

Tema 3

BALANCES MACROSCÓPICOS DE ENERGÍA

3.1 Balances macroscópicos de energía mecánica en movimiento de fluidos.

3.2 Balances macroscópicos de energía.

Este material se publica bajo licencia: Creative Commons BY-NC-SA 4.0

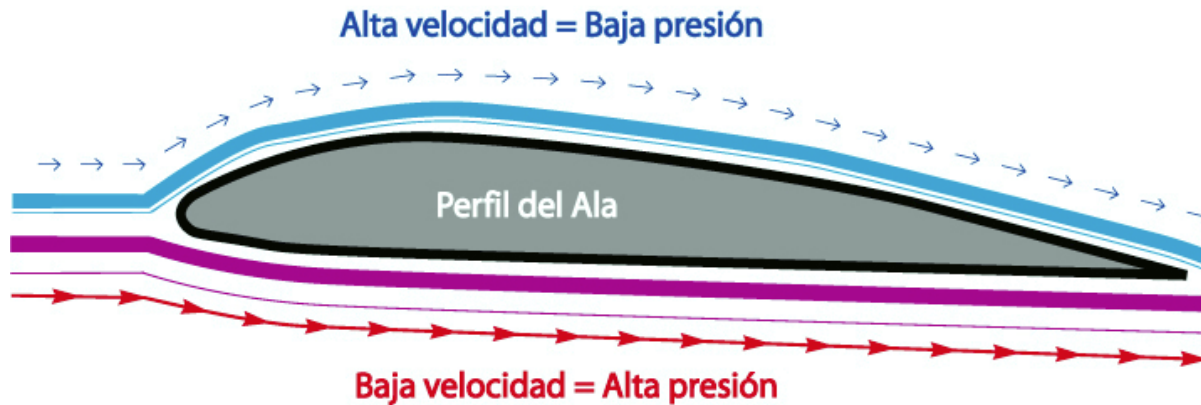


Balances de energía mecánica (I)

La diferencia de presión entre la parte superior e inferior del ala de un avión es de 0,08 atm. A una altura aproximadamente de 10.000 m, la velocidad del avión es de $275 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y la densidad del aire es de $0,45 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. ¿Cuál es la velocidad del aire en la parte superior del ala necesaria para generar la diferencia de presión necesaria para levantar el avión? Tómese como referencia que la velocidad del aire en la parte inferior del ala es la misma que la velocidad del avión (despreciando el rozamiento).

Balances de energía mecánica (I)

Solución:



$$g \Delta z + \Delta \left(\frac{u^2}{2} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) = 0 \longrightarrow \Delta \left(\frac{u^2}{2} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) = 0 \longrightarrow \Delta \left(\frac{u^2}{2} \right) = - \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right)$$

$$\Delta \left(\frac{u^2}{2} \right) = - \frac{-0,08 \text{ atm} \cdot \frac{101.325 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}}}{0,45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 18.013,3 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$u_2^2 = 2 \cdot \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + u_1^2 = 2 \cdot \left(18.013,3 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right) + \left(275 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 111.651,7 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \longrightarrow \boxed{u_2 = 334,14 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

Balances de energía mecánica (II)

Una disolución de peso específico $1,25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y $1,5 \text{ cP}$ de viscosidad ha de bombearse con un caudal de $200 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ desde un tanque almacén abierto a la atmósfera hasta la parte superior de una torre de absorción (Figura 1). La presión de la torre es de $1,75 \text{ atm}$ y el punto de descarga de la torre está situado 25 metros por encima del nivel de la disolución. La disolución entra en la bomba por un tubo que parte de un punto 2 metros por debajo del nivel de la disolución del tanque. El tubo que conecta la bomba con la torre de absorción tiene un diámetro de 25 mm . Las pérdidas de energía por rozamiento son $0,6$ metros de columna de agua antes de la bomba y $3,6 \text{ m}$ en la línea de descarga. Si la bomba tiene un rendimiento del 70% , ¿qué potencia se ha de aplicar en la bomba? Aplicar un balance de energía mecánica entre los puntos 1 y 4 .

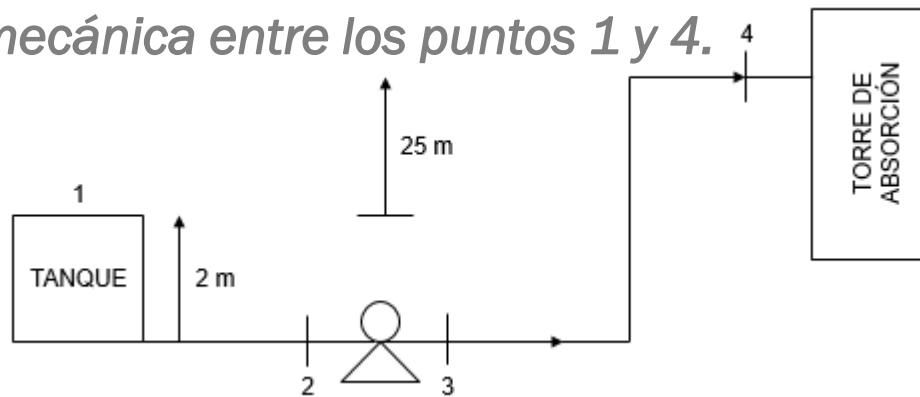
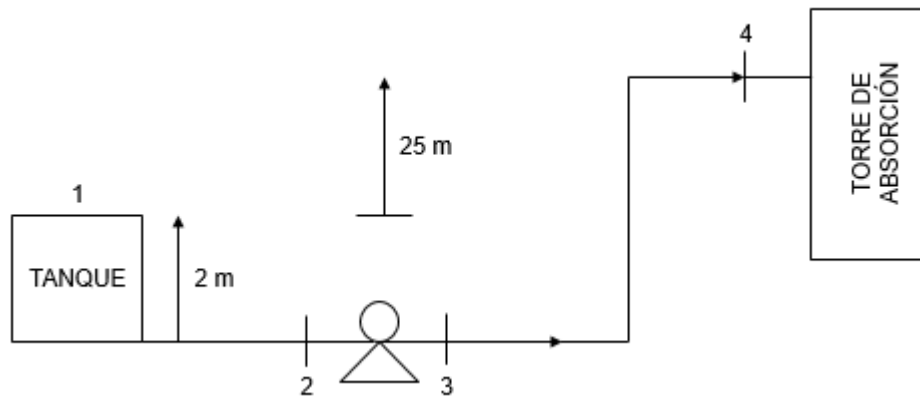


Figura 1. Diagrama de proceso.

Balances de energía mecánica (II)

Solución:



$$z_4 = 27 \text{ m}$$

$$z_1 = 2 \text{ m}$$

$$u_4 = 0,2 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{1}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,025 \text{ m})^2} = 6,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$u_1 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_4 = 1,75 \text{ atm}$$

$$P_1 = 1 \text{ atm}$$

$$g \Delta z + \Delta \left(\frac{u^2}{2} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + W_s + \sum F = 0$$

$$g \cdot (z_4 - z_1) = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (27 - 2) \text{ m} = 245 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

