

UNIDAD DE GESTIÓN DEL PROYECTO



# Curso de capacitación: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SERVICIOS AUXILIARES: Calderas de vapor y de aceite térmico

**Expositor: Ing. Victor Arroyo – Consultor Nacional Proyecto ZIS**  
Lima, 08 al 22 de julio de  
2021

Operado por:



Punto focal The GEF:



Financiado por:



Implementado por:



# MODULO 3

## Eficiencia en calderas de vapor y de aceite térmico

1. Introducción
2. Tipos de calderas
3. Combustión en calderas
4. Eficiencia de una caldera
5. Mediciones básicas en una caldera
6. Factores que afectan la eficiencia de una caldera
7. Tratamiento del agua en calderas
8. Oportunidades de eficiencia energética
9. Casos prácticos

# Introducción

---

## DEFINICIÓN DE CALDERA:

Caldera es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua o un fluido térmico, mediante calor a una temperatura y presión mayor que la ambiental.

## USOS DE LAS CALDERAS:

- Generar agua caliente para calefacción y uso general.
- Generar vapor para plantas de fuerza, procesos industriales o calefacción.
- Generar un fluido térmico para calentamiento a alta temperatura en procesos industriales.

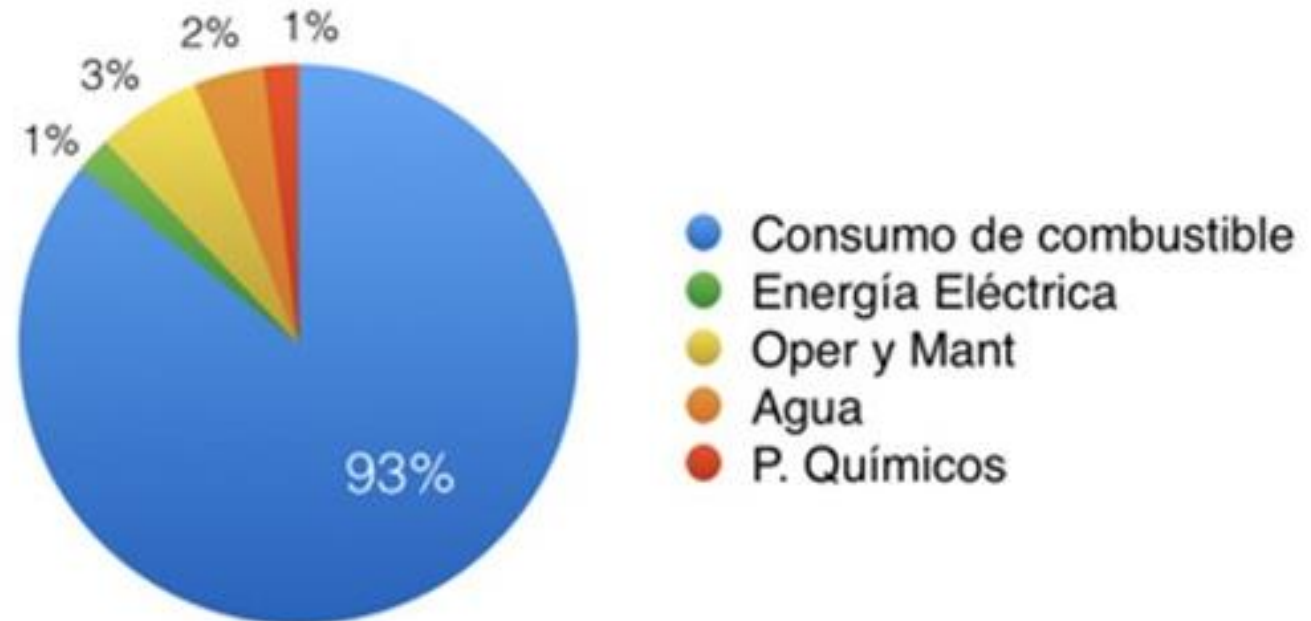


# Introducción

## CUANTO CUESTA GENERAR VAPOR EN UNA CALDERA:

Los costos asociados a la generación de vapor dependen de:

- Consumo y costo de combustible (principal)
- Consumo y costo de productos químicos
- Consumo y costo del agua de reposición o make up
- Consumo y costo de energía eléctrica
- Costos de operación y mantenimiento



93% del costo es  
**COMBUSTIBLE!**



# Introducción

## LAS CALDERAS EN EL PERÚ:

Según estudio “Mejoramiento de la eficiencia de las calderas peruanas con un proyecto MDL”, se tiene que:

- Parque calderas: 2128 calderas (2010)
- Las calderas consumen el 46% del total de energía (TJ) de la industria peruana.
- El 84% de las calderas son pirotubulares, y 16% acuotubulares.
- 53% de las calderas tienen una eficiencia de 70 a 79%.
- Gran parte de las calderas tienen una antigüedad de 10 a 25 años.



**Improving Energy Efficiency in Peruvian Boilers with the CDM**

*Feasibility study for a bundled CDM Project*

**Final Report  
for Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)  
and the Peruvian Ministry for Production (PRODUCE)**

January, 2003

BHP	%
< 500	56,2
500 – 1000	33,4
> 1000	10,4

# Tipos de calderas

---

## CALDERAS DE VAPOR:

Clasificación de acuerdo a la circulación de los fluidos:

- Calderas pirotubulares
- Calderas acuotubulares

Clasificación de acuerdo a la presión de trabajo:

- Calderas de baja presión (<73 psi), mayormente para agua caliente.
- Calderas de media presión (<290 psi), uso industrial.
- Calderas de alta presión (< 3000 psi), en generación eléctrica con turbinas.

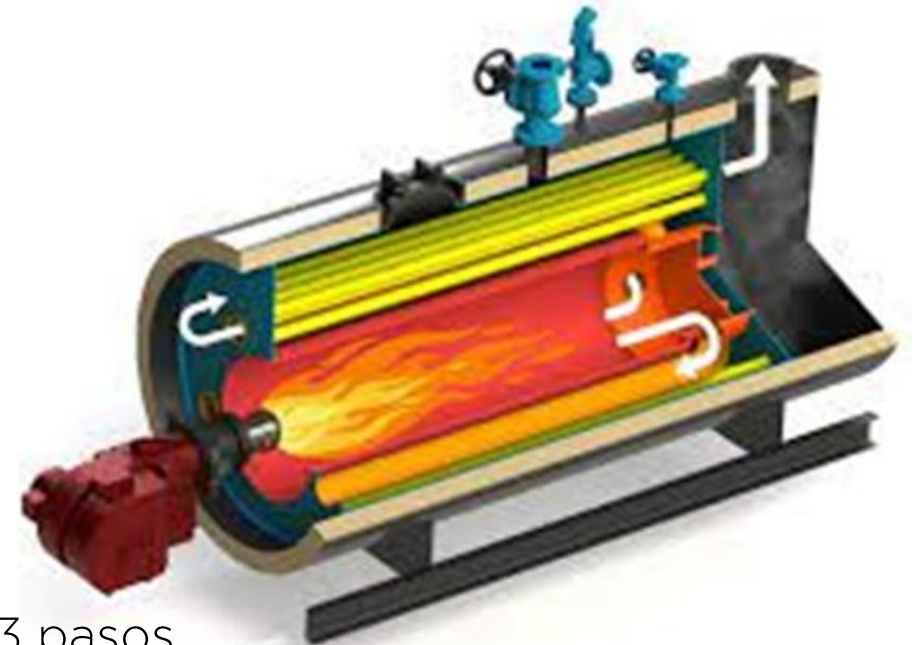
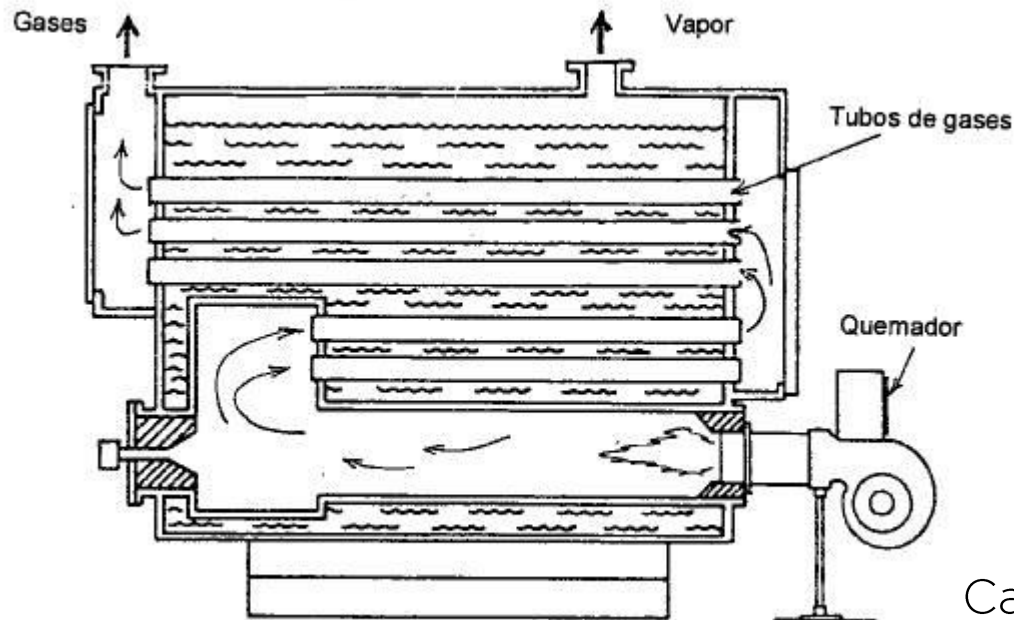




# Tipos de calderas

## a) Calderas pirotubulares

- Los gases de combustión circulan por dentro de tubos, mientras que el agua se calienta y evapora en el exterior de ellos.
- Producen vapor saturado: típico 100-150 psi (170-185°C) en la industria.
- Combustibles: Gas natural, GLP, Diésel, Petróleo Industrial (>300 BHP)



Caldera de 3 pasos

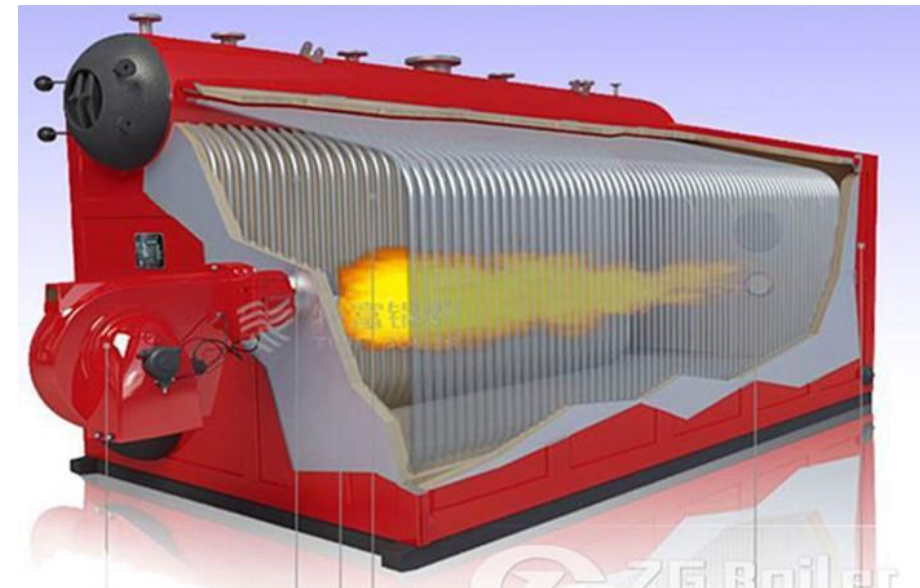
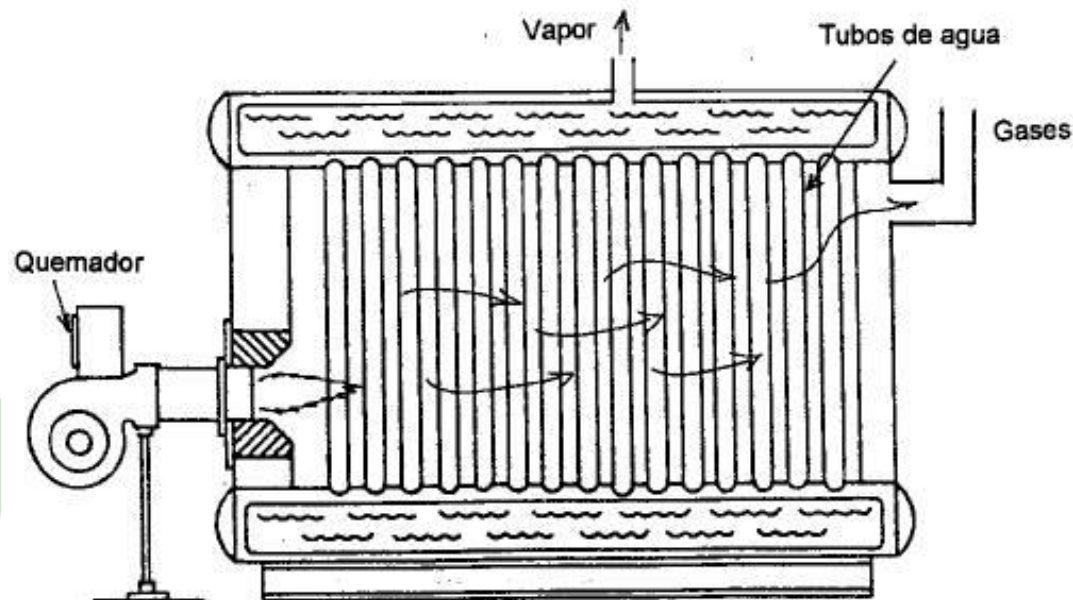


# Tipos de calderas

## b) Calderas acuotubulares

Por dentro de tubos circula el agua y la mezcla de agua y vapor. Por fuera circulan en flujo cruzado los gases de la combustión.

