



# 2. GAIA: ERREKUNTZA-PROZESUEN JARRAIPENA

## JARDUERA PRAKTIKOAK (EBAZPENA)

Maite de Blas Martín  
Blanca M<sup>a</sup> Caballero Iglesias

Bilboko Ingeniaritza Eskola  
Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurumenaren Ingeniaritza

# ERREKUNTZA-PROZESUEN JARRAIPENA

## JARDUERA PRAKTIKOEN EBAZPENA

I) Errekuntzaren zenbakizko buruketak:

2.1, 2.2, 2.3 eta 2.4 buruketak

II) Errekuntza-diagramen buruketak:

2.5, 2.6 eta 2.7 buruketak



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

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.1 BURUKETA. EBAZPENA (I)

1.2. buruketako fuel-olioa da. Aire teorikoaren bolumenaren eta errekontza teorikoaren gasen bolumenaren kalkulu-prozedura 1. gaiko jarduera praktikoen ebazpena kontsultatu daiteke. Emaitzak:

$$A_T = 10,59 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg fuel}}$$

$$V_T = 9,97 \frac{\text{m}^3 \text{N errekontza-gas}}{\text{kg fuel}}$$

**Erabilitako airea eta errekontza-gas lehorren bolumena.** Orsat tresnaren emaitza (% bolumenean gas lehorretan):  $\text{CO}_2 = \% 11,1$ ,  $\text{O}_2 = \% 4,1$ ,  $\text{CO} = \% 2,5$

**CO<sub>2</sub> eta CO balantzea** planteatzen da:

$$\frac{(\% \text{CO}_2 + \% \text{CO})}{100} V_0 = (V_{\text{CO}_2})_{\text{errekontza teorikoa}}$$

$$\frac{(2,5 + 11,1)}{100} V_0 = 1,587 \frac{\text{m}^3 \text{N CO}_2}{\text{kg fuel}} \longrightarrow V_0 = 11,67 \frac{\text{m}^3 \text{N errekontza-gas}}{\text{kg fuel}}$$

CO<sub>2</sub>-bolumena errekontza teorikoan

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.1 BURUKETA. EBAZPENA (II)

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

Nitrogenoaren edukia errekontza-gas lehorretan diferentziaz lortzen da:

$$(\% N_2 = 100 - 11,1 - 4,1 - 2,5 = \% 82,3)$$

Erregaiak ez du nitrogenorik eta:  $V_0 = 11,67 \frac{\text{m}^3 \text{N errekontza - gas}}{\text{kg fuel}}$

$$\frac{82,3}{100} 11,67 = \frac{79}{100} A_0 \longrightarrow A_0 = 12,16 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{kg fuel}}$$

Airearen gehiegizko koefizientea:  $n = \frac{A_0}{A_T} = \frac{12,16}{10,57} = 1,15$

**% 15 gehiegizko airearekin egiten da errekontza**

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.2 BURUKETA. EBAZPENA (I)

### a) Aire teorikoaren bolumenaren kalkulua:

Erregai solidoa denez, erreferentzia moduan **100 kg ikatz** hartzen da. Hurrengo taulan ehunekoak pisuan eta errekontza-erreakzioak adierazten dira:

Konposizioa	% pisuan	Errekuntza-erreakzioa
<b>C</b>	57,2	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
<b>H</b>	3,8	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
<b>O</b>	5,6	Errekuntzarako erabilgarria
<b>N</b>	1,1	Inertea
<b>S</b>	0,4	$S + O_2 \rightarrow SO_2$
<b>Hezetasuna</b>	11,1	-
<b>Errautsak</b>	20,8	-

$$\frac{57,2 \text{ kg C}}{100 \text{ kg ikatz}} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}}{12 \text{ kg C}} \cdot \frac{1 \text{ kmol } O_2}{1 \text{ kmol C}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 N O_2}{1 \text{ kmol } O_2} = 1,068 \frac{\text{m}^3 N O_2}{\text{kg ikatz}}$$

$$\frac{3,8 \text{ kg H}}{100 \text{ kg ikatz}} \cdot \frac{1 \text{ kmol } H_2}{2 \text{ kg H}} \cdot \frac{1/2 \text{ kmol } O_2}{1 \text{ kmol } H_2} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 N O_2}{1 \text{ kmol } O_2} = 0,213 \frac{\text{m}^3 N O_2}{\text{kg ikatz}}$$

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.2 BURUKETA. EBAZPENA (II)

$$\frac{0,4 \text{ kg S}}{100 \text{ kg ikatz}} \cdot \frac{1 \text{ kmol S}}{32 \text{ kg S}} \cdot \frac{1 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol S}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} = 2,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg ikatz}}$$

$$\frac{5,6 \text{ kg O}}{100 \text{ kg ikatz}} \cdot \frac{1 \text{ kmol O}_2}{32 \text{ kg O}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} = 0,039 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg ikatz}} \quad (\text{kendu behar da})$$

