



4: BALANTZE TERMIKOAK ERREKUNTZA-PROZESUETAN

JARDUERA PRAKTIKOAK, EBAZPENA I

Maite de Blas Martín
Blanca M^a Caballero Iglesias

Bilboko Ingeniaritza Eskola
Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurumenaren Ingeniaritza

BALANTZE TERMIKOAK ERREKUNTZA-PROZESUETAN

JARDUERA PRAKTIKOEN EBAZPENA (I)

I) Balantze termikoen buruketak:

4.1 eta 4.2 buruketak



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

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (I)

a) Aire teorikoaren bolumenaren kalkulua

Erregai likidoa denez, erreferentzia moduan **100 kg fuel-olio** hartuko da. Ondoko taulan erregaiaren konposizioa (ehunekoak pisuan) zein errekontza osoari dagozkion erreakzioak biltzen dira:

Konposizioa	% pisuan	Errekuntza-erreakzioa
C	87	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
H	10	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
S	1,5	$S + O_2 \rightarrow SO_2$
Hezetasuna	0,5	-
Sedimentuak	10	-

$$\frac{87 \text{ kg C}}{100 \text{ kg fuel - olio}} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}}{12 \text{ kg C}} \cdot \frac{1 \text{ kmol } O_2}{1 \text{ kmol C}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N } O_2}{1 \text{ kmol } O_2} = 1,624 \frac{\text{m}^3 \text{N } O_2}{\text{kg fuel - olio}}$$

$$\frac{10 \text{ kg H}}{100 \text{ kg fuel - olio}} \cdot \frac{1 \text{ kmol } H_2}{2 \text{ kg H}} \cdot \frac{1/2 \text{ kmol } O_2}{1 \text{ kmol } H_2} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N } O_2}{1 \text{ kmol } O_2} = 0,560 \frac{\text{m}^3 \text{N } O_2}{\text{kg fuel - olio}}$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (II)

$$\frac{1,5 \text{ kg S}}{100 \text{ kg fuel - olio}} \cdot \frac{1 \text{ kmol S}}{32 \text{ kg S}} \cdot \frac{1 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol S}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} = 0,011 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg fuel - olio}}$$

Batuketa eginuz **oxigeno teorikoa** lortzen da:

$$O_T = 1,624 + 0,560 + 0,011 = 2,195 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg fuel - olio}}$$

Eta aire lehorraren oxigeno-proporzioa kontuan hartuz, **aire teorikoa**:

$$2,195 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg fuel - olio}} \cdot \frac{100 \text{ m}^3 \text{N aire}}{21 \text{ m}^3 \text{N O}_2} = 10,45 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{kg fuel - olio}} \longrightarrow A_T = 10,45 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{kg fuel - olio}}$$

Errekuntza-gasen bolumenaren kalkulua (errekuntza teorikoa)

$$\frac{87 \text{ kg C}}{100 \text{ kg fuel - olio}} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}}{12 \text{ kg C}} \cdot \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol C}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2} = 1,624 \frac{\text{m}^3 \text{N CO}_2}{\text{kg fuel - olio}}$$

$$\frac{1,5 \text{ kg S}}{100 \text{ kg fuel - olio}} \cdot \frac{1 \text{ kmol S}}{32 \text{ kg S}} \cdot \frac{1 \text{ kmol SO}_2}{1 \text{ kmol S}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N SO}_2}{1 \text{ kmol SO}_2} = 0,011 \frac{\text{m}^3 \text{N SO}_2}{\text{kg fuel - olio}}$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (III)

$$10,45 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuel - olio}} \cdot \frac{79 \text{ m}^3\text{N N}_2}{100 \text{ m}^3\text{N aire}} = 8,256 \frac{\text{m}^3\text{N N}_2}{\text{kg fuel - olio}}$$

↓
Airearen N₂

Batuketa eginuz errektuntza-gasen bolumen totala lortzen da:

$$V_T = 1,624 + 0,011 + 8,256 = 9,891 \longrightarrow V_T = 9,891 \frac{\text{m}^3\text{N errektuntza - gas}}{\text{kg fuel - olio}}$$

b) Gehiegizko airea. Airearen eta errektuntza-gasen bolumenak

Oxigenoaren eta errektuntza-gasen balantzeak planteatzen dira. Errektuntza osoa denez:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\%O_2}{100} \cdot V_0 = \frac{21}{100} \cdot (n-1) \cdot A_T \\ V_0 = V_T + (n-1) \cdot A_T \end{array} \right\} \longrightarrow \frac{\%O_2}{100} \cdot [V_T + (n-1) \cdot A_T] = \frac{21}{100} \cdot (n-1) \cdot A_T$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (IV)

