



### Balance de Energía

1. a. Escriba la ecuación general de balance de energía para un sistema abierto.

b. Considere un sistema en estado estacionario en el que sólo están entrando un flujo másico de  $M$  kg/hora con una entalpía específica de  $h_1$  kcal/kg y un flujo de calor de  $Q$  kcal/hora, y sólo están saliendo dos corrientes de idéntico flujo másico, y entalpías  $h_2$  kcal/kg y  $h_3$  kcal/kg respectivamente. Diga bajo qué suposiciones, la ecuación de balance de energía para este sistema puede reducirse a la siguiente:

$$h_1 + \frac{Q}{M} = \frac{(h_2 + h_3)}{2}$$

Justifique su respuesta.

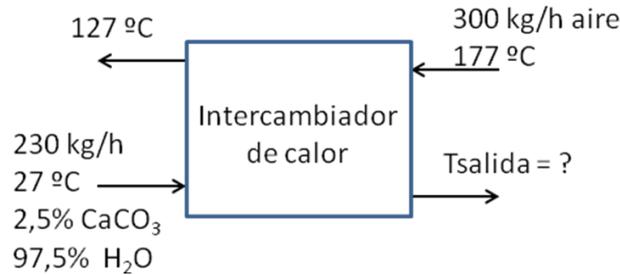
2. Una bala de plomo de 3 g a 30°C es disparada contra un bloque de 10 kg de hielo a 0°C. La bala impacta en el bloque a una velocidad de 240 m/s y queda incrustada en él. Con los datos disponibles y las propiedades físicas que se reportan abajo ¿es posible calcular la cantidad de hielo que se derrite? Si es así, diga cuánto.

Propiedades físicas:

- $C_p$  del hielo = 2,05 kJ / kg K
- Punto de fusión del hielo = 0°C
- Calor de fusión del hielo = 330 kJ/kg
- $C_p$  del plomo = 0,13 kJ / kg K
- Punto de fusión del plomo = 327.5 °C
- Calor de fusión del plomo = 24 kJ/kg
- $C_p$  del agua = 4,19 kJ / kg K

3. Un flujo de 300 kg/h de aire a 177 °C se usa para calentar 230 kg/h de disolución de 2,5 % (porcentaje masa) de carbonato de calcio que se encuentra a 27 °C. Esto se hace a través de un intercambiador de calor, donde los flujos son a contracorriente como se muestra en la figura. Suponga que el intercambiador de calor tiene pérdidas de calor insignificantes. El aire sale del intercambiador a 127 °C.

Calcule la temperatura (°C) de la corriente de carbonato de calcio que sale.



Datos: Peso molecular del aire: 29 g/mol, Peso molecular del  $\text{CaCO}_3$ : 100 g/mol  
 $C_p$  aire = 28,94 J/(mol °C),  $C_p$  carbonato de calcio = 82,34 J/(mol K),  $C_p$  agua = 75,3 J/(mol K).

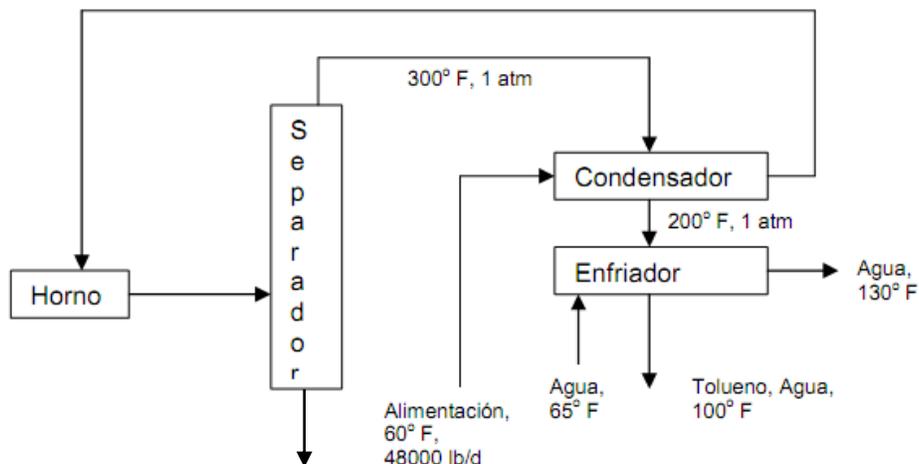
R: 43 °C

4. Durante la Segunda Guerra Mundial, la deshidrogenación catalítica tuvo gran importancia como ayuda para satisfacer la demanda de tolueno para la manufactura de explosivos. El tolueno, el benceno y otros derivados aromáticos pueden producirse económicamente en esta forma a partir de cargas de alimentación constituidas por naftas. Después de separar el tolueno de los otros, se condensa y se enfría en un proceso como el que se muestra en el diagrama de flujo.

