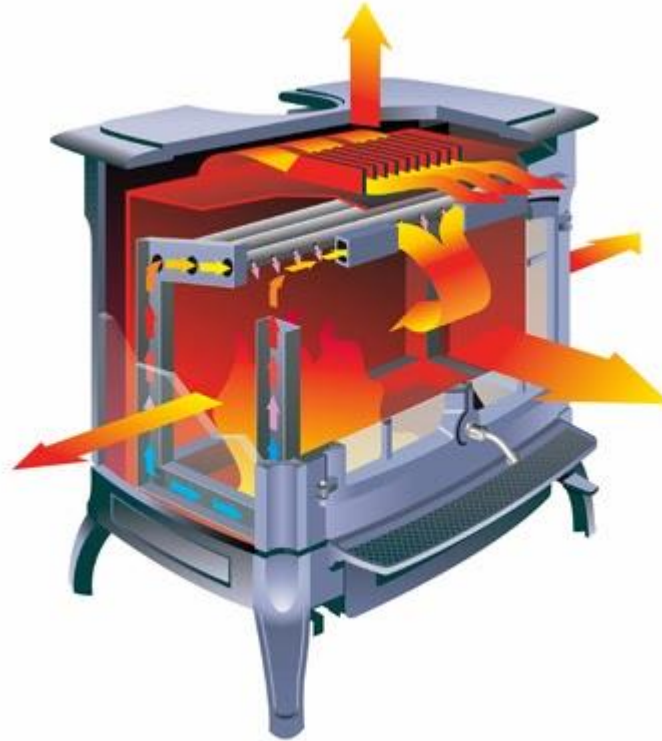


Tema 3. Proceso y tecnología de combustión



1. Proceso químico de la combustión:

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Clasificación de los equipos para la combustión : Hornos y calderas



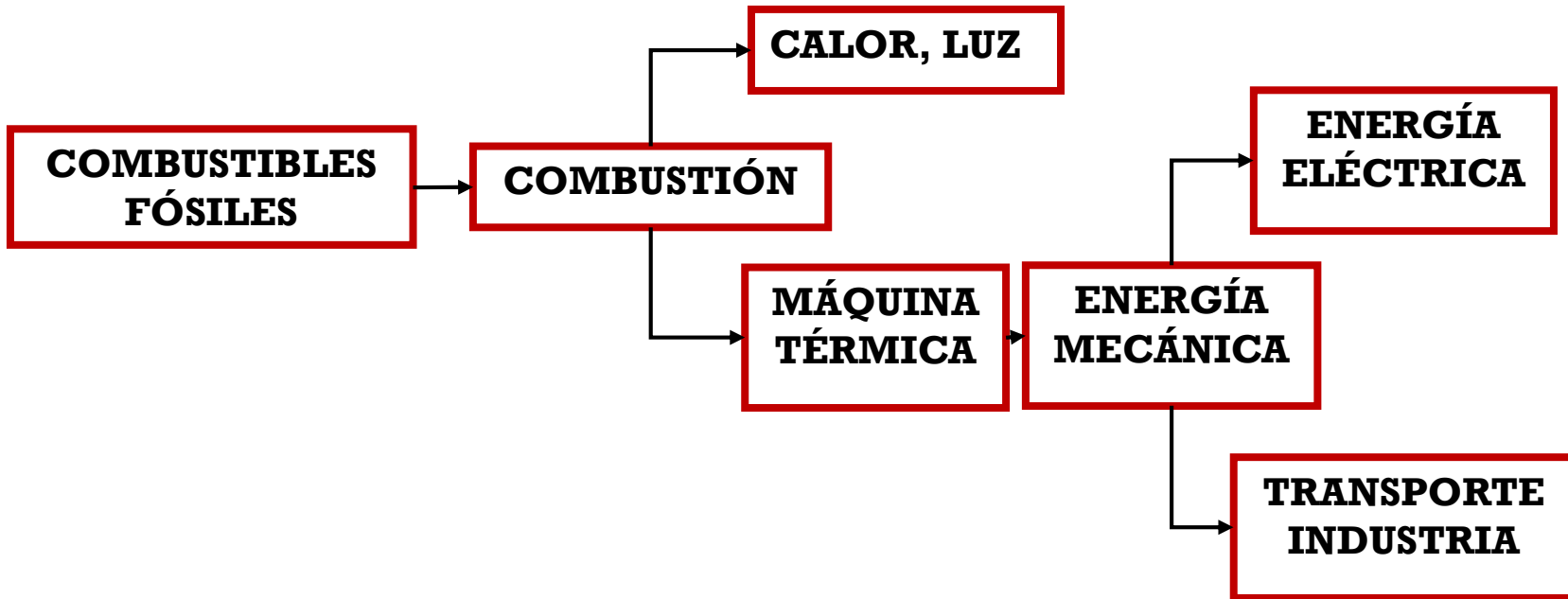
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

1. Proceso químico de la combustión.

DEFINICIÓN: Reacción química mediante la cual se transforma la energía química contenida en los combustibles en energía térmica.



ESQUEMA BÁSICO DE COMBUSTIÓN:

COMBUSTIBLE + COMBURENTE → GASES DE COMBUSTIÓN + CENIZAS + E

- COMBUSTIBLE

- Fuente de H₂

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

▪ **ENERGÍA TÉRMICA** → diferencia de entalpía entre productos y

reactivos. entalpía de combustión

1. Proceso químico de la combustión.

Balance de materia :

- Cantidad de oxígeno (y aire) requerida
- Cantidad y composición de los humos

Tipos de combustión

{ Ideal o estequiométrica
 Completa
 Incompleta

COMBUSTIBLE + COMBURENTE → GASES DE COMBUSTIÓN + CENIZAS + E

masa de productos = masa de reactivos
 moles de producto ≠ moles de reactivos

Balance de materia de los combustibles elementales y combustión completa:

Carbono: C + O₂ → C O₂

1 kmol de C + 1 kmol de O₂ → 1 kmol de CO₂

12,01 kg de C + 31,98 kg de O₂ → 43,99 kg de CO₂

1 kg de C + 2,664 kg de O₂ → 3,664 kg de CO₂

Hidrógeno: H₂ + 1/2 O₂ → H₂ O

1 kmol de H₂ + 1/2 kmol de O₂ → 1 kmol de H₂O

2,016 kg de H₂ + 15,999 kg de O₂ → 18,015 kg de H₂O

1 kg de H₂ + 7,936 kg de O₂ → 8,936 kg de H₂O

Azufre: S + O₂ → SO₂

1 kmol de S + 1 kmol de O₂ → 1 kmol de SO₂

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

CO, hollín (partículas), Hidrogeno libre, HC sin quemar

1. Proceso químico de la combustión.

Entalpía de combustión

$$\Delta H_R = h_P - h_R$$

$\Delta H_R < 0 \rightarrow$ Reacción **exotérmica** ($Q_R > 0$)
 $\Delta H_R > 0 \rightarrow$ Reacción **endotérmica** ($Q_R < 0$)

Poder Calorífico

$$PC = -\frac{\Delta H_R}{M}$$

PCS:
 $HC + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ (líquida)

PCI:
 $HC + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ (vapor)

Composición y PC de combustibles a 298 K (10^3 kJ/kg)

Sólidos

	x_C	x_H	x_O	x_N	x_S	x_w	x_a	PCS	PCI
Madera	0,5	0,06	0,44	<0,01	0	0,12-0,25	0,002-0,008	16,9	15,3
Turba	0,56	0,06	0,34	0,04	<0,01	0,25-0,50	0,01-0,04	13	10
Hulla grasa	0,887	0,049	0,041	0,016	<0,01	<0,01	<0,01	30-34	28-32
Antracita	0,918	0,036	0,026	0,014	<0,01	<0,01	<0,01	30-34	28-32
Coque	0,975	0,003	0,003	<0,01	<0,01	0,02-0,16	<0,01	30	29
Carbono (amorfo)	1							33,9	

Líquidos

	x_C	x_H	x_{O+H}	x_S	PCS	PCI
Gasolina	0,850	0,1445	-	0,0005	46,5	43,6
Gasoil	0,860	0,1095	-	0,0005	44,5	42,1
Gasleo	0,818	0,090	-	0,0003	43,3	40,4

