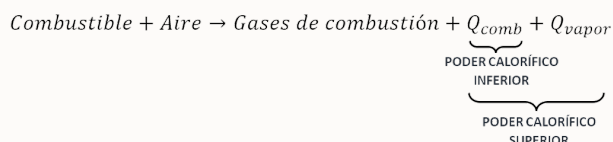


Nomenclatura

PCI [kcal / kg _{comb}]	Poder calorífico inferior
PCS [kcal / kg _{comb}]	Poder calorífico superior
H, S, C, O	% en peso del elemento por kilogramo de combustible (cant. centesimal)
H ₂ O	% de humedad en el combustible
G	Peso
m	Masa
C	Calor latente
c _p	Calor específico
g	Composición gravimétrica (% generalmente)
r	Composición volumétrica (% generalmente)

UNIDAD 2 COMBUSTIÓN

Poder calorífico



Relación entre los poderes caloríficos

$$PCI = PCS - Q_{\text{vapor}} = PCS - 579G$$

$$PCI = PCS - 579(9H + H_2O)$$

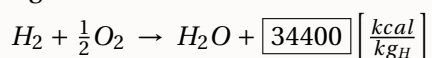
Q_{vapor} Calor de condensación del vapor de agua

G % en peso del agua formada por la combustión más la humedad del combustible.

579 Calor de condensación del agua a 0°C.

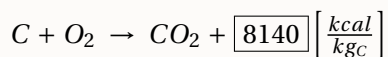
HIDRÓGENO

Reacción química de la combustión completa del hidrógeno

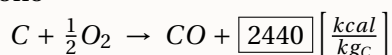


CARBONO

Reacción química de la combustión completa del carbono

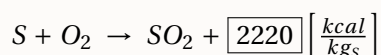


Reacción química de la combustión incompleta del carbono



AZUFRE

Reacción química de la combustión para el azufre.



PC Método analítico

FÓRMULA DE DULONG

PC de un combustible seco

$$PCS = PCI = 8140C + 34400 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2220S$$

PCI de un combustible húmedo

$$PCI = 8140C + 34400 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2220S - 600H_2O$$

FÓRMULA DE HUTTE

PCS de un combustible húmedo

$$PCI = 8100C + 29000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500S - 600H_2O$$

FÓRMULA DE LA ASOCIACIÓN DE INGENIEROS ALEMANES

PCI de un combustible húmedo

$$PCI = 8080C + 29000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500S - 600H_2O$$

$\frac{O}{8}$ % de H_2 en peso combinado con el O_2 del combustible dando *agua de combinación*

$H - \frac{O}{8}$ % de *hidrógeno disponible* en peso que se oxida con el aire (O_2) para dar *agua de formación*

PC Método práctico

CALORÍMETRO DE MAHLER Y KROEGER

Supone que el calor Q generado dentro de la bomba calorimétrica es absorbido por los elementos que la rodean:

- Agua contenida
- Agitador
- Termómetro
- Bomba
- Recipiente

Y dicho calor es cedido por la combustión y el alambre:

$$\begin{aligned} Q &= Q_{combustible} + Q_{alambre} \\ &= (m_w c_{p_w} + E_{aparato}) \Delta t \end{aligned}$$

$$PCS = \frac{Q_{comb}}{G_{comb}}$$

$$PCS = \frac{(m_w c_{p_w} + E_{aparato}) \Delta t - m_{alam} C_{alam}}{G_{comb}}$$

$$PCI = PCS - 600 \frac{G_w}{G_{comb}}$$

G_w Peso total de agua existente
= *papel húmedo* – *papel seco*

G_{comb} Peso de combustible quemado

Aire mínimo

COMPOSICIÓN DEL AIRE ATMOSFÉRICO

En volumen	21 % O ₂
	79 % N ₂
En peso	23 % O ₂
	77 % N ₂

CANTIDAD TEÓRICA O MÍNIMA DE AIRE

$$V_{at} = 8,89 g_C + 26,27 g_{Hd} + 3,34 g_S$$

$$G_{at} = 11,6 g_C + 34,78 g_{Hd} + 4,35 g_S$$

HIDRÓGENO DISPONIBLE

$$g_{Hd} = g_H - \frac{g_{O_2}}{8}$$

EXCESO DE AIRE

En la práctica se trabaja con un exceso de aire de 3-4 % para una combustión completa.

$$V_{exc} = V_{at} (1 + e)$$

e Porcentaje de exceso de aire

Donde:

$$V_{at} \left[\frac{m^3_{aire}}{kg_{comb}} \right] \quad \text{Porcentaje en volumen del aire teórico}$$

$$G_{at} \left[\frac{kg_{aire}}{kg_{comb}} \right] \quad \text{Porcentaje en peso del aire teórico}$$

Gases de combustión

$$g_{humo} = (3,67 g_C + 9 g_{Hd} + 2 g_S) + 3,35 (2,67 g_C + 8 g_{Hd} + g_S) + g_w$$

$$V_{humo} = 1,897 g_C + 11,2 g_{Hd} + 0,7 g_S + 3,76 (1,867 g_C + 5,6 g_{Hd} + 0,7 g_S) + 1,24 g_w$$

$$g_{humo} \left[\frac{kg_{humo}}{kg_{comb}} \right] \quad \text{Porcentaje en peso de los humos}$$

$$V_{humo} \left[\frac{m^3_{humo}}{kg_{comb}} \right] \quad \text{Porcentaje en volumen de los humos}$$