- Producen vapor saturado recalentado: típico 150 psi en la industria.
- Combustibles: Gas natural, Petróleo industrial, carbón, residuos





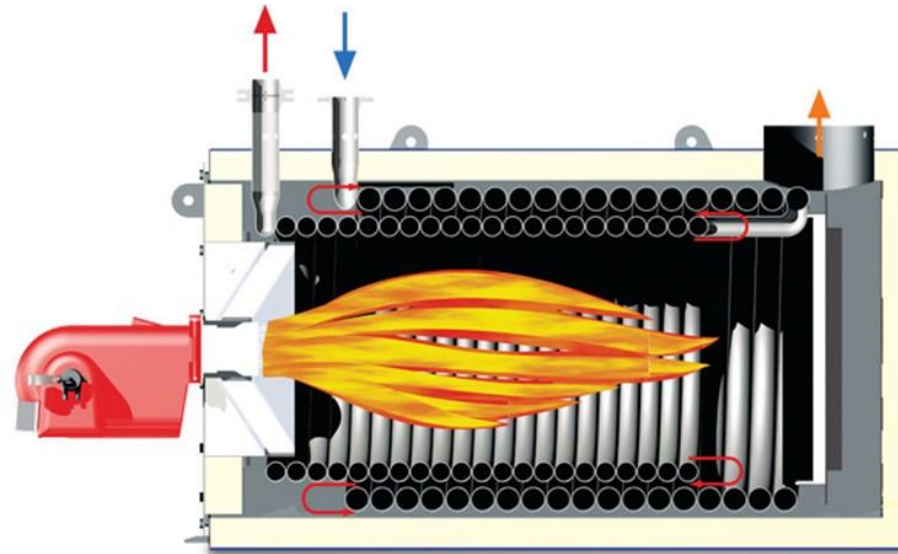
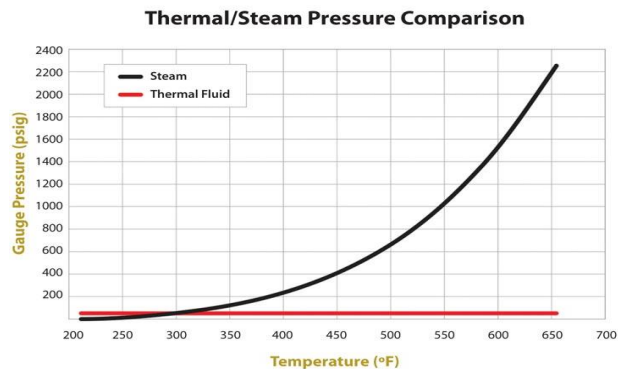
# Tipos de calderas

## CALDERAS DE ACEITE TERMICO:

- Caldera horizontal.
- Caldera vertical.

No hay prácticamente ninguna diferencia funcional entre ambas.

- Potencias térmicas de 100 a 3 500 kW
- Temperaturas de hasta 350°C (no resulta viable con vapor)
- Diferenciales térmicos de 20 o 40°C.
- Presión constante 75 psi



# Combustión en calderas

## QUE ES LA COMBUSTIÓN:

- Es un proceso químico de oxidación con desprendimiento de calor, luz y gases residuales.
- Es necesario la presencia de un combustible (C, H), un comburente (aire) y calor (chispa o catalizador)



Composición de combustibles

C/H	Combustible	C %	H %	S %	N %
3.1	Gas Natural	74.67	23.75	0	0.93
6.7	Diesel	86.6	12.9	0.3	0.006
7.8	Residual 6	86	11	1	0.2
9.6	Carbón	77.0	8.0	1.5	1.5

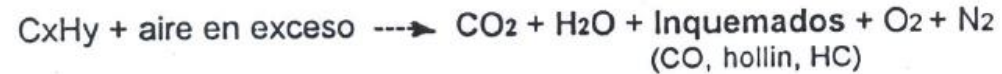


# Combustión en calderas

## TIPOS DE COMBUSTIÓN:

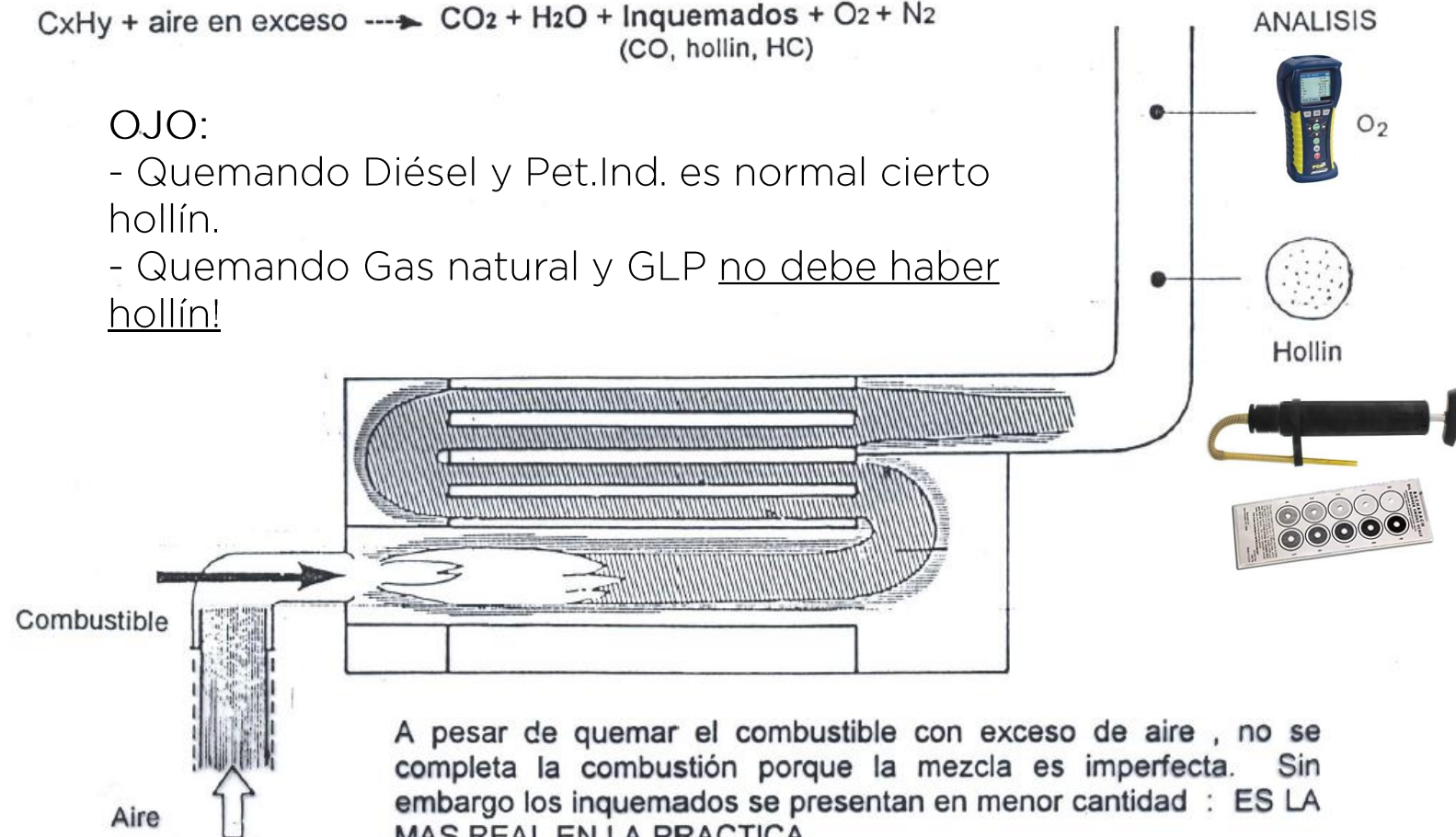
- Combustión perfecta (ideal)
- Combustión incompleta con defecto de aire (desastrosa)
- Combustión imperfecta con exceso de aire (más común)

### 3. COMBUSTION IMPERFECTA CON EXCESO DE AIRE



OJO:

- Quemando Diésel y Pet.Ind. es normal cierto hollín.
- Quemando Gas natural y GLP no debe haber hollín!

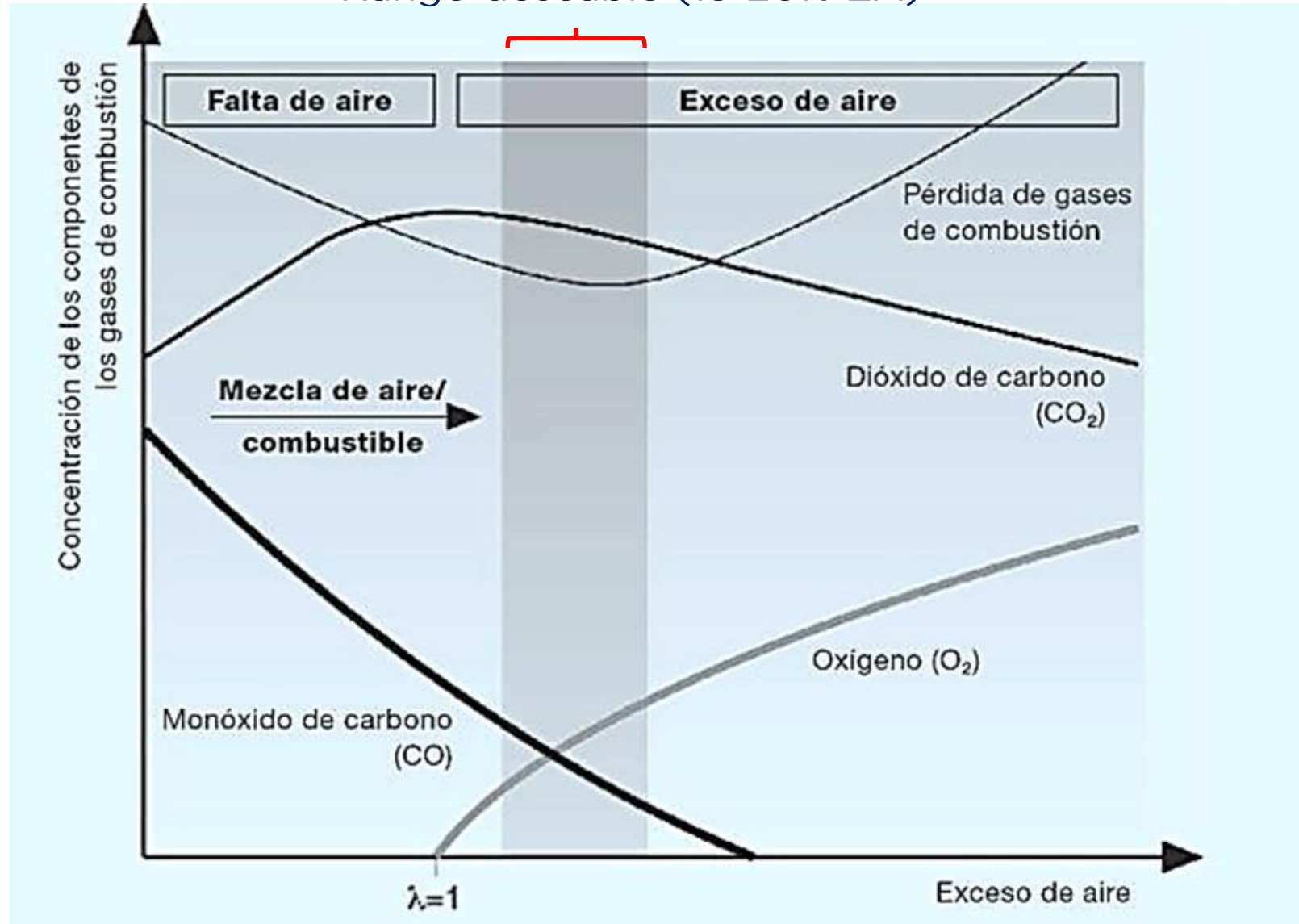


A pesar de quemar el combustible con exceso de aire , no se completa la combustión porque la mezcla es imperfecta. Sin embargo los inquemados se presentan en menor cantidad : ES LA MAS REAL EN LA PRACTICA.



# Combustión en calderas

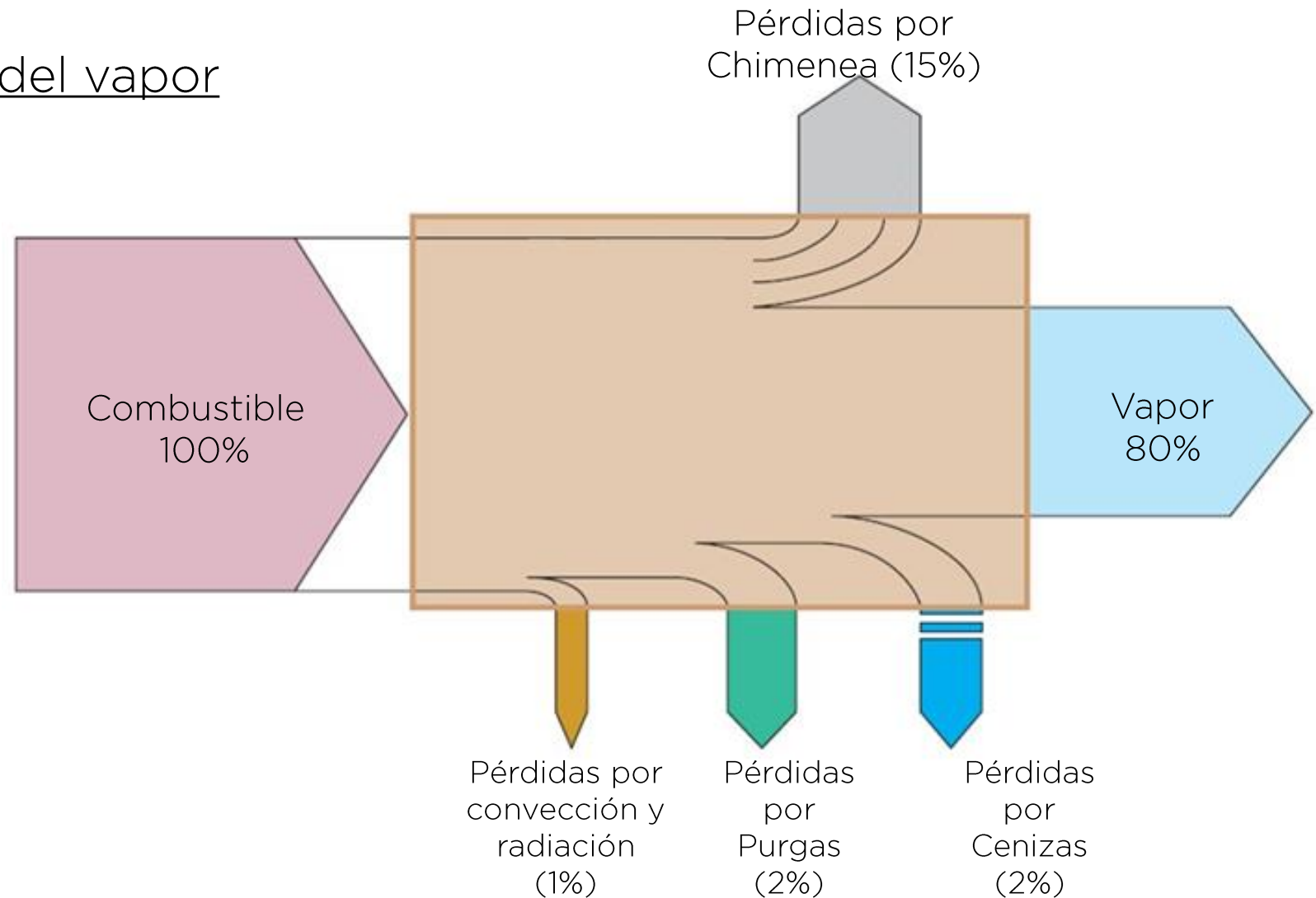
Rango deseable (15-20% EA)



# Eficiencia de una caldera

## EFICIENCIA DE UNA CALDERA DE VAPOR:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Energía del vapor}}{\text{Energía del combustible}}$$





# Eficiencia de una caldera

## METODOS DE CÁLCULO DE LA EFICIENCIA:

Existen dos métodos para determinar la eficiencia de una caldera :

### 1) Método directo

$$\text{Eficiencia ( \% )} = \frac{M_v \cdot (H_v - H_a)}{M_c \cdot PCS} \cdot 100$$

Donde:

M<sub>v</sub>= Caudal del vapor en kg/h

M<sub>c</sub>= Caudal del combustible en gal/h

H<sub>v</sub>= Entalpía del vapor en kcal/kg

H<sub>a</sub>= Entalpía del agua de alimentación en kcal/kg

PCS= Poder calorífico superior del combustible en kcal/gal

### Requerimientos:

- Medidor de caudal de vapor
- Manómetro para vapor
- Termómetro para vapor (vap. recal.)
- Termómetro para agua de alimentación
- Medidor de caudal de combustible .
- Poder calorífico del combustible : bomba calorimétrica o tablas
- Entalpías : tablas de vapor.

