Departamento de Ingeniería Civil
Química y Biotecnología.
Facultad de Ciencias Físicas
y Matemáticas.
UNIVERSIDAD DE CHILE
[IQ46B] Operaciones de
Transferencia I; 2009 - Semestre II

Control 1: Parte Numérica

Profesor: Tomás Vargas.
Auxiliar: Melanie Colet.
Ayudante: Jorge Monardes – Diego Guiachetti.

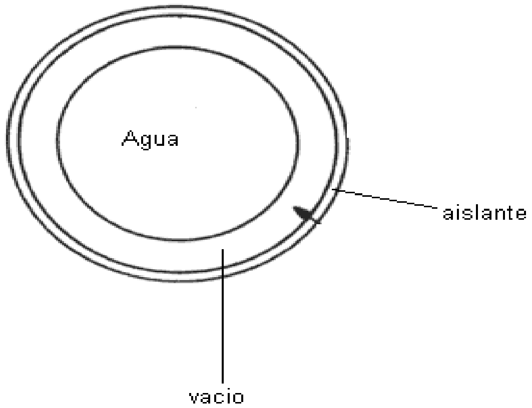
Problema Nº 1

Se tiene un termo conteniendo agua a 100 ºC y se desea estimar cuanto tiempo toma para que baje su temperatura hasta 85 ºC, temperatura a la cual aún es posible preparar un agradable café. El cilindro en el cual está contenida el agua tiene 25 cm de alto y 8 cm de diámetro. La emisividad en las superficies de la cámara de vacío que rodea al cilindro es 0,3 y su espesor es de 2 cm. En la parte externa de la cámara de vacío el termo está cubierto por una capa aislante de 1 cm de espesor con conductividad k = 0,02 W/m-K. El coeficiente de calor por convección natural en la superficie externa del termo es h = 10 W/m^2-ºC. Considerando que la temperatura ambiental en el camping es solo 5 ºC:

a) Determine las temperaturas que se establecen en el manto externo de la cámara de vacío y en la superficie externa del tiempo (en el pseudo estacionario)
b) Determine la velocidad de pérdida de calor total (Q) en este caso.
c) Determine la velocidad de pérdida de temperatura en el agua en ºC/hr. ¿Cuanto tiempo toma para que el agua llegue a 85 ºC? (haga un cálculo aproximado suponiendo que el ΔT global se mantiene constante en el valor inicial)

Nota: calcule todo para el caso inicial en que la temperatura del agua es 100 ºC. Desprecie la pérdida por radiación hacia el ambiente en la superficie externa del termo. Desprecie la resistencia a la transferencia de calor por conducción en las otras paredes que el aislante.

Visto desde arriba, el termo tiene la siguiente configuración:



Por otro lado, llamado:
T_1: Temperatura en la superficie interna de la cámara de vacío.
T_2: Temperatura en la superficie externa de la cámara de vacío.
T_3: Temperatura en la superficie externa del aislante.

La radiación neta entre dos superficies, en este caso, entre la pared interna y externa de la cámara de vacío es:

$$Q_{12} = Q_{1\to 2} - Q_{2\to 1} = A_{\ln 1}\sigma \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}\left(T_1^{\,4} - T_2^{\,4}\right) \quad (0{,}75)$$

$$\sigma = 5{,}676\cdot 10^{-8}\,\frac{W}{m^2\cdot K^4}$$

Donde $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0{,}03$; además $T_1 = 100^{o}C$. Por otro lado, al no ser superficies planas, se utiliza un área logarítmica:

$$A_{\ln 1} = \frac{h\cdot\pi\cdot(D_e - D_i)}{\ln(\frac{D_e}{D_i})} = \frac{25cm\cdot 3{,}14\cdot(12-8)cm}{\ln(\frac{12}{8})} = 775{,}3cm^2 = 0{,}07753m^2 \quad (0{,}25)$$

$$Q_{12} = \frac{0{,}07753\cdot 5{,}676\cdot 10^{-8}}{65{,}67}\cdot(373 - T_2^4) = 6{,}71\cdot 10^{-11}(373^4 - T_2^4)$$