Gases

	x_C	x_H	x_O	PCS	PCI
H_2	-	1	-	143	121
CO	0,429	-	0,571	10,1	10,1

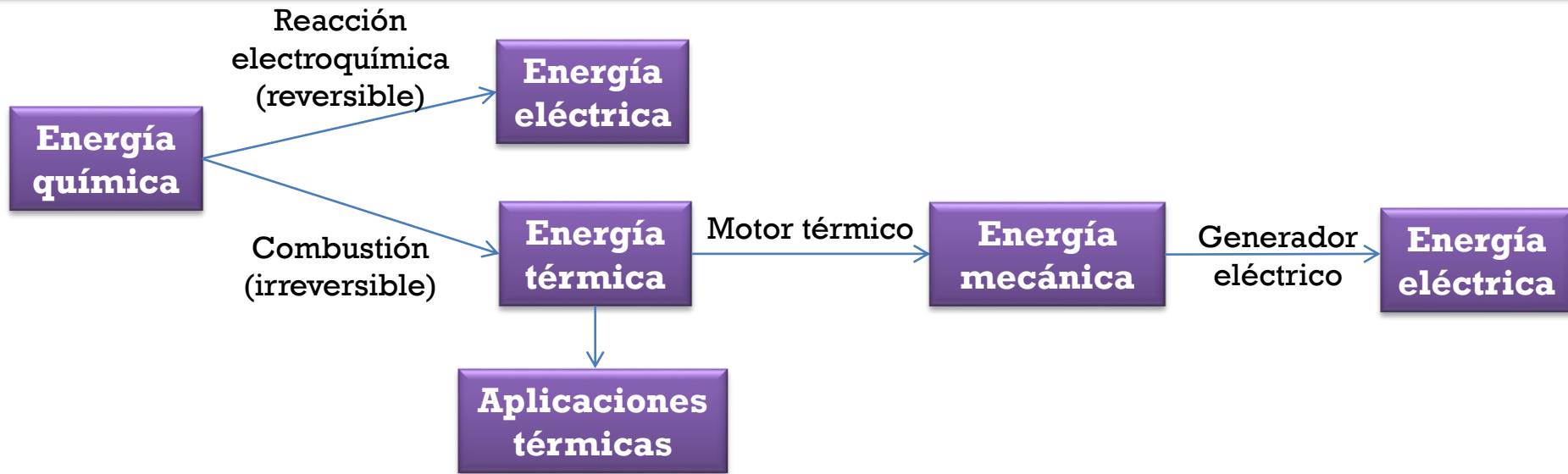
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CH₃OH 0,375 0,125 0,500 - 20,0 21,0

1. Proceso químico de la combustión.



Algunas aplicaciones del proceso de combustión

1. Hornos y calderas
2. Motores de combustión interna alternativos
3. Turbinas de gas y motores a reacción
4. Motores cohete



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

2. El aire de la combustión.

- ✓ **Oxígeno puro** **Aplicaciones especiales** (corte y soldadura)
- ✓ **Aire es el portador del oxígeno (simplificación: AIRE SECO)**

Gas	Fracción molar	Fracción másica
	(kmol/kmol de aire)	(kg/kg de aire)
Nitrógeno (N ₂)	0,79	0,768
Oxígeno(O ₂)	0,21	0,232

- ✓ **Cada mol de oxígeno → 0,79/0,21 = 3,76 moles de nitrógeno**
- ✓ **El N₂ es inerte (simplificación) (Elevadas temperaturas NO_x)**
- ✓ **Relación aire – combustible (AC)**

$$AC = \frac{\text{masa aire}}{\text{masa combustible}} = \frac{\text{moles de aire} \cdot P_m(\text{aire})}{\text{moles de combustible} \cdot P_m(\text{combustible})}; \quad \overline{AC} = \frac{\text{moles aire}}{\text{moles combustible}}$$

$$AC = \overline{AC} \cdot \frac{P_m(\text{aire})}{P_m(\text{combustible})}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

2. El aire de la combustión.

- ✓ **CANTIDAD TEÓRICA O ESTEQUIOMÉTRICA DE AIRE o Consumo mínimo específico:** Cantidad mínima de aire que proporciona oxígeno suficiente para producir la combustión completa. **NO** hay oxígeno en los productos. **SI** hay nitrógeno en los productos.

$$O_{esteq} \left(\frac{kg O_2}{kg combustible} \right) = 2,664 \cdot C + 7,936 \cdot H + 0,998 \cdot S - O$$

C, H, S y O → Fracción másica correspondiente a Carbono, hidrógeno, azufre y oxígeno.

$$A_{esteq} = Aire_{estequeométrico} \left(\frac{kg_{aire}}{kg_{combustible}} \right) = AC_{esteq} = \frac{O_{esteq}}{0,232}$$

- ✓ **COEFICIENTE DE EXCESO DE AIRE** (ϵ o λ): Relación aire – combustible real y la teórica.

$$\frac{masa\ de\ aire\ real}{masa\ de\ aire\ esteq} = \frac{AC}{A_{esteq}} = \frac{0,232 \cdot AC}{O_{esteq}}$$

- ✓ **CANTIDAD REAL DE AIRE:** Es necesario aportar un exceso de aire en la combustión:

- Mezcla imperfecta combustible y aire.
- Tiempo limitado de permanencia en el hogar.
- Limitar la temperatura de la combustión.



- Pérdidas por entalpía sensible de humos (calentar nitrógeno)
- Posibilidad de reacciones secundarias (oxígeno libre)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

exceso Combustibles líquidos 1-1,2

2. El aire de la combustión.

HUMOS

PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN

CENIZAS Y ESCORIAS

- N_2 : Aire
- CO_2 : oxidación de C
- H_2O : oxidación de H
- O_2 : exceso de aire
- SO_2 : oxidación de S
- CO : oxidación incompleta C
- H_2 : reacciones secundarias
- Otros: $NO_x, SO_x \dots$
- PARTÍCULAS:** (en suspensión)
Hollin, inquemados, cenizas volantes, condensados ácidos (bajas T)

CENIZAS: residuo no combustible.
ESCORIAS: cenizas de bajo punto de fusión (compuestos metálicos).

Composición másica de los gases de combustión
Referidas a unidad de masa del combustible

$$m_{CO_2} = 3,664 \cdot C \text{ (kg } CO_2/\text{kg combustible)}$$

$$m_{H_2O} = 8,937 \cdot H + w \text{ (kg } H_2O/\text{kg combustible)}$$

$$m_{SO_2} = 1,998 \cdot S \text{ (kg } SO_2/\text{kg combustible)}$$

$$m_{O_2} = 0,232 \cdot (\lambda - 1) A_{esteq} \text{ (kg } O_2/\text{kg combustible)}$$

$$m_{N_2} = 0,768 \cdot \lambda \cdot A_{esteq} + N \text{ (kg } N_2/\text{kg combustible)}$$

Humos secos (emisiones)

Humos húmedos o totales (Chimenea)

$$m_{humos} = m_{CO_2} + m_{H_2O} + m_{SO_2} + m_{O_2} + m_{N_2} \text{ kg h/kg combustible}$$

$$m_{humos\ secos} = m_{CO_2} + m_{SO_2} + m_{O_2} + m_{N_2} \text{ kg h seco/kg combustible}$$



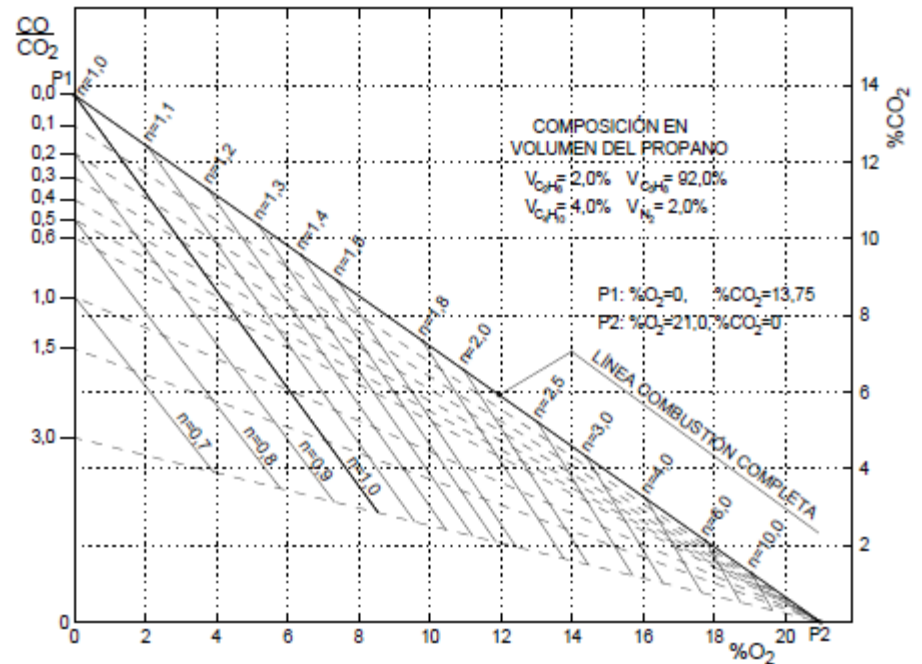
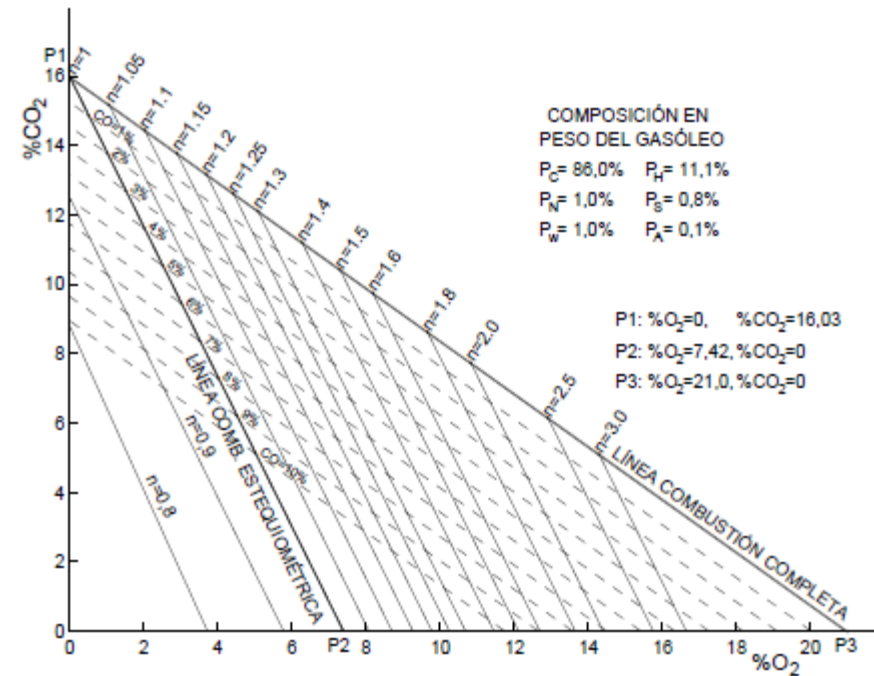
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$m_{humos\ secos} = m_h - m_{H_2O} = m_{hsecos} \text{ (kg h seco / kg comb)} \cdot m_{comb} \text{ (kg)}$$

2. El aire de la combustión.

DIAGRAMA DE BUNTE - OSTWALD



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2. El aire de la combustión.

