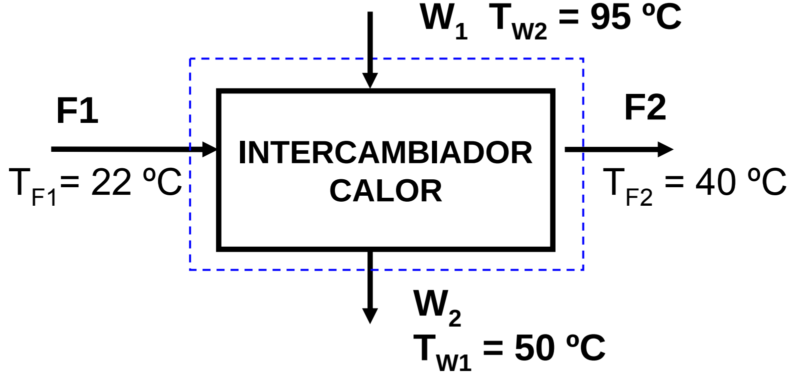
TEMA 6. AUTOEVALUACIÓN

OpenCourseWare
Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea
CAMPUS VIRTUAL BIRTUALA
ISSN 2255-2316

Problema 1: solución



$C_{p,F}$=3,72 kJ/(kg K) (Tabla A.2.1)

F_1=2000 kg/h

a) W_1?

INTERCAMBIADOR CALOR

a) B. Energía

$$F_1\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot h_{F1}\left[\frac{kJ}{kg}\right]+W_1\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot h_{W1}\left[\frac{kJ}{kg}\right]-F_2\cdot h_{F2}-W_2\cdot h_{W2}=0 \qquad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad (1)$$

B. Materia Total

$$F_1-F_2=0 \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \qquad F_1=F_2=F \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \qquad (2)$$

$$W_1-W_2=0 \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \qquad W_1=W_2=W \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \qquad (3)$$

Determinación entalpías:

$$h_{F1}=c_{pF}\left(T_{F1}-T_{F,ref}\right) \qquad h_{F2}=c_{pF}\left(T_{F2}-T_{F,ref}\right)$$

$$\xrightarrow{T_{Fref}=T_{F1}} \quad h_{F1}=0 \qquad h_{F2}=c_{pF}\left(T_{F2}-T_{F1}\right)=3{,}72\left[\frac{kJ}{kg\cdot{}^{o}C}\right](40-22)[{}^{o}C]=66{,}96 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$h_{W1}=c_{pW}\left(T_{W1}-T_{W,ref}\right) \qquad h_{W2}=c_{pW}\left(T_{W2}-T_{W,ref}\right)$$

$$\xrightarrow{T_{Wref}=T_{W1}} \quad h_{W1}=0 \qquad h_{W2}=c_{pW}\left(T_{W2}-T_{W1}\right)=4{,}184\left[\frac{kJ}{kg\cdot{}^{o}C}\right](50-95)[{}^{o}C]=-188{,}28 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

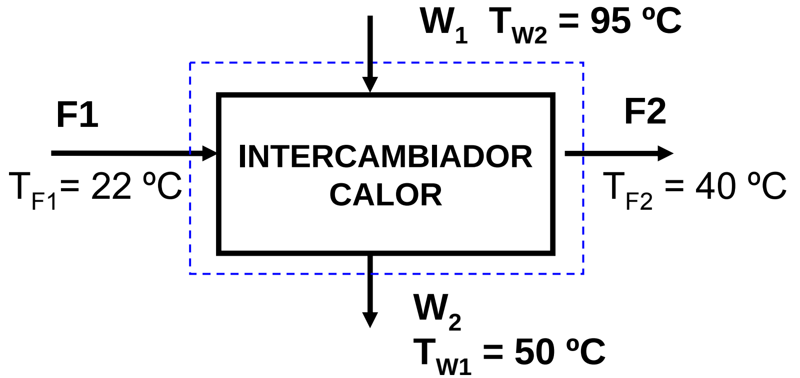
OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea · Campus Virtual · ISSN 2255-2316

Problema 1: solución

$C_{p,F}$=3,72 kJ/(kg K) (Tabla A.2.1)

F_1=2000 kg/h

a) W_1?



INTERCAMBIADOR CALOR

a) B. Energía

$$F\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot\left(h_{F1}-h_{F2}\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]+W\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot\left(h_{W1}-h_{W2}\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]=0 \qquad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad (1)$$

Determinación entalpías:

$$h_{F1}=0 \qquad h_{F2}=66{,}96 \qquad \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$h_{W1}=0 \qquad h_{W2}=-188{,}28 \qquad \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$2000\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot\left(0-66{,}96\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]+W\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot\left(0-\left(-188{,}28\right)\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]=0$$

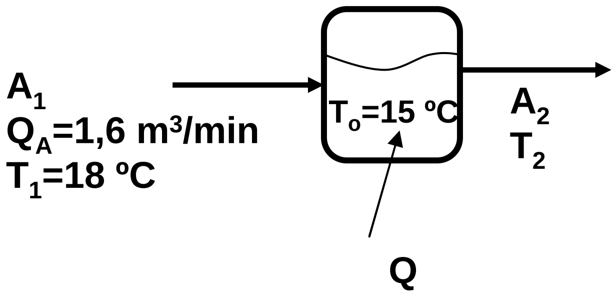
$$W=711\left[\frac{kg}{h}\right]$$

ISSN 2255-2316

Problema 2: solución

M=2 tn almidón
ρ=91 g/l
T_o=15 ºC
C_p=1,976 kJ/(kg K) (Tabla A.2.1)
Q=25 kcal/s

a) T_2?
b) Q para T_2=50 ºC



INTERCAMBIADOR CALOR

a) B. Energía

$$A_1\left[\frac{kg}{\min}\right]\cdot h_{A1}\left[\frac{kcal}{kg}\right]-A_2\left[\frac{kg}{\min}\right]\cdot h_{A2}\left[\frac{kcal}{kg}\right]+Q\left[\frac{kcal}{\min}\right]-W\left[\frac{kcal}{\min}\right]=0 \qquad \left[\frac{kcal}{\min}\right] \qquad (1)$$

B. Materia Total

$$A_1-A_2=0 \qquad \left[\frac{kg}{\min}\right] \qquad (2)$$

$$Q_{A1}\left[\frac{m^3}{\min}\right]\cdot \rho_{A1}\left[\frac{kg}{m^3}\right]-A_2=0 \qquad \left[\frac{kg}{\min}\right] \qquad (2a)$$

$$1{,}65\left[\frac{m^3}{\min}\right]\cdot 91\left[\frac{kg}{m^3}\right]-A_2=0 \qquad A_2=150\left[\frac{kg}{\min}\right]$$

Determinación entalpías:

$$h_{A1}=c_{pA}\left(T_{A1}-T_{A,ref}\right)$$
$$h_{A2}=c_{pA}\left(T_{A2}-T_{A,ref}\right)$$

$$\xrightarrow{T_{Aref}=T_{A1}}$$

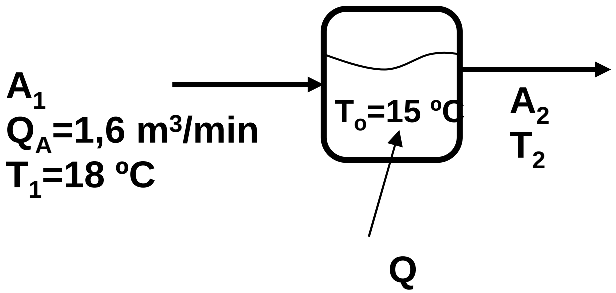
$$h_{A1}=0$$
$$h_{A2}=c_{pA}\left(T_{A2}-T_{A1}\right)=\frac{1{,}976}{4{,}184}\left[\frac{kcal}{kg\cdot K}\right]\left(T_{A2}-291\right)[K]$$

OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea
CAMPUS VIRTUAL BIRTUALA
ISSN 2255-2316

Problema 2: solución

M=2 tn almidón
ρ=91 g/l
T_o=15 ºC
C_p=1,976 kJ/(kg K) (Tabla A.2.1)
Q=25 kcal/s

a) T_2?
b) Q para T_2=50 ºC



INTERCAMBIADOR CALOR

a) Resolviendo el balance de energía, Ec 1:

$$h_{A,2} = \frac{1{,}976}{4{,}184}(T_{A2} - 291) \quad \left[\frac{kcal}{\min}\right]$$

$$A_2 = 150 \quad \left[\frac{kg}{\min}\right]$$

$$A_1\left[\frac{kg}{\min}\right]\cdot h_A\left[\frac{kcal}{kg}\right] - A_2\left[\frac{kg}{\min}\right]\cdot h_2\left[\frac{kcal}{kg}\right] + Q\left[\frac{kcal}{\min}\right] - W\left[\frac{kcal}{\min}\right] = 0 \quad \left[\frac{kcal}{\min}\right] \qquad (1)$$

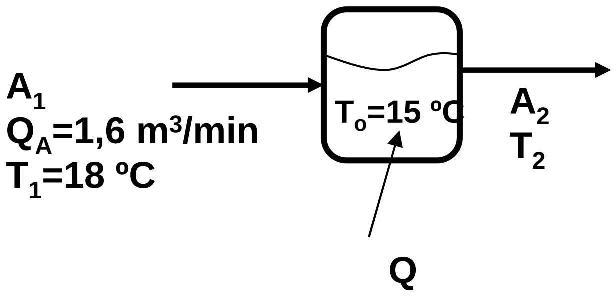
$$150\left[\frac{kg}{\min}\right]\cdot 0\left[\frac{kcal}{kg}\right] - 150\left[\frac{kg}{\min}\right]\cdot\frac{1{,}976}{4{,}184}\left[\frac{kcal}{kg\cdot K}\right](T_{A2} - 291)[K] + 25\cdot 60\left[\frac{kcal}{\min}\right] = 0$$

$$T_{A2} = 312{,}1[K] = 39{,}2[^\circ C]$$

Problema 2: solución

M=2 tn almidón
ρ=91 g/l
T_o=15 ºC
C_p=1,976 kJ/(kg K) (Tabla A.2.1)
Q=25 kcal/s

a) T_2?
b) Q para T_2=50 ºC



INTERCAMBIADOR CALOR

b) En las condiciones del apartado b) se sigue cumpliendo el balance de energía deducido en el apartado a). En este caso se conoce T_{A2} (323 K) y se desconoce Q:

$$A_1\left[\frac{kg}{\min}\right]\cdot h_A\left[\frac{kcal}{kg}\right]-A_2\left[\frac{kg}{\min}\right]\cdot h_2\left[\frac{kcal}{kg}\right]+Q\left[\frac{kcal}{\min}\right]-W\left[\frac{kcal}{\min}\right]=0 \quad \left[\frac{kcal}{\min}\right] \qquad (1)$$

$$h_{A,2}=\frac{1,976}{4,184}(T_{A2}-291)=\frac{1,976}{4,184}(323-291)=15,11 \quad \left[\frac{kcal}{kg}\right]$$

$$A_2=150 \quad \left[\frac{kg}{\min}\right]$$

$$150\left[\frac{kg}{\min}\right]\cdot 0\left[\frac{kcal}{kg}\right]-150\left[\frac{kg}{\min}\right]\cdot 15,11\left[\frac{kcal}{kg}\right]+Q\left[\frac{kcal}{\min}\right]=0 \quad \left[\frac{kcal}{\min}\right]$$

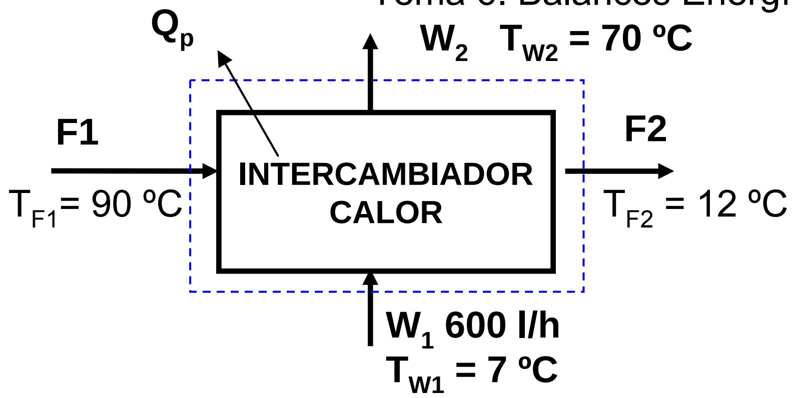
$$Q=2267\left[\frac{kcal}{\min}\right]=37,8\left[\frac{kcal}{s}\right] \qquad (+51\%)$$

ISSN 2255-2316

Problema 3: solución

a) F_1?
b) F_1? Q_p 2000 kJ/h

$C_{p,F}$=3,08 kJ/(kg K) (Tabla A.2.1)



INTERCAMBIADOR CALOR

a) B. Energía

$$F_1\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot h_{F1}\left[\frac{kcal}{kg}\right]+W_1\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot h_{W1}\left[\frac{kcal}{kg}\right]-F_2\cdot h_{F2}-W_2\cdot h_{W2}-Q_p\left[\frac{kcal}{h}\right]=0 \qquad \left[\frac{kcal}{h}\right] \qquad (1)$$

B. Materia Total

$$F_1-F_2=0 \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \qquad F_1=F_2=F \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \qquad (2)$$

$$W_1-W_2=0 \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \qquad W_1=W_2=W=600\left[\frac{L}{h}\right]1\left[\frac{kg}{L}\right] \qquad W=600\left[\frac{kg}{h}\right] \qquad (3)$$

Determinación entalpías:

$$h_{F1}=c_{pF}\left(T_{F1}-T_{F,ref}\right)$$
$$h_{F2}=c_{pF}\left(T_{F2}-T_{F,ref}\right)$$

$\xrightarrow{T_{Fref}=T_{F1}}$

$$h_{F1}=0$$
$$h_{F2}=c_{pF}\left(T_{F2}-T_{F1}\right)=\frac{3,08}{4,184}\left[\frac{kcal}{kg\cdot{}^{o}C}\right]\left(12-90\right)[{}^{o}C]=-57,41$$

$$h_{W1}=c_{pW}\left(T_{W1}-T_{W,ref}\right)$$
$$h_{W2}=c_{pW}\left(T_{W2}-T_{W,ref}\right)$$

