



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:

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

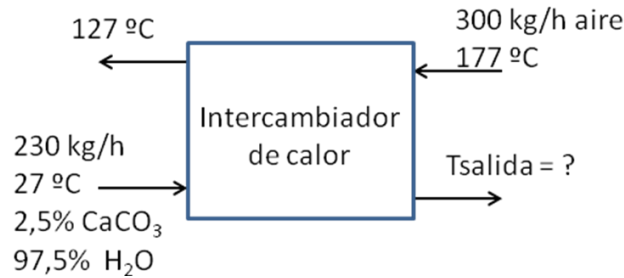
Justifique su respuesta.

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.



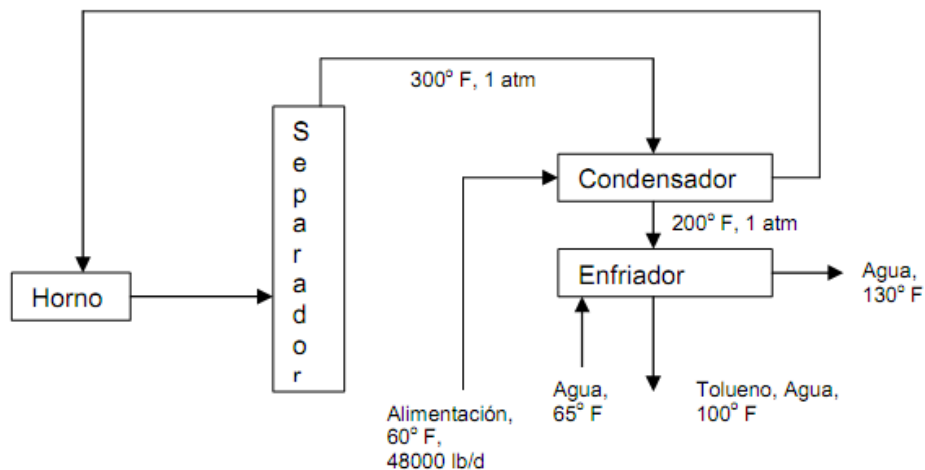
Datos: Peso molecular del aire: 29 g/mol, Peso molecular del CaCO₃: 100 g/mol
Cp aire = 28,94 J/(mol °C), Cp carbonato de calcio = 82,34 J/(mol K), Cp agua = 75,3 J/(mol K).

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	Cp (Btu/lb °F)	T.E. (°F)	Calor de Vaporización(Btu/lb)
H2O (l)	1,0	212	970
H2O (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_2SO_4 del 50 % en peso. Con tal fin se mezclan en un tanque perfectamente agitado una corriente de H_2SO_4 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 $C_p = 4,18$ kJ/kg°C.

R: a) 66 °C, b) $1,07 \times 10^5$ 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.

- Escriba la ecuación que relaciona el porcentaje de aire en exceso con el aire requerido y el aire que entra.
- 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: $H_2O(l)$: 1 kcal/kg.°C

$H_2O(v)$: 0,47 kcal/kg.°C

O_2 : 0,25 kcal/kg.°C

CH_4 : 0,52 kcal/kg.°C

CO_2 : 0,22 kcal/kg.°C

Petróleo: 0,5 kcal/kg.°C

N_2 : 0,26 kcal/kg.°C

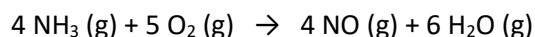
R: 3 kg metano/ton petróleo



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 CO₂?

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 NO₂ y su posterior combinación con agua)

La reacción de formación del NO a partir del NH₃ 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 NH₃ (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:

NH₃ (0,885 %); O₂ (11,279 %); NO (7,962 %); N₂ (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 NH₃ alimentados
- Los kmol de H₂O 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 NH₃ alimentados

Datos:

Capacidades Caloríficas medias en todo el intervalo de temperaturas (J/mol. °C): NH₃ 39,71 – Aire 31,40 (se asume igual para N₂ y O₂) – NO 32,05 – H₂O (l) 75,36 – H₂O (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) – 1,05x10⁶ 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 SO₂, 0,6 % de SO₃ y un 2,7 % de O₂, 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):

SO₂: 11,7SO₃: 17,0O₂: 7,8N₂: 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 CO₂ y H₂O).

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.

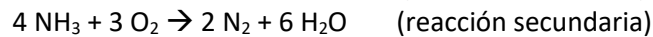
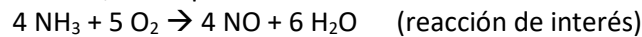
Componente	Cp (kJ/kmol.K)	Entalpía de formación a 25°C (kJ/mol)
Agua (l)	75,4	-285,57
Metano (g)	129,6	-75,03
Formaldehído (g)	129,6	-40,00
Agua (g)	34,6	-241,60
Dióxido de carbono(g)	43,2	-393,10
Oxígeno (g)	32,2	-
Nitrógeno (g)	29,1	-

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

R: 556 kg/h

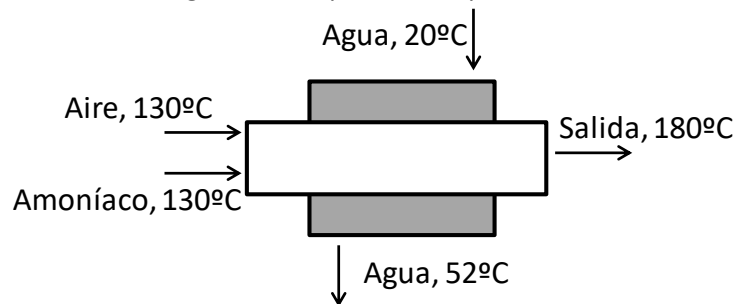


11. En el Ejercicio 8 referimos a la oxidación parcial del NH_3 para dar NO . En la práctica esta reacción es acompañada por otra, secundaria, en la que se forma N_2 .