Por cada 100 lb de alimentación cargada al sistema, se producen 27,5 lb de una mezcla de tolueno y agua (9,1 % en peso de agua) como vapor el cual se condensa mediante la corriente de la alimentación.

Tanto el condensador como el enfriador operan en forma adiabática.

Corriente	$C_p$ (Btu/lb °F)	T.E. (°F)	Calor de Vaporización (Btu/lb)
H <sub>2</sub> O (l)	1,0	212	970
H <sub>2</sub> O (g)	0,5	-----	-----
Tolueno (l)	0,4	260	100
Tolueno (g)	0,3	-----	-----
Alimentación	0,5	-----	-----





Calcular:

- a) la temperatura de la carga de alimentación después de salir del condensador y
- b) las libras de agua de enfriamiento requeridas por hora.

**R:** a) 179°F      b) 385 lb/h

**5.** Se ha de producir una corriente de 1.000 kg/h de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> del 50 % en peso. Con tal fin se mezclan en un tanque perfectamente agitado una corriente de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> del 80 % en peso a la temperatura de 10 °C con una corriente de agua a 20 °C. El cambio de entalpía a 25°C por la dilución es de 217.000 kJ/h, siendo este un proceso exotérmico.

Calcular:

- a. La temperatura a la que saldrá la corriente de ácido del 50 % en peso si el tanque de mezcla opera adiabáticamente.
- b. El flujo de calor, en kJ/h, que es preciso retirar del tanque para que la corriente salga a 40 °C.

Nota: considere para todas las corrientes  $C_p = 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ .

**R:** a) 66 °C,      b)  $1,07 \times 10^5 \text{ kJ/h}$

**6.** Se desea elevar la temperatura de un crudo petrolífero desde 25 °C hasta 90 °C con el fin de reducir su viscosidad y así facilitar su bombeo. La energía necesaria para dicho calentamiento se obtiene a partir de la combustión de metano el cual se quema completamente con aire en exceso (20 % de exceso sobre el estequiométrico). Tanto el metano como el aire entran al combustor a 25 °C y los gases de combustión lo abandonan a 250 °C.

- a. Escriba la ecuación que relaciona el porcentaje de aire en exceso con el aire requerido y el aire que entra.
- b. Calcular la cantidad de metano que debe quemarse por tonelada de petróleo para conseguir el calentamiento deseado si el proceso es adiabático.

Datos:

Calor de combustión del metano a 25°C (considerando que se forma agua líquida): 13.300 kcal/kg

Calor latente de vaporización del agua a 100°C: 540 kcal/kg

Calores específicos: H<sub>2</sub>O(l): 1 kcal/kg.°C

H<sub>2</sub>O(v): 0,47 kcal/kg.°C

O<sub>2</sub>: 0,25 kcal/kg.°C

CH<sub>4</sub>: 0,52 kcal/kg.°C

CO<sub>2</sub>: 0,22 kcal/kg.°C

Petróleo: 0,5 kcal/kg.°C

N<sub>2</sub>: 0,26 kcal/kg.°C

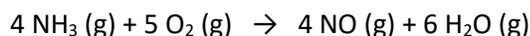
**R:** 3 kg metano/ton petróleo



**7.** Considere un proceso de combustión en el que se usa un cierto exceso de aire y en el que el CO es uno de los productos de la combustión (combustión incompleta). ¿Los gases de chimenea contendrán más o menos oxígeno que si el combustible se convirtiera únicamente en CO<sub>2</sub>?

