

Eficiencia en calderas y combustión



Dirección de Enlace y Programas Regionales
Apoyo al Sector Privado

Contenido

1	Introducción	4
2	Métodos para calcular la eficiencia de calderas	5
2.1	Método directo.....	5
2.2	Método indirecto	5
3	Conceptos importantes	6
3.1	Calor que sale (exportado) con el vapor	6
3.2	Calor suministrado por el combustible	6
3.3	Poder calorífico	6
3.3.1	Poder calorífico bruto (PCB).....	6
3.3.2	El poder calorífico neto (PCN).....	6
4	El proceso de combustión	7
4.1	Reacción básica	7
4.2	Protección al ambiente.....	8
4.3	Tecnología	8
5	Pérdidas de calor	9
5.1	Pérdidas de calor en gases de combustión	9
5.2	Pérdidas por radiación	9
5.3	Pérdidas en purgas	10
6	Quemadores	11
6.1	Rango del quemador.....	11
6.2	Quemadores de combustóleo	11
6.3	Quemadores a presión tipo “Jet”	11
6.3.1	Ventajas de los quemadores tipo jet:	12
6.3.2	Desventajas de los quemadores tipo jet:	13
6.4	Quemador de copa rotativa.....	13
6.4.1	Ventajas de los quemadores de copa rotativa	13
6.4.2	Desventajas de los quemadores de copa rotativa.....	14
6.5	Quemadores para gas	14
6.5.1	Quemadores a baja presión.....	14
6.5.2	Quemadores de alta presión	14
6.6	Quemadores tipo dual	15
6.7	Relación del rango de carga (Rango de carga alto/Rango de carga bajo) para diferentes tipos de quemadores	16
7	Sistemas de control para quemadores	17

7.1	Sistema encendido - apagado (On/off)	17
7.1.1	Ventajas del sistema de control encendido – apagado	17
7.1.2	Desventajas del sistema de control encendido – apagado	17
7.2	Sistema de control, fuego alto y bajo	17
7.2.1	Ventajas de los sistemas de control, fuego alto y bajo	18
7.2.2	Desventajas de los sistemas de control, fuego alto y bajo	18
7.3	Sistema de control modulante	18
7.3.1	Ventajas de los sistemas de control modulantes.....	18
7.3.2	Desventajas de los sistemas de control modulantes	18
8	Seguridad	19
9	Equivalencias	20
9.1	Energía.....	20
10	Bibliografía	21

1 Introducción

El objetivo de las calderas de vapor es la transformación del agua, a temperatura y presión ambiente, en vapor de agua a una presión y temperatura mayor, partiendo de la energía del combustible utilizado.

Su potencia o tamaño abarca un espectro muy amplio: desde las calderas de poca potencia utilizadas en la pequeña empresa, hasta las utilizadas por las grandes plantas generadoras de energía eléctrica. En esta guía, haremos referencia a las calderas de vapor industriales, de tamaño pequeño o mediano (hasta 800 CC), dejando aparte las calderas de vapor grandes.

Las calderas forman parte de los equipos más utilizados por la industria y, junto con los hornos industriales, son los responsables del mayor porcentaje de consumo de combustibles en este sector; por lo tanto, el mantenerlas trabajando con una buena eficiencia reditúa beneficios importantes para las empresas.

2 Métodos para calcular la eficiencia de calderas

Existen dos métodos para calcular su eficiencia, el “método directo” y el “método indirecto o de pérdidas”.

2.1 Método directo

En el método directo, la eficiencia de una caldera se define como la relación entre la energía aprovechada en la transformación del agua en vapor, y la energía suministrada por el combustible. Se expresa normalmente en forma de porcentaje:

$$\text{Eficiencia de la caldera} = \frac{\text{Calor que sale con el vapor producido}}{\text{Calor suministrado por el combustible}} \times 100$$

2.2 Método indirecto

En el método indirecto o de pérdidas, la eficiencia se calcula restándole a 100 el valor de las pérdidas de calor; también se expresa como un porcentaje:

$$\text{Eficiencia de la caldera} = (100 - \text{pérdidas}) \%$$

Dentro de las pérdidas se consideran:

- Pérdidas de calor sensible en gases de combustión
- Pérdidas por combustible no quemado
- Pérdidas por radiación
- Pérdidas de calor en purgas y otros

El calor que sale con el vapor producido y el calor suministrado por el combustible se verán más detalladamente en los párrafos siguientes.

3 Conceptos importantes

3.1 Calor que sale (exportado) con el vapor

Este valor se calcula mediante el uso de las “Tablas de vapor”; para esto se necesita conocer:

- La temperatura del agua de alimentación
- La presión a la cual se está produciendo el vapor
- El flujo de vapor

3.2 Calor suministrado por el combustible

Se calcula en base a la cantidad de combustible suministrado (m) y su poder calorífico (PC)

$$Q_{\text{suministrado}} = m \times PC$$

3.3 Poder calorífico

Este valor puede expresarse como poder calorífico “bruto” o “neto”.

