

T8.- Calderas

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
Area: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es
Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28
<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>
Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

1

T8.- CALDERAS

- 1.- Introducción
- 2.- Combustión
- 3.- Combustibles
- 4.- Tipos de Calderas
- 5.- Calderas Murales
- 6.- Calderas de Condensación
- 7.- Quemadores
- 8.- Equipos Auxiliares
- 9.- Sistema de Regulación de la Carga
- 10.- Potencias y Rendimientos
- 11.- Seguridad y Control
- 12.- Chimeneas
- 13.- Calderas Eléctricas
- 14.- Otros Dispositivos
- 15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI
- 16.- Termografía de una Caldera

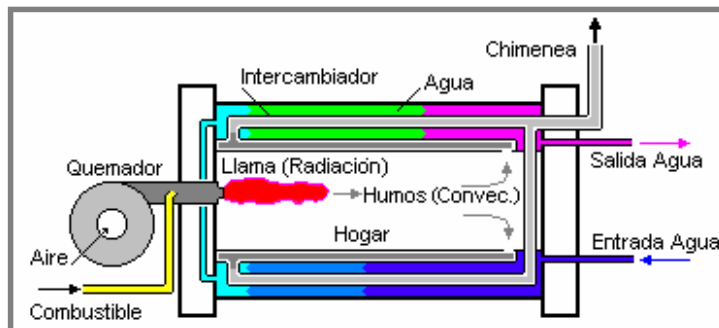
2

1.- Introducción

Las calderas: en ellas la energía de un combustible se transforma en calor para el calentamiento de un fluido

Partes:

- Hogar
- Quemador
- Humos
- Intercambiador de calor
- Fluido caloportador
- Chimenea



Reducir el tamaño de la caldera implica:

- Limitar el tamaño del intercambiador de calor (aletas, turbuladores)
[pérdida de carga en los humos es crítica]
- Reducir el agua contenida \Rightarrow disminuir el tiempo de respuesta
- Hacer más inestable la temperatura de salida
- Disminuir la pérdidas térmicas por la envolvente

3

2.- Combustión (I)

Oxidación rápida [**combustible - comburente**] \Rightarrow **calor** + PDC (humos, cenizas)
a un nivel térmico aprovechable
el **quemador** es el encargado de realizar la mezcla (combustible-aire)

Los **elementos básicos** que reaccionan son (I):

- El oxígeno del aire como comburente (aprox. 1 m^3 por kWh)
- El carbono y el hidrógeno del combustible
- Otros elementos (azufre), e inertes (cenizas)

Reacciones del **Carbono** :

- $\triangleright \text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 32.780 \text{ MJ/kg}$
- $\triangleright \text{C} + 1/2 \text{ O}_2 = \text{CO} + 9.188 \text{ MJ/kg}$
- $\triangleright \text{CO} + 1/2 \text{ O}_2 = \text{CO}_2 + 10.111 \text{ MJ/kg}$

La reacción del **Hidrógeno** es:

- $\triangleright \text{H}_2 + 1/2 \text{ O}_2 = \text{H}_2\text{O}_V + 118.680 \text{ MJ/kg}$

Si el agua se condensa:

- $\triangleright \text{H}_2 + 1/2 \text{ O}_2 = \text{H}_2\text{O}_L + 142.107 \text{ MJ/kg}$

La reacción de **Azufre** es:

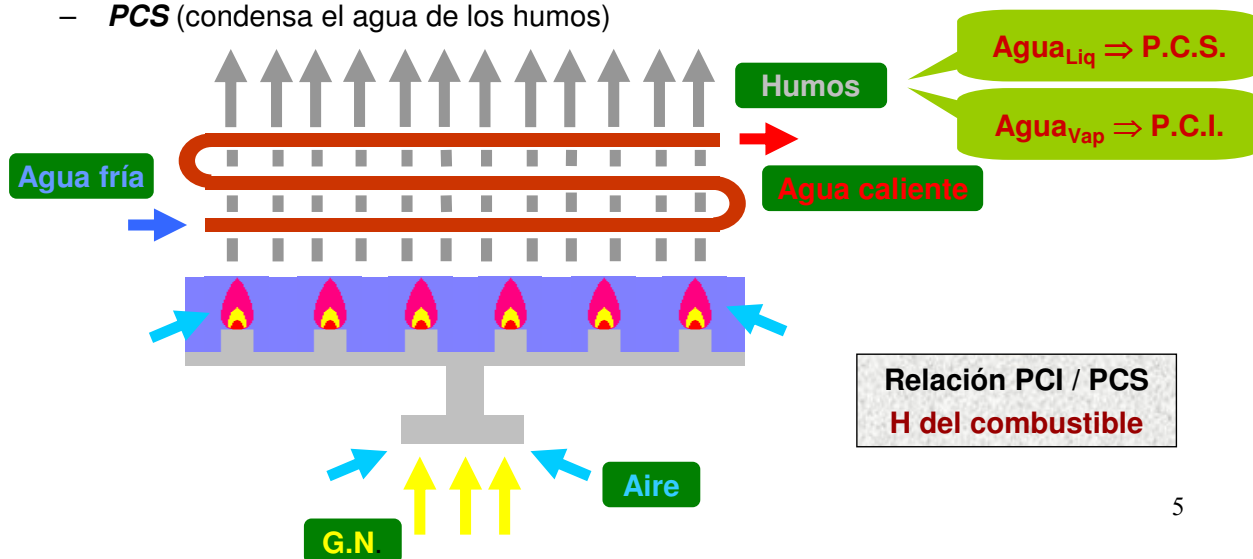
- $\triangleright \text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2 + 2.957 \text{ MJ/kg}$

Inertes \Rightarrow cenizas

2.- Combustión (II)

La cantidad de calor por unidad de masa (o volumen) que desprende un combustible al quemarse es el **Poder Calorífico** (kJ/kg, kJ/Nm³)

- **PCI** (el agua de los humos no condensa)
- **PCS** (condensa el agua de los humos)



5

2.- Combustión (III)

Combustión estequiométrica es una combustión con las proporciones justas de combustible y oxígeno para que todo el C del combustible se oxide a CO₂ (sin producir CO, ni emplear exceso de aire)

La composición del combustible marca el O₂ necesitado

Teórica

- C + O₂ = CO₂ 12 g de C necesitan 22,4 litros de O₂
- H₂ + 1/2 O₂ = H₂O 2 g de H₂ necesitan 11,2 litros de O₂
- S + O₂ = SO₂ 32 g de S₂ necesitan 22,4 litros de O₂

Poder Comburívoro: aire necesario para la combustión estequiométrica de 1 m³ de gas

Aire ≈ 79% Nitrógeno + 21% Oxígeno

	Aire teórico m ³ /Nm ³	PCI		m ³ aire / kWh
		kCal/Nm ³	kWh/Nm ³	
Gas natural	9,3	9.228	10,73	0,87
Butano	31	26.253	30,5	1,016
Propano	23,9	20.484	23,8	1

6

2.- Combustión (IV)

En la **combustión completa** todo el carbono se oxida en CO_2
(para que se produzca en condiciones reales necesita exceso de aire)

La **combustión incompleta** se produce si existe combustible inquemado o CO en los humos
(se puede producir por falta de O_2 , o por mala mezcla aire-combustible)

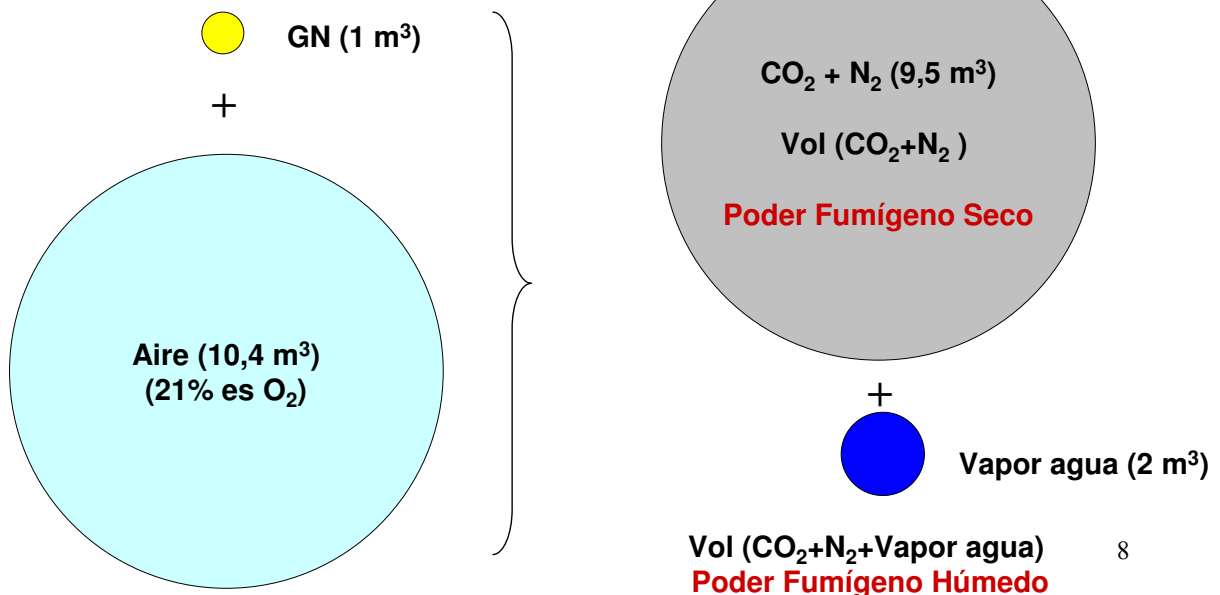
El **exceso de aire** necesitado para producir combustiones completas depende de la homogeneidad de la mezcla aire-combustible que se consiga en el quemador

Contribuye a disminuir la T^a final y el nivel energético de los humos se necesita para combustión completa, pero no es deseable con combustibles gaseosos aprox. el 10% del estequiométrico ($\approx 1\text{m}^3/\text{kWh}$)

El **Índice de aireación** es la relación entre el aire aportado a una combustión y el preciso para una combustión estequiométrica

2.- Combustión (V)

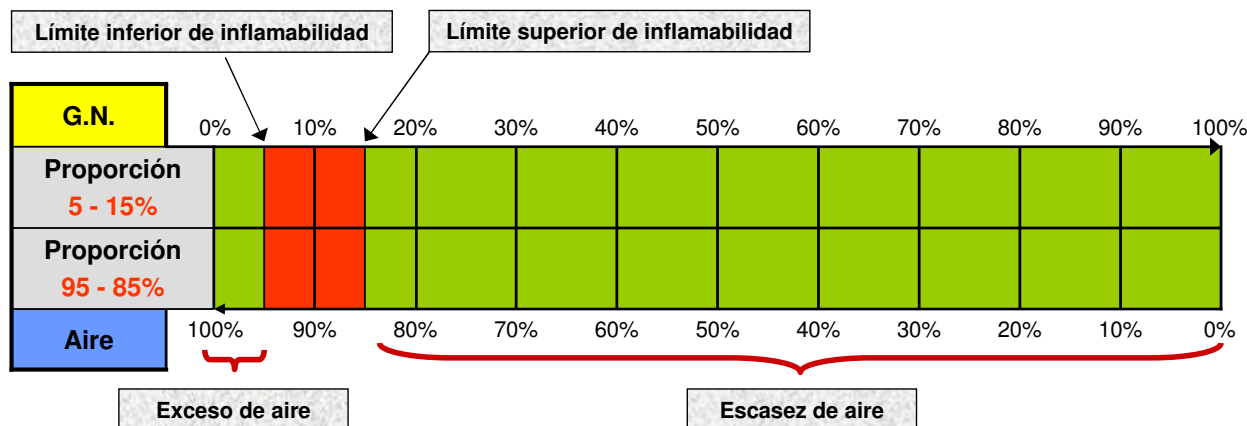
Poder Fumígeno: gases de combustión producidos por la combustión estequiométrica de 1 m^3 de gas



2.- Combustión (VI)

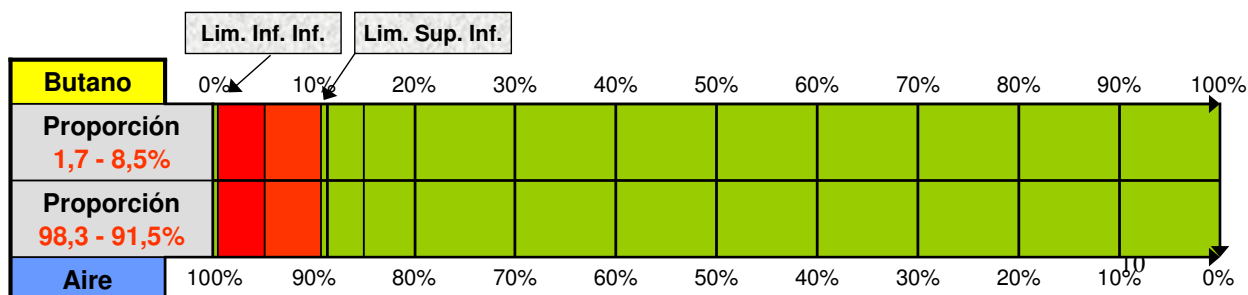
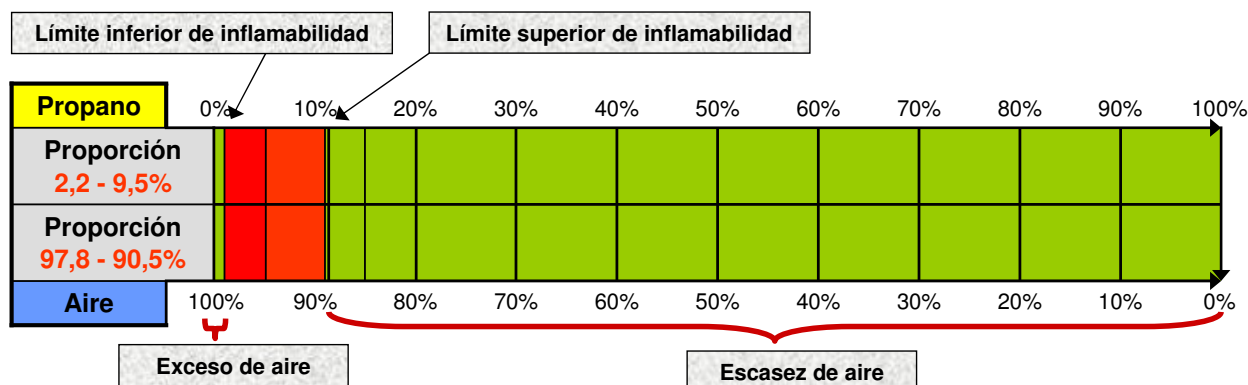
Inflamabilidad: medida de la facilidad que presenta un combustible para encenderse y de la rapidez con que, una vez encendido, se diseminarán sus llamas

Necesita que la proporción de O₂ esté en un rango (ni defecto de O₂ ni de combustible)



9

2.- Combustión (VII)



2.- Combustión (VIII)

Punto de rocío húmedo y ácido \Rightarrow limitan la temperatura de los humos

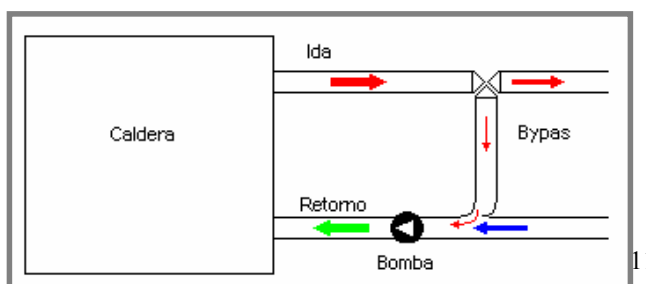
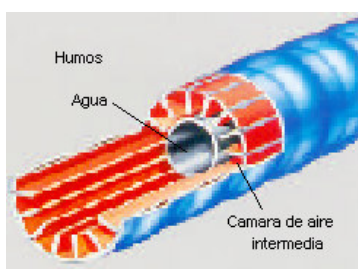
- Gas Natural 155 gr.agua/kWh \Rightarrow (T humos mayor)
- Gasóleo C 87 gr.agua/kWh
- $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_4\text{H}_2$ $T > 130^\circ\text{C}$

El exceso de aire disminuye la $T_{\text{rocío}}$

$T_{\text{superficies}} > T_{\text{rocío}}$ Si $T_{\text{sup}} = T_{\text{rocío}}$ empieza la condensación (no implica la condensación de todo el vapor)

$T_{\text{rocío}}$ GN	53°C
$T_{\text{rocío}}$ gasóleo	47°C

- tubos de doble pared (aumento del A intercambio)
- mantener la temperatura de retorno a la caldera alta con un bypass
- calderas de condensación (materiales resistentes)



2.- Combustión (IX)

T^a de Inflamación: valor mínimo de T^a al cual debe ser llevada una mezcla (en proporciones de ser inflamable) para que la combustión pueda comenzar y propagarse

