



TEMA 3: COMBUSTIBLES GASEOSOS

ACTIVIDADES PRÁCTICAS (SOLUCIONES)

Aitziber Iriondo Hernández
Blanca M^a Caballero Iglesias
Maite de Blas Martín

Escuela de Ingeniería de Bilbao
Ingeniería Química y del Medio Ambiente

SOLUCIÓN A LAS ACTIVIDADES PRÁCTICAS

I) Ejercicios numéricos de límites de inflamabilidad

Ejercicios 3.1 y 3.2

II) Ejercicios numéricos de intercambiabilidad

Ejercicios 3.3 y 3.4



Imagen publicada en Pixabay
bajo dominio público [\[1\]](#)

EJERCICIOS DE LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

EJERCICIO 3.1. SOLUCIÓN (I)

- a) Para el cálculo del límite de inflamabilidad, tanto superior (LIS) como inferior (LII), se aplica la fórmula de Le Châtelier–Coward:

$$LI = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{\%V_i}{LI_i}}$$

$\%V_i = \% \text{ volumen del gas } i$
 $LI_i = \text{límite de inflamabilidad (inferior o superior del gas } i)$
 (tabla 3.A)

Teniendo en cuenta por tanto los valores del LIS y LII del CH_4 y del C_3H_8 (tabla 3.A):

$$LIS = \frac{100}{\frac{70}{14,0} + \frac{30}{9,5}} = 12,26 \%$$

$$LII = \frac{100}{\frac{70}{5,3} + \frac{30}{2,37}} = 3,87 \%$$

EJERCICIOS DE LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

EJERCICIO 3.1. SOLUCIÓN (II)

- b) Para el cálculo de la proporción aire/combustible en la combustión teórica, se aplica también la fórmula de Le Châtelier–Coward :

$$LI = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{\%V_i}{LI_i}}$$

Teniendo en cuenta por tanto los valores estequiométricos del CH_4 y del C_3H_8 (tabla 3.A):

$$\text{Mezcla estequiométrica} = \frac{100}{\frac{70}{9,5} + \frac{30}{4,03}} = 6,75 \%$$

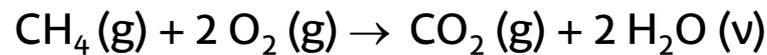
Se encuentra por tanto dentro de los límites del LIS y LII: $12,26 < 6,75 < 3,87$

EJERCICIOS DE LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

EJERCICIO 3.1. SOLUCIÓN (III)

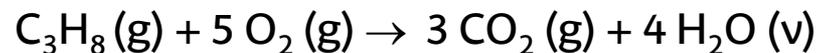
Se puede calcular la proporción estequiométrica aire/combustible a partir del cálculo del valor del aire teórico necesario para quemar 1 m³N del gas combustible (0,7 m³N CH₄ y 0,3 m³N C₃H₈)

La reacción de combustión teórica para el CH₄ es:



$$\text{(oxígeno teórico)} \quad O_{T=0,7} = \frac{0,7 \text{ m}^3\text{N CH}_4}{1 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot \frac{2 \text{ m}^3\text{N O}_2}{1 \text{ m}^3\text{N CH}_4} = 1,40 \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

La reacción de combustión teórica para el C₃H₈ es:



$$\text{(oxígeno teórico)} \quad O_{T=0,30} = \frac{0,30 \text{ m}^3\text{N C}_3\text{H}_8}{1 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot \frac{5 \text{ m}^3\text{N O}_2}{1 \text{ m}^3\text{N C}_3\text{H}_8} = 1,50 \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

EJERCICIOS DE LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

EJERCICIO 3.1. SOLUCIÓN (IV)

$$(1,40 + 1,50) \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{m}^3\text{N gas}} \cdot \frac{100 \text{ m}^3\text{N aire}}{21 \text{ m}^3\text{N O}_2} = 13,81 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{m}^3\text{N gas}} \longrightarrow A_T = 13,81 \text{ m}^3\text{N aire/m}^3\text{N gas}$$

Siendo la proporción estequiométrica aire/combustible:

$$\frac{\text{Volumen combustible}}{\text{Volumen combustible} + \text{Volumen aire}}$$

$$\text{Mezcla estequiométrica} = \frac{1 \text{ m}^3\text{N gas}}{13,81 \text{ m}^3\text{N aire} + 1 \text{ m}^3\text{N gas}} \times 100 = 6,75 \%$$

Ambos resultados coinciden: 6,75%

EJERCICIOS DE LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

EJERCICIO 3.2. SOLUCIÓN (I)