Aurreko ekuazioan balioak ordezkatzuz "n" aldagai ezezagun bakarra da:

$$\frac{4,4}{100} [9,89 + (n - 1) \cdot 10,45] = \frac{21}{100} (n - 1) \cdot 10,45 \longrightarrow n = 1,25$$

$$A_0 = nA_T = 1,25 \cdot 10,45 \longrightarrow A_0 = 13,06 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuel - olio}}$$

$$V_0 = V_T + (n - 1) \cdot A_T = 9,89 + (1,25 - 1) \cdot 10,45 \longrightarrow V_0 = 12,50 \frac{\text{m}^3\text{N errekontza - gas}}{\text{kg fuel - olio}}$$

c) Giro-airea

Errekuntza-aireak duen ur-lurrunaren kalkulua: $w_0 = \frac{\phi P_{\text{sat}}(T)}{P - \phi P_{\text{sat}}(T)} A_0$

$$w_0 = \frac{(0,50 \cdot 23,78) \text{ mmHg}}{(750 - 0,50 \cdot 23,78) \text{ mmHg}} 13,06 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuel - olio}} \longrightarrow w_0 = 0,21 \frac{\text{m}^3\text{NH}_2\text{O}}{\text{kg fuel - olio}}$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (V)

Aire hezea baldintza normaletan: $A_R = A_0 + w_0$

$$A_R = 13,06 + 0,21 \longrightarrow A_R = 13,27 \frac{\text{m}^3\text{N aire hezea}}{\text{kg fuel - olio}}$$

Giro-aria (giro-baldintzatan): $\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{PV}{T}$

$$\frac{760 \text{ mmHg} \cdot 13,27 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuel - olio}}}{273 \text{ K}} = \frac{750 \text{ mmHg} \cdot V}{(25 + 273) \text{ K}} \longrightarrow V = 14,68 \frac{\text{m}^3 \text{ giro - aire}}{\text{kg fuel - olio}}$$

d) Errekuntza-gasen bolumena. Ur-lurruna kontuan hartu behar da:

- Airearen hezetasuna: $w_1 = 0,21 \frac{\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}}{\text{kg fuel - olio}}$
- Erregaiaren hezetasuna. 100 kg fuel-olio: 0,5 kg H₂O + 40 kg H₂O

↑
Fuel-olioa lainoztatzeko:
0,4 kg H₂O/kg fuel-olio

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (VI)

$$\frac{40,5 \text{ kg H}_2\text{O}}{100 \text{ kg fuel - olio}} \cdot \frac{1 \text{ kmol H}_2\text{O}}{18 \text{ kg H}_2\text{O}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3\text{N H}_2\text{O}}{1 \text{ kmol H}_2\text{O}} = 0,504 \frac{\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}}{\text{kg fuel - olio}} \rightarrow w_2 = 0,504 \frac{\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}}{\text{kg fuel - olio}}$$

- Erregaiaren hidrogenoaren errekontzan sortutako ur-lurrina:

$$\frac{10 \text{ kg H}}{100 \text{ kg fuel - olio}} \cdot \frac{1 \text{ kmol H}_2}{2 \text{ kg H}} \cdot \frac{1 \text{ kmol H}_2\text{O}}{1 \text{ kmol H}_2} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3\text{N H}_2\text{O}}{1 \text{ kmol H}_2\text{O}} = 1,12 \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{kg fuel - olio}} \rightarrow W_3 = 1,12 \frac{\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}}{\text{kg fuel - olio}}$$

$$\text{Batuketa eginez: } 0,21 + 0,504 + 1,12 = 1,834 \frac{\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}}{\text{kg fuel - olio}}$$

Errekuntza-gasen gainerako osagaiak kalkulatzeko errekontza osoa dela eta $n=1,25$ dela kontuan hartu behar da:

CO_2 eta SO_2 konposatuen bolumenak errekontza teorikoan sortutakoak dira:

$$V_{\text{CO}_2} = 1,624 \frac{\text{m}^3\text{N CO}_2}{\text{kg fuel - olio}}; \quad V_{\text{SO}_2} = 0,011 \frac{\text{m}^3\text{N SO}_2}{\text{kg fuel - olio}}$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (VII)

- O₂ eta N₂ konposatuen bolumenak:

$$(n-1) \cdot \frac{21}{100} A_T = (1,25-1) \cdot \frac{21}{100} 10,45 = 0,549 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg fuel - olio}} = V_{\text{O}_2}$$

$$n \cdot \frac{79}{100} A_T = 1,25 \cdot \frac{79}{100} 10,45 = 10,320 \frac{\text{m}^3 \text{N N}_2}{\text{kg fuel - olio}} = V_{\text{N}_2}$$

Gas lehorren bolumena: $V_0 = 12,50 \frac{\text{m}^3 \text{N errekontza-gas}}{\text{kg fuel-olio}}$

Ur-lurrina batuz, gas hezeen bolumena: $V_R = 14,34 \frac{\text{m}^3 \text{N errekontza - gas}}{\text{kg fuel - olio}}$