	Gas Natural	Propano	Butano
T^a inflamación ($^\circ\text{C}$)	580	493	482

T^a adiabática de combustión: es la T^a que se obtendría en una combustión estequiométrica; aumenta con la potencia calorífica del combustible

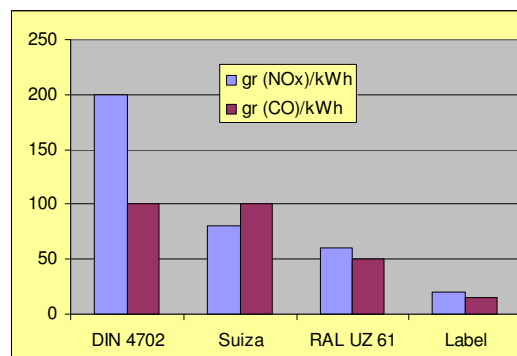
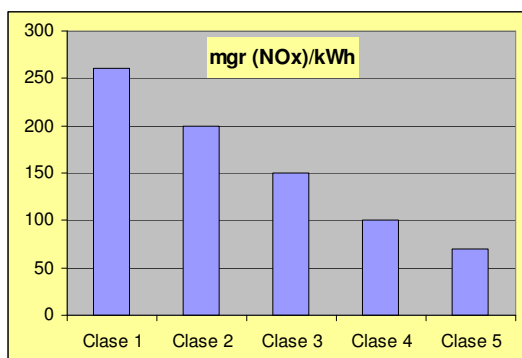
	Gas Natural	Propano	Butano
T^a adiabática ($^\circ\text{C}$)	1.940	1.998	1.900

T^a real de llama: es entre 200 y 300°C inferior a la adiabática

2.- Combustión (X)

El N_2 se oxida si la T de la llama es elevada produciendo NO_x

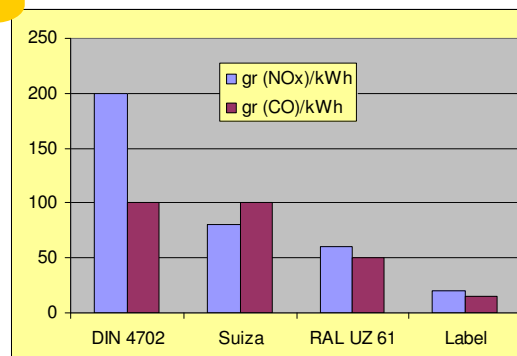
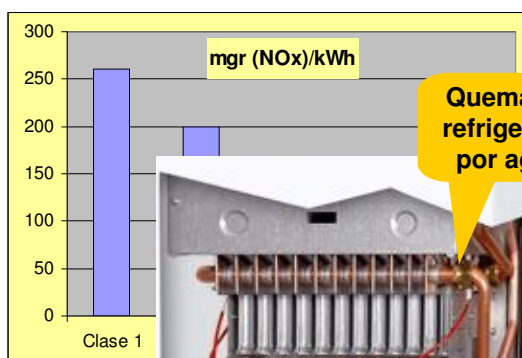
La **llama Azul** no produce emisiones de NO_x



2.- Combustión (X)

El N_2 se oxida si la T de la llama es elevada produciendo NO_x

La **llama Azul** no produce emisiones de NO_x



3.- Combustibles (I)

Los combustibles **se clasifican en:** sólidos, líquidos y gases.

Sólidos	Carbón			
	Leña			
Líquidos	Gasolina			
	Gasoil			
	Fuelóleo			
Gases	G.L.P			
	G.N.			
	Gas Ciudad			

3.- Combustibles (II)

Propiedades de los combustibles (I):

- **Potencia o poder calorífico;** el superior y el inferior
- **Poder comburívoro**
- **Índice de aireación**
- **Poder Fumígeno;** el seco y el húmedo
- **Inflamabilidad;** límites inferior y superior
- **Punto de rocío;** húmedo y ácido
- **Tª de Inflamación**
- **Tª de Llama**
- **Velocidad de propagación de la llama:** en un frente gaseoso

3.- Combustibles (III)

Propiedades de los combustibles (II)

– **Indice Wobbe**; (combustibles gaseosos), es el cociente entre el PCS y la raíz cuadrada de la densidad relativa respecto del aire (MJ/m³)

$$W = \frac{P.C.S.}{\sqrt{D_R}}$$

Familia A:
Gases manufacturados

Gases obtenidos de naftas, coquería y aires metanados
W entre 5.300 y 7.500 kcal/Nm³
PCS alrededor de 4.200 kcal/Nm³ } **Ligero**

Familia B:
Gas Natural (Metano)

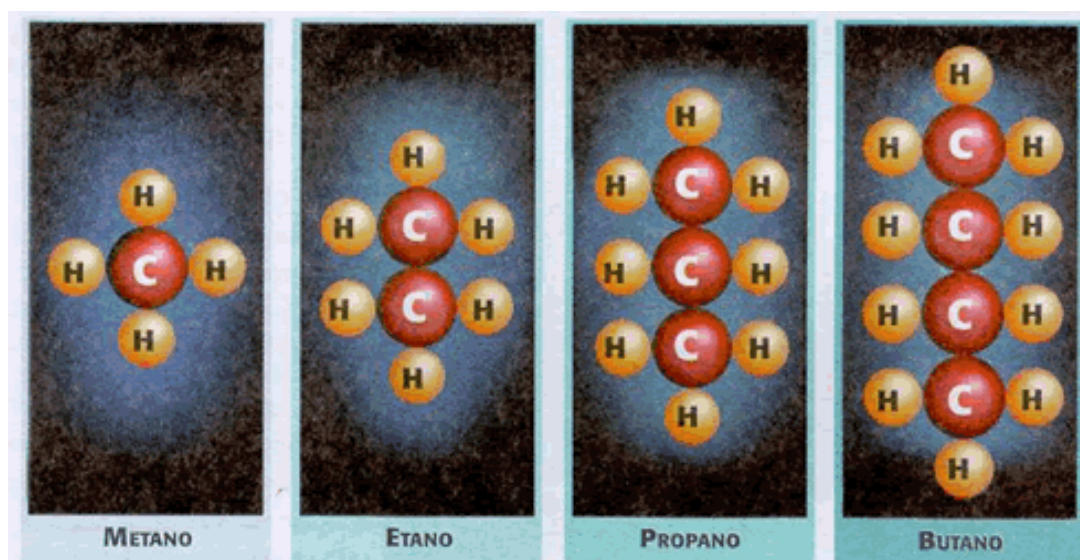
Gases obtenidos directamente de pozos de extracción
W entre 9.800 y 13.800 kcal/Nm³
PCS entre 8.500 y 11.500 kcal/Nm³ } **Ligero**

Familia C:
G.L.P. (Propano y Butano)

Fracciones ligeras del petróleo
W entre 19.800 y 21.900 kcal/Nm³
PCS entre 25.200 y 31.200 kcal/Nm³ } **Pesados**

17

3.- Combustibles (IV)



3.- Combustibles (V)

La composición y propiedades de los **combustibles gaseosos** son:

(%)	Gas Natural	Propano	Butano
Metano (%)	89	0	0
Etano (%)	5	0,5	0,5
Propano (%)	2,5	87,5	9
Butano (%)	1	5,5	59,5
Isobutano (%)	0	6,5	31
PCS (kWh/Nm ³)	~12	~25,6	~32,9
Densidad relativa	Ligero ~0,62	Pesado ~1,5	Pesado ~2
Licuefacción	Seco		
Toxicidad	No tóxico, inodoro e incoloro		
Odorizantes	THT	Mercaptanos	
g CO ₂ /kWh	174,3	233,2	239

19

3.- Combustibles (VI)

Los **combustibles sólidos**, importan el carbono fijo, la humedad, las cenizas y las materias volátiles; mala mezcla con el aire, ensucian superficies

Los **combustibles líquidos**, fueloleo ($\uparrow S_2$), y gasóleo C

Distribución en camiones cisterna y almacenamiento en un depósito central, alcanzando la caldera por una red de tuberías

Los **combustibles gaseosos**, butano, propano, gas natural

Composición variable, y el suministro puede ser por medio de canalizaciones a alta baja o media presión, con depósitos fijos o con depósitos móviles (bombonas); necesitan vaporización

	Unidad	PCS kW h/kg	Propano	Butano	GN	Gas-oil C	Gas-oil C
			kg	kg	Nm ³	litro	kg
Propano	kg	13,837 kWh / kg	1	1,008	1,17	1,295	1,126
Butano	kg	13,72 kWh / kg	0,99	1	1,16	1,28	1,14
GN	Nm ³	11,8 kWh / Nm ³	0,85	0,86	1	1,1	0,98
Gas-oil C	Litro	10,68 kWh / kg	0,77	0,778	0,905	1	0,887
Gas-oil C	kg	12,03 kWh / kg	0,869	0,876	1,01	1,126	1

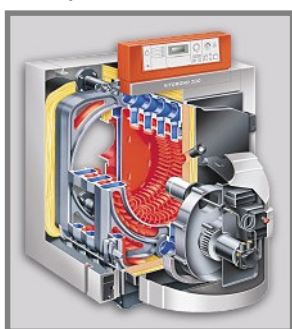
4.- Tipos de Calderas (I)

Clasificación por los materiales

Calderas de fundición; por elementos, la transmisión de calor tiene lugar en el hogar, área de intercambio pequeña y rendimientos bajo; tienen poca pérdida de carga en los humos y por ello suelen ser de tiro natural

Calderas de acero; combustibles líquidos o gaseosos, por lo que tienen una mayor superficie de contacto y su rendimiento es mejor

Calderas murales; de diseño compacto y reducido, empleadas para instalaciones familiares de ACS y calefacción actualmente se está incrementando su potencia y permiten asociamiento de varias



21

4.- Tipos de Calderas (II)

Clasificación por su aplicación

Usos domésticos: calefacción, ACS o mixtas

Generación de energía para plantas termoeléctricas: para la generación de vapor

Plantas de cogeneración: usan gases calientes, de recuperación

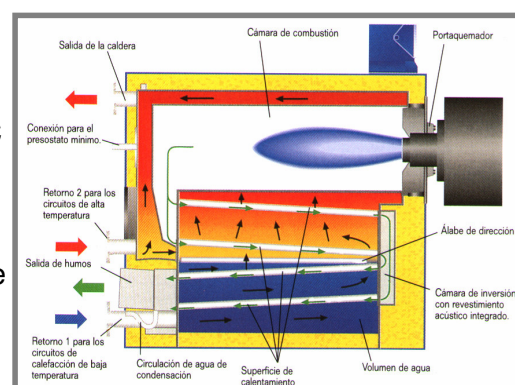
Generación de vapor o agua sobrecalentada en plantas industriales

Clasificación por Tª salida de los humos

Estandar: no soportan condensación, Tª ret > 70°C

Baja Tª: soportan Tª agua retorno de 35 o 40°C
Tubos de doble o triple pared ⇒ gran tamaño

Condensación: la soportan de manera permanente



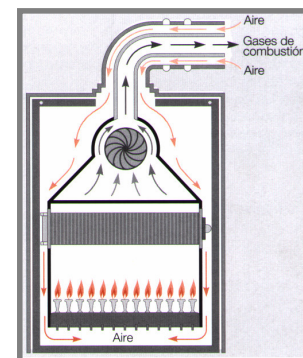
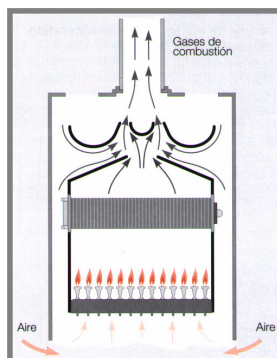
4.- Tipos de Calderas (III)

Clasificación por la toma de aire

Circuito abierto y tiro natural

Circuito abierto y tiro forzado

Calderas estancas



Clasificación por el tipo de combustible

Sólidos: engorrosas de operar por la alimentación, las cenizas y suciedad que generan y el difícil control de la combustión

Líquidos: el combustible deber ser pulverizado o vaporizado para que reaccione con el aire

Gaseosos: de combustión más fácil pero más peligrosa que los líquidos

23

4.- Tipos de Calderas (IV)

Clasificación por la presión

Calderas atmosféricas

Calderas de depresión, funcionan por la depresión que se crea en la chimenea o por un ventilador que aspira; se evita la salida de humos al local

Calderas de sobrepresión; los gases circulan empujados por un ventilador; por lo que los gases circulen más rápido que en las calderas de depresión

Clasificación por el fluido caloportador

Calderas de agua

Calderas de agua sobrecalentada, necesitan bombas de alimentación para elevar la presión, las fugas son muy peligrosas

Calderas de vapor, las fugas son muy peligrosas, los condensados necesitan ser purgados, necesitan gran control de la calidad del agua

Calderas de aceite térmico

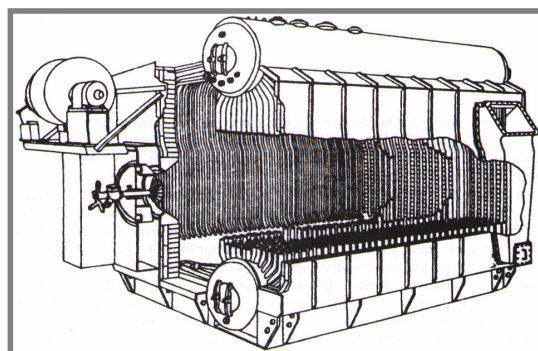
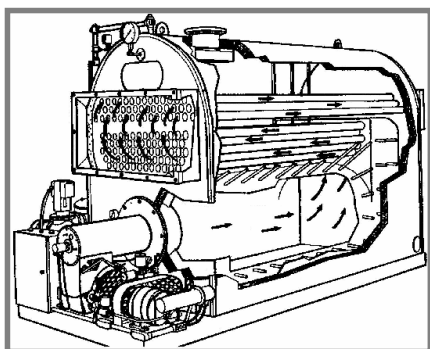
24

4.- Tipos de Calderas (V)

Clasificación por su diseño

Calderas piro-tubulares, o de tubos de humo; la llama se forma en el hogar, pasando los humos por el interior de los tubos de los pasos siguientes, para ser conducidos a la chimenea; presentan una elevada pérdida de carga en los humos. El hogar y los tubos están completamente rodeados de agua

Calderas acuotubulares, la llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión. Soporta mayores presiones en el agua, pero es más cara, tiene problemas de suciedad en el lado del agua, y menor inercia térmica



4.- Tipos de Calderas (VI)

Equipos **AUTONOMOS**

Se deben instalar en el exterior de los edificios, a la intemperie, en zonas no transitadas por el uso habitual del edificio

Franja a su alrededor para mantenimiento

Para GLP, no deben existir ni desagües ni comunicación con el nivel inferior a menos de 1m

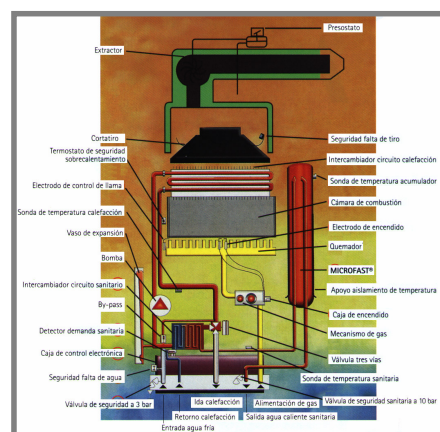
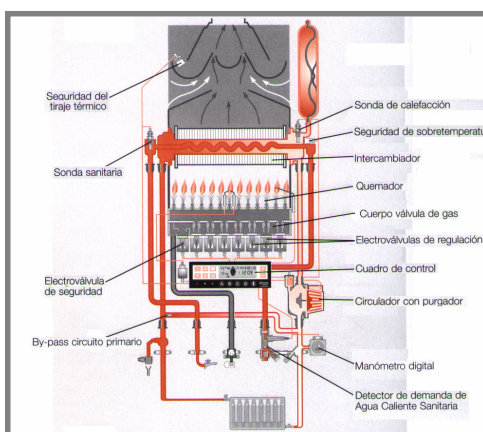
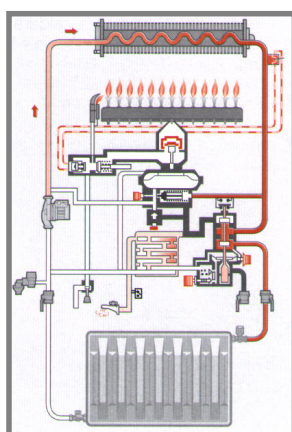


5.- Calderas Murales

Incluyen, de manera **compacta**, todos los elementos de la central térmica

Hasta 60 kW, hoy en día se permite la asociación de varias en paralelo

Las hay mixtas: con bitérmico, o con intercambiador exterior, algunas presentan microacumulación para el A.C.S.



6.- Calderas de Condensación (I)

Las calderas de condensación **no condensan por si mismas**

Para condensar $T_{\text{retorno}} < T_{\text{rocío}}$, se logra con sistemas de emisión de calor a baja T^a (fancoils, suelo radiante, ...)

