



# 3 GAIA: ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

## IKASMATERIALAK

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

Bilboko Ingeniaritza Eskola  
Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurumenaren Ingeniaritza

# ERREKUNTZAREN EFEKTU TERMIKOAK

---

## 3.1. Giro-airea

## 3.2. Berotze-ahalmena

### 3.2.1. Determinazio esperimentalak

### 3.2.2. Hessen legea

### 3.2.3. Formula enpirikoak

### 3.2.4. Erregaiaren konposiziotik

## 3.3. Bero espezifikoa

## 3.4. Garraren tenperatura adiabatikoa, errekontza-gasen tenperatura eta etekin pirometrikoa

## GIRO-AIREA

**Airea eta errekontza-gasak** lehorrak, baldintza normalak, (bn:  $P_0, T_0$ )

**BALDINTZA ERREALETARA DOITU** → ez dira lehorrak, giro-baldintzak ( $P, T$ )

$$n_0 = n \Rightarrow \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{PV}{T} \Rightarrow V_0 = \frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T} V \quad \left. \vphantom{\frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T}} \right\} \begin{array}{l} \text{3.1 ekuazioa} \\ T: \text{tenperatura (K)} \end{array}$$

**Ur-lurruna:** jatorria

▪ **Errekuntzarako giro-airea:** airearen hezetasuna  $f$  (giro-baldintzak:  $T, P$ , hezetasun erlatiboa)

▪ **Errekuntza-gasak:**

- |   |                                                                           |                             |
|---|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| { | 1) Giro-airearen hezetasuna: printzipio fisikoen araberakoa: 3.1 ekuazioa |                             |
| { | 2) Erregaiaren hezetasuna                                                 |                             |
| { | 3) Erregaiaren H/hidrokarburoen errekontza                                | } Erregaiaren konposiziotik |

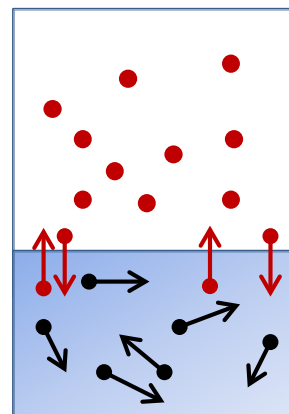
## GIRO-AIREA

**LIKIDO BATEN LURRUN-PRESIOA,  $P_v(T)$**  → likido baten molekulek egiten duten presioa, likidoa itxita dagoen ontzi batean edukita. Lurruntzen diren molekulek likidoaren gainazalean egiten duten presioa oreka dinamikoan:

Lurruntzen den molekula likidoen kopurua =  
kondentsatzen den lurrun-molekulen kopurua

\* Hurrengo araberakoa:

- Substantzia (lurrunkortasuna adierazten du)
- Tenperatura (zenbat eta  $T$  handiagoa izan,  $P_v$  handiagoa)