Precipitaciones ácidas en los humos



Si $T < T_{\text{rocio}}$ del $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ **condensación**

Instalaciones que usen combustible con $S > 0,5 \%$
Temperaturas de salida limitadas ($200 \text{ }^\circ\text{C}$)

Analizador ORSAT

Muestra de gas sobre agua

COMPOSICIÓN DE LOS HUMOS

a) Fracción másica

b) Formular directamente

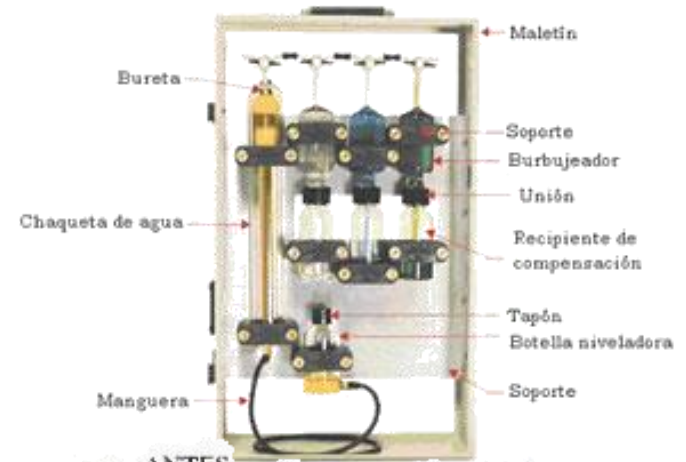
CONCLUSIONES CUALITATIVAS

- **Es deseable un alto contenido en CO_2 .**
 - La combustión es completa
 - Poco exceso de aire
- **Es indeseable un alto contenido en O_2 .**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



ANTES

- **Alta temperatura \rightarrow Perdidas de calor**

- **Bajas temperaturas \rightarrow corrosión**

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{0.1}{1} = 0.1$$

2. El aire de la combustión.

Tabla 1.2. Balance de masa en un proceso de combustión completa

Reacción	$C + O_2 \rightarrow CO_2 + \text{calor}$	$H_2 + 1/2 O_2 \rightarrow H_2O$	$S + O_2 \rightarrow SO_2$	$CO + 1/2 O_2 \rightarrow CO_2$	$C_m H_n + (m + n/4) O_2 \rightarrow m CO_2 + n/2 H_2O$
Balance de masa en kmol	1 kmol C + 1 kmol $O_2 \rightarrow$ 1 kmol CO_2	1 kmol $H_2 + 1/2$ kmol $O_2 \rightarrow$ 1 kmol H_2O	1 kmol S + 1 kmol $O_2 \rightarrow$ 1 kmol SO_2	1 kmol CO + 1/2 kmol $O_2 \rightarrow$ 1 kmol CO_2	1 kmol $C_m H_n + (m + n/4)$ kmol $O_2 \rightarrow$ m kmol $CO_2 + n/2$ kmol H_2O
Balance de masa en m ³ N (0 °C y a 1 atm)	1 kg C + 1,865 m ³ N $O_2 \rightarrow$ 1,865 m ³ N CO_2	1 kg $H_2 + 5,556$ m ³ N $O_2 \rightarrow$ 11,12 m ³ N H_2O	1 kg S + 0,6984 $O_2 \rightarrow$ 0,6828 m ³ N SO_2	1 kg CO + 0,400 m ³ N $O_2 \rightarrow$ 0,800 m ³ N CO_2	1 m ³ N $C_m H_n + (m + n/4)$ m ³ N $O_2 \rightarrow$ m m ³ N $CO_2 + n/2$ m ³ N H_2O
Balance de masa en kg	1 kg C + 2,664 kg $O_2 \rightarrow$ 3,664 kg CO_2	1 kg $H_2 + 7,937$ kg $O_2 \rightarrow$ 8,937 kg H_2O	1 kg S + 0,998 kg $O_2 \rightarrow$ 1,998 kg SO_2	1 kg CO + 0,572 kg $O_2 \rightarrow$ 1,572 kg CO_2	1 kg $C_m H_n + (32 m + 8n/12,01m + n)$ kg $O_2 \rightarrow$ (44,01m/12,01m+n) kg $CO_2 +$ (9,01n/12,01m+n) kg H_2O

Tabla 1.3. Aire estequiométrico y composición de gases de combustión completa

A) En función de la composición del combustible en forma de fracción mássica de los elementos c, h, s, o y la de agua w (combustibles sólidos y líquidos)

	Fracción molar (kmol/ kg _{comb})	Fracción volumétrica (m ³ N/kg _{comb})	Fracción mássica (kg/kg _{comb})
Oxígeno mínimo ($O_{mín}$)	$c/12,01 + h/4,036 + s/32,06 - o/32,00$	22,4 (c/12,01 + h/4,036 + s/32,06 - o/32,00)	32,00 (c/12,01 + h/4,036 + s/32,06 - o/32,00)
Aire mínimo ($A_{mín}$)	$O_{mín}/0,21$	$O_{mín}/0,21$	$O_{mín}/0,232$
Exceso de aire (λ)	$\lambda = A_{real}/ A_{mín}$	$\lambda = A_{real}/ A_{mín}$	$\lambda = A_{real}/ A_{mín}$
Composición de los gases de combustión			
CO_2	c/12,01	22,4 (c/12,01)	44,01 (c/12,01)
H_2O	h/2,018 + w/18,02	22,4 (h/2,018 + w/18,02)	18,02 (h/2,018) + w
SO_2	s/32,06	22,4 (s/32,06)	64,06 (s/32,06)
O_2	$(\lambda - 1) (c/12,01 + h/4,036 + s/32,06 - o/32,00)$	22,4 $(\lambda - 1) (c/12,01 + h/4,036 + s/32,06 - o/32,00)$	32,00 $(\lambda - 1) (c/12,01 + h/4,036 + s/32,06 - o/32,00)$
N_2	$(79/21) \lambda (c/12,01 + h/4,036 + s/32,06 - o/32,00)$	22,4 $(79/21) \lambda (c/12,01 + h/4,036 + s/32,06 - o/32,00)$	28,01 $(79/21) \lambda (c/12,01 + h/4,036 + s/32,06 - o/32,00)$

B) En función de la composición del combustible en fracción volumétrica de H_2 , CO, $C_m H_n$ y w (combustibles gaseosos)

Fracción molar ó volumétrica kmol/kmol _{comb} ó m ³ N/ m ³ N _{comb}
$1/2 H_2 + 1/2 CO + \Sigma(m+n/4)C_m H_n$
$O_{mín}/0,21$
$\lambda = A_{real}/ A_{mín}$
$\Sigma m C_m H_n + CO$
$H_2 + \Sigma (n/2) C_m H_n$
$(\lambda - 1) (1/2 H_2 + 1/2 CO + \Sigma(m+n/4)C_m H_n)$
$(79/21) \lambda (1/2 H_2 + 1/2 CO + \Sigma(m+n/4)C_m H_n)$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS GENERALES

Densidad

Medida en condiciones normalizadas (ASTM D287 y 1298) da idea del rendimiento en productos ligeros que se puede obtener en el fraccionamiento del crudo

Densidad relativa (specific gravity)

$$d_4^{15} = \frac{\text{peso de un volumen de producto a } 15^\circ\text{C}}{\text{peso del mismo volumen de agua a } 4^\circ\text{C}}$$

Densidad relativa estándar (standard specific gravity)

$$S = \frac{\text{peso de un volumen de producto a } 15,55^\circ\text{C (60}^\circ\text{F)}}{\text{peso del mismo volumen de agua a } 15,55^\circ\text{C (60}^\circ\text{F)}}$$

$$S = 1,001 \cdot d_4^{15}$$



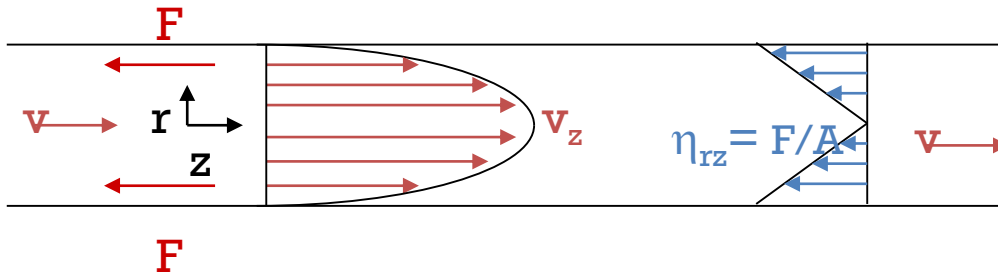
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3. Características de los combustibles.