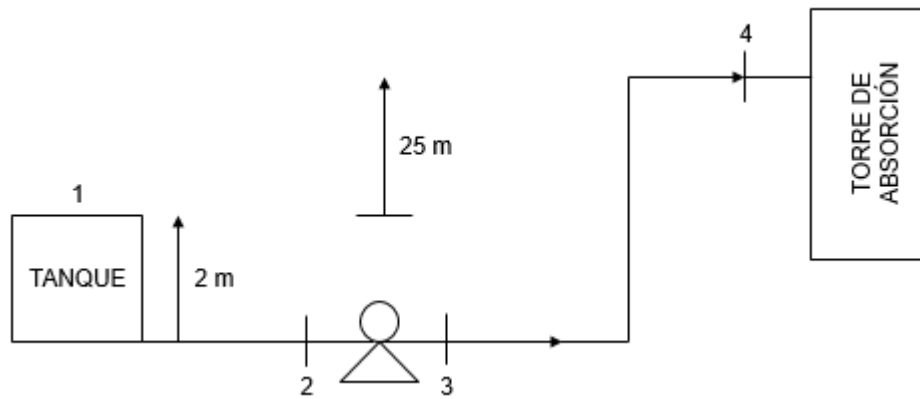
$$\frac{(P_4 - P_1)}{\rho} = \frac{(1,75 \text{ atm} - 1 \text{ atm}) \cdot \frac{101325 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}}}{1.250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 60,795 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\Delta \left(\frac{u_4^2 - u_1^2}{2} \right) = \frac{\left(6,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2} = 23,12 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\sum F = (3,6 + 0,6) \text{ m.c.a.} \cdot \frac{9.800 \text{ Pa}}{1 \text{ m.c.a.}} \cdot \frac{1}{1.250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 33 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Balances de energía mecánica (II)

Solución:



$$g \Delta z + \Delta \left(\frac{u^2}{2} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + W_S + \sum F = 0$$

$$g \cdot (z_4 - z_1) = 245 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\frac{(P_4 - P_1)}{\rho} = 60,795 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\sum F = 33 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\Delta \left(\frac{u_4^2 - u_1^2}{2} \right) = 23,12 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$245 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 23,12 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 60,795 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + W_S + 33 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 0 \longrightarrow -W_S = 361,9 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\text{Pot}_{\text{teo}} = 361,9 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 3,33 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1.250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1507,91 \text{ W} = 1.508 \text{ kW}$$

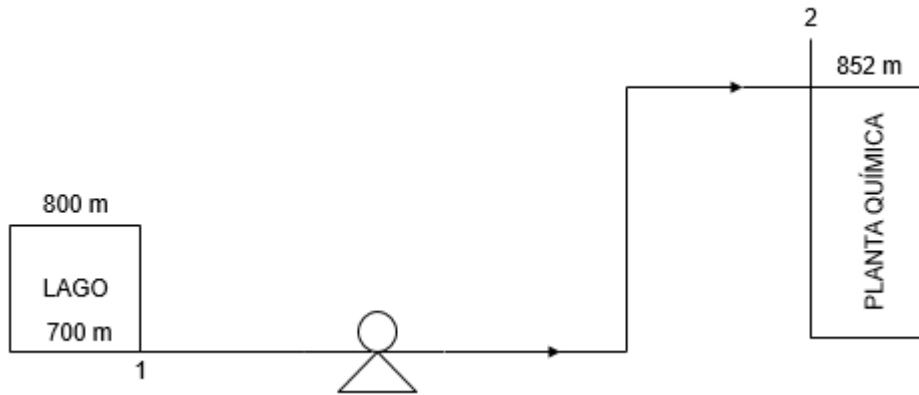
$$\text{Pot}_{\text{real}} = \frac{\text{Pot}_{\text{teo}}}{\text{Rendimiento}} = \frac{1.508 \text{ kW}}{0,7} = 2,15 \text{ kW}$$

Balances de energía mecánica (I)

Un tanque de suministro de agua puede proporcionar $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de agua para una planta química a una temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. El suministro de agua procede de un lago cuya superficie está a 800 metros sobre el nivel del mar, mientras que la planta química está a 852 metros sobre el nivel del mar. La tubería de descarga de agua está situada a una profundidad de 100 metros desde la superficie del lago, además de tener un diámetro interno y longitud de 0,15 y 8000 m, respectivamente. Las pérdidas por fricción en la tubería del agua vienen dadas por la relación $(0,01 \cdot L \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})$, donde L es la longitud de la tubería. ¿Qué potencia debe tener una bomba con una eficiencia del 100% para poder suministrar el agua a la planta?

Balances de energía mecánica (I)

Solución:



$$z_2 = 852 \text{ m}$$

$$z_1 = 700 \text{ m}$$

$$u_2 = u_1 = \frac{Q}{A}$$

$$P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$P_1 = 1 \text{ atm} + 100 \text{ m. c. a.}$$

$$\sum F = 0,01 \cdot L$$

$$g \Delta z + \Delta \left(\frac{u^2}{2} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + W_s + \sum F = 0$$

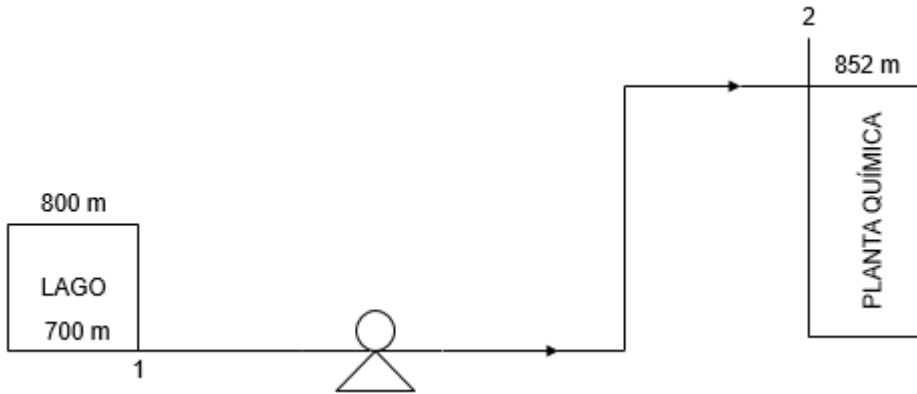
$$g \cdot (z_2 - z_1) = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (852 - 700) \text{ m} = 1.489,6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\frac{(P_2 - P_1)}{\rho} = \frac{\left(1 \text{ atm} - 1 \text{ atm} - 100 \text{ m. c. a.} \cdot \frac{9,81 \text{ kPa}}{1 \text{ m. c. a.}} \cdot \frac{1.000 \text{ Pa}}{1 \text{ kPa}} \right)}{997,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = -983,8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\sum F = 0,01 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 8.000 \text{ m} = 80 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Balances de energía mecánica (I)

Solución:



$$g \cdot (z_2 - z_1) = 1.489,6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\frac{(P_2 - P_1)}{\rho} = -981 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\sum F = 80 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$g \Delta z + \Delta \left(\frac{u^2}{2} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + W_s + \sum F = 0$$

$$1.489,6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 0 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} - 983,8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + W_s + 80 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 0 \longrightarrow -W_s = 585,7 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\text{Pot} = 585,7 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 0,3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 175.210 \text{ W} = 175,21 \text{ kW}$$

$\text{Pot} = 175,21 \text{ kW}$

Tema 3

BALANCES MACROSCÓPICOS DE ENERGÍA

3.1 Balances macroscópicos de energía mecánica en movimiento de fluidos.

3.2 Balances macroscópicos de energía.

Balances de energía sin reacción química (I)

Un medio de fermentación líquido a 30 °C se bombea a $2.000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ a través de un calentador, donde su temperatura se eleva a 70 °C bajo presión. El agua caliente residual que se usa para calentar este medio de fermentación entra a 95 °C y sale a 85 °C. La capacidad calorífica promedio del medio de fermentación es $4,06 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, y la del agua, $4,21 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$. Las corrientes de fermentación y de agua residual están separadas por una superficie metálica a través de la cual se transfiere el calor y que impide la mezcla física de ambas. Se pide: calcular el flujo de agua y la cantidad de calor añadida al medio de fermentación, suponiendo que no hay pérdidas en el sistema. La figura 1 muestra el diagrama de flujo del sistema.

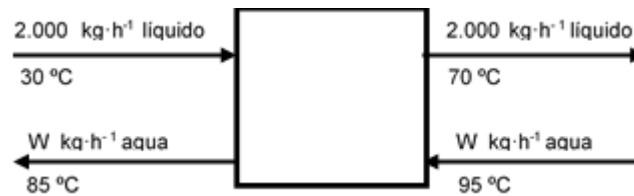


Figura 1. Diagrama de flujo del sistema.