$\xrightarrow{T_{Wref}=T_{W1}}$

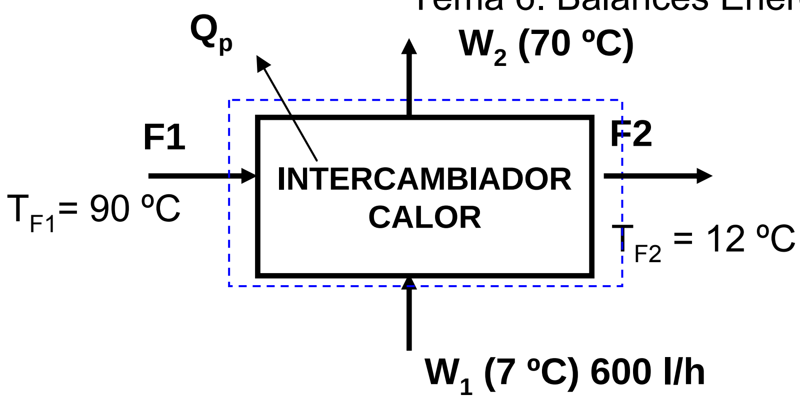
$$h_{W1}=0$$
$$h_{W2}=c_{pW}\left(T_{W2}-T_{W1}\right)=1\left[\frac{kcal}{kg\cdot{}^{o}C}\right]\left(70-7\right)[{}^{o}C]=63 \qquad \left[\frac{kcal}{kg}\right]$$

ISSN 2255-2316

Problema 3: solución

a) F_1?
b) F_1? Q_p 2000 kJ/h

$C_{p,F}$=3,08 kJ/(kg K) (Tabla A.2.1)



INTERCAMBIADOR CALOR

a) B. Energía

$$F_1 = F_2 = F \qquad W = 600 \quad \left[\frac{kg}{h}\right]$$

$$h_{F1} = 0 \qquad h_{F2} = -57{,}41 \quad \left[\frac{kcal}{kg}\right]$$

$$h_{W1} = 0 \qquad h_{W2} = 63 \quad \left[\frac{kcal}{kg}\right]$$

$$F_1\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot h_{F1}\left[\frac{kcal}{kg}\right] + W_1\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot h_{W1}\left[\frac{kcal}{kg}\right] - F_2 \cdot h_{F2} - W_2 \cdot h_{W2} - Q_p\left[\frac{kcal}{h}\right] = 0 \quad \left[\frac{kcal}{h}\right] \qquad (1)$$

$$F\cdot(h_{F1} - h_{F2}) + W\cdot(h_{W1} - h_{W2}) - Q_p = 0 \quad \left[\frac{kcal}{h}\right]$$

$$F = \frac{W\cdot(h_{W2} - h_{W1}) + Q_p}{(h_{F1} - h_{F2})} = \frac{600\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot 63\left[\frac{kcal}{kg}\right] + 0\left[\frac{kcal}{h}\right]}{57{,}41\left[\frac{kcal}{kg}\right]} \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \qquad (1b)$$

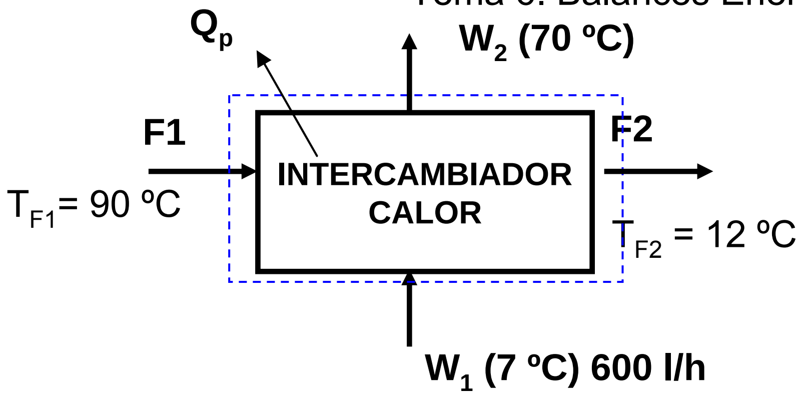
$$F = 658{,}32 \quad \left[\frac{kg}{h}\right]$$

ISSN 2255-2316

Problema 3: solución

a) F_1?
b) F_1? Q_p 2000 kJ/h

$C_{p,F}$=3,08 kJ/(kg K) (Tabla A.2.1)



INTERCAMBIADOR CALOR

b) En las condiciones del apartado b) se sigue cumpliendo el balance de energía deducido en el apartado a). En este caso, las **perdidas de calor** desde el sistema al exterior, Q_p, **no son nulas**:

$$F_1 = F_2 = F \qquad W = 600 \quad \left[\frac{kg}{h}\right]$$

$$h_{F1} = 0 \qquad h_{F2} = -57,41 \quad \left[\frac{kcal}{kg}\right]$$

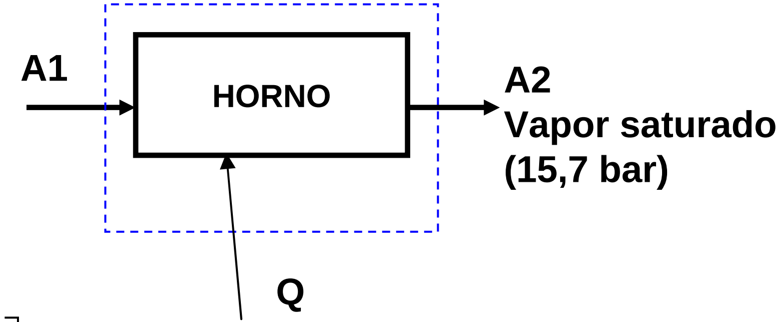
$$h_{W1} = 0 \qquad h_{W2} = 63 \quad \left[\frac{kcal}{kg}\right]$$

$$F = \frac{W \cdot (h_{W2} - h_{W1}) + Q_p}{(h_{F1} - h_{F2})} = \frac{600\left[\frac{kg}{h}\right] \cdot 63\left[\frac{kcal}{kg}\right] + \frac{2000}{4,184}\left[\frac{kcal}{h}\right]}{57,41\left[\frac{kcal}{kg}\right]} \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \tag{1b}$$

$$F = 667 \quad \left[\frac{kg}{h}\right]$$

Problema 4: solución

Q=2x10^{7} J/h   a) A2?; A1 (30ºC)
η=0,90



Balance Energía
(Horno)

$$A_1\left[\frac{kg}{h}\right]h_{A1}\left[\frac{kJ}{kg}\right]-A_2\cdot h_{A2}+Q=0 \qquad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad (1)$$

Balance Materia
(Horno)

$$A_1\left[\frac{kg}{h}\right]-A_2=0 \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \longrightarrow A_1=A_2=A \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \qquad (2)$$

A partir del balance de energía obtenemos la siguiente ecuación, con la única incógnita A:
(entalpÍas del agua TABLA A.4.2)

$$A_1\left(h_{A1}-h_{A2}\right)+Q=0 \quad \left[\frac{kJ}{h}\right] \longrightarrow A=\frac{Q}{\left(h_{A2}-h_{A1}\right)} \quad \left[\frac{kg}{h}\right]$$

a) A2?

