



3. GAIA: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

JARDUERA PRAKTIKOAK (EBAZPENA)

Maite de Blas Martín
Blanca M^a Caballero Iglesias

Bilboko Ingeniaritza Eskola
Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurumenaren Ingeniaritza

ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

JARDUERA PRAKTIKOEN EBAZPENA

I) Zenbakizko buruketak:

3.1, 3.2, 3.3, 3.4 eta 3.5 buruketak



Lizentzia publikoan Pixabay
webgunean argitaraturiko
irudia [\[1\]](#)

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.1 BURUKETA. EBAZPENA (I)

1.2 buruketako fuel-olioa da. Aire teorikoaren eta errekontza-gas lehorren bolumena kalkulatzeko, 1. gaiko jarduera praktikoen ebazpena kontsultatu. Emaitzak:

$$A_T = 10,590 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuel - olio}}$$

$$V_T = 9,974 \frac{\text{m}^3\text{N errekontza-gas}}{\text{kg fuel-olio}}$$

$$V_{\text{CO}_2} = 1,587 \frac{\text{m}^3\text{N CO}_2}{\text{kg fuel-olio}}$$

Erabilitako airea eta errekontza-gas lehorren bolumena

Orsat tresnaren emaitza (% bolumenean, errekontza-gas lehorretan):

CO₂= % 13,87; O₂= % 2,93; CO=% 0

CO₂ eta CO balantzea planteatzen da $\rightarrow \frac{(\% \text{CO}_2 + \% \text{CO})}{100} V_0 = (V_{\text{CO}_2})_{\text{errekontza teorikoa}}$

$$\frac{(0 + 13,87) \text{ m}^3\text{N (CO}_2 + \text{CO)}}{100 \text{ m}^3\text{N errekontza-gas}} V_0 = 1,587 \frac{\text{m}^3\text{N CO}_2}{\text{kg fuel-olio}} \rightarrow V_0 = 11,44 \frac{\text{m}^3\text{N errekontza-gas}}{\text{kg fuel-olio}}$$

Errekontza teorikoan sortutako CO₂
konposatuaren bolumena

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.1 BURUKETA. EBAZPENA (II)

N_2 konposatuaren balantzea planteatzen da $\rightarrow \frac{(\%N_2)}{100} V_0 = \frac{79}{100} A_0 + (N_2)_{\text{erregai}}$

Errekuntza-gas lehorren N_2 konposatuaren edukia diferentziaz lortzen da:
(% $N_2 = 100 - 13,87 - 2,93 = \% 83,20$)

* Erregaiak ez du nitrogenorik

$$\frac{83,20 \text{ m}^3\text{N } N_2}{100 \text{ m}^3\text{N errektuntza-gas}} \cdot 11,44 \frac{\text{m}^3\text{N errektuntza-gas}}{\text{kg fuel-olio}} = \frac{79 \text{ m}^3\text{N } N_2}{100 \text{ m}^3\text{N aire}} A_0$$
$$\longrightarrow A_0 = 12,05 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuel-olio}}$$

$$n = \frac{A_0}{A_T} = \frac{12,05}{10,59} = 1,14$$

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.1 BURUKETA. EBAZPENA (III)

Giro-airea

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

3.1. Taula

$$w_0 = \frac{0,60 \cdot 12,80 \text{ mmHg}}{750 \text{ mmHg} - 0,60 \cdot 12,80 \text{ mmHg}} \cdot 12,05 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuel-olio}} = 0,12 \frac{\text{m}^3\text{N hezetasun}}{\text{kg fuel-olio}}$$

$$A_R = A_0 + w_0 \rightarrow A_R = 12,05 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuel-olio}} + 0,12 \frac{\text{m}^3\text{N hezetasun}}{\text{kg fuel-olio}} = 12,17 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuel-olio}}$$

Giro baldintzatan:

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

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.1 BURUKETA. EBAZPENA (IV)

Errekuntza-gasa hezeak baldintza normaletan

Ur-lurruna

1) Giro-airearen ur-lurruna (w_1): $w_1 = 0,12 \frac{\text{m}^3\text{N hezetasun}}{\text{kg fuel-olio}}$

2) Erregaiaren hezetasuna (w_2):