3.3.1 *Poder calorífico bruto (PCB)*

Es la cantidad total de energía contenida en el combustible. Sin embargo, la mayoría de los combustibles contienen hidrógeno, que durante el proceso de combustión se mezcla con el oxígeno del aire para formar agua, la cual pasa a la chimenea en forma de vapor.

3.3.2 *El poder calorífico neto (PCN)*

Es la cantidad de calor que se produce en la combustión, con exclusión del calor no recuperable. Equivale al calor del proceso de combustión que se aprovecha en la práctica. Para el carbón (sólidos) y los combustibles líquidos es un 5% menor que el PCB, para las diversas modalidades de gas natural y procesados es del 10%, mientras que en la electricidad no hay diferencia alguna entre el PCB y PCN.

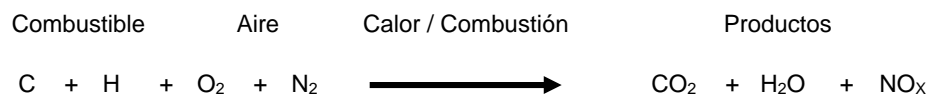
TIPO DE COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO NETO
Carbón térmico	19,405 MJ/t
Gasolinas y naftas	4,872 MJ/bl
Coque de petróleo	30,675 MJ/t
Gas licuado	3,765 MJ/bl
Diésel	5,426 MJ/bl
Combustóleo	6,019 MJ/bl
Gas natural	33,913 kJ/m ³
Bagazo de caña	7,055 MJ/t

Fuente: **SENER.- Balance Nacional de Energía 2005**

4 El proceso de combustión

4.1 Reacción básica

Durante el proceso de la combustión se producen muchas transformaciones y reacciones químicas, dependiendo de la composición del tipo de combustible utilizado y de las condiciones en que se realice la combustión. Básicamente, cuando se quema un hidrocarburo, el hidrógeno contenido en éste se combina con el oxígeno del aire para producir agua, el carbón se combinará con el oxígeno del aire para formar bióxido de carbono y, además, se liberará energía en forma de calor.



En donde:

C = Carbón

H = Hidrógeno

O = Oxígeno

N = Nitrógeno

Para obtener una buena eficiencia de la caldera es necesario controlar, con bastante precisión, la cantidad de aire que se suministra al proceso de combustión:

- Demasiado aire reducirá la temperatura del hogar y arrastrará una buena parte del calor útil.
- Poco aire producirá una combustión incompleta, se escapará por la chimenea mucho combustible sin quemar y se producirá humo.

Sin embargo, en la práctica, existe un buen número de obstáculos para obtener una combustión completa (estequiométrica):

- Las condiciones en que opera el quemador no son perfectas y es imposible asegurar la mezcla de las moléculas de carbón, hidrógeno y oxígeno.
- Algunas de las moléculas de oxígeno se combinarán con moléculas de nitrógeno para formar óxidos de nitrógeno (NO_x).

Para asegurar una combustión completa, se necesita suministrar una cantidad extra de aire o "exceso de aire". Esto tiene su efecto sobre la eficiencia de la caldera.

En la mayoría de las instalaciones con calderas pequeñas, el control de la relación aire/combustible se lleva a cabo mediante una serie de levas y varillas que deben de calibrarse para obtener la cantidad de aire necesaria para un régimen de carga determinado.

Como son elementos mecánicos, sufrirán desajustes y desgaste, por lo que deben ser recalibrados y darles mantenimiento periódicamente.

En instalaciones con calderas más grandes y modernas, los sistemas de control cuentan con sensores (electrónicos) de oxígeno en los gases de combustión para regular el suministro de aire.

El control preciso de la combustión se ve afectado adversamente por las entradas de aire (infiltración) en la cámara de combustión.

4.2 Protección al ambiente

Los países firmantes del Protocolo de Kyoto, acordaron tomar acciones individualmente para:

- Reducir la emisión de gases nocivos a la atmósfera. No obstante que el dióxido de carbono (CO₂) es el menos potente de los gases considerados por el acuerdo, es por mucho el más común y equivale al 80% del total de las emisiones que deben ser reducidas.
- Disminuir la cantidad anual de combustible utilizado. Esto se podrá lograr mediante el uso de fuentes alternas de energía, no contaminantes, o usando los mismos combustibles pero más eficientemente.

4.3 Tecnología

Las leyes de protección al medio ambiente, la búsqueda de equipos más económicos y de operación más eficiente por parte de los usuarios, así como los dispositivos de control electrónicos más precisos, han derivado en un mejor diseño y operación de las cámaras de combustión de las calderas y sus quemadores.