**Oxigeno teorikoaren** bolumena lortzeko C, H eta S konposatuen errekontzek behar duten oxigenoa batu eta ikatzak duen oxigenoa kendu behar zaio:

$$O_T = 1,068 + 0,213 + 2,6 \cdot 10^{-3} - 0,039 = 1,245 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg ikatz}}$$

Eta aire lehorraren oxigeno proportzioarekin, **aire teorikoa** kalkulatu da:

$$1,245 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg ikatz}} \cdot \frac{100 \text{ m}^3 \text{N aire}}{21 \text{ m}^3 \text{N O}_2} = 5,93 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{kg ikatz}} \longrightarrow A_T = 5,93 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{kg ikatz}}$$

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.2 BURUKETA. EBAZPENA (III)

### Errekuntza-gasen bolumenaren kalkulua (errekuntza teorikoa)

$$\frac{57,2 \text{ kg C}}{100 \text{ kg ikatz}} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}}{12 \text{ kg C}} \cdot \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol C}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2} = 1,068 \frac{\text{m}^3 \text{N CO}_2}{\text{kg ikatz}}$$

$$\frac{0,4 \text{ kg S}}{100 \text{ kg ikatz}} \cdot \frac{1 \text{ kmol S}}{32 \text{ kg S}} \cdot \frac{1 \text{ kmol SO}_2}{1 \text{ kmol S}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N SO}_2}{1 \text{ kmol SO}_2} = 2,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3 \text{N SO}_2}{\text{kg ikatz}}$$

$$\frac{1,1 \text{ kg N}}{100 \text{ kg ikatz}} \cdot \frac{1 \text{ kmol N}_2}{28 \text{ kg N}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N N}_2}{1 \text{ kmol N}_2} = 8,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3 \text{N N}_2}{\text{kg ikatz}}$$

↓  
Erregaiaren N<sub>2</sub>

$$1,245 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg ikatz}} \cdot \frac{79 \text{ m}^3 \text{N N}_2}{21 \text{ m}^3 \text{N O}_2} = 4,684 \frac{\text{m}^3 \text{N N}_2}{\text{kg ikatz}}$$

↓  
Airearen N<sub>2</sub>

Batuketa eginez, errekuntza-gasen bolumen totala lortzen da:

$$V_T = 1,068 + 0,003 + 0,009 + 4,684 = 5,764 \longrightarrow V_T = 5,76 \frac{\text{m}^3 \text{N errekuntza - gas}}{\text{kg ikatz}}$$

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.2 BURUKETA. EBAZPENA (IV)

### Errekuntza-gasen konposizioaren kalkulua (errekuntza teorikoa)

$$\%CO_2 = \frac{1,068 \text{ m}^3\text{N } CO_2}{5,76 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot 100 = 18,54 \quad \leftarrow \text{Errekuntza-gasen } CO_2 \text{ konposatuaren eduki maximoa}$$

$$\%SO_2 = \frac{0,003 \text{ m}^3\text{N } SO_2}{5,76 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot 100 = 0,05$$

$$\%N_2 = 100 - 18,54 - 0,05 = 81,41 \quad \leftarrow \text{Diferentziaz}$$

$$\%N_2 = \frac{(0,009 + 4,684) \text{ m}^3\text{N } N_2}{5,76 \text{ m}^3\text{N gases}} \cdot 100 = 81,47 \quad \leftarrow$$

Estekiometriaz kalkulatu bada, 2. dezimala desberdina da, diferentziaz kalkulatuako balioarekin konparatuz, borobiltzearen ondorioz

### b) Erabilitako airearen kalkulua

Ikatz % 35 gehiegizko airea erabiliz erretzen da. Erreferentzia moduan  $A_T=100$  hartuz gero, orduan erabilitako airea :  $A_0=135$ . Beraz: **n=1,35**

$$n = \frac{A_0}{A_T} \longrightarrow A_0 = nA_T = 1,35 \cdot 100 \longrightarrow A_0 = 135 \text{ m}^3\text{N aire}$$

$$A_0 = 8,00 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg ikatz}}$$



# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.2 BURUKETA. EBAZPENA (V)

### Errekuntza-gasen bolumena:

Errekuntza osoa da, hurrengo adierazpena erabili daiteke:

$$V_0 = V_T + (n-1)A_T = 5,76 + (1,35-1) \cdot 5,93 = 7,84 \text{ m}^3\text{N gas / kg ikatz}$$

### Errekuntza-gasen konposizioa:

CO<sub>2</sub> eta SO<sub>2</sub> konposatuen bolumenak errekuntza teorikoarenak dira: 1,068 m<sup>3</sup>N CO<sub>2</sub> eta 2,6 · 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>N SO<sub>2</sub> (erretzen den 1 kg ikatza bakoitzeko). Bestalde, N<sub>2</sub> eta O<sub>2</sub> gehiegizko airea erabiltzearen ondorioz agertzen dira:

$$0,009 + 4,684 \cdot 1,35 = 6,332 \text{ m}^3\text{N N}_2$$

↓      ↗  
Airearen N<sub>2</sub>

Erregaiaren N<sub>2</sub>

$$(1,35-1) \cdot 1,245 = 0,436 \text{ m}^3\text{N O}_2$$

Batuketa eginez, gasen bolumen totala 7,84 m<sup>3</sup>N gas / kg ikatz da (aurreko urratsean kalkulatu den bezala).