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

3) Fuel-olioaren hidrogenoaren errektuntzatik sortutako ur-lurruna (w_3):

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

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

$$V_R = 11,44 + 0,12 + 0,01 + 1,23 = 12,80 \frac{\text{m}^3\text{N errektuntza-gas heze}}{\text{kg fuel-olio}}$$

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.1 BURUKETA. EBAZPENA (V)

Errekuntza-gasen ihintz-puntua

$$P_{H_2O} = y_{H_2O} \cdot P = \frac{n_{H_2O}}{n_T} \cdot P \xrightarrow{\text{3.1 taula}} \text{ihintz-tenperatura}$$

$$P_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_T} \cdot P = \frac{W}{W_{RW}} \cdot P = \frac{(0,12 + 0,01 + 1,23) \frac{\text{m}^3\text{N hezetasun}}{\text{kg fuel-olio}}}{12,80 \frac{\text{m}^3\text{N errekontza-gas}}{\text{kg fuel-olio}}} \cdot 750 \text{ mm Hg} = 79,69 \text{ mm Hg}$$

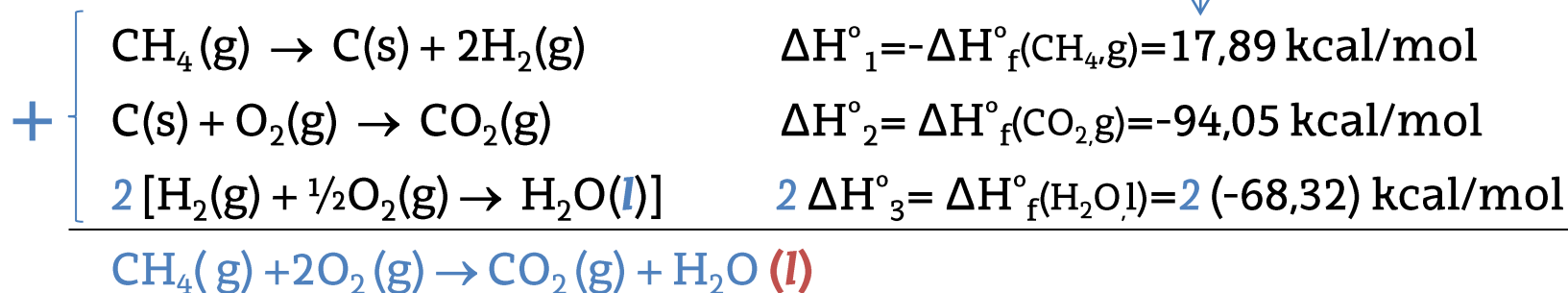
$$\xrightarrow{\text{3.1 taula}} P_{\text{sat}}(47^\circ\text{C}) = 79,71 \text{ mm Hg} \xrightarrow{\text{ihintz-T}} \boxed{\approx 47^\circ\text{C}}$$

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.2 BURUKETA. EBAZPENA

Metano (CH_4) konposatuaren goiko berotze-ahalmena, konposatua eratzen duten C(s) eta $\text{H}_2(\text{g})$ elementuetan, deskonposatzen dela suposatuz, haren errekontza-beroa ezagutuz eta **Hess-en Legea** aplikatuz kalkulatu da. Emaitzak:

3.2. Taula



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

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

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.3 BURUKETA. EBAZPENA (I)

a) Pentano (C_5H_{12}) konposatuaren goiko berotze-ahalmena **petrolioaren deribatuen formulak** erabiliz. Emaizak:

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

$$1 \text{ mol } C_5H_{12} \longrightarrow 5 \text{ mol } C \cdot \frac{12 \text{ g}}{1 \text{ mol } C} = 60 \text{ g } C$$

$$\longrightarrow 12 \text{ mol } H \cdot \frac{1 \text{ g } H}{1 \text{ mol } H} = 12 \text{ g } H$$

$$72 \text{ g } C_5H_{12}$$

$$\frac{60 \text{ g } C}{72 \text{ g } C_5H_{12}} \cdot 100 = 83,3\% C$$

$$\frac{12 \text{ g } H}{72 \text{ g } C_5H_{12}} \cdot 100 = 16,7\% H$$

$$d = 0,25 + 0,0913 \left(\frac{\%C}{\%H} \right) = 0,25 + 0,0913 \left(\frac{83,3}{16,7} \right) = 0,705 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