Konposizioa lortzeko:

- Oinarri hezean: $\% i = \frac{V_i}{V_R} \cdot 100$

- Oinarri lehorrean: $\% i = \frac{V_i}{V_0} \cdot 100$

Adibidez: $\% \text{CO}_2 = \frac{1,624}{14,34} \cdot 100 = \% 11,33$

Konposizioa	Oinarri hezean	Oinarri lehorrean
% CO ₂	11,33	12,99
% SO ₂	0,08	0,09
% O ₂	3,83	4,39
% N ₂	71,97	82,53
% H ₂ O	12,79	-

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (VIII)

- Orsat tresnaren emaitza, oinarri lehorreko konposizioa eta lehenengo ganberan CO₂ eta SO₂ konposatuak xurgatzen dira:

$$\% \text{CO}_2 = 12,99 + 0,09 = \% \mathbf{13,08}, \quad \% \text{O}_2 = \% \mathbf{4,39}, \quad \% \text{N}_2 = \% \mathbf{82,53}$$

e) Berotze-ahalmena

↑
Diferentziaz

$$\text{BBA} = 12925 - 3200 d_r - 70 (\%S)$$

$$\text{BBA} = 12925 - 3200 \cdot 0,965 - 70 \cdot 1,5 = \mathbf{9732 \text{ kcal/kg fuel-olio}}$$

Goiko berotze-ahalmena kalkulatzeko, ur-lurrunaren kondentsazio-beroaren datua, 598,3 kcal/kg, behar da. Lainoztatzean gehitutako ur-lurruna, erregaiaren hezetasuna eta errekontzan sortutako ur-lurruna kontuan hartu behar dira; baina ez airearen ur-lurruna, berotze-ahalmena erregaiaren ezaugarria baita eta ez errekarriarena.

$$w = 0,504 + 1,12 = 1,624 \text{ m}^3 \text{N H}_2\text{O/kg fuel -olio}$$

$$1,624 \frac{\text{m}^3 \text{N H}_2\text{O}}{\text{kg fuel - olio}} \cdot \frac{1 \text{ kmol H}_2\text{O}}{22,4 \text{ m}^3 \text{N H}_2\text{O}} \cdot \frac{18 \text{ kg H}_2\text{O}}{1 \text{ kmol H}_2\text{O}} = 1,305 \frac{\text{m}^3 \text{N H}_2\text{O}}{\text{kg fuel - olio}}$$

$$\text{GBA} = \text{BBA} + m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Q_{\text{kondentsazio}} = 9732 + 1,305 \cdot 598,3 = \mathbf{10513 \text{ kcal/kg fuel-olio}}$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (IX)

f) Garraren temperatura

Garraren temperatura adiabatikoa: $T_A = \frac{Q_c + Q_a + Q_f + Q_v}{c_m V}$

$Q_c = GBA = 10513 \text{ kcal/kg fuel-olio}$

$Q_a = A_R C_a T_a = 13,27 \text{ m}^3\text{N/kg} \cdot 0,310 \text{ kcal/m}^3\text{N}^\circ\text{C} \cdot 25 \text{ }^\circ\text{C} = 103 \text{ kcal/kg fuel-olio}$

$Q_f = C_f T_f = 0,440 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C} \cdot 100 \text{ }^\circ\text{C} = 44 \text{ kcal/kg fuel-olio}$

$Q_v = m_v H_v = 0,4 \text{ kg ur-lurrun/kg} \cdot 660 \text{ kcal/kg ur-lurrun} = 264 \text{ kcal/kg fuel-olio}$

Kalkulatutako balioak, c_m ($0,390 \text{ kcal/m}^3\text{N }^\circ\text{C}$) eta gasen bolumena ($14,34 \text{ m}^3\text{N/kg}$) garraren temperatura adiabatikoaren ekuazioan ordezkatu:

$$T_A = \frac{(10513 + 103 + 44 + 264) \frac{\text{kcal}}{\text{kg fuel - olio}}}{0,390 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3\text{N gas } ^\circ\text{C}} \cdot 14,34 \frac{\text{m}^3\text{N gas}}{\text{kg fuel - olio}}} = 1953 \text{ }^\circ\text{C} \leftarrow \text{Garraren temperatura adiabatikoa}$$