Las calderas modernas, equipadas con mejores quemadores, pueden tener:

- Recirculación de gases de combustión para asegurar que ésta alcance su nivel óptimo y con la mínima cantidad de exceso de aire.
- Controles electrónicos sofisticados, que pueden monitorear los componentes de los gases de combustión y realizar los ajustes en los flujos de combustible y aire, para mantener las condiciones de operación dentro de los parámetros especificados.
- Capacidad de mantener la eficiencia y los parámetros de emisión sobre un rango amplio de operación.

5 Pérdidas de calor

Además de los problemas que se tienen en el quemador, el hogar y los derivados de la relación aire/combustible para obtener una combustión completa y eficiente, existen otras fuentes de pérdidas de calor y eficiencia. La evaluación de éstas se utiliza para determinar la eficiencia de la caldera en el método indirecto o de pérdidas.

5.1 Pérdidas de calor en gases de combustión

Ésta es probablemente la fuente de pérdida de calor más importante y, por lo mismo, los ingenieros de la empresa deben reducirla al máximo posible.

Las pérdidas se producen debido a la temperatura y volumen de los gases que salen por la chimenea: a mayor temperatura de los gases, menor es la eficiencia de la caldera.

Los gases pueden estar demasiado calientes por una de dos razones:

1. El quemador esta produciendo más calor que el que se requiere para la carga específica de la caldera.
 - Esto indica que el quemador(es) y el mecanismo de la compuerta de aire requieren mantenimiento y recalibración.
2. Las superficies de calefacción de la caldera no están funcionando correctamente y el calor no se está transfiriendo al agua.
 - Esto significa que las superficies de calefacción están sucias o con incrustaciones y necesitan limpieza.

Se debe tener cuidado al reducir la temperatura de los gases de combustión, ya que demasiado enfriamiento puede reducir la temperatura de los gases por abajo del "punto de rocío", lo que aumenta la posibilidad de corrosión por la formación de:

- Ácido nítrico (del nitrógeno del aire utilizado para la combustión).
- Ácido sulfúrico (si el combustible contiene azufre)
- Agua

5.2 Pérdidas por radiación

Debido a que la caldera (su envolvente) está más caliente que el medio ambiente donde se encuentra, una parte de su calor se transfiere a su alrededor. Un aislamiento dañado o mal instalado aumentará considerablemente el potencial de pérdida de calor por radiación.

Una caldera, de tubos de humo o de agua, de 5 MW, razonablemente bien aislada, tendrá una pérdida por radiación de 0.3 a 0.5 % de su energía.

En las calderas de menor potencia, el porcentaje de pérdida por radiación puede variar desde 1.3% para una caldera de 600 CC hasta 3.0% para una caldera de 50 CC.

Quizá no parezca una cantidad considerable, pero estos porcentajes corresponden a plena carga y esta pérdida permanecerá constante, incluso si la caldera no está enviando vapor a proceso y se mantiene simplemente en “stand by”.

Lo anterior también indica que, para operar más eficientemente, la caldera debe trabajar cerca de su máxima capacidad; a su vez, esto requiere una buena coordinación entre la casa de máquinas y el departamento de producción.

5.3 Pérdidas en purgas

El objetivo de esta operación es la extracción de sólidos disueltos y en suspensión dentro de la caldera, ya que al vaporizarse el agua, la concentración de sólidos aumenta en el agua que queda, lo cual conduce a problemas de incrustación importantes ya que, entre otros efectos negativos, reducen significativamente la tasa de transferencia de calor del combustible al agua, reduciendo con ello la eficiencia de la caldera.

La purga se realiza extrayendo agua de la parte inferior de la caldera, donde se encuentran más concentrados los sólidos disueltos y en suspensión e introduciendo agua de alimentación con una concentración muy baja.

Hay que buscar el nivel adecuado de purga que se le debe dar a la caldera, una purga insuficiente no impide la formación de fangos, incrustaciones y arrastres mientras que una purga excesiva producirá pérdidas de calor elevadas.

**Eficiencia típica de calderas tipo paquete
con base en el poder calorífico superior**

	Capacidad kW	Eficiencia η (%)	Combustible
Calderas tubos de humo	100-200	76	Gas natural o L. P.
	100-200	80	Combustóleo, gasóleo, diésel.
	200-8 000	76	Gas natural o L. P.
	200-8 000	80	Combustóleo, gasóleo, diésel.
Calderas tubos de agua	100-200	74	Gas natural o L. P.
	100-200	78	Combustóleo, gasóleo, diésel.
	200-8 000	76	Gas natural o L. P.
	200-8 000	80	Combustóleo, gasóleo, diésel.