- a) Para el cálculo del límite de inflamabilidad, tanto superior (LIS) como inferior (LII), se aplica la fórmula de Le Châtelier–Coward:

$$LI = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{\%V_i}{LI_i}}$$

$\%V_i = \% \text{ volumen del gas } i$
 $LI_i = \text{límite de inflamabilidad (inferior o superior del gas } i)$
 (tabla 3.A)

Teniendo en cuenta por tanto los valores del LIS y LII del CH_4 y del C_2H_6 (tabla 3.A):

$$LIS = \frac{100}{\frac{80}{14,0} + \frac{20}{12,5}} = 13,67 \%$$

$$LII = \frac{100}{\frac{80}{5,3} + \frac{20}{3,2}} = 4,69 \%$$

EJERCICIOS DE LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

EJERCICIO 3.2. SOLUCIÓN (II)

- b) Para el cálculo de la proporción aire/combustible en la combustión teórica, se aplica también la fórmula de Le Châtelier–Coward :

$$LI = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{\%V_i}{LI_i}}$$

Teniendo en cuenta por tanto los valores estequiométricos del CH_4 y del C_2H_6 (tabla 3.A):

$$\text{Mezcla estequiométrica} = \frac{100}{\frac{80}{9,5} + \frac{20}{5,66}} = 8,36 \%$$

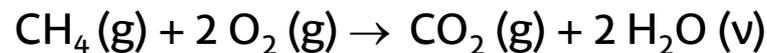
Se encuentra por tanto dentro de los límites del LIS y LII: $13,67 < 8,36 < 4,69$

EJERCICIOS DE LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

EJERCICIO 3.2. SOLUCIÓN (III)

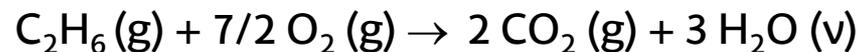
Se puede calcular la proporción estequiométrica aire/combustible a partir del cálculo del valor del aire teórico necesario para quemar 1 m³N del gas combustible (0,8 m³N CH₄ y 0,2 m³N C₂H₆)

La reacción de combustión teórica para el CH₄ es:



$$\text{(oxígeno teórico)} \quad O_T = 0,8 \frac{\text{m}^3\text{N CH}_4}{\text{m}^3\text{N gas}} \frac{2 \text{ m}^3\text{N O}_2}{1 \text{ m}^3\text{N CH}_4} = 1,60 \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

La reacción de combustión teórica para el C₂H₆ es:



$$\text{(oxígeno teórico)} \quad O_T = 0,20 \frac{\text{m}^3\text{N C}_2\text{H}_6}{\text{m}^3\text{N gas}} \frac{7/2 \text{ m}^3\text{N O}_2}{1 \text{ m}^3\text{N C}_2\text{H}_6} = 0,70 \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

EJERCICIOS DE LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

EJERCICIO 3.2. SOLUCIÓN (IV)

$$(1,60 + 0,70) \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{m}^3\text{N gas}} \cdot \frac{100 \text{ m}^3\text{N aire}}{21 \text{ m}^3\text{N O}_2} = 10,95 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{m}^3\text{N gas}} \longrightarrow A_T = 10,95 \text{ m}^3\text{N aire}/\text{m}^3\text{N gas}$$

Siendo la proporción estequiométrica aire/combustible:

$$\frac{\text{Volumen combustible}}{\text{Volumen combustible} + \text{Volumen aire}}$$

$$\text{Mezcla estequiométrica} = \frac{1 \text{ m}^3\text{N gas}}{10,95 \text{ m}^3\text{N aire} + 1 \text{ m}^3\text{N gas}} \times 100 = 8,37 \%$$

Ambos resultados coinciden: 8,37%

EJERCICIOS DE INTERCAMBIABILIDAD

EJERCICIO 3.3. SOLUCIÓN (I)

Para el cálculo del índice Wobbe superior e inferior se aplican las fórmulas:

$$W_s = \frac{PCS}{\sqrt{d}}$$

$$W_i = \frac{PCI}{\sqrt{d}}$$

PCS: poder calorífico superior

PCI: poder calorífico inferior

d : densidad relativa del gas con respecto al aire

Para calcular el PCS y el PCI del gas natural, se aplica la fórmula:

$$PC = \sum_{i=1}^n y_i PC_i$$

y_i : fracción molar del componente i

PC_i (PCS o PCI): poder calorífico del componente i (tabla 3.B)

$$PCS = 0,95 \cdot 9530 + 0,04 \cdot 16860 + 0,01 \cdot 24350 = 9971,14 \text{ kcal m}^{-3}\text{N}$$

$$PCI = 0,95 \cdot 8570 + 0,04 \cdot 15390 + 0,01 \cdot 22380 = 8980,9 \text{ kcal m}^{-3}\text{N}$$