VISCOSIDAD

- **Determina las posibilidades de bombeo y el régimen en las conducciones.**
- **Viscosidad absoluta o dinámica:** Cociente entre la tensión rasante existente en la pared del recipiente o tubo que contiene el fluido en movimiento y el valor del gradiente de la velocidad del fluido.



$$\mu = \frac{\eta_{rz}}{dv_z/dr} \quad \eta_{rz} = -\mu \left(\frac{dv_z}{dr} \right)$$

Ley de Newton

Unidades: 1 poise = 1 g/cm s = 100 centipoises (cp)

- **Viscosidad cinemática:** Cociente entre la viscosidad absoluta del fluido y su densidad, medidos ambos a la misma temperatura.

μ

Unidades

$$Stoke = \frac{Poise}{g/cm^3} = \frac{g/cm s}{g/cm^3} = \frac{cm^2}{s}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$\mu = \frac{mm^2}{s}$$

VISCOSIDAD

La medida de viscosidad cinemática se basa en el **tiempo** que tarda en pasar una cantidad de fluido dada entre dos muescas en un tubo **capilar calibrado**.

constante de calibrado del aparato → cSt

La viscosidad puede expresarse también como el tiempo, en segundos, empleado por una cantidad normalizada de líquido en fluir a través de un orificio calibrado.



VISCOSIDAD CINEMATICA DE CRUDOS DE PETROLEO (cSt)

Tipo de crudo	°API	21°C	38°C	99°C
Arabian Light	34	5.6	3.8	

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3. Características de los combustibles.

ENSAYOS DE DESTILACIÓN DE LABORATORIO

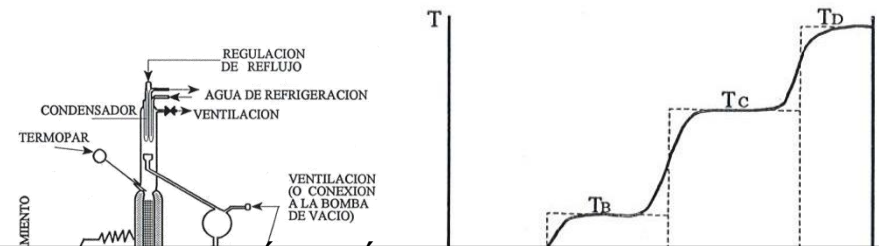
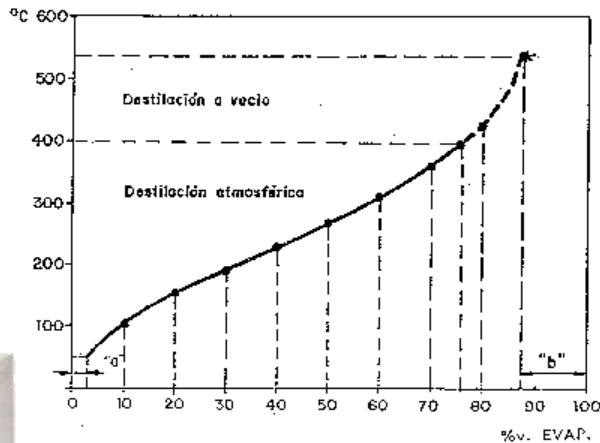
Mejor valorización del crudo petrolífero y posible rendimiento del crudo en el fraccionamiento industrial.

DESTILACIÓN ASTM (ASTM D-86, ASTM D-1160)

DESTILACIÓN TBP (True Boiling Point) (ASTM D 2892)

Norma ASTM D86: Productos ligeros y pesados.
Norma ASTM D-1160: Residuos y crudos

Columna de destilación con 15 a 18 platos teóricos y con una razón de reflujo 5:1. Se puede aplicar a cualquier tipo o fracción de crudo, excepto a GLP, naftas muy ligeras o fracciones con puntos de ebullición superiores a 400 °C.



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

ENSAYOS DE DESTILACIÓN DE LABORATORIO

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS CURVAS DE DESTILACIÓN

- **Punto ASTM-50 y TBP-50 %.** Temperatura del líquido a la que el ensayo ASTM o TBP, respectivamente, ha destilado el 50 % v de la carga: $(t_{50})_{ASTM}$ y $(t_{50})_{TBP}$
- **Pendiente del tramo recto central de las curvas ASTM y TBP,** concretamente entre el 70 % y el 10 % v del destilado:

$$S = \frac{t_{70} - t_{10}}{60} \quad \frac{^{\circ}C}{\%}$$

- **Temperatura media volumétrica de ebullición** (“Volumetric Average Boiling Point – VABP)

CRUDOS:

$$(VABP)_{ASTM} = \frac{(t_{30} + t_{50} + t_{70})_{ASTM}}{3}$$

FRACCIONES:

$$(VABP)_{ASTM} = \frac{(t_{10} + 2t_{50} + t_{90})_{ASTM}}{4}$$

CRUDOS:

$$(VABP)_{TBP} = \frac{(t_{20} + t_{50} + t_{80})_{ASTM}}{3}$$

FRACCIONES:

$$(VABP)_{TBP} = \frac{(t_0 + 4t_{50} + t_{100})_{TBP}}{6}$$

Cartagena99

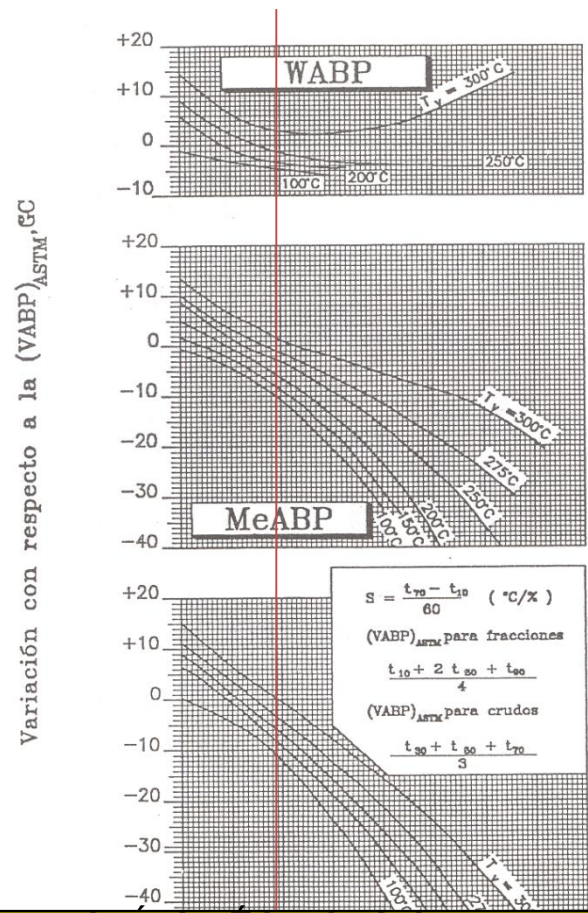
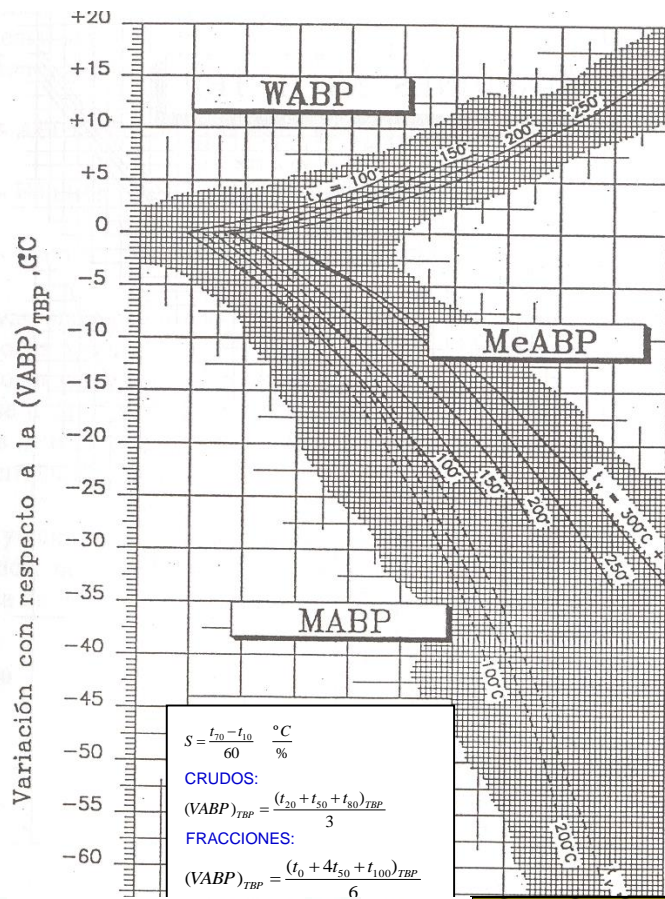
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3. Características de los combustibles.