**8.** La oxidación parcial del amoníaco produce óxido nítrico (NO) que se usa como materia prima para la producción de ácido nítrico (mediante la oxidación de NO a NO<sub>2</sub> y su posterior combinación con agua)

La reacción de formación del NO a partir del NH<sub>3</sub> es:



$$\Delta H_R (25^\circ\text{C}) = -226.158,9 \text{ KJ /kmol NH}_3$$

En un reactor que trabaja a presión atmosférica se alimentan NH<sub>3</sub> (g), a 25 °C, y aire precalentado a 750 °C, alcanzándose una conversión del 90 % para el amoníaco.

La composición molar de los gases efluentes, en base seca, es:

NH<sub>3</sub> (0,885 %); O<sub>2</sub> (11,279 %); NO (7,962 %); N<sub>2</sub> (79,874 %)

Si la temperatura de los gases efluentes del reactor no puede exceder los 920 °C, calcular:

- Los kmol totales de gas efluente por cada 100 kmol de NH<sub>3</sub> alimentados
- Los kmol de H<sub>2</sub>O que acompañan a 100 kmol de gas efluente seco
- El porcentaje de aire alimentado en exceso respecto del aire teórico necesario para la oxidación completa del amoníaco.
- El caudal de calor a eliminar en el reactor por cada 100 kmol de NH<sub>3</sub> alimentados

Datos:

Capacidades Caloríficas medias en todo el intervalo de temperaturas (J/mol. °C): NH<sub>3</sub> 39,71 – Aire 31,40 (se asume igual para N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) – NO 32,05 – H<sub>2</sub>O (l) 75,36 – H<sub>2</sub>O (g) 34,42.

$\Delta H_{\text{vap, H}_2\text{O}}$  a 100 °C = 40,7 KJ/mol

1 kcal = 4,1868 kJ

**R:** a) 1265 kmol b) 11,9 kmol c) 92 % d) – 1,05x10<sup>6</sup> kcal

**9.** Una planta industrial de producción de ácido sulfúrico quema 350 kg/h de azufre, empleando para ello aire. Tanto éste como el azufre se alimentan al horno a 20 °C y los gases a la salida del mismo se encuentran a 760 °C. Estos contienen un 17,4 % de SO<sub>2</sub>, 0,6 % de SO<sub>3</sub> y un 2,7 % de O<sub>2</sub>, expresado en moles.

El horno opera a 1 atm.

Determinar:

- Caudal molar de gases a la salida del horno.
- Pérdidas de calor en el horno.



Datos: Calores de combustión (a 20°C):

-86.500 kcal/kmol para la reacción  $S + O_2 \rightarrow SO_2$

-110.000 kcal/kmol para la reacción:  $S + 3/2O_2 \rightarrow SO_3$

Calores específicos medios en todo el intervalo de temperaturas (kcal/kmol.°C):

SO<sub>2</sub>: 11,7

SO<sub>3</sub>: 17,0

O<sub>2</sub>: 7,8

N<sub>2</sub>: 7,3.

Peso molecular del S = 32 g/mol

R: a) 60,8 kmol/h      b)  $5,9 \times 10^5$  kcal/h

**10.** Para fabricar formaldehído se hace reaccionar una mezcla de metano y aire en un lecho catalítico, según la reacción:  $CH_4 + O_2 \rightarrow HCOH + H_2O$

Al reactor se alimenta aire fresco y metano a 177 °C y 1 atmósfera.

Para mejorar el rendimiento se introduce 100 % de aire sobre el estequiométrico. En las condiciones de trabajo se transforma el 13 % del metano alimentado según la reacción de interés, mientras que 0,5 % del metano alimentado se quema (se forman CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O).

Los gases calientes abandonan el reactor a 192 °C. Para eliminar el calor desprendido en la reacción se hace circular agua a 27 °C por una camisa exterior, la que sale a 41 °C.

En un ensayo de 4 horas se obtuvieron en los productos de reacción 13,3 kg de agua.

Calcular el caudal de agua de refrigeración necesario.