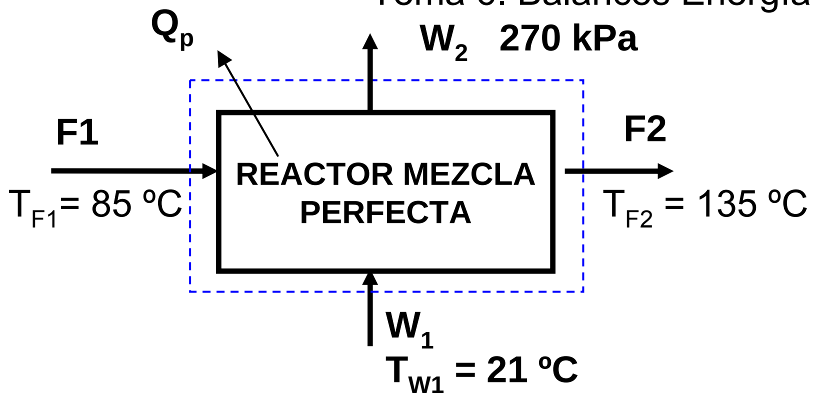
$$A=\frac{\left(2\cdot 10^{4}\right)0,9\left[\frac{kJ}{h}\right]}{\left(2793,4-125,7\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]}=6,75\left[\frac{kg}{h}\right]$$

OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea
CAMPUS VIRTUAL AIRTUALA
ISSN 2255-2316

Problema 5: solución

F_1 = 3,84 kg/min
($-\Delta H_R$) = 875 kcal/kg
Q_p= 52000 kcal/h
ρ = 1,12 kg/L; $c_{p,F}$=1,38 kcal/(kg ºC)

a) W_1?



REACTOR MEZCLA PERFECTA

a) B. Energía

$$F_1\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot h_{F1}\left[\frac{kJ}{kg}\right]+W_1\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot h_{W1}\left[\frac{kJ}{kg}\right]-F_2\cdot h_{F2}-W_2\cdot h_{W2}-Q_p\left[\frac{kJ}{h}\right]=0 \quad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad (1)$$

B. Materia Total

$$F_1-F_2=0 \quad \left[\frac{kg}{min}\right] \qquad F_1=F_2=F=3,84 \quad \left[\frac{kg}{min}\right] \qquad (2)$$

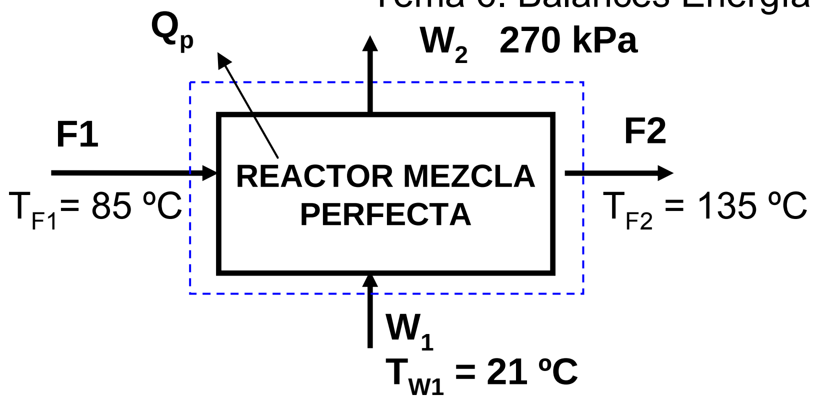
$$W_1-W_2=0 \quad \left[\frac{kg}{min}\right] \qquad W_1=W_2=W \quad \left[\frac{kg}{min}\right] \qquad (3)$$

Reescribiendo el B. Energía:

$$F\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot\left(h_{F1}-h_{F2}\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]+W\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot\left(h_{W1}-h_{W2}\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]-Q_p\left[\frac{kJ}{h}\right]=0 \quad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad (1b)$$

OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea · Campus Virtual · ISSN 2255-2316

Problema 5: solución



F_1 = 3,84 kg/min

(ΔH_R) = -875 kcal/kg

Q_p= 52000 kcal/h

ρ = 1,12 kg/L; $c_{p,F}$=1,38 kcal/(kg ºC)

a) W_1?

REACTOR MEZCLA PERFECTA

a) B. Energía

$$F\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot\left(h_{F1}-h_{F2}\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]+W\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot\left(h_{W1}-h_{W2}\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]-Q_p\left[\frac{kJ}{h}\right]=0 \qquad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad (1b)$$

Determinación entalpías: (Tabla A.4.2)

$$h_{W1}\left(Liq, 21^{o}C\right)=88{,}14$$
$$h_{W2}\left(Vap, 270kPa, 130^{o}C\right)=2720{,}5 \quad \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$h_{F2}-h_{F1}=\underbrace{c_{pF}\cdot\left(T_{F2}-T_{F1}\right)}+\underbrace{\left(\Delta H_R\right)}\left[\frac{kJ}{kg}\right]=1{,}38\left[\frac{kcal}{kg\,^{o}C}\right]\cdot\left(135-85\right)\left[^{o}C\right]+\left(-875\right)\left[\frac{kcal}{kg}\right] \qquad (4)$$

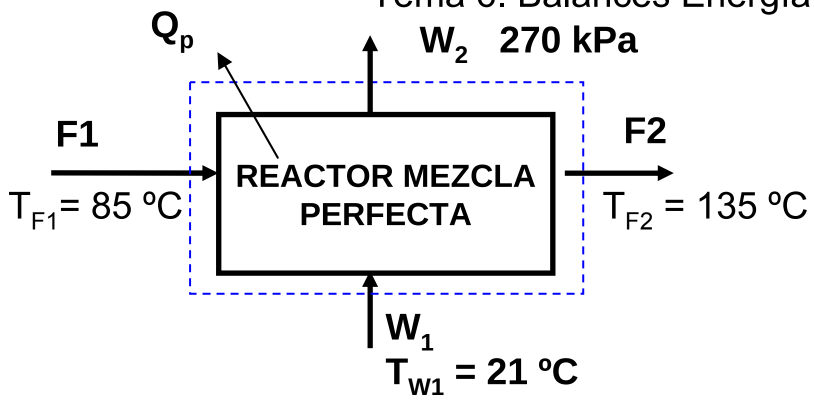
Cambio en **entalpía** debido a cambio de **Temperatura**

Cambio de **entalpía** debido a **reacción química**

$$h_{F2}-h_{F1}=-806\left[\frac{kcal}{kg}\right]=-3372{,}3\left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea campus virtual birtuala ISSN 2255-2316

Problema 5: solución



F_1 = 3,84 kg/min

(ΔH_R) = -875 kcal/kg

Q_p = 52000 kcal/h

ρ = 1,12 kg/L; $c_{p,F}$=1,38 kcal/(kg ºC)

a) W_1?

$$h_{W1} = 88,14 \quad h_{W2} = 2720,5 \quad \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$h_{F2} - h_{F1} = -3372,3 \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

REACTOR MEZCLA PERFECTA

a) Resolviendo en B. de energía:

$$F\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot(h_{F1}-h_{F2})\left[\frac{kJ}{kg}\right] + W\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot(h_{W1}-h_{W2})\left[\frac{kJ}{kg}\right] - Q_p\left[\frac{kJ}{h}\right] = 0 \qquad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad \text{(1b)}$$

$$W = \frac{\left\{F\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot(h_{F1}-h_{F2})\left[\frac{kJ}{kg}\right] - Q_p\left[\frac{kJ}{h}\right]\right\}}{\left\{(h_{W2}-h_{W1})\left[\frac{kJ}{kg}\right]\right\}}\left[\frac{kg}{h}\right] \qquad \text{(1c)}$$

{Calor neto desprendido = desprend por reac - pérdidas} / {Incremento de entalpia deseado para el agua}

