbf{T - Tref}} = \frac{\mathbf{a(T - Tref) + \frac{b}{2}(T^2 - T_{ref}^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_{ref}^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_{ref}^4)}}{\mathbf{T - Tref}}$$

Obtem-se:

$\overline{Cp}$ em cal/mole ºC	% molar	$\overline{Cp}$ entre 25ºC e 260ºC	$\overline{Cp}$ entre 25ºC e 700ºC
CO_2	25	9,909	11,287
CO	1	7,079	7,373
O_2	7	7,315	7,741
N_2	67	7,036	7,292
Média		7,774	8,323

Para os $\overline{Cp}$ entre 25ºC e 700ºC, também se podia recorrer aos valores de Cp já integrados, da Tabela da página II.28, o que reduz muito o trabalho:

$\overline{Cp}$ em cal/mole ºC	% molar	$\overline{Cp}$ entre 25ºC e 700ºC
CO_2	25	11,303
CO	1	7,365
O_2	7	7,706
N_2	67	7,298
Média		8,328

É indiferente usar uns ou outros. Tendo que optar optei pelos $\overline{\mathbf{Cp}}$ obtidos a partir dos polinómios da página II.26.

$\Delta H_1 = 850 \times 236 \times 10^3 \times 0{,}12 \times (20 - 25) = -1{,}2036 \times 10^8$ cal/h

$\Delta H_2 = 850 \times 236 \times 10^3 \times 0{,}12 \times (230 - 25) = 4{,}93476 \times 10^9$ cal/h

$\Delta H_3 = Qm \times 7{,}774 \times (260 - 25) = 1826{,}89 \times Qm$

$\Delta H_4 = Qm \times 8{,}323 \times (700 – 25) = 5618{,}025 \times Qm$

$Q_P = 60$ Mcal/h $= 60 \times 10^6 = 6 \times 10^7$ cal/h   dado do enunciado

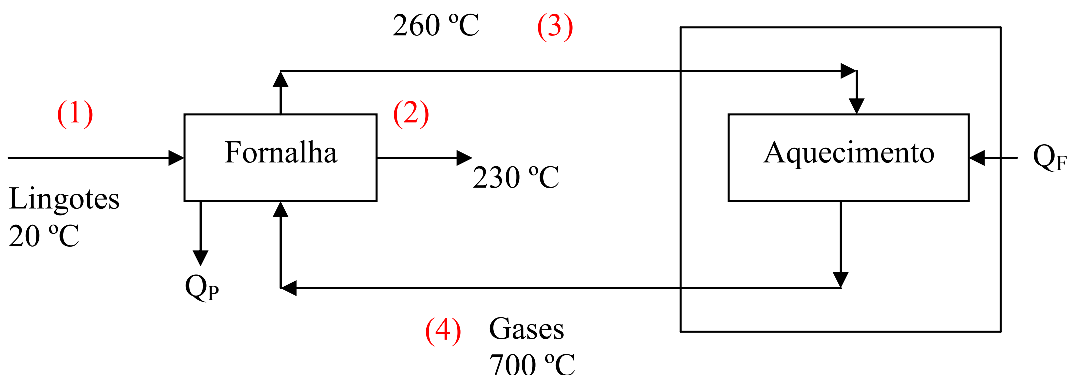
Substituindo-se:

$-1{,}2036 \times 10^8 + 5618{,}025 \times Qm = 4{,}93476 \times 10^9 + 1826{,}89 \times Qm + 6 \times 10^7$

Resolvendo-se vem: Qm = $\mathbf{1{,}34923 \times 10^6}$ **mole/h**

B) <u>Potência elétrica usada no aquecimento</u>

Temos agora que seleccionar uma nova Zona de Controle:



$\Delta H_3 + Q_F = \Delta H_4$

$Q_F = \Delta H_4 - \Delta H_3$

$\Delta H_3 = 1826{,}89 \times Qm = 1826{,}89 \times 1{,}34923 \times 10^6 = 2{,}46489 \times 10^9$ cal/h

$\Delta H_4 = 5618{,}025 \times Qm = 5618{,}025 \times 1{,}34923 \times 10^6 = 7{,}58001 \times 10^9$ cal/h

$Q_F = \Delta H_4 - \Delta H_3 = 7{,}58001 \times 10^9 - 2{,}46489 \times 10^9 = 5{,}11512 \times 10^9$ cal/h

$Q_F = 5{,}11512 \times 10^9$ cal/h $(\div 3600) = 1{,}4209 \times 10^6$ cal/s $(\times 4{,}18) = 5{,}939 \times 10^6$ J/s = **5,939 MW**