# Eficiencia de una caldera

---

## METODOS DE CÁLCULO DE LA EFICIENCIA:

### 2) Método indirecto

Eficiencia (%) = 100 - Sumatoria de pérdidas de calor

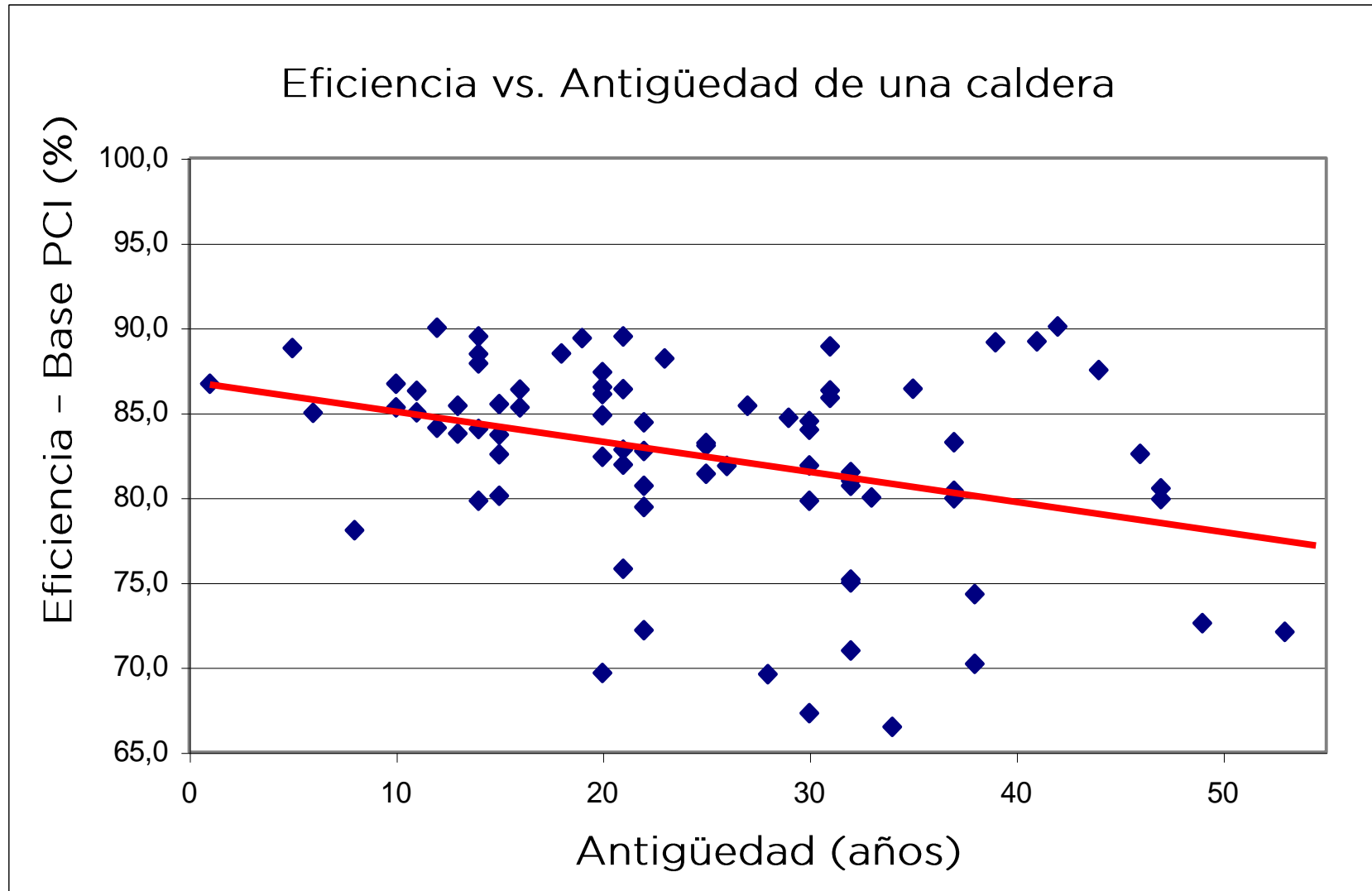
Las pérdidas están calculadas sobre la base de 1 kg de combustible y se expresan porcentualmente referidas a su poder calorífico superior.

### **Requerimientos :**

- Analizador de gases : análisis de O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> , CO y opacidad (Indice Bacharach).
- Termómetro : temperatura del gas de chimenea y del ambiente
- Higrómetro : humedad relativa del ambiente
- Datos del poder calorífico y composición del combustible
- Datos de pérdidas de calor por radiación de la caldera

**NOTA:** Los analizadores de gases electrónicos calculan la eficiencia por este método.

# Eficiencia de una caldera



Fuente: ENC  
(1999)



# Mediciones básicas en una caldera

Hay 3 mediciones básicas para conocer el estado energético de una caldera:

- Análisis de gases: %Oxígeno, ppm CO (CO<sub>2</sub> lo calcula el analizador).
- Temperatura de gases (lo mide el mismo analizador).
- Opacidad de gases (Indice Bacharach).

Analizador electrónico de gases

Se realizan en la chimenea.

Análisis de gases y temperatura: Impresora de resultados

```

Testo t350 s
Testo t350 s
SN: 01252733 /USA
-----
CINYDE SAC
NONAME
04/10/18 14:06:59

Fuel: Natur.gas
171.2 °C Tf
2.70 % Oxygen
10.19 % CO2
0 ppm CO
55 ppm NO
0.2 ppm NO2
56 ppm NOx
0 ppm SO2
0.0 ppm H2S
85.6 % Efficiency
13.1 % Excess air
14.4 % loss
-----
inW aP
0.75 l/m Pump
9.0 V Batt.
-----
Heat transf.°F: --- °F
  
```



# Mediciones básicas en una caldera

```

-----
Testo t350 s
      Testo t350 s
SN: 01252733 /USA
-----
CINYDE SAC
-----
NONAME
04/10/18   14:06:59

Fuel: Natur.gas

171.2   °C Tf
  2.70   % Oxygen
 10.19   % CO2
    0   ppm CO
   55   ppm NO
   0.2   ppm NO2
   56   ppm NOx
    0   ppm SO2
   0.0   ppm H2S
  85.6   % Efficiency
  13.1   % Excess air
  14.4   % loss
-----
  0.75   inW ΔP
   9.0   l/m Pump
         V Batt.
-----
Heat transf. °F: --- °F
-----

```

RESULTADOS DEL ANALISIS DE GASES					
Denominación	Símbolo	Unidad	Posición de llama		
			Baja	Media	Alta
Oxígeno O <sub>2</sub>	% O <sub>2</sub>	%	4.2	4.6	5.3
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	% CO <sub>2</sub>	%	9.3	9.1	8.7
Exceso de Aire	λ	%	25	26	30
Pérdidas	% qA	%	16.3	17.7	17.5
Eficiencia de la Combustión	%REN	%	83.7	82.3	82.5
Monóxido de Carbono CO	m CO	mgr/m <sup>3</sup> N	0	0	0
Óxidos de Nitrógeno NO <sub>x</sub>	m NO <sub>x</sub>	mgr/m <sup>3</sup> N	68	71	80
Dióxido de Azufre SO <sub>2</sub>	m SO <sub>2</sub>	mgr/m <sup>3</sup> N	4	4	4
Temperatura de Gases	°C	°C	187.2	198.8	208.8
Temperatura Ambiente	°C	°C	26.5	26.6	27.2

Eficiencia calculada por el método indirecto, también llamada “eficiencia de combustión”. No es la eficiencia térmica de la caldera ya que no considera las pérdidas por hollín y por radiación y convección de paredes.

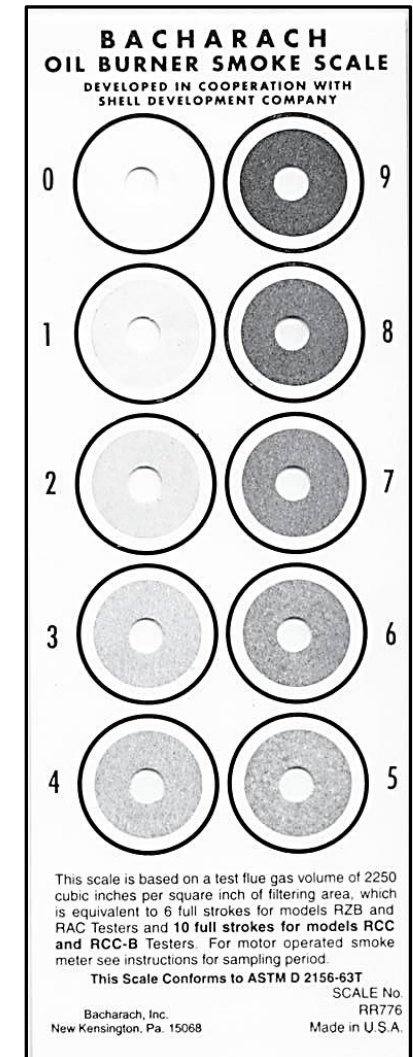


# Mediciones básicas en una caldera

## Determinación de opacidad de gases:

- Mide cualitativamente la presencia de hollín en los gases de chimenea en una escala del 0 al 9 (Indice Bacharach).
- Se usa para combustión de combustibles líquidos (con gas debe salir “0”).
- No usar en combustión de proceso (p.ej. secadores).

<u>Indice Bacharach</u>	Calificación	Efectos
1	Excelente	No hay hollín
2	Buena	Hollín muy reducido
3	Regular	Cierta cantidad de hollín
4	Pobre	Hollín visible
5	Muy pobre	Hollín muy visible
6 a 9	Pobrísimas	Hollín muy visible



# Mediciones básicas en una caldera

VALORES RECOMENDADOS PARA CALDERAS (VAPOR, AGUA, ACEITE TÉRMICO)

PARAMETRO	COMBUSTIBLE		
	GAS	DIESEL	PET. IND.
O <sub>2</sub> (%)	3 max	3.5 max	4.0 max
CO <sub>2</sub> (%)	10.2 min	12.9 min	12.8 min
CO (ppm)	50 max	200 max	400 max
Opacidad (Indice Bacharach)	0	3 max	4 max

TEMPERATURA DE GASES EN CALDERAS DE VAPOR a 100 psi (aprox.):

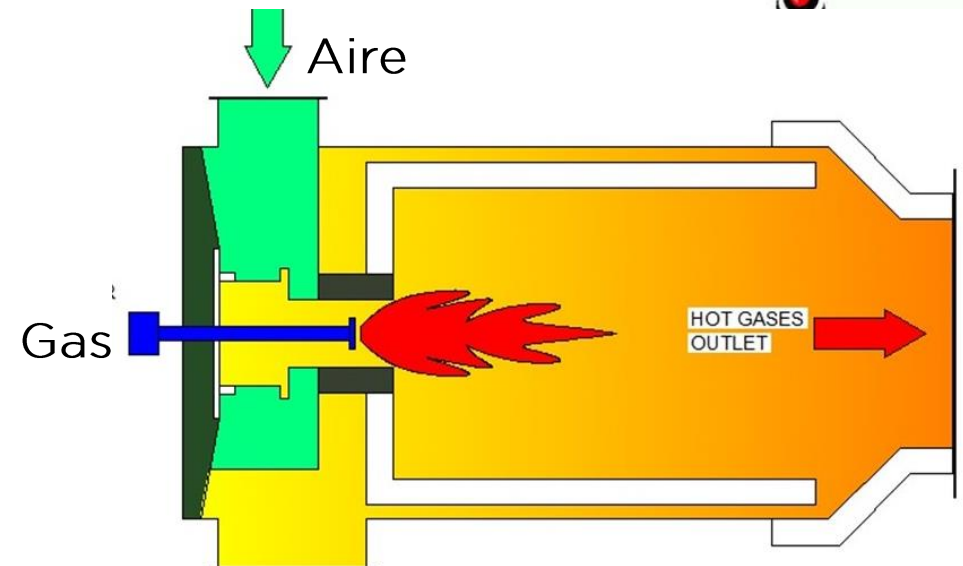
- Fuego bajo: 190 °C max.
- Fuego medio: 200 °C max
- Fuego alto: 210 °C max.



# Factores que afectan la eficiencia de una caldera

Los siguientes factores afectan la eficiencia de una caldera de vapor:

- 1) Temperatura del agua de alimentación.
- 2) Temperatura del gas de chimenea.
- 3) Exceso de aire de combustión.
- 4) Presión de vapor o temperatura del agua caliente.
- 5) Tipo de combustible.
- 6) Depósitos de hollín en el lado de los gases.
- 7) Carga de la caldera.
- 8) Temperatura del aire de combustión.
- 9) Calidad del agua de alimentación.



# Tratamiento del agua en calderas

---

## PARÁMETROS TRATAMIENTO DE AGUA

**pH:** representa la acidez o alcalinidad del agua. Útil para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).

**Dureza:** iones de calcio y magnesio en el agua, que favorecen las incrustaciones sobre las superficies de transferencia de calor.

