

OPERACIONES UNITARIAS

PRACTICO N°4

HORNOS Y CALDERAS

2020

Cálculo de Temperatura Teórica de Llama.

Utilizamos las gráficas e Información brindadas en Weis - Torreguitar

La llama alcanza una temperatura como consecuencia del aporte de calor de:

- ❖ Aire de Combustión, si está precalentado
- ❖ Gas Combustible
- ❖ Calor liberado por la combustión

Sumando estos calores, tenemos el contenido de calor en los gases de combustión.

Objetivo:

Calcular la temperatura teórica de Llama de un Combustible

- Debemos conocer la cantidad de aire ingresado por Kg. de combustible quemado, fijado por el % de CO_2 con el que se trabaja
- Trabajamos con Carbón de R.Turbio, aire con temperatura de 30° y sin exceso de aire.
- Tomando como base de calculo $T_0 = 0^\circ$
- Nuestro % de CO_2 es (de la gráfica W-T)= 18,7%
- Reducimos nuestro cálculo de un combustible en base húmeda a base seca.

Datos del Combustible.

Carbón de Río Turbio, Manto La Dorotea

	Base seca	Base húmeda
	%	%
Carbono	67,1	61,0
Hidrógeno	4,9	4,2
Azufre	0,7	0,5
Oxígeno	12,5	11,2
Nitrógeno	0,8	0,6
Cenizas	14,0	12,5
Agua	—	10,0
	100,0	100,0

Poder calorífico superior 6.100 kcal/kg.

Poder calorífico inferior 5.800 > >

TABLA N° 2

Datos básicos para los cálculos de la combustión

Reacción Química de la combustión	Poder calorífico		Aire requerido para la combustión de 1 kg de combustible		Productos de la combustión de 1 kg de combustible							
	Sup. kcal/kg	Inf. kcal/kg	kg	m ³	En peso kg/kg				En volumen m ³ /kg			
					CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂
C a CO ₂	7,751	7,751	11,53	9,40	3,66	—	—	8,86	1,95	—	—	7,42
H ₂ a H ₂ O	33,605	28,392	34,34	27,99	—	8,94	—	26,41	—	10,82	—	22,13
S a SO ₂	2,191	2,191	4,29	3,50	—	—	2,00	3,29	—	—	0,72	2,76
CH ₄ a SO ₂ y H ₂ O	13,133	11,836	17,27	14,07	2,74	2,25	—	13,28	1,46	2,72	—	11,13
C ₂ H ₂ a CO ₂ y H ₂ O	11,825	11,427	13,30	10,84	3,38	0,69	—	10,22	1,80	0,83	—	8,56
C ₂ H ₄ a CO ₂ y H ₂ O	11,904	11,162	14,81	12,07	3,14	1,29	—	11,39	1,67	1,56	—	9,54
C ₃ H ₄ a CO ₂ y H ₂ O	11,913	10,969	15,70	12,80	2,99	1,63	—	12,07	1,59	1,97	—	10,11
C ₄ H ₁₀ a CO ₂ y H ₂ O	11,719	10,824	15,49	12,62	3,03	1,55	—	11,91	1,61	1,87	—	9,98

Los volúmenes son a 15° C y 760 mm. c. a.

Calculamos los productos de la combustión formados

Composición del combustible en peso		Productos de combustión obtenidos en volumen m ³ /kg de combustible			
		CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂
C	0,610	1,189	—	—	4,526
H	0,028	—	0,303	—	0,620
S	0,005	—	—	0,003	0,014
N	0,006	—	—	—	0,005
Ceniza	0,125	—	—	—	—
Agua	0,226	—	0,273	—	—
	1,000	1,189	0,576	0,003	5,165

Los volúmenes son a 15 °C y 760 mm. c. a.

- El total de los gases de la combustión formados es: Calcule y complete
 - Húmedo: m^3/kg de combustible
 - Seco: m^3/kg de combustible
- El % de CO_2 en los gases producidos es:
 - Húmedo: %
 - Seco: %

Productos de la Combustión Formados

	Base seca	Base húmeda
	%	%
CO_2	18,70	17,10
SO_2	0,05	0,05
H_2O	—	8,35
N_2	81,25	74,50
	100,00	100,00

Se observa el resultado en % en volumen al quemar 1 Kg de carbón de Rio Turbio. También se puede obtener los resultados en peso utilizando los datos de la tabla N°2.