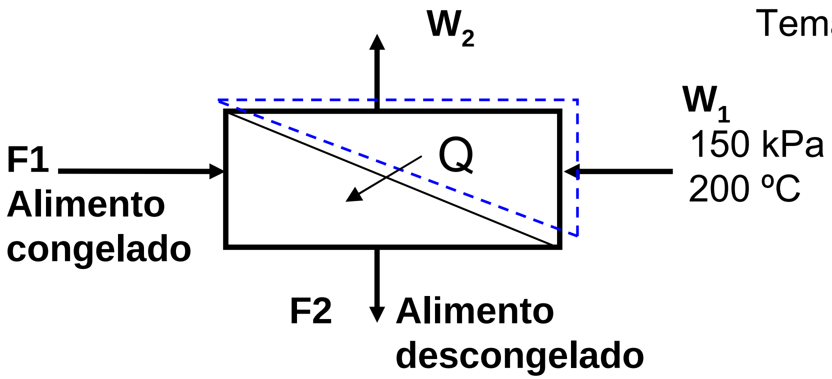
$$W = \frac{3,84\cdot 60\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot(3372,3)\left[\frac{kJ}{kg}\right] - 52000\cdot 4,184\left[\frac{kJ}{h}\right]}{(2720,5-88,14)\left[\frac{kJ}{kg}\right]} = \frac{7,76\cdot 10^5 - 2,17\cdot 10^5}{2632,36}$$

$$W = 212,5\left[\frac{kg}{h}\right]$$

OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea
Campus Virtual Birtuala
ISSN 2255-2316

Problema 6: solución

Q desprendido?
a) W_2 vapor P_{atm} 100 ºC
b) W_2 líquido P_{atm} 100 ºC
c) W_2 líquido P_{atm} 85 ºC



INTERCAMBIADOR DE CALOR

a) B. Energía en corriente W

$$W_1\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot h_{W1}\left[\frac{kJ}{kg}\right]-W_2\cdot h_{W2}-Q\left[\frac{kJ}{h}\right]=0 \qquad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad (1)$$

B. Materia Total

$$W_1-W_2=0 \quad \left[\frac{kg}{min}\right] \qquad W_1=W_2=W \quad \left[\frac{kg}{min}\right] \qquad (2)$$

Reescribiendo el B. Energía:

$$W\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot\left(h_{W1}-h_{W2}\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]-Q\left[\frac{kJ}{h}\right]=0 \qquad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad (1b)$$

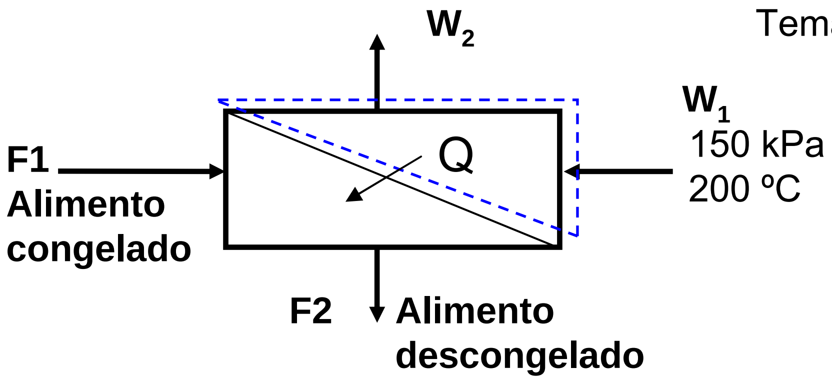
$$Q=W\left[\frac{kg}{h}\right]\cdot\left(h_{W1}-h_{W2}\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right] \qquad \left[\frac{kJ}{h}\right]$$

$$\frac{Q}{W}=\left(h_{W1}-h_{W2}\right) \qquad \left[\frac{kJ}{kg}\right] \qquad (1c)$$

OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea
CAMPUS VIRTUAL
ISSN 2255-2316

Problema 6: solución

Q desprendido?
a) W_2 vapor P_{atm} 100 ºC
b) W_2 líquido P_{atm} 100 ºC
c) W_2 líquido P_{atm} 85 ºC



Por tanto, se trata de hallar la **variación de entalpía** que sufre el **vapor de agua** en cada una de las situaciones a) - c).

$$\frac{Q}{W} = \left(h_{W1} - h_{W2}\right) \qquad \left[\frac{kJ}{kg}\right] \qquad (1c)$$

a) W_2 sale en forma de **vapor** a **P atmosférica** y **100 ºC**

$$h_{W1(150kPa,200°C)} = 2872{,}9\left[\frac{kJ}{kg}\right]$$ Tabla A.4.3

$$h_{W2(vapor,101kPa,100°C)} = 2676{,}2\left[\frac{kJ}{kg}\right]$$ Tabla A.4.2

Resolviendo Ec.1c:

$$\frac{Q}{W} = \left(2872{,}9 - 2676{,}2\right)$$

$$\frac{Q}{W} = 196{,}7 \quad \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

b) W_2 sale en forma líquida a **P atmosférica** y **100 ºC**

$$h_{W1(150kPa,200°C)} = 2872{,}9\left[\frac{kJ}{kg}\right]$$ Tabla A.4.3.

$$h_{W2(liq.,101kPa,100°C)} = 419{,}04\left[\frac{kJ}{kg}\right]$$ Tabla A.4.2

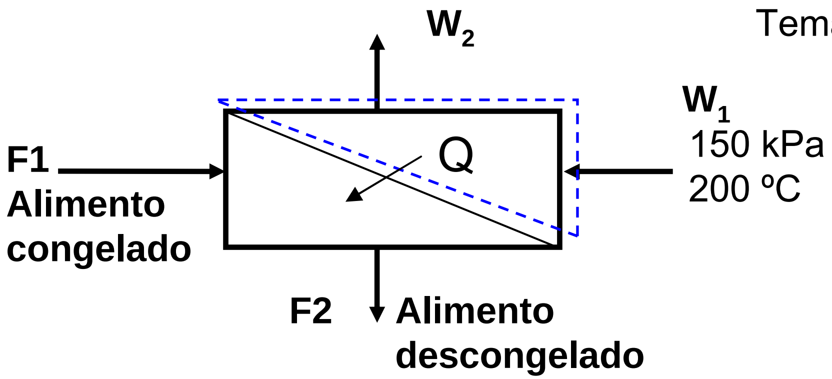
$$\frac{Q}{W} = \left(2872{,}9 - 419{,}2\right)$$

$$\frac{Q}{W} = 2453{,}9 \quad \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

Problema 6: solución

Q desprendido?

a) W_2 vapor P_{atm} 100 ºC
b) W_2 líquido P_{atm} 100 ºC
c) W_2 líquido P_{atm} 85 ºC



Por tanto, se trata de hallar la **variación de entalpía** que sufre el **vapor de agua** en cada una de las situaciones a) - c).

$$\frac{Q}{W} = \left(h_{W1} - h_{W2}\right) \qquad \left[\frac{kJ}{kg}\right] \qquad (1c)$$

a) W_2 sale en forma de **vapor** a **P atmosférica** y **100 ºC**

$$\frac{Q}{W} = 196{,}7 \quad \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

b) W_2 sale en forma líquida a **P atmosférica** y **100 ºC**

$$\frac{Q}{W} = 2453{,}9 \quad \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

c) W_2 sale en forma líquida a **P atmosférica** y **85 ºC**

$$h_{W1(150kPa,200°C)} = 2872{,}9\left[\frac{kJ}{kg}\right] \qquad \text{Tabla A.4.3.}$$

$$h_{W2(liq.,101kPa,100°C)} = 355{,}9\left[\frac{kJ}{kg}\right] \qquad \text{Tabla A.4.2}$$

Resolviendo Ec.1c:

$$\frac{Q}{W} = \left(2872{,}9 - 355{,}2\right)$$

$$\frac{Q}{W} = 2517 \quad \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