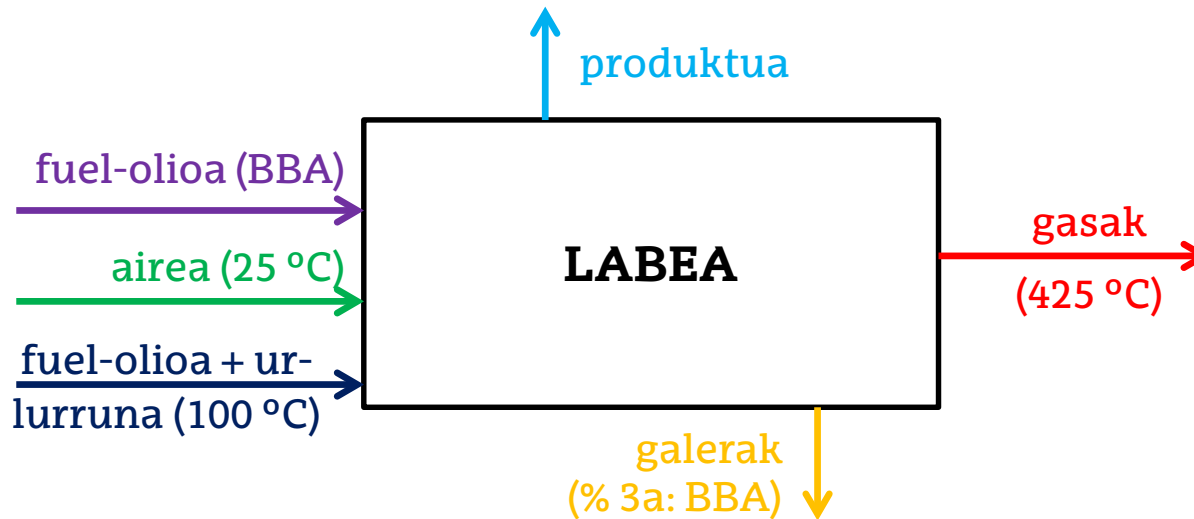
$$\eta_p = \frac{T_{LL}}{T_A} \longrightarrow T_{LL} = 0,70 \cdot 1953 \text{ }^\circ\text{C} = \boxed{1367 \text{ }^\circ\text{C}} \leftarrow \text{Garraren temperatura erreala}$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (X)

g) Labearen etekin termikoa

Prozesuaren bero-fluxuaren diagrama:



Balantze termikoa (erretzen diren 100 kg fuel-olio kontuan hartuz):

$$Q_c + Q_a + Q_f + Q_v = Q_p + Q_h + P$$

↑
Produktuari emandako
beroa (bero erabilgarria)

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (XI)

Sarrerak (100 kg fuel-olio):

$$Q_c = 100 \text{ kg fuel-olio-olio} \cdot 9732 \text{ kcal /kg fuel-olio} = 973200 \text{ kcal}$$

$$Q_a = 100 \text{ kg fuel-olio} \cdot 103 \text{ kcal/kg fuel-olio} = 10300 \text{ kcal}$$

$$Q_f = 100 \text{ kg fuel} \cdot 44 \text{ kcal/kg fuel-olio} = 4400 \text{ kcal}$$

$$Q_v = 100 \text{ kg fuel} \cdot 264 \text{ kcal/kg fuel-olio} = 26400 \text{ kcal}$$

Irteerak (100 kg fuel-olio):

$$Q_h = 100 \text{ kg fuel-olio} \cdot 14,34 \text{ m}^3\text{N/kg fuel-olio} \cdot 0,345 \text{ kcal/m}^3\text{N}^\circ\text{C} \cdot 425 \text{ }^\circ\text{C} =$$

$$Q_h = 210260 \text{ kcal}$$

$$P = 0,03 \cdot 973200 \text{ kcal} = 29196 \text{ kcal}$$

Balantze termikoan ordezkatur, ezezagun bakarria Q_p da: $Q_p = 774844 \text{ kcal}$

$$\eta_t = \frac{Q_p}{Q_c} = \frac{774844}{973200} = 0,796 \longrightarrow \eta_t = \% 79,6$$

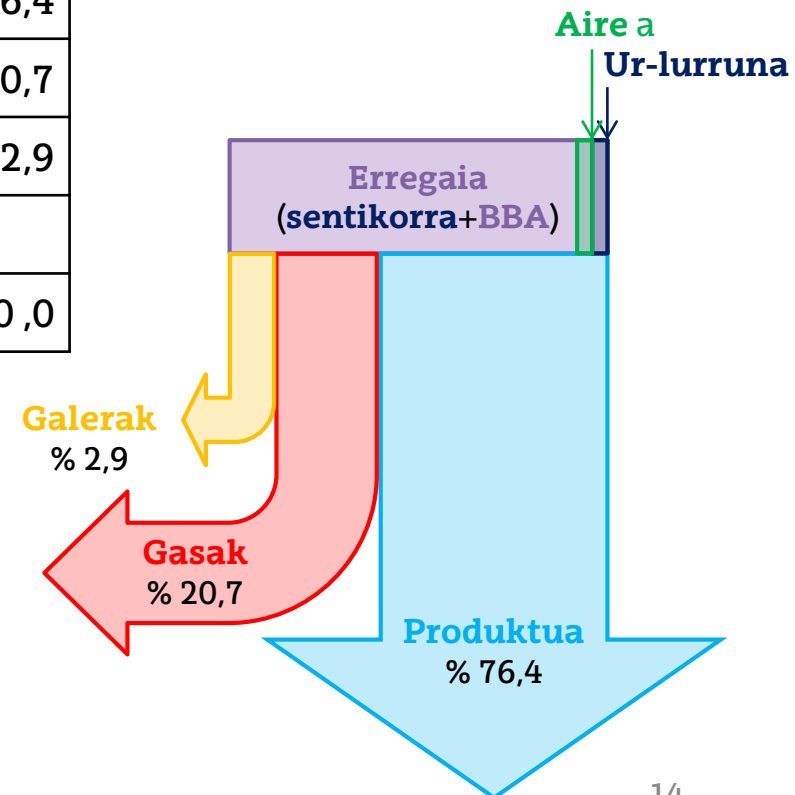
$$\eta_c = \frac{Q_c - Q_h}{Q_c} = \frac{973200 - 210260}{973200} = 0,783 \longrightarrow \eta_c = \% 78,3$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.1. BURUKETA. EBAZPENA (XII)