Fuente: Conae

6 Quemadores

Los quemadores son los dispositivos responsables de:

- Mezclar adecuadamente el combustible y el aire en las proporciones correctas, para obtener una combustión completa.
- Determinar la forma y dirección de la flama.

6.1 Rango del quemador

Una característica muy importante de los quemadores es su rango de operación. Esto se expresa como la relación entre su máxima capacidad (para quemar combustible), dividida entre su mínima capacidad controlable.

El rango de operación no es simplemente el hecho de forzar diferentes cantidades de combustible dentro del hogar de la caldera, sino que es muy importante desde una perspectiva económica y ambiental que el quemador realice una combustión adecuada y eficiente, además de cumplir las regulaciones ambientales dentro de todo su rango de operación.

6.2 Quemadores de combustóleo

Para quemar eficientemente el combustóleo, se requiere una relación muy alta entre la superficie de la partícula de combustible y su volumen; dicho de otro modo, se requiere de un alto grado de atomización del combustible. Por experiencia se sabe que el mejor tamaño de partícula está entre los 20 μm y los 40 μm .

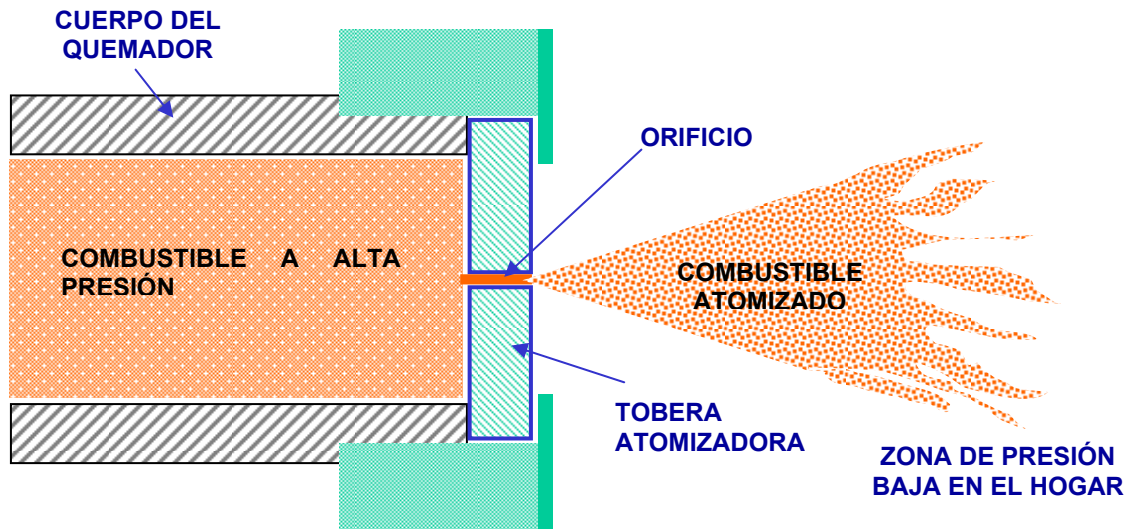
- Las partículas mayores de 40 μm tienden a ser transportadas a través de la flama sin completar el proceso de combustión.
- Las partículas menores a los 20 μm pueden viajar tan rápido que pasan a través de la flama sin quemarse.

Un aspecto muy importante para la combustión de los combustibles pesados, como el combustóleo, es la viscosidad. Ésta varía con la temperatura: a mayor temperatura del combustible, mayor facilidad para fluir. Los usuarios saben que estos combustibles deben ser calentados para que fluyan más fácilmente. Lo que no es tan obvio es que una variación en la temperatura, y por lo tanto en la viscosidad, tiene un efecto sobre el tamaño de la partícula de combustible que se produce en la tobera del quemador. Por esta razón, es indispensable controlar con bastante precisión la temperatura para obtener las condiciones requeridas en la tobera.

6.3 Quemadores a presión tipo "Jet"

Estos quemadores contienen simplemente un orificio calibrado en un extremo de un tubo a presión. Típicamente la presión del combustible está en el rango de 7 a 15 bar.

En este rango de operación, la caída de presión que se crea en el orificio cuando el combustible es descargado en el hogar, produce su atomización. Así también, cuando se pone el dedo pulgar al extremo de una manguera de jardín se crea el mismo efecto.



QUEMADOR A PRESIÓN TIPO “JET”

Con la variación de presión del combustible inmediatamente antes del orificio (tobera), se controla el flujo del combustible del quemador.

La relación entre la presión (P) y el flujo (F) presenta un comportamiento cuadrático:

$$\sqrt{P} \propto F \quad \text{ó} \quad P \propto F^2$$

Por ejemplo si:

$$\begin{aligned} F_2 &= 0.5F_1 \\ P_2 &= (0.5)^2P_1 \\ P_2 &= 0.25P_1 \end{aligned}$$

Si el flujo de combustible se reduce en un 50%, la energía requerida para atomización se reduce a 25%.