La $T_{\text{rocío}}$ indica cuando empieza la condensación, no que todo el vapor condense a esa T^a . Cuanto menor sea la T_{retorno} más agua condensará

Los fabricantes deben dar las características con temperaturas de impulsión/retorno 80/60 (sin cond.) y 50/30 (con cond.)

Los sistemas suelen $\downarrow T_{\text{impulsión}}$ al $\uparrow T_{\text{exterior}}$ ($T_{\text{imp}} \text{ a } T_{\text{ext}} 20^{\circ}\text{C} = 30^{\circ}\text{C} = T_{\text{ret}}$)

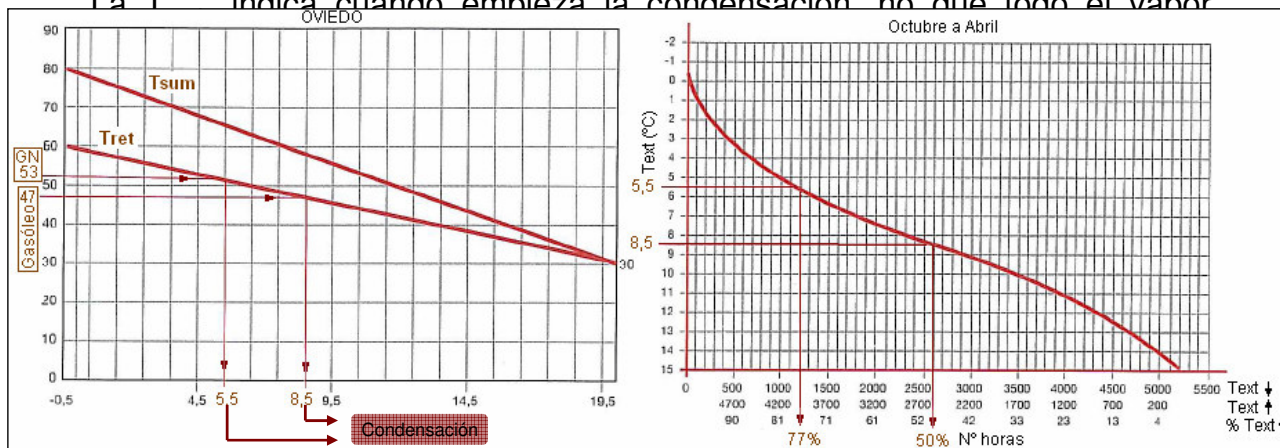
\Rightarrow un sistema 80/60 puede producir cond. a cargas parciales

6.- Calderas de Condensación (I)

Las calderas de condensación **no condensan por si mismas**

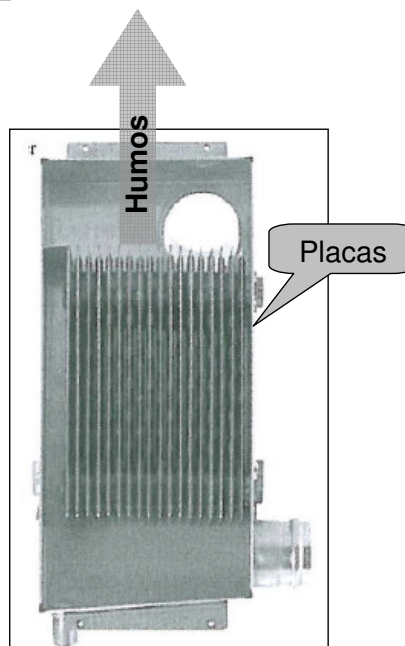
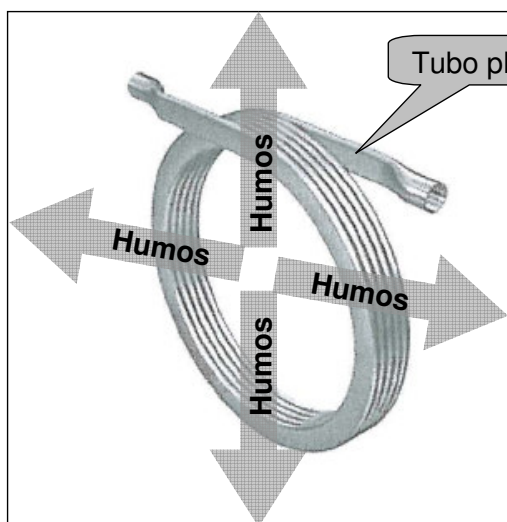
Para condensar $T_{\text{retorno}} < T_{\text{rocío}}$, se logra con sistemas de emisión de calor a baja T^a (fancoils, suelo radiante, ...)

La $T_{\text{rocío}}$ indica cuando empieza la condensación, no que todo el vapor



6.- Calderas de Condensación (II)

Posibilidades Constructivas (I):



6.- Calderas de Condensación (III)

Posibilidades Constructivas (II):

- Con condensador-recuperador separado (dentro o fuera de la carcasa)

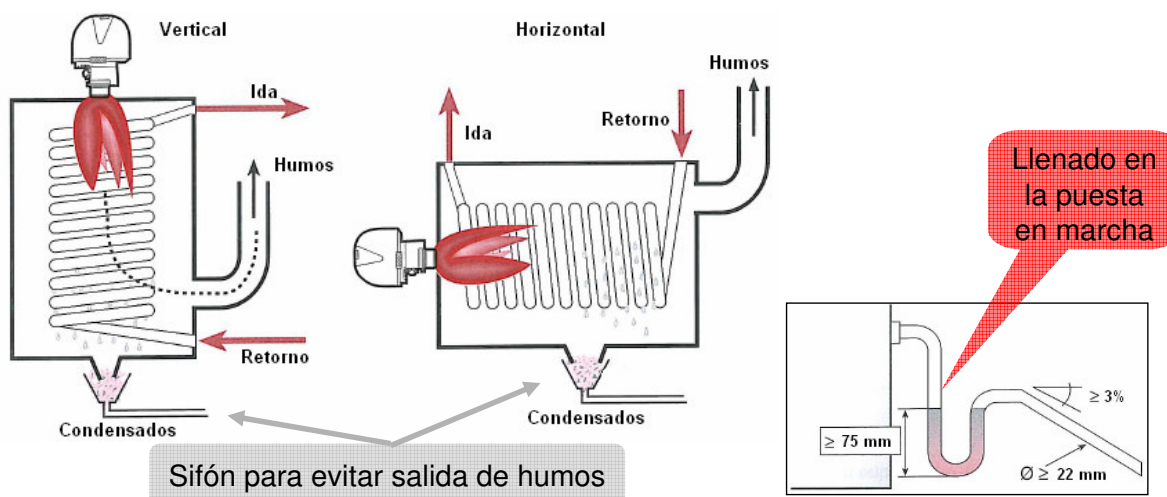


31

6.- Calderas de Condensación (IV)

Posibilidades Constructivas (III):

- Con condensador-recuperador separado (dentro o fuera de la carcasa)
- Con condensador integrado



6.- Calderas de Condensación (V)

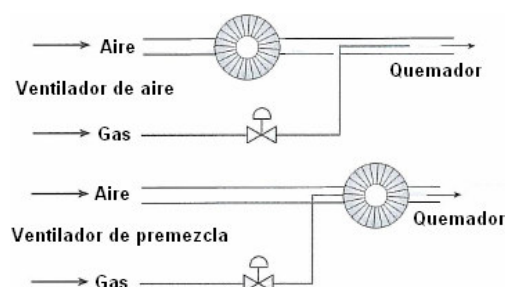
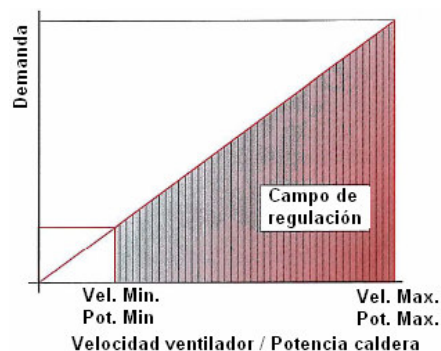
A cargas reducidas \Rightarrow Condensación, $\uparrow \eta$

Suelen permitir modular la potencia hasta el 33% de la carga

Cargas menores sobrecalientan el quemador (llama más próxima)

Mejor si el ventilador impulsa mezcla aire-gas que sólo aire (premezcla)

Mayores requisitos de estanquidad en el ventilador

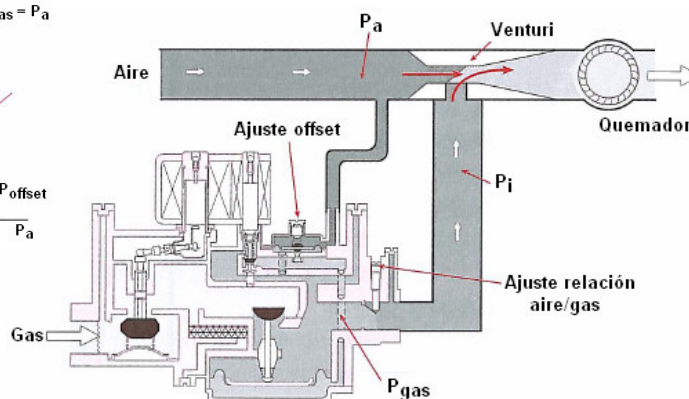
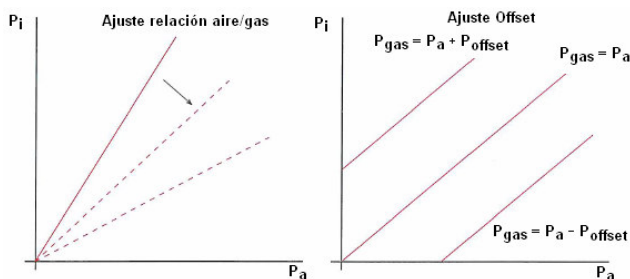


6.- Calderas de Condensación (VI)

El GN se aporta mediante un venturi

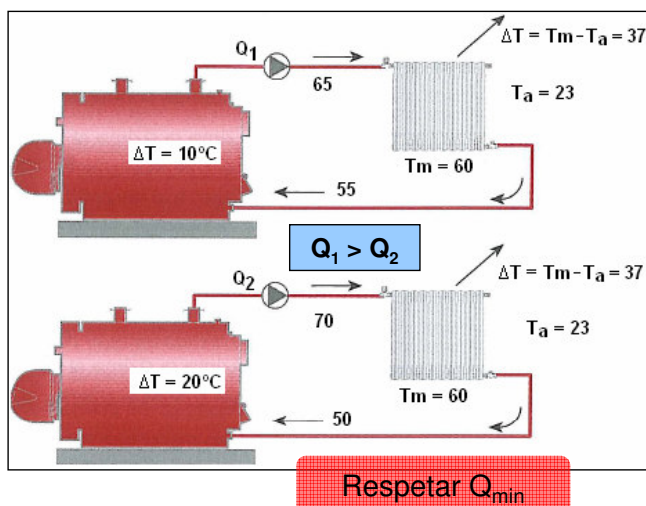
Control conjunto de caudales de aire y GN (válvula del GN)

- Electrónico conjunto con la velocidad del ventilador
- Neumático por la presión del ventilador



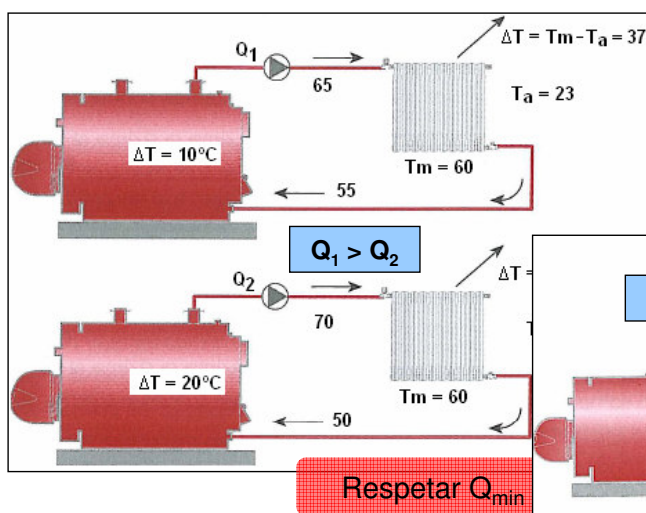
6.- Calderas de Condensación (VII)

Cuando se trabaja a baja T^a se requiere mayor superficie emisora térmica
 Para la misma T_{media} en emisores, Interesa $\uparrow(T_{imp} - T_{ret}) \Rightarrow \downarrow$ Caudal, \uparrow Cond

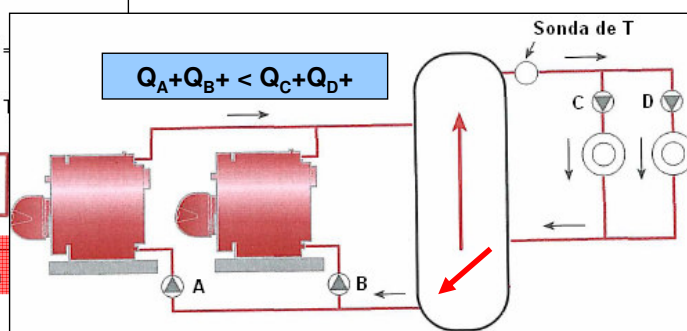


6.- Calderas de Condensación (VII)

Cuando se trabaja a baja T^a se requiere mayor superficie emisora térmica
 Para la misma T_{media} en emisores, Interesa $\uparrow(T_{imp} - T_{ret}) \Rightarrow \downarrow$ Caudal, \uparrow Cond



Sistemas que trabajan con
 $(T_{imp} - T_{ret}) \downarrow \Rightarrow Q \uparrow$



7.- Quemadores (I)

Pone en contacto el combustible y el comburente en cantidades y condiciones adecuadas

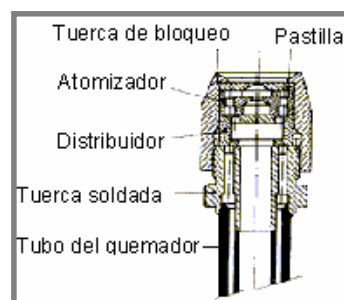
Para combustibles sólidos: parrillas, mala regulación, están en desuso

Para combustibles líquidos (I): valvulería, filtros, elementos de control y de seguridad

De pulverización mecánica o por presión, colocan el líquido en rotación de formando un cono de gotas que se mezcla con el aire

Necesitan presiones entre 16 y 20 bar, que ha de ser suministrada por la bomba del combustible

Los combustibles pesados, como el fuel, precisan precalentarse por su elevada viscosidad



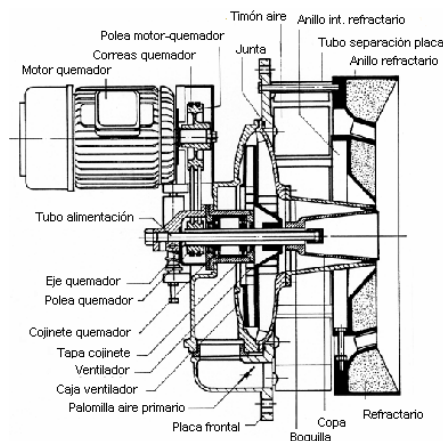
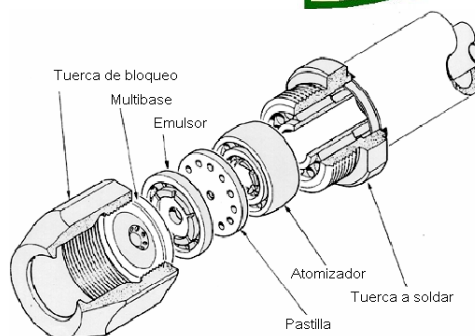
7.- Quemadores (II)

Para combustibles líquidos (II):

De pulverización asistida, o inyección de fluido auxiliar, sólo para combustibles pesados, junto con ellos se se inyecta un fluido auxiliar formando una mezcla que se pulveriza fácilmente

Rotativos, de pulverización centrífuga, una copa que gira a gran velocidad, distribuye el combustible y lo lanza perimetralmente hacia delante en forma de tronco de cono

Al tener elementos móviles, requieren un mantenimiento más cuidadoso, pero es menos propenso al ensuciarse



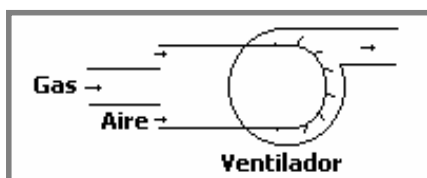
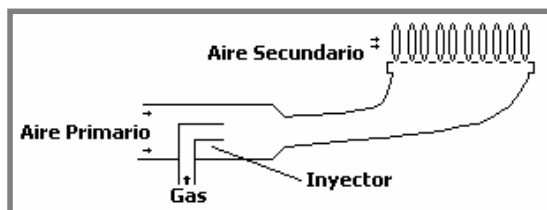
7.- Quemadores (III)

Para combustibles gaseosos (I): son más sencillos, ya que la mezcla con el aire se consigue fácilmente. La valvulería, filtros, elementos de control y seguridad

Quemador atmosférico: la presión del gas provoca la aspiración del aire (primario) para la combustión (40 al 60%), el resto se completa en el quemador

La regulación de potencia se controla con la sección de paso del combustible.