h) Balantze termikoa eta Sankey diagrama (100 kg fuel-olio)

Sarrerak	Q(kcal)	Irteerak	Q(kcal)	%
Fuel-olio	973200	Produktua	774844	76,4
Airea	10300	Gasak	210260	20,7
Fuel-olioa	4400	Galerak	29196	2,9
Ur-lurruna	26400			
Totala:	1014300	Totala:	1014300	100,0



BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (I)

a) Aire teorikoaren bolumenaren kalkulua

Erregai gaseosoa denez, erreferentzia moduan $100 \text{ m}^3\text{N}$ erregai hartuko da. Taulan erregaiaren konposizioa eta errekuntza osoaren erreakzioak biltzen dira:

Konposizioa	% bolumenean	Errekuntza-erreakzioa
CO	45	$\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
H ₂	50	$\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
CO ₂	5	Inertia

$$\frac{45 \text{ m}^3\text{N CO}}{100 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot \frac{1/2 \text{ m}^3\text{N O}_2}{1 \text{ m}^3\text{N CO}} = 0,225 \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

$$\frac{50 \text{ m}^3\text{N H}_2}{100 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot \frac{1/2 \text{ m}^3\text{N O}_2}{1 \text{ m}^3\text{N H}_2} = 0,250 \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

$$O_T = 0,475 \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

$$0,475 \frac{\text{m}^3\text{N O}_2}{\text{m}^3\text{N gas}} \cdot \frac{100 \text{ m}^3\text{N aire}}{21 \text{ m}^3\text{N O}_2} = 2,26 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{m}^3\text{N gas}} \rightarrow A_T = 2,26 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (II)

Errekuntza-gasen bolumenaren kalkulua (errekuntza teorikoa)

$$\frac{45 \text{ m}^3\text{N CO}}{100 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3\text{N CO}_2}{1 \text{ m}^3\text{N CO}} = 0,450 \frac{\text{m}^3\text{N CO}_2}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

$$\frac{5 \text{ m}^3\text{N CO}_2}{100 \text{ m}^3\text{N gas}} = 0,050 \frac{\text{m}^3\text{N CO}_2}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

Erregaiaren CO₂ konposatua

$$2,26 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{m}^3\text{N gas}} \cdot \frac{79 \text{ m}^3\text{N N}_2}{100 \text{ m}^3\text{N aire}} = 1,785 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

Airearen N₂ konposatua

$$V_T (\text{lehorrak}) = 0,450 + 0,050 + 1,785 = 2,29 \frac{\text{m}^3\text{N errektuntza - gas}}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

$$\frac{50 \text{ m}^3\text{N H}_2}{100 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3\text{N H}_2\text{O}}{1 \text{ m}^3\text{N H}_2} = 0,50 \frac{\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}}{\text{m}^3\text{N gas}} \longrightarrow V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,50 \frac{\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

$$V_{\text{CO}_2} = 0,50 \frac{\text{m}^3\text{N CO}_2}{\text{m}^3\text{N gas}}$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (III)

b) Gehiegizko airea. Airearen eta errektuntza-gasen bolumenak

$$\text{CO}_2\text{-balantzea: } \frac{(\% \text{CO}_2)}{100} V_0 = (V_{\text{CO}_2})_{\text{errektuntza teorikoa}}$$

$$\frac{15}{100} V_0 = 0,50 \frac{\text{m}^3 \text{N CO}_2}{\text{m}^3 \text{N gas}} \longrightarrow V_0 = 3,33 \frac{\text{m}^3 \text{N errektuntza - gas}}{\text{m}^3 \text{N gas}}$$

$$\text{O}_2\text{-balantzea: } \frac{\% \text{O}_2}{100} \cdot V_0 = \frac{21}{100} \cdot (n - 1) \cdot A_T$$