Esto significa que el rango de operación disponible está limitado en una relación de 2:1 para una tobera determinada. Para ampliar el rango de operación, los quemadores tipo jet se suministran con varios tamaños de toberas (orificios) intercambiables para ajustarse a diferentes cargas de las calderas.

6.3.1 Ventajas de los quemadores tipo jet:

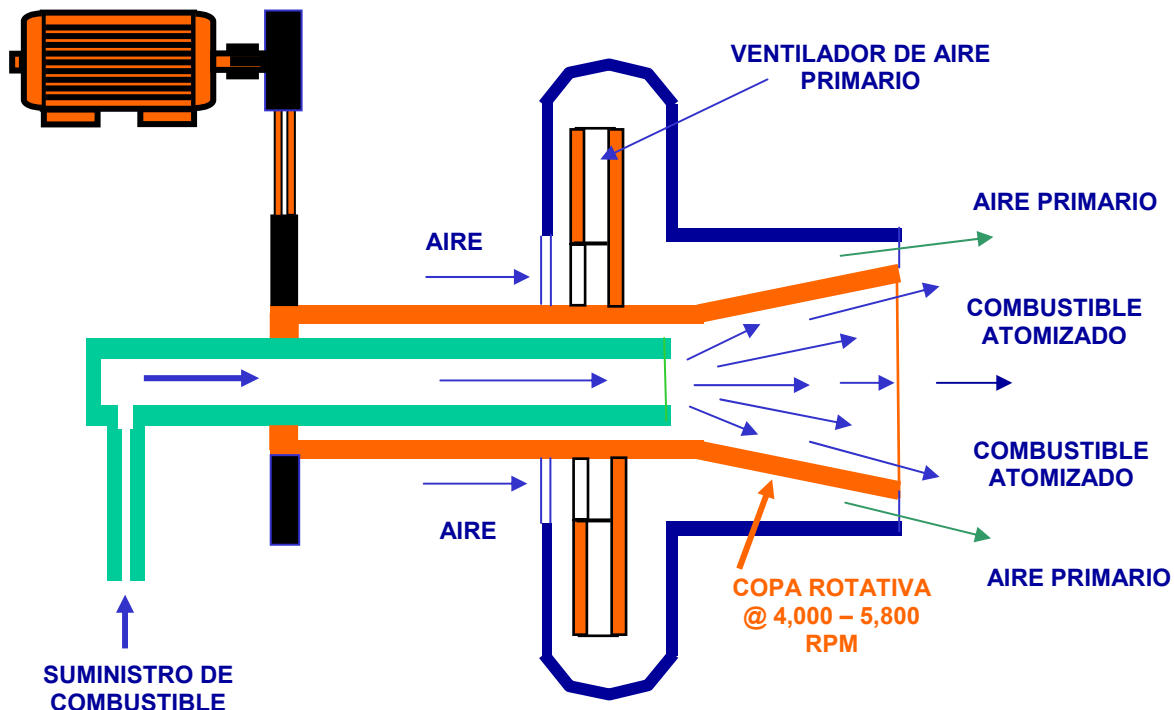
- Costo relativamente bajo
- Mantenimiento muy simple

6.3.2 Desventajas de los quemadores tipo jet:

- Si las condiciones de operación del proceso varían considerablemente en el curso del día, la caldera tiene que ser sacada de funcionamiento para cambiar la tobera.
- Se tapan fácilmente con la suciedad del propio combustible. Esto implica que el combustible deba ser filtrado muy finamente.

6.4 Quemador de copa rotativa

En estos quemadores, el combustible es suministrado a través de un tubo central que descarga en la parte interna de un cono ó "copa" que gira rápidamente. Conforme el combustible se desplaza a lo largo del cono debido a la fuerza centrífuga, la película del combustible se vuelve progresivamente más delgada al aumentar la circunferencia del cono. Finalmente, el combustible es descargado por el labio del cono finamente atomizado.



QUEMADOR DE COPA ROTATIVA

Debido a que la atomización se produce mediante el cono rotativo, en vez de variar alguna condición del propio combustible, el rango de operación es mucho más grande que en los quemadores tipo jet.

