



2. GAIA: ERREKUNTZA-PROZESUEN JARRAIPENA

IKASMATERIALAK

Maite de Blas Martín
Blanca M^a Caballero Iglesias

Bilboko Ingeniaritza Eskola
Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurumenaren Ingeniaritza

ERREKUNTZA-PROZESUEN JARRAIPENA

2.1. Errekuntzaren produktuak

2.2. Errekuntza-gasen analizatzaileak

2.2.1. Gehiegizko airearen kalkulua

2.3. Errekuntza-gasen opakutasunaren analisisa

2.4. Errekuntza-diagramak

2.4.1. Grebbel zuzena

2.4.2. Bunte diagrama

2.4.3. Ostwald diagrama

ERREKUNTZAREN PRODUKTUAK

OXIDAZIO OSOAREN PRODUKTUAK:

- ✓ CO_2
 - ✓ H_2O
 - ✓ SO_2
- Gaseosoak**

2.1. Irudia
As Pontes (A Coruña) zentral
termikoa. Amio Cajader
egilearen argazkia Flickr
webgunean argitaratuta CC
BY 2.0 lizentziapean [\[1\]](#)



OXIDAZIO OSATUGABEAREN PRODUKTUAK: "Erregabeak"

- ✓ CO
 - ✓ H_2
 - ✓ Hidrokarburo arinak (C_nH_m)
 - ✓ Karbono-partikulak (C)
 - ✓ Hidrokarburo astunak (C_nH_m)
- Gaseosoak**
- Solidoak**
- Aire eskasia
 - Erregailuaren funtzionamendu okerra
 - Erregailu ezegokia

BESTELAKO PRODUKTUAK

- ✓ Nitrogeno oxidoak (NO_x) → Tenperatura altuak

ERREKUNTZAREN PRODUKTUAK

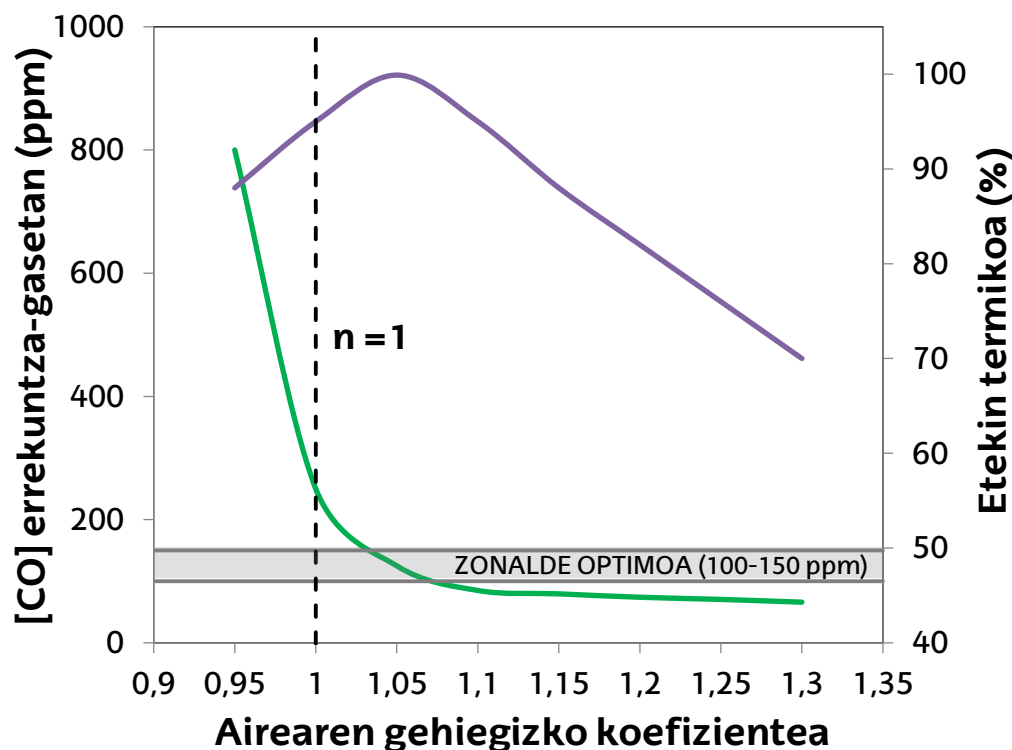
ERREKUNTZA OSOA:

- ✓ Gehiegizko airea txikiegia da → etekin termiko baxua

ERREKUNTZA OSATUGABEA:

- ✓ Gehiegizkoa airea < errektuntza osatugabea

- Etekin termiko optimoa
- "Erregabeak" → CO

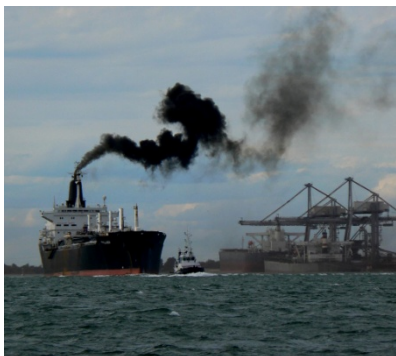


2.2. Irudia. Karbono monoxidoaren kontzentrazioa errektuntza-gasetan vs. airearen gehiegizko koefizientea. Gas naturala erabiltzen duen galdara baten adibidea. Egileek egindako irudia

ERREKUNTZAREN PRODUKTUAK

KEDARRA: 100 nm eta 5 μm bitarteko tamaina duten partikula karbonotsuak, galdaren hustubideetan, ibilgailuen ihes-hodietan, etab. jalki daitezkeenak.

- ✓ Errekuntza-gasen osagaiak. Haien agerpena ez da desiragarria
- ✓ Gasen beroa errekuperatzea oztopatzen dute, trukatze-azaleretan metaketak eratzen baitira → periodikoki garbitu behar dira
- ✓ Kantitate oso handietan agertzen badira, etekin termikoa jaitsi egiten da



2.3. Irudia. Roberto Venturini-ren argazkia. Flickr webgunean CC BY 2.0 lizentziapean argitaratua [2]

Kedar-isuriak

2.4. Irudia. Wikimedian domeinu publikoan argitaratutako argazkia [3]



ERREKUNTZAREN PRODUKTUAK

NITROGENO OXIDOAK: NO_x

✓ Toxikoak

✓ Euri azidoaren, partikula meheen eta ozono troposferikoaren aitzindariak

▪ **NO**: oxido nitrikoa $\approx$ % 90 NO
(nitrogenoaren oxidazio-zenbakia: +2)

▪ **NO₂**: nitrogeno dioxidoa

(nitrogenoaren oxidazio-zenbakia: +4)

 Oxidazioa

Formazio-mekanismoak

1) NO_x termikoak. Airearen nitrogenoa oxidatzen denean sortarazten dira, errekontza tenperatura altuetan gertatzen denean ($>1000^\circ\text{C}$)

✓ Ohikoak dira erregai likidoak eta gaseosoak erretzen direnean

✓ NO_x konposatuak eratzeko mekanismo nagusia (NO_x totalen $\approx$ %90a)

2) Erregaiaren NO_x -ak. Erregaiak duen nitrogenotik abiatuz eratzen dira, honek oxigenoarekin erreakzionatzen duenean

✓ Nitrogeno-eduki altuko erregaiak erretzean, ikatza esaterako, eratzen dira batez ere