Cálculo de la Cantidad de Aire para la Combustión

El aire necesario para la combustión, tomando la composición del carbón corregida, teniendo en cuenta la influencia del oxígeno presente en la composición del combustible se calcula en base a los datos de la tabla N°2

Composición del Combustible Corregida

	%
Carbono	61,0
Hidrógeno	2,8
Azufre	0,5
Nitrógeno	0,6
Cenizas	12,5
Agua	22,6
	100,0

	Composición del combustible	Aire necesario	
		kg/kg	m^3/kg
C	0,610	7,03	5,73
H	0,028	0,96	0,78
S	0,005	0,02	0,02
N	—	—	—
Ceniza	—	—	—
Agua	—	—	—
		8,01	6,53

Complete con: Aire necesario (kg/Kg de combustible y ó m^3/Kg de combustible)

TABLA N° 1
Pesos y volúmenes específicos de los productos de la combustión

Elementos	Peso específico kg/m ³	Volumen específico m ³ /kg
Anhidrido carbónico CO ₂ ..	1,875	0,533
Anhidrido sulfuroso SO ₂ ..	2,771	0,360
Agua (vapor) H ₂ O ..	0,762	1,210
Nitrógeno N ₂ ...	1,191	0,838
Oxígeno O ₂ ...	1,355	0,706
Aire — ...	1,225	0,815

Los volúmenes son a 15° C y 760 mm. c. a.
El peso específico y volumen específico de una mezcla de gases se saca proporcionalmente.

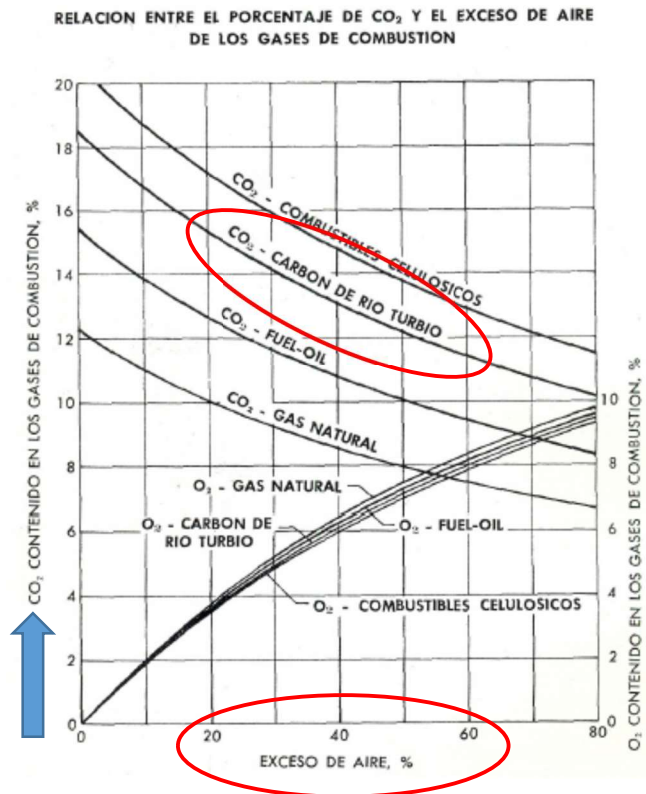
Valores de CO₂ y O₂ en una Combustión

TABLA N° 3
Composición química de los combustibles. Porcentaje teórico de CO₂. Valores prácticos.

Combustible	Composición porcentual base seca						% CO ₂ con 100 % aire	Valores prácticos		
	CO ₂	H ₂	S ₂	N ₂	O ₂	Cza		% CO ₂	% O ₂	% Exc. aire
Fuel-Oil	87,7	12,0	0,2	—	—	0,1	15,7	12/13	3/4	15/25
Carbón R. Turbio ⁽¹⁾	67,1	4,9	0,7	0,8	12,5	14,0	18,7	14/16	4/8	20/40
Carbón R. Turbio ⁽²⁾	—	—	—	—	—	—	—	15/16	4/6	20/25
Gas natural ⁽³⁾	76,0	23,0	—	1,0	—	—	12,1	10/11	1/2	5/10
Celulósicos ⁽¹⁾	50,2	70,0	—	—	42,0	0,8	20,8	13/15	4/8	20/40

(1) Quemando en trozos sobre grillas.
(2) Quemando pulverizado.
(3) La composición del gas natural en volumen es:
C H₄ — 90 %
C₂H₄ — 7 %
C₃H₄ — 2 %
Inertes — 1 %

Utilizamos la siguiente Gráfica para obtener datos de % de CO₂ en función del exceso de aire.



Calores Específicos de gases y vapor de agua

*Calor específico medio para gases y vapor de agua
 a presión constante, entre 0° C y t° C
 kcal/kg °C.*

Temp. t°	O ₂	Aire	N ₂ , CO	H ₂	SO ₂	CO ₂	H ₂ O
0	0,218	0,241	0,249	3,145	0,139	0,202	0,462
100	0,219	0,243	0,251	3,467	0,144	0,209	0,464
200	0,221	0,244	0,252	3,490	0,149	0,217	0,466
300	0,222	0,246	0,254	3,512	0,155	0,225	0,468
400	0,224	0,247	0,255	3,534	0,159	0,232	0,470
500	0,225	0,249	0,257	3,557	0,164	0,238	0,473
600	0,226	0,250	0,259	3,579	0,167	0,243	0,476
700	0,228	0,252	0,261	3,601	0,170	0,248	0,479
800	0,229	0,253	0,262	3,624	0,174	0,253	0,484
900	0,231	0,255	0,264	3,646	0,177	0,257	0,490
1.000	0,232	0,256	0,266	3,668	0,179	0,260	0,495
1.100	0,233	0,258	0,267	3,690	0,181	0,263	0,500
1.200	0,235	0,260	0,269	3,713	0,182	0,265	0,506
1.300	0,236	0,261	0,271	3,735	0,184	0,268	0,513
1.400	0,238	0,263	0,272	3,758	0,186	0,270	0,520
1.500	0,239	0,264	0,274	3,780	0,188	0,273	0,527
1.600	0,240	0,266	0,276	3,802	0,189	0,275	0,535
1.800	0,243	0,269	0,279	3,847	0,192	0,280	0,554
2.000	0,246	0,272	0,282	3,891	0,194	0,283	0,578