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.2 BURUKETA. EBAZPENA (VI)

### Errekuntza-gasen konposizioa (n=1,35, errektuntza osoa)

$$\%CO_2 = \frac{1,068 \text{ m}^3\text{N } CO_2}{7,84 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot 100 = 13,62$$

$$\%SO_2 = \frac{0,003 \text{ m}^3\text{N } SO_2}{7,84 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot 100 = 0,04$$

$$\%N_2 = \frac{6,332 \text{ m}^3\text{N } N_2}{7,84 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot 100 = 80,77$$

$$\%O_2 = \frac{0,436 \text{ m}^3\text{N } N_2}{7,84 \text{ m}^3\text{N gas}} \cdot 100 = 5,56$$

Errekuntza-gas lehorren konposizioa errektuntza teorikoarekiko aldatzen da: O<sub>2</sub> agertzen da, N<sub>2</sub> edukia gutxi aldatzen da, CO<sub>2</sub> eta SO<sub>2</sub> konposatuaren edukiak jaisten dira.

**CO<sub>2</sub> konposatuaren eduki maximoa** errektuntza teorikoari dagokiona da: errektuntza osoa da (ez da CO konposatua ekoizten) eta errektuntza-keen bolumena gehiegizko airea (n>1)erabiltzen denean baino txikiagoa da.

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.2 BURUKETA. EBAZPENA (VII)

c) Erabilitako airea eta errekontza-gas lehorren bolumena. Orsat tresnaren emaitza (% bolumenean gas lehorrak):  $\text{CO}_2 = \% 12$ ,  $\text{CO} = \% 1,6$ ,  $\text{O}_2 = \% 6,3$

**$\text{CO}_2$  eta  $\text{CO}$  balantzea** planteatzen da:

$$\frac{(\% \text{CO}_2 + \% \text{CO})}{100} \cdot V_0 = \left( V_{\text{CO}_2} \right)_{\text{errekontza teorikoa}}$$

$$\frac{(12 + 1,6)}{100} \cdot V_0 = 1,068 \frac{\text{m}^3 \text{N CO}_2}{\text{kg ikatz}} \longrightarrow V_0 = 7,85 \frac{\text{m}^3 \text{N gas}}{\text{kg ikatz}}$$

**$\text{N}_2$  balantzea** planteatzen da:  $\frac{(\% \text{N}_2)}{100} \cdot V_0 = \frac{79}{100} \cdot A_0 + (\text{N}_2)_{\text{erregaia}}$

$\text{N}_2$  konposatuaren edukia errekontza-gasetan diferentziaz lortzen da :  $\% \text{N}_2 = 80,1$

$$\frac{80,1}{100} \cdot 7,85 = \frac{79}{100} \cdot A_0 + 0,009 \longrightarrow A_0 = 7,95 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{kg ikatz}}$$

$n = \frac{A_0}{A_T} = \frac{7,95}{5,93} = 1,34 \longrightarrow$  Errekuntza % 34 gehiegizkoa airearekin egiten da

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.3 BURUKETA. EBAZPENA (I)

### a) Aire teorikoaren bolumena:

Erreferentzia moduan **100 kg erregai** hartzen da. Hurrengo taulan ehunekoak pisuan eta errekontza-erreakzioak adierazten dira:

Konposizioa	% pisuan	Errekuntza-erreakzioa
<b>C</b>	60	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
<b>H</b>	10	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
<b>O</b>	5	Errekuntzarako erabilgarria
<b>S</b>	3	$S + O_2 \rightarrow SO_2$
<b>Hezetasuna</b>	10	-
<b>Errautsak</b>	12	-

$$\frac{60 \text{ kg C}}{100 \text{ kg erregai}} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}}{12 \text{ kg C}} \cdot \frac{1 \text{ kmol } O_2}{1 \text{ kmol C}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 N O_2}{1 \text{ kmol } O_2} = 1,120 \frac{\text{m}^3 N O_2}{\text{kg erregai}}$$

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

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.3 BURUKETA. EBAZPENA (II)

$$\frac{3 \text{ kg S}}{100 \text{ kg erregai}} \cdot \frac{1 \text{ kmol S}}{32 \text{ kg S}} \cdot \frac{1 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol S}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} = 0,021 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg erregai}}$$

$$\frac{5 \text{ kg O}}{100 \text{ kg erregai}} \cdot \frac{1 \text{ kmol O}_2}{32 \text{ kg O}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} = 0,035 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg erregai}}$$

