



TEMA 3: EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

ACTIVIDADES PRÁCTICAS (SOLUCIONES)

Blanca M^a Caballero Iglesias
Maite de Blas Martín

Escuela de Ingeniería de Bilbao
Ingeniería Química y del Medio Ambiente

EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

SOLUCIÓN A LAS ACTIVIDADES PRÁCTICAS

I) Problemas numéricos de efectos térmicos:

Problemas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5

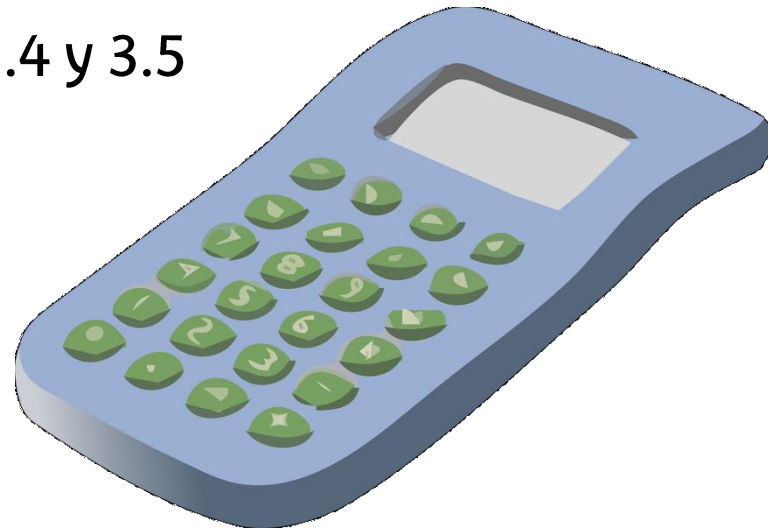


Imagen publicada en Pixabay
bajo dominio público [\[1\]](#)

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.1. SOLUCIÓN (I)

Se trata del fuelóleo del **problema 1.2**. Para el procedimiento de cálculo del volumen de aire teórico y volumen de gases secos de la combustión teórica, consultar las soluciones a las actividades prácticas del tema 1. Resultados:

$$A_T = 10,57 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg fuelóleo}} \quad V_T = 9,97 \frac{\text{m}^3 \text{N gases combustión}}{\text{kg fuel}} \quad V_{\text{CO}_2} = 1,59 \frac{\text{m}^3 \text{N CO}_2}{\text{kg fuelóleo}}$$

Aire utilizado y volumen de gases secos de combustión

Resultado del aparato Orsat (% en volumen gases secos): $\text{CO}_2=13,9 \%$, $\text{O}_2=2,9 \%$, $\text{CO}=0 \%$

Se plantea el **balance de CO_2 y CO** $\rightarrow \frac{(\% \text{CO}_2 + \% \text{CO})}{100} V_0 = (V_{\text{CO}_2})_{\text{combustión teórica}}$

$$\frac{(0 + 13,9) \text{m}^3 \text{N CO}_2 + \text{CO}}{100 \text{m}^3 \text{N gases combustión}} V_0 = 1,59 \frac{\text{m}^3 \text{N CO}_2}{\text{kg fuelóleo}} \rightarrow V_0 = 11,44 \frac{\text{m}^3 \text{N gases combustión}}{\text{kg fuelóleo}}$$

↑
volumen de CO_2 en la combustión teórica

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.1. SOLUCIÓN (II)

Se plantea el **balance de N₂** → $\frac{(\%N_2)}{100} V_0 = \frac{79}{100} A_0 + (N_2)_{\text{combustible}}$

El **contenido de N₂** en los gases de combustión secos se obtiene por diferencia: (%N₂=100-13,9-2,9=83,2%)

* El combustible no contiene N₂

$$\frac{83,2 \text{ m}^3 \text{N N}_2}{100 \text{ m}^3 \text{N gases combustión}} \cdot 11,44 \frac{\text{m}^3 \text{N gases combustión}}{\text{kg fuelóleo}} = \frac{79 \text{ m}^3 \text{N N}_2}{100 \text{ m}^3 \text{N aire}} A_0$$

$$\longrightarrow A_0 = 12,05 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{kg fuelóleo}}$$

$$n = \frac{A_0}{A_T} = \frac{12,05}{10,57} = 1,14$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.1. SOLUCIÓN (III)