Una planta alimenta 100 kmol/h de NH_3 con un exceso de aire (referido a la reacción de interés) de 20%, ambos a 130°C . El reactor se refrigera de modo tal que la temperatura de salida de los gases del reactor se mantiene en 180°C . En estas condiciones, la conversión de amoníaco (entre las dos reacciones) es del 90%.

Para refrigerar el reactor se utiliza agua a 20°C que se hace pasar a través de una camisa.



Sabiendo que se consumen 50 ton/h de agua y que ésta abandona la camisa a 52°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 % O_2 , 79 % N_2

Componente	C_p (kcal/kmol.K)	Entalpía de formación a 25°C (kcal/kmol)	PM (kg/kmol)
H_2O (l)	18,00	-68.317	18,0
H_2O (g)	8,22	-57.799	18,0
NH_3 (g)	8,39	-45.920	17,0
NO (g)	8,05	21.600	30,0
O_2 (g)	8,27	0,0	32,0
N_2 (g)	6,5	0,0	28,0

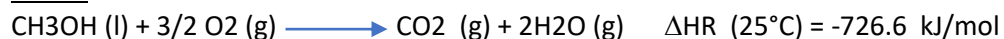
R: NH_3 1,2 %; NO 8,9 %; N_2 68,4 %; O_2 5,4 %; H_2O 16,1 %.



12. Se quema metanol líquido (CH₃OH) con aire seco cuya composición es 79% N₂ y 21% O₂. 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°C
- el aire entra a 100 °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 ₂ (g)	43,2
H ₂ O (g)	34,6
O ₂ (g)	32,2
N ₂ (g)	29,1

R: 387°C

13. En una caldera se queman 5,5 m³/h (medidos en condiciones de 1atm y 0°C) de una mezcla gaseosa de metano (CH₄) y propano (C₃H₈), de composición volumétrica 70% y 30% respectivamente para producir vapor a 150 °C y presión atmosférica. La mezcla de gases se alimenta al quemador a 25°C y 1 atm, y el aire a 90°C con un 20% de exceso respecto al estequiométrico. Se puede considerar que la combustión es completa y que no queda reactivo sin quemar. El 10% del total de calor obtenido en la combustión, se pierde al ambiente.

Se pide:

- Determine la composición molar de humos húmedos
- Determine la cantidad de vapor generado en el domo de la caldera si la temperatura de salida de humos es 300°C

Datos adicionales:

- Se puede despreciar la purga de la caldera.
- Composición molar del aire: 79% N₂ y 21% O₂
- Considere que en el estado gaseoso todas las sustancias involucradas presentan un comportamiento ideal.
- Constante R = 0,08206 L atm/mol K
- El agua tratada ingresa al domo de la caldera a 35°C

	H	C	N	O
PA (g/mol)	1,0	12,0	14,0	16,0

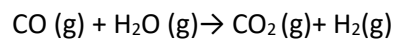


	ΔH_f° 25 °C y 1 atm (kJ/mol)	Cp (*) (kJ/kg°C)	T ebullición a 1 atm (°C)
H ₂ O (l)	-285,5	4,19	100
H ₂ O (g)	-241,6	2,08	100
CO ₂ (g)	-393,5	0,54	15
O ₂ (g)	0,0	0,81	-183
N ₂ (g)	0,0	1,03	-196
H ₂ (g)	0,0	14,52	-252
CH ₄ (g)	-74,8	1,32	-162
C ₃ H ₈ (g)	-103,9	1,68	-42

(*) en todo el rango de temperaturas y presiones en que pudieran encontrarse en el estado de agregación indicado.

	Calor latente de vaporización a 100 °C y 1 atm (J/mol)
H ₂ O (l)	40626

14. Se produce hidrógeno en forma comercial por la siguiente reacción:



Se diseña una planta que utiliza este proceso con el fin de producir 100 kg de H₂ por día.

El proceso está en estado estacionario. El vapor de agua y el monóxido de carbono (CO) entran al reactor a 150° C. El vapor de agua se alimenta a un flujo que está un 50% en exceso, y en esas condiciones la reacción se completa en el reactor y los productos de reacción salen a 500°C.

El reactor tiene una camisa por la que circula agua que se alimenta a 15° C y cuyo propósito es evitar un calentamiento excesivo de los materiales del reactor.

Calcular el flujo de agua de enfriamiento si en su pasaje por la camisa su temperatura aumenta 10° C.

Datos termodinámicos:

	CO (g)	H ₂ O (g)	CO ₂ (g)	H ₂ (g)	H ₂ O (l)
ΔH_f° (kJ/mol)	-110,52	-241,83	-393,50	0	-285,8
Cp (kcal/kmol°C)	7,0	8,13	10,8	7,0	18

1kcal = 4,1804 kJ