Balances de energía sin reacción química (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de energía:

$$\sum H_R + (-\Delta H_{298}^0) + q = \sum H_P$$

Balance de energía en el medio de fermentación:

$$\sum H_R = \sum H_P$$

$$\sum H_R = H_{\text{líquido}} + H_{\text{agua}}$$

$$\sum H_P = H_{\text{líquido}} + H_{\text{agua}}$$

Balances de energía sin reacción química (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de energía en el medio de fermentación:

$$\sum H_R = H_{\text{líquido}} + H_{\text{agua}}$$

$$\sum H_R = 2.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,06 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (303\text{K} - 298\text{K}) + W \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,21 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (368\text{K} - 298\text{K}) = 40.600 + 294,7W$$

$$\sum H_P = H_{\text{líquido}} + H_{\text{agua}}$$

$$\sum H_P = 2.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,06 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (343\text{K} - 298\text{K}) + W \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,21 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (358\text{K} - 298\text{K}) = 365.400 + 252,6W$$

$$\sum H_R = \sum H_P \longrightarrow 40.600 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 294,7W \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 365.400 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 252,6W \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \longrightarrow \boxed{W = 7714,9 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}$$

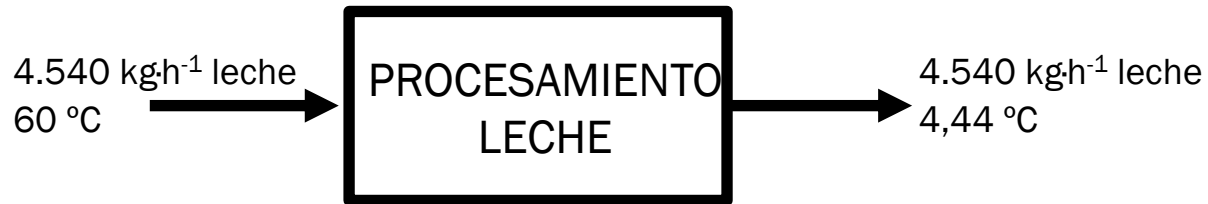
Balances de energía sin reacción química (II)

En el procesamiento de leche entera de vaca, se enfrían $4.540 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ de $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $4,44 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por medio de un refrigerante. Considerando que para ese rango de temperaturas la capacidad calorífica promedio de la leche entera de vaca es de $3,85 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, calcular la cantidad de calor extraída de la leche.

Balances de energía sin reacción química (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de energía:

$$\sum H_R + (-\Delta H_{298}^0) + q = \sum H_P$$

Balance de energía en el proceso de procesamiento de leche:

$$\sum H_R + q = \sum H_P$$

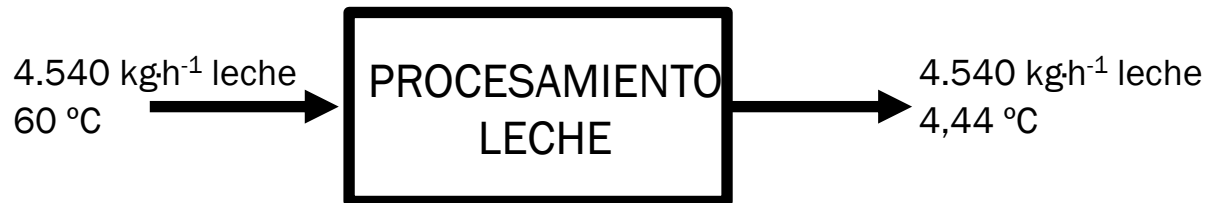
$$\sum H_R = H_{\text{leche}}$$

$$\sum H_P = H_{\text{leche}}$$

Balances de energía sin reacción química (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de energía en el proceso de procesamiento de leche:

$$\sum H_R = 4.540 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 3,85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (333 - 298)\text{K} = 611.765 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\sum H_P = 4.540 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 3,85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (277,44 - 298)\text{K} = -359.368,24 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\sum H_R + q = \sum H_P$$

$$611.765 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + q = -359.368,24 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \longrightarrow q = -971.133,24 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = -269,76 \text{ kW}$$

Balances de energía con reacción química (I)

En un reactor catalítico adiabático se lleva a cabo la hidratación de etileno (C_2H_4) con vapor de agua (H_2O) para producir etanol (C_2H_5OH), según la siguiente reacción:



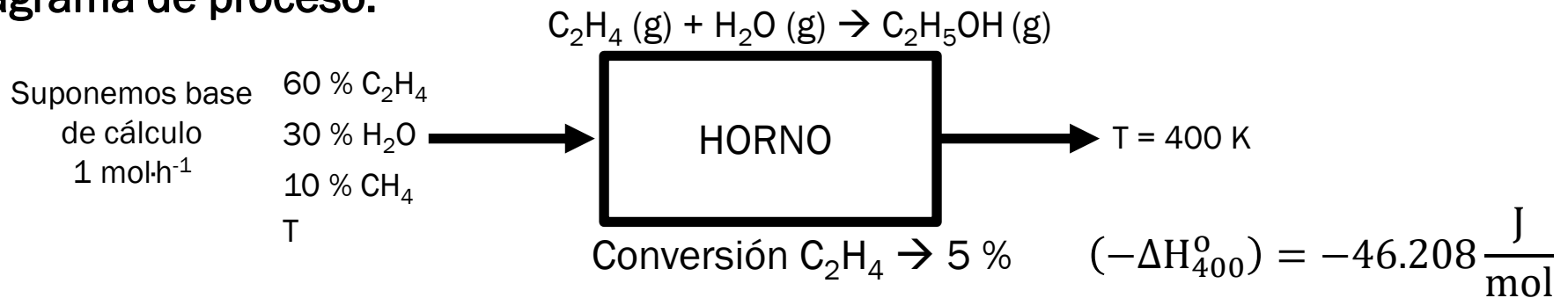
La mezcla gaseosa de alimentación que entra al reactor está formada por C_2H_4 (60% en moles), H_2O (30% en moles) y CH_4 (10% en moles). Sabiendo que en las condiciones de reacción se convierte el 5% del C_2H_4 que entra y que el gas efluente abandona el reactor a 400 K, calcular la temperatura a la que debe introducirse la alimentación para mantener las condiciones de funcionamiento en régimen estacionario.

Datos: $C_p (C_2H_4) = 53 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; $C_p (H_2O, g) = 35 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; $C_p (CH_4) = 40 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; $\Delta H_{400}^0 = -46.208 \text{ J/mol de } C_2H_4$. Tomar como temperatura de referencia para los cálculos 400 K.

Balances de energía con reacción química (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



Cálculo de las entalpías de los compuestos de entrada $\sum H_R$:

$$\sum H_R = H_{\text{C}_2\text{H}_4} + H_{\text{H}_2\text{O}} + H_{\text{CH}_4} \longrightarrow \sum H_R = 46,3 \cdot (T - 400)$$

$$H_{\text{C}_2\text{H}_4} = 0,6 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_2\text{H}_4 \cdot 53 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (T - 400) = 31,8 \cdot (T - 400)$$