DETERMINACIÓN DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS DE EBULLICIÓN A PARTIR DE LA TBP

DETERMINACIÓN DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS DE EBULLICIÓN A PARTIR DE LA ASTM



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

pendiente S, en °C/%

FACTOR DE CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO

ÁBACOS PARA LA ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES

Se basa en que las densidades relativas de los hidrocarburos están relacionadas con sus razones H/C y que la temperatura de ebullición está ligada con el número de átomos de carbono en sus moléculas.

$$K_{UOP} = \frac{(MeABP)^{1/3}}{S}$$

- MeABP = Temperatura media ponderada, °R
- S = Densidad relativa standard.

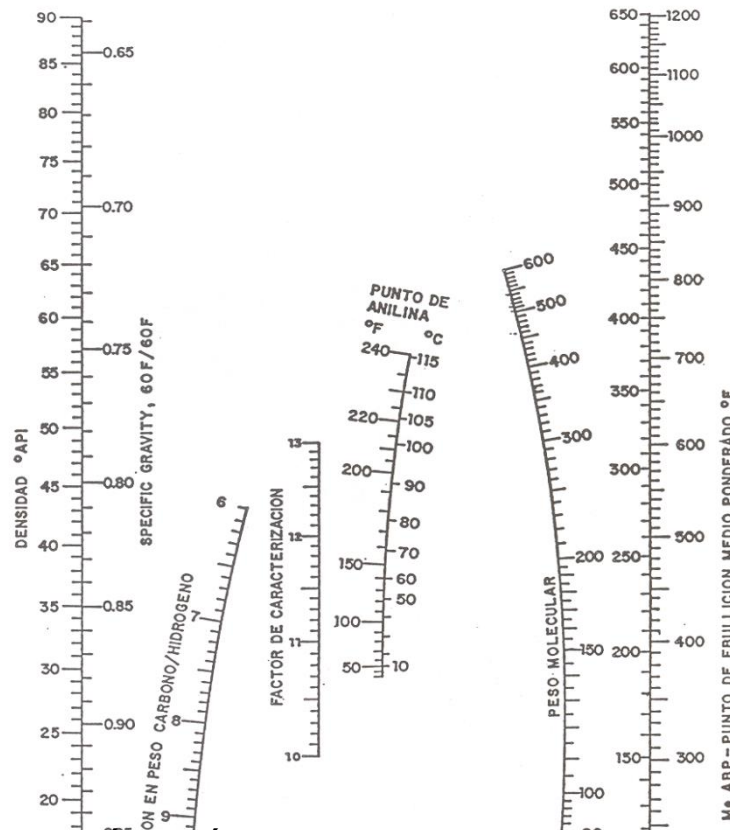
$K_{UOP} = 13 \rightarrow$ parafinas

$K_{UOP} = 12 \rightarrow$ hidrocarburos cuyos pesos de cadena y anillo son equivalentes

$K_{UOP} = 11 \rightarrow$ naftenos

$K_{UOP} = 10 \rightarrow$ aromáticos

Cartagena99



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3. Características de los combustibles.

- **VOLATILIDAD:** adecuada al clima y altitud donde se consume
- **AUSENCIA DE CONTAMINANTES:** componentes corrosivos (S), poliolefinas, etc.
- **ÍNDICE DE OCTANO ADECUADO.** Evitar autodetonación de la gasolina
 - ✓ **Razón crítica de compresión:** valor máximo de la relación de compresión por encima de la cual se produce autodetonación. Depende del tipo de hidrocarburos que componen la gasolina.
 - ✓ **Índice de octano:** proporción porcentual de iso-octano en una mezcla binaria de n-heptano e iso-octano que tiene la misma relación crítica de compresión que la gasolina. Se puede aumentar con una composición adecuada en la gasolina y mediante la adición de antidetonantes (TEP, MTBE y TAME).
- **ÍNDICE DE CETANO ADECUADO.** Controlar el retraso en el encendido

• **Índice de cetano:** porcentaje de n-cetano (C16) en una mezcla de n-cetano y α -metil-

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Algunas aplicaciones del proceso de combustión

Hornos y calderas

Motores de combustión interna alternativos

Turbinas de gas y motores a reacción

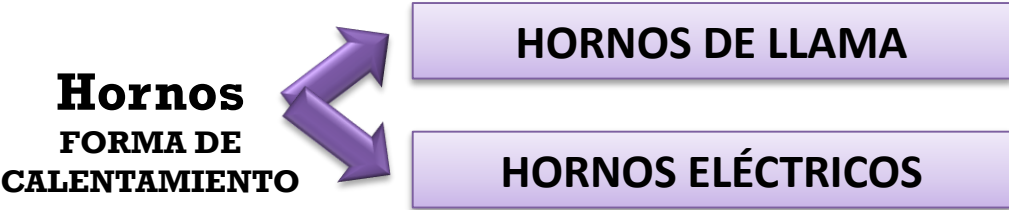
Armas y explosivos

Procesos químicos

Incendios y seguridad

Motores cohete

HORNOS INDUSTRIALES: equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan por encima de la temperatura ambiente, los materiales y las piezas o elementos colocados en su interior.



Gases calientes (llama) producidos en la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

Tipo de calentamiento	Tecnología	Fundamento físico	Densidad de potencia (kW/m ²)
Directo	Por conducción	Efecto Joule	100 - 10 ⁶
	Por inducción electromagnética	C. Foucault - Histéresis	50 - 5 · 10 ⁴
	Alta frecuencia	Efecto Dieléctrico	30 - 100
	Hiper-frecuencia		50 - 500



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cámara de combustión: Recinto donde se realiza la combustión. Forma parte de otros dispositivos térmicos (calderas, hornos, secaderos).

FUNCIONES:

- **Favorecer la buena mezcla comburente – combustible.**
 - **Tiempo de permanencia:** *Velocidad de circulación.*
 - ✓ Si la velocidad es alta → aumentan los inquemados
 - ✓ Si la velocidad es baja → baja potencia.
 - Espacio para la llama (**Dimensiones**): *Si la llama toca la pared de producen inquemados y se destruye el refractario.*
 - **Temperatura** adecuada para la combustión.
 - **Forma:**
 - ✓ Distribución del combustible mediante pulverización.
 - ✓ Turbulencia

- **Evitar perdidas.**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

PARTES

- **Alimentación del aire:**
 - **Combustibles sólidos:** Ventilador.
 - **Combustibles líquidos o gaseosos o pulverizados:** El propio quemador incorpora sistema de impulsión de aire.
- **Alimentación del combustible:**
 - **Combustibles sólidos:** cintas transportadoras o tornillos sin fin.
 - **Combustibles pulverizados:** impulsores neumáticos.
 - **Combustibles líquidos o gaseosos:** propio quemador (bomba o compresor).
- **Almacenamiento de combustible:** Depositos (líquidos o gases) o silos (sólidos)
- **Sustentación del combustible:** Sólo para sólidos. Parrillas o lecho fluidizado.
- **Quemador:** dispositivo para impulsar y quemar combustible y aire. **TOBERAS**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

➤ **Salida de gases**

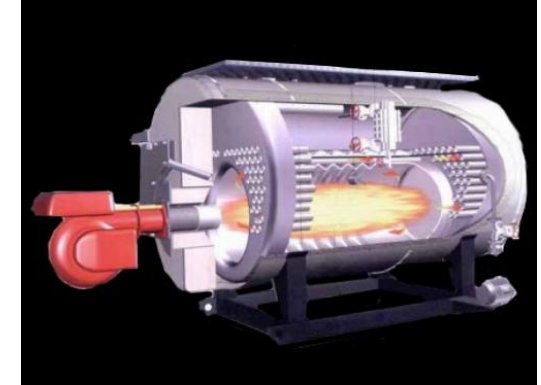
5. Cámara de combustión

Quemador:

mezclar y dirigir el flujo de combustible y de aire de tal manera que se asegure un *encendido rápido y combustión completa*.

• *mezcla previa*: el combustible y el oxidante se mezclan antes del encendido.

• *Quemador directo*: donde el combustible y el oxidante se mezclan en el punto de ignición o encendido.