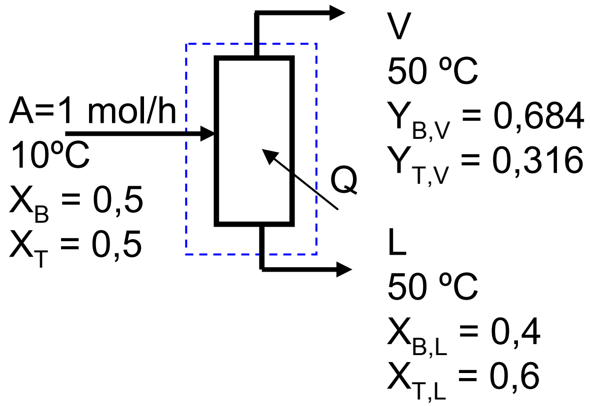
OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea
Campus Virtual Birtuala
ISSN 2255-2316

Problema 7: solución

$cp_{B,Liq}$= 133,3 J/(mol ºC)
$cp_{B,V}$ = 286,3 J/(mol ºC)
$cp_{T,Liq}$= 158,5 J/(mol ºC)
$cp_{T,V}$ = 207,2 J/(mol ºC)

λ (B, 50 ºC)= 30765 J/mol
λ (T, 50 ºC)= 33470 J/mol

a) Q [J/h] ?



EVAPORADOR

B. Energía
(Evaporador completo)

$$A\left[\frac{mol}{h}\right]h_A\left[\frac{J}{mol}\right]-L\left[\frac{mol}{h}\right]h_L\left[\frac{J}{mol}\right]-V\left[\frac{mol}{h}\right]h_V\left[\frac{J}{mol}\right]+Q=0 \qquad \left[\frac{J}{h}\right] \qquad (1)$$

Incógnitas en ec (1): h_A,h_v, h_L, V y L.

En este caso, la principal complejidad reside en **hallar h_A, h_v y h_L**. Pues se trata de una mezcla multicomponente. L eta V, se hallan del **balance de materia**.

Determinación de entalpias:

$$h_A = X_{B,A}\cdot c_{pB,Liq}\cdot\left(T_{B,A}-T_{ref}\right)+X_{T,A}\cdot c_{pT,Liq}\cdot\left(T_{T,A}-T_{ref}\right) \qquad \left[\frac{J}{mol}\right] \qquad (2)$$

$$h_L = X_{B,L}\cdot c_{pB,Liq}\left(T_{B,L}-T_{ref}\right)+X_{T,L}\cdot c_{pT,Liq}\left(T_{T,L}-T_{ref}\right) \qquad \left[\frac{J}{mol}\right] \qquad (3)$$

$$h_V = Y_{B,V}\left(c_{pB,Liq}\cdot\left(T_{B,V}-T_{ref}\right)+\lambda_B\right)+Y_{T,V}\left(c_{pT,Liq}\cdot\left(T_{T,V}-T_{ref}\right)+\lambda_T\right) \qquad \left[\frac{J}{mol}\right] \qquad (4)$$

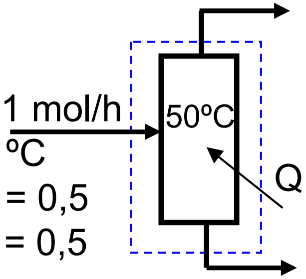
OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea
campus virtual birtuala
ISSN 2255-2316

Problema 7: solución

$cp_{B,L}$= 133,3 J/(mol ºC)
$cp_{B,V}$ = 286,3 J/(mol ºC)
$cp_{T,L}$= 158,5 J/(mol ºC)
$cp_{T,V}$ = 207,2 J/(mol ºC)

λ (B, 50 ºC)= 30765 J/mol
λ (T, 50 ºC)= 33470 J/mol

a) Q [J/h] ?



Determinación de entalpias:

$$h_A = X_{B,A}\cdot c_{pB,Liq}\cdot\left(T_{B,A}-T_{ref}\right)+X_{T,A}\cdot c_{pT,Liq}\cdot\left(T_{T,A}-T_{ref}\right)\ \left[\frac{J}{mol}\right] \quad (2)$$

$$h_L = X_{B,L}\cdot c_{pB,Liq}\left(T_{B,L}-T_{ref}\right)+X_{T,L}\cdot c_{pT,Liq}\left(T_{T,L}-T_{ref}\right)\ \left[\frac{J}{mol}\right] \quad (3)$$

$$h_V = Y_{B,V}\left(c_{pB,Liq}\cdot\left(T_{B,V}-T_{ref}\right)+\lambda_B\right)+Y_{T,V}\left(c_{pT,Liq}\cdot\left(T_{T,V}-T_{ref}\right)+\lambda_T\right)\ \left[\frac{J}{mol}\right] \quad (4)$$

$$h_A = 0{,}5\cdot 133{,}3\left[\frac{J}{molB\cdot{}^{o}C}\right]\cdot(10-10)\left[{}^{o}C\right]+0{,}5\cdot 158{,}5\cdot(10-10) \qquad \underline{\underline{h_A = 0}}\ \left[\frac{J}{mol}\right]$$

$$h_L = 0{,}4\cdot 133{,}3\left[\frac{J}{molB\cdot{}^{o}C}\right]\cdot(50-10)\left[{}^{o}C\right]+0{,}6\cdot 158{,}5\cdot(50-10) \qquad \underline{\underline{h_L = 5936}}\ \left[\frac{J}{mol}\right]$$

$$h_V = 0{,}684\left(133{,}3\left[\frac{J}{molB\cdot{}^{o}C}\right]\cdot(50-10)\left[{}^{o}C\right]+30765\left[\frac{J}{molB}\right]\right)+0{,}316\left[158{,}5\cdot(50-10)+33470\right]$$

$$\underline{\underline{h_V = 37270{,}4}}\ \left[\frac{J}{mol}\right]$$

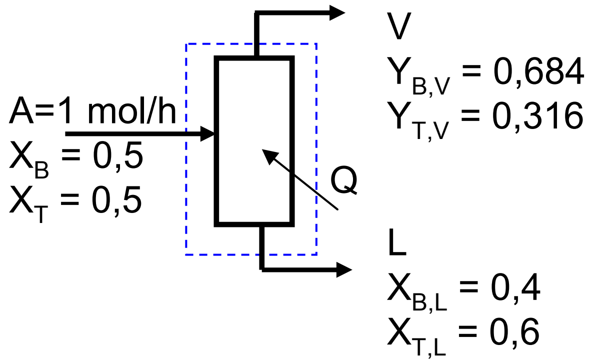
OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea · Campus Virtual Birtuala · ISSN 2255-2316

Problema 7: solución

$cp_{B,L}$= 133,3 J/(mol ºC)
$cp_{B,V}$ = 286,3 J/(mol ºC)
$cp_{T,L}$= 158,5 J/(mol ºC)
$cp_{T,V}$ = 207,2 J/(mol ºC)

λ (B, 50 ºC)= 30765 J/mol
λ (T, 50 ºC)= 33470 J/mol

a) Q [J/h] ?



EVAPORADOR

Balance de materia

Obsérvese que se puede resolver tanto en **kg** como **moles.** Al no existir reacción química, la cantidad de moles permanece constante.