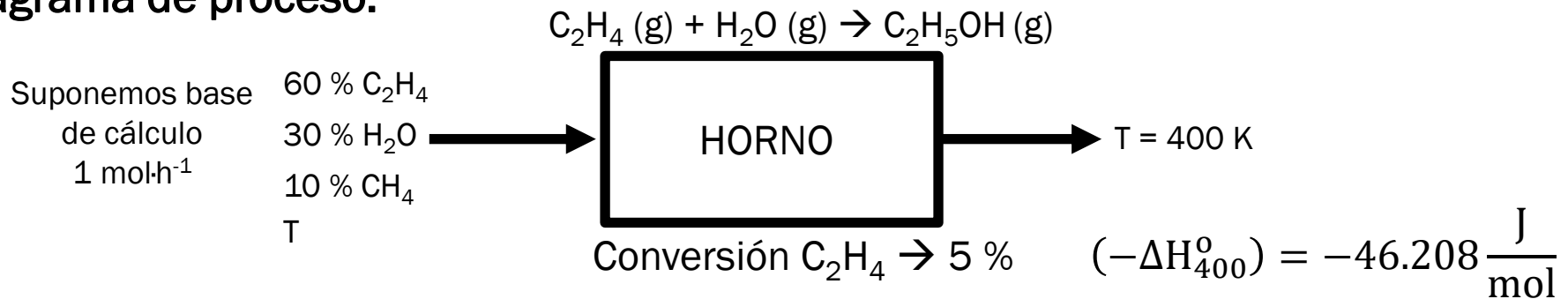
$$H_{\text{H}_2\text{O}} = 0,3 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{H}_2\text{O} \cdot 35 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (T - 400) = 10,5 \cdot (T - 400)$$

$$H_{\text{CH}_4} = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{H}_2\text{O} \cdot 40 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (T - 400) = 4,0 \cdot (T - 400)$$

Balances de energía con reacción química (I)

Solución:

Diagrama de proceso:



Cálculo de las entalpías de los compuestos de salida $\sum H_P$:

$$\sum H_P = H_{\text{C}_2\text{H}_4} + H_{\text{H}_2\text{O}} + H_{\text{CH}_4} + H_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} \longrightarrow \sum H_P = 0$$

Balance de energía:

$$\sum H_R + (-\Delta H_{298}^0) + q = \sum H_P$$

$$46,3 \cdot (T - 400) + \left(- \left(-46.208 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \right) \cdot 0,6 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_2\text{H}_4 \cdot 0,05 \right) + 0 = 0$$

$$\boxed{T = 370,05 \text{ K}}$$

Balances de energía con reacción química (II)

Una corriente gaseosa residual de $1.000 \text{ mol}\cdot\text{h}^{-1}$ de monóxido de carbono (CO) a 473 K, generada en un proceso, se quema a 1 atm de presión en un horno usando aire a 373 K. La combustión es completa y se usa 90% de exceso de aire.



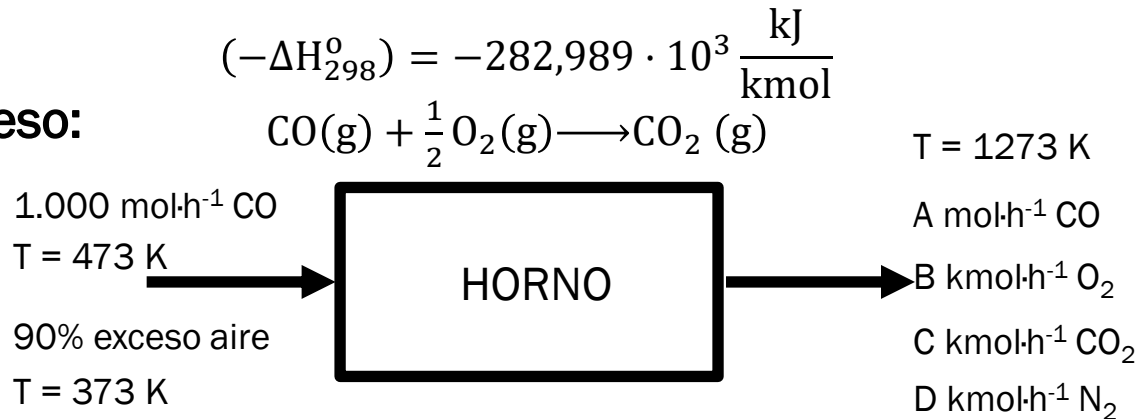
Teniendo en cuenta que el gas de combustión de salida está a 1273 K, calcular el calor extraído en el horno. Considerar las siguientes capacidades caloríficas medias para los rangos de temperatura del proceso:

CO: $29,38 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K}$; Aire: $29,29 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K}$; CO₂: $49,91 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K}$; O₂: $33,25 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K}$; N₂: $31,43 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K}$.

Balances de energía con reacción química (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Cálculo de la cantidad de aire introducido en el horno:

$$m_{\text{aire}} = 1.000 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot \frac{0,5 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol CO}} \cdot \frac{1 \text{ mol aire}}{0,21 \text{ mol O}_2} \cdot 1,9 = 4.524 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ aire}$$

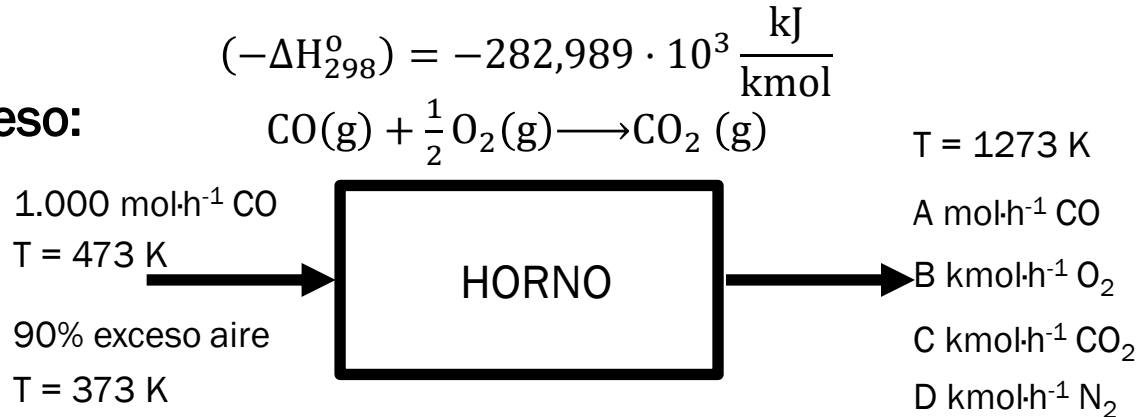
$$m_{\text{O}_2} = 4.524 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ aire} \cdot 0,21 = 950 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2$$

$$m_{\text{N}_2} = 4.524 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ aire} \cdot 0,79 = 3.574 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2$$

Balances de energía con reacción química (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia al CO₂ en el horno:

$$0 = 0 - C + 1.000 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot \frac{1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2}{1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}} - 0 \longrightarrow \boxed{C = 1.000 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2}$$

Balance de materia al O₂ en el horno:

$$0 = 950 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2 - B + 0 - 1.000 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot \frac{0.5 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2}{1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}} \longrightarrow \boxed{B = 450 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2}$$

Balance de materia al N₂ en el horno:

$$0 = 3.574 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2 - D + 0 - 0 \longrightarrow \boxed{D = 3.574 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2}$$

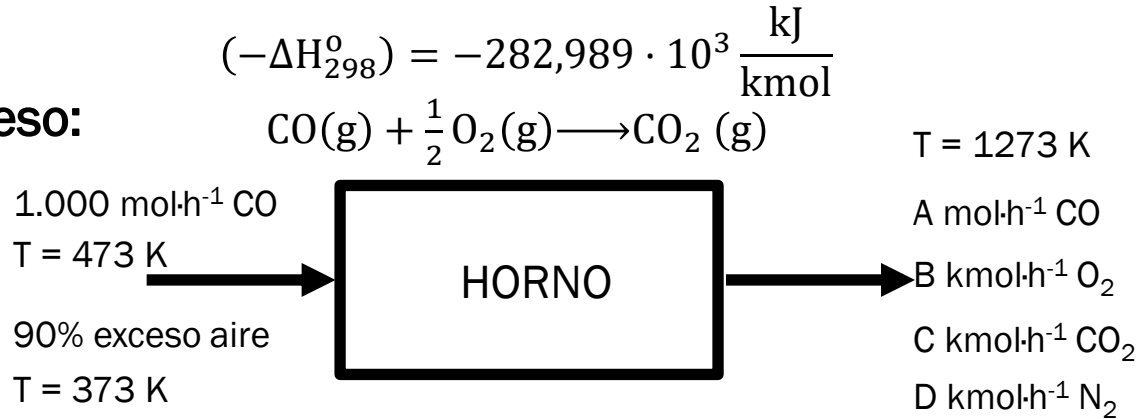
Balance de materia al CO en el horno:

$$0 = 1.000 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} - A + 0 - 1.000 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot \frac{1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}}{1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}} \longrightarrow \boxed{A = 0 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}}$$