6.4.1 Ventajas de los quemadores de copa rotativa

- Robustez

- La viscosidad del combustible es menos crítica
- Mejor rango de operación

6.4.2 Desventajas de los quemadores de copa rotativa

- Su adquisición y mantenimiento son más caros

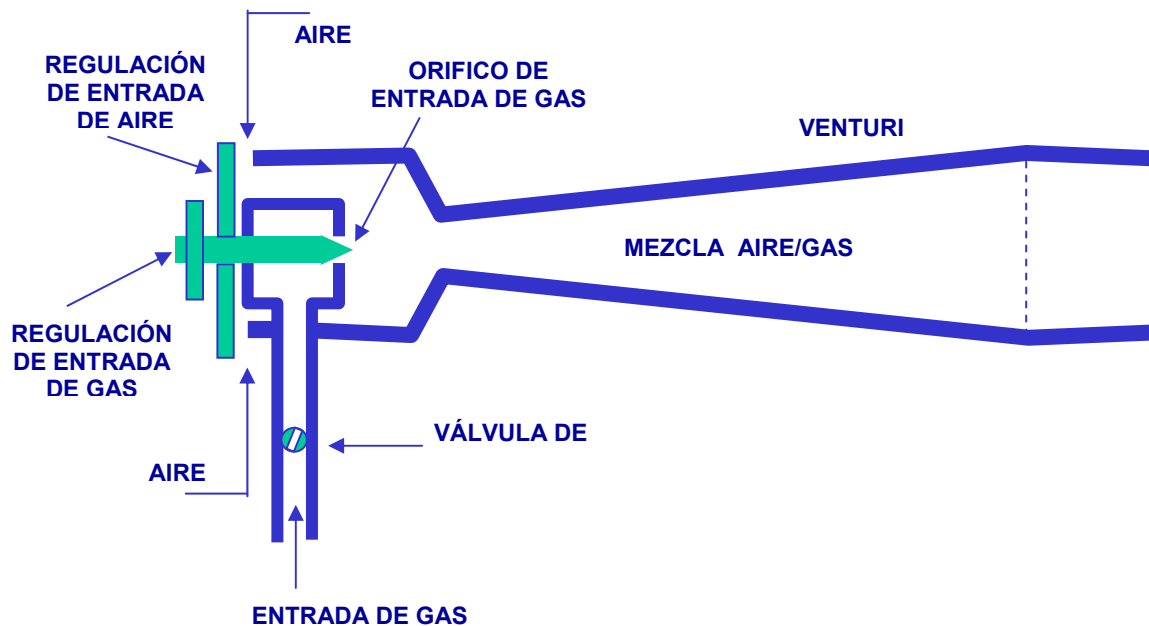
6.5 Quemadores para gas

El gas natural es uno de los combustibles más utilizados por la industria en la mayoría de los países más avanzados; en México, la industria continúa sustituyendo los combustibles líquidos por gas natural.

Básicamente, existen dos tipos de quemadores para gas, de baja y de alta presión.

6.5.1 Quemadores a baja presión

Usualmente éstos operan entre los 2.5 y los 10 mbar. El quemador es un dispositivo tipo venturi simple, al cual se le introduce el gas en la zona de la garganta, mientras que el aire para la combustión es succionado desde la parte posterior por el efecto venturi. La capacidad de estos quemadores está limitada aproximadamente a 1 MW.



QUEMADOR DE GAS A BAJA PRESIÓN

6.5.2 Quemadores de alta presión

Éstos operan a presiones mayores, normalmente entre los 12 y 175 mbar, y pueden incluir varias toberas para producir una forma particular de flama.

6.6 Quemadores tipo dual

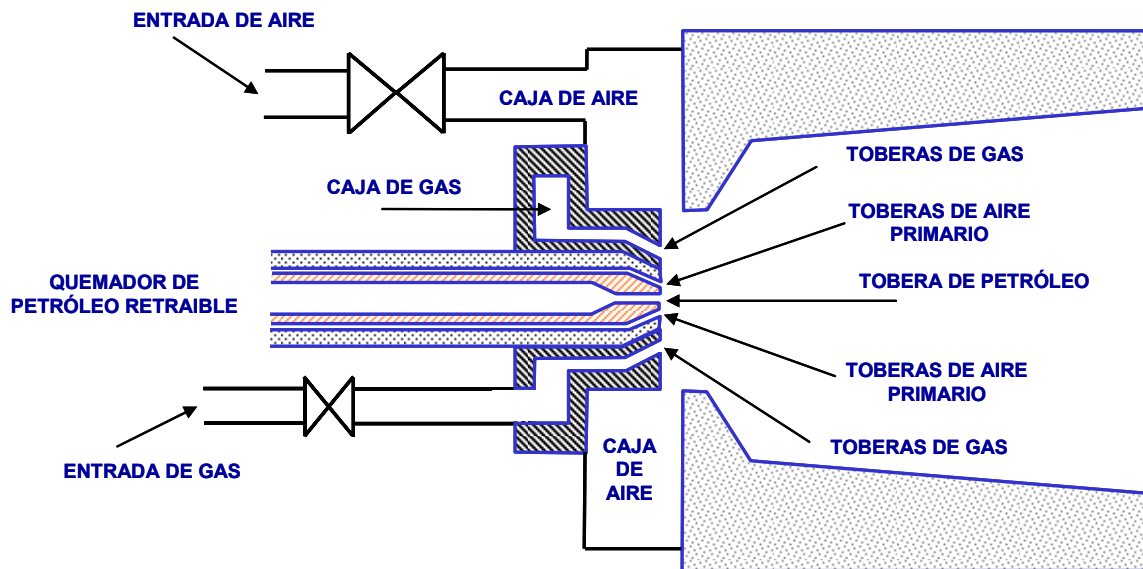
Como su nombre lo indica, estos quemadores pueden quemar combustible líquido o gaseoso; normalmente, se diseñan para utilizar gas como su combustible principal, pero tienen la característica de poder quemar, además, combustibles líquidos como el combustóleo.