$$\frac{7}{100} \cdot 3,33 = \frac{21}{100} \cdot (n - 1) \cdot 2,26 \longrightarrow n = 1,49$$

$$A_0 = n A_T = 1,49 \cdot 2,26 \longrightarrow A_0 = 3,37 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{m}^3 \text{N gas}}$$

c) Giro-airea

$$\text{Errektuntza-airearen ur-lurrunaren kalkulua: } w_0 = \frac{\phi P_{\text{sat}}(T)}{P - \phi P_{\text{sat}}(T)} A_0$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (IV)

$$w_0 = \frac{(0,80 \cdot 23,78) \text{ mmHg}}{(755 - 0,80 \cdot 23,78) \text{ mmHg}} \cdot 3,37 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{m}^3 \text{N gas}} \longrightarrow w_0 = 0,087 \frac{\text{m}^3 \text{N H}_2\text{O}}{\text{m}^3 \text{N gas}}$$

Aire hezea baldintza normaletan: $A_R = A_0 + w_0$

$$A_R = 3,37 + 0,087 \longrightarrow A_R = 3,46 \frac{\text{m}^3 \text{N aire heze}}{\text{m}^3 \text{N gas}}$$

Giro-airea (giro-baldintzatan): $\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{PV}{T}$

$$\frac{760 \text{ mmHg} \cdot 3,46 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{m}^3 \text{N gas}}}{273 \text{ K}} = \frac{755 \text{ mmHg} \cdot V}{(25 + 273) \text{ K}} \longrightarrow V = 3,80 \frac{\text{m}^3 \text{ giro-airea}}{\text{m}^3 \text{N gas}}$$

Errekuntza-gasen bolumena. Ur-lurrunaren kalkulua:

- Airearen hezetasuna: $w_1 = 0,087 \frac{\text{m}^3 \text{N H}_2\text{O}}{\text{m}^3 \text{N gas}}$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (V)

- Erregaiak ez du hezetasunik: $w_2 = 0$
- H_2 -aren errekontzan sortutako ur-lurruna (a atala): $w_3 = 0,50 \frac{m^3 N H_2 O}{m^3 N \text{ gas}}$

Batuketa eginez: $w = 0,087 + 0,50 = 0,587 \frac{m^3 N H_2 O}{m^3 N \text{ gas}}$

$$V_R = V_0 + w = 3,33 + 0,587 = 3,92 \frac{m^3 N \text{ errekontza - gas}}{m^3 N \text{ gas}}$$

d) Berotze-ahalmena

$$GBA = 0,45 \frac{m^3 N CO}{m^3 N \text{ gas}} 3030 \frac{kcal}{m^3 N CO} + 0,50 \frac{m^3 N H_2}{m^3 N \text{ gas}} 3060 \frac{kcal}{m^3 N H_2} = 2893,5 \frac{kcal}{m^3 N \text{ gas}}$$

$$0,50 \frac{m^3 N H_2 O}{m^3 N \text{ gas}} \cdot \frac{1 \text{ kmol } H_2 O}{22,4 m^3 N H_2 O} \cdot \frac{18 \text{ kg } H_2 O}{1 \text{ kmol } H_2 O} = 0,402 \frac{m^3 N H_2 O}{m^3 N \text{ gas}}$$

← Erregaiaren hidrogenoaren errekontzan sortutako ur-lurruna

$$BBA = GBA - m_{ur-lurrun} \cdot \lambda_{kondentsazio} = 2893,5 - 0,402 \cdot 598,3 = 2653,0 \frac{kcal}{m^3 N \text{ gas}}$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (VI)

e) Garraren tenperatura adiabatikoa

Garraren tenperatura adiabatikoa: $T_A = \frac{Q_c + Q_a + Q_f}{c_m V}$

Airea eta erregaia ez dira aldez aurretik berotzen ($Q_a = Q_f = 0$). Balioak ordezkatzuz: Q_c (GBA = 2893,5 kcal/m³N), c_m (0,40 kcal/m³N°C) eta errektuntza-gasen bolumena (3,92 m³N errektuntza-gas/m³N):