Balances de energía con reacción química (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de energía:

$$\sum H_R + (-\Delta H_{298}^0) + q = \sum H_P$$

Cálculo de las entalpías de los compuestos de entrada $\sum H_R$:

$$\sum H_R = H_{\text{CO}} + H_{\text{O}_2} + H_{\text{N}_2} \longrightarrow \sum H_R = 15.935,37 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$H_{\text{CO}} = 1.000 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot 29,38 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (473 - 298)\text{K} = 5.141,5 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

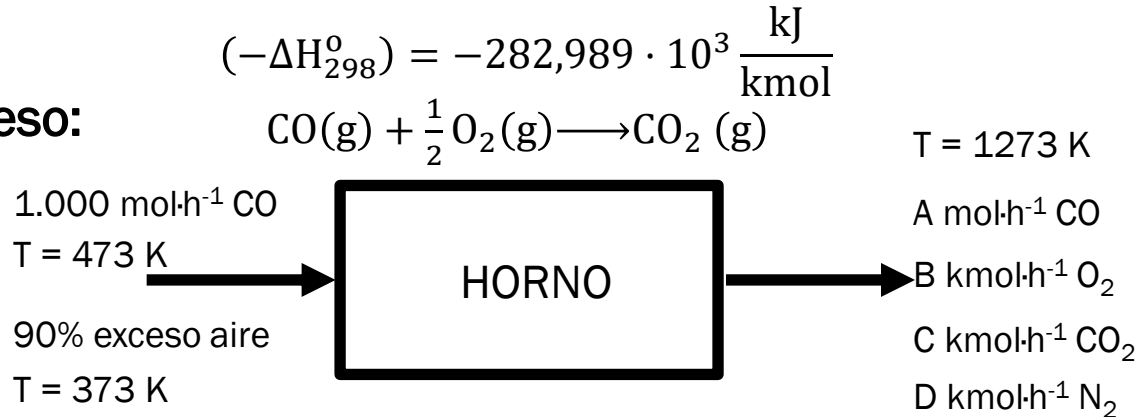
$$H_{\text{O}_2} = 950 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2 \cdot 33,25 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (373 - 298)\text{K} = 2.369,06 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$H_{\text{N}_2} = 3.574 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2 \cdot 31,43 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (373 - 298)\text{K} = 8.424,8 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Balances de energía con reacción química (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Cálculo de las entalpías de los compuestos de salida $\sum H_P$:

$$\sum H_P = H_{\text{CO}_2} + H_{\text{O}_2} + H_{\text{N}_2} \longrightarrow \sum H_P = 172.802,47 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$H_{\text{CO}_2} = 1.000 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2 \cdot 49,91 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (1273 - 298)\text{K} = 48.691,5 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

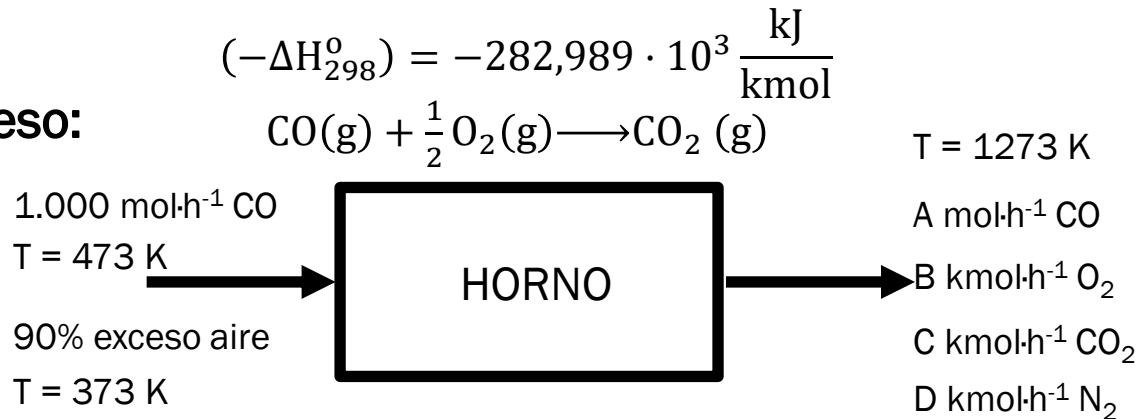
$$H_{\text{O}_2} = 450 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2 \cdot 33,25 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (1273 - 298)\text{K} = 14.588,43 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$H_{\text{N}_2} = 3.574 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2 \cdot 31,43 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (1273 - 298)\text{K} = 109.522,55 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Balances de energía con reacción química (II)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de energía:

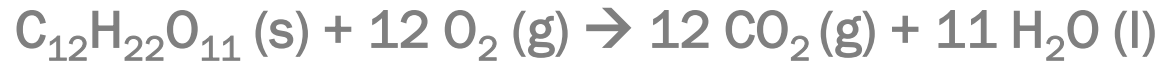
$$\sum H_R + (-\Delta H_{298}^0) + q = \sum H_P$$

$$15.935,37 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + \left(- \left(-282,989 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \cdot 1000 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CO} \right) + q = 172.802,47 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$q = -126.121,9 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = -35,03 \text{ kW}$$

Balances de energía con reacción química (III)

En muchos procesos bioquímicos se usa lactosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) como nutriente, la cual se oxida de acuerdo a la siguiente reacción:

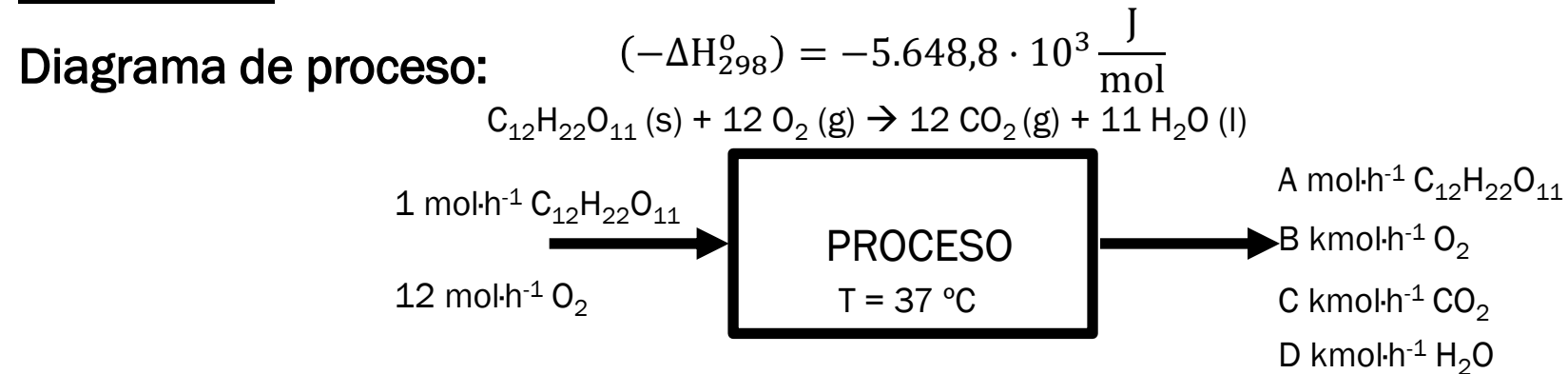


El calor de combustión, ΔH_C^0 a 25°C es $-5.648,8 \cdot 10^3$ J/mol lactosa. El C_{p_m} de la lactosa sólida es 1,20 J/g·K. Plantear un balance de energía para calcular el calor de la combustión completa a 37 °C, que es la temperatura de la mayoría de las reacciones bioquímicas, suponiendo que la entrada consta de un caudal molar de 1 y 12 mol·h⁻¹ de $C_{12}H_{22}O_{11}$ y oxígeno (O_2), respectivamente. Suponer también una conversión del 100% de los reactivos y tomar como temperatura de referencia para los cálculos 298 K.