TIPOS

- **Combustible:**
 - *Solido*
 - *Líquido*
 - *Gaseosos*
- **Presión interior:**
 - *Depresión (-100 a 0 kPa)*
 - *Ligeramente presurizado (0 a 250 kPa)*
 - *Sobrepresión (250 a 1500 kPa)*
 - *Combustión intensiva (> 1500kPa)*
- **Refrigeración**
 - *Paredes refrigeradas*
 - *Paredes no refrigeradas.*
- **Situación:**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

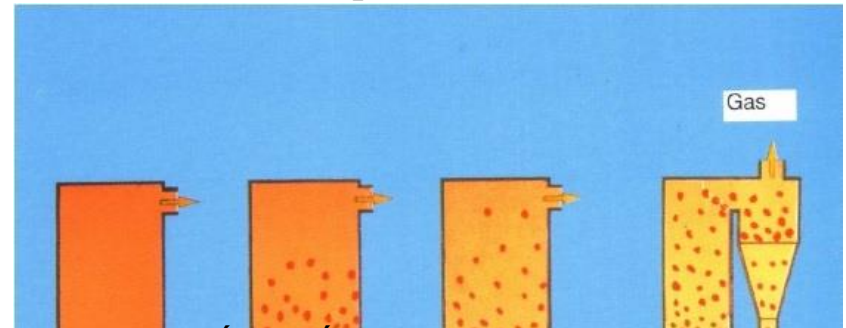
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

➤ **....potencia térmica (kW), densidad térmica (kJ/m³·h), capacidad (m³)**

COMBUSTIBLES SOLIDOS

- **HOGARES DE PARRILLA:** El combust. se deposita sobre una parrilla, que facilita el paso del aire.
 - ✓ Sencillez de diseño.
 - ✓ Gran abundancia de inquemados.
 - ✓ Alto exceso de aire.
 - ✓ Generación de escorias.
- **HOGARES DE CARBÓN PULVERIZADO:** El combust. se proyecta en una corriente de aire.
 - ✓ Mayor rango de combustibles utilizados.
 - ✓ Mayor eficiencia (menores inquemados y menor consumo de aire)
 - ✓ Mayores potencias generadas por unidad de volumen.
 - ✓ Mayor cantidad de cenizas volantes.
 - ✓ Mayor gasto en potencia y equipamiento de molienda, manipulación e impulsión.
- **COMBUSTIÓN EN LECHO FLUIDIZADO:** El combust. se sustenta por una corriente de aire.

- ✓ Alta eficiencia térmica (menor exceso de aire, alta transferencia)
- ✓ Diversidad de combustibles .
- ✓ Temperatura de combustión menor (900 °C) NO_x
- ✓ Mejores características medioambientales



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Horno: Dispositivo que tiene por objeto la transformación físico-química de un producto, llamado carga, mediante la aplicación de calor.

OBJETIVOS:

- **Realizar un tratamiento térmico de un producto para conseguir un producto final .**
- **Preparar la carga para un tratamiento posterior.**
- **Mejorar la productividad en alguna etapa posterior.**
 - **Características físicas de la carga:**
 - ✓ *Calor sensible: calentamiento o enfriamiento.*
 - ✓ *Calor latente: Cambio de fase.*
 - **Características físico-químicas de la carga:**
 - ✓ *Sin interacción entre carga y fluido calefactor.*
 - ✓ *Con interacción carga – gases de combustión y/o fluido calefactor.*
 - ✓ *Otros procesos: Oxidación, Reducción, Carburación,.....*

TRANSMISIÓN DE CALOR

- **Convección y radiación de los gases de combustión.**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

PARÁMETROS:

- **Velocidad de calentamiento.** Distribución de temperaturas
 - ✓ *Lenta: Permite alcanzar temperatura homogénea en toda la masa.*
 - ✓ *Rápida: No hay uniformidad, mayor calentamiento en la superficie (depende del material).*
- **Potencia de calentamiento.** Será necesaria la determinación de:
 - ✓ *Cantidad de calor necesaria.*
 - ✓ *Transferencia de calor.*
 - ✓ *Perdidas de calor.*

Cantidad de calor, temperatura y tiempo necesario para compensar pérdidas.

PARTES

- **Precalentador:** Aprovechar la energía térmica de los gases de escape.
- **Cámara de combustión (hogar).**
- **Solera:** Plataforma donde se coloca el producto que se pretende tratar (material refractario).
- **Cerramientos:** Carcasa aislante + Boveda.
- **Ventanas de trabajo.**
- **Cimentación, plataforma, estructura metálica, juntas térmicas y chimenea.**

MATERIALES REFRACTARIOS

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

CLASIFICACIÓN DE LOS HORNOS

- **Naturaleza de la carga**
 - ✓ *Sólida*
 - ✓ *Líquida*
 - ✓ *Gaseosa*
 - ✓ *Mixta*
- **Fuente de energía**
 - ✓ *Combustibles*
 - ✓ *Energía eléctrica*
 - ✓ *Mixta*
- **Geometría**
 - ✓ *Relación altura/anchura*
 - ✓ *Forma del canal*
 - ✓ *Tambor,...*
- **Desarrollo de la combustión**
 - ✓ *Chorro libre*
 - ✓ *Llama refrigerada*
- **Temperatura**
 - ✓ *Baja (<500 °C)*
- **Disposición de la carga**
 - ✓ *Desnuda*
 - ✓ *En contenedores (Abiertos o cerrado)*
 - ✓ *A granel*
- **Movimiento de la carga**
 - ✓ *Estacionaria*
 - ✓ *Movil contra/equicorriente carga-gases.*
 - ✓ *Por gravedad o forzada*
- **Carga del material en el horno**
 - ✓ *Por vertido*
 - ✓ *En vagonetas*
 - ✓ *Sobre rodillos,...*
- **Extracción del material**
 - ✓ *Tirando*
 - ✓ *Empujando*
 - ✓ *Basculando*
 - ✓ *Bombeando*
 - ✓ *Transportadores de cinta*