*(kendu behar da)*

**Oxigeno teorikoaren bolumena** lortzeko C, H eta S konposatuen errektuntzek behar duten oxigenoa batu eta erregaiak duen oxigenoa kendu behar zaio:

$$O_T = 1,120 + 0,560 + 0,021 - 0,035 = 1,666 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg erregai}}$$

Eta aire lehorraren oxigeno proportzioarekin, **aire teorikoa** kalkulatzen da:

$$1,666 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg erregai}} \cdot \frac{100 \text{ m}^3 \text{N aire}}{21 \text{ m}^3 \text{N O}_2} = 7,93 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{kg erregai}} \longrightarrow A_T = 7,93 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{kg erregai}}$$

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.3 BURUKETA. EBAZPENA (III)

Errekuntza-gasen bolumenaren kalkulua ( $n=1,2$ , errekuntza osoa)

$$\frac{60 \text{ kg C}}{100 \text{ kg erregai}} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}}{12 \text{ kg C}} \cdot \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol C}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2} = 1,120 \frac{\text{m}^3 \text{N CO}_2}{\text{kg erregai}}$$

$$\frac{3 \text{ kg S}}{100 \text{ kg erregai}} \cdot \frac{1 \text{ kmol S}}{32 \text{ kg S}} \cdot \frac{1 \text{ kmol SO}_2}{1 \text{ kmol S}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N SO}_2}{1 \text{ kmol SO}_2} = 0,021 \frac{\text{m}^3 \text{N SO}_2}{\text{kg erregai}}$$

$$1,666 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg erregai}} \cdot \frac{79 \text{ m}^3 \text{N N}_2}{21 \text{ m}^3 \text{N O}_2} \cdot \boxed{1,2} = 7,521 \text{ m}^3 \text{N N}_2$$

$\downarrow$   
**n**
 $\downarrow$   
Airearen N<sub>2</sub>

$$1,666 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg erregai}} \cdot (1,2 - 1) = 0,333 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg erregai}}$$

Batuketa eginez, errekuntza-gasen bolumen totala lortzen da:

$$8,995 \frac{\text{m}^3 \text{N gas}}{\text{kg erregai}} \longrightarrow V_T = \boxed{9,00 \frac{\text{m}^3 \text{N gas}}{\text{kg erregai}}}$$

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.3 BURUKETA. EBAZPENA (IV)

**Errekuntza-gasen konposizioa (n=1,2, errekuntza osoa):** errekuntza-gasen osagai bakoitzaren bolumena eta bolumen totala kontuan hartuz kalkulatzen da:

$$\% \text{CO}_2 = 12,45; \% \text{SO}_2 = 0,23; \% \text{N}_2 = 83,61; \% \text{O}_2 = 3,70$$

### b) Errekuntza-gasen konposizioa (n=1,2, %CO=2):

Errekuntza-gasen CO konposatuaren edukia baino ez da ezagutzen. Beraz, errekuntza-gas lehorren osagai guztien balantzeak planteatu behar dira:

**CO<sub>2</sub> eta CO balantzea:**  $\frac{(\% \text{CO}_2 + 2)}{100} \cdot V_0 = 1,12 \longrightarrow \boxed{\% \text{CO}_2 = \frac{112}{V_0}}$  **1. ekuazioa**

**N<sub>2</sub> balantzea:**  $\frac{(\% \text{N}_2)}{100} \cdot V_0 = \frac{79}{100} n A_T + (N_2)_{\text{erregaia}} = \frac{79}{100} \cdot 1,2 \cdot 7,93$   
 $(N_2)_{\text{erregaia}} = 0, n = 1,2$  eta  $A_T = 7,93 \text{ m}^3 \text{N aire / kg erregai}$

$$\boxed{\% \text{N}_2 = \frac{752}{V_0}}$$
 **2. ekuazioa**

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.3 BURUKETA. EBAZPENA (V)

$$\text{O}_2 \text{ balantzea: } \frac{\% \text{O}_2}{100} \cdot V_0 = \frac{21}{100} (n-1) \cdot A_T + \frac{1}{2} \frac{\% \text{CO}}{100} \cdot V_0 = \frac{21}{100} (1,2-1) \cdot 7,93 + \frac{1}{2} \frac{2}{100} \cdot V_0$$

$$\% \text{O}_2 = \frac{33}{V_0} + 1$$

3. ekuazioa

$$\text{SO}_2 \text{ balantzea: } \frac{\% \text{SO}_2}{100} \cdot V_0 = 0,021 \longrightarrow$$

$$\% \text{SO}_2 = \frac{2,1}{V_0}$$

4. ekuazioa

5. ekuazioa errekontza-gasen osagai bakoitzaren edukiaren batuketa eginez lortzen da. Bertan, konposizioaren balioak  $V_0$ -ren menpe ordezkatzeko dira (1-4 ekuazioak) eta  $\% \text{CO} = 2$ :

$$\% \text{CO} + \% \text{CO}_2 + \% \text{SO}_2 + \% \text{N}_2 + \% \text{O}_2 = 100 \quad \text{5. ekuazioa}$$

$$2 + \frac{112}{V_0} + \frac{752}{V_0} + \frac{33}{V_0} + 1 + \frac{2,1}{V_0} = 100$$

$$V_0 = 9,27 \text{ m}^3 \text{N gas / kg erregai}$$

$$\% \text{CO}_2 = 12,1; \% \text{SO}_2 = 0,2; \% \text{N}_2 = 81,1; \% \text{O}_2 = 4,6$$



# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.4 BURUKETA. EBAZPENA (I)

### a) Aire teorikoaren bolumenaren kalkulua:

Erreferentzia moduan **100 kg fuel-olio** hartzen dira. Hurrengo taulan, erregaiaren konposizioa eta errektuntza osoaren erreakzioak biltzen dira:

Konposizioa	% pisuan	Errekuntza-erreakzioa
<b>C</b>	86	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
<b>H</b>	12	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
<b>S</b>	2	$S + O_2 \rightarrow SO_2$

$$\frac{86 \text{ kg C}}{100 \text{ kg fuel}} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}}{12 \text{ kg C}} \cdot \frac{1 \text{ kmol } O_2}{1 \text{ kmol C}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 N O_2}{1 \text{ kmol } O_2} = 1,605 \frac{\text{m}^3 N O_2}{\text{kg fuel}}$$

$$\frac{12 \text{ kg H}}{100 \text{ kg fuel}} \cdot \frac{1 \text{ kmol } H_2}{2 \text{ kg H}} \cdot \frac{1/2 \text{ kmol } O_2}{1 \text{ kmol } H_2} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 N O_2}{1 \text{ kmol } O_2} = 0,672 \frac{\text{m}^3 N O_2}{\text{kg fuel}}$$

$$\frac{2 \text{ kg S}}{100 \text{ kg fuel}} \cdot \frac{1 \text{ kmol S}}{32 \text{ kg S}} \cdot \frac{1 \text{ kmol } O_2}{1 \text{ kmol S}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 N O_2}{1 \text{ kmol } N_2} = 0,014 \frac{\text{m}^3 N O_2}{\text{kg fuel}}$$

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.4 BURUKETA. EBAZPENA (II)

Batuketa eginez oxigeno teorikoa lortzen da:  $O_T = 2,291 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg fuel}}$

Eta oxigenoaren proportzioarekin aire lehorrean:

$$2,291 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg fuel}} \cdot \frac{100 \text{ m}^3 \text{N aire}}{21 \text{ m}^3 \text{N O}_2} = 10,91 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg fuel}} \longrightarrow \boxed{A_T = 10,91 \frac{\text{m}^3 \text{N aire}}{\text{kg fuel}}}$$

### b) Errekuntza-gasen bolumenaren kalkulua (errekuntza teorikoa):

$$\frac{86 \text{ kg C}}{100 \text{ kg fuel}} \cdot \frac{1 \text{ kmol C}}{12 \text{ kg C}} \cdot \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol C}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2} = 1,605 \frac{\text{m}^3 \text{N CO}_2}{\text{kg fuel}}$$

$$\frac{2 \text{ kg S}}{100 \text{ kg fuel}} \cdot \frac{1 \text{ kmol S}}{32 \text{ kg S}} \cdot \frac{1 \text{ kmol SO}_2}{1 \text{ kmol S}} \cdot \frac{22,4 \text{ m}^3 \text{N SO}_2}{1 \text{ kmol SO}_2} = 0,014 \frac{\text{m}^3 \text{N SO}_2}{\text{kg fuel}}$$

$$2,291 \frac{\text{m}^3 \text{N O}_2}{\text{kg fuel}} \cdot \frac{79 \text{ m}^3 \text{N N}_2}{21 \text{ m}^3 \text{N N}_2} = 8,618 \frac{\text{m}^3 \text{N N}_2}{\text{kg fuel}}$$

↓  
Airearen N<sub>2</sub>

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.4 BURUKETA. EBAZPENA (III)

Batuketa eginez errekontza-gasen bolumena lortzen da:

$$10,237 \frac{\text{m}^3\text{N gas}}{\text{kg fuel}} \longrightarrow V_T = 10,24 \frac{\text{m}^3\text{N gas}}{\text{kg fuel}}$$

$$\% \text{CO}_2 = \frac{1,605}{10,24} \cdot 100 = 15,68\% \longrightarrow \% \text{CO}_2 \text{ maximoa errekontza-gasetan}$$

**c) Errekuntzan erabilitako airea eta errekontza-gas lehorren bolumena.**

Orsat tresnaren emaitza (% bolumenean gas lehorra):  $\text{CO}_2 = \%11$ ,  $\text{O}_2 = \%4$ ,  $\text{CO} = \%3$