3) Bat-bateko NO_x -ak (*prompt NO_x*). Gar-frontean eratzen dira, nitrogeno molekularrak erreakzioan eratutako erradikal askeekin erreakzionatzean

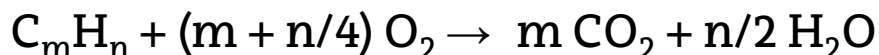
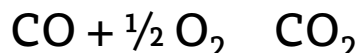
ERREKUNTZAREN PRODUKTUAK

ETEKIN MAXIMOA: konposatu hauen eduki minimoa

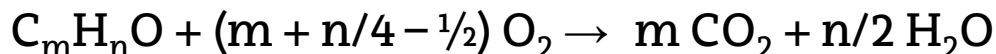
- CO
- C_nH_m
- NO_x

Ibilgailuetan **bihurgailu katalitikoak** erabiltzen dira, **Rh** eta **Pt** katalizatzaileak:

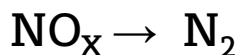
1) Karbono monoxidoaren eta hidrokarburoen oxidazioa:



*Aldehido eta zetonen oxidazioa:



2) Nitrogeno oxidoen erredukzioa:



2.5. Irudia. Bihurgailu katalitikoa. Wikimedian domeinu publikoan argitaratutako argazkia [4]

ERREKUNTZA-GASEN ANALIZATZAILEAK

ERREKUNTZA-GASEN ANALISI JARRAITUA: errekontza-prozesuetan bereizgarriak diren aldagaiak determinatzeko

Laginak hartzea:

- Iragazkia: partikula solidoak eliminatzeko
- Purga: ur-lurruna kondentsazioaren bidez banatu

Errekuntza-gas lehorren analisia



✓ **ANALIZATZAILE DIGITALA:** azterketa teknikoetan; ibilgailuen, galdaren eta prozesu industrialen errekontza-gas lehorren analisirako.

*Temperatura neurtzeaz gain, besteak beste CO_2 , O_2 eta CO neurtzen dira.

✓ **ORSAT TRESNA:** laborategian egiten den gasen analisia. Absortziorako erreaktiboak erabiltzen ez duten analizatzaileen emaitzak egiaztatzeko erabili daiteke:

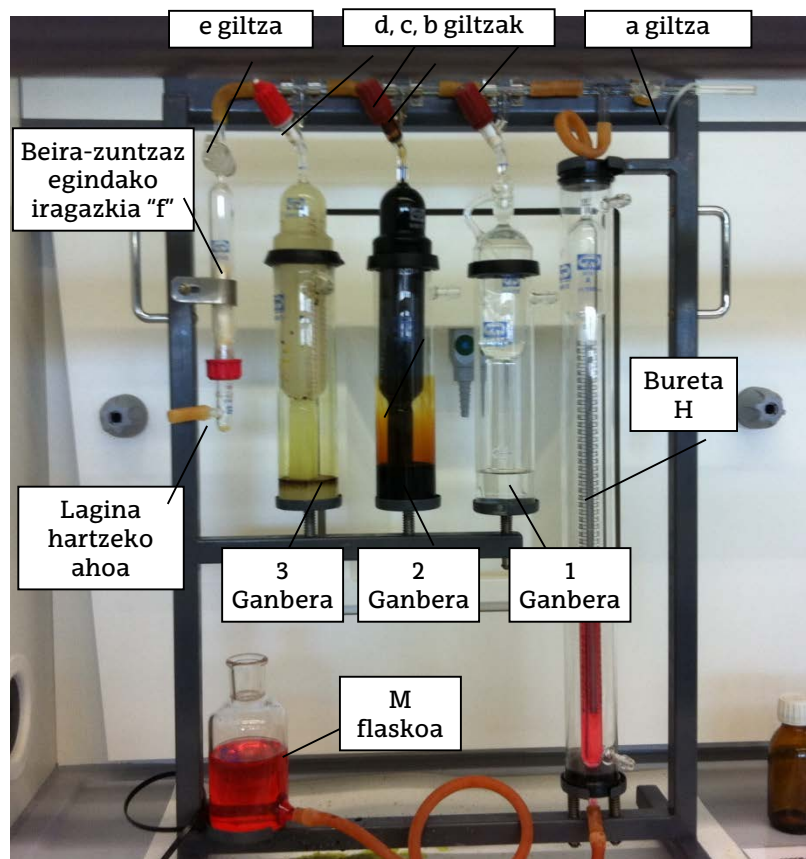
- CO_2 , O_2 , CO
- N_2 (diferentziaz)

*6 ganbera dituen Orsat tresna:

- CO_2 , O_2 , H_2 , C_nH_m , CH_4 , CO
- N_2 (diferentziaz)

ERREKUNTZA-GASEN ANALIZATZAILEAK

ORSAT TRESNA (3 ganbera)



2.6. Irudia. Orsat tresna.
Egileek egindako argazkia

Deskribapena :

- 100 mL-ko edukiera duen "H" bureta, zenbaketa gorakorra duena 0,1 mL-ko graduazioarekin
- Absorbatzaileak diren disoluzioak duten borbor-ganberak:

Xurgatzen du:

1) Potasio hidroxidoa (KOH)

2) Pirogalato potasikoa ($\text{KC}_6\text{H}_5\text{O}_3$)

3) Kloruro kuprosoa (CuCl)

O_2

CO_2

CO

- "f": beira-zuntzeko iragazkia
- "M": maila-flaskoa, neurtzeko buretari gomazko hodi batez loturik dagoena
- "e": lagina hartzeko giltza
- "b", "c", "d": 1, 2 eta 3 ganberen giltzak
- "a": atmosferara konektaturiko giltza

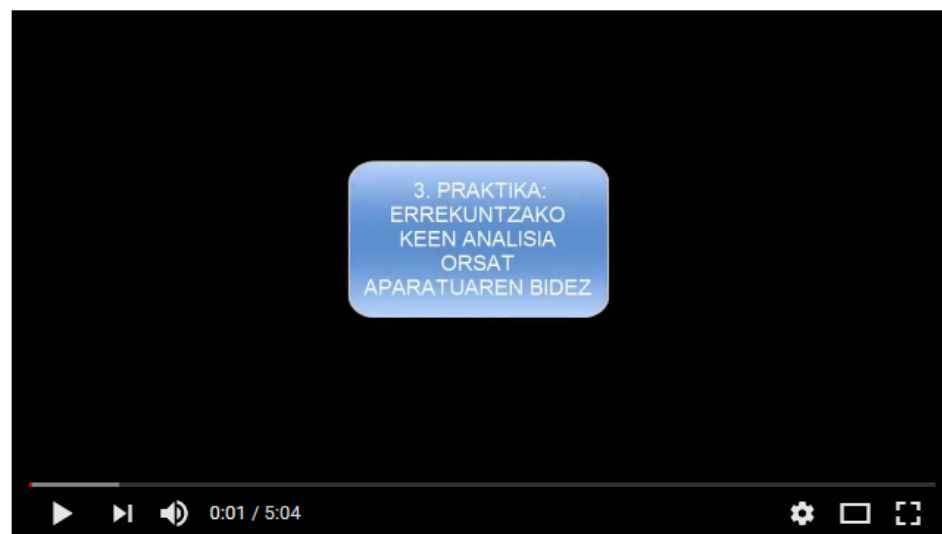
ERREKUNTZA-GASEN ANALIZATZAILEAK

ORSAT TRESNA (3 ganbera)

Prozedura:

- 1.- Ganberak errektiboz betetzea
- 2.- Gas-lagina hartzea
- 3.- CO₂-aren determinazioa
- 4.- O₂-aren determinazioa
- 5.- CO-aren determinazioa
- *N₂-aren determinazioa: diferentziaz

Orsat tresnaren bidezko errekontza-gasen analisiaren prozesura azaltzeko bideoa [\[5\]](#) (Egileek prestatutako baliabidea)



3. praktika, Orsat bideoa

19 visualizaciones

👍 0 👎 0 ➦ COMPARTIR ≡ ...