**Oxígeno:** favorece la corrosión de los componentes metálicos de la caldera. La presión y temperatura aumentan la velocidad de corrosión.

**Dióxido de carbono:** favorece la corrosión en la caldera y las líneas de condensado.

**Fosfato:** se utiliza para controlar el pH y dar protección contra la dureza.

**Sólidos disueltos:** cantidad de sólidos (impurezas) disueltos en al agua.

# Tratamiento del agua en calderas

---

## PARÁMETROS TRATAMIENTO DE AGUA:

**Sólidos en suspensión:** Cantidad de sólidos (impurezas) presentes en suspensión (no disueltas) en el agua.

**Secuestrantes de oxígeno:** Productos químicos (sulfitos, hidrazina, etc.) utilizados para remover el oxígeno residual del agua.

**Sílice:** puede formar incrustaciones duras (silicatos) o de muy baja conductividad térmica (silicatos de calcio y magnesio).

**Alcalinidad:** Cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua; fuente potencial de depósitos.

**Conductividad:** permite controlar la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua.





# Tratamiento del agua en calderas

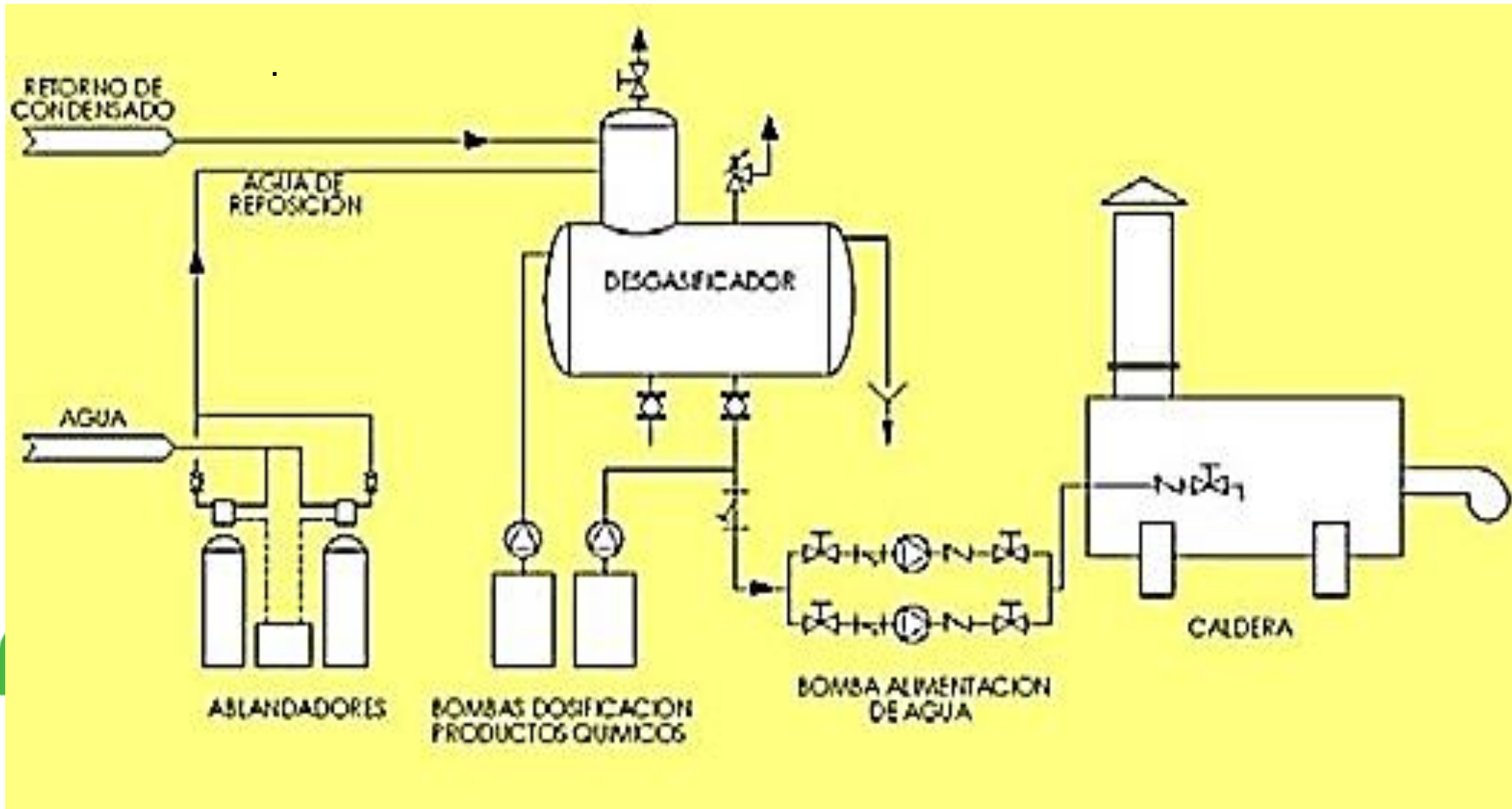
<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR REQUERIDO</b>
Dureza total	< 2 ppm
Contenido de oxígeno	< 8 ppb
Dióxido de carbono	< 25 mg/l
Contenido total de hierro	< 0,05 mg/l
Contenido total de cobre	< 0,01 mg/l
Alcalinidad total	< 25 ppm
Contenido de aceite	< 1 mg/l
pH a 25 °C	8.5 – 9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

**Tabla n°1: Requerimientos agua alimentación calderas vapor según BS 2486.**



# Tratamiento del agua en calderas

## EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE CALDERA



# **Oportunidades de eficiencia energética**

## **BUENAS PRACTICAS DE GESTIÓN**

(Nulas o bajas Inversiones)

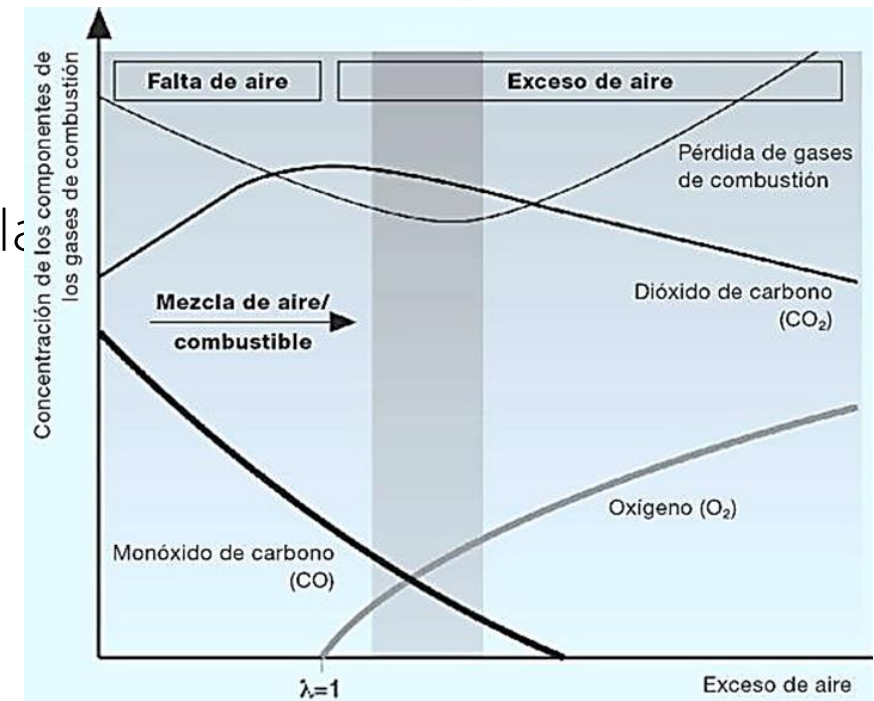
# Oportunidades de eficiencia energética

## 1. CONTROL DEL EXCESO DE AIRE

Consiste en suministrar controladamente al quemador la cantidad mínima de aire para lograr una combustión eficiente.

- Es de fácil implementación.
- Los ahorros son inmediatos.
- Las inversiones son muy bajas o a veces nulas.
- Debe realizarse periódicamente.

Aplica en cualquier tipo de caldera.



# Oportunidades de eficiencia energética

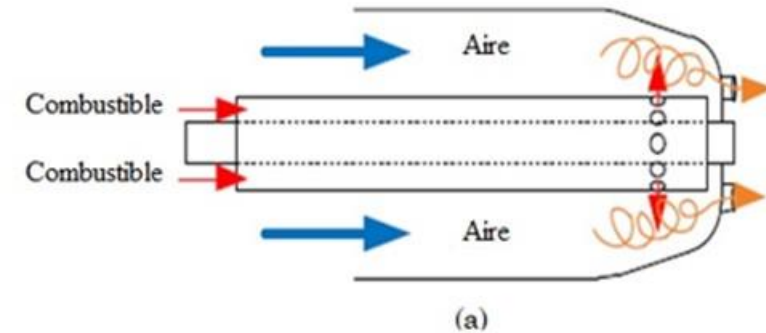
## 1. CONTROL DEL EXCESO DE AIRE

Para lograr una combustión eficiente con bajo exceso de aire es necesario:

Mantener una buena mezcla aire-combustible:

- Adecuada presión del combustible, aire y medio de atomización.
- Adecuada temperatura de atomización (Pet. Industrial).

Buen mantenimiento del sistema de combustión : bomba, regulador, calentador, cono, difusor, boquilla, etc.

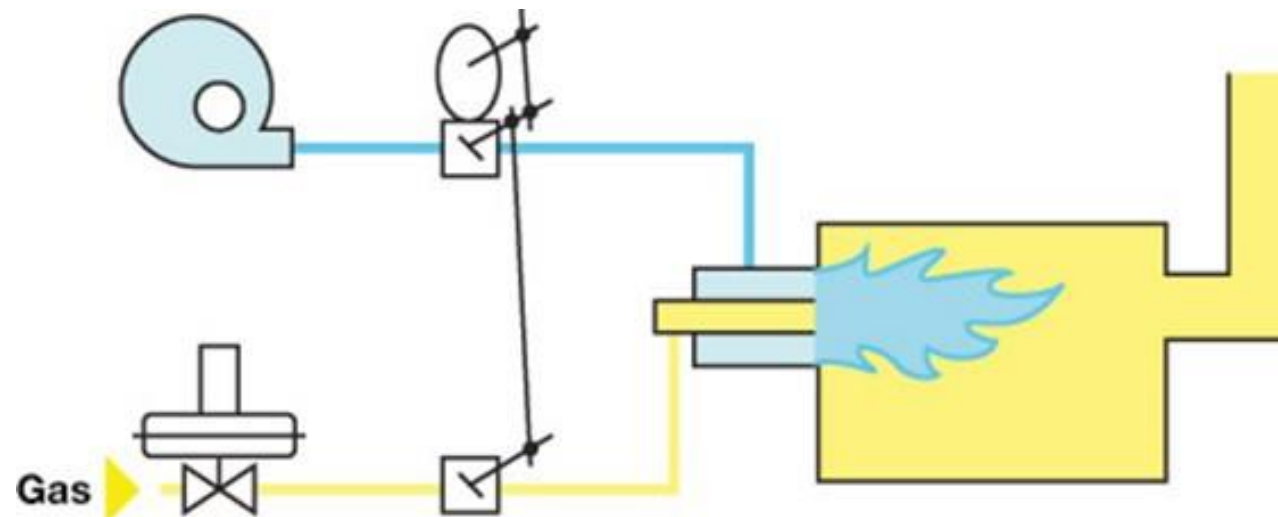


# Oportunidades de eficiencia energética

## 1. CONTROL DEL EXCESO DE AIRE

Los sistemas de control mecánico requieren de ajustes periódicos por:

- Fluctuaciones de la calidad del combustible.
- Desajustes por el mismo movimiento y desgaste de los elementos (varillas, pines, levas, válvulas, etc.)
- Desajustes en los trabajos de mantenimiento.





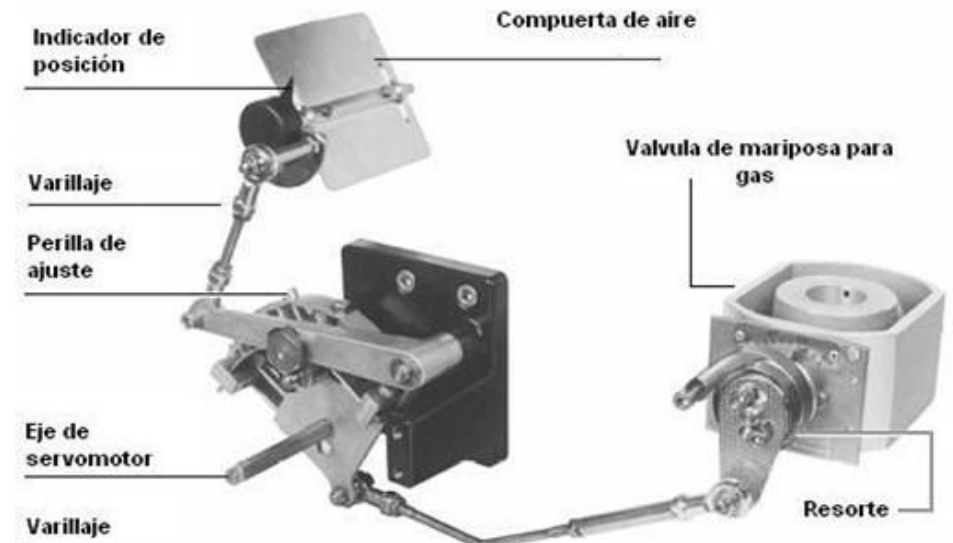
# Oportunidades de eficiencia energética

## 1. CONTROL DEL EXCESO DE AIRE

Procedimiento:

- ✓ Realizar completo mantenimiento al sistema de combustión (importante).
- ✓ Ajustar la posición de la compuerta de aire y/o la válvula de combustible (pines, levas) en base al análisis de gases, hasta lograr parámetros deseados:

PARAMETRO	COMBUSTIBLE		
	GAS	DIESEL	PET. INDUST.
O <sub>2</sub> (%)	3 max	3.5 max	4.0 max
CO <sub>2</sub> (%)	10.2 min	12.9 min	12.8 min
CO (ppm)	50 max	200 max	400 max
Opacidad (Indice acharach)	0	3 max	4 max