Total

$$A\left[\frac{mol}{h}\right] - L - V = 0 \qquad \left[\frac{mol}{h}\right] \qquad (5)$$

Parcial (compuesto B)

$$A\left[\frac{mol}{h}\right] X_{B,A}\left[\frac{molB}{mol}\right] - L\left[\frac{mol}{h}\right] X_{B,L}\left[\frac{molB}{mol}\right] - V\left[\frac{mol}{h}\right] Y_{B,V}\left[\frac{molB}{mol}\right] = 0 \qquad \left[\frac{molB}{h}\right] \qquad (6)$$

Resolviendo las ecuaciones (5) y (6):

(5) $1\left[\frac{mol}{h}\right] - L - V = 0$

(6) $1\left[\frac{mol}{h}\right] 0,5\left[\frac{molB}{mol}\right] - L \cdot 0,4 - V \cdot 0,684 = 0$

$$\underline{\underline{V = 0,352}} \left[\frac{mol}{h}\right]$$

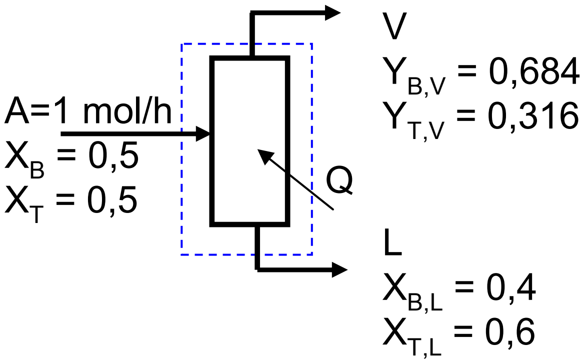
$$\underline{\underline{L = 0,648}} \left[\frac{mol}{h}\right]$$

ISSN 2255-2316

Problema 7: solución

$$h_A = 0 \qquad h_L = 5936 \qquad h_V = 37270,4 \qquad \left[\frac{J}{mol}\right]$$

$$V = 0,352 \qquad L = 0,648 \qquad \left[\frac{mol}{h}\right]$$



Finalmente, resolviendo la Ec. 1;

$$A\left[\frac{mol}{h}\right]h_A\left[\frac{J}{mol}\right] - L\left[\frac{mol}{h}\right]h_L\left[\frac{J}{mol}\right] - V\left[\frac{mol}{h}\right]h_V\left[\frac{J}{mol}\right] + Q = 0 \qquad \left[\frac{J}{h}\right] \qquad (1)$$

$$1\left[\frac{mol}{h}\right]\cdot 0\left[\frac{J}{mol}\right] - 0,648\cdot 5936 - 0,352\cdot 37270,4 + Q = 0 \qquad \left[\frac{J}{h}\right]$$

$$Q = 16965 \qquad \left[\frac{J}{h}\right]$$

ISSN 2255-2316

Problema 8: solución

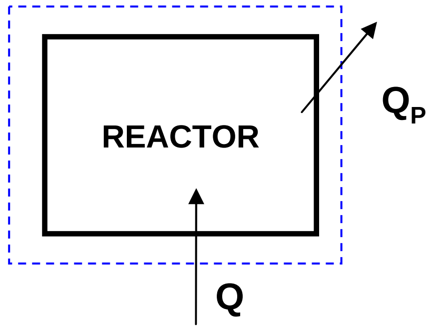
V_o=20000 L $\quad$ C_o=32,5 g/L

T_o= 18 ºC $\quad$ $(-\Delta H_R)$ = -138 kJ/kg

T=28 ºC $\quad$ X=0,92

C_p = 120 BTU/h

a) Q [kJ] ?



BALANCE ENERGÍA

Se trata de un sistema discontinuo, por tanto, se compara el estado INICIAL y FINAL.

$$E_o + Q = E_F \qquad [kJ] \qquad (1)$$

Donde Q representa el calor que se debe aportar al reactor, Qp las pérdidas al entorno y Q_r el calor desprendido en la reacción química.

$$M \cdot h_{Mo} + Q - Q_p + Q_r = M \cdot h_{MF} \qquad [kJ] \qquad (2)$$

$$M \cdot (h_{Mo} - h_{MF}) + Q - Q_p + Q_r = 0 \qquad [kJ] \qquad (2b)$$

Para resolver el BE y hallar Q, es necesario determinar la variación de entalpia, Q_p y Q_r:

$$(h_{Mo} - h_{MF}) = C_p (T_o - T_F) = 3{,}98\left[\frac{J}{gK}\right](12-28)[^\circ C] \qquad (h_{Mo} - h_{MF}) = -63{,}68\left[\frac{J}{g}\right]$$

$$Q_p = 120\left[\frac{BTU}{h}\right] x \frac{1{,}05[kJ]}{1[BTU]} x \frac{24[h]}{1[día]} x 20[día] \qquad Q_p = 60768[kJ]$$

$$Q_r = \underbrace{(-\Delta H_r)}_{\text{Calor de Reacción [kJ/kg]}} \cdot \underbrace{C_o \cdot V \cdot X}_{\text{Reactivo reaccionado [Kg azúcar fermentado]}} = -138\left[\frac{kJ}{kg}\right] 32{,}5x10^{-3}\left[\frac{kg}{L}\right] 20000[L] \cdot 0{,}92 \qquad Q_r = -82524[kJ]$$

Calor que desprende la reacción química. Valor negativo, es decir, **no se desprende sino se adsorbe**.

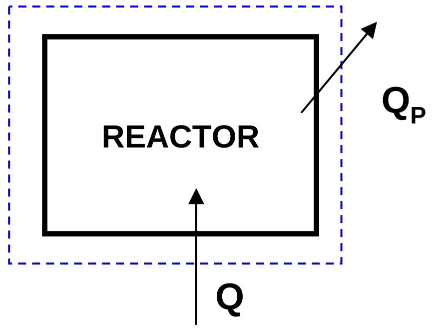
OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea
ISSN 2255-2316

Problema 8: solución

V_o=20000 L
T_o= 18 ºC
T=28 ºC
C_p = 120 BTU/h

C_o=32,5 g/L
$(-\Delta H_R)$ = -138 kJ/kg
X=0,92

a) Q [kJ] ?



BALANCE ENERGÍA

$$\left(h_{Mo} - h_{MF}\right) = -63,68\left[\frac{J}{g}\right]$$

$$Q_p = 60768\left[kJ\right]$$

$$Q_r = -82524\left[kJ\right]$$

$$M\cdot\left(h_{Mo} - h_{MF}\right) + Q - Q_p + Q_r = 0 \qquad \left[kJ\right] \qquad (2b)$$

$$Q = M\cdot\left(h_{MF} - h_{Mo}\right) + Q_p - Q_r \qquad \left[kJ\right]$$

$$Q = \underbrace{20000\left[L\right]0,99\left[\frac{kg}{L}\right]\cdot\left(63,68\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]}_{\text{Calor necesario para calentar la mezcla de 18 a 28ºC}} + \underbrace{60788}_{\text{Calor necesario para reponer las pérdidas al entorno}} - \underbrace{\left(-82524\right)}_{\text{Calor que adsorbe la reacción química endotérmica}} \qquad \left[kJ\right]$$

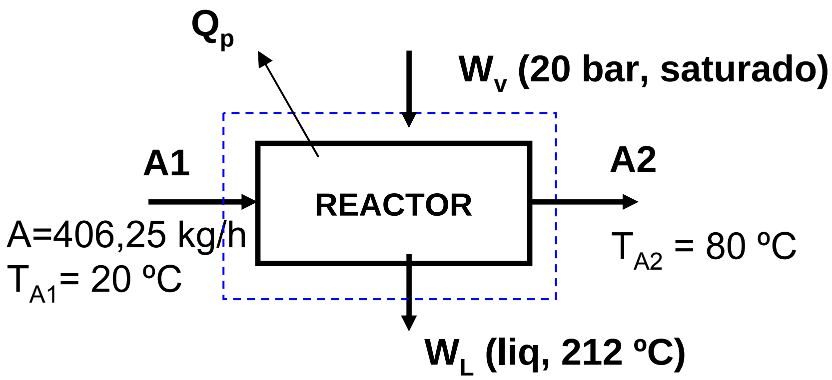
$$Q = 1,4x10^6\left[kJ\right]$$

ISSN 2255-2316

Problema 12: solución

$(-\Delta H_R) = -1000$ kJ/kg
$X_A = 0{,}8$
$Qp = 5000$ kcal/h
$C_{p,A} = 0{,}78$ kcal/(kg ºC)

a) W_V [kg/h] ?