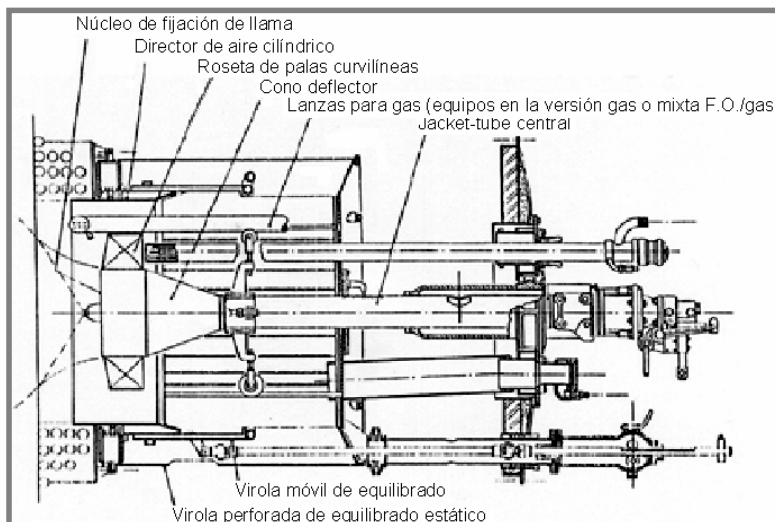
Quemador de premezcla: el aire, incluido el exceso, se mezcla con el gas antes del quemador, no existiendo aire secundario



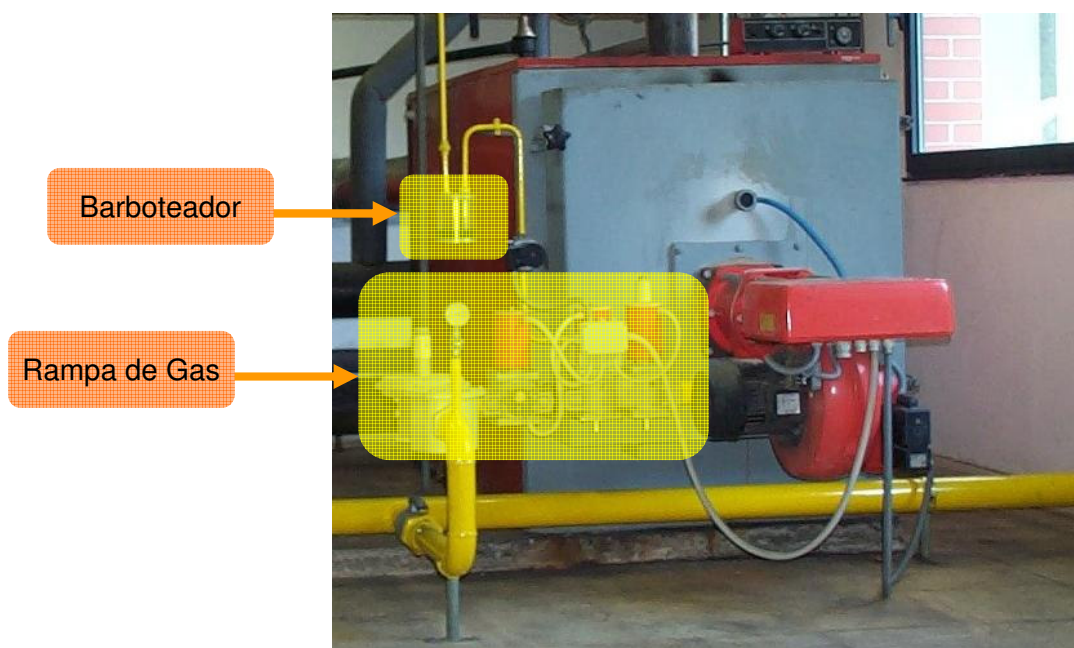
7.- Quemadores (IV)

Para combustibles gaseosos (II):

De flujo paralelo, con mezcla por turbulencia, el aire llega paralelo al eje del quemador, se pone parcialmente en rotación por la acción de la roseta (dispositivo con aletas)



7.- Quemadores (V)



41

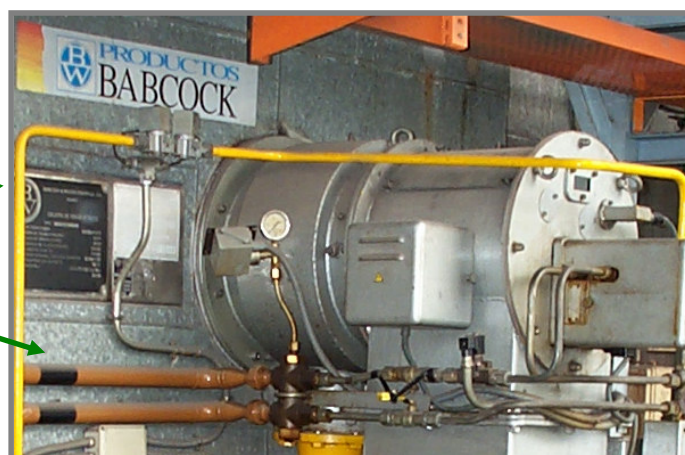
7.- Quemadores (VI)

Quemadores mixtos: simultáneamente o por separado más de un combustible

Se utilizan en grandes calderas para dar seguridad de servicio

Gas natural →

Gasoleo C →



Dos quemadores diferentes: permiten controlar la potencia en escalones, si son de distinta potencia hay tres escalones

42

8.- Equipos Auxiliares (I)

Asociados a la caldera se instalan en la central térmica o sala de calderas

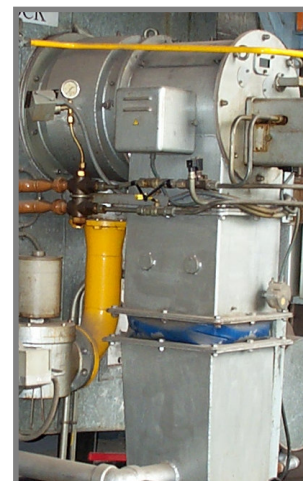
Ventiladores de aire de combustión

Envían el aire al cajón, común o individual, en el que están alojados los quemadores

En las instalaciones industriales se instala en un foso situado en el frente de la caldera, para amortiguar ruidos

Las calderas están en sobrepresión

El accionamiento por correas y poleas permite ajustes posteriores en el caudal impulsado



Entre el ventilador y el quemador se deben instalar juntas flexibles, para amortiguar las vibraciones y absorber las dilataciones de la caldera

43

8.- Equipos Auxiliares (II)

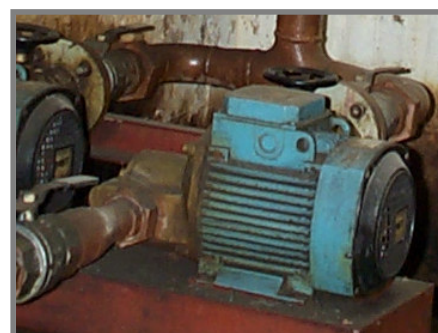
Circuito de combustible

Para los **sólidos** la alimentación puede ser manual en las pequeñas y automatizada en las grandes

En las de **combustibles líquidos** la alimentación es con bombas que comunica presión al combustible, de engranajes

- Son más robustas
- Son más estables
- El combustible las lubrica

En las de **combustibles gaseosos** la fuerza impulsora es la presión de la red de distribución o el depósito, puede ser necesario un reductor de presión.



8.- Equipos Auxiliares (III)

Circuito del fluido caloportador

Hay que considerar la pérdida de carga que supone la caldera

La fuerza impulsora:

Red de abastecimiento (circuitos abiertos)

Bombas circuladoras

Por termosifón (diferencia de densidades del agua caliente y fría, poco empleado)

En las **calderas de vapor**, el caudal de alimentación será la suma del vapor generado, más las purgas que se realicen (mantener la concentración de sales)

Tratamiento de agua

El tratamiento de agua de alimentación, o reposición dependerá de las características de las aguas locales

45

8.- Equipos Auxiliares (IV)

Bombas de circulación del agua

Las calderas industriales provistas de quemadores de combustibles líquidos o gaseosos, deben estar equipadas con un sistema de bomba de alimentación

Bombas centrífugas, de varias etapas, con una curva Q-H que no sea plana

Diseñada para trabajar con altas temperaturas

$NPSH_R < NPSH_D \Rightarrow$ evitar la cavitación

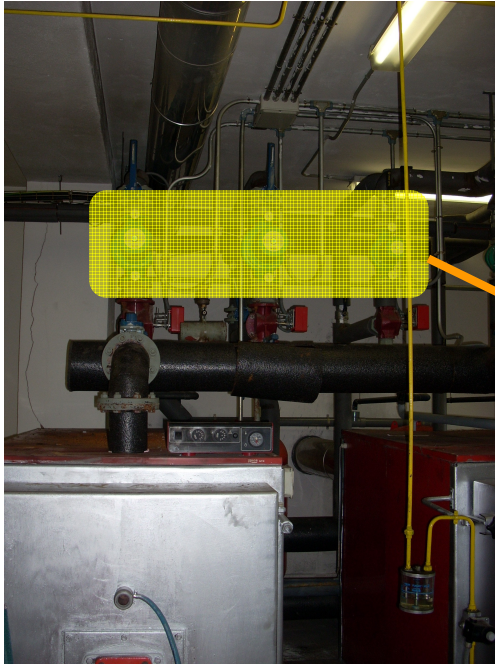


Sistemas de regulación de la alimentación de agua

En las calderas industriales de vapor se utiliza el sistema de regulación continua

46

8.- Equipos Auxiliares (V)



47

9.- Sistemas de Regulación de la Carga

Sistema de regulación modulante o continua: es el sistema empleado en calderas industriales, ya que es el que ofrece mejor rendimiento

Generando vapor: la presión del vapor generado gobierna sobre las válvulas de combustible y las clapetas del aire

Generando agua sobrecalentada: gobierna la temperatura de impulsión

Sistema todo/nada: los quemadores se encienden y apagan al sobrepasar un valor de consigna

Sistema de regulación en escalones: los quemadores se encienden a carga mínima, o a carga máxima en función de la demanda

48

10.- Rendimiento y Potencia de la Caldera (I)

sobre el P.C.I.

Balance energético en una caldera:

Potencia útil: la entregada al fluido caloportador

$$\text{Potencia}_{\text{útil}} = P_{\text{combustible}} - L_{\text{envolvente}} - L_{\text{inquemados}} - L_{\text{humos}}$$

$$\text{Potencia}_{\text{combustible}} = \text{Caudal}(\text{kg/h}) \text{ PCI}(\text{kWh/kg})$$

K_1	11,5 a 13,5 W/m ² °C
-------	---------------------------------

$$\text{Losses}_{\text{envolvente}} = L_{\text{radiación}} + L_{\text{convección}} \approx k_1 \text{Superficie} \frac{T_{\text{envolvente}} - T_{\text{ambiente}}}{P_{\text{quemador}}}$$

k_2	
Gasóleo	95
GN	72
Propano	84
Butano	75

$$\text{Losses}_{\text{inquemados}} = \frac{k_2 \text{ CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO}} (\%) \quad \text{CO} < 0,1\% \Rightarrow L_i \text{ 0,4 al 0,8\%}$$

$$\text{Losses}_{\text{humos}} = \frac{\text{Poder Fumígeno } C_{\text{esp}} \text{ humos}}{\text{PCI}} (T_{\text{humos}} - T_{\text{ambiente}}) 100 (\%) \approx k_3 \frac{T_{\text{humos}} - T_{\text{ambiente}}}{\text{CO}_2}$$

$$C_{\text{esp}} \text{ humos } 0,37 \text{ a } 0,4 \text{ Wh/Nm}^{3\text{gC}}$$

k_3	
Gasóleo	0,495+(0,00693 CO ₂)
GN	0,379+(0,0097 CO ₂)

10.- Rendimiento y Potencia de la Caldera (II)

sobre el P.C.I.

Rendimiento instantáneo: del conjunto caldera quemador en un instante determinado y en condiciones de marcha estabilizadas

Rendimiento útil: expresado en %, en unidad de tiempo

$$\text{Rend. Util} = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{combustible}}} = 1 - \frac{L_{\text{envolvente}} + L_{\text{inquemados}} + L_{\text{humos}}}{P_{\text{combustible}}}$$

Rendimiento de la combustión: no considera pérdidas por envolvente

$$\text{Rend. Combustión} = 1 - \frac{L_{\text{inquemados}} + L_{\text{humos}}}{P_{\text{combustible}}}$$

$$\text{Rend. Util} = \text{Rend. Combustión} - \frac{L_{\text{envolvente}}}{P_{\text{combustible}}}$$

10.- Rendimiento y Potencia de la Caldera (III)

sobre el P.C.I.

Rendimiento estacional: a lo largo de todo el año

Pérdidas por disposición de servicio:

- En arranques y puesta a régimen hay grandes pérdidas en los humos
- Cuando hay disposición de servicio hay pérdidas en la envolvente

DIN 4702:

establece 5 cargas que se consideran para el cálculo del Rend.Est

% Carga	T ida/ret 75/60	T ida/ret 40/30	T exterior
13	31,2 / 29,3	22,6 / 21,3	11,1
30	41,5 / 37	26 / 23	6
39	46,3 / 40,5	27,8 / 23,9	3,3
48	51 / 43,8	29,6 / 24,8	0,6
63	58,3 / 48,8	32,6 / 26,3	-3,9

VDI 2067 y VDI 3808

$$\text{Rend. Est} = \frac{\text{Rend. Util}}{1 + \left(\frac{h_{\text{disposición caldera}}}{h_{\text{servicio caldera}}} - 1 \right) L_{\text{disposición servicio}}}$$

10.- Rendimiento y Potencia de la Caldera (IV)

sobre el P.C.I.

Consumo de Combustible: (C), consumo de un aparato o instalación en las condiciones de referencia (para gases: p y T)

Condiciones normales (n)

Temperatura: 0°C

Presión: 1 kg/cm²

Condiciones estándar (st)

Temperatura: 15°C

Presión: 1 kg/cm²

$$C(n) = \frac{P_u}{PCI(N) \times \eta} \times 100 \left[\frac{\text{m}^3(N)}{h} \right]$$

$$C(st) = \frac{P_u}{PCI(st) \times \eta} \times 100 \left[\frac{\text{m}^3(st)}{h} \right]$$

$$C(st) \left[\frac{\text{m}^3(st)}{h} \right] = 1,05 \times C(N) \left[\frac{\text{m}^3(N)}{h} \right]$$

10.- Rendimiento y Potencia de la Caldera (V)

Existen tres tipos de **Potencia Util**:

Potencia útil nominal: máxima que garantiza el fabricante en continuo

Potencia útil mínima: es la más baja a la que puede funcionar la caldera, relacionado con un caudal y una temperatura mínimos

Potencia útil modulante: la que puede entregar la caldera modulando la llama

La **Potencia Nominal, Térmica, Carga Nominal o Gasto Calorífico** es la energía procedente del combustible considerando el PCI

En las **calderas estándar** en **carga parcial** el rendimiento se reduce, ya que deben trabajar a la misma T, y las pérdidas en la envolvente se mantienen

Para reducir la temperatura de envío sin disminuir la de retorno se realiza con una válvula de tres o cuatro vías a la salida

10.- Rendimiento y Potencia de la Caldera (VI)

Rendimiento Nominal Mínimo (%)			
Potencia Util (KW)	Tipo de Caldera		
	Estándar	Baja Temperatura	Condensación
10	86	89	92
20	86,6	89,4	92,3
40	87,2	89,9	92,6
60	87,6	90,2	92,8
80	87,8	90,4	92,9
100	88	90,5	93



Rendimiento Mínimo al 30% de la Carga (%)			
Potencia Util (KW)	Tipo de Caldera		
	Estándar	Baja Temperatura	Condensación
10	83	89	98
20	83,9	89,4	98,3
40	84,8	89,9	98,6
60	85,3	90,2	98,8
80	85,7	90,4	98,9
100	86	90,5	99

10.- Rendimiento y Potencia de la Caldera (VII)

	Potencia Nominal		Carga Parcial	
	T _{media} del agua	Rend _{min}	T _{media} del agua	Rend _{min}
Estándar	70	$84 + 2 \log P_n$	>50	$80 + 3 \log P_n$
Baja T ^a		$87,5 + 1,5 \log P_n$	40	$87,5 + 1,5 \log P_n$
Condensación		$91 + \log P_n$	30 (retorno)	$97 + \log P_n$

Clasificación	Potencia Nominal T _{media} 70°C	30% Carga T _{media} 50°C
★	$84 + 2 \log P_n$	$80 + 3 \log P_n$
★ ★	$87 + 2 \log P_n$	$83 + 3 \log P_n$
★ ★ ★	$90 + 2 \log P_n$	$86 + 3 \log P_n$
★ ★ ★ ★	$93 + 2 \log P_n$	$89 + 3 \log P_n$

55

10.- Rendimiento y Potencia de la Caldera (VIII)

Clase	Límite de emisiones NOx
1	260 mg /kWh
2	200 mg /kWh
3	150 mg /kWh
4	100 mg /kWh
5	70 mg /kWh

56

10.- Rendimiento y Potencia de la Caldera (VIII)

Las pérdidas mayores son en el **calor residual** que se evacua con los **humos**, del 5 al 15%; también son importantes las de la envolvente

Los **sistemas de recuperación del calor de los humos**:

- **Economizadores**: precalientan el agua de alimentación en las calderas
- **Recuperadores del calor de los humos**: en ellos se calienta, con los humos, de un fluido que pueden ser ajeno, o no, a la propia caldera

Las **limitaciones** de estos elementos están además de en el Punto de Rocío Húmedo y en el Punto de Rocío Acido

Para disminuir la temperatura de los humos hay que aumentar el área de intercambio, lo que lleva a un tamaño de caldera mayor, lo que implica mayores pérdidas estructurales

57

11.- Seguridad y Control (I)

Encendido de la chispa, puede ser:

Piezoeléctrico; es un cristal de cuarzo de que se carga eléctricamente cuando se le deforma, no necesita conexión eléctrica

Por filamento incandescente; se calienta al paso de una corriente eléctrica; necesita conexión eléctrica, y el filamento es muy frágil.