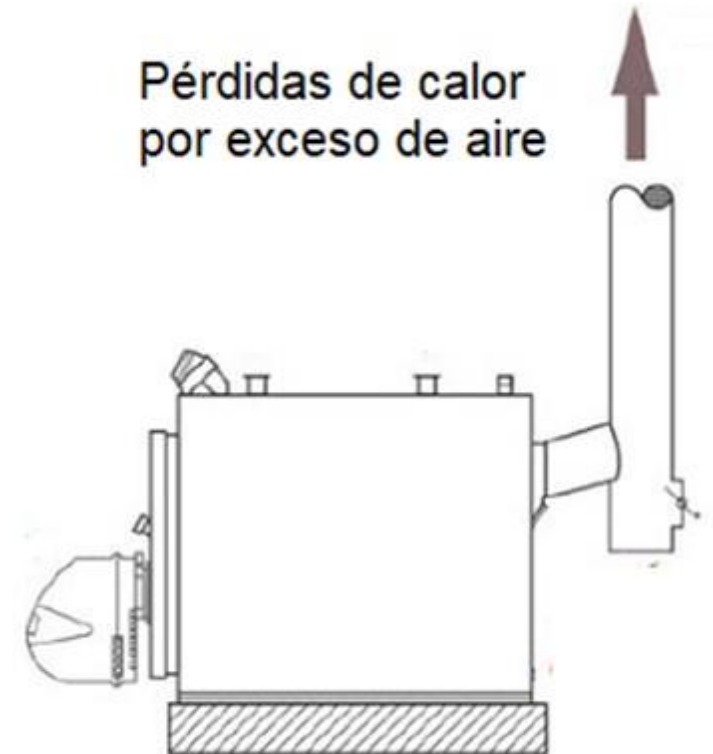


# Oportunidades de eficiencia energética

## 1. CONTROL DEL EXCESO DE AIRE

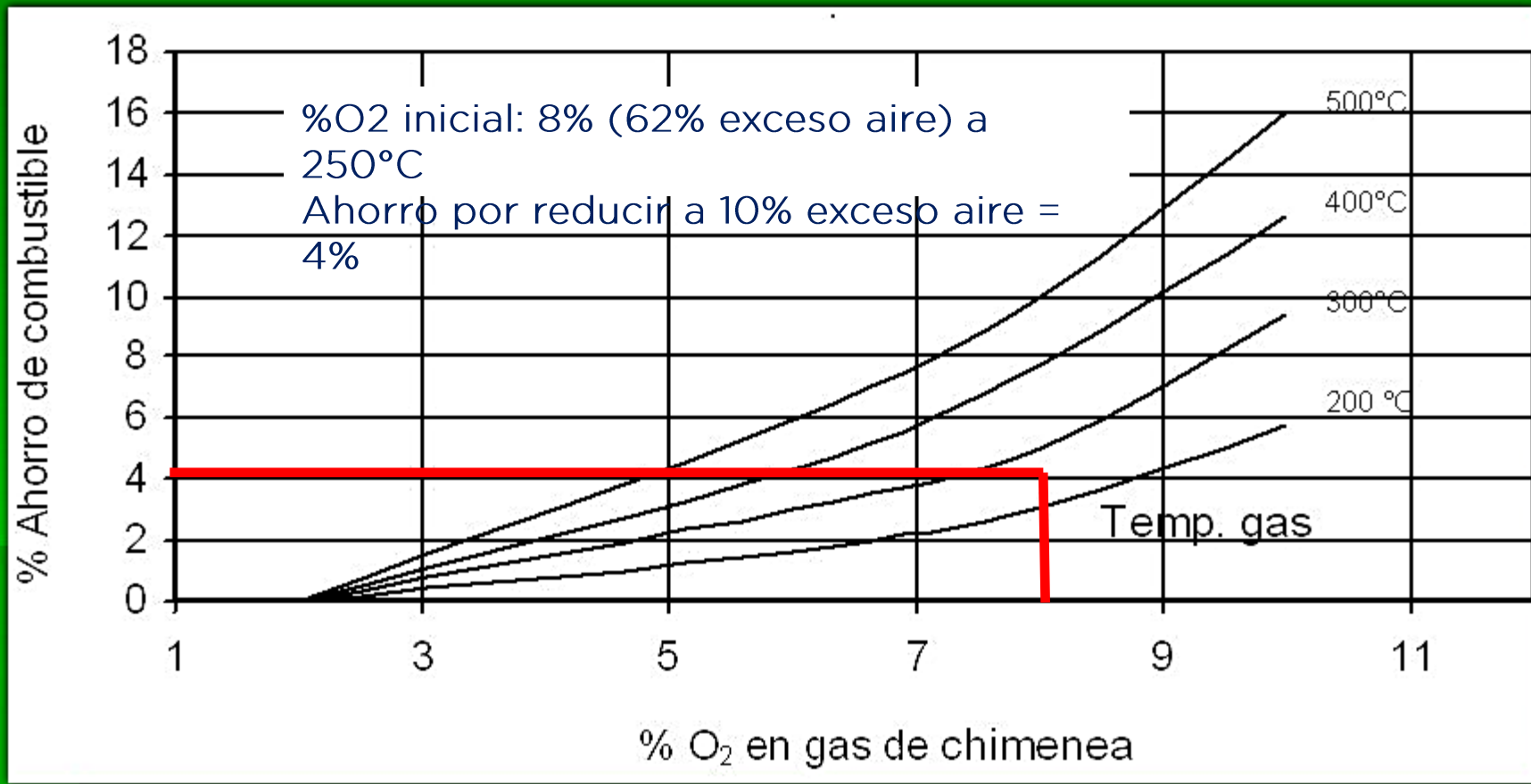
### Beneficios:

- Menores pérdidas de calor con el gas de chimenea
- Mayor transferencia de calor.
- Mayor temperatura de llama y transmisión de calor radiante.
- Reducción de las emisiones de gases contaminantes ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ).
- Mayor eficiencia de la caldera.
- Menor costo de producción.
- Se evita afectar la capacidad de entrega de vapor



# Oportunidades de eficiencia energética

## Ahorro de gas natural al reducir el exceso de aire al 10%



Fuente: Uso Racional de Energía: Manual para consultores y



# Oportunidades de eficiencia energética

## 2. CONTROL DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DEL COMBUSTIBLE

Para una adecuada mezcla con el aire, el combustible tiene que inyectarse al quemador a la presión requerida por el fabricante (ver manual).

Los combustibles pesados requieren además calentarse para bajar su viscosidad que permita mezclarse con el

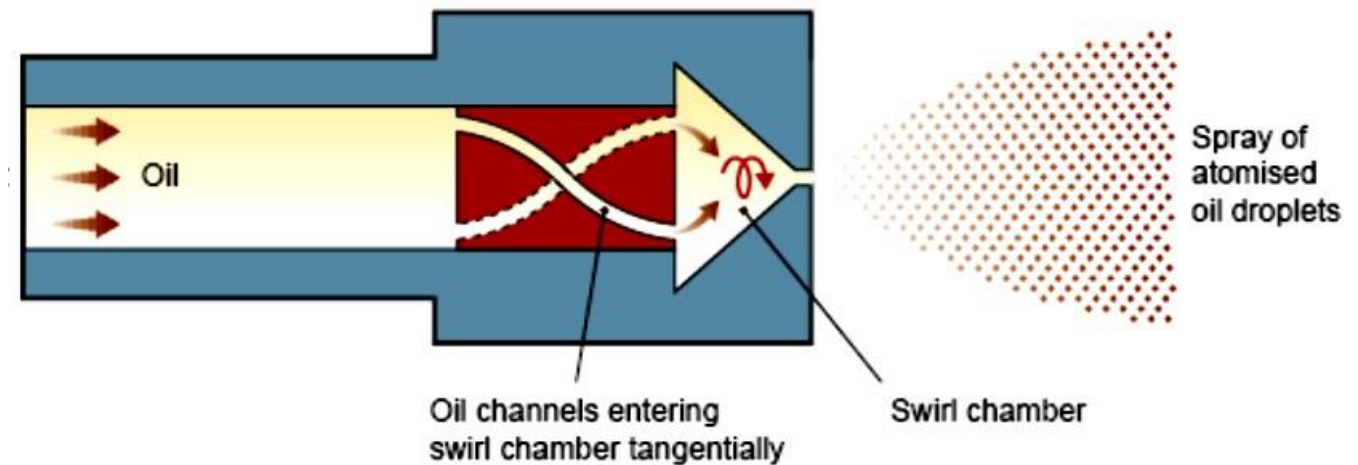
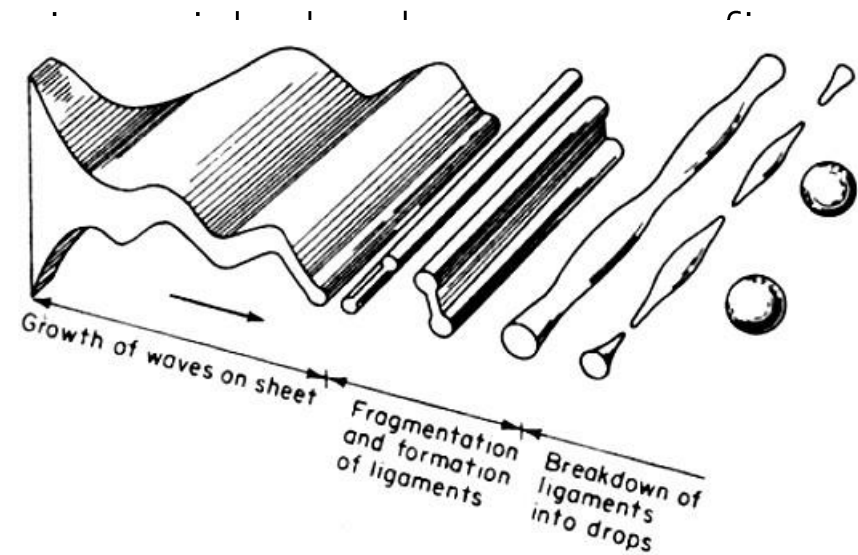


Fig. 12.1: Ruptura de una capa líquida en gotas



# Oportunidades de eficiencia energética

## 2. CONTROL DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DEL COMBUSTIBLE

### Temperatura de atomización de combustibles

Tipo Quemador	Viscosidad (cSt)	Temperatura atomización (°C)	
		Pet. Ind. 6	Pet. Ind. 500
Atomización por presión	5.7 – 21.2	100 – 120	115 – 130
Atomización por aire comp.	25.6 – 37.4	81 – 96	95 – 109
Atomización por vapor	30 – 40	81 – 89	97 – 105
Atomización copa rotativa	37.4 – 76.3	70 - 88	80 - 115



# Oportunidades de eficiencia energética

## 2. CONTROL DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DEL COMBUSTIBLE

<b>PRESIONES DEL COMBUSTIBLE Y MEDIO DE ATOMIZACION</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>CALDERA CLEAVER BROOKS</b>	<b>CALDERA DISTRAL</b>
Presión del aire o vapor de atomización (psi)	12 (llama baja) < 25 (llama alta)	12 (llama baja) 13 (llama alta)
Presión del combustible para atomización (psi)	40 – 50 (inyección) 30 – 40 (retorno)	59 (llama baja) 58 (llama alta)

*Nota : Las presiones pueden variar algo en función de la calidad del combustible.*





# Oportunidades de eficiencia energética

---

## 2. CONTROL DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DEL COMBUSTIBLE

### Procedimiento:

- ✓ Verificar presiones de inyección del combustible y aire en el manual de la caldera.
- ✓ Ajustar elemento regulador de presión de combustible.
- ✓ Ajustar termostato del calentador de combustible.
- ✓ Contar con manómetros calibrados.

### Beneficios:

- ✓ Combustión sin hollín.
- ✓ Mayor eficiencia de la caldera.
- ✓ Se evita ensuciar los tubos.



# Oportunidades de eficiencia energética

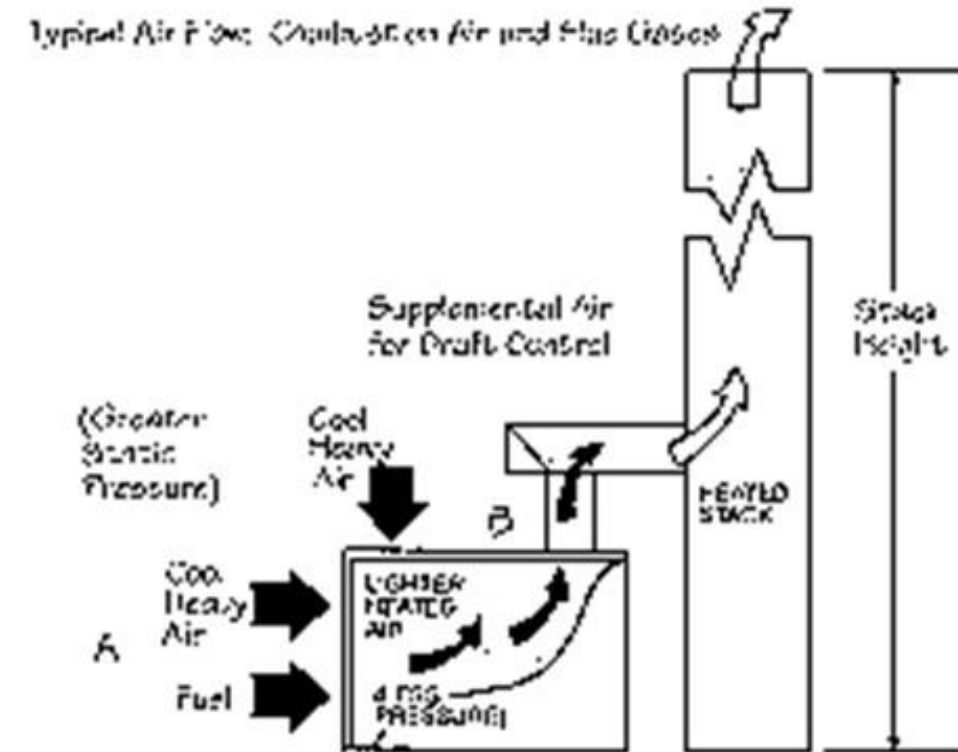
## 3. CONTROL DEL TIRO (PRESIÓN DEL HOGAR)

El tiro influye mucho en la combustión.

En las calderas pirotubulares depende básicamente de la presión del aire del ventilador, temperatura del gas y altura de la chimenea.

Un excesivo tiro ocasiona:

- Alargamiento de la llama (puede lamer la pared posterior de refractario).
- Incremento del exceso de aire.
- Deficiente combustión.