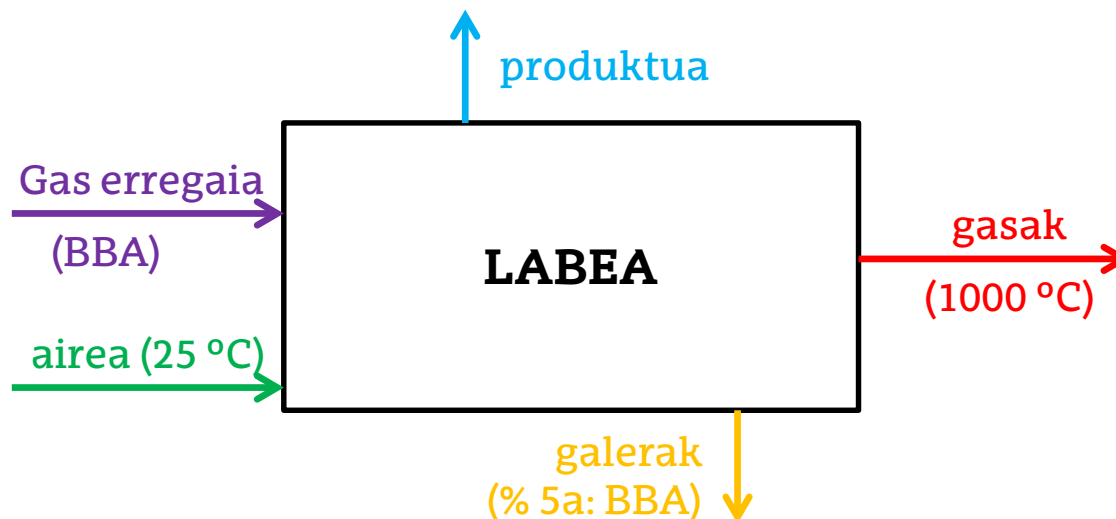
$$T_A = \frac{2893,5 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3\text{N gas}}}{0,40 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3\text{N errektuntza-gas } ^\circ\text{C}} \cdot 3,92 \frac{\text{m}^3\text{N errektuntza-gas}}{\text{m}^3\text{N gas}}} = 1845 \text{ } ^\circ\text{C}$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (VII)

f) Etekin termikoa eta labearen errekontzaren etekina

Prozesuaren bero-fluxuaren diagrama:



Balantze termikoa (erretzen den $1 \text{ m}^3\text{N}$ gas, errekontza-airearen bero-ekarpena mesprezatzan da, giro-tenperaturan sartzen da eta):

$$Q_c = Q_p + Q_h + P$$

↑
Errekuntza-gasen beroa 1000 °C -an
($c_h = 0,380 \text{ kcal/m}^3\text{N}^\circ\text{C}$)

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (VIII)

Sarrerak (1 m³N gas):

$$Q_c = BBA = 2653,0 \text{ kcal/m}^3\text{N}$$

Irteerak (1 m³N gas):

$$Q_h = V_R \cdot c_h(1000 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot T = 3,92 \text{ m}^3\text{N errekontza-gas/m}^3\text{N gas} \cdot 0,380 \text{ kcal/m}^3\text{N}^\circ\text{C errekontza-gas} \cdot 1000 \text{ }^\circ\text{C} = 1489,6 \text{ kcal/m}^3\text{N}$$

$$P = 0,05 \cdot 2653,0 \text{ kcal} = 132,7 \text{ kcal/m}^3\text{N}$$

Balantze termikoan ordezkatur, produktuari emandako beroa ezezaguna den aldagai bakarra da: $Q_p = 1030,8 \text{ kcal/m}^3\text{N}$.

Etekin termikoaren eta errekontzaren etekinen kalkulua:

$$\eta_t = \frac{Q_p}{Q_c} = \frac{1030,8}{2653,0} = 0,389 \longrightarrow \boxed{\eta_t = \% 38,9}$$

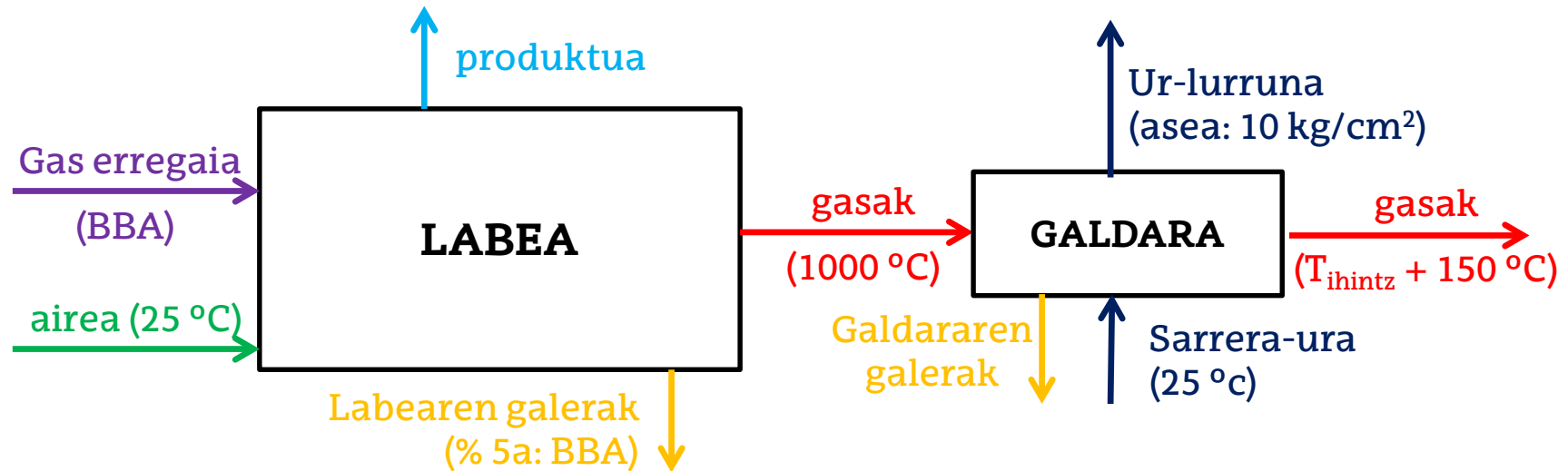
$$\eta_c = \frac{Q_c - Q_h}{Q_c} = 1 - \frac{1489,6}{2653,0} = 0,439 \longrightarrow \boxed{\eta_c = \% 43,9}$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (IX)