REACTOR

Balance energía para reactor/camisa de calefacción:

$$\underbrace{A_1\left[\frac{kg}{h}\right]h_{A1}\left[\frac{kJ}{kg}\right]+W_v\left[\frac{kg}{h}\right]h_v\left[\frac{kJ}{kg}\right]}_{\text{Entra (con flujo másico)}}-\underbrace{A_2\left[\frac{kg}{h}\right]h_{A2}\left[\frac{kJ}{kg}\right]-W_L\left[\frac{kg}{h}\right]h_L\left[\frac{kJ}{kg}\right]}_{\text{Sale (flujo másico)}}-Q_p+Q_r=0\left[\frac{kJ}{h}\right] \quad (1)$$

Para resolver la Ec.1 se debe hallar la variación de entalpía de la corriente A (**h_{A2}-h_{A1}**). Si existe **reacción química,** se deberá tener en cuenta el **calor de reacción**.

Balance materia en reactor

$$A_1\left[\frac{kg}{h}\right]-A_2=0 \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \qquad A_1=A_2=A \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \quad (2)$$

Balance de materia en camisa calefacción

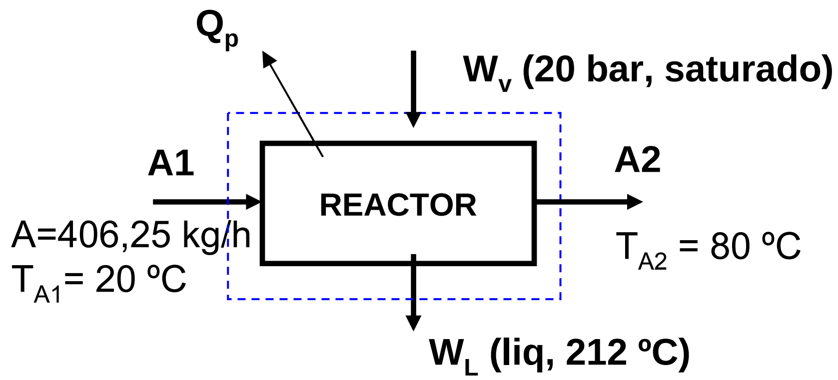
$$W_V\left[\frac{kg}{h}\right]-W_L=0 \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \qquad W_V=W_L=W \quad \left[\frac{kg}{h}\right] \quad (3)$$

OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea campus virtual birtuala ISSN 2255-2316

Problema 12: solución

$(-\Delta H_R)$ = -1000 kJ/kg
X_A=0,8
Qp = 5000 kcal/h
$C_{p,A}$ = 0,78 kcal/(kg ºC)

a) W_V [kg/h] ?



REACTOR

Balance energía para reactor/camisa de calefacción:

Entra (con flujo másico) — Sale (flujo másico) — Calor desprendido debido a **reacción química**

$$\underbrace{A_1 \cdot h_{A1} + W_v \cdot h_v}_{\text{Entra}} - \underbrace{A_2 \cdot h_{A2} - W_L \cdot h_L}_{\text{Sale}} - Q_p + Q_r = 0 \quad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad (1)$$

Variación entalpía corriente A:

Variación entalpía en corriente A debido a **variación de temperatura**

$$h_{A1} - h_{A2} = c_{pA} \cdot (T_{A1} - T_{A2}) \quad \left[\frac{kJ}{kg}\right] \qquad (4)$$

Calor desprendido debido a **reacción química**

$$Q_r = (-\Delta H_r)\left[\frac{kJ}{kg}\right] \cdot A\left[\frac{kg}{h}\right] \cdot X_A \qquad (5)$$

Reescribiendo la Ec (1):

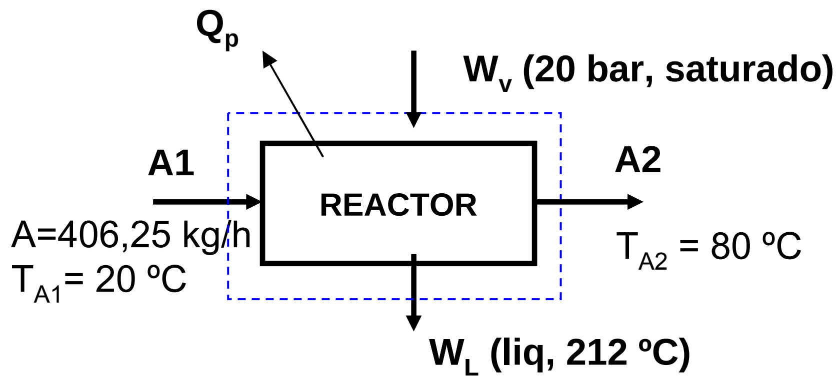
$$A \cdot cp_A (T_{A1} - T_{A2}) + (-\Delta H_R) A \cdot X_A + W \cdot (h_v - h_L) - Q_p = 0 \quad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad (1b)$$

ISSN 2255-2316

Problema 12: solución

$(-\Delta H_R) = -1000$ kJ/kg
$X_A = 0{,}8$
Qp = 5000 kcal/h
$C_{p,A} = 0{,}78$ kcal/(kg ºC)

a) W_V [kg/h] ?



REACTOR

Para resolver la Ec. 1b es necesario hallar la entalpía del vapor y agua (Tabla A.4.2.):

$$A \cdot cp_A (T_{A1} - T_{A2}) + (-\Delta H_R) A \cdot X_A + W \cdot (h_v - h_L) - Q_p = 0 \quad \left[\frac{kJ}{h}\right] \qquad (1b)$$

$$h_V(20bar, sat) = 2797 \quad \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$h_L(212ºC) = 904$$

Resolviendo:

$$W = \frac{A \cdot cp_A (T_{A2} - T_{A1}) - (-\Delta H_R) A \cdot X_A + Q_p}{(h_v - h_L)} \quad \left[\frac{kJ}{h} \Big/ \frac{kJ}{kg} = \frac{kg}{h}\right]$$

$$W = \frac{406{,}25\left[\frac{kg}{h}\right] 0{,}78 \cdot 4{,}184\left[\frac{kJ}{kg\,ºC}\right](80-20)[ºC] - (-1000)\left[\frac{kJ}{kg}\right] 406{,}25 \cdot 0.8\left[\frac{kg}{h}\right] + 5000 \cdot 4{,}184\left[\frac{kJ}{h}\right]}{(2797-904)\left[\frac{kJ}{kg}\right]}$$

$$W = 225\left[\frac{kg}{h}\right]$$

OpenCourseWare Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea
Campus Virtual Birtuala
ISSN 2255-2316