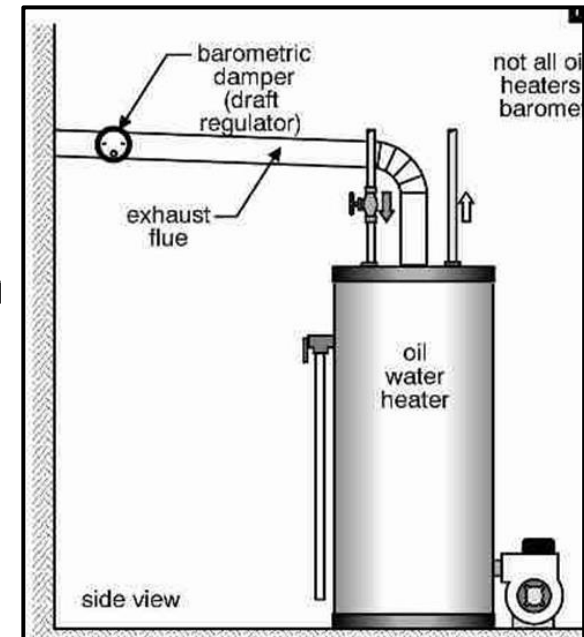


# Oportunidades de eficiencia energética

## 3. CONTROL DEL TIRO (PRESIÓN DEL HOGAR)

### Procedimiento:

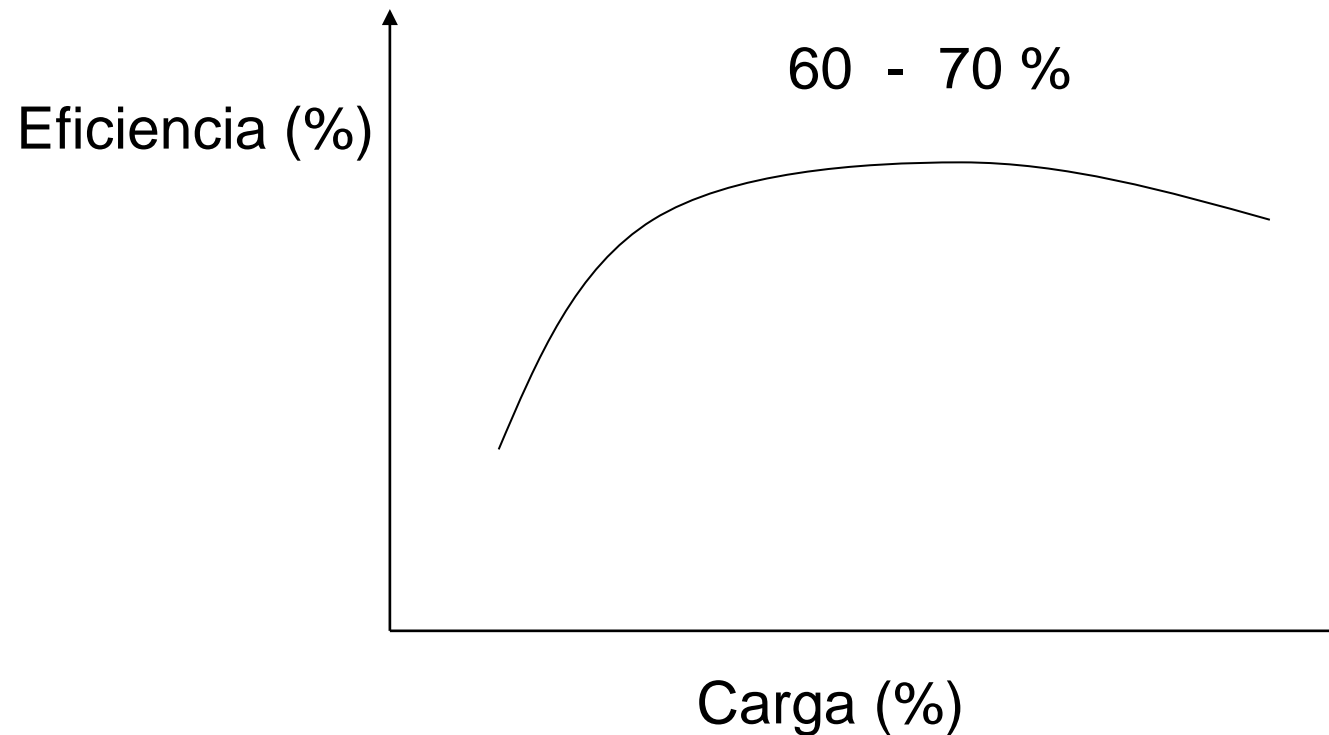
- Medir la presión estática a la salida de la caldera (chimenea). Una presión adecuada es aprox. 10 mmCA.
- Si la presión es muy alta, puede deberse a:
  - Ventilador entrega mucha presión de aire: chequear con el fabricante.
  - Chimenea muy alta: instalar damper.
- Si la presión es muy baja, puede haber suciedad en los tubos.



# Oportunidades de eficiencia energética

## 4. OPERAR LA CALDERA ENTRE 60-70% DE CARGA

Las calderas presentan una eficiencia que no es constante en todo su rango de capacidad; tienen un pico de eficiencia que está entre el 60% a 70 % de su capacidad plena.



# Oportunidades de eficiencia energética

---

## 4. OPERAR LA CALDERA ENTRE 60-70% DE CARGA

### Procedimiento:

- En calderas con carga constante posicionar el fogueo en manual, a un nivel entre 60% a 70% del fogueo máximo.
- Al seleccionar una caldera nueva, considerar que trabaje en promedio a su máxima eficiencia.
- Cuando haya calderas de diferente potencia, usarlas de acuerdo a la demanda de vapor.



# Oportunidades de eficiencia energética

## 5. REDUCIR LA PRESIÓN DE VAPOR

La reducción de la presión, a un nivel compatible con las necesidades de temperatura, implica ahorros de combustible.

Presión (psig)	Temperatura (C)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor latente (kJ/kg)
90	166	3.77	2061
100	170	4.11	2049

Ojo: una reducción excesiva de la presión puede ocasionar problemas:

- Incremento del arrastre en la caldera.
- Excesivas velocidades en las tuberías existentes.
- Mal funcionamiento de trampas y otros dispositivos.
- Menor transferencia de calor en los equipos de vapor.

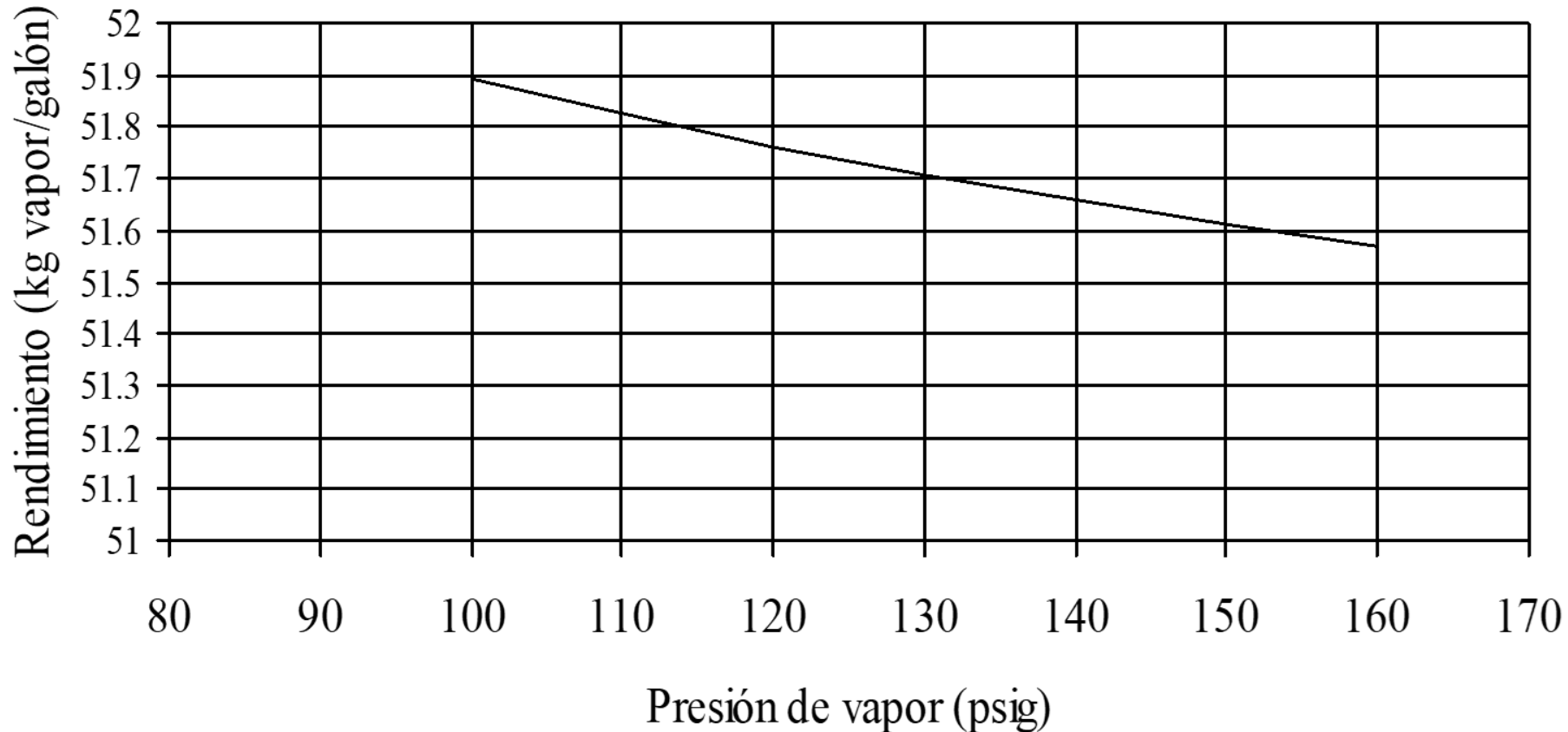




# Oportunidades de eficiencia energética

## 5. REDUCIR LA PRESIÓN DE VAPOR

EFEECTO DE LA PRESION DE VAPOR EN EL RENDIMIENTO

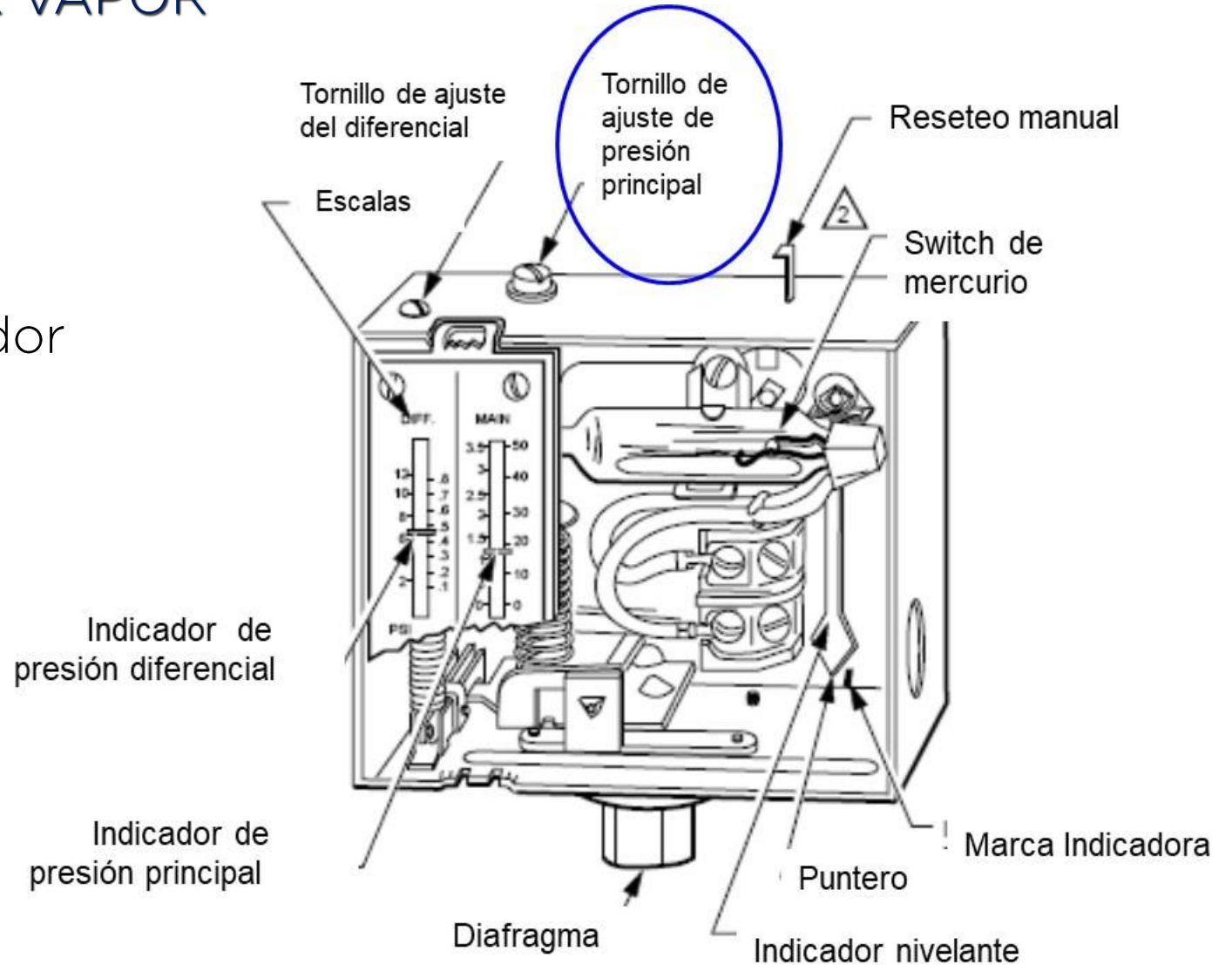


# Oportunidades de eficiencia energética

## 5. REDUCIR LA PRESIÓN DE VAPOR

### Procedimiento:

Ajustar el control del limitador de presión al nivel conveniente.



# Oportunidades de eficiencia energética

---

## 6. MANTENER EN BUEN ESTADO EL SISTEMA DE COMBUSTIÓN

Recomendaciones de mantenimiento del sistema de combustión.

### 1. Bombas

- Verificar fugas, temperatura y presión de trabajo.

### 2. Filtros

- Verificar limpieza y buen estado.

### 3. Calentador de combustible (Petroleo Industrial)

- Limpieza de tubos (eliminar borras).
- Verificación de trampa de vapor del serpentín (usar filtro).
- Chequeo del termostato y válvula reguladora de vapor de calentamiento.



# Oportunidades de eficiencia energética

---

## 6. MANTENER EN BUEN ESTADO EL SISTEMA DE COMBUSTIÓN

### 4. Válvula moduladora de combustible

- Eliminar fugas.
- Chequear fuelles, diafragmas, eje, etc.
- Chequear leva moduladora: alineación, pines, etc.

### 5. Ventilador de aire

- Limpiar la malla de entrada de aire y el rotor del ventilador.
- Engrasar rodamientos del ventilador y del motor.