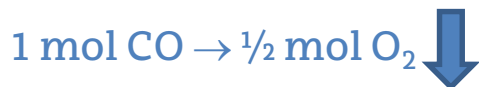
ERREKUNTZA-GASEN ANALIZATZAILEAK

GEHIEGIZKO AIREA → "**n**": airearen gehiegizko koefizientea

N₂: errektuntzaren kalkuluei dagokionez inerte moduan hartzen da

$$\frac{\text{N}_2 \text{ gehiegizko airean}}{\text{N}_2 \text{ aire teorikoan}} = \frac{0,79(n-1) A_T}{0,79A_T} = n - 1 \quad \text{"n"}$$

O₂: errektuntza osoa: **C + O₂ → CO₂**



Errekuntza osatugabea: **C + ½ O₂ → CO**

$$\frac{(\%O_2)}{100} \cdot V_0 = O_2 \text{ sobera}$$

V₀: errektuntza-gas lehorren bolumena

$$\frac{(\%O_2)}{100} V_0 = O_2 \text{ sobera} + \frac{1}{2} \cdot \frac{(\%CO)}{100} \cdot V_0$$

↓

$$O_2 \text{ sobera} = \frac{21}{100} (n-1) A_T \quad \text{"n"}$$

ERREKUNTZA-GASEN ANALIZATZAILEAK

GEHIEGIZKO AIREA → "**n**": airearen gehiegizko koefizientea

Gasen analisia (Orsat): % O₂, % CO, % CO₂, % N₂ (diferentziaz). Balantzeak:

1) (CO₂-aren bolumena + CO-aren bolumena) balantzea ≈ konstantea, errekontza edozein izanda ere → **V₀**

$$\frac{(\%CO_2 + \%CO)}{100} V_0 = \frac{(\%CO_2)_{\text{errekuntza teorikoa}}}{100} V_T$$

2) N₂ balantzea: $\frac{(\%N_2)}{100} V_0 = \frac{79}{100} A_0$ (N₂)_{erregaia} → **A₀**
edo

O₂ balantzea: $\frac{(\%O_2)}{100} V_0 = \frac{21}{100} (n-1) A_T + \frac{1}{2} \frac{(\%CO)}{100} V_0$ → **A_T**

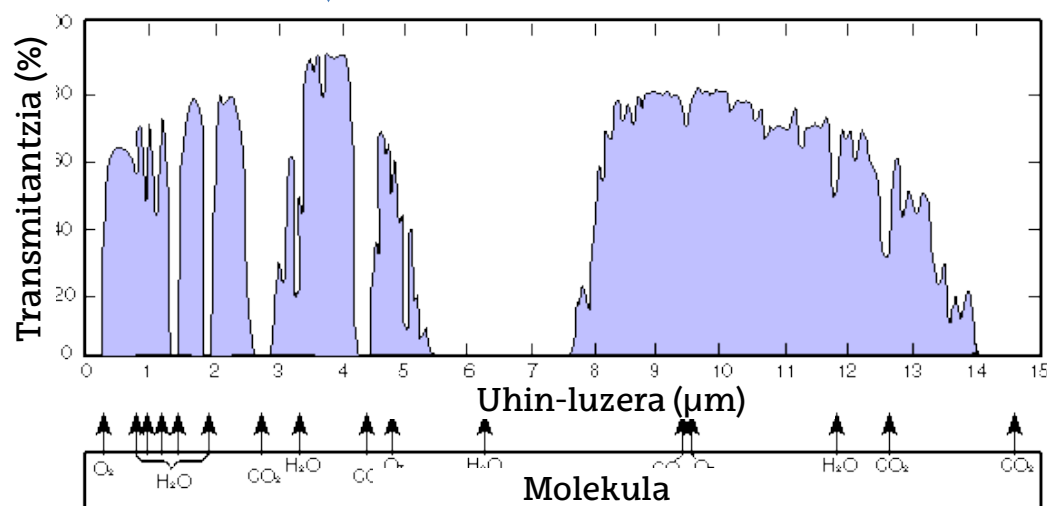
3) "**n**"-ren kalkulua: $n = \frac{A_0 \text{ (erabilitako airea)}}{A_T \text{ (aire teorikoa)}}$

ERREKUNTZA-GASEN ANALIZATZAILEAK

BESTELAKO ANALIZATZAILEAK

- 1) CO₂ erregistratzaileak
- 2) Eroankortasun termikoaren bidezko analizatzailea
- 3) Izpi infragorrien (IR) bidezko analisisa
- 4) O₂-aren determinazioa

Adibidea. Errekuntza-gasen O₂ eta CO₂ konposatuen edukiak izpi-IR analisiaren bidez determinatu daitezke, molekulek erradiazio infragorria xurgatzeko gaitasunean oinarritzen den teknika.

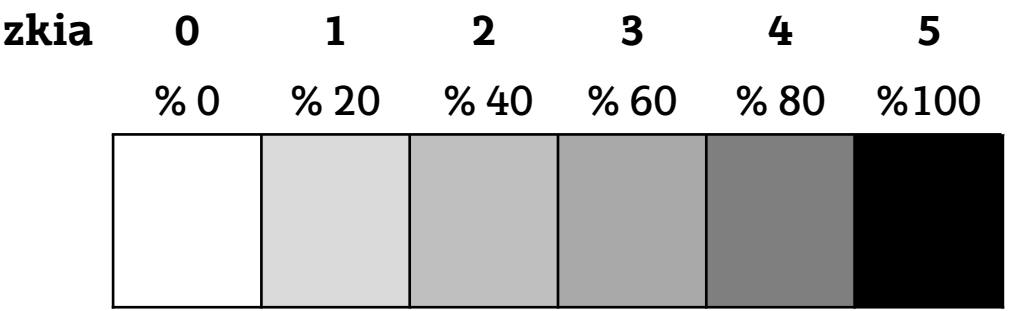
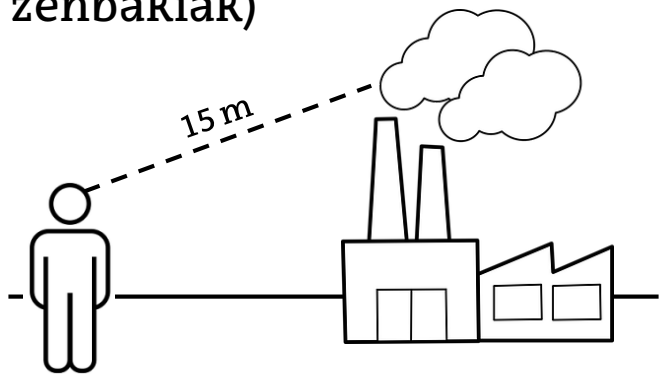