g) Etekin termikoa berreskurapen-galdara jarrita

Prozesuaren bero-fluxuaren diagrama:



Balantze termikoa galdaran (erretzen den 1 m³N de gas galdararen sarrera-uraren bero-ekarpena mesprezatzen da, 25 °C-an sartzen da):

$$Q_h (1000 \text{ } ^\circ\text{C}) = Q_v + Q_h (T_{ihintz} + 150 \text{ } ^\circ\text{C}) + P_c$$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (X)

Errekuntza-gasen ihintz-tenperatura:

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = y_{\text{H}_2\text{O}} \cdot P = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_R} \cdot P = \frac{0,587 \text{ m}^3\text{N H}_2\text{O}}{3,92 \text{ m}^3\text{N errektuntza-gas}} \cdot 755 \text{ mmHg} = 113,1 \text{ mmHg}$$

3.1 Taula: $T_{\text{ihintz}} = 54 \text{ }^\circ\text{C}$. Errekuntza-gasen tenperatura galdararen irteeran:
 $54 + 150 = 204 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q_h (204 \text{ }^\circ\text{C}) = V_R \cdot c_h(204 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot T = 3,92 \text{ m}^3\text{N errektuntza-gas/m}^3\text{N gas} \cdot 0,380 \text{ kcal/m}^3\text{N errektuntza-gas }^\circ\text{C} \cdot 204 \text{ }^\circ\text{C} = 303,9 \text{ kcal/m}^3\text{N}$$

Galdaran errektuntza-gasek emandako beroaren % 95a aprobetxatzen da, galdararen bero-galerak errektuntza-gasek emandako beroaren % 5a dira:

$$P_c = 0,05 \cdot [Q_h (1000 \text{ }^\circ\text{C}) - Q_h (204 \text{ }^\circ\text{C})] = 0,05 \cdot (1489,6 - 303,9) = 59,3 \text{ kcal/m}^3\text{N}$$

Galdararen balantze termikoan ordezkatzuz, ur-lurrunari emandako bero erabilgarria ezezagun bakarra da: $Q_v = 1126,4 \text{ kcal/m}^3\text{N}$

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (XI)

1000 m³N gas erretzean ekoiztutako ur-lurrunaren kantitatea:

Ur-lurrun asearen entalpia 10 kg/cm²-an 664 kcal/kg ur-lurrun da:

$$Q_v = m_v H_v \rightarrow 1126,4 \text{ kcal/m}^3\text{N} = m_v 664 \text{ kcal/kg ur-lurrun}$$

$$m_v = 1,696 \text{ kg ur-lurrun/m}^3\text{N}$$

1000 m³N gas erretzen badira ekoiztuko den ur-lurruna: **1696 kg ur-lurrun**

Prozesuaren etekin termikoan, labean berotutako produktuari emandako beroaz gain, ur-lurrunari emandako beroa ere kontuan hartu behar da:

$$\eta_t = \frac{Q_p + Q_v}{Q_c} = \frac{1030,8 + 1126,4}{2653,0} = 0,813 \rightarrow \eta_t = \% 81,3$$

Etekin termikoa nabarmenki handitu da berreskurapen-galdara jartzearekin (% 38,9tik, % 81,3ra). Bestalde, errekontzaren etekina erregaiak egindako bero-ekarpenaren eta errekontza-gasen beroaren araberakoa denez, ez da aldatu aurreko atalarekin alderatuz.

BALANTZE TERMIKOEN BURUKETAK

4.2. BURUKETA. EBAZPENA (XII)

h) Balatze termikoa eta Sankey diagrama

(1 m³N gas)

Sarrerak	Q(kcal)	Irteerak	Q(kcal)	%
Erregaia	2653,0	Produktua	1030,8	38,8
		Labearen galerak	132,7	5,0
		Ur-lurruna	1126,4	42,5
		Galdararen galerak	59,3	2,2
		Gasak	303,9	11,5
Totala:	2653,0	Totala:	2653,0	100,0