Aire ambiental

$$w_0 = \frac{\varphi P_{\text{sat}}}{P - \varphi P_{\text{sat}}} A_0$$

Tabla 3.1.

$$w_0 = \frac{0,60 \cdot 12,80 \text{ mm}}{750 \text{ mm} - 0,60 \cdot 12,80 \text{ mm}} \cdot 12,05 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuelóleo}} = 0,12 \frac{\text{m}^3\text{N humedad}}{\text{kg fuelóleo}}$$

$$A_R = A_0 + w_0 \rightarrow A_R = 12,05 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuelóleo}} + 0,12 \frac{\text{m}^3\text{N humedad}}{\text{kg fuelóleo}} = 12,17 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuelóleo}}$$

En condiciones ambientales:

$$\frac{P V}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} \rightarrow \frac{750 \text{ mm} \cdot V}{(15 + 273) \text{ K}} = \frac{760 \text{ mm} \cdot 12,17 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuelóleo}}}{273 \text{ K}} \rightarrow V = 13,28 \frac{\text{m}^3 \text{ aire ambiental}}{\text{kg fuelóleo}}$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.1. SOLUCIÓN (IV)

Gases de combustión húmedos en condiciones normales

Vapor de H₂O

1) Vapor de agua del aire ambiental (w_1): $w_1 = 0,12 \frac{\text{m}^3\text{N humedad}}{\text{kg fuelóleo}}$

2) Humedad del combustible (w_2):

$$w_2 = \frac{1 \text{ kg H}_2\text{O}}{100 \text{ kg fuel}} \cdot \frac{1 \text{ kmol H}_2\text{O}}{18 \text{ kg H}_2\text{O}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3\text{N H}_2\text{O}}{1 \text{ kmol H}_2\text{O}} = 0,01 \frac{\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}}{\text{kg fuel}}$$

3) Vapor de agua formado a partir del hidrógeno del fuelóleo (w_3):

$$w_3 = \frac{11 \text{ kg H}}{100 \text{ kg fuel}} \cdot \frac{1 \text{ kmol H}_2}{2 \text{ kg H}} \cdot \frac{1 \text{ kmol H}_2\text{O}}{1 \text{ kmol H}_2} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3\text{N H}_2\text{O}}{1 \text{ kmol H}_2\text{O}} = 1,23 \frac{\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}}{\text{kg fuel}}$$

$$V_R = V_0 + w_1 + w_2 + w_3$$

$$V_R = 11,44 + 0,12 + 0,01 + 1,23 = 12,80 \frac{\text{m}^3\text{N gases combustión húmedos}}{\text{kg fuel}}$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.1. SOLUCIÓN (V)

Punto de rocío de los gases de combustión

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = y_{\text{H}_2\text{O}} \cdot P = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{T}}} \cdot P \xrightarrow{\text{Tabla 3.1}} T \text{ de rocío}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{T}}} \cdot P = \frac{W}{W_{\text{RW}}} \cdot P = \frac{(0,12 + 0,01 + 1,23) \frac{\text{m}^3\text{N humedad}}{\text{kg fuelóleo}}}{12,80 \frac{\text{m}^3\text{N gases combustión}}{\text{kg fuel}}} \cdot 750 \text{ mm Hg} = 79,69 \text{ mm Hg}$$