EJERCICIOS DE INTERCAMBIABILIDAD

EJERCICIO 3.3. SOLUCIÓN (II)

Teniendo en cuenta los valores de la densidad relativa del CH_4 , C_2H_6 y C_3H_8 (tabla 3.C):

$$d = 0,95 \cdot 0,554 + 0,04 \cdot 1,046 + 0,01 \cdot 1,547 = 0,58$$

Los índices Wobbe resultan ser:

$$W_s = \frac{9971,14}{\sqrt{0,58}} = 13092,74 \text{ kcal m}^{-3}\text{N}$$

$$W_i = \frac{8980,80}{\sqrt{0,58}} = 11792,37 \text{ kcal m}^{-3}\text{N}$$

EJERCICIOS DE INTERCAMBIABILIDAD

EJERCICIO 3.3. SOLUCIÓN (III)

Para el cálculo del potencial de combustión C, se aplica la fórmula:

$$C = \frac{\sum a_m v_m}{\sqrt{d}}$$

C: potencial de combustión
 v_m : % vol. de cada componente del gas
 a_m : constante que depende de cada gas (tabla 3.B)
 d: densidad relativa del gas con respecto al aire

Teniendo en cuenta por tanto los valores de la constante a_m y de la densidad relativa para el CH_4 , C_2H_6 y C_3H_8 (tabla 3.C):

$$C = \frac{95 \cdot 0,30 + 4 \cdot 0,75 + 1 \cdot 0,95}{\sqrt{0,95 \cdot 0,554 + 0,04 \cdot 1,046 + 0,01 \cdot 1,547}} = \frac{32,45}{0,76} = 42,70$$

EJERCICIOS DE INTERCAMBIABILIDAD

EJERCICIO 3.4. SOLUCIÓN (I)

Para el cálculo del índice Wobbe (referido al PCS), se aplica la fórmula:

$$W_s = \frac{PCS}{\sqrt{d}}$$

PCS: poder calorífico superior
d : densidad relativa del gas con respecto al aire

Para calcular el PCS del gas natural, se aplica la fórmula:

$$PC = \sum_{i=1}^n y_i PC_i$$

y_i : fracción molar del componente i
 PC_i (PCS o PCI): poder calorífico del componente i (tabla 3.B)

$$PCS = 0,892 \cdot 9530 + 0,082 \cdot 16860 + 0,016 \cdot 24350 + 0,01 \cdot 32060 = 10593,50 \text{ kcal m}^{-3}\text{N}$$

EJERCICIOS DE INTERCAMBIABILIDAD

EJERCICIO 3.4. SOLUCIÓN (II)

Teniendo en cuenta los valores de la densidad relativa del CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 y C_4H_{10} (tabla 3.C):

$$d = 0,892 \cdot 0,554 + 0,082 \cdot 1,046 + 0,016 \cdot 1,547 + 0,01 \cdot 2,071 = 0,63$$

El índice Wobbe resulta ser:

$$W_s = \frac{10593,52}{\sqrt{0,63}} = 13346,60 \text{ kcal m}^{-3}\text{N}$$

EJERCICIOS DE INTERCAMBIABILIDAD

EJERCICIO 3.4. SOLUCIÓN (III)

Para el cálculo del potencial de combustión C, se aplica la fórmula:

$$C = \frac{\sum a_m v_m}{\sqrt{d}}$$

C: potencial de combustión

v_m : % vol. de cada componente del gas

a_m : constante que depende de cada gas (tabla 3.B)

d: densidad relativa del gas con respecto al aire

Teniendo en cuenta por tanto los valores de la constante a_m y de la densidad relativa para el CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 y C_4H_{10} (tabla 3.C):

$$C = \frac{89,2 \cdot 0,30 + 8,2 \cdot 0,75 + 1,6 \cdot 0,95 + 1 \cdot 0,30}{\sqrt{0,62}} = \frac{35,43}{0,79} = 44,85$$

EJERCICIOS DE INTERCAMBIABILIDAD

EJERCICIO 3.4. SOLUCIÓN (IV)

Para comprobar si cumple las especificaciones del sistema gasista, se realiza el cambio de unidades del PCS y del W_s a kWh:

$$\text{PCS} = 10593,52 \text{ kcal m}^{-3}\text{N} \cdot \frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{3,6 \times 10^3 \text{ kJ}} = 12,39 \text{ kWh m}^{-3}\text{N}$$

$$W_s = 13346,60 \text{ kcal m}^{-3}\text{N} \cdot \frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{3,6 \times 10^3 \text{ kJ}} = 15,49 \text{ kWh m}^{-3}\text{N}$$

consultando la tabla 3.D, el gas natural, tal y como era de esperar cumple con las especificaciones del sistema gasista