**CO<sub>2</sub> eta CO balantzea:**

$$\frac{(\% \text{CO}_2 + \% \text{CO})}{100} \cdot V_0 = \frac{\% \text{CO}_{2,\text{max}}}{100} \cdot V_T$$

$$\frac{(11+3)}{100} \cdot V_0 = \frac{(15,68)}{100} \cdot 10,24 \frac{\text{m}^3\text{N CO}_2}{\text{kg fuel}} \longrightarrow V_0 = 11,47 \frac{\text{m}^3\text{N gas}}{\text{kg fuel}}$$

# ERREKUNTZAREN ZENBAKIZKO BURUKETAK

## 2.4 BURUKETA. EBAZPENA (IV)

**N<sub>2</sub> balantzea:** 
$$\frac{(\%N_2)}{100} \cdot V_0 = \frac{79}{100} \cdot A_0 + (N_2)_{\text{erregaia}}$$

Errekuntza-gas lehorren N<sub>2</sub>konposatuaren edukia diferentziaz lortzen da:

$$(\% N_2 = 100 - 11 - 4 - 3 = \% 82)$$

Erregaiak ez du nitrogenorik eta  $V_0 = 11,47 \text{ m}^3\text{N gas / kg fuel}$

$$\frac{82}{100} \cdot 11,47 = \frac{79}{100} \cdot A_0 \longrightarrow A_0 = 11,90 \frac{\text{m}^3\text{N aire}}{\text{kg fuel}}$$

Airearen gehiegizko koefizientea:  $n = \frac{A_0}{A_T} = \frac{11,90}{10,91} = 1,09$

Errekuntza **% 9 gehiegizko airearekin** egiten da

# ERREKUNTZAREN DIAGRAMAK

## 2.5 BURUKETA. EBAZPENA

Errekuntza-gas lehorren %CO<sub>2</sub> ordenatu-ardatzari dagokion irakurketaren balioa da:

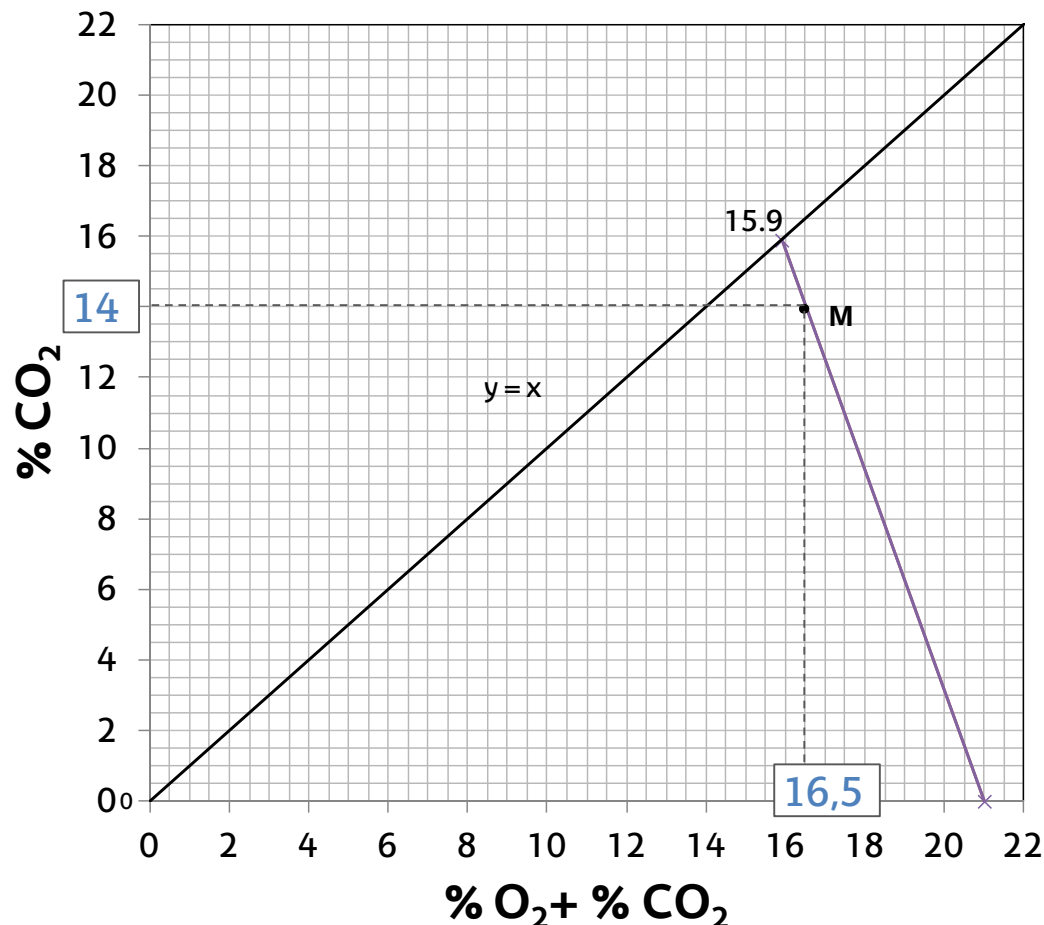
$$\% \text{CO}_2 = 14$$

Abzisa-ardatzak %CO<sub>2</sub> eta %O<sub>2</sub> konposatuen arteko batura adierazten du, beraz:

$$\% \text{O}_2 = 16,5 - 14 = 2,5$$

Azkenik, airearen gehiegizko koefizientea "k" balioaren (% CO<sub>2</sub> maximoa ke lehorretan = 15,9) eta CO<sub>2</sub> ehunekoaren arteko zatidura da:

$$n = 15,9 / 14 = 1,14$$



# ERREKUNTZAREN DIAGRAMAK

## 2.6 BURUKETA. EBAZPENA (I)

**Grebbel zuzena** adierazteko ikatzaren sufre- eta nitrogeno- edukiak oso txikiak direla suposatu behar da, mesprezagarriak.

Zuzenaren puntuak hauek dira:

**A (0, 19,29):** errekontza teorikoa

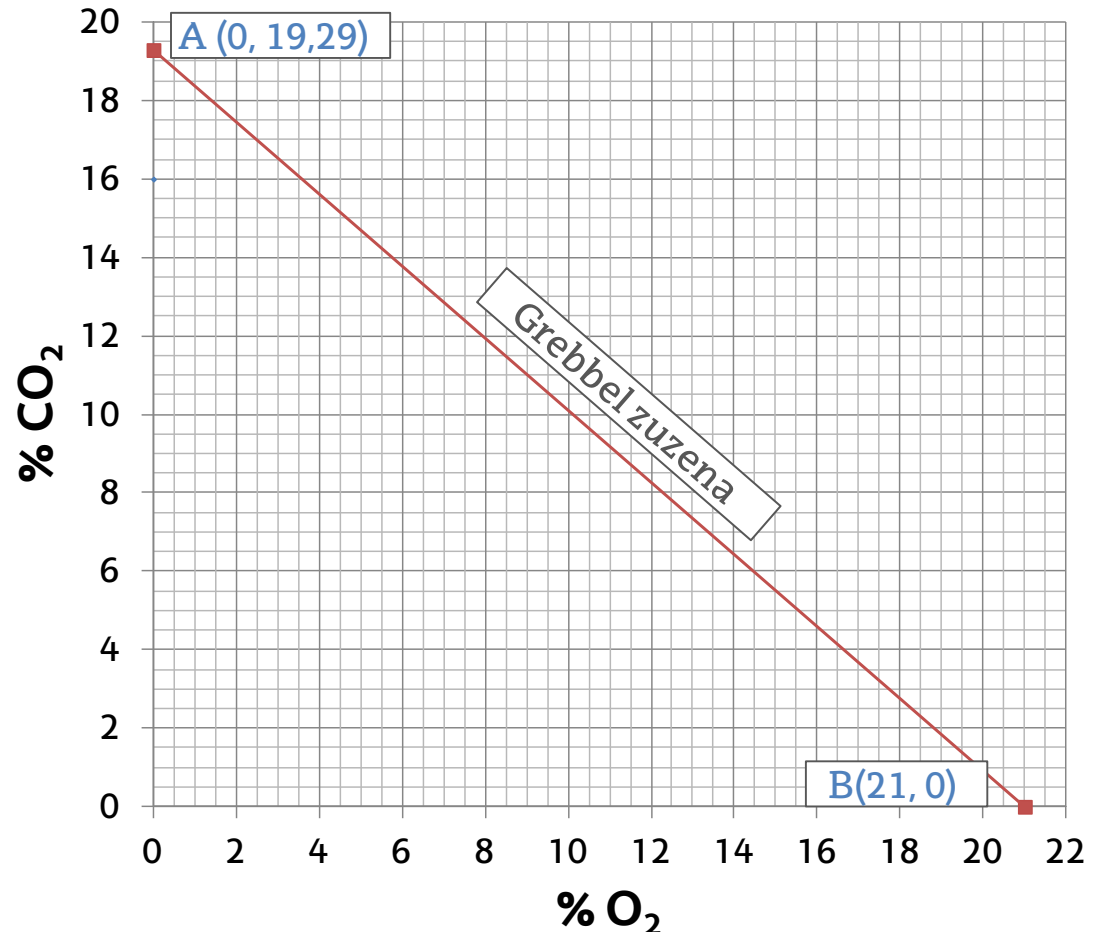
**B (21, 0):** errekontza osoa,  $n \rightarrow \infty$

Zuzenaren **malda** honakoa da:

$$-k/21 = -19,29 / 21 = -0,92$$

Irudian adierazitako Grebbel zuzenaren ekuazioa hau da:

$$y = -0,92x + 19,29$$



# ERREKUNTZAREN DIAGRAMAK

## 2.6 BURUKETA. EBAZPENA (II)

**Bunte zuzena** adierazteko, baita ere, ikatzaren sufre- eta nitrogeno-edukiak oso txikiak direla suposatu behar da, mesprezagarriak.