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

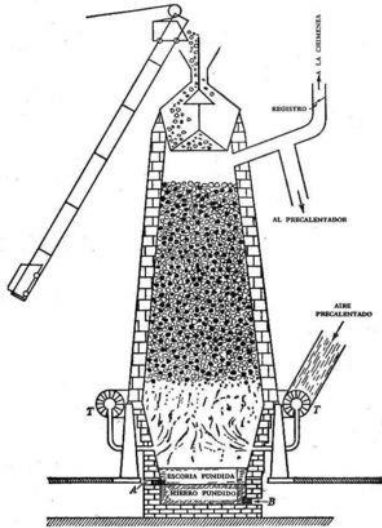
✓ *Continuo*

✓ *Discontinuo*

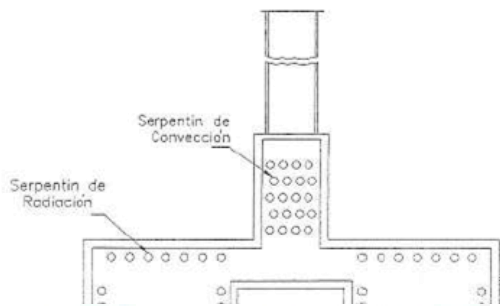
✓ *Con regeneración, ...*

6. Hornos

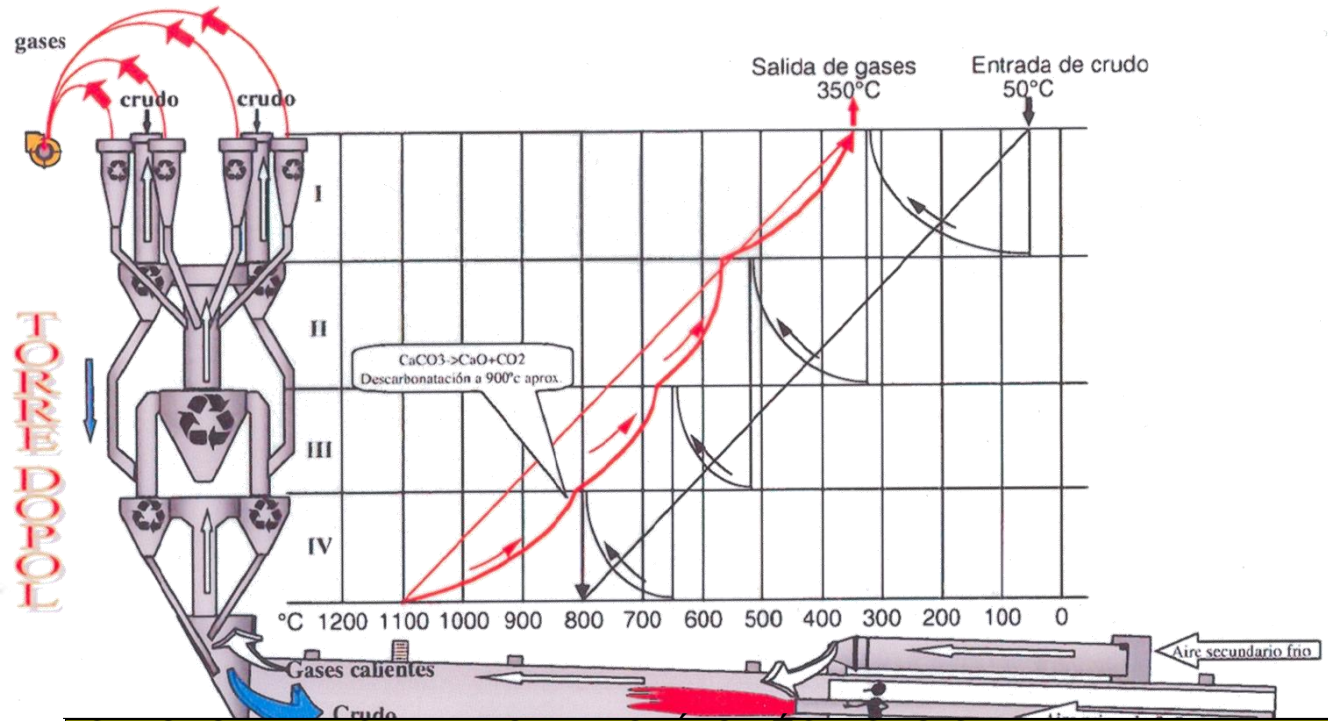
HORNOS VERTICALES O DE CUBA



HORNOS HORIZONTALES



HORNOS ROTATORIOS

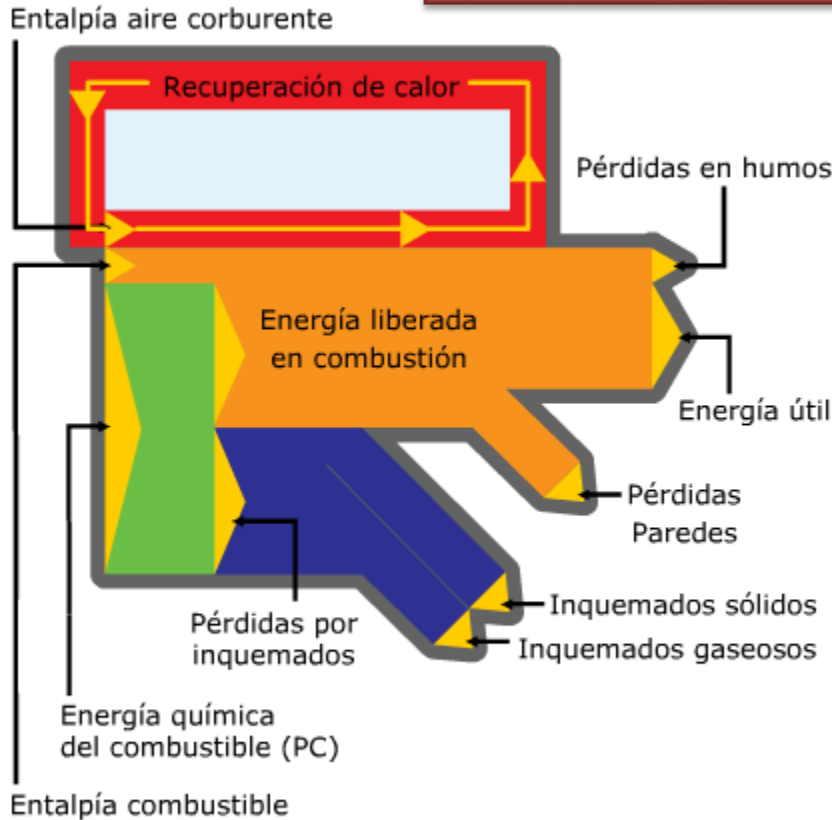


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

BALANCE ENERGÉTICO EN UN HORNO



MATERIALES REFRACTARIOS

Tipo	Refractario	Base	Temperatura fusión (°C)
	Silicio	Si	1.700
Ácidos	Arcilla	$2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.700
	Silimanita	Al_2SiO_5	1.800
	Alúmina (Bauxita)	Al_2O_3	2.050
	Cromita	FeCrO_4	2.000
Básicos	Cal viva	CaO	2.200-2.570
	Magnesia	MgO	2.800
	Dolomita	$\text{CO}_3\text{Ca} \cdot \text{CO}_3\text{Mg}$	2.300
	Carbono	C	3.000
Especiales	Carburo de silicio	CSi	2.500

Diaorama de Sankev

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

BALANCE ENERGÉTICO EN UN HORNO

$$\dot{H}_f + \dot{H}_a + \dot{H}_{car} = \dot{H}_{pr} + \dot{H}_h + \dot{H}_{inq} + \dot{H}_{cen} + \dot{H}_{fug} + |\dot{Q}_{VC}| = (\dot{H}_{pr} - \dot{H}_{car}) + (\dot{H}_h - \dot{H}_a) + \dot{H}_{inq} + \dot{H}_{cen} + \dot{H}_{fug} + |\dot{Q}_{VC}|$$

Energía útil del horno

$$\Delta\dot{H}_u = \dot{H}_{pr} - \dot{H}_{car} = \sum_{pr} \dot{m}_s h_s - \sum_{car} \dot{m}_e h_e \cong \sum_{car} \dot{m}_{car} \cdot [c_{Pcar} |\Delta T + h_{fg} + q_{reac}]$$

$$\dot{H}_f \cong \sum_{car} \dot{m}_{car} \cdot [c_{Pcar} |\Delta T + h_{fg} + q_{reac}] + (\dot{H}_h - \dot{H}_a) + \dot{H}_{inq} + \dot{H}_{cen} + \dot{H}_{fug} + |\dot{Q}_{VC}|$$

Método directo

Rendimiento energético de un horno: cociente entre el incremento de entalpía experimentado por la carga (energía útil) y la energía liberada en la combustión.

$$\eta = \frac{\Delta\dot{H}_u}{\dot{m}_f \cdot PC}$$

$$\nu = \frac{\Delta\dot{H}_u}{\dot{H}_f - \dot{Q}_{rec}} = \frac{\dot{m}_{car} \cdot [c_{Pcar} |(T_{c_{nks}} - T_a) + h_{fg} + q_{reac}]}{\dot{m}_f \cdot PC - (\dot{m}_{pr} \cdot h_{pr} + \Delta\dot{H}_{h,rec})}$$

Método indirecto

Determinación separada de las pérdidas del horno (coincide con el directo si sólo se considera el calor de reacción)

$$P_h = \frac{\dot{m}_h c_{ph} (T_h - T_a)}{\dot{m}_f \cdot PC}; \quad P_{prod} = \frac{\dot{m}_{pr} h_{sens,pr} - \dot{m}_{car} h_{sens,car}}{\dot{m}_f \cdot PC}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

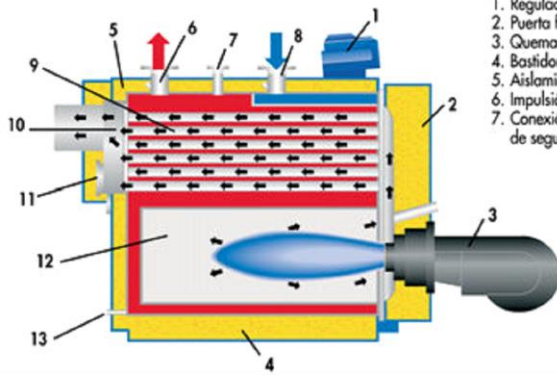
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

7. Calderas y generadores de vapor

CALDERA

Recipiente a presión en el que el calor se transforma en utilizable a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor (AGUA o FLUIDOS TÉRMICOS)

Amplio rango de potencias : 10 kW-1500 MW. Aplicac. Industriales y Domesticas.



1. Regulación
2. Puerta frontal de caldera
3. Quemador
4. Bastidor autoportante
5. Aislamiento
6. Impulsión de caldera
7. Conexión para válvula de seguridad
8. Retorno de caldera
9. Superficie intercambio Composit
10. Colector de gas de escape
11. Orificio de limpieza
12. Cámara de combustión
13. Vaciado de la caldera

La sección de la caldera con tecnología Thermostream y con cámara de inversión, muestra la corriente optimizada de los gases de combustión y del agua de la ida y del retorno.

PARTES

- **CÁMARA DE COMBUSTIÓN Y QUEMADOR**
- **INTERCAMBIADOR (carcasa y tubos)**
- **DEPÓSITOS Y CHIMENEA**
- **EQUIPOS COMPLEMENTARIOS (Economizador, precalentador y sobrecalentador)**

Calor adsorbido por la superficie de intercambio
Radiación
Convección



Calor residual de los humos

CLASIFICACIÓN

- **Circulación de los fluidos:** *Piro tubulares (humos) o Acuotubulares (agua).*
- **Número de pasos:** *Uno o varios.*
- **Posición de los tubos:** *Horizontales o Verticales*

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

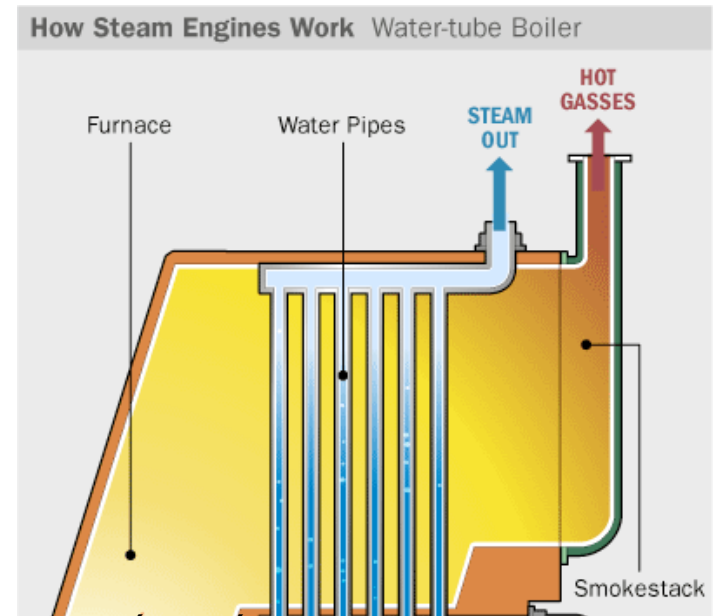
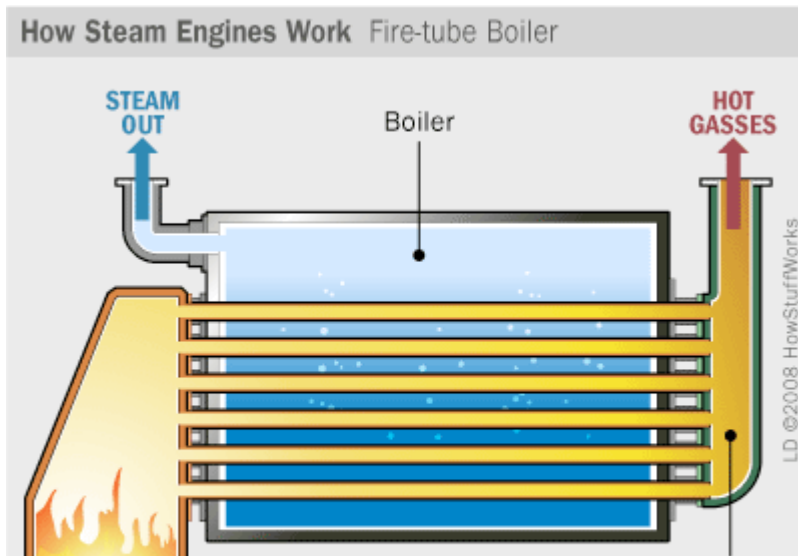
➤ **Nivel:** *Definido o sin definir.*