Por chispa de alta tensión; un transformador genera una tensión que produce el salto de una chispa; es un sistema de larga vida pero necesitar conexión eléctrica

El **paso de combustible y el comburente** deben quedar cerrados cuando la caldera está parada \Rightarrow enfriar la caldera y $\downarrow \eta$

Control de encendido y mantenimiento de la combustión, la extinción es debida casi siempre a que la mezcla aire/gas sobrepasa los límites de inflamabilidad

58

11.- Seguridad y Control (II)

Los aparatos para evitar estos riesgos suelen ser:

- **Manostatos** detectando la baja presión o alta presión de gas
 - **Detector de falta de aire** comburente
 - **Detector de extinción de la llama**
 - Bimetálicos, se deforman por calor
 - Termopares, generan una cierta tensión al calentarse
 - Electrónicos
- Anomalía \Rightarrow reencendido de la llama
- **Detección de falta de suministro eléctrico**; vital para los sensores; batería

Anomalía \Rightarrow **paro de seguridad**, corte suministro de combustible y alarma

11.- Seguridad y Control (III)

Control del quemador, encendido y/o modular la potencia

Control de la bomba y el ventilador, el paro de la bomba implica calentamiento; el del ventilador puede llevar a que los gases no se evacuen, lo que supondrá una temperatura excesiva y dificultad en la combustión

Control de nivel de agua en el interior de **la caldera**, ($\uparrow T$ y pto calientes)

Control de aparición de inquemados por un analizador de gases

Control de temperatura de los humos;

$T \uparrow \Rightarrow$ pérdidas en los humos; $T \downarrow$ riesgo de condensación

Control de T en la caldera; los pto calientes acortan la vida

Control de condensados, si se producen, hay que neutralizarlos y evacuarlos

11.- Seguridad y Control (IV)

En el **encendido** hay que considerar los siguientes **tiempos**:

Tiempo de prebarrido: es el periodo de funcionamiento del ventilador antes de encender la llama; elimina gases residuales

Tiempo de preencendido: desde que se provoca la chispa hasta que se empieza a suministrar combustible, con esto se logra un encendido suave

Tiempo de seguridad: es el tiempo máximo en el que se puede suministrar combustible a la caldera sin que aparezca la llama

Tiempo de postencendido: es el periodo en el que se mantiene el sistema de encendido después de haber provocado la aparición de la llama

61

12.- Chimeneas (I)

Conducto vertical por el cual se expulsan los humos de la combustión

Para evitar los contaminantes han de estar a una cierta altura y alejadas de puertas y ventanas

El **tiro** es la depresión que se genera en la base de una chimenea por la diferencia de peso específico entre los humos y el aire exterior; debe vencer la pérdida de carga del aire y comunicar a los humos cierta velocidad de salida

$$Tiro \text{ (mm.c.a.)} = H \text{ (h de la chimenea en m)} (\delta_A - \delta_H) \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Un tiro excesivo provoca una elevada velocidad y los gases salen muy calientes; si es pequeño ocasiona dificultades en la combustión

Los **conductos horizontales** largos se deben evitar y se ha de disponer registros herméticos que permitan la limpieza

62

12.- Chimeneas (II)

Han de estar térmicamente **aisladas**, para que los gases no se enfríen y se pierda tiro, evitando condensaciones y T de contacto elevadas

Las chimeneas han de ser **estancas** para evitar que entren en presión; y en su base tener un "saco" para recoger hollines y el agua que entre o condense (dotado de desagüe)

La sección de la chimenea debe ser constante en todo el recorrido, siendo las superficies interiores lisas

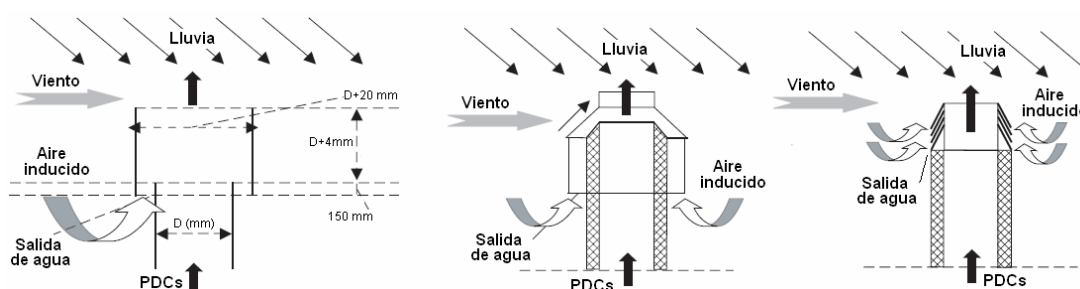
Se exige una chimenea por generador térmico de más de 400 kW (recomendable para cualquier potencia)

63

12.- Chimeneas (III)

Puede colocarse un **cortatiro**, que es un elemento colocado en el conducto de evacuación de humos que evita el retroceso de estos

Al final de la misma se puede instalar un **aspirador estático** o bien un **deflector** que evite que el viento incidente produzca una sobrepresión que obstaculiza la salida de los humos



Una salida cónica aumenta la velocidad de salida

Se deben evitar los sombreretes

64

12.- Chimeneas (IV)

En las calderas de condensación los humos salen a baja T^a (30 a 100°C)

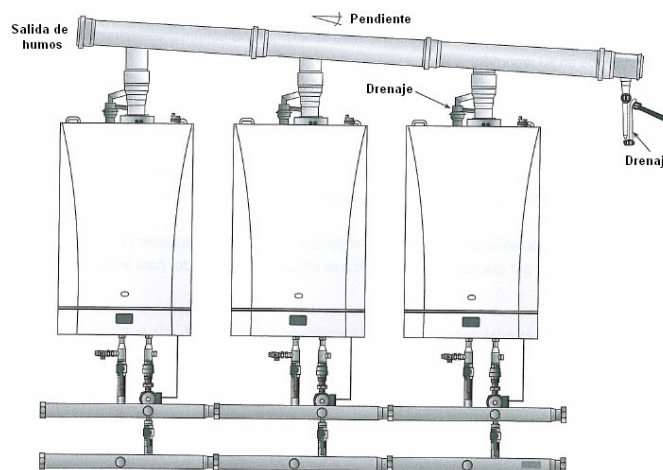
⇒ mal tiro ⇒ mayor exigencia al ventilador

La condensación puede seguir en la chimenea (debe soportarla)

A evitar:

- tubos corrugados
- tubos de aluminio y acero galvan.
- tramos horizontales (pte >3%)

Necesario punto de drenaje en la chimenea



13.- Calderas Eléctricas (I)

Ventajas:

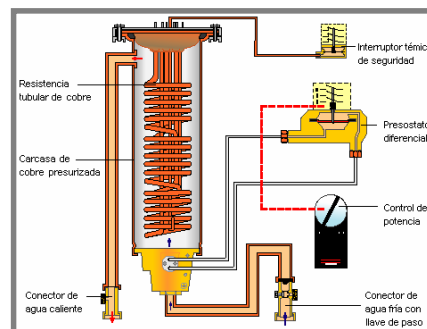
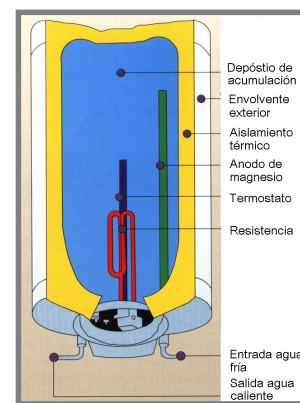
- Limpias, sin humos
- Fácil instalación, sin chimeneas ni combustibles
- Casi nulo mantenimiento, sin partes móviles

Inconvenientes:

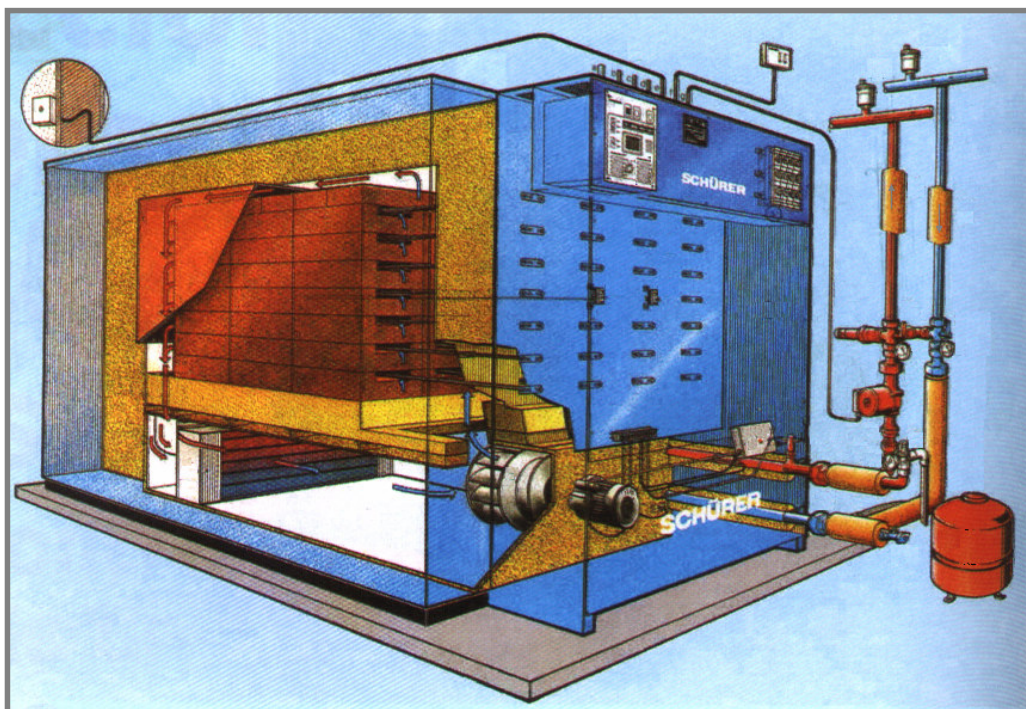
- Alto precio de la energía eléctrica
 - Gran potencia instalada
- ⇒ Acumulación

Tipos:

- De acumulación:
 - una resistencia en un depósito de agua
- De acumulación seca:
 - resist. ⇒ ladr. refractarios ⇒ aire ⇒ agua
- Instantáneas



13.- Calderas Eléctricas (II)



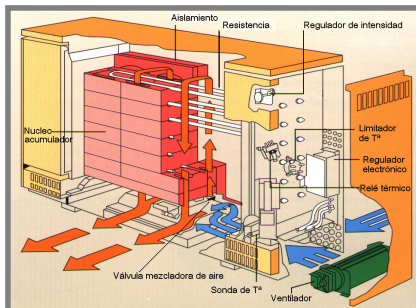
67

14.- Otros Dispositivos

Estufas eléctricas



Acumuladores de calor seco
(resist. \Rightarrow ladr. refr. \Rightarrow aire)



Aerotermos



Colectores solares

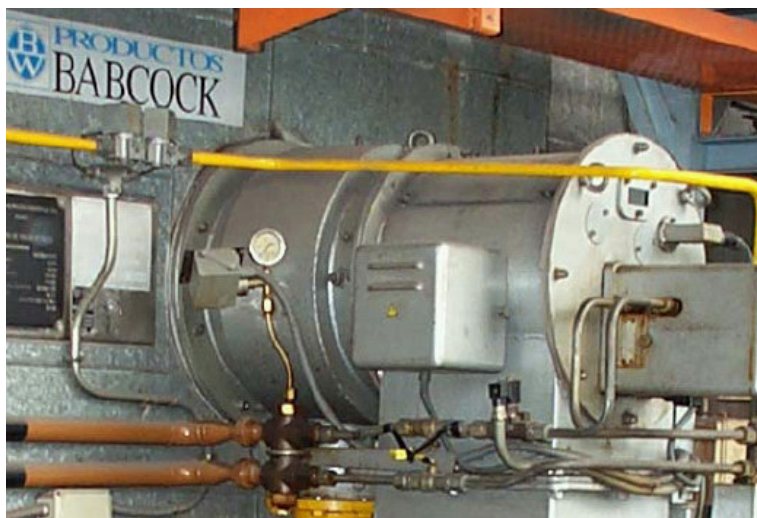


Paneles radiantes

Generadores de aire caliente
(combustión)



15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



Aceites minerales y Gases
Regulación automática y progresiva de la potencia
Potencia máxima de 9.300 kW

69

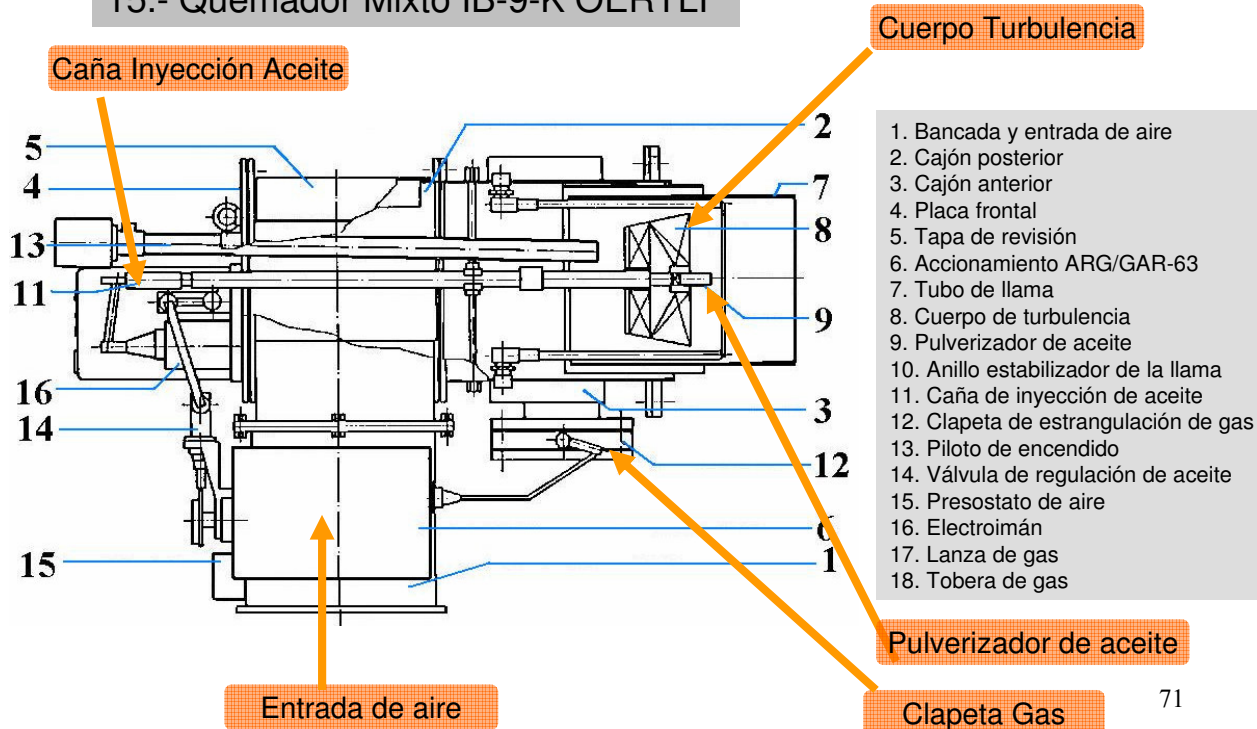
15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