2.7 Irudia. Atmosferako hainbat gasen erradiazio IR-aren absortzio-bandak. Egileek moldatutakoa, domeinu publikoan argitaraturiko iruditik[\[6\]](#)

ERREKUNTZA-GASEN OPAKUTASUNAREN ANALISIA

Gasen opakutasuna: errekontza-gasetan zehar transmititutako argiaren neurria errekontza-gasen **kedarraren** edukiaren adierazlea da

✓ **RINGELMANN SAIAKUNTZA:** behatzailea, tximiniatik 15 metrotara kokatzen da eta, eguneko argian, tximiniatik ateratzen den errekontza-gasen kolorea sareta-patroi batzuekin konparatzen ditu (1 eta 5 arteko zenbakiak)



2.8. Irudia. Ringelmann saiakuntza.
Egileek egindako irudia Pixabay
webgunean argitaraturiko
bektoretatik [7] eta [8]

2.9. Irudia. Ringelmann patroien
adierazpena: 1-4 (gris-koloreen eskala) eta
5 (beltza). Egileek egindako irudia

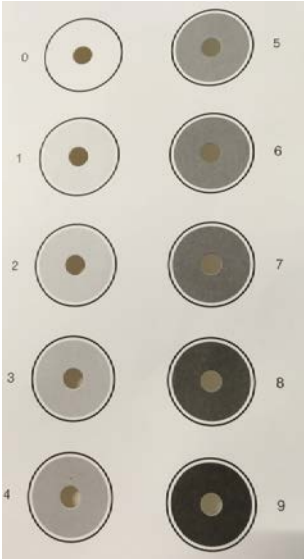
ERREKUNTZA-GASEN OPAKUTASUNAREN ANALISIA

✓ **BACHARACH SAIAKUNTZA:** lagina ponpa baten bidez hartzen da. Errekuntza-gasak iragazki batean zehar pasarazten dira eta bukaerako kolorea erreferentzia-patroi batzuekin konparatzen da (0-9).



2.10. Irudia. Opakutasuna neurtzeko lagina hartzeko. Egileen argazkia

2.11. Irudia. Opakutasunaren Bacharach eskala (0-9). Egileen argazkia



Bacharach indizeak "erregabeak" agertzearen ondoriozko bero-galerak estimatzea baimentzen du. Prozedura esperimentalen bidezko estimazioa:

2.1. Taula. Bero-galeren estimazioa Bacharach indizetik abiatuz, IDAE [9]

Bacharach indizea	1	2	3	4	5	6
% bero-galerak erregaiari dagokionez	0,7	1,3	2,4	3,5	4,5	6

ERREKUNTZA-DIAGRAMAK

Errekuntza-diagrama: erregai jakin baten errekontza-prozesu desberdinen adierazpen grafikoa

Erabilgarritasuna: errekontza-kalkuluak era arin eta zehatzean egitea

"n" (gehiegizko airea) ↔ errekontza-gas lehorren konposizioa

*Sufre-, hidrogeno- eta nitrogeno-eduki txikiko erregaiak

✓ **GREBBEL ZUZENA.** Errekuntza osoa, gehiegizko airearekin → "n"

✓ **BUNTE DIAGRAMA.** Errekuntza osoa, gehiegizko airearekin → "n"

✓ **OSTWALD DIAGRAMA.** Errekuntza osatugabea → %CO, "n"
(gehiegizko airearekin)

Bestelako diagramak:

✓ **KELLER DIAGRAMA.** Errekuntza osatugabea → %CO, %H₂, "n"

✓ **KISSEL DIAGRAMA.** Errekuntza osatugabea → %CO, "n"

Erregai solido
eta likidoak

Erregai
gaseosoak

ERREKUNTZA-DIAGRAMAK

GREBBEL ZUZENA { • Abszisa-ardatza: O_2 % gas lehorretan
• Ordenatu-ardatza: CO_2 % gas lehorretan

A puntua $(0, k)$: **errekuntza teorikoa**. O_2 guztia kontsumitzen da eta CO_2 konposatuaren ehunekoa errekuntza-gasetan maximoa da

B puntua $(21, 0)$: **errekuntza osoa** " n " $\rightarrow \infty$ denean. Errekuntza-gasetan ia-ia ez dago karbono monoxidorik, diluiturik dago. Konposizioa gutxi gorabehera airearen berdina da.

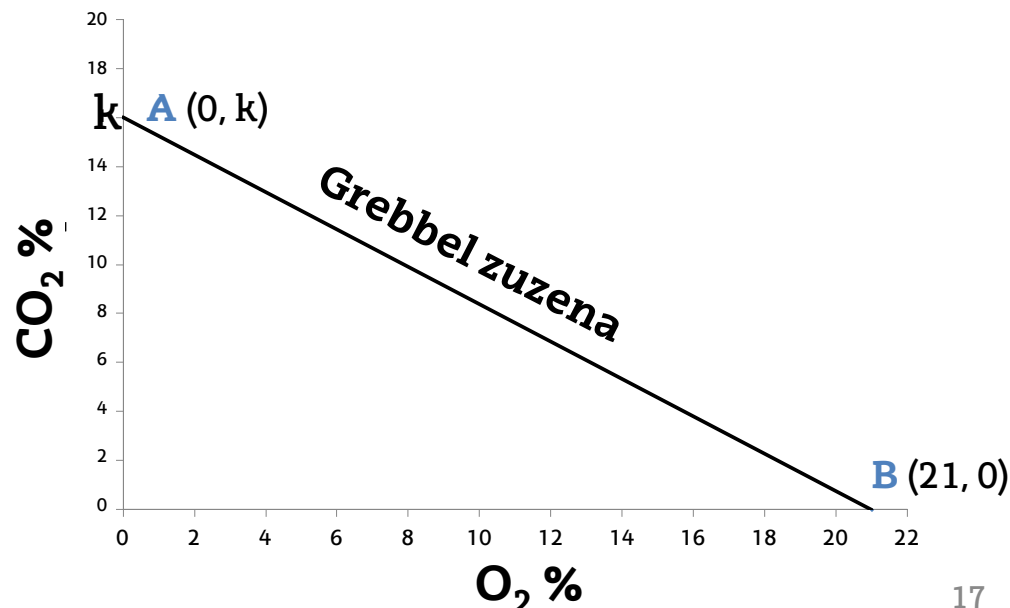
Malda: $-k/21$

Zuzenaren ekuazioa:

$$y - k = -k/21 (x - 0)$$

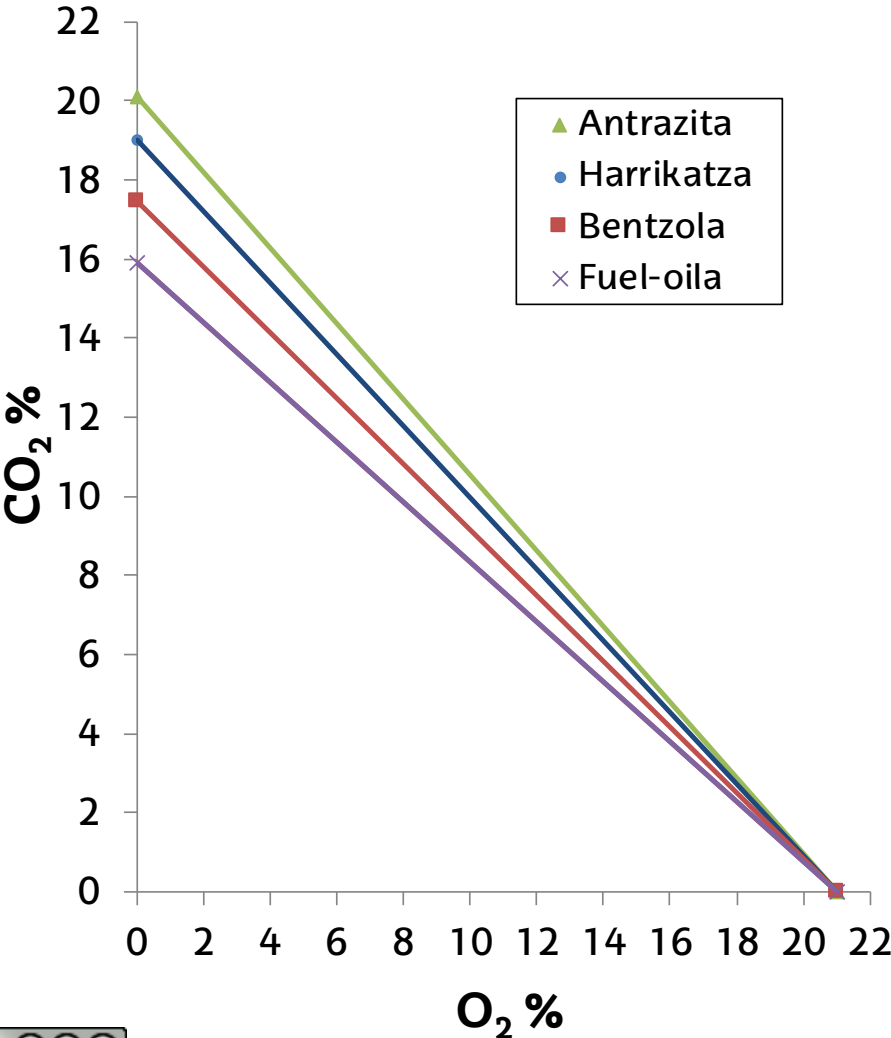
$$y = -\frac{k}{21}x + k$$

Gehiegizko airea: $n = \frac{k}{y}$



ERREKUNTZA-DIAGRAMAK

GREBBEL ZUZENA: hainbat erregaien adibideak



2.2. Taula. Erregai desberdinen konposizioa eta errekontza-gas lehorren CO₂ konposatuaren edukia

Erregai / Edukia	Erregai: oinarri lehorra eta errautsik gabe (%)*			Gasak oinarri lehorrean (% CO ₂) _{max}
	% C	% H	% O	
Antrazita	95	2	3	20,10
Harrikatza	85	5	10	19,02
Bentzola	92,1	7,9	0	17,47
Fuel-olioa	87	12	1	15,90

*N- eta S konposatuen edukiak mesprezatu dira (< 1%)

ERREKUNTZA-DIAGRAMAK

BUNTE DIAGRAMA { • Abszisa-ardatza: $O_2 + CO_2$ % gas lehorretan
• Ordenatu-ardatza: CO_2 % gas lehorretan $\uparrow$

$$x' = x + y = \%O_2 + \%CO_2$$

A puntua (k, k): **errekuntza teorikoa**

B puntua (21, 0): **errekuntza osoa "n" $\rightarrow \infty$**

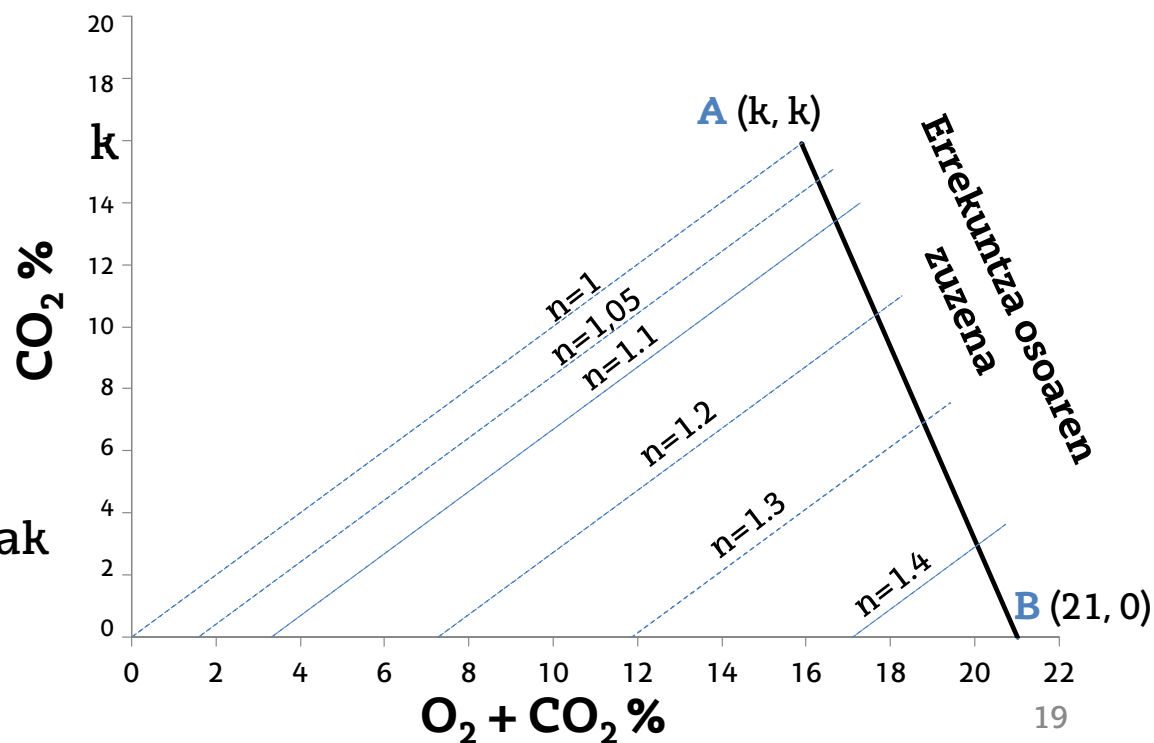
Malda: $\frac{-k}{21-k}$

Zuzenaren ekuazioa
(Grebbel zuzenetik):