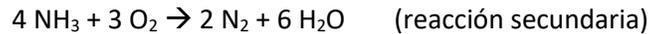
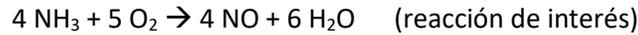
Componente	Cp (kJ/kmol.K)	Entalpía de formación a 25°C (kJ/mol)
Agua (l)	75,4	-285,57
Metano (g)	129,6	-75,03
Formaldehído (g)	129,6	-40,00
Agua (g)	34,6	-241,60
Dióxido de carbono(g)	43,2	-393,10
Oxígeno (g)	32,2	-
Nitrógeno (g)	29,1	-

$\Delta H_{vap, H_2O}$  a 100 °C = 40,7 kJ/mol

R: 556 kg/h

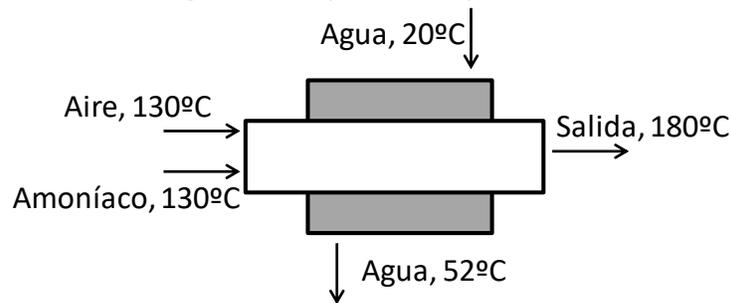


**11.** En el Ejercicio 8 referimos a la oxidación parcial del  $\text{NH}_3$  para dar  $\text{NO}$ . En la práctica esta reacción es acompañada por otra, secundaria, en la que se forma  $\text{N}_2$ .



Una planta alimenta  $100 \text{ kmol/h}$  de  $\text{NH}_3$  con un exceso de aire (referido a la reacción de interés) de 20%, ambos a  $130^\circ\text{C}$ . El reactor se refrigera de modo tal que la temperatura de salida de los gases del reactor se mantiene en  $180^\circ\text{C}$ . En estas condiciones, la conversión de amoníaco (entre las dos reacciones) es del 90%.

Para refrigerar el reactor se utiliza agua a  $20^\circ\text{C}$  que se hace pasar a través de una camisa.



Sabiendo que se consumen  $50 \text{ ton/h}$  de agua y que ésta abandona la camisa a  $52^\circ\text{C}$ , determine la composición de la corriente de salida en estas condiciones (en % molar).

Datos adicionales:

Considere que no hay pérdidas de calor al ambiente.

Composición molar del aire: 21 %  $\text{O}_2$ , 79 %  $\text{N}_2$

Componente	$C_p$ (kcal/kmol.K)	Entalpía de formación a $25^\circ\text{C}$ (kcal/kmol)	PM (kg/kmol)
$\text{H}_2\text{O}$ (l)	18,00	-68.317	18,0
$\text{H}_2\text{O}$ (g)	8,22	-57.799	18,0
$\text{NH}_3$ (g)	8,39	-45.920	17,0
$\text{NO}$ (g)	8,05	21.600	30,0
$\text{O}_2$ (g)	8,27	0,0	32,0
$\text{N}_2$ (g)	6,5	0,0	28,0

**R:**  $\text{NH}_3$  1,2 %;  $\text{NO}$  8,9 %;  $\text{N}_2$  68,4 %;  $\text{O}_2$  5,4 %;  $\text{H}_2\text{O}$  16,1 %.

**12.** Se quema metanol líquido ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) con aire seco cuya composición es 79%  $\text{N}_2$  y 21%  $\text{O}_2$ . El aire se alimenta con un 100 % de exceso. La combustión es completa y no queda combustible sin quemar. El ingeniero que diseña el horno debe calcular la temperatura de salida de los gases del horno, a efectos de seleccionar el material de construcción apropiado. Determine la temperatura de los gases de salida suponiendo que:

el metanol entra a  $25^\circ\text{C}$

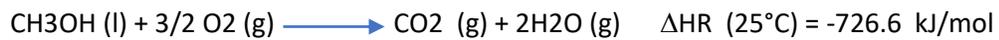
el aire entra a  $100^\circ\text{C}$ ,



el 80% del calor liberado en la reacción de combustión es cedido al fluido de proceso que se requiere calentar

no hay “pérdidas de calor” por las paredes del horno

Datos:



Componente	Calor específico molar medio (kJ/kmol K)
CO <sub>2</sub> (g)	43,2
H <sub>2</sub> O (g)	34,6
O <sub>2</sub> (g)	32,2
N <sub>2</sub> (g)	29,1

**R:** 387°C