### 6. Quemador

- Retirar el cañón, limpiar.
- Limpiar las toberas con solventes. Cambio cada 2 a 3 años.
- Mantener limpia la fotocelda.
- Mantener limpio y en buen estado el difusor de aire.



# Oportunidades de eficiencia energética

## 7. MEJORA O IMPLEMENTACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

INSTRUMENTO	Calderas Grandes	Calderas pequeñas
Termómetro en chimenea	X	X
Medidor de vapor	X	
Medidor de combustible	X	X
Medidor de agua de aporte	X	
Analizador de oxígeno en chimenea	X	
Registrador de tiempo de operación	X	
Termómetro en el retorno de condensado	X	X
Analizador portátil de gases y opacímetro		X

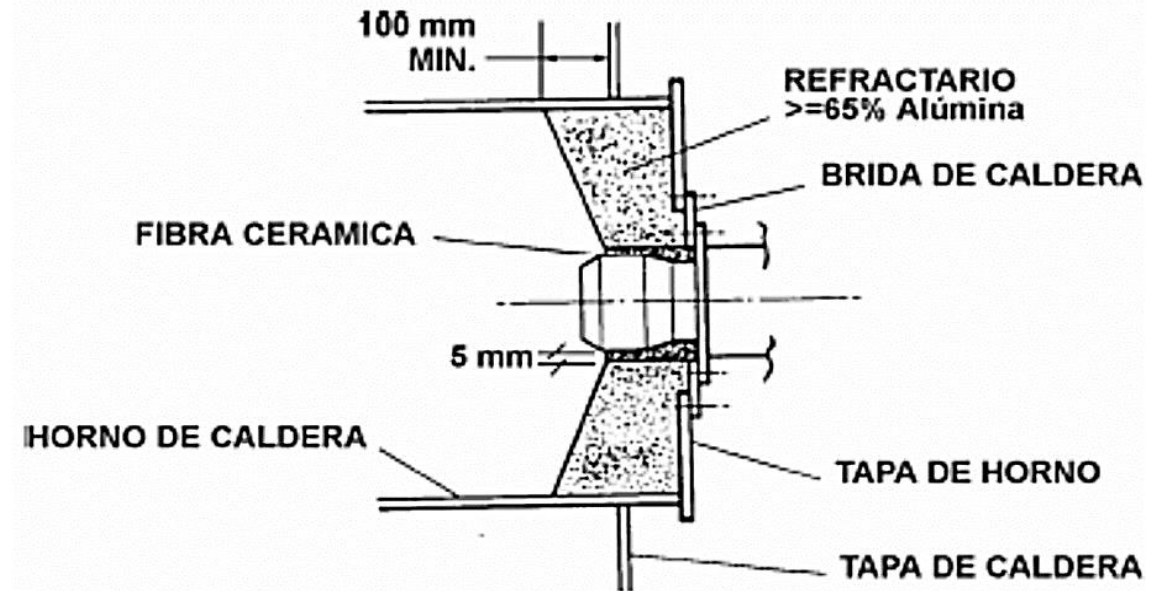


# Oportunidades de eficiencia energética

## 8. MANTENER EN BUEN ESTADO EL REFRACTARIO Y AISLAMIENTO

### 1) Refractario

- Disminuye las pérdidas térmicas, evita el recalentamiento del quemador y da forma a la llama.
- Si hay grietas o rotura, es mejor cambiar el refractario que repararlo.
- No obstruir el ingreso de aire, mantener el diámetro y ángulo original.





# Oportunidades de eficiencia energética

---

## 8. MANTENER EN BUEN ESTADO EL REFRACTARIO Y AISLAMIENTO

### 2) Aislamiento

- Limpiar la cubierta metálica.
- No deformarla (golpes, pisadas).
- Si se humedece, quitar la cubierta y dejar que seque (la humedad aumenta la conductividad y se pierde más calor).
- Restituir aislamiento cuando sea necesario.



# Oportunidades de eficiencia energética

## 9. MANTENER LIMPIOS LOS TUBOS DE LA CALDERA

En una caldera pueden formarse depósitos en 2 puntos :

### 1. Lado del agua: depósitos de sales (caliche)

- Por mal ablandamiento del agua de alimentación.
- Presencia de residuos de sales de Ca y Mg, que se depositan en los tubos por efecto del calor.



### 2. Lado de los gases: depósitos de hollín.

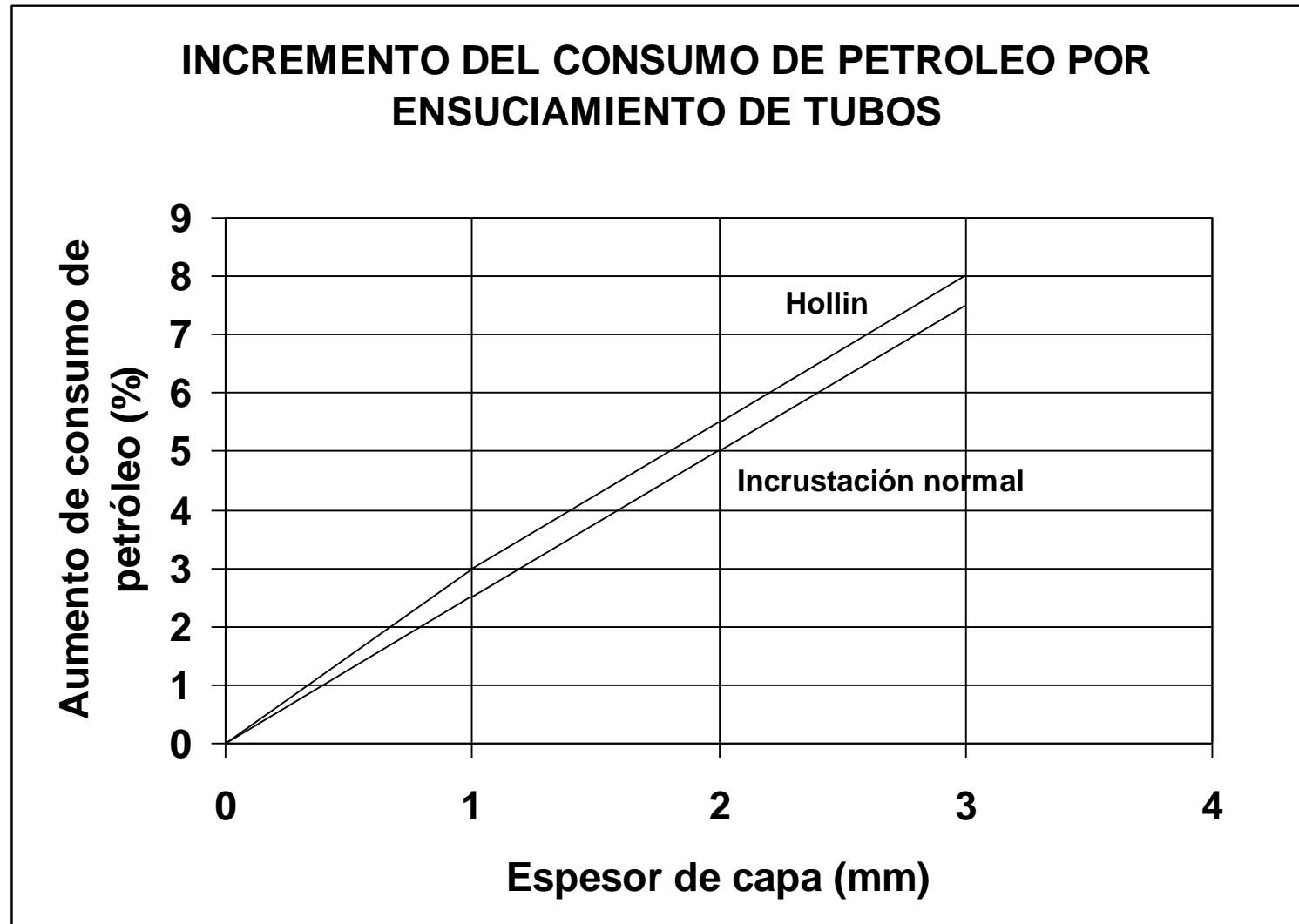
Por mala combustión (mezcla pobre aire-combustible o defecto de aire).

Formación de hollín por combustión incompleta.



# Oportunidades de eficiencia energética

## 9. MANTENER LIMPIOS LOS TUBOS DE LA CALDERA



# **Oportunidades de eficiencia energética**

**POR MEJORAS TECNOLOGICAS**

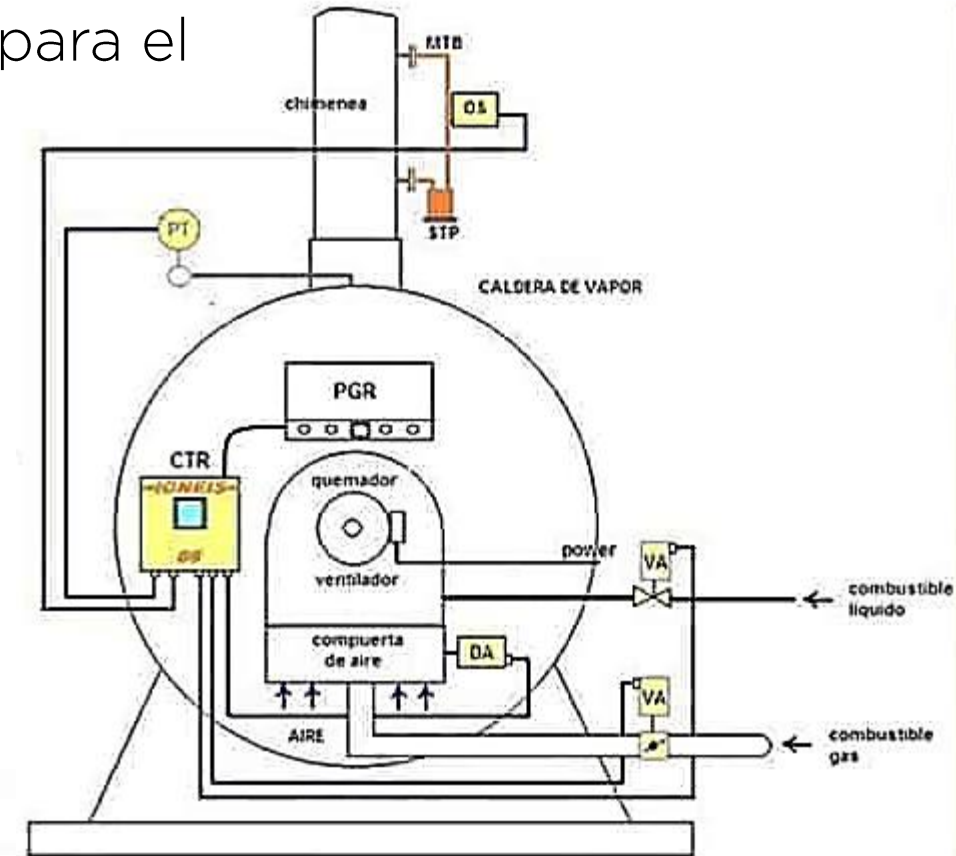
(Inversiones moderadas y altas)

# Oportunidades de eficiencia energética

## 10. INSTALAR SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE EXCESO DE AIRE

Consiste en introducir elementos a la caldera para el control automático del exceso de aire:

- Sensor de oxígeno.
- Sensor de temperatura de gases.
- Controlador electrónico.
- Actuador diferencial.



- CTR= controlador  
 OS= sensor de oxígeno  
 MTB= tubo de medición  
 STP= trampa de aceite  
 PGR= programador de caldera  
 DA= actuador de compuerta de aire, eléctrico  
 4...20 mA, ± 1%  
 VA= actuador de válvula de combustible, eléctrico,  
 4...20 mA, ± 1%



# Oportunidades de eficiencia energética

---

## 10. INSTALAR SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE EXCESO DE AIRE

- Aplicable a calderas de 300 BHP (Diesel) ó 600 BHP (Residual), 5000 h/año de operación.
- Ahorros de energía de 2% a 4%.
- Inversión requerida : US\$ 16000 a 18000 para potencias de 300 BHP a 1000 BHP



# Oportunidades de eficiencia energética

## 11. INSTALAR CONTROL AUTOMÁTICO DE PURGA

Una purga efectuada manualmente puede resultar en:

### 1. Purga demasiado excesiva.

Implica extraer demasiada agua caliente de la caldera: desperdicio de energía, agua y productos químicos.

### 2. Purga insuficiente.

Los STD se incrementan y se producen incrustaciones.

### El control automático:

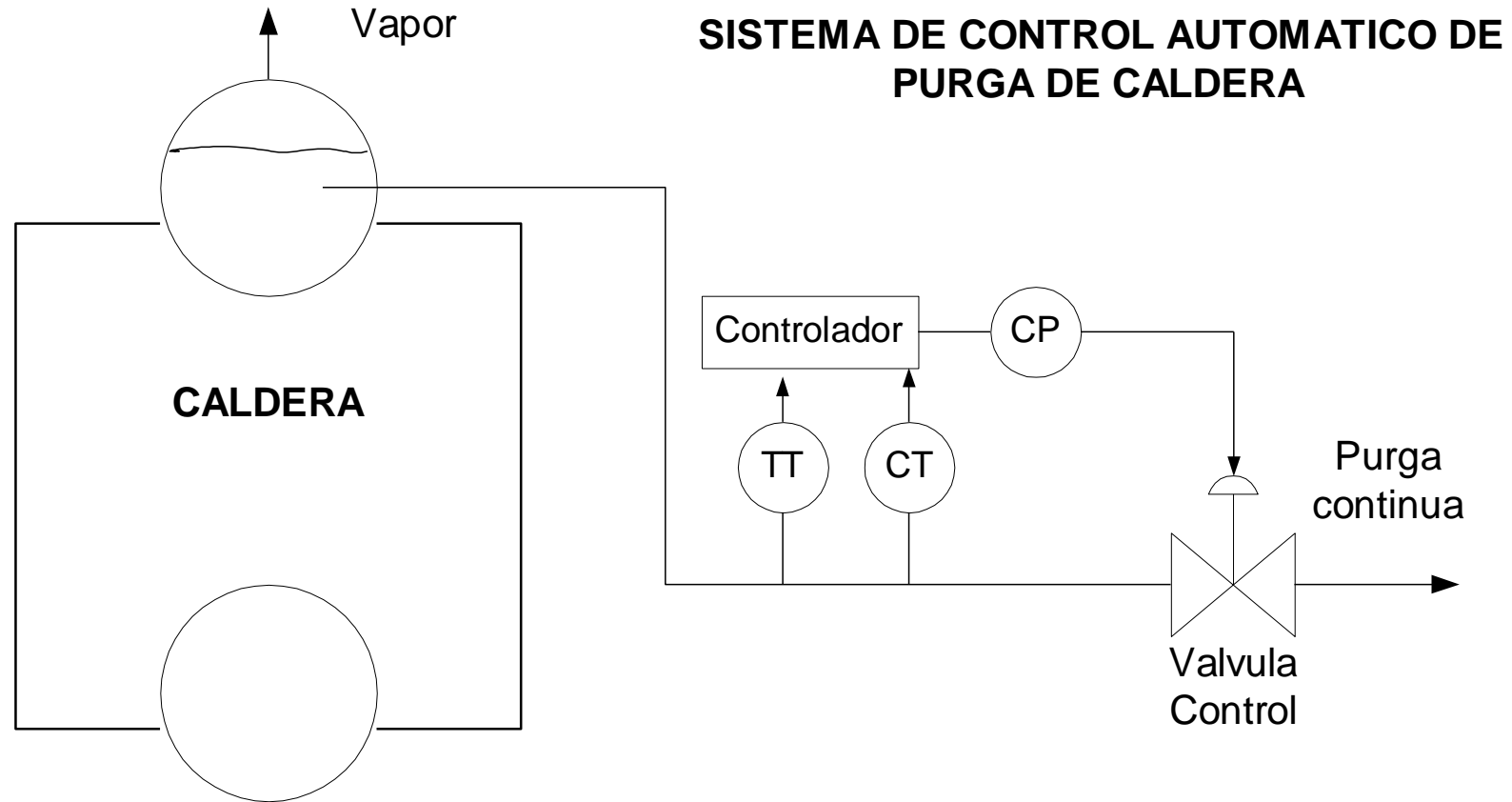
Permite purgar la cantidad de agua justa y necesaria, ahorrando agua y energía.