$$y = -\frac{k}{21}x + k = -\frac{k}{21}(x' - y) + k$$

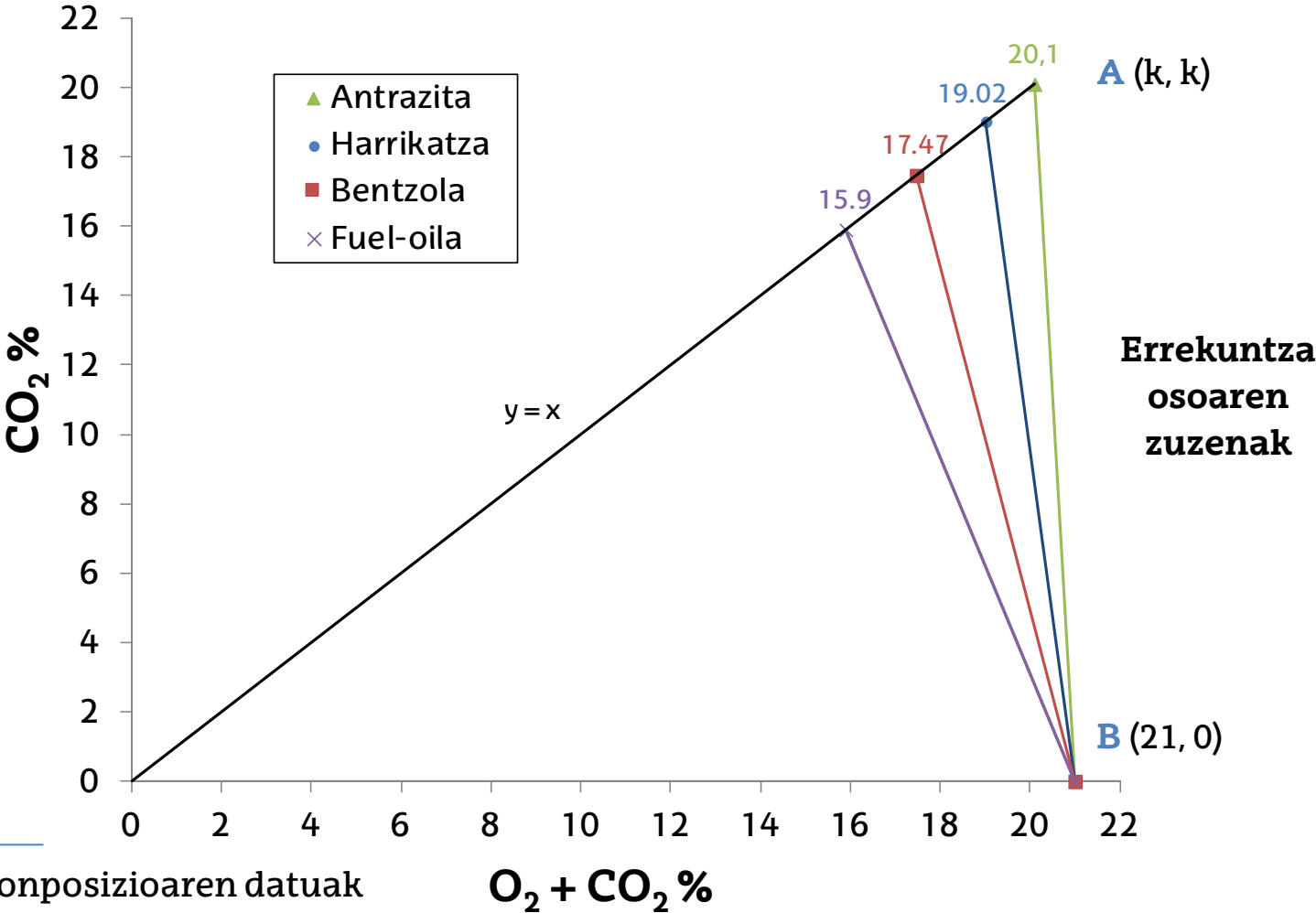
$$y(21-k) = k(21-x')$$

* $x=y$ zuzenarekiko paraleloak
(errekuntza osoa "n"-ren
balio desberdinekin)



ERREKUNTZA-DIAGRAMAK

BUNTE DIAGRAMA: hainbat erregaien adibideak*



*2.2. Taulako konposizioaren datuak



ERREKUNTZA-DIAGRAMAK

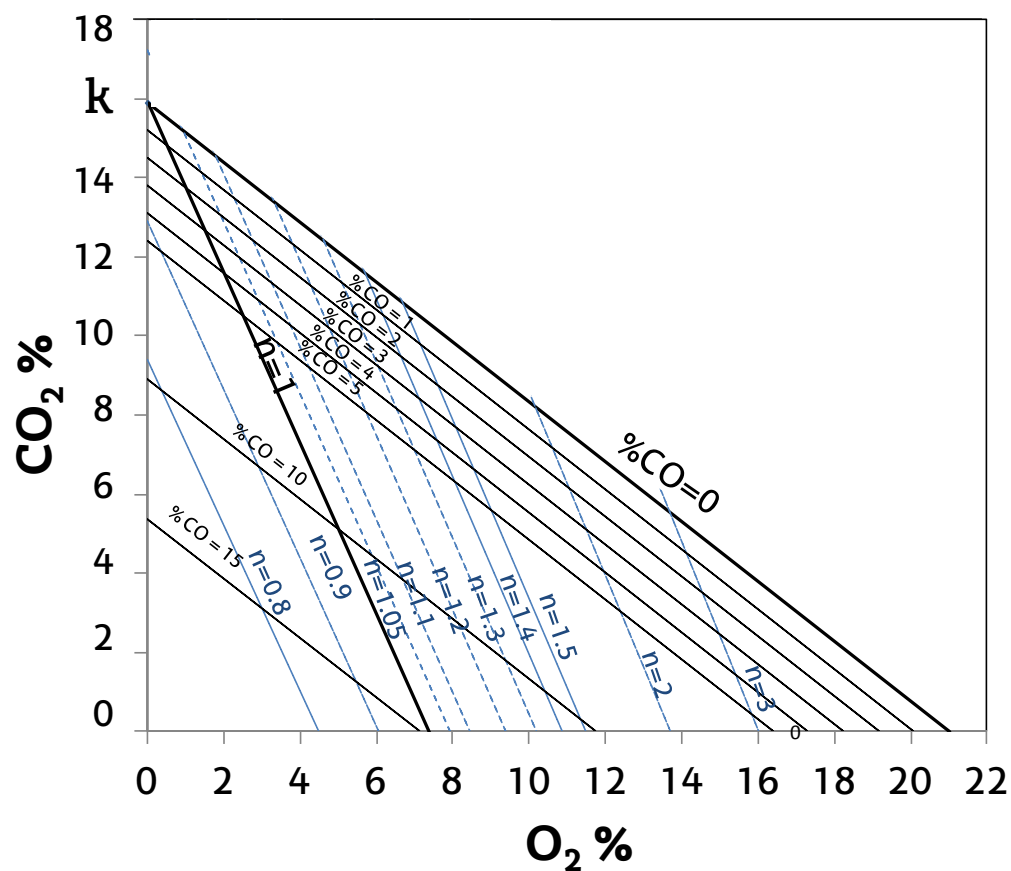
OSTWALD DIAGRAMA

- Abszisa-ardatza: O_2 % gas lehorretan
- Ordenatu-ardatza: CO_2 % gas lehorretan

- Errekuntza osatugabea: gas lehorretan CO % eta airearen gehiegizko koefizientea ("n") kalkulatzeko

Zuzenen familiak:

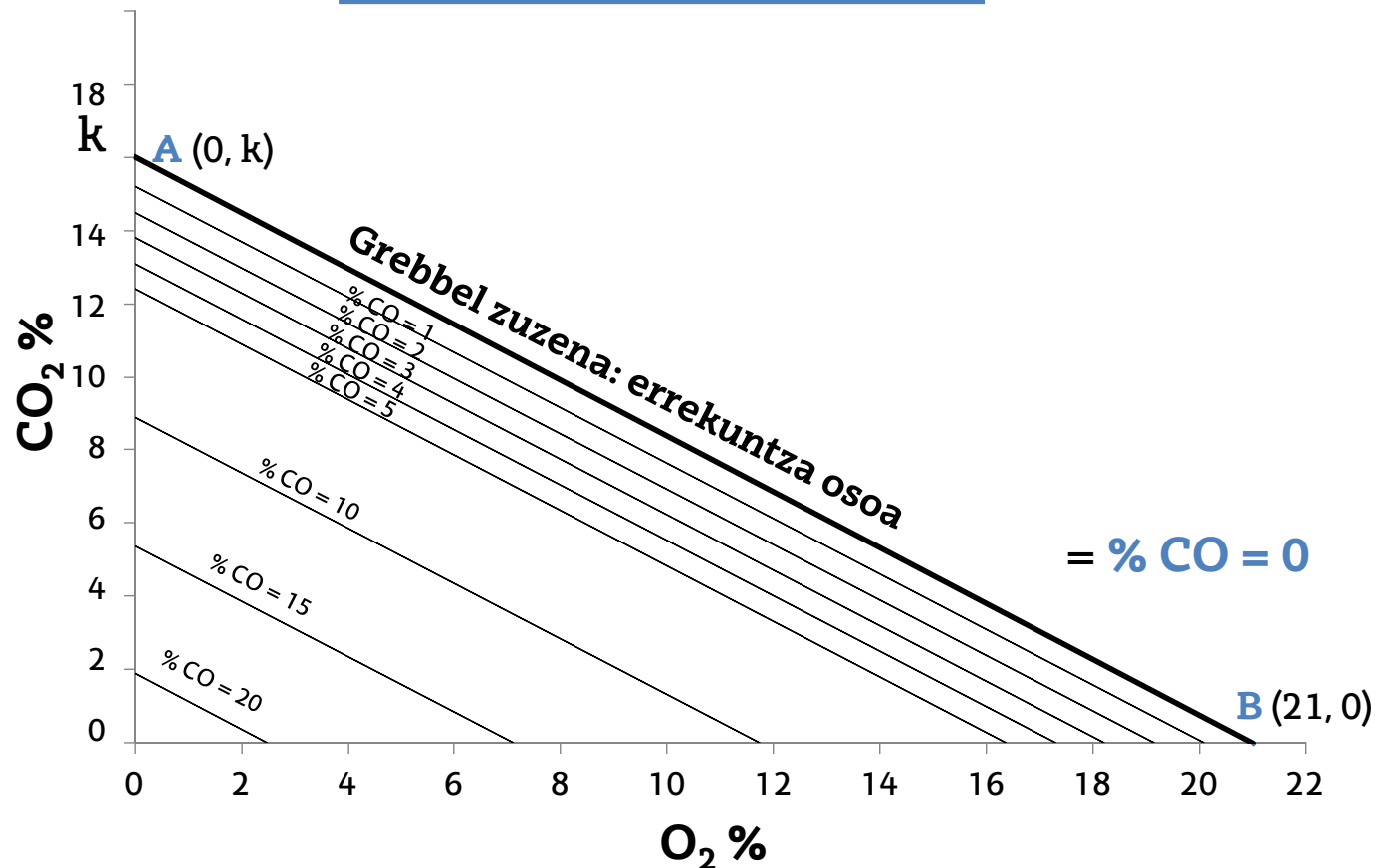
1. familia: % CO = konstante
2. familia: "n" = konstante



ERREKUNTZA-DIAGRAMAK

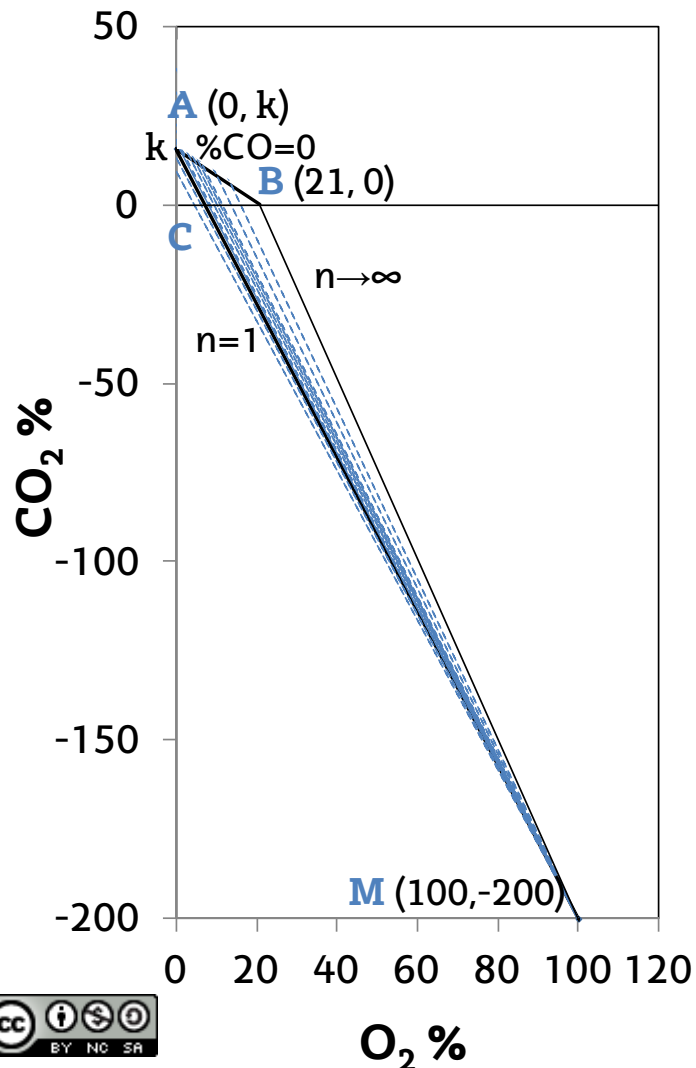
OSTWALD DIAGRAMA : 1. zuzenen familia $(\%CO)_{\text{gas lehorretan}} = \text{konstante}$

$$y = -\frac{k}{21}x + \lambda(0,0188k - 1) + k$$



ERREKUNTZA-DIAGRAMAK

OSTWALD DIAGRAMA : 2. zuzenen familia, "n" = konstante



$$y = -\frac{(k+2) V_T + 2(n-1) A_T}{V_T + 0,79(n-1) A_T} x + \frac{k V_T + 42(n-1) A_T}{V_T + 0,79(n-1) A_T}$$