**3.1. Irudia. Substantzia baten lurrun-presioa. Egileek egindako irudia.**

**LURRUN ASEAREN PRESIOA, ( $P_{sat}$ )** → likido baten lurrun-presioa, fase gaseosoari dagokionez adierazita

# GIRO-AIREA

## 3.1. Taula. Ur likidoaren lurrun-presioa zenbait tenperaturatan. Perry and Green (2001) eskuliburutik moldatua

| T (°C) | P <sub>v</sub> (mmHg) | T (°C) | P <sub>v</sub> (mmHg) | T (°C) | P <sub>v</sub> (mmHg) | T (°C) | P <sub>v</sub> (mmHg) | T (°C)  | P <sub>v</sub> (mmHg) |
|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|---------|-----------------------|
| 0      | 4,58                  | 23     | 21,09                 | 47     | 79,71                 | 71     | 244,33                | 95      | 634,6                 |
| 0,01   | 4,59                  | 24     | 22,40                 | 48     | 83,83                 | 72     | 255,02                | 96      | 658,3                 |
| 1      | 4,93                  | 25     | 23,78                 | 49     | 88,15                 | 73     | 266,11                | 97      | 682,8                 |
| 2      | 5,30                  | 26     | 25,23                 | 50     | 92,65                 | 74     | 277,59                | 98      | 708,0                 |
| 3      | 5,69                  | 27     | 26,76                 | 51     | 97,34                 | 75     | 289,49                | 99      | 734,0                 |
| 4      | 6,10                  | 28     | 28,38                 | 52     | 102,24                | 76     | 301,82                | 100     | 760,0                 |
| 5      | 6,54                  | 29     | 30,07                 | 53     | 107,35                | 77     | 314,58                | 101     | 787,6                 |
| 6      | 7,02                  | 30     | 31,86                 | 54     | 112,67                | 78     | 327,80                | 102     | 815,9                 |
| 7      | 7,52                  | 31     | 33,73                 | 55     | 118,23                | 79     | 341,48                | 103     | 845,1                 |
| 8      | 8,05                  | 32     | 35,70                 | 56     | 124,01                | 80     | 355,63                | 104     | 875,1                 |
| 9      | 8,61                  | 33     | 37,77                 | 57     | 130,03                | 81     | 370,28                | 105     | 906,1                 |
| 10     | 9,21                  | 34     | 39,94                 | 58     | 136,29                | 82     | 385,43                | 106     | 937,9                 |
| 11     | 9,85                  | 35     | 42,22                 | 59     | 142,82                | 83     | 401,10                | 107     | 970,6                 |
| 12     | 10,52                 | 36     | 44,61                 | 60     | 149,61                | 84     | 417,30                | 108     | 1004,4                |
| 13     | 11,24                 | 37     | 47,12                 | 61     | 156,67                | 85     | 434,04                | 109     | 1038,9                |
| 14     | 11,99                 | 38     | 49,75                 | 62     | 164,02                | 86     | 451,33                | 110     | 1074,6                |
| 15     | 12,80                 | 39     | 52,51                 | 63     | 171,65                | 87     | 469,21                | 120     | 1489,1                |
| 16     | 13,64                 | 40     | 55,39                 | 64     | 179,59                | 88     | 487,67                | 130     | 2026,1                |
| 17     | 14,54                 | 41     | 58,41                 | 65     | 187,83                | 89     | 506,73                | 140     | 2710,9                |
| 18     | 15,49                 | 42     | 61,58                 | 66     | 196,39                | 90     | 526,41                | 150     | 3570,5                |
| 19     | 16,49                 | 43     | 64,89                 | 67     | 205,28                | 91     | 546,72                | 200     | 11 659,16             |
| 20     | 17,55                 | 44     | 68,35                 | 68     | 214,51                | 92     | 567,68                | 250     | 29 817,84             |
| 21     | 18,66                 | 45     | 71,97                 | 69     | 224,09                | 93     | 589,31                | 300     | 64 432,8              |
| 22     | 19,84                 | 46     | 75,75                 | 70     | 234,03                | 94     | 611,61                | 373,946 | 165 452,0             |

T kritikoa (T<sub>c</sub>)



# GIRO-AIREA

**IHINTZ-PUNTUA (°C)**  $P_v(T)$  eta  $P_{sat}$  berdintzen diren tenperatura

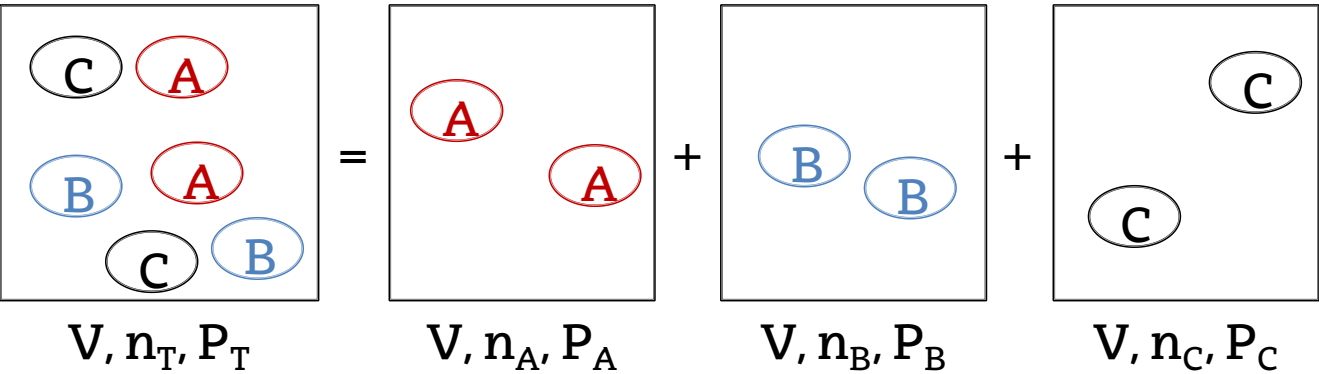
$P_v(T)$ : uraren lurrunaren presio partziala nahaste gaseosoan (aire / errekontza-gasak)