Datos: $C_{p_m} O_2 (g) = 29,38$ J/mol·K; $C_{p_m} CO_2 (g) = 37,45$ J/mol·K; $C_{p_m} H_2O (l) = 4,18$ J/g·K;

Balances de energía con reacción química (III)

Solución:



Balance de materia al $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ en el proceso bioquímico:

$$0 = 1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} - A + 0 - 1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} - 0 \longrightarrow \boxed{A = 0 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}}$$

Balance de materia al O_2 en el proceso bioquímico :

$$0 = 12 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{O}_2 - B + 0 - 1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \cdot \frac{12 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{O}_2}{1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}} \longrightarrow \boxed{B = 0 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{O}_2}$$

Balance de materia al CO_2 en el proceso bioquímico :

$$0 = 0 - C + 1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \cdot \frac{12 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CO}_2}{1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}} - 0 \longrightarrow \boxed{C = 12 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CO}_2}$$

Balance de materia al H_2O en el proceso bioquímico :

$$0 = 0 - D + 1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \cdot \frac{11 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}} - 0 \longrightarrow \boxed{D = 11 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{H}_2\text{O}}$$

Balances de energía con reacción química (III)

Solución:

Cálculo de las entalpías de los compuestos de entrada $\sum H_R$:

$$\sum H_R = H_{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_{O_2} \longrightarrow \sum H_R = 9,400,224 \frac{J}{h}$$

$$H_{C_{12}H_{22}O_{11}} = 1 \text{ mol} \cdot h^{-1} C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 1,2 J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1} \cdot 342 g \cdot mol^{-1} \cdot (310 - 298)K = 5.160 \frac{J}{h}$$

$$H_{O_2} = 12 \text{ mol} \cdot h^{-1} O_2 \cdot 29,38 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1} \cdot (310 - 298)K = 4.240,224 \frac{J}{h}$$

Cálculo de las entalpías de los compuestos de salida $\sum H_P$:

$$\sum H_P = H_{CO_2} + H_{H_2O} \longrightarrow \sum H_P = 15.362,112 \frac{J}{h}$$

$$H_{CO_2} = 12 \text{ mol} \cdot h^{-1} CO_2 \cdot 37,45 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1} \cdot (310 - 298)K = 5.426,208 \frac{J}{h}$$

$$H_{H_2O} = 11 \text{ mol} \cdot h^{-1} H_2O \cdot 4,18 J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1} \cdot 18 g \cdot mol^{-1} \cdot (310 - 298)K = 9.935,904 \frac{J}{h}$$

Balances de energía con reacción química (III)

Solución:

Balance de energía:

$$\sum H_R + (-\Delta H_{298}^0) + q = \sum H_P$$

$$9,400.224 \frac{\text{J}}{\text{h}} + \left(- \left(-5.648,8 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \right) \cdot 1 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \right) + q = 15.362,112 \frac{\text{J}}{\text{h}}$$

$$q = -5.639 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{h}} = -1.566,4 \text{ W}$$

Balances de energía con reacción química (IV)

Una corriente de $1 \text{ kmol}\cdot\text{h}^{-1}$ de monóxido de carbono (CO) a 25°C se quema completamente a 1 atm de presión utilizando una corriente de $3,57 \text{ kmol}\cdot\text{h}^{-1}$ de aire que se encuentra a 540°C , en estado estacionario:



Los gases de combustión abandonan el horno a 425°C . Se pide:

A) Calcular la entalpía de las corrientes que entran al horno (respecto a una temperatura de referencia de 25°C).

B) Determinar el calor extraído en el horno.

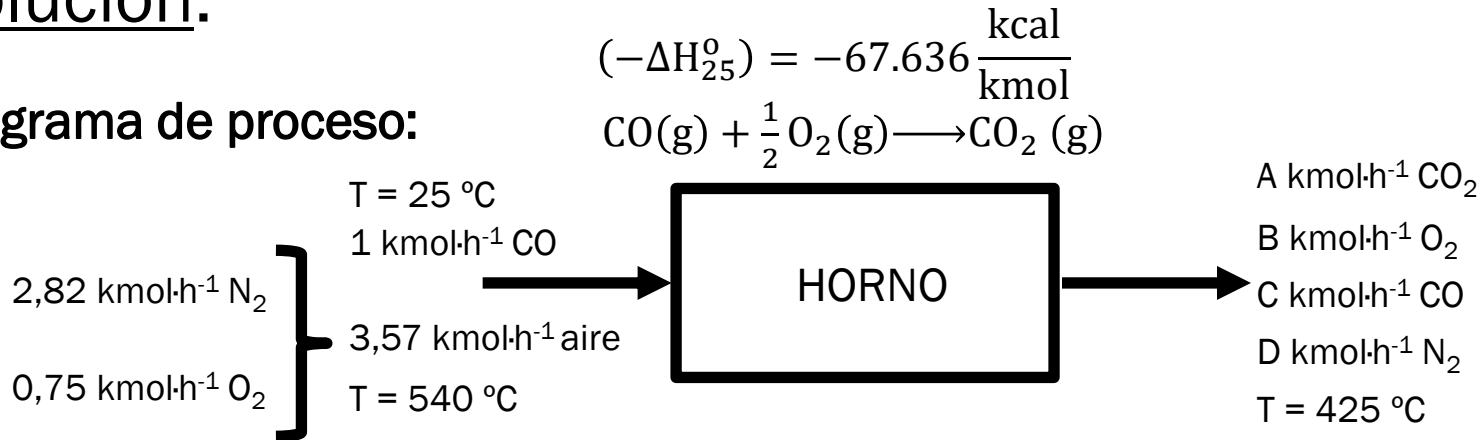
C) Calcular la temperatura de salida de los gases de combustión si el sistema fuese adiabático.

Datos: Calor de combustión del CO (1 atm , 25°C): $\Delta H_{298}^0 = -67.636 \text{ kcal/kmol}$ de CO. Capacidades caloríficas medias en $\text{kcal}/(\text{kmol}\cdot^\circ\text{C})$: CO = 6,9; N_2 = 7,0; O_2 = 7,3; CO_2 = 10,2.

Balances de energía con reacción química (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



¿Qué especie actúa como reactivo limitante en la reacción química?