QUEMADOR
MIXTO IB-9-K

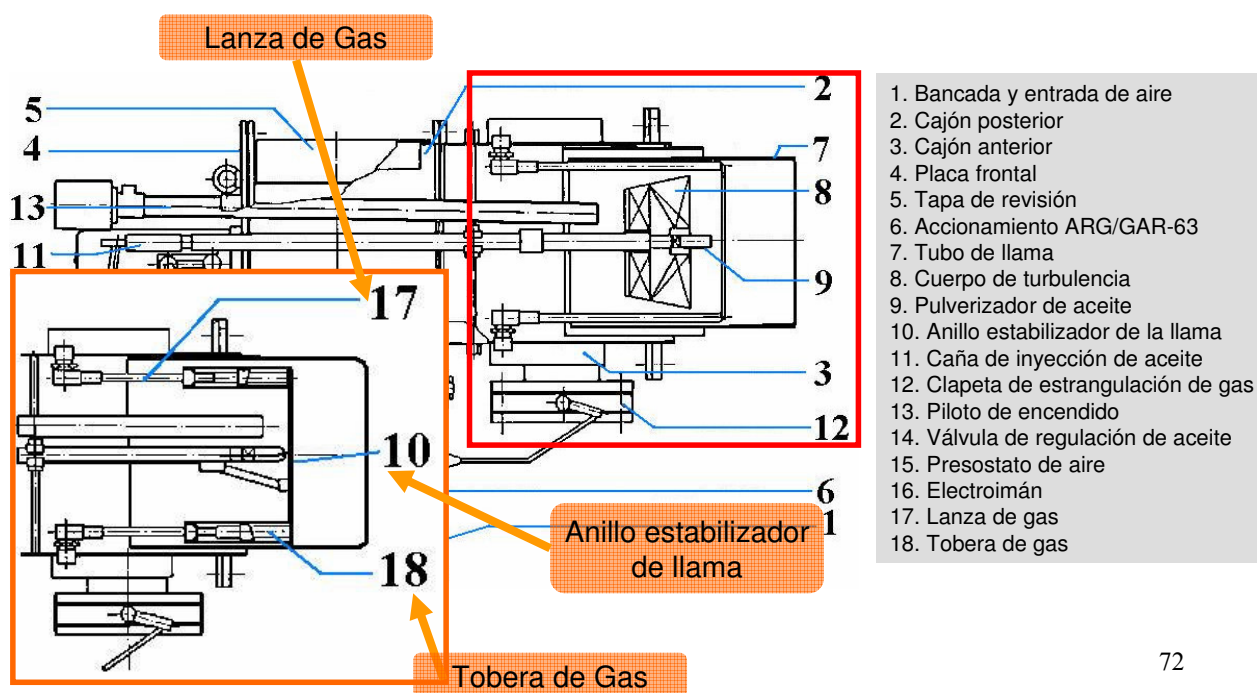
70

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



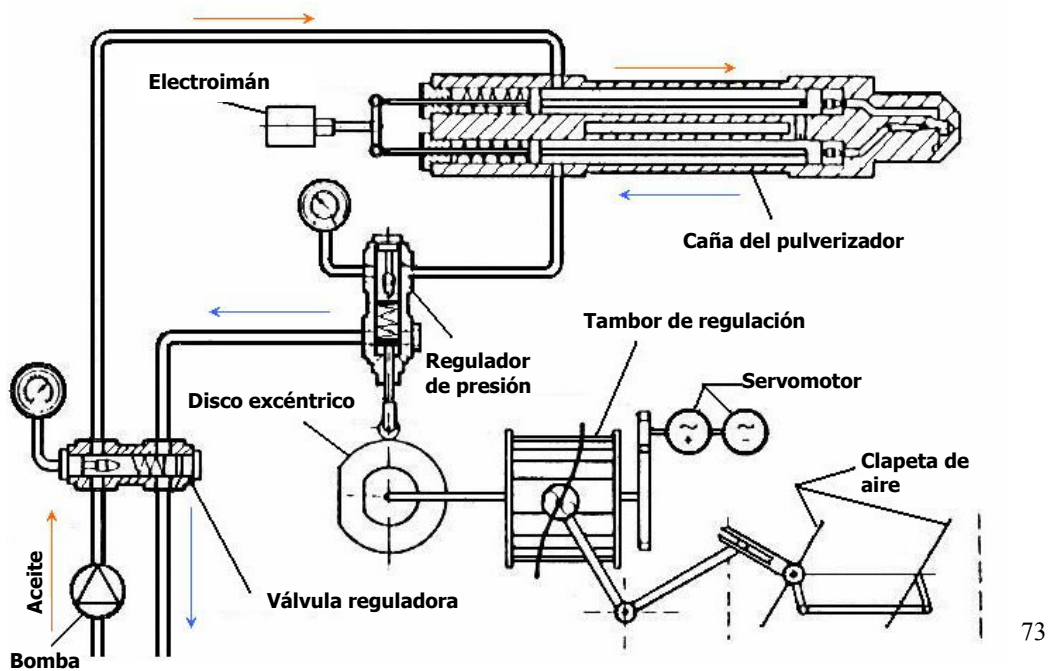
71

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

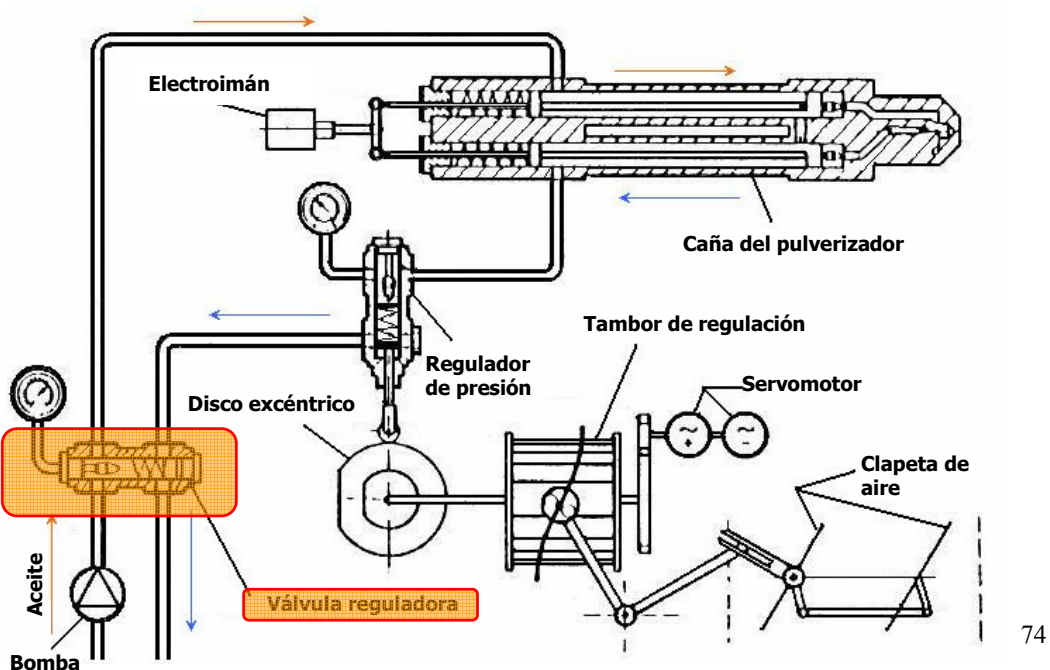


72

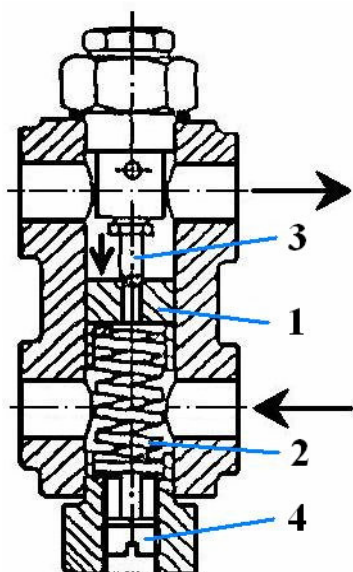
15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



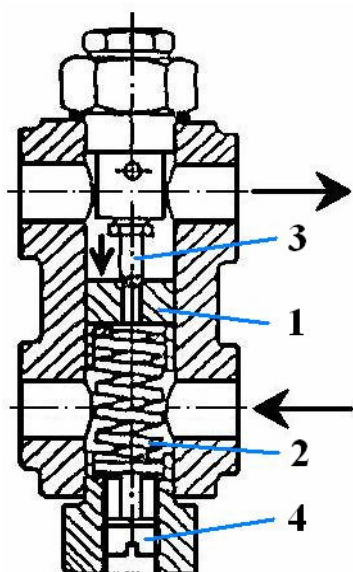
Válvula de regulación de la presión del aceite

Limita la presión en el quemador

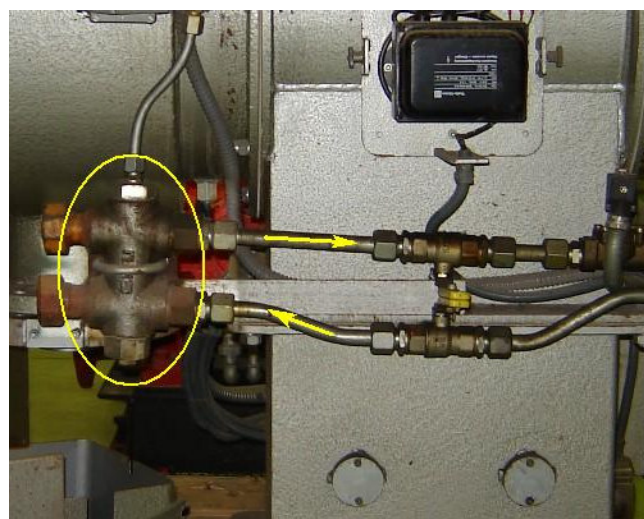
Si $P \uparrow$ el fuel va a la tubería de retorno

1. Pistón
2. Resorte
3. Aguja
4. Tuerca regulación

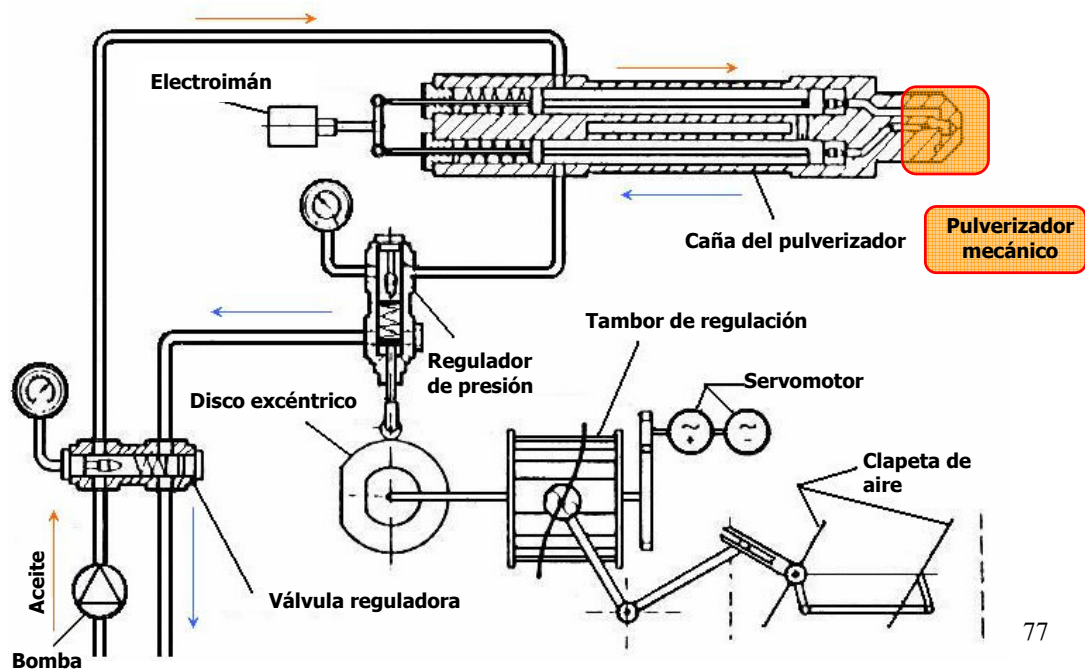
15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



Válvula de regulación de la presión del aceite



15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



77

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Pulverizador mecánico



Pulverización mecánica por rotación

Exige alto grado de pureza del combustible

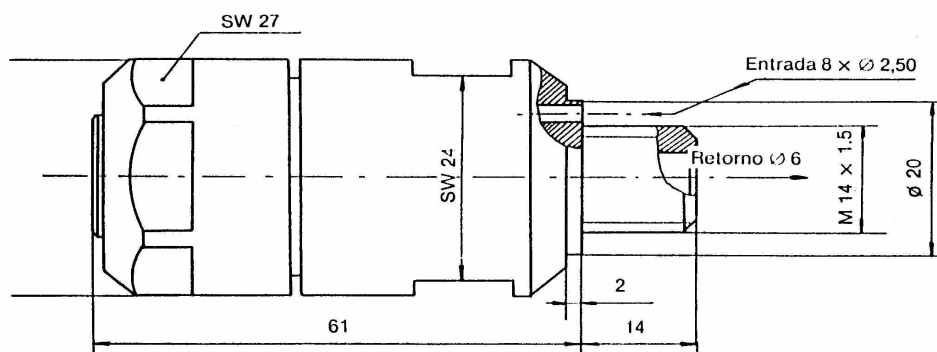
La vaporización se favorece por la T de la llama

Con retorno de combustible excedente lo que favorece la regulación (las variaciones de presión no afecta al caudal pulverizado)

78

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Pulverizador mecánico



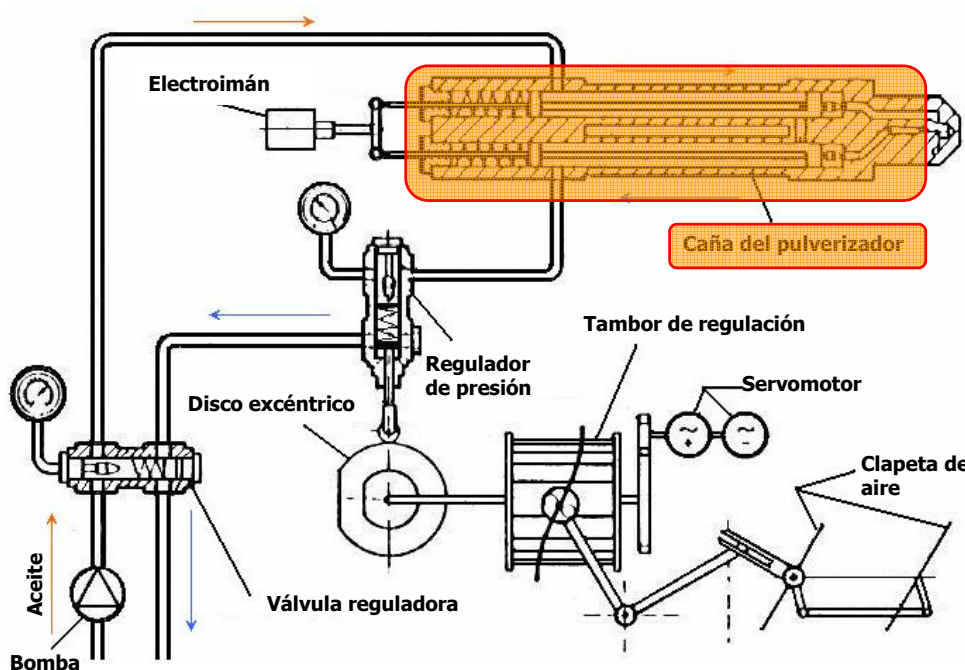
CBM M14/3 zafiro, ángulo pulverización 45° y caudal 700 kg/h.

Presión entrada: 25 bares, viscosidad máxima 2°E.

Caudal mínimo con presión de retorno 3 bares, campo de regulación aproximado 1:5.