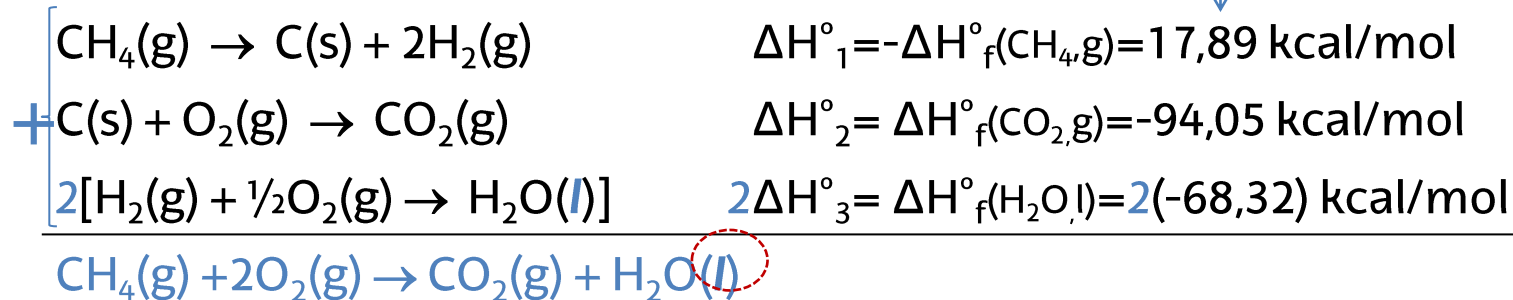
$$\xrightarrow{\text{Tabla 3.1}} P_{\text{sat}}(47^\circ\text{C}) = 79,71 \text{ mm Hg} \xrightarrow{T \text{ rocío}} \boxed{\approx 47^\circ\text{C}}$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.2. SOLUCIÓN

El cálculo del poder calorífico superior del metano (CH_4) se calcula suponiendo que el CH_4 se descompone en $\text{C}(\text{s})$ e $\text{H}_2(\text{g})$ y conociendo su calor de combustión y aplicando la **ley de Hess**. Resultados:

Tabla 3.2.



$$\Delta H^\circ_r = 17,89 - 94,05 - 2(68,32) = -212,80 \text{ kcal/mol} = -\text{PCS}$$

$$212,80 \frac{\text{kcal}}{\text{mol CH}_4} \cdot \frac{1 \text{ mol CH}_4}{22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{NCH}_4} = 9500 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{NCH}_4}$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.3. SOLUCIÓN (I)

- a) El cálculo del poder calorífico superior del pentano (C_5H_{12}) con las fórmulas de los derivados del petróleo. Resultados:

$$PCI = 12925 - 3200d - 70 \%S)$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol } C_5H_{12} &\longrightarrow 5 \text{ mol } C \cdot \frac{12 \text{ g}}{1 \text{ mol } C} = 60 \text{ g } C \\ &\longrightarrow 12 \text{ mol } H \cdot \frac{1 \text{ g } H}{1 \text{ mol } H} = 12 \text{ g } H \\ \hline &72 \text{ g } C_5H_{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{60 \text{ g } C}{72 \text{ g } C_5H_{12}} \cdot 100 &= 83,3\% C \\ \frac{12 \text{ g } H}{72 \text{ g } C_5H_{12}} \cdot 100 &= 16,7\% H \end{aligned}$$

$$d = 0,25 + 0,0913 \left(\frac{\%C}{\%H} \right) = 0,25 + 0,0913 \left(\frac{83,33}{16,67} \right) = 0,705 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

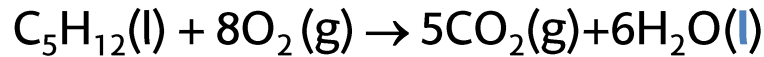
$$PCI = 12925 - 3200 \cdot 0,705 = 10669 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$PCI = 12125 - 292 \left(\frac{\%C}{\%H} \right) - 70 (\%) = 12125 - 292 \left(\frac{83,3}{16,7} \right) - 70 (0) = 10669 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } C_5H_{12}}$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.3. SOLUCIÓN (II)