Exceso de aire

$$g_{hum} = 1 + e \, G_{at}$$

$$G_{at} = 11,6 \, g_C + 37,38 \, g_{Hd} + 4,35 \, g_S$$

$$g_{hum} = g_{sec} + 9 \, g_{H_2O}$$

$$g_{sec} = g_C \, g_{sec/C} = g_C \left(\frac{\sum \mu_i \, r_i}{\mu_{CO_2} \, r_{CO_2}} \right)$$

g_h (kg de gases húmedos/ kg de combustible)

e (coeficiente de exceso de aire)

g'_S (kg gases secos / kg carbono)

g''_S (kg gases secos / kmol combustible)

μ (masa molecular) (kg/kmol)

G_{AT} (kg de aire teórico / kg de combustible)

g_S (kg gases secos/ kg de combustible)

g_C kg de carbono / kg de combustible)

g'_C (kg carbono / kmol combustible)

g_w (kg de aire teórico/ kg combustible)

r composición volumetrica

$$g_h = 1 + e \, G_{AT}$$

$$e = \frac{g_h - 1}{G_{AT}}$$

$$g_h = g_s + g_w$$

$$g_s = g'_S \, g_C$$

e Porcentaje de exceso de aire

μ Peso molecular (kg / kmol)

g_{hum} (kg de gases húmedos / kg de combustible)

g_{sec} (kg de gases secos / kg de combustible)

$g_{sec/C}$ (kg de gases secos / kg de carbono)

$$g'_S = \frac{G''_S}{g'_C}$$

$$g_i = \mu_i \, r_i$$

$$g''_S = \sum_{i=1}^n \mu_i \, r_i$$

$$g'_C = \sum_{i=1}^n \mu_C \, r_{iC}$$

$$g'_S = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \, r_i}{\sum_{i=1}^n \mu_C \, r_{iC}}$$

$$g_h = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \, r_i}{\sum_{i=1}^n \mu_C \, r_{iC}} g_C + g_w$$

$$g_w = 9 \, g_{he}$$

$$G_{AT} = 11,6 \, g_C + 37,38 \, g_{hd} + 4,35 \, g_S$$

para mi aca g_S es del azufre, no gases secos/comb.

Yo copié las formulas, pero los analisis dimensionales no dan en algunos...

Característica de una caldera

G_r	cantidad vapor producido
R_e	relacion estequio... 9,7 para gas natural
λ	exceso de aire $\frac{21}{21 - O_2}$
v	velocidad gas
A_2yB	parametros dependen gas/caldera?
P_{ab}	va en MCA
P_C	en combustible sin quemar es la potencia calorifica del carbono, 8140 kcal/kg
%C	es Carbono sin quemar, en las cenizas
$C_{p\ humo}$	se puede aproximar 0.24 $\frac{kCal}{kg\ ^\circ C}$
C_v	vapor sobrecalentado 0.46 $\frac{kCal}{kg\ ^\circ C}$

PERDIDAS

gases combustión	$Q = G_g c_{p\ humo} (t_{gas} - t_{aire})$
humedad comb	$Q = G_{h_2o} \Delta h_{agua}$
comb sin quemar	$Q = \frac{G_{escoria}}{G_{combustible}} P_C \%C$
humedad comb durante combustión	$Q = 9 G_{humedad} \Delta h_{agua}$
exceso aire	$Q = G_{aire} c_{p\ humo} (t_{gas} - t_{aire})$
humedad aire	$Q = G_{aire} c_v (t_{gas} - t_{aire})$

Calor absorbido por agua	$Q = \frac{G_v \Delta h_{agua}}{G_{comb}}$
Capacidad	$Q = G_r \Delta h$
Potencia (HP)	$P = \frac{G_v (\Delta h)}{543,4(kcal/kg) \quad 15,66(kg)} = \frac{G_v (\Delta h)}{8510(kcal/hp\ h)}$

Aire combustion $A_c = G_c R_e \lambda$ *Ejercicio dimensionamiento?*

Diametro tubo gas	$D = \sqrt{\frac{365,35 G_c}{v P_{ab}}} \quad (v < 40m/s)$
Presión abs gas	$P_{ab} = P_{atm} + P_{carga} + P_{contra}$
Perdida gases	$pg = (T_{gas} - T_{amb}) \left(\frac{A_2}{21 - O_2} + B \right)$
Rendimiento	$\eta = 100 - pg$
Calor quemador	$Q = \frac{G_v (\Delta H)}{\eta_{caldera} n_{quemadores}}$

Intercambiador (superficies de intercambio)

S superficie de intercambio

n número de tubos

l longitud tubos

d diametro tubos

K coef total de transmisión de calor

α coeficientes peliculares
(humo/vapor/agua)

$$S = n l \pi d$$

$$Q = S K \Delta T_m$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

e espesor tubo

ΔT_m diferencia log de temp

λ conductividad térmica tubo