$P_{sat}$ : ur-lurrunaren saturazio-presioa

## DALTONEN LEGEA:

$$P_v = y_{H_2O} \cdot P = \frac{n_{H_2O}}{n_T} \cdot P \xrightarrow{\text{3.1. taula}} \text{Ihantz - T}$$

$y_{(H_2O)}$ : frakzio molarra gas fasean  
 $P$ : presio totala  
 $n_{H_2O}$ : ur-lurrunaren mol-kopurua  
 $n_T$ : gasaren mol-kopuru totala



3.2. Irudia. Daltonen legea. Egileek egindako irudia

## GIRO-AIREA

**Giro-airea (hezea):**  $\text{N}_2$  (% 79),  $\text{O}_2$  (% 21) eta ur-lurruna (v)  
**aire lehorra (a)**

- ✓ **Hezetasun absolutua** ( $\psi$ ): ur-lurrunaren pisuaren eta aire lehorraren pisuaren arteko erlazioa, aire hezearen masa berean ( $\text{kg H}_2\text{O (v) / kg aire lehor}$ )
- ✓ **Hezetasun molarra** ( $\psi_m$ ): erlazio molarra  $\rightarrow$  mol  $\text{H}_2\text{O (v) / mol aire lehor}$ ,  
aire hezearen masa berean

$$\psi_m = \frac{n_v}{n_a} = \frac{P_v}{P_a} = \frac{P_v}{P - P_v} \quad \text{3.2 ekuazioa}$$

$$P_v = \frac{n_v}{n_T} P : \text{ur - lurrunaren presio partziala}$$
$$P_a = \frac{n_a}{n_T} P : \text{aire lehorraren presio partziala}$$

$$P = P_v + P_a = \text{presio totala}$$

- ✓ **Hezetasun erlatiboa** ( $\phi$ ): tenperatura jakinean, nahaste gaseosoan ur-lurrunaren presio partzialaren ( $P_v$ ) eta nahastea ase izango balitz ur-lurrunak izango zuen presio partzialaren ( $P_{\text{sat}}$ ) arteko zatidura.

$$\phi = \frac{P_v}{P_{\text{sat}}}$$

3.3 ekuazioa

# GIRO-AIREA

## Errekuntzarako giro-airearen hezetasuna ( $\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}/\text{m}^3\text{N aire}$ )

w: ur-lurrunaren bolumena ( $\text{m}^3\text{N H}_2\text{O}$ )

A: aire lehorraren bolumena ( $\text{m}^3\text{N aire lehor}$ )

$\phi$  : hezetasun erlatiboa

$$\frac{w}{A} = \frac{n_v}{n_a} = \frac{P_v}{P_a} = \frac{P_v}{P - P_v}; \quad w = \frac{P_v}{P - P_v} A = \frac{\phi P_{\text{sat}}}{P - \phi P_{\text{sat}}} A$$

Baldintza berdinetan 3.2 ekuazioa  
(T, P)

3.3. ekuazioa

Baldintza normaletan:  $w_0 = \frac{\phi P_{\text{sat}}}{P - \phi P_{\text{sat}}} A_0$

$A_R = A_0 + w_0$  errekontzan erabilitako aire hezea (bn:  $P_0, T_0$ )

$$\frac{P V}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} \left\{ \begin{array}{l} V_0: \text{aire hezearen bolumena baldintza normaletan} \\ V: \text{airearen bolumena giro-baldintzatan} \end{array} \right.$$

# BEROTZE-AHALMENA

**ERREKUNTZA-BEROA ( $\Delta H_c^\circ$ )** substantzia jakin baten errekontza osoan askatzen den beroa:  $\Delta H_c^\circ < 0$  (kcal/kmol)

Baldintza estandarrek: 25 °C, 1 atm

**BEROTZE-AHALMENA (BA): - (errekontza-beroa)**

- Erregai solido eta likidoak (kcal/kg)
- Erregai gaseosoak (kcal/m<sup>3</sup>N)

GBA: H<sub>2</sub>O (l)