7. Calderas y generadores de vapor

Pirotubulares: el fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente atravesado por tubos, por los cuales circulan gases a alta temperatura (proceso de combustión)

El agua se evapora al contacto con los tubos calientes producidos a la circulación de los gases de escape.

Acuotubulares: son aquellas calderas en las que el agua circula por el tubo interior de los tubos que conforman un circuito cerrado a través del calderín o calderines que constituyen la superficie de intercambio de calor de la caldera.



Cartagena99

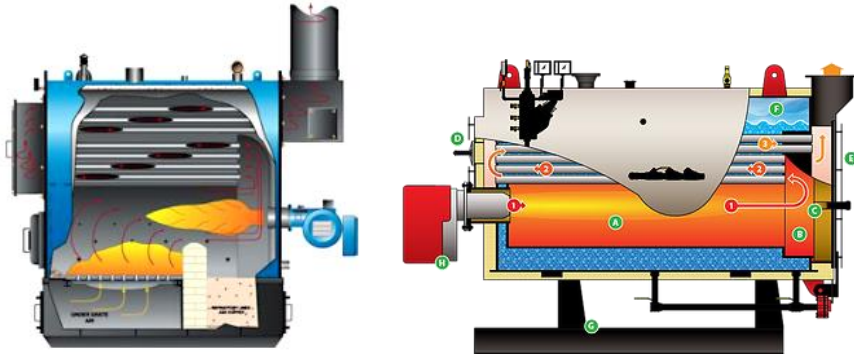
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

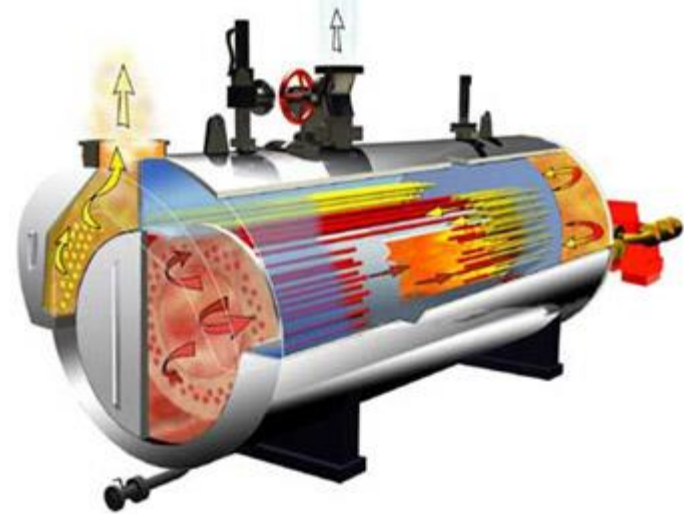
7. Calderas y generadores de vapor

Pirotubulares:

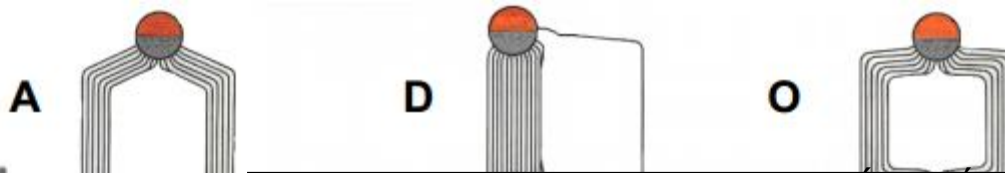
De retorno horizontal



Horno interno



Acuotubulares:



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

7. Calderas y generadores de vapor

CRITERIOS	CALDERA PIROTUBULAR	CALDERA ACUOTUBULAR
Calidad del agua de alimentación	Menores exigencias y posible funcionamiento con salinidad del agua.	Mayores exigencias, siendo necesario un bajo nivel de salinidad para su funcionamiento.
Mantenimiento	Fácil de limpieza y acceso a todas las partes de la caldera.	Más difícil de limpiar y acceso más complejo a todas las partes de la caldera.
Rendimiento	Mayor rendimiento y coste menor de mantenimiento.	Menor rendimiento y coste mayor de mantenimiento.
Contenido de agua	Mayor	Menor
Presiones	Menor	Mayor
Tiempo de puesta en marcha	Menor	Mayor

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TIRO

Fenómeno natural que se produce en todas las cámaras de combustión como consecuencia del movimiento ascendente de los gases formados.

Objetivos: producir la entrada de aire adecuada y evacuar los productos.

➤ **Tiro Natural**

- ✓ *Diferencia entre la temperatura ambiente y la de los gases.*
- ✓ *Altura de la chimenea muy elevada.*
- ✓ *Puede ser insuficiente.*

➤ **Tiro Artificial** Provocado por medios mecánicos y reducen las temperaturas de los humos y /o la altura de la chimenea.

- ✓ *Tipo forzado: ventilador impulsa el aire de combustión al interior (sobrepresión)*
- ✓ *Tipo aspirado: ventilador extractor impulsa los gases hacia la chimenea (depresión)*
- ✓ *Tipo compensado; Combinación de los anteriores.*
- ✓ *Tipo inducido: basado en el efecto Venturi empleando una soplante a que trabaje con aire atmosférico o con los propios gases.*

CHIMENEA

Conducto por el que los gases de combustión salen a la atmosfera. Es la unión de la cámara de combustión y la atmosfera. Dilución de los gases en la atmosfera (altura y ubicación)

Base (hormigón), pedestal y fuste (metálica).

Sección circular (mínima resistencia a la presión del viento, menor fricción y radiación)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Elementos de la chimenea y de contaminante

Elementos de impulsión

8. Tiro y chimeneas

Tabla 6.2 Normativa para la determinación de altura mínima en chimeneas

Tamaño	Disposición legal	Forma de cálculo
<u>Pequeñas</u> $H_0 < 10 + 15 \text{ m}$	Orden del Ministerio de Industria de 21/6/1968 (BOE nº 159 del 3/7/1968)	Las bocas de la chimenea estarán situadas por encima de tejados, muros u obstáculos por lo menos a 1 m por encima de tejados, muros u obstáculos existentes en un radio de 10 m
<u>Medianas</u> $15 + 20 \text{ m} < H_0 < 50 + 60 \text{ m}$ - Instalaciones de combustión de potencia global inferior a 100 MW - Emisiones de hasta 720 kg/h de cualquier gas - Emisiones de hasta 100 kg/h de partículas sólidas	Anexo II de la Orden Ministerial de 18 de Octubre de 1976. Corrección de errores de fórmula anterior (BOE 46 del 23-2-77)	$H_0 = \sqrt{\frac{AQF}{C_M}} \sqrt[3]{\frac{n}{V\Delta T}}$ <ul style="list-style-type: none"> - $A = 70 - I_0$; I_0: índice climatológico, - Q: caudal de contaminante (kg/h) - $F=1$ (gases); $F=2$ (partículas) - C_M: contaminación admisible (mg/m³N) - n: número de chimeneas - V: caudal gases en chimenea (m³/h) - ΔT: T_e - temperatura media anual Parámetros y coeficientes tabulados en OM
<u>Grandes</u> $50 + 60 \text{ m} < H_0 < 360 \text{ m}$ - Instalaciones de combustión de potencia global superior a 100 MW - Emisiones de más de 720 kg/h de cualquier gas - Emisiones de más de 100 kg/h de partículas sólidas	Artículo 10 de Orden Ministerial de 18 de Octubre de 1976	Estudio de dispersión de contaminantes que tenga en cuenta: <ul style="list-style-type: none"> - Estudio meteorológico de la zona. - Topografía de la misma - Contaminación de fondo existente en ella - Aplicación de modelo físico matemático: <ul style="list-style-type: none"> o Fórmula de Pasquill-Gifford para el cálculo de la dispersión o Fórmula de Briggs para el cálculo de la sobre-elevación del penacho

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70