Este calor neto de radiación se transmite por conducción a través del material aislante, de manera que:

$Q_{23} = \dfrac{A_{\ln 2}\cdot k}{\Delta x}(T_2 - T_3)$; k = 0,02 W/m-K; $\Delta x = 1cm = 0{,}01m$ y además: (0,75)

$$A_{\ln 2} = \frac{h \cdot \pi \cdot (D_e - D_i)}{\ln(\frac{D_e}{D_i})} = \frac{25cm \cdot 3{,}14 \cdot (14-12)cm}{\ln(\frac{14}{12})} = 1019cm^2 = 0{,}1019m^2$$ (0,25)

$$Q_{23} = \frac{0{,}1019 \cdot 0{,}02}{0{,}01} \cdot (T_2 - T_3) = 0{,}2038(T_2 - T_3)$$

Finalmente el calor que sale del aislante por convección es:

$Q_3 = h \cdot A_3 \cdot (T_3 - T_e)$; h = 10 W/m^2 -ºC; $T_e = 5^{\circ}C$ y $A_3 = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot r_3 = 0{,}1099m^2$

$Q_3 = 10 \cdot 0{,}1099 \cdot (T_3 - 278) = 1{,}099 \cdot (T_3 - 278)$ (0,75)

Como se dice que el sistema se encuentra en un estado pseudo estacionario, se tiene que:

$Q_{12} = Q_{23} = Q_3$ (0,25)

a) De esta forma, se despejan las temperaturas:

$T_2 = 283{,}05K$
$T_3 = 278{,}79K$ (0,5)

b) $Q = 0{,}868W$ (Se calcula despejando en cualquiera de las 3 expresiones para el calor) (1,5)

c) $Q = m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt}$ (0,5)

$m = V \cdot \rho = (25 \cdot 3{,}14 \cdot 4^2)cm^3 \cdot 1[\frac{gr}{cm^3}] = 1256g$

$C_p = 4{,}18[\frac{J}{g - ^{\circ}C}]$

Por tanto:

$0{,}868 = 1256 \cdot 4{,}18 \cdot \frac{(100-85)}{t}$ $\rightarrow$ t=104524 s = 29 hr

$\rightarrow V = \frac{15^{\circ}C}{29hr} = 0{,}517\frac{^{\circ}C}{hr}$ (0,5)

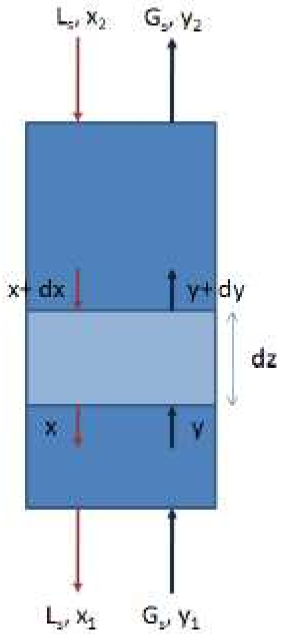
Problema Nº 2

Un flujo de gas de 100 lb mol/hr pie^2 conteniendo 4,5% de amonio (NH_3), se trata en contracorriente con un flujo de agua pura (sin amoníaco) de 150 lb mol/hr pie^2, para reducir el contenido de amonio en el gas hasta un 0,2%. La torre opera a 68 ºC y a 1 atmósfera de presión. En el rango de bajas concentraciones que opera la columna el equilibrio del amonio entre el gas y el agua se puede expresar como y/x=1,075.

a) Determine cual es la razón $(L/G)_{real}/(L/G)_{\min}$ a la cual opera la columna.
b) Determine la altura de la columna considerando que el coeficiente global de transferencia de masa K_G = 18 lb mol/hr pie^3 atm.

Nota importante: Suponga que los flujos molares de gas y líquido son constantes a lo alto de la columna y resuelva usando como fuerza motriz el $\Delta_{\ln}$.