BBA: H<sub>2</sub>O (v)

$$BBA = GBA - \lambda_{\text{kondentsazio}} \frac{9[H] + w}{100}$$

584 kcal/kg ur-lurrun (25°C)  
(Collieu, 1977)

m

Erregaiaren % H  
(hidrogenoa) eta % w  
(hezetasuna)

kg ur-lurrun/kg erregai  
kg ur-lurrun/m<sup>3</sup>N erregai

Prozesu industrialak  $\Rightarrow$  BBA  $T_h > T_{ihintz}$ : H<sub>2</sub>O (v) errekontza-gasetan

Errekontza-gasen temperatura

\* Ur-lurrunaren kondentsazio-beroa ez da aprobetxatzen

9

# BEROTZE-AHALMENA

## DETERMINAZIO ESPERIMENTALA

▪ **Ponpa kalorimetrikoa** → erregai solido/likidoak ( $V$ =konstantea)

### Bero-balantzea

$$0 = m_{\text{ura}} c_{v, \text{ura}} (T_2 - T_1) + C_{\text{ponpa}} (T_2 - T_1) + m_{\text{erregaia}} Q$$

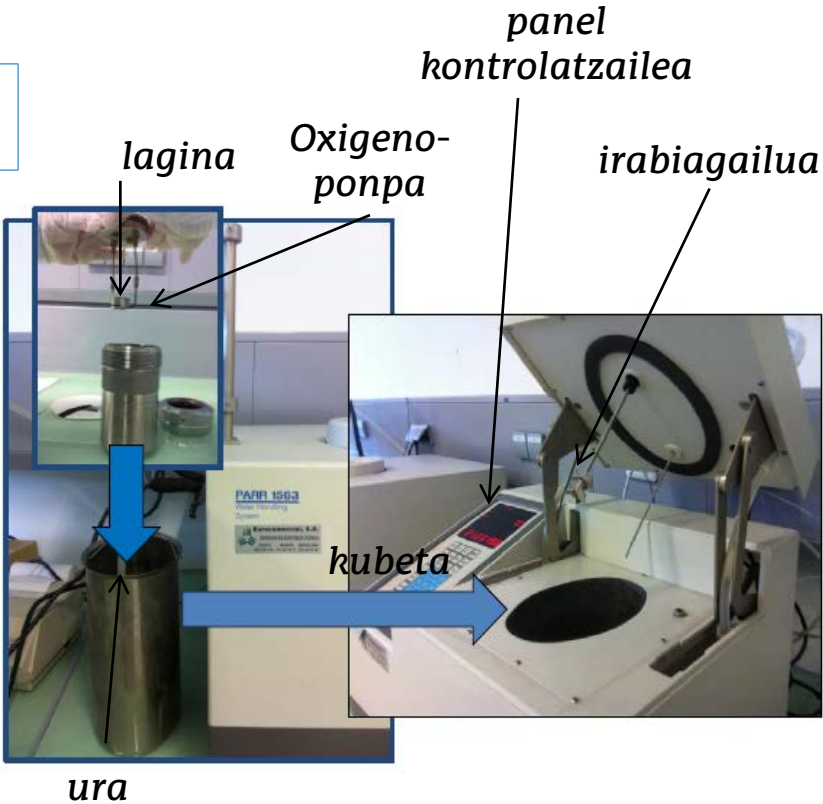
↑  
*sistema isolatua: ez da berorik trukutzen ingurunearekin*

- $m_{\text{ura}}$ : ponpa inguratzen duen ur-masa
- $C_{v, \text{ura}}$ : uraren bero espezifikoa = 1 kcal/kg.°C
- $T_2$ : bukaerako tenperatura
- $T_1$ : hasierako tenperatura
- $C_{\text{ponpa}}$ : ponparen bero-ahalmena
- $m_{\text{erregaia}}$ : erregaiaren laginaren masa
- $Q$ : errektuntza-beroa

**BBA** = -Q (kcal/kg erregai)



\* Zuzenketa,  $H_2SO_4$ ,  $NO_x$  eta beste konposatu batzuk sortzeagatik



**3.3. Irudia. Malher ponpa kalorimetrikoa. Argibide-bideoa. Egileek prestatutako errekturtsoa [1]**

# BEROTZE-AHALMENA

## DETERMINAZIO ESPERIMENTALA

▪ **Kalorimetroa** → erregai gaseosoak (p=konstantea)