El esquema más usual al que recurren las empresas que cuentan con este tipo de quemadores, es el tener un depósito de combustible líquido y usarlo cuando el suministro de gas se interrumpe.

Debido a que el cambio de combustible gaseoso a líquido debe realizarse rápidamente, para afectar lo menos posible al proceso productivo o servicio que se esté atendiendo, el procedimiento de cambio se efectúa de la forma siguiente:

- Se cierra la línea de suministro de gas
- Se abre la línea de suministro de combustible líquido
- En el panel de control del quemador se selecciona “combustible líquido” (*oil firing*), esto cambiará los parámetros de suministro de aire de combustión.
- Se purga y se vuelve a encender la caldera

Esta operación puede ser llevada a cabo en un periodo de tiempo relativamente corto. Algunas empresas realizan este cambio periódicamente solo con el propósito de asegurarse de que los operarios están familiarizados con el procedimiento y de que todo el equipo funciona adecuadamente.



QUEMADOR TIPO DUAL (GAS / PETRÓLEO)

En empresas grandes y sofisticadas con calderas de gran capacidad, los quemadores a gas pueden ser completamente sustituidos por quemadores para combustible líquido pesado (combustóleo).

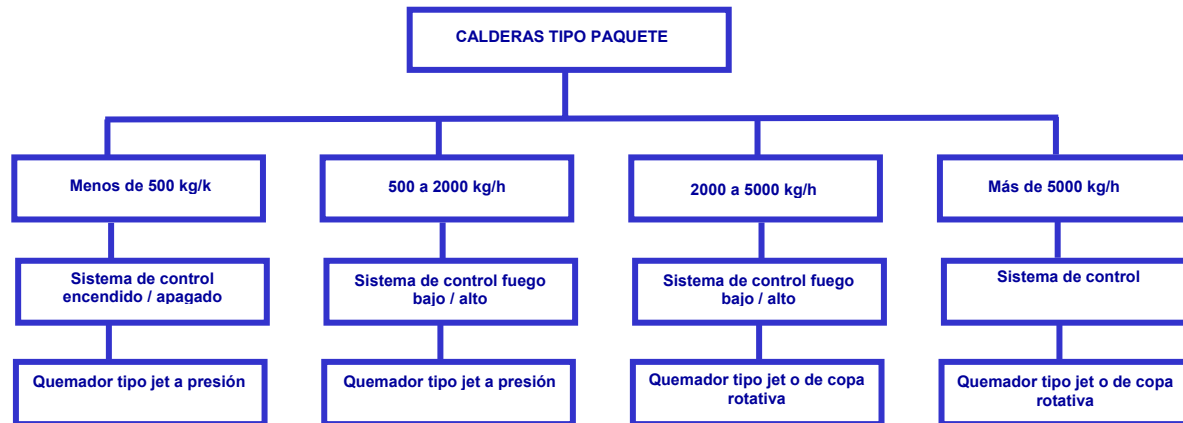
6.7 Relación del rango de carga (Rango de carga alto/Rango de carga bajo) para diferentes tipos de quemadores

Tipo de quemador	Relación del rango de carga
Quemadores tipo jet	2 : 1
Quemadores de copa rotativa	4 : 1
Quemadores para gas	5 : 1

7 Sistemas de control para quemadores

Los sistemas de control para quemadores no pueden ser vistos aisladamente. Tanto el quemador y el sistema de control, como el nivel de control del sistema, deben de ser compatibles y trabajar de manera complementaria para satisfacer la demanda de vapor de la planta de una forma eficiente.

A continuación se describen brevemente los sistemas básicos de control para quemadores:



7.1 Sistema encendido - apagado (On/off)

Éste es el más sencillo de los sistemas de control; el quemador está encendido a su máxima capacidad, o completamente apagado. La mayor desventaja de este método de control radica en que la caldera se sujeta a choques térmicos bruscos, cada vez que el quemador enciende. Por lo tanto, su uso debe limitarse a calderas pequeñas hasta unos 500 kg vapor/hora.