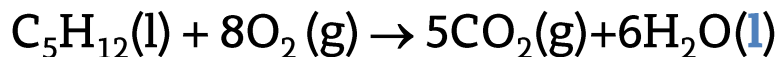
$$BBA = 12925 - 3200 \cdot 0,705 = \boxed{10669 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}}$$

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

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.3 BURUKETA. EBAZPENA (II)

- a) Pentano (C_5H_{12}) konposatuaren goiko berotze-ahalmena **petrolioaren deribatuen formulak** erabiliz. Emaizak:



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

$$BBA = GBA - m \lambda_{\text{kondentsazio}} \left\{ \begin{array}{l} m: \text{kg ur-lurrin} / \text{kg (m}^3\text{N) erregai} \\ \lambda_{\text{kondentsazio}}: 584 \text{ kcal} / \text{kg ur-lurrin (25}^\circ\text{C)} \end{array} \right.$$

$$BBA = 10669 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } C_5H_{12}} + 584 \frac{\text{kcal}}{\text{kg ur-lurrin}} \cdot 1,5 \frac{\text{kg ur-lurrin}}{\text{kg } C_5H_{12}} = 11545 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } C_5H_{12}}$$

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.3 BURUKETA. EBAZPENA (III)

b) Pentano (C_5H_{12}) konposatuaren goiko berotze-ahalmena **Boie** formulak erabiliz. Emaizak:

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

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

$$CH_{2z} \rightarrow z(\text{erlazio molarra})$$
$$2z = \frac{H}{C} = \frac{12}{5} = 2,4 \longrightarrow z = 1,2$$

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

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

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.4 BURUKETA. EBAZPENA (I)

Argiztapen-gasaren berotze-ahalmenaren kalkulua baldintza normaletan. Erregaia gaseosoa denez, erreferentzia moduan 1 m³N argiztapen-gas hartzen da:

$$BA = \sum_{i=1}^n y_i BA_i$$

3.3. Taula

Gasa	% bolumenean	m³N	y _i	GBA (kcal/m³N)	BBA (kcal/m³N)
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		

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

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

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.4 BURUKETA. EBAZPENA (II)

Argiztapen-gasaren berotze-ahalmenaren kalkulua giro-baldintzatan

Mol-kopurua berdinduz gero, baldintza normaletan eta giro-baldintzatan:

$$n_0 = n \Rightarrow \frac{P V}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0}$$

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

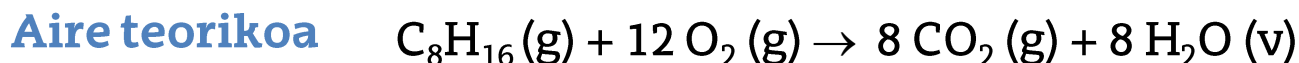
$$\text{GBA} = 4357 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{N gas}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3 \text{N gas}}{1,14 \text{ m}^3 \text{ gas}} = \boxed{3980 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{ gas}}}$$

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

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.5 BURUKETA. EBAZPENA (I)

- a) Erregaia likidoa denez, erreferentzia moduan **1 kg oktileno** hartzen da. Errekuntza teorikoaren erreakzioa hurrengoa da:



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

Errekuntza-gas teorikoak (hezetasuna kontuan hartuz)

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

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

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

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.5 BURUKETA. EBAZPENA (II)

$V_f \text{ hezeak}) = V_{(CO_2)} + V_{(N_2)} + V_{(H_2O)} = 1,6 + 1,6 + 9,03 = 12,23 \frac{m^3N \text{ errekontza-gas}}{kg C_8H_{16}}$

Garraren temperatura adiabatikoa

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

Gasa	V (m³N/kg)	Y _i (%)	C _i (kcal/km³N°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+2.10 ⁻⁵ T
Σ:	12,23	1	