79

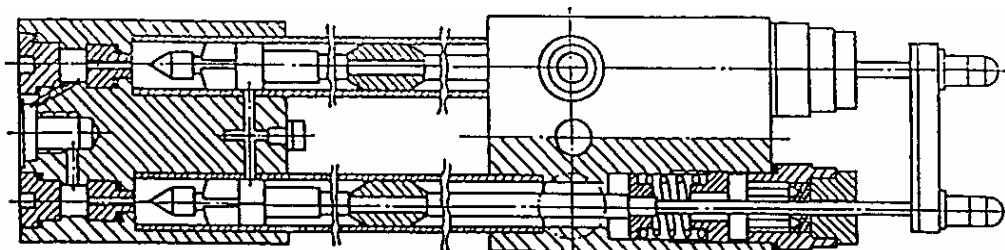
15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



80

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Pulverizador mecánico

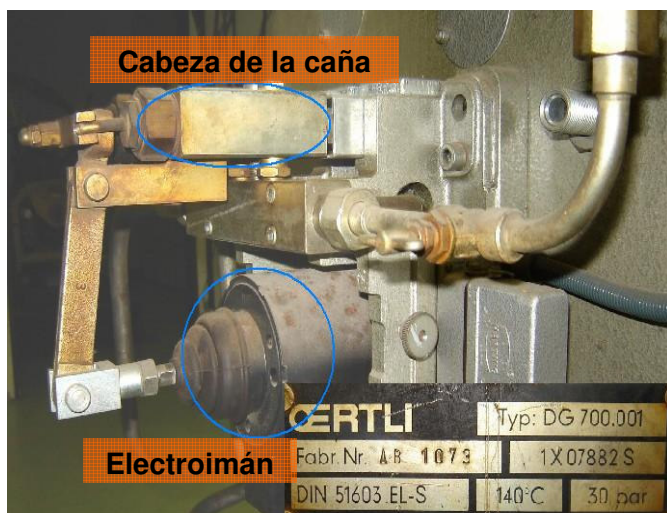


Para combustible ligero, medio y pesado.
Temperatura máxima 140°C, presión máxima 30 bar.
Caudal entre 30 y 1.000 kg/h

81

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

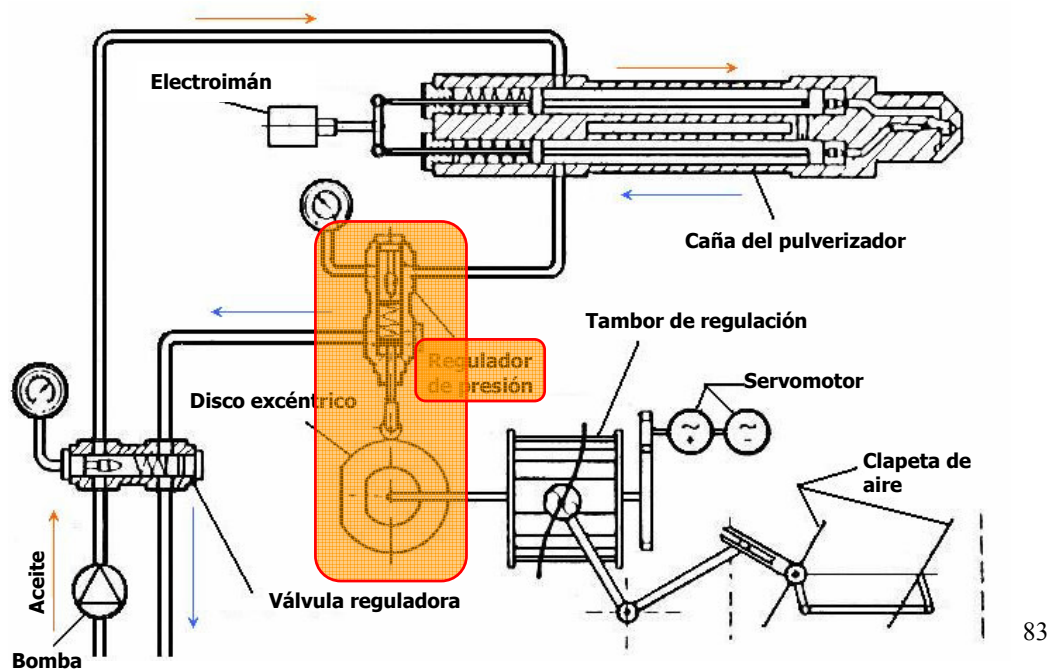
Pulverizador mecánico



Electroimán OERTLI UGRz 100.18
Potencia de 65W a 180Vdc

82

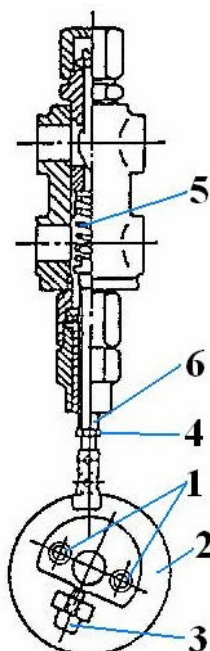
15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



83

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Regulador de Presión (Excéntrica)



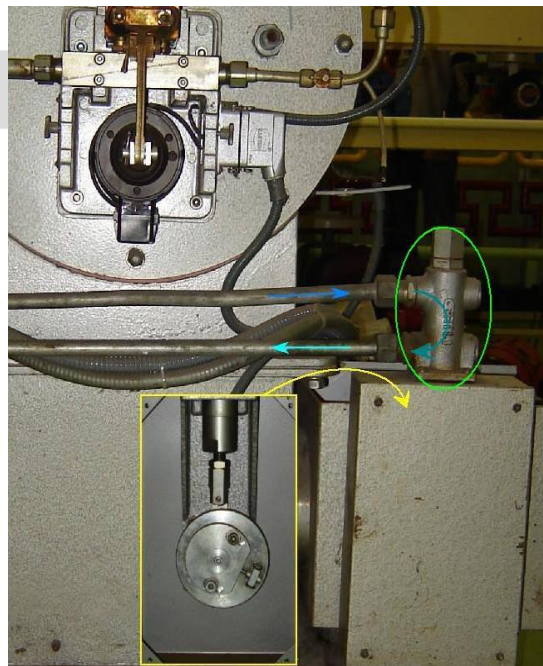
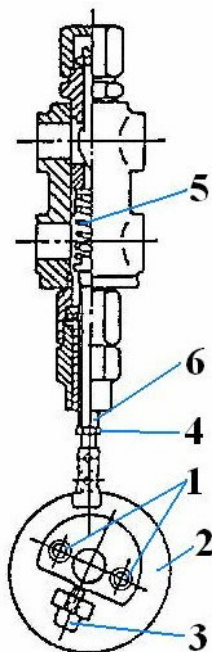
Su funcionamiento es similar a la válvula reguladora, pero con dos orificios ciegos

La regulación de la presión se realiza con una excéntrica (solidaria con el tambor de reg. del aire)

1. Tornillos
2. Excéntrica
3. Tuerca de regulación
4. Contratuerca
5. Muelle
6. Vástago

84

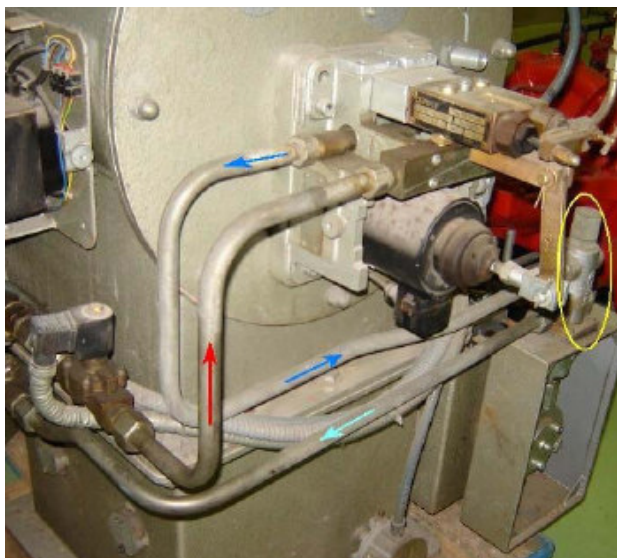
15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



85

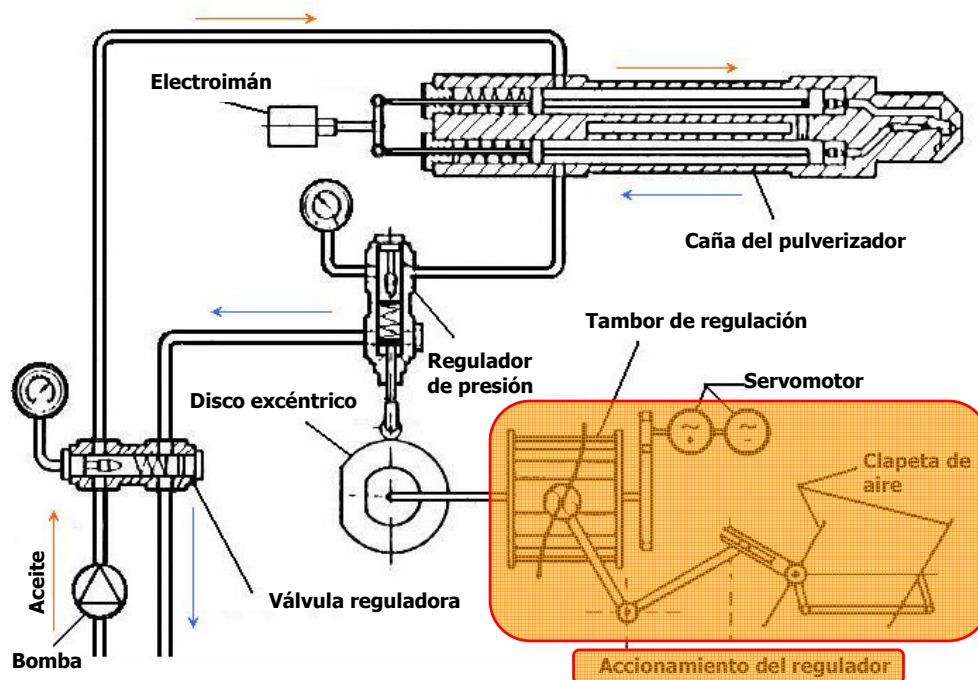
15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Regulador de Presión (Excéntrica)



86

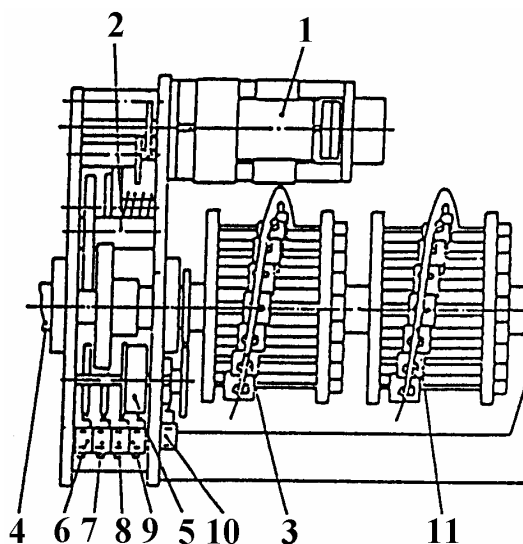
15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



87

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Accionamiento del Regulador (ARG-63)

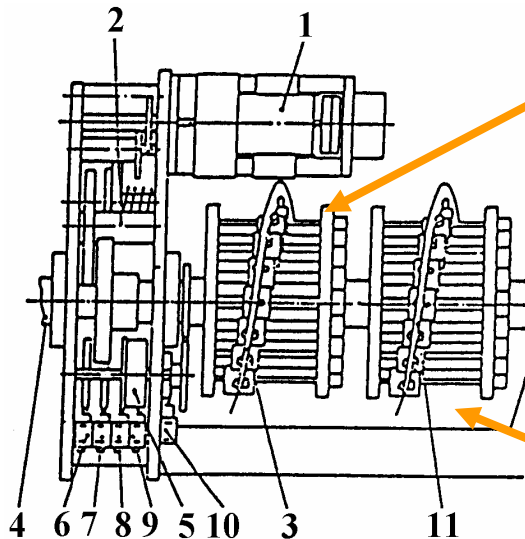


1. Motor de polos partidos.
2. Motor-reductor.
3. Tambor de regulación de aire.
4. Disco de levas.
5. Potenciómetro.
6. Interruptor final de carrera (cierre de aire).
7. Interruptor final de carrera (potencia máxima).
8. Interruptor final de carrera (posición de arranque).
9. Interruptor final de carrera.
10. Interruptor final de carrera (funcionamiento con gas)
11. Tambor de regulación de gas

88

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Accionamiento del Regulador (ARG-63)



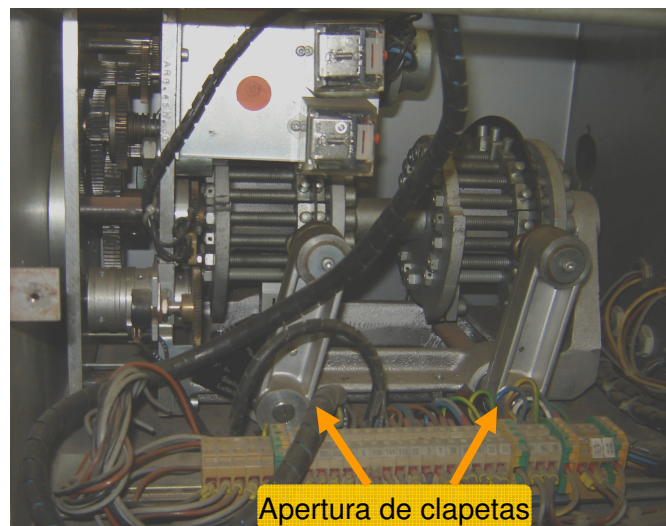
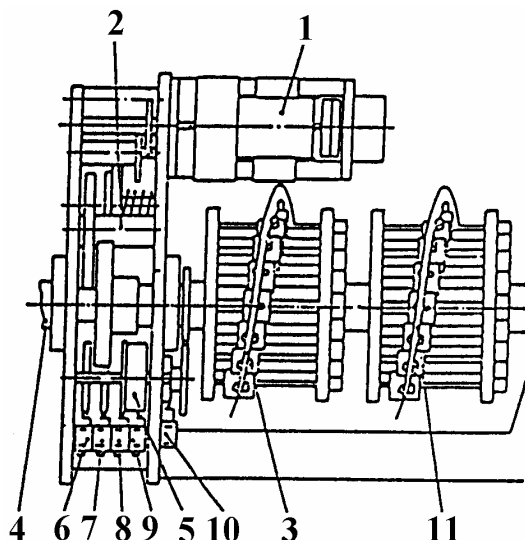
Regulación del aire

1. Motor de polos partidos.
2. Motor-reductor.
3. Tambor de regulación de aire.
4. Disco de levas.
5. Potenciómetro.
6. Interruptor final de carrera (cierre de aire).
7. Interruptor final de carrera (potencia máxima).
8. Interruptor final de carrera (posición de arranque).
9. Interruptor final de carrera.
10. Interruptor final de carrera (funcionamiento con gas)
11. Tambor de regulación de gas

Regulación del gas

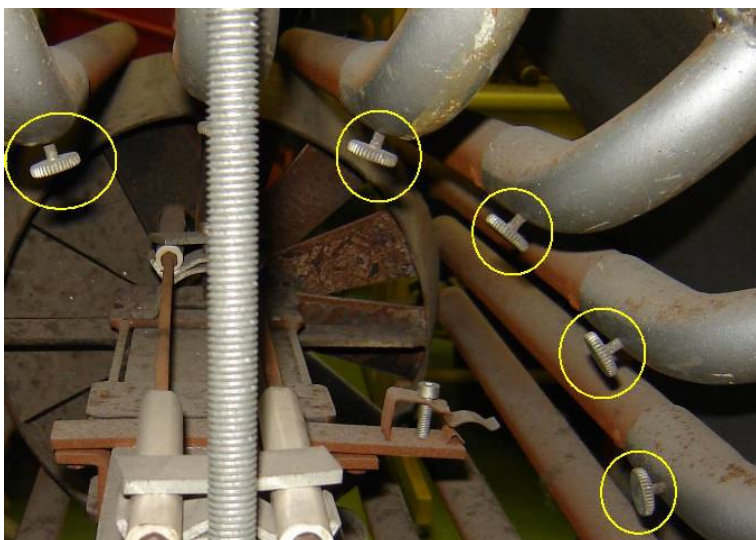
15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Accionamiento del Regulador (ARG-63)



Apertura de clapetas

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



Ajuste de las lanzas

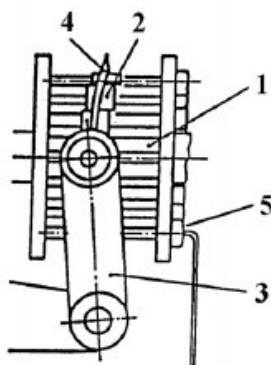
En cada posición del ajuste, medir gases de combustión