$\text{CO(g)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g})$

Inicio	1	0,75	0
Reacción	-1	-0,5	1
Fin	0	0,25	1

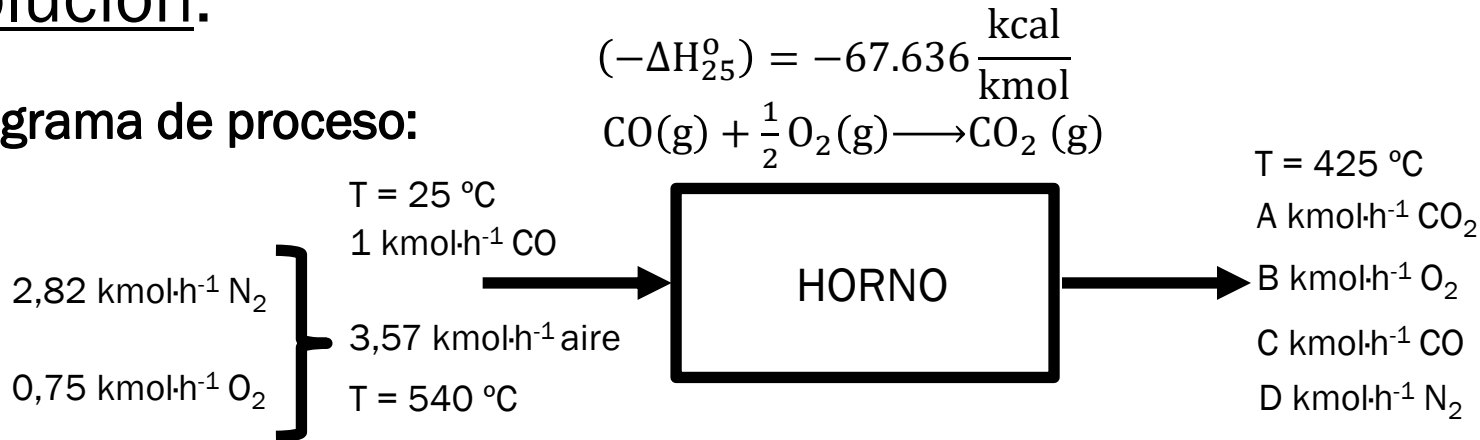
↑

CO es el reactivo limitante, ya que es el compuesto que primero se agota en la reacción química.

Balances de energía con reacción química (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de materia al CO_2 en el horno:

$$0 = 0 - A + 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot \frac{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2}{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}} - 0 \longrightarrow \boxed{A = 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2}$$

Balance de materia al O_2 en el horno:

$$0 = 0,75 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2 - B + 0 - 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot \frac{0,5 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2}{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}} \longrightarrow \boxed{B = 0,25 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2}$$

Balance de materia al N_2 en el horno:

$$0 = 2,82 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2 - D + 0 - 0 \longrightarrow \boxed{D = 2,82 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2}$$

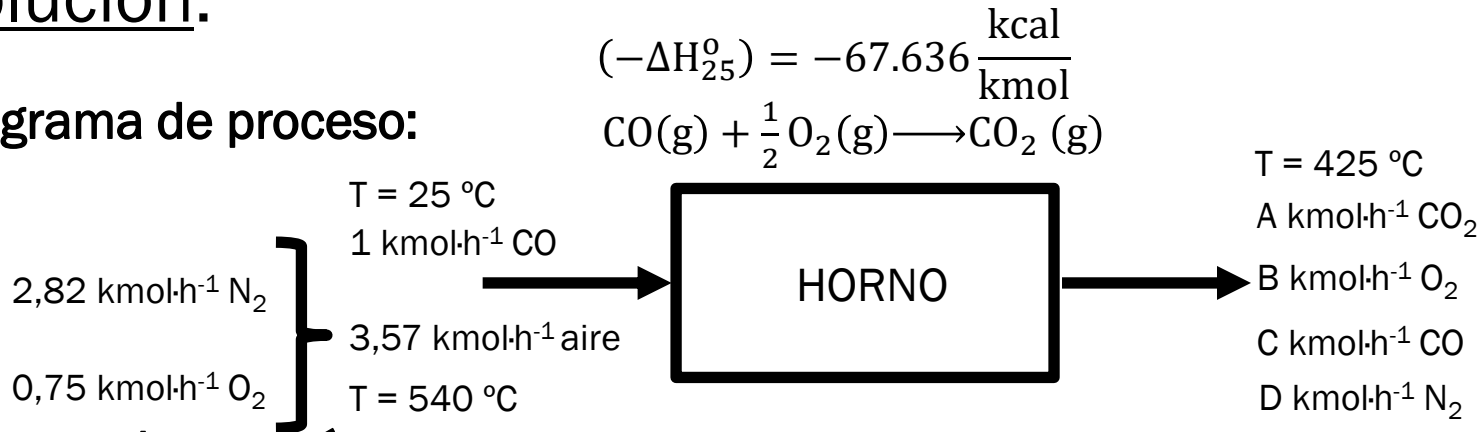
Balance de materia al CO en el horno:

$$0 = 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} - C + 0 - 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot \frac{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}}{1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}} \longrightarrow \boxed{C = 0 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}}$$

Balances de energía con reacción química (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de energía:

$$\sum H_R + (-\Delta H_{298}^0) + q = \sum H_P$$

Cálculo de las entalpías de los compuestos de entrada $\sum H_R$:

$$\sum H_R = H_{\text{CO}} + H_{\text{O}_2} + H_{\text{N}_2} \longrightarrow \sum H_R = 12.985,7 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$H_{\text{CO}} = 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO} \cdot 6,9 \text{ kcal} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (25 - 25)^\circ\text{C} = 0 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

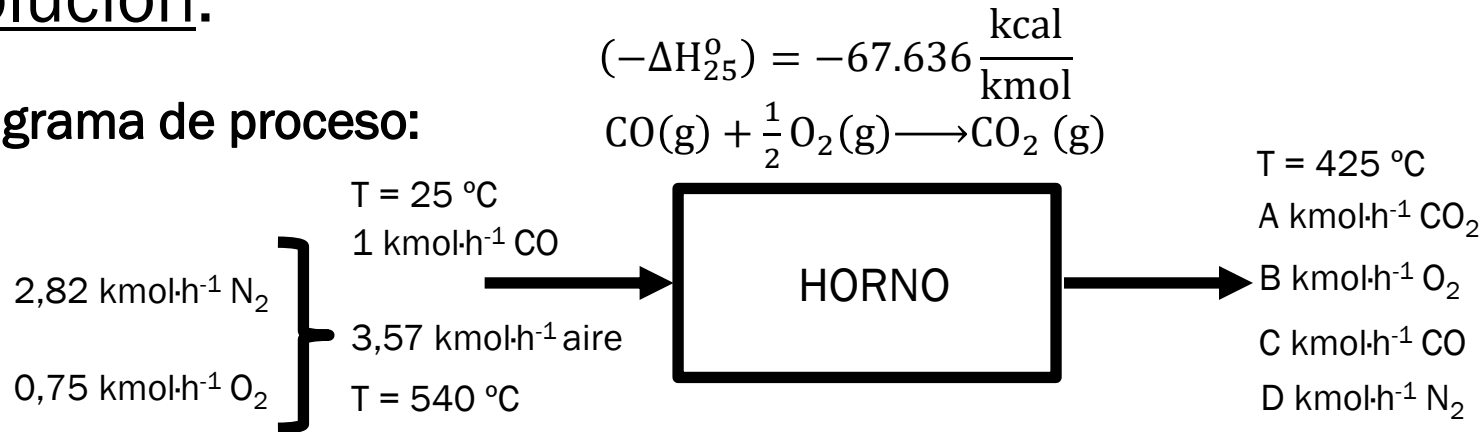
$$H_{\text{O}_2} = 0,75 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2 \cdot 7,3 \text{ kcal} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (540 - 25)^\circ\text{C} = 2819,625 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$H_{\text{N}_2} = 2,82 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2 \cdot 7,0 \text{ kcal} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (540 - 25)^\circ\text{C} = 10.166,1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Balances de energía con reacción química (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Cálculo de las entalpías de los compuestos de salida $\sum H_P$:

$$\sum H_P = H_{\text{CO}_2} + H_{\text{O}_2} + H_{\text{N}_2} \longrightarrow \sum H_P = 12.706 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$H_{\text{CO}_2} = 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2 \cdot 10,2 \text{ kcal} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (425 - 25)^\circ\text{C} = 4080 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