Se tiene la siguiente configuración de la columna:

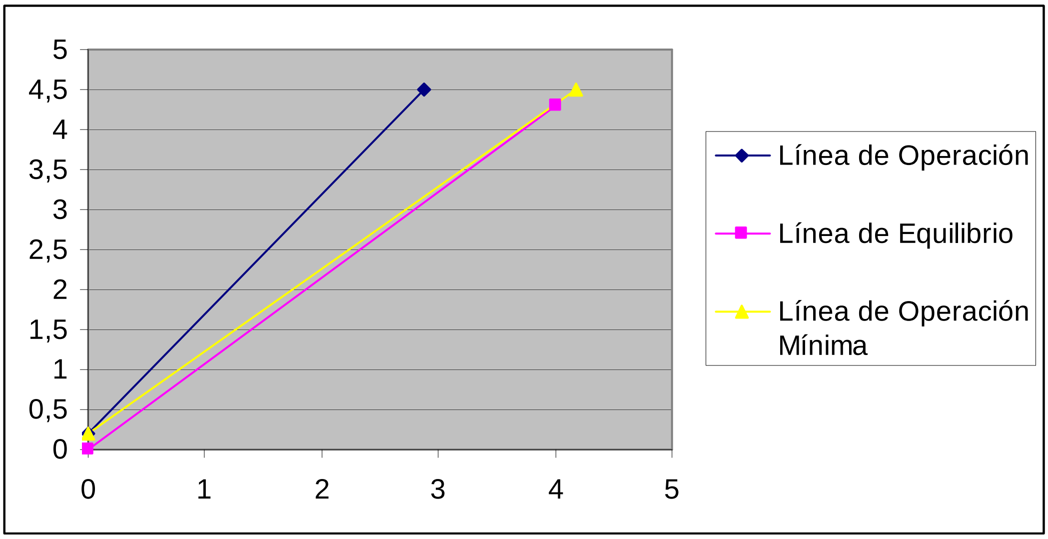


Se tiene que x_2 =0 (agua pura), además $y_1 = 4{,}5$ e $y_2 = 0{,}2$, de esta forma realizando un balance de masas se puede despejar x_1:

$$L \cdot x_2 + G \cdot y_1 = L \cdot x_1 + G \cdot y_2$$

$$0 + 100 \cdot 0{,}045 = 150 \cdot x1 + 100 \cdot 0{,}002 \quad \rightarrow x_1 = 0{,}0287 \quad (1{,}5)$$

Por tanto, graficando el equilibrio, la línea de operación mínima y la línea de operación real se tiene que:



La pendiente de la línea de operación real es $(\frac{L}{G})_{real} = \frac{150}{100} = 1{,}5$

La pendiente de la línea de operación mínima es $(\frac{L}{G})_{\min} = \frac{4{,}5 - 0{,}2}{4{,}18 - 0} = 1{,}028$ (1,5)

De esta forma:

$(L/G)_{real} / (L/G)_{\min} = 1{,}46$

c) Para determinar la altura de la columna se utiliza la siguiente relación:

$$z = \frac{G}{K_G \cdot a \cdot P} \cdot \frac{y_{A1} - y_{A2}}{(y_A - y_A{}^*)_{\ln}}$$

$$(y_A - y_A{}^*)_{\ln} = \frac{(y_A - y_A{}^*)_1 - (y_A - y_A{}^*)_2}{\ln\left[\frac{(y_A - y_A{}^*)_1}{(y_A - y_A{}^*)_2}\right]}$$

Reemplazando:

$$z = \frac{100 \cdot (0{,}045 - 0{,}002)}{18 \cdot 1 \cdot (y_A - y_A^*)_{\ln}} \quad (1{,}5)$$

$$(y_A - y_A^*)_{\ln} = \frac{(0{,}045 - 0{,}03085) - (0{,}002 - 0)}{\ln[\frac{(0{,}045 - 0{,}03085)}{(0{,}002 - 0)}]} = 0{,}0062 \quad (1{,}5)$$

z = 38,5 pie