- a) El cálculo del poder calorífico superior del pentano (C_5H_{12}) con las fórmulas de los derivados del petróleo. Resultados:



$$1 \text{ kg } C_5H_{12} \cdot \frac{1 \text{ kmol } C_5H_{12}}{72 \text{ kg } C_5H_{12}} \cdot \frac{6 \text{ kmol } H_2O}{1 \text{ kmol } C_5H_{12}} \cdot \frac{18 \text{ kg } H_2O}{1 \text{ kmol } H_2O} = 1,5 \frac{\text{kg } H_2O}{\text{kg } C_5H_{12}}$$

$$PCI = PCS - m\lambda_{\text{condensación}} \left\{ \begin{array}{l} m: \text{kg vapor/kg (m}^3\text{N) combustible} \\ \lambda : 584 \text{ kcal/kg vapor (25}^\circ\text{C)} \end{array} \right.$$

$$PCI = 10669 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } C_5H_{12}} + 584 \frac{\text{kcal}}{\text{kg vapor}} \cdot 1,5 \frac{\text{kg vapor}}{\text{kg } C_5H_{12}} = 11545 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } C_5H_{12}}$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.3. SOLUCIÓN (III)

b) El cálculo del poder calorífico superior del pentano (C_5H_{12}) con las fórmulas de Boie. Resultados:

$$PCS = 1000 \frac{100,9 + 56z}{12 + 2z}$$

$$PCI = 1000 \frac{100,9 + 45,2z}{12 + 2z}$$

$CH_{2z} \rightarrow z$ (relación molar)

$$2z = \frac{H}{C} = \frac{12}{5} = 2,4 \longrightarrow z = 1,2$$

$$PCS = 1000 \frac{100,9 + 56 \cdot 1,2}{12 + 2 \cdot 1,2} = 11674 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } C_5H_{12}}$$

$$PCI = 1000 \frac{100,9 + 45,2 \cdot 1,2}{12 + 2 \cdot 1,2} = 10774 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } C_5H_{12}}$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.4. SOLUCIÓN (I)

Cálculo del poder calorífico del gas de alumbrado en cn

Al tratarse de un combustible líquido se tomará como referencia para el cálculo **1 m³ N de gas de alumbrado**

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

Tabla 3.3.

	% volumen	m ³ N	y _i	PCS (kcal/m ³ N)	PCI (kcal/m ³ N)
H ₂	48,0	0,48	0,48	3050	2570
CH ₄	24,0	0,24	0,24	9530	8570
CO	20,0	0,20	0,20	3030	3030
CO ₂	5,0	0,05	0,05	--	--
N ₂	3,0	0,03	0,03	--	--
Σ	100,00	1,00	1		

$$PCS = \sum_{i=1}^n y_i PCS_i = 0,48 \cdot 3050 + 0,24 \cdot 9530 + 0,20 \cdot 3030 = 4357 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

$$PCI = \sum_{i=1}^n y_i PCI_i = 0,48 \cdot 2570 + 0,24 \cdot 8570 + 0,20 \cdot 3030 = 3896 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.4. SOLUCIÓN (II)

Cálculo del poder calorífico del gas de alumbrado en condiciones ambientales

$$\text{Para el caso } n_0 = n \Rightarrow \frac{P V}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0}$$

$$\frac{760 \text{ mm} \cdot 1 \text{ m}^3 \text{ N gas}}{273 \text{ K}} = \frac{730 \text{ mm} \cdot V}{(25 + 273) \text{ K}} \longrightarrow V = 1,14 \text{ m}^3 \text{ gas}$$

$$\text{PCS} = 4357 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{ N gas}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3 \text{ N gas}}{1,14 \text{ m}^3 \text{ gas}} = 3980 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{ gas}}$$

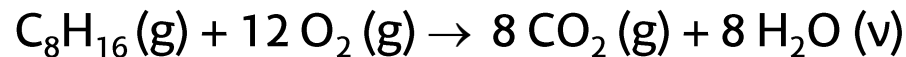
$$\text{PCI} = 3896 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{ N gas}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3 \text{ N gas}}{1,14 \text{ m}^3 \text{ gas}} = 3418 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{ gas}}$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.5. SOLUCIÓN (I)

- a) Al tratarse de un combustible líquido se tomará como referencia para el cálculo **1 kg de octilenos**. La reacción de combustión teórica es:

Aire teórico



$$1 \text{kg C}_8\text{H}_{16} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}_8\text{H}_{16}}{112 \text{ kg C}_8\text{H}_{16}} \cdot \frac{12 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol C}_8\text{H}_{16}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3\text{N O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} \cdot \frac{100 \text{ m}^3\text{N aire}}{21 \text{ m}^3\text{N O}_2} = 11,43 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}}$$

Gases húmedos teóricos de combustión

$$1 \text{kg C}_8\text{H}_{16} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}_8\text{H}_{16}}{112 \text{ kg C}_8\text{H}_{16}} \cdot \frac{8 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol C}_8\text{H}_{16}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3\text{N CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2} = 1,6 \frac{\text{m}^3\text{N CO}_2}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}}$$

$$1 \text{kg C}_8\text{H}_{16} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}_8\text{H}_{16}}{112 \text{ kg C}_8\text{H}_{16}} \cdot \frac{8 \text{ kmol H}_2\text{O}}{1 \text{ kmol C}_8\text{H}_{16}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3\text{N H}_2\text{O}}{1 \text{ kmol H}_2\text{O}} = 1,6 \frac{\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}}$$

$$11,43 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}} \cdot \frac{79 \text{ m}^3\text{N N}_2}{100 \text{ m}^3\text{N aire}} = 9,03 \frac{\text{m}^3\text{N N}_2}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}}$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.5. SOLUCIÓN (II)

$$V_{\text{húmedos}} = V_{(\text{CO}_2)} + V_{(\text{N}_2)} + V_{(\text{H}_2\text{O})} = 1,6 + 1,6 + 9,03 = 12,23 \frac{\text{m}^3\text{N gases combustión}}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}}$$

Temperatura adiabática de llama

$$T_A = \frac{Q_T}{c_m V} = \frac{Q_c}{c_m V} \quad Q_T = c_m \cdot V \cdot \Delta T = c_m \cdot V (T_A - 0)$$

	V (m ³ N/kg)	y _i	C _i (kcal/km ³ N°C)
CO ₂	1,60	1,60/12,23=0,13	0,406+9·10 ⁻⁵ T
H ₂ O	1,60	1,60/12,23=0,13	0,373+5·10 ⁻⁵ T
N ₂	9,03	9,3/12,23=0,74	0,302+2,2·10 ⁻⁵ T
Σ	12,23	1	

$$c_m \cdot V = V [0,13 (0,406 + 9 \cdot 10^{-5} T_A) + 0,13 (0,373 + 5 \cdot 10^{-5} T_A) + 0,74 (0,302 + 2,2 \cdot 10^{-5} T_A)]$$

$$= 12,23 \frac{\text{m}^3\text{N}}{\text{kgC}_8\text{H}_{16}} [0,325 + 3,45 \cdot 10^{-5} T_A] \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3\text{N}^\circ\text{C}} = 3,98 + 4,22 \cdot 10^{-4} T_A \frac{\text{kcal}}{\text{kgC}_8\text{H}_{16}^\circ\text{C}}$$

$$T_A = \frac{10500}{(3,98 + 4,22 \cdot 10^{-4} T_A) \text{kcal/kgC}_8\text{H}_{16}^\circ\text{C}} \rightarrow 4,22 \cdot 10^{-4} T_A^2 + 3,98 \cdot 10^{-4} T_A - 10500 = 0$$

$$\begin{cases} T_A = 214^\circ\text{C} \\ T_A < 0 \end{cases}$$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.5. SOLUCIÓN (III)

b) Se precalienta el aire a 600 °C y se considera que inicialmente está en cn (0°C y 1 atm)