$c_m \cdot V = V[0,13(0,406 + 9 \cdot 10^{-5}T_A) + 0,13(0,373 + 5 \cdot 10^{-5}T_A) + 0,74(0,302 + 2,2 \cdot 10^{-6}T_A)]$
 $= 12,23 \frac{m^3N}{kgC_8H_{16}} [0,325 + 3,45 \cdot 10^{-5}T_A] \frac{kcal}{m^3N^\circ C} = 3,98 + 4,22 \cdot 10^{-4}T_A \frac{kcal}{kgC_8H_{16}^\circ C}$
 $T_A = \frac{10500}{(3,98 + 4,22 \cdot 10^{-4}T_A) \frac{kcal}{kgC_8H_{16}^\circ C}} \longrightarrow 4,22 \cdot 10^{-4}T_A^2 + 3,98 \cdot 10^{-4}T_A - 10500 = 0$

$T_A = 2141^\circ C$
 ~~$T_A < 0$~~

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.5 BURUKETA. EBAZPENA (III)

b) Airealdez aurretik 600 °C-an berotzen da eta hasiera batean baldintza normaletan (0°C y 1 atm) dagoela kontuan hartzen da

Errekuntza teorikoa, airea 600 °C-an. Garraren temperatura adiabatikoa

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

$\sum y_i c_i = 0,21 \frac{m^3 NO_2}{m^3 N_{aire}} (0,302 + 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 600) \frac{kcal}{m^3 NO_2 ^\circ C}$

$+ 0,79 \frac{m^3 N_2}{m^3 N_{aire}} (0,302 + 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 600) \frac{kcal}{m^3 N_2 ^\circ C} = 0,315 \frac{kcal}{m^3 N_{aire} ^\circ C}$

$Q_A = A_T \sum y_i c_i \Delta T = 1,143 \frac{m^3 N_{aire}}{kg C_8H_{16}} \cdot 0,315 \frac{kcal}{m^3 N_{aire} ^\circ C} (600 - 0) ^\circ C = 2161,6 \frac{kcal}{kg C_8H_{16}}$

$\longrightarrow T_A = \frac{ (2161,6 + 10500) }{ (3,98 + 4,22 \cdot 10^{-4} T_A) } \frac{kcal/kg C_8H_{16}}{^\circ C} \longrightarrow 4,22 \cdot 10^{-4} T_A^2 + 3,98 \cdot 10^{-4} T_A - 12661,6 = 0$

$T_A = 2512^\circ C$
 ~~$T_A < 0$~~

Airealdez aurretik
berotzearen
ondorioz: $\uparrow T_A$

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.5 BURUKETA. EBAZPENA (IV)

c) Errekuntza gehiegizko airearekin (% 20)

Errekuntza-gas hezeak (n=1,2)

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

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

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

Garraren temperatura adiabatikoa

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

Gasa	V (m³N/kg)	V _i (%)	C _i (kcal/km³N°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	

ZENBAKIZKO BURUKETAK: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

3.5 BURUKETA. EBAZPENA (V)

$$\begin{aligned} c_m \cdot V &= V \left[0,1(0,406 + 9 \cdot 10^{-5} T_A) + 0,1(0,373 + 5 \cdot 10^{-5} T_A) + 0,7(0,302 + 2,2 \cdot 10^{-5} T_A) \right. \\ &\quad \left. + 0,03(0,302 + 2,2 \cdot 10^{-5} T_A) \right] \\ &= 14,52 \frac{\text{m}^3\text{N}}{\text{kgC}_8\text{H}_{16}} [0,321 + 3,26 \cdot 10^{-5} T_A] \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3\text{N}^\circ\text{C}} = 4,66 + 4,73 \cdot 10^{-4} T_A \frac{\text{kcal}}{\text{kgC}_8\text{H}_{16}^\circ\text{C}} \\ T_A &= \frac{10500}{(4,66 + 4,73 \cdot 10^{-4} T_A) \text{kcal/kgC}_8\text{H}_{16}^\circ\text{C}} \longrightarrow 4,73 \cdot 10^{-4} T_A^2 + 4,66 \cdot 10^{-4} T_A - 10500 = 0 \end{aligned}$$

$T_A = 1891^\circ\text{C}$
 ~~$T_A < 0$~~

Airea aldez aurretik
berotzearen
ondorioz: $\downarrow T_A$