### Bero-balantzea

$$0 = m_{\text{ura}} c_{p, \text{ura}} (T_2 - T_1) + C_{\text{kalorimetroa}} (T_2 - T_1) + V_{\text{erregaia}} Q$$

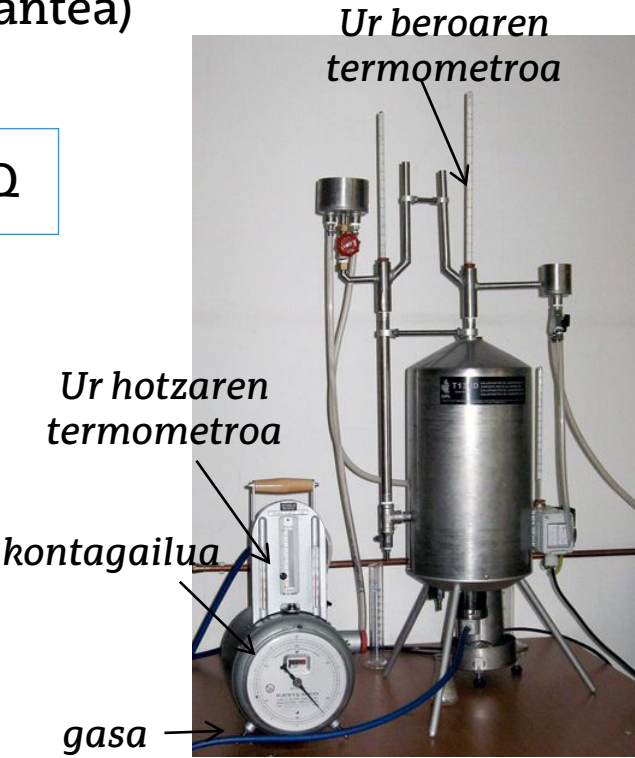
↑  
*sistema isolatua: ez da berorik trukutzen ingurunearekin*

- $m_{\text{ura}}$ : ponpa inguratzen duen ur-masa
- $C_{p, \text{ura}}$ : uraren bero espezifikoa = 1 kcal/kg.°C
- $T_2$ : bukaerako tenperatura
- $T_1$ : hasierako tenperatura
- $C_{\text{kalorimetroa}}$ : ponparen bero-ahalmena
- $V_{\text{erregaia}}$ : erregaiaren laginaren bolumena
- $Q$ : errekontza-beroa

**GBA** = -Q (kcal/m<sup>3</sup>N erregai)

↓  
lurruna — kondentsazioa —> ur likidoa

\* Zuzenketa, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> eta beste konposatu batzuk sortzeagatik



3.4. Irudia. Junkers kalorimetroa. Wikimedian argitaratutako irudia BY-SA 3.0 lizentziapean [2]

# BEROTZE-AHALMENA

## HESSen LEGEA

→ Erregai solido, likido eta gaseosoak (erregaiaren formula molekularra ezagututa)

“Edozein konposatu deskonposatzeko beharrezkoa den bero-kantitatea substantzia hura eratzean, hura eratzten duten elementuetatik abiatuta, askatzen den beroaren beridina da

$$\Delta H_r = \sum \Delta H_f(\text{produktuak}) - \sum \Delta H_f(\text{erreaktiboak})$$

↑  
erreakzio-  
entalpia

↑  
formazio-  
entalpia

✓ Erregai solido eta likidoak (kcal/kg)

$$\left[ \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right] = \frac{\text{kcal}}{\text{kmol}} \frac{1 \text{ kmol}}{\text{PM kg}}$$

✓ Erregai gaseosoak (kcal/m³N)

$$\left[ \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3\text{N}} \right] = \frac{\text{kcal}}{\text{kmol}} \frac{1 \text{ kmol}}{22,4 \text{ m}^3\text{N}}$$

3.2. Taula. Formazio-beroa  
(ΔH°<sub>f</sub>)(25°C, 1 atm). NIST  
webgunetik moldatua [3]

| Substantzia                                   | ΔH° <sub>f</sub> (kcal/mol) |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| Metanoa, CH <sub>4</sub> (g)                  | -17,89                      |
| Azetilenoa, C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g) | 54,30                       |
| Etanoa, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)     | -20,04                      |
| Propanoa, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)   | -24,82                      |
| Butanoa, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)   | -30,03                      |
| CO (g)                                        | -26,42                      |
| CO <sub>2</sub> (g)                           | -94,05                      |
| H <sub>2</sub> O (l)                          | -68,32                      |
| H <sub>2</sub> O (g)                          | -57,80                      |
| SO <sub>2</sub> (g)                           | -70,95                      |
| SO <sub>3</sub> (g)                           | -94,59                      |