# Oportunidades de eficiencia energética

## 11. INSTALAR CONTROL AUTOMÁTICO DE PURGA



TT : Sensor / transmisor de temperatura  
 CT : Sensor / transmisor de conductividad  
 CP : Convertidor / posicionador de válvula



# Oportunidades de eficiencia energética

---

## 11. INSTALAR CONTROL AUTOMÁTICO DE PURGA

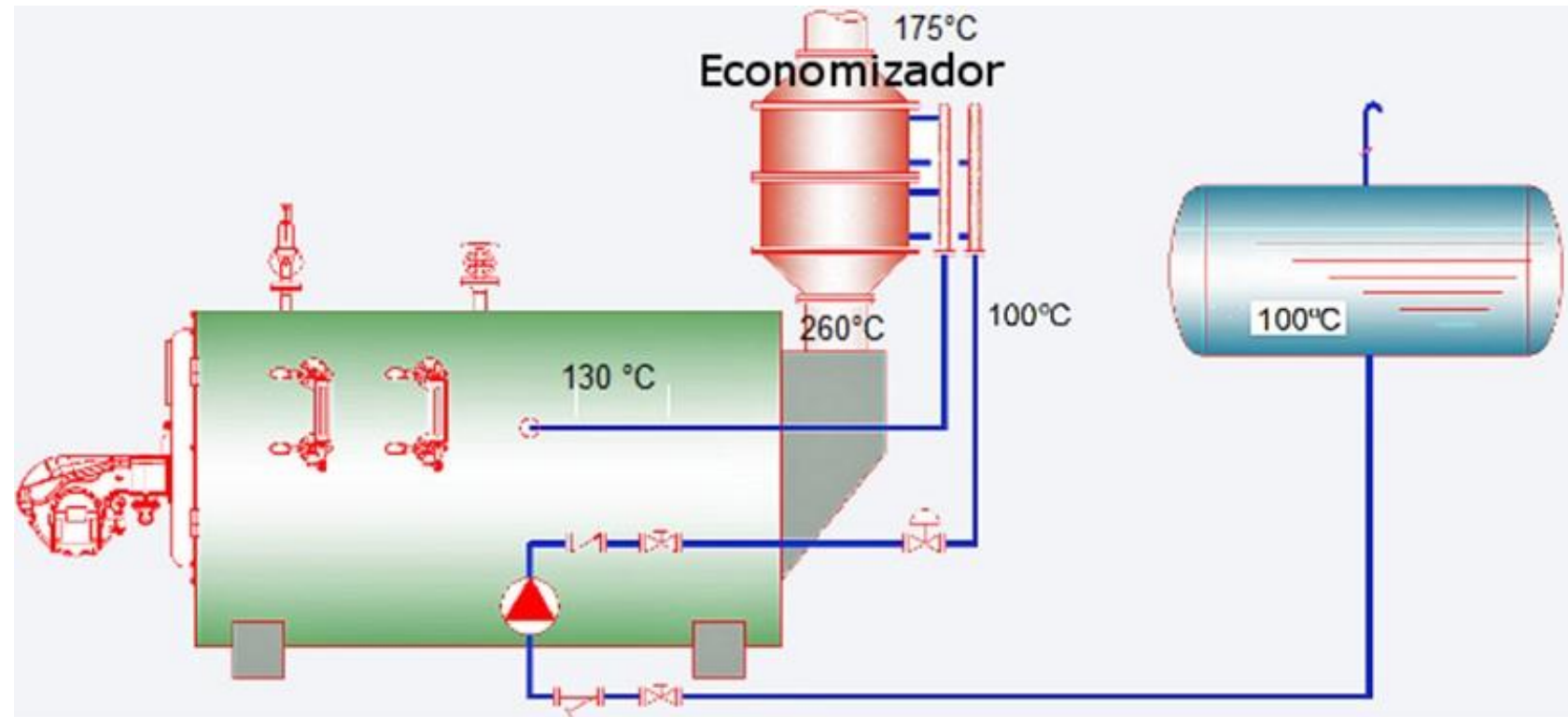
- Se justifica en calderas de 100 BHP (Diesel) ó 300 BHP (Residual), con 5000 h/año de operación.
- Ahorro : 0.5% a 2%.
- Inversión : US\$ 8000 - 10000



# Oportunidades de eficiencia energética

## 12. INSTALAR ECONOMIZADOR

Un economizador es un intercambiador de calor donde el agua de alimentación a caldera se calienta a expensas del gas de chimenea.



# Oportunidades de eficiencia energética

## 12. INSTALAR ECONOMIZADOR

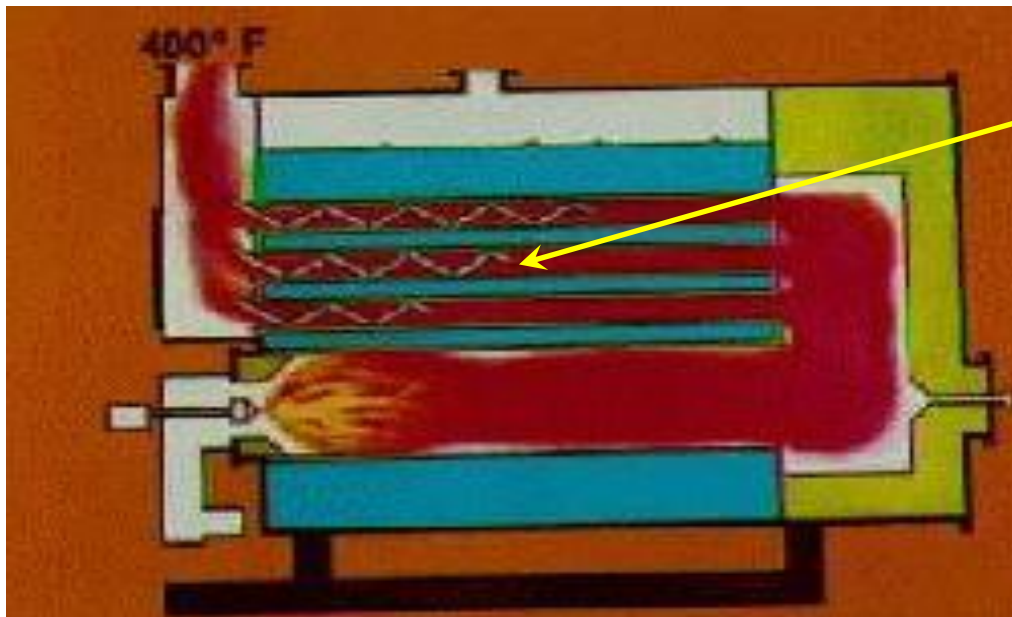
- Se justifica en calderas de 300 BHP (Diesel) ó 700 BHP (Residual), con 5000 h/año de operación.
- Se logra ahorros de energía de hasta 3%.



# Oportunidades de eficiencia energética

## 13. INSTALAR TORBELLINADORES

- Son dispositivos que se instalan en los últimos pasos de las calderas pirotubulares para aumentar la turbulencia.
- Reducen la temperaturas del gas de chimenea e incrementan la eficiencia.



**Torbellinadores**



# CASOS PRACTICOS DE EFICIENCIA EN CALDERAS

# CASO 1 : CALDERA DE UNA PLANTA DE PILAS

---

## DATOS DE LA CALDERA :

- Caldera pirotubular de 3 pasos, 80 BHP
- Combustible : Diesel
- Quemador modular de 2 fuegos
- Control de exceso de aire mediante sistema mecánico en paralelo





# CASO 1 : CALDERA DE UNA PLANTA DE PILAS

---

## SITUACION ACTUAL :

- Boquilla de quemador gastada.
- Excesivo hollinamiento.
- Alto exceso de aire.
- Elevada temperatura del gas de chimenea.
- Filtro sin mantenimiento.
- No se tiene termómetro de gas.
- No se tiene manómetro de combustible.
- Tratamiento de agua adecuado.



# CASO 1 : CALDERA DE UNA PLANTA DE PILAS

## RESULTADOS DE MEDICIONES

<b>PARAMETRO</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>VALOR RECOM.</b>
<b>O2 (%)</b>	<b>5.1</b>	<b>3.5</b>
<b>CO (ppm)</b>	<b>110</b>	<b>100 max</b>
<b>Temperat. gas (°C)</b>	<b>286</b>	<b>220 max</b>
<b>Opacidad gas (IB)</b>	<b>9</b>	<b>2 – 3</b>
<b>Exceso de aire (%)</b>	<b>32</b>	<b>20</b>
<b>EFICIENCIA (%)</b>	<b>76.6</b>	<b>83</b>



# CASO 1 : CALDERA INEFICIENTE

---

## MEJORAS IMPLEMENTADAS :

- Cambio de boquilla del quemador.
- Limpieza de tubos del lado de gases.
- Limpieza de filtro.
- Instalación de termómetro y manómetro.
- Mantenimiento general.
- Ajuste del exceso de aire mediante analizador de gases.



# CASO 1 : CALDERA INEFICIENTE

## RESULTADOS FINALES

PARAMETRO	RESULTADOS	VALOR RECOM.
O <sub>2</sub> (%)	3.5	3.5
CO (ppm)	12	100 max
Temperatura gas (°C)	219.5	220 max
Opacidad gas (IB)	4	2 - 3
Exceso de aire (%)	20	20
EFICIENCIA (%)	82.8	83



# CASO 1 : CALDERA INEFICIENTE

---

## BENEFICIOS FINALES :

- Incremento de la eficiencia de la caldera.
- Mayor vida de la máquina.
- Reducción del consumo de combustible.
- Reducción de las emisiones.
- Reducción del costo del vapor.
- Ahorros para la empresa.

Ahorro =  $(1 - 76.6 / 82.8) \times 100 = 7.5 \%$

Ahorro = 5860 US\$/año

Inversión = US\$ 800 (Pay Back = 1.6 meses)



# CASO 2 : CALDERAS DISMINUIDAS

## SITUACIÓN ACTUAL:

- 04 Calderas pirotubulares que queman gas natural (25 a 30 años).
- Hace 10 años fueron convertidas, previamente quemaban Petroleo Industrial.
- Según análisis de gases el exceso de aire dentro de lo normal.
- Las temperaturas de gases se encontraron bajas en todas las llamas.
- Hay momentos que “falta vapor” en la planta. Cuando quemaban PI no pasaba

Caldera	Temperatura de gases (°C)		
	Llama baja	Llama media	Llama alta
1250 BHP	126	177	189
1250 BHP	161	173	188
800 BHP	174	183	190
1200 BHP	151	171	184

Temp. Normal (aprox.)

190 °C

200°C

210°C



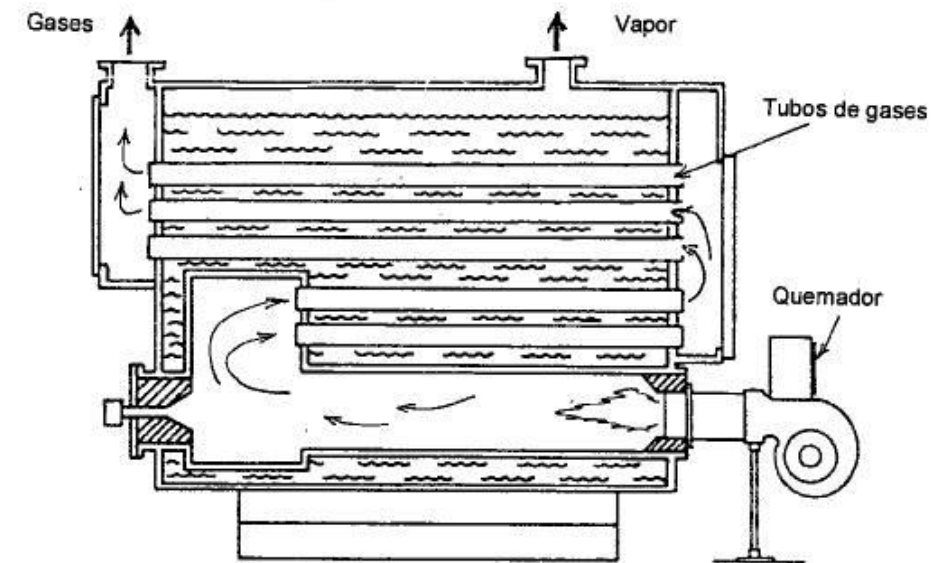
# CASO 2 : CALDERAS DISMINUIDAS

## ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN:

- Las calderas son las mismas, su área de transmisión de calor (tubos, flue) no han cambiado.
- En la conversión se subdimensionó el quemador de gas (kit de conversión).
- Se aporta menos kcal/h en la combustión, siendo el área de transmisión la misma.
- Consecuencia: se enfrían en demasía los gases y la caldera no se recibe el calor necesario para generar vapor: “falta vapor”.

## POSIBLE SOLUCIÓN:

- Ajuste de quemadores?
- Cambio de quemadores?
- Cambio de calderas?





**Muchas gracias.**

**Unidad de Gestión del  
Proyecto**



Zonas Industriales Sostenibles