7.1.1 Ventajas del sistema de control encendido – apagado

- Son sistemas muy simples
- Son los sistemas más baratos actualmente

7.1.2 Desventajas del sistema de control encendido – apagado

- Si se presenta una demanda fuerte de vapor inmediatamente después de apagarse el quemador, se reduce considerablemente la cantidad de vapor disponible.
- Se producen choques térmicos a los componentes de la caldera

7.2 Sistema de control, fuego alto y bajo

Éste es un sistema de control un poco más complejo que el anterior y en el que el quemador puede trabajar en dos rangos de fuego. En un principio, el quemador opera a fuego bajo y, posteriormente y de acuerdo con los requerimientos, cambia a fuego alto. De esta manera, se evita el peligro de los choques térmicos. El quemador

también puede regresar a la operación en fuego bajo cuando la carga se reduce, limitando de nuevo los esfuerzos térmicos en la caldera. Este tipo de sistema se utiliza en calderas con potencias hasta los 5,000 kg vapor/hora.

7.2.1 Ventajas de los sistemas de control, fuego alto y bajo

- La caldera puede responder mejor a las demandas bruscas de vapor, ya que en la posición “fuego bajo” se asegura una cantidad de energía almacenada dentro de ella.
- Si la demanda brusca se presenta con el quemador encendido en la posición “fuego bajo”, puede responder rápidamente cambiando a la operación en “fuego alto”; además, se puede omitir el ciclo de purga.

7.2.2 Desventajas de los sistemas de control, fuego alto y bajo

- Son sistemas más complejos que el encendido – apagado
- Son más caros que el sistema encendido – apagado

7.3 Sistema de control modulante

Estos sistemas varían el rango de fuego de los quemadores de acuerdo con la demanda de la caldera dentro de todo el rango del quemador. Cada vez que el quemador se apaga y vuelve a encenderse, el sistema debe de ser purgado mediante el suministro de aire frío a través de todos los pasajes de la caldera. Esto gasta energía y reduce la eficiencia. Sin embargo, la modulación completa significa que la caldera se mantiene encendida dentro de todo su rango de potencia maximizando su eficiencia térmica y reduciendo los esfuerzos térmicos. Este tipo de control puede instalarse en cualquier tamaño de caldera, pero se recomienda para calderas mayores a los 10,000 kg vapor/hora.

7.3.1 Ventajas de los sistemas de control modulantes

- La caldera es capaz de soportar cargas grandes y fluctuantes
- La presión de la caldera se mantiene dentro de su banda de control óptima y el nivel de la energía almacenada al máximo
- Cuando de manera repentina se requiere mayor energía, el sistema puede responder inmediatamente, incrementando el rango de fuego del quemador, sin necesidad de un ciclo de purga.

7.3.2 Desventajas de los sistemas de control modulantes

- Son más caros
- Son más complejos
- Se necesitan quemadores con un amplio rango de operación

8 Seguridad

Debido a que los combustibles almacenan una gran cantidad de energía, pueden encenderse fácil y rápidamente; por ello es esencial que:

- Se observen rigurosamente todos los procedimientos de seguridad y que los mismos estén por escrito y siempre a la mano.
- Los dispositivos de seguridad se mantengan en buen estado y listos para entrar en operación en cualquier momento.

9 Equivalencias

1 Caballo caldera (CC) = 34.5 lb de agua a 212 °F evaporadas a 212 °F
 = 15.65 kg de agua a 100°C evaporados a 100°C
 = 33 480 BTU/h
 = 9 808 kW

9.1 Energía

Para convertir:						
de / a	cal	J	libra pie	hp h	BTU	kW h
multiplique por:						
Caloría	1	4.1868	3.088	1.5596×10^{-6}	3.9683×10^{-3}	1.163×10^{-6}
Joule	0.2388	1	0.7376	372.5×10^{-9}	947.8×10^{-6}	2377.78×10^{-9}
libra pie	0.3238	1.3558	1	505.05×10^{-9}	1.2851×10^{-3}	376.62×10^{-9}
hp hora	64.119×10^4	2.6845	1.98×10^6	1	2544.3	0.7457
BTU	251.99	1055.1	778.1	393×10^{-6}	1	293.07×10^{-6}
kWh	859.85×10^3	3.6×10^6	2.656×10^6	1.341	3412.1	1

10 Bibliografía

1. Spirax Sarco.- The boiler house.- Boiler efficiency and combustion
2. SELMEC Equipos Industriales S.A. de C. V..- Manual Selmec de Calderas
3. CADEM.- Manual de eficiencia energética térmica en la industria
4. OPEC.- Oil Industry Conversion Factors
5. SENER.- Balance Nacional de Energía 2005