## BEROTZE-AHALMENA

### FORMULA ENPIRIKOAK

**Erregai solidoak:**

▪ **Dulong formula:**

$$GBA = 81(\%C) + 340 \left( \%H - \frac{\%O}{8} \right) + 22(\%S) \quad (\text{kcal/kg})$$

**Erregai likidoak:**

▪ **Petroliotik eratorritako erregaiak** → analisi elementaletik abiatuz

$$BBA = 12125 - 292 \left( \frac{\%C}{\%H} \right) - 70(\%S)$$

$$d = 0,25 + 0,0913 \left( \frac{\%C}{\%H} \right)$$

$$BBA = 12925 - 3200d - 70(\%S) \quad (\text{kcal/kg})$$

C%, H%, S%: erregaian duten % pisuan  
d: erregaiaren dentsitatea 15 °C-an (kg/L)

▪ **Boie formulak:** formula molekular ezaguneko hidrokarburo-nahasteak.

$\text{CH}_{2z}$  ezagututa ( $2z = H/C$ , erlazio molarra) analisi elementaletik:

$$GBA = 1000 \frac{100,9 + 56z}{12 + 2z} \quad (\text{kcal/kg})$$

$$BBA = 1000 \frac{100,9 + 45,2z}{12 + 2z} \quad (\text{kcal/kg})$$

# BEROTZE-AHALMENA

## ERREGAIAREN KONPOSIZIOTIK

Erregai gaseosoak:

▪ Konposizioa ezagututa:

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

$y_i$ : i osagaiaren frakzio molarra  
 $BA_i$  (GBA edo BBA): i osagaiaren berotze-ahalmena

**3.3. Taula. Zenbait gasen goiko berotze-ahalmena (GBA) eta beheko berotzen-ahalmena (25°C, 1 atm) (kcal/m<sup>3</sup>N) (Pulgar Díaz, A. eta Olay Lorenzo, M.R., 2008)**

| Gasa                                      | GBA   | BBA   |
|-------------------------------------------|-------|-------|
| Hidrogenoa (H <sub>2</sub> )              | 3050  | 2570  |
| Metanoa (CH <sub>4</sub> )                | 9530  | 8570  |
| Etanoa (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )   | 16860 | 15390 |
| Propanoa (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) | 24350 | 22380 |
| Butanoa (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> ) | 32060 | 29560 |
| Karbono monoxidoa (CO)                    | 3030  | 3030  |

## BERO ESPEZIFIKOA

**BERO ESPEZIFIKOA (c)** → substantzia jakin baten masa unitateari eman beharreko beroa haren tenperatura 1 °C-an handiagotzeko (kcal/kg °C, kcal/m<sup>3</sup>N °C...)

V=konstantean →  $c_v$

p=konstantean →  $c_p$  (c)

\*Bero espezifikoa tenperaturaren arabera da, oro har:

$$c_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

$$c_p = a + bT + cT^2$$

**BERO-AHALMEN ESPEZIFIKOA (C)** → substantzia jakin baten kuantitate jakinari egin beharreko bero-ekarpena haren tenperatura 1 °C-an handiagotzeko (kcal/°C, kcal/°C...)

$$C = \frac{C}{m} \quad \left. \vphantom{\frac{C}{m}} \right\} \quad m: \text{substantziaren masa (kg...)}$$

## GARRAREN TENPERATURA ADIABATIKOA

**GARRAREN TENPERATURA ADIABATIKOA ( $T_A$ )** → errekuntza jakin batean lor daitekeen tenperatura maximoa (esparru adiabatikoa kontuan hartuz)

**Energia-balantzea:**  $Q_T = c_m \cdot V \cdot \Delta T = c_m \cdot V \cdot (T_A - 0)$

$Q_T$  = errekuntzan emandako bero totala (kcal/kg erregai, kcal/m<sup>3</sup>N erregai)

$c_m$  = errekuntza-gasen batezbesteko bero espezifikoa (kcal/m<sup>3</sup>N °C)