Calor aportado por el aire

- De la tabla leemos el calor específico del aire $C_p = 0,241$
- El calor aportado por el aire será:
 - $Q = m \times C_p \times \Delta T =$
 - $Q =$ Kcal/ kg
- El calor total será: PCI del combustible + Q aportado por el aire
- $Q_T =$ Kcal/kg + Kcal/ kg = Kcal/kg
- Aportado por Kg de combustible quemado.

Aire Necesario

	Composición del combustible	Aire necesario	
		kg/kg	m ³ /kg
C	0,610	7,03	5,73
H	0,028	0,96	0,78
S	0,005	0,02	0,02
N	—	—	—
Ceniza	—	—	—
Agua	—	—	—
		8,01	6,53

Temperatura de la llama

- Este calor producido, elevará la temperatura de los gases de combustión el cuál se calcula de forma inversa a la anterior.
- De la tabla leemos el calor específico promedio de los gases $C_p = 0,27$
- El calor aportado por la combustión es: 5857,7 Kcal/kg
- El peso de gases de la combustión será: 9,01 kg formado por 8,01 de aire + 1 Kg de combustible
- De aquí que la temperatura teórica de la llama es:
 - $5857,7 \text{ Kcal/kg} = m \times C_p \times \Delta T = 9,01 \text{ Kg/kg} \times 0,27 \text{ Kcal /Kg } ^\circ\text{C} \times (T_{\text{llama}} - 0) ^\circ\text{C}$

Despejando $T_{\text{llama}} = 5857,7 \text{ Kcal/kg} / (9,01 \text{ Kg/kg} \times 0,27 \text{ Kcal /Kg } ^\circ\text{C}) = 2407^\circ\text{C}$

$$T_{\text{llama}} = 2407^\circ\text{C}$$

- Esta sería la temperatura teórica de llama de la combustión de 1kg de carbón de Rio Turbio sin exceso de aire.



Ejercicios Obligatorios.

- Idem anterior pero con exceso de aire del 30%. R= 1907°C
- Idem anterior pero precalentando el aire a 573 K. y exceso de aire del 30%. R = 2044 °C
- Idem anterior pero con aire a 30°C y temperatura de salida de chimenea a 350°C. Calcule las pérdidas x chimenea. R = 16,7%.

Determinación del Contenido Térmico

Consultando la tabla de Propiedades del Vapor saturado, calcule el calor disponible cuando se condensa vapor a 300,02°F.

De los resultados en Kcal/kg .

Indique a qué presión corresponde esa Temperatura.

Teoría. Calculo de Humedad

La humedad indica la cantidad de agua presente en una muestra. Puede expresarse en base seca o en base húmeda.

Humedad en base húmeda (MC_{wb}) es la cantidad de agua por unidad de masa de muestra húmeda. Entonces,

$$MC_{wb} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de muestra húmeda}} \quad (1.6)$$

Humedad en base seca (MC_{db}) es la cantidad de agua por unidad de masa de sólido seco en la muestra. Entonces,

$$MC_{db} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de sólido seco}} \quad (1.7)$$

La relación entre MC_{wb} y MC_{db} puede deducirse de la siguiente manera:

$$MC_{wb} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de muestra húmeda}} \quad (1.8)$$

$$MC_{wb} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de agua} + \text{masa de sólido seco}} \quad (1.9)$$

Dividiendo numerador y denominador de la ecuación (1.9) por la masa de sólido seco:

$$MC_{wb} = \frac{\text{Masa de agua} / \text{masa de sólido seco}}{\frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de sólido seco}} + 1} \quad (1.10)$$

$$MC_{wb} = \frac{MC_{db}}{MC_{db} + 1} \quad (1.11)$$

Esta misma ecuación sirve para calcular MC_{wb} cuando se conoce MC_{db} . De la misma forma puede obtenerse MC_{db} cuando se conoce MC_{wb} :

$$MC_{db} = \frac{MC_{wb}}{1 - MC_{wb}} \quad (1.12)$$

En las ecuaciones anteriores la humedad está expresada como fracción en peso. Debe advertirse que cuando la humedad se expresa en base seca pueden alcanzarse valores superiores al 100% si la cantidad de agua presente en la muestra es superior a la cantidad de sólido seco presente.