A puntua (0, k): errekontza teorikoa

%CO = 0, $n=1$

B puntua (21, 0): errekontza osoa

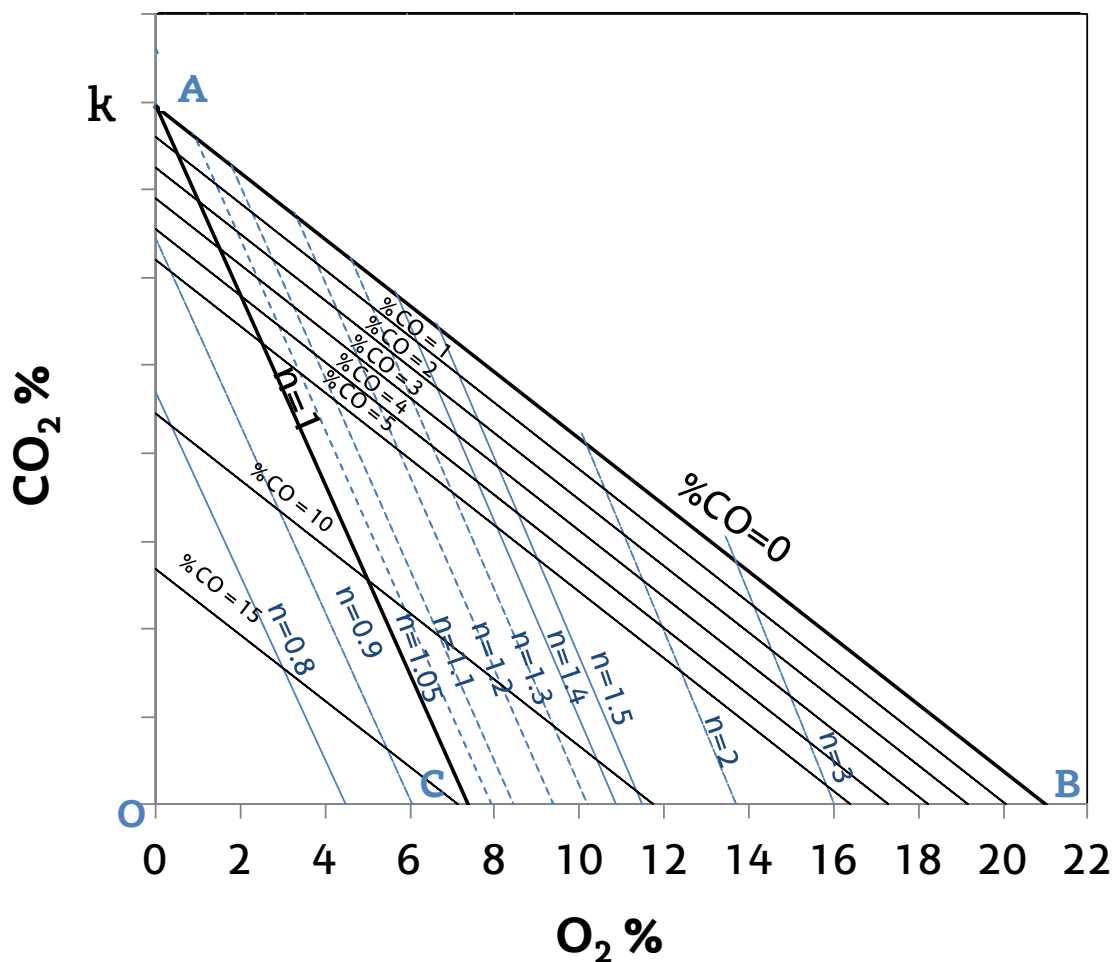
%CO₂ = 0, $n \rightarrow \infty$

C puntua: errekontza osatugabea (A_T -arekin) %CO₂ = 0, $n=1$

M puntua (100, -200): 2. zuzenen familiaren ebakipuntua. Ez dira elkarren artean zuzen paraleloak, baina badirudi baietz, M puntua jatorritik oso aldendurik dago eta.

ERREKUNTZA-DIAGRAMAK

OSTWALD DIAGRAMA: aurreko irudiaren zooma



ZUZENAK

AB: Grebbel zuzena
(errekuntza osoa)

AC: A_T -arekin egiten
diren errekuntza guztiak
($n=1$). A puntuko
errekuntza salbu, guztiak
osatugabeak dira

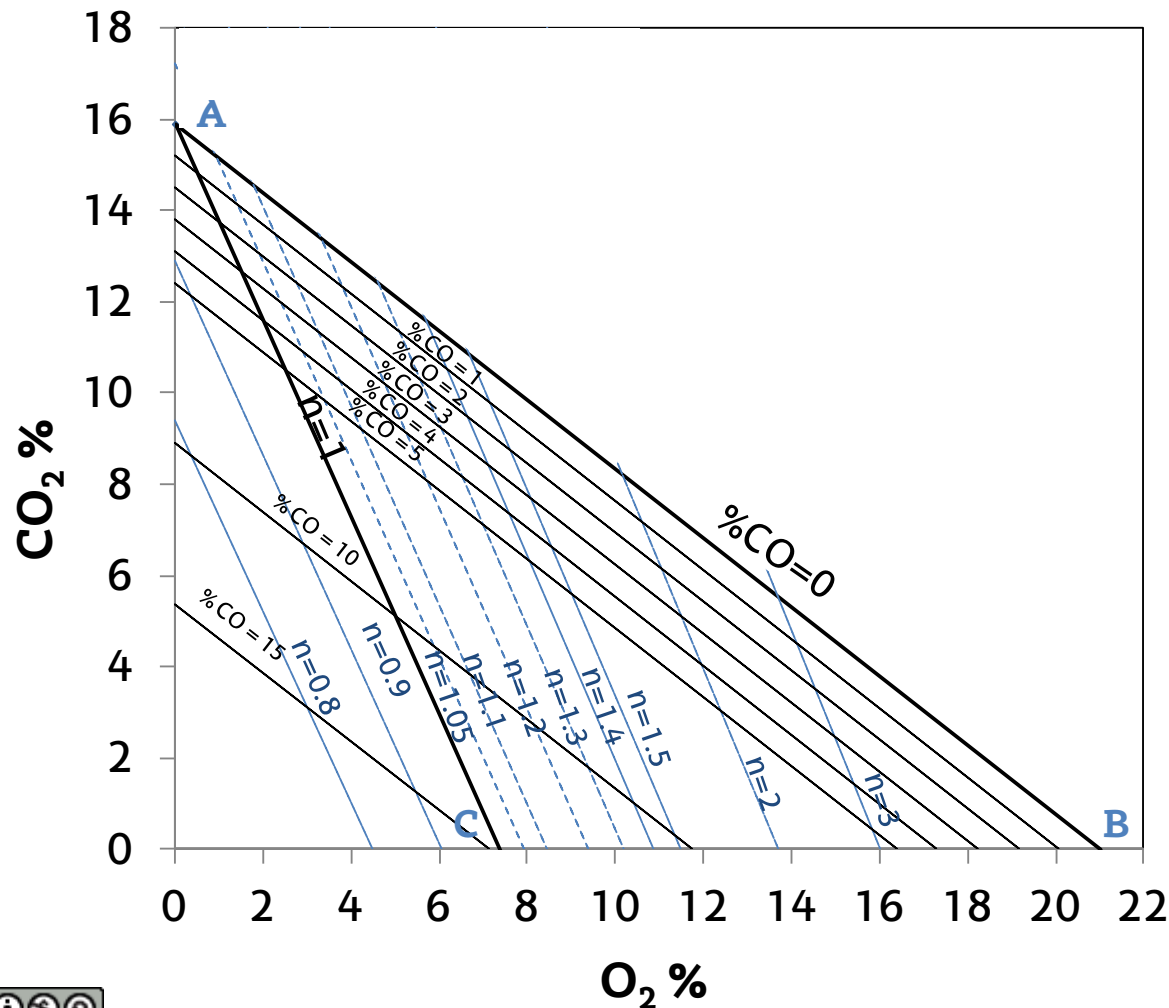
EREMUAK (hirukiak)

AOC: aire eskasiarekin
egiten diren errekuntza
osatugabeak ($n < 1$)

ABC: gehiegizko aireaz
egiten diren errekuntza
osatugabeak ($n > 1$)

ERREKUNTZA-DIAGRAMAK

OSTWALD DIAGRAMA: adibidea, fuel-olioa



2.3. Taula. Fuel-olioaren konposizioa (oinarri lehorra eta errautsik gabe)

Edukia	% C	% H	% O
Fuel-olioa	87	12	1

A puntua(0, 15,9)

B puntua (21, 0)

C puntua(6,7 , 0)