$V$  = sortutako errekuntza-gasen bolumena (m<sup>3</sup>N errekuntza-gas/kg erregai, m<sup>3</sup>N errekuntza-gas/m<sup>3</sup>N erregai)

$T_A$  = tenperatura adiabatikoa (°C) (abiapuntua:  $T_0 = 0$  °C)

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

$$Q_T = Q_C + Q_A + Q_F$$

$Q_C$  = errekuntzan askatutako beroa (erregaiaren GBA)

$Q_A$  = errekuntza-airearen bero sentikorra (aldez aurretik berotzen bada)

$Q_F$  = erregaiaren bero sentikorra (aldez aurretik berotzen bada)

$c_m \cdot V$   $c_M = f(T)$ ,  $V$  = **errekuntza osoaren** errekuntza-gasen bolumena

$$\Rightarrow c_m \cdot V = \sum c_i \cdot V_i = c_{p,CO_2} \cdot V_{CO_2} + c_{p,N_2} \cdot V_{N_2} + c_{p,H_2O} \cdot V_{H_2O} + c_{p,O_2} \cdot V_{O_2}$$

# GARRAREN TENPERATURA ADIABATIKOA

**3.4. Taula. Zenbait gasen bero espezifikokoak presio konstantean (kcal/m<sup>3</sup>N °C), 25°C eta 1400 °C tenperatura tartean. Velasco Hurtado, C. J. webgunetik moldatua [4]**

| Gasa             | 25°C  | 100°C | 500°C | 1000°C | 1400°C |
|------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
| O <sub>2</sub>   | 0,313 | 0,316 | 0,335 | 0,354  | 0,365  |
| N <sub>2</sub>   | 0,311 | 0,311 | 0,320 | 0,335  | 0,345  |
| Aire lehorra     | 0,311 | 0,312 | 0,322 | 0,339  | 0,349  |
| CO <sub>2</sub>  | 0,397 | 0,413 | 0,481 | 0,532  | 0,558  |
| SO <sub>2</sub>  | 0,426 | 0,440 | 0,501 | 0,542  | --     |
| H <sub>2</sub> O | 0,358 | 0,361 | 0,381 | 0,413  | 0,436  |
| H <sub>2</sub>   | 0,301 | 0,309 | 0,312 | 0,318  | 0,325  |
| CO               | 0,311 | 0,312 | 0,322 | 0,339  | 0,349  |

$$*c_p = a + bT + cT^2 + cT^3$$

$$c_p = a + bT + CT^2$$

**T<sub>A</sub>-aren balioa handiagotzeko (errekuntza osoa eta c<sub>m</sub> =kte suposatuz):**

- ✓ Q<sub>c</sub> : berotze-ahalmen handiko erregaiak erabili
- ✓ Q<sub>A</sub>: errekuntzarako airea aldezturik berotu
- ✓ Q<sub>F</sub>: erregaia aldezturik berotu
- ✓ V, n: airea oxigenoan aberastu

## ERREKUNTZA-GASEN TENPERATURA ETA ETEKIN PIROMETRIKOA

**ETEKIN PIROMETRIKOA ( $\eta_p$ )**  $\rightarrow$  garraren tenperatura errealaren ( $T_{LL}$ ) eta tenperatura adiabatikoaren ( $T_A$ ) arteko erlazioa, errektuntzaren baldintzak berdinetan

$$\eta_p = \frac{T_{LL}}{T_A} \approx 0,70-0,80$$

Hauen araberakoa:  $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Errekuntza-ganbera} \\ - \text{Erregai-mota} \end{array} \right.$

Arrazoiak:  $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Erradiazio-galerak ingurunera} \\ - \text{Disoziazio-erreakzioak (endotermikoak) } T > 1500 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ denean:} \\ \quad \text{CO}_2 + Q_1 \leftrightarrow \text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2, \quad \text{H}_2\text{O} + Q_2 \leftrightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \end{array} \right.$

**ERREKUNTZA-GASEN TENPERATURA ( $T_h$ )**  $\rightarrow$  errektuntza-gasek, keek, duten tenperatura

**Energia-balantzeara**  $\rightarrow$   $Q_h = c_{hi} V_i \cdot T_h$

**$T_h$ -ren balioa txikiagotzeko:**

- ✓ Karga aldez aurretik berotu (airea edo erregaia)
- ✓ Ur-lurruna ekoiztu