Zuzenaren puntuak hauek dira:  
**A** (19,29, 19,29): errekontza teorikoa

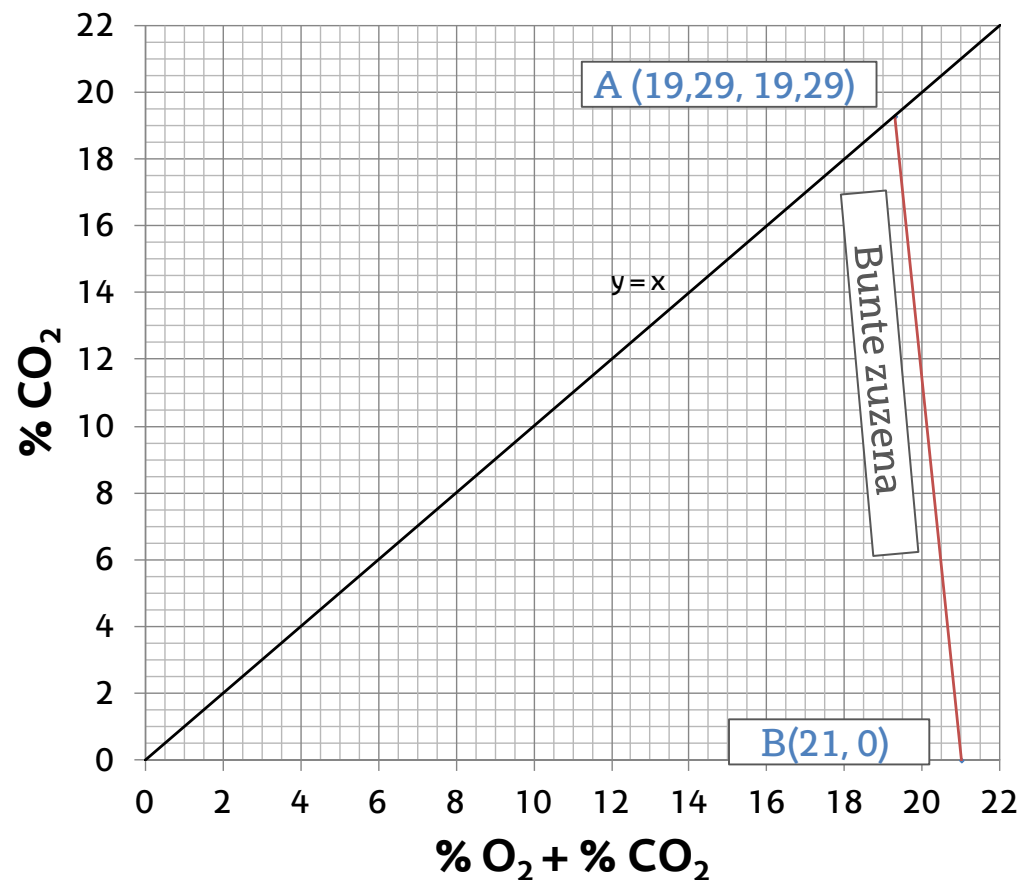
**B** (21, 0): errekontza osoa,  $n \rightarrow \infty$

Zuzenaren **malda**:

$$\frac{-k}{21-k} = \frac{-19,29}{21-19,29} = -11,28$$

Irudian adierazitako Bunte zuzenaren ekuazioa hau da:

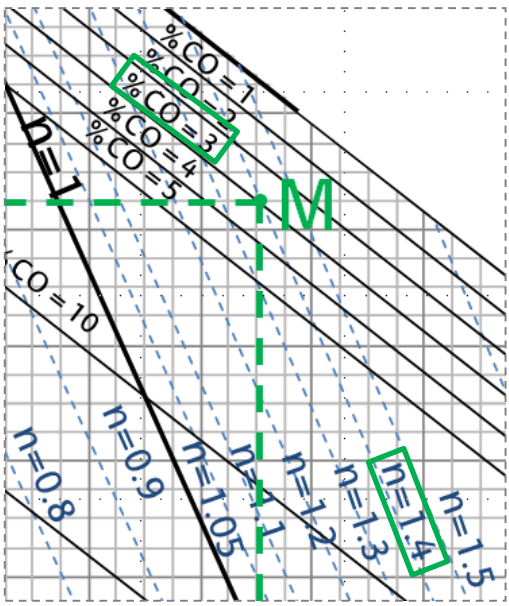
$$y = -11,28x + 236,9$$



# ERREKUNTZAREN DIAGRAMAK

## 2.7 BURUKETA. EBAZPENA

Lehenengo eta behin **M** puntua (7, 8,5) Ostwald diagraman kokatu behar da. Zooma eginez:



Irakurketa puntu honi dagokio: %CO = 3; n = 1,4