Se pueden regular las lanzas del gas individualmente

91

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Ajuste del tambor de aire

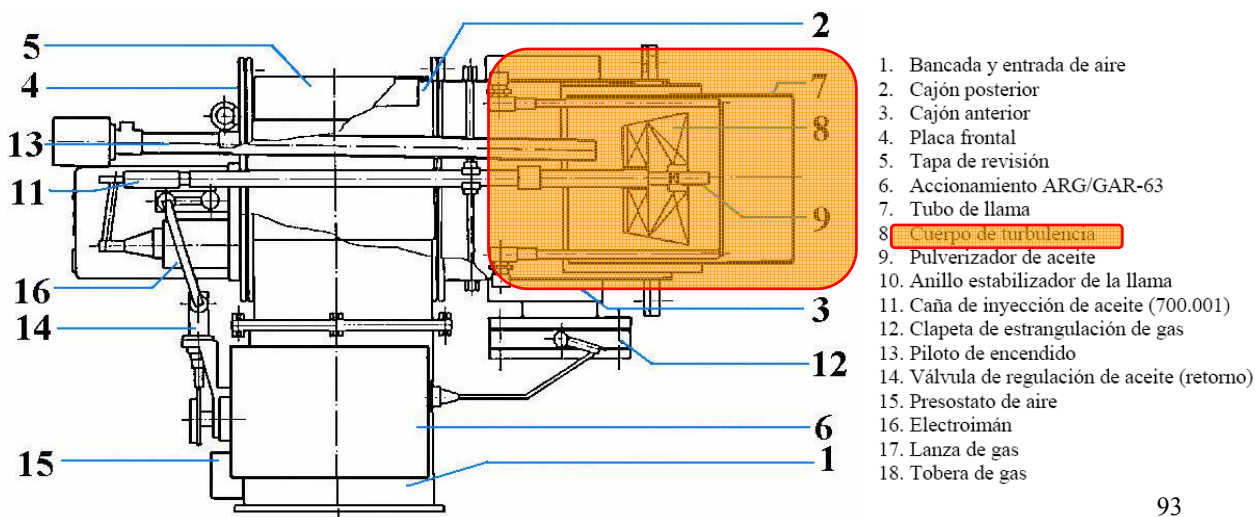


1. Tambor de regulación
2. 16 levas regulables (5 para cerrar el aire, 11 para regular las clapetas de aire)
3. Brazo articulado (3) se transmite
4. Curva del fleje de acero
5. Tornillo de regulación de aire

92

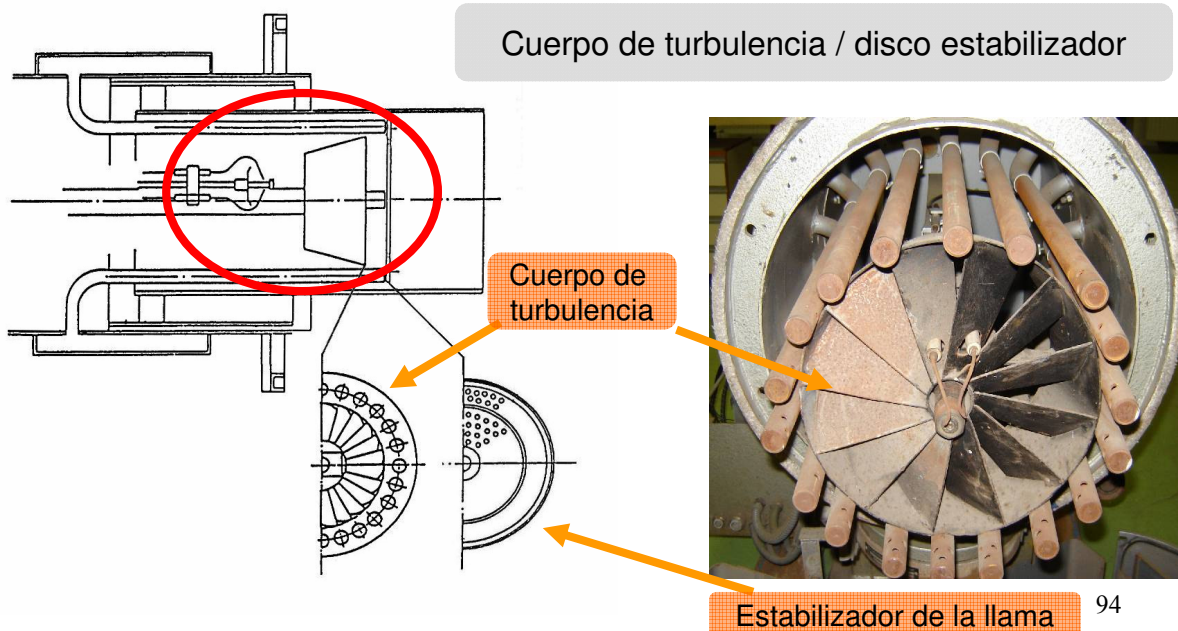
15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Cuerpo de turbulencia / disco estabilizador



15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

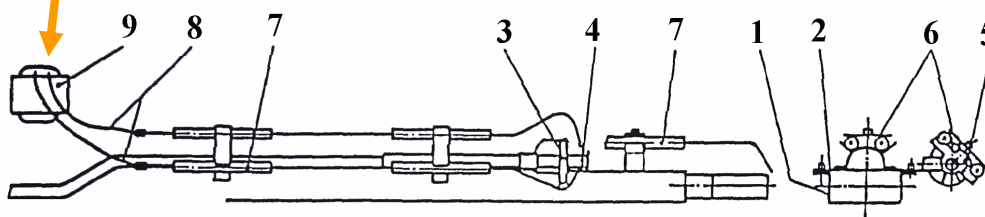
Cuerpo de turbulencia / disco estabilizador



15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Transformador

Llama piloto con electrodos de encendido

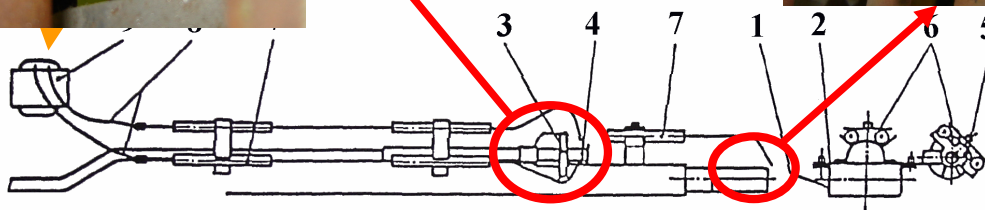


- 1. Soporte para electrodo de encendido
- 2. Soporte para la llama piloto gas
- 3. Turbulador para la llama piloto
- 4. Casquillo corredizo completo
- 5. Soporte de electrodos

- 6. Brida
- 7. Electrodo de encendido fuel
- 8. Cable de encendido
- 9. Transformador de encendido

B-9-K OERTLI

Llama piloto con electrodo



- 1. Soporte para electrodo de encendido
- 2. Soporte para la llama piloto
- 3. Turbulador para la llama piloto gas
- 4. Casquillo corredizo completo
- 5. Soporte de electrodos

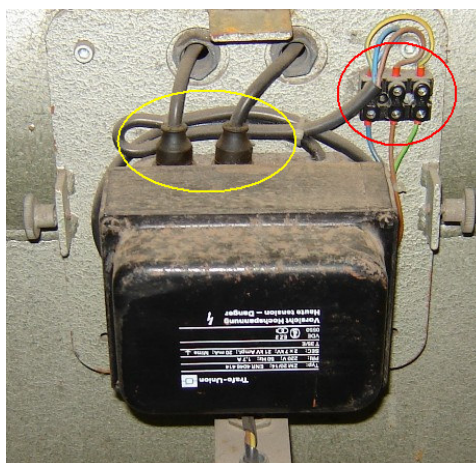
- 6. Brida
- 7. Electrodo de encendido fuel
- 8. Cable de encendido
- 9. Transformador de encendido



15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

Transformador de encendido

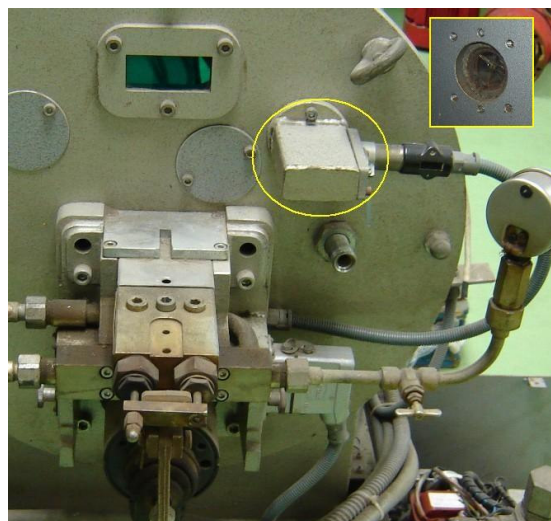
220V con 1.75A
 Dos secundarios a 7.000V con 20mA
 Potencia aparente 280VA
 Peso 5 kg
 Temperatura máxima 35°C



15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

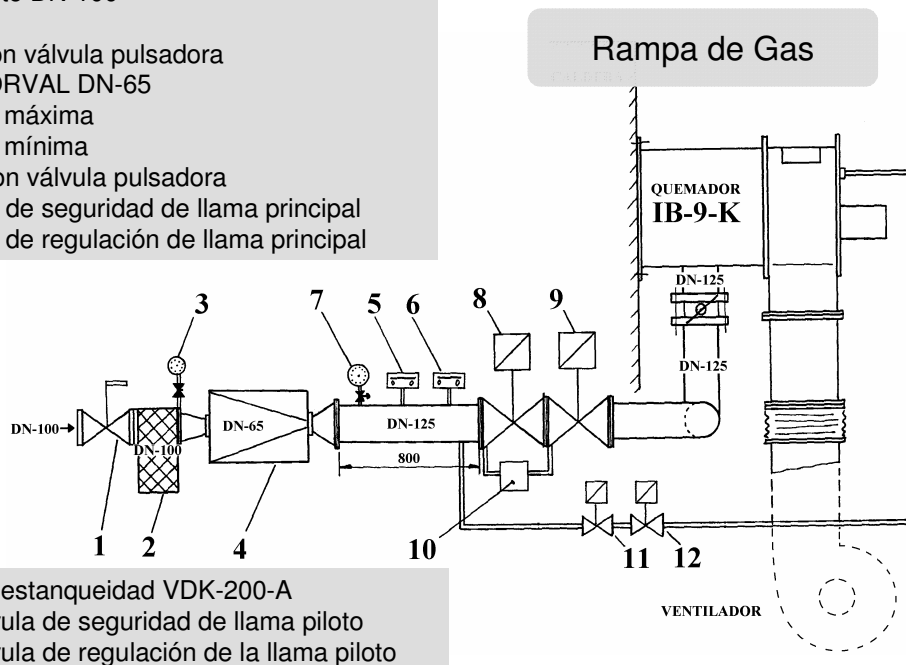
Vigilancia de la llama

Sistemas por debajo de 760°C
 Actúan sobre la válvula de cierre rápido
 Sensor de radiación UV
 Insensibles a la radiación visible e infrarrojo
 Protección vidrio de cuarzo



15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI

1. Válvula de corte DN-100
2. Filtro DN-100
3. Manómetro con válvula pulsadora
4. Regulador NORVAL DN-65
5. Presostato de máxima
6. Presostato de mínima
7. Ventómetro con válvula pulsadora
8. Electroválvula de seguridad de llama principal
9. Electroválvula de regulación de llama principal



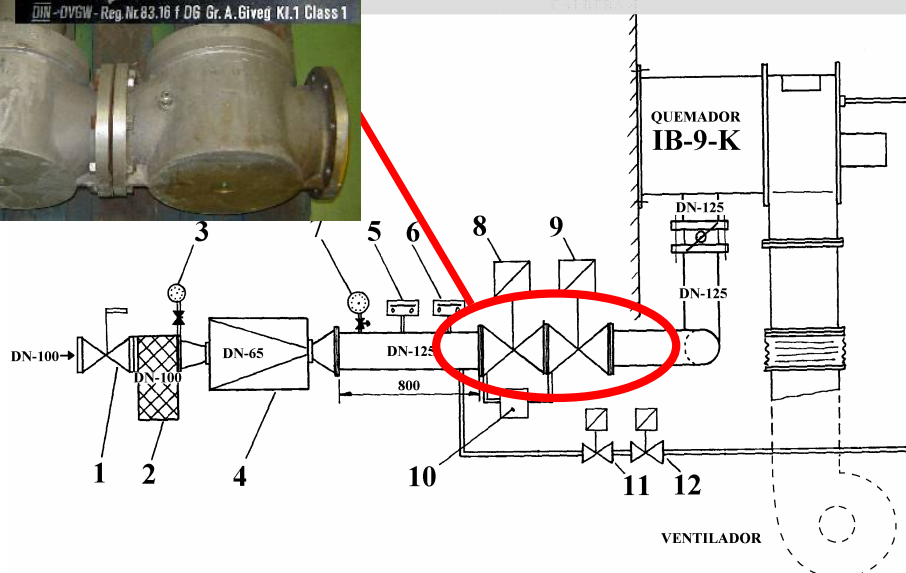
10. Control de estanqueidad VDK-200-A
11. Electroválvula de seguridad de llama piloto
12. Electroválvula de regulación de la llama piloto

99

15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



Rampa de Gas: Electroválvulas

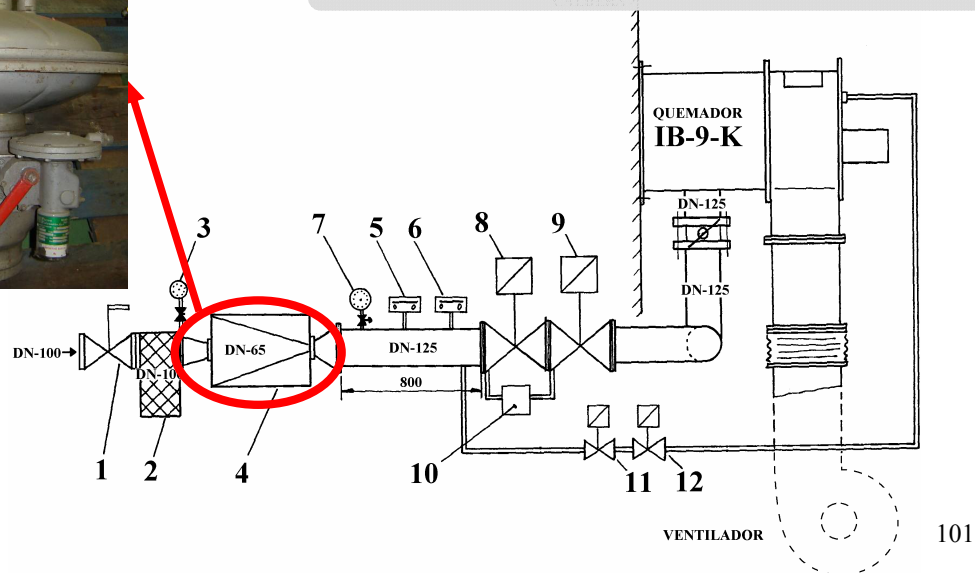


100

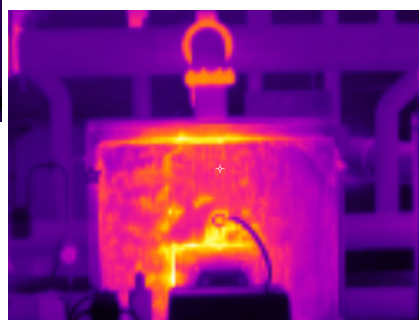
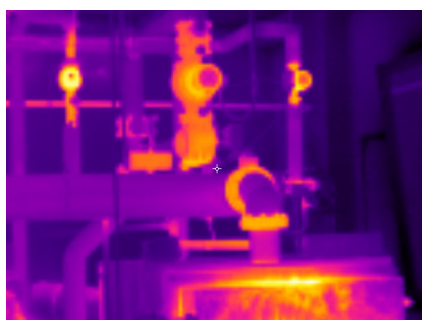
15.- Quemador Mixto IB-9-K OERTLI



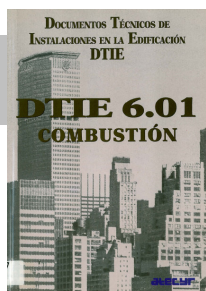
Rampa de Gas: Regulador de Presión



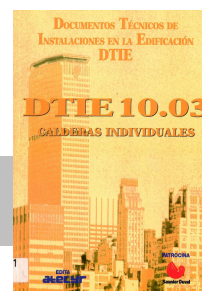
16.- Termografía de una Caldera



Bibliografía del Tema (I)



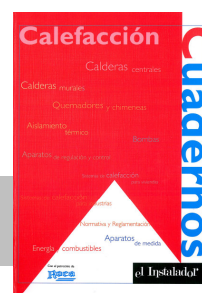
DTIE 6.01 Combustión
Aurelio Alaman



DTIE 10.03 Calderas Individuales
Pedro Pozo



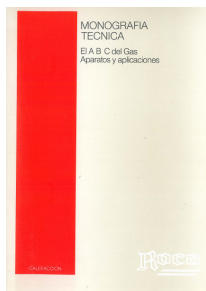
Calefacción. Quemadores y Grupos Térmicos
FERROLI



Cuadernos de Calefacción
Varios, Ed El Instalador

Bibliografía del Tema (II)

Guía Técnica: Inspección de Eficiencia en Calderas
IDAE



Libros y Monografías de ROCA

- El ABC del Gas
- Calderas Murales
- El ABC de la Condensación
- Manual Práctico de Calefacción Doméstica
- ...



Bibliografía del Tema (III)

Revistas nacionales:

- El Instalador
- Montajes e Instalaciones



<http://www.roca-calefaccion.com>

<http://www.saunierduval.es>

<http://www.ferroli.es/>

<http://www.junkers.com>

<http://www.viessmann.com>

<http://www.wolf-heiztechnik.de>

<http://www.buderus.es>