Combustión teórica. Precalentamiento del aire a 600 °C. Temperatura adiabática de llama

$$T_A = \frac{Q_T}{c_m V} = \frac{Q_{\text{aire}} + Q_c}{c_m V} \quad Q_A = A_T \sum y_i c_i \Delta T \quad \Delta T = 600^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} = 600^\circ\text{C}$$

$$\sum y_i c_i = 0,21 \frac{\text{m}^3 \text{NO}_2}{\text{m}^3 \text{N aire}} (0,302 + 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 600) \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{NO}_2^\circ\text{C}}$$

$$+ 0,79 \frac{\text{m}^3 \text{N}_2}{\text{m}^3 \text{N aire}} (0,302 + 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 600) \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{N}_2^\circ\text{C}} = 0,315 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{N aire}^\circ\text{C}}$$

$$Q_A = A_T \sum y_i c_i \Delta T = 1,43 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}} \cdot 0,315 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{N aire}^\circ\text{C}} (600 - 0)^\circ\text{C} = 2161,6 \frac{\text{kcal}}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}}$$

$$\longrightarrow T_A = \frac{(2161,6 + 10500) \frac{\text{kcal}}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}}}{(3,98 + 4,22 \cdot 10^{-4} T_A) \frac{\text{kcal}}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}^\circ\text{C}}} \longrightarrow 4,22 \cdot 10^{-4} T_A^2 + 3,98 \cdot 10^{-4} T_A - 12661,6 = 0$$

$$\begin{aligned} &\swarrow T_A = \boxed{2512^\circ\text{C}} \\ &\searrow \cancel{T_A < 0} \end{aligned}$$

Al precalentar el aire $\rightarrow \uparrow T_A$

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.5. SOLUCIÓN (IV)

c) Combustión con un 20 % exceso de aire

Gases húmedos de combustión (n=1,2)

$$\text{CO}_2 = 1,6 \frac{\text{m}^3\text{N CO}_2}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}} \quad \text{H}_2\text{O} = 1,6 \frac{\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}} \quad \text{N}_2 = 9,03 \frac{\text{m}^3\text{N N}_2}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}} \cdot 1,2 = 10,84 \frac{\text{m}^3\text{N N}_2}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}}$$

$$\text{O}_2 = 11,43 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}} \cdot \frac{21\text{m}^3\text{N O}_2}{100\text{m}^3\text{N aire}} (1,2 - 1) = 0,48 \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}}$$

$$V_T = 14,52 \frac{\text{m}^3\text{N gases combustión}}{\text{kg C}_8\text{H}_{16}}$$

Temperatura adiabática de llama

$$T_A = \frac{Q_T}{c_m V} = \frac{Q_c}{c_m V}$$

	V (m ³ N/kg)	y _i	C _i (kcal/km ³ N°C)
CO ₂	1,60	1,60/14,52=0,11	0,406+9·10 ⁻⁵ T
H ₂ O	1,60	1,60/14,52=0,11	0,373+5·10 ⁻⁵ T
N ₂	10,84	10,84/14,52=0,75	0,302+2,2·10 ⁻⁵ T
O ₂	0,48	0,48/14,52=0,03	0,302+2,2·10 ⁻⁵ T
Σ	14,52	1	

PROBLEMAS NUMÉRICOS DE EFECTOS TÉRMICOS DE LA COMBUSTIÓN

PROBLEMA 3.5. SOLUCIÓN (V)

$$c_m \cdot V = V \left[0,1(0,406 + 9 \cdot 10^{-5} T_A) + 0,1(0,373 + 5 \cdot 10^{-5} T_A) + 0,75(0,302 + 2,2 \cdot 10^{-5} T_A) + 0,03(0,302 + 2,2 \cdot 10^{-5} T_A) \right]$$

$$= 14,52 \frac{\text{m}^3\text{N}}{\text{kgC}_8\text{H}_{16}} [0,321 + 3,26 \cdot 10^{-5} T_A] \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3\text{N}^\circ\text{C}} = 4,66 + 4,73 \cdot 10^{-4} T_A \frac{\text{kcal}}{\text{kgC}_8\text{H}_{16}^\circ\text{C}}$$

$$T_A = \frac{10500}{(4,66 + 4,73 \cdot 10^{-4} T_A) \text{kcal/kgC}_8\text{H}_{16}^\circ\text{C}} \longrightarrow 4,73 \cdot 10^{-4} T_A^2 + 4,66 \cdot 10^{-4} T_A - 10500 = 0$$

$$T_A = 1891^\circ\text{C}$$

$$~~T_A < 0~~$$

Al aumentar el
aire $\rightarrow \downarrow T_A$