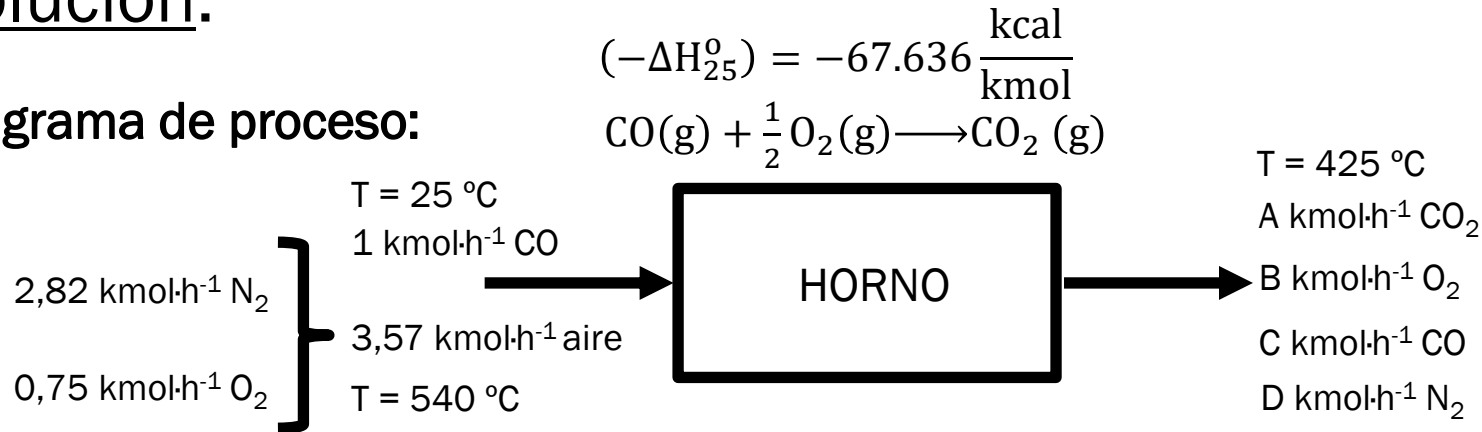
$$H_{\text{O}_2} = 0,25 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2 \cdot 7,3 \text{ kcal} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (425 - 25)^\circ\text{C} = 730 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$H_{\text{N}_2} = 2,82 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2 \cdot 7,0 \text{ kcal} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (425 - 25)^\circ\text{C} = 7896 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Balances de energía con reacción química (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de energía:

$$\sum H_R + (-\Delta H_{298}^0) + q = \sum H_P$$

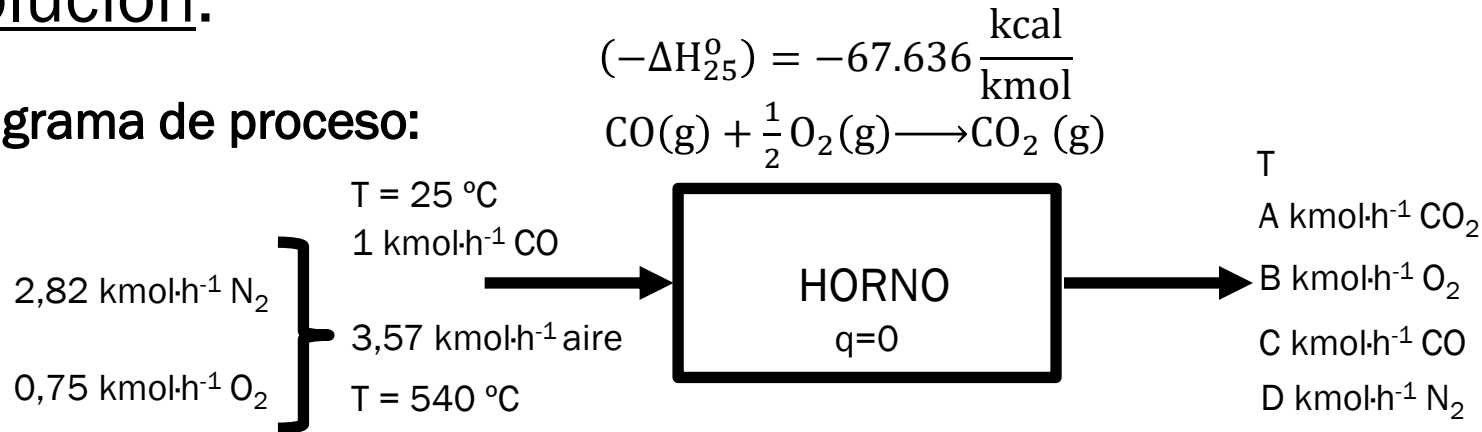
$$12.985,7 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} + \left(- \left(-67.636 \frac{\text{kcal}}{\text{kmol}} \right) \cdot 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CO} \right) + q = 12.706 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$q = -67.915,7 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = -78.90 \text{ W}$$

Balances de energía con reacción química (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Cálculo de las entalpías de los compuestos de salida $\sum H_P$:

$$\sum H_P = H_{\text{CO}_2} + H_{\text{O}_2} + H_{\text{N}_2} \longrightarrow \sum H_P = 31,765 \cdot (T - 25) \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$H_{\text{CO}_2} = 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ CO}_2 \cdot 10,2 \text{ kcal} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (T - 25)^\circ\text{C} = 10,2 \cdot (T - 25)$$

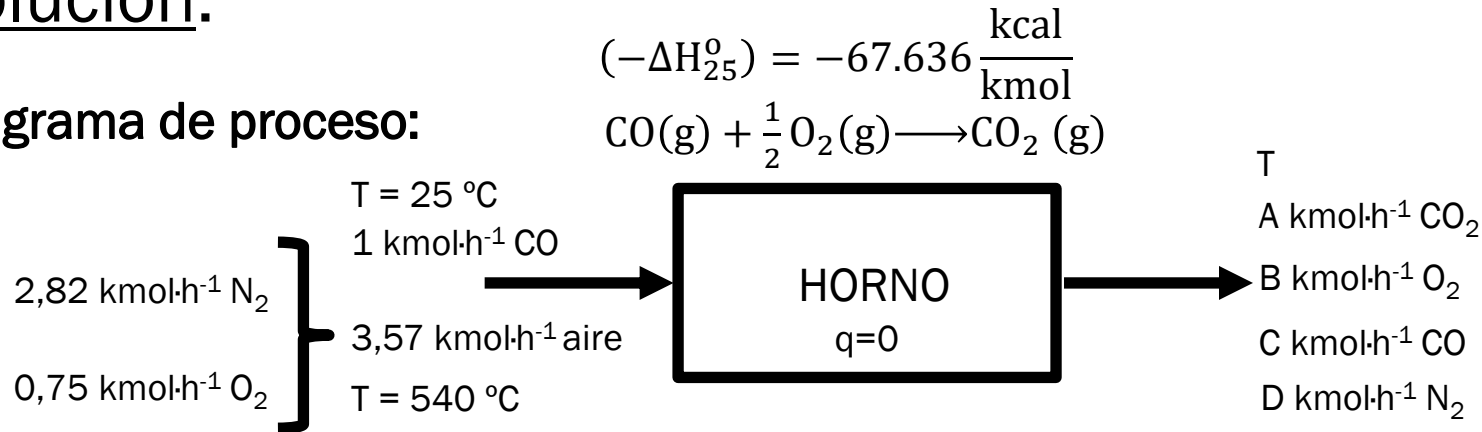
$$H_{\text{O}_2} = 0,25 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ O}_2 \cdot 7,3 \text{ kcal} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (T - 25)^\circ\text{C} = 1,825 \cdot (T - 25)$$

$$H_{\text{N}_2} = 2,82 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{ N}_2 \cdot 7,0 \text{ kcal} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (T - 25)^\circ\text{C} = 19,74 \cdot (T - 25)$$

Balances de energía con reacción química (IV)

Solución:

Diagrama de proceso:



Balance de energía:

$$\sum H_R + (-\Delta H_{298}^0) + q = \sum H_P$$

$$12.985,7 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} + \left(- \left(-67.636 \frac{\text{kcal}}{\text{kmol}} \right) \cdot 1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{CO} \right) + 0 = 31,765 \cdot (T - 25) \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$\boxed{T = 2563,05 \text{ } ^\circ\text{C}}$$