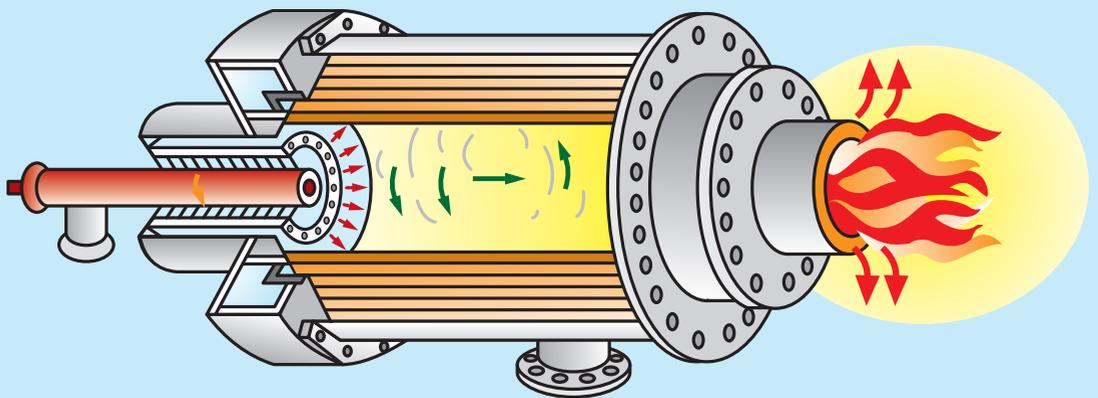


ACHS

Potencia y Rendimiento de la Caldera



Por un trabajo sano y seguro

Potencia y Rendimiento de la Caldera

Preparado por:
Pedro Abarca Bahamondes

Revisado por:
Walter Dümmer Oswald

POTENCIA Y RENDIMIENTO DE LA CALDERA

1.	POTENCIA DE UNA CALDERA	3
2.	RENDIMIENTO DE UNA CALDERA	4
3.	COMBUSTION	5
3.1.	COMBUSTION DEL CARBONO	6
3.2.	COMBUSTION DE OTROS ELEMENTOS	7
3.3.	CONTROL DE UNA BUENA COMBUSTION	9
4.	COMBUSTIBLE	16
5.	QUEMADORES	17
5.1.	QUEMADORES DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS	17
5.2.	QUEMADORES DE COMBUSTIBLES GASEOSOS	18

1.

POTENCIA DE UNA CALDERA

El tamaño de una caldera es determinado por su "superficie de calefacción" que es aquella parte de la caldera que por un lado está en contacto con el agua y por el otro con el fuego y gases calientes, medida por el lado de los humos y se expresa en metros cuadrados.

Muchas veces por costumbre se designa la potencia de una caldera en caballos de fuerza, lo cual es erróneo, pues una caldera no tiene fuerza motriz sino vapor, el que podría ser utilizado por una máquina que genere fuerza motriz. Según sea la máquina producirá mayor o menor potencia con la misma cantidad de vapor.

La potencia de una caldera se puede expresar en cantidad de vapor generado en una hora.

Desde luego, esto dependerá de la superficie total de calefacción. A mayor superficie de calefacción se tiene más vapor y, por lo tanto, mayor potencia. La potencia se mide normalmente en kilogramo de vapor producido en una hora por metro cuadrado de superficie de calefacción (KVH/m²). En la potencia de las calderas tiene influencia su diseño, construcción, instalación y manejo.

A modo de ejemplo podemos anotar los siguientes valores:

- Calderas con dos hogares interiores.....14 a 22 KVH/m²
- Calderas locomóvil o de locomotora.....12 a 20 KVH/m²
- Caldera marina o escocesa.....18 a 28 KVH/m²
- Caldera vertical.....10 a 14 KVH/m²
- Caldera acuotubular-parrilla plana 15 a 28 KVH/m²
- Caldera acuotubular-parrilla automática.....25 a 40 KVH/m²
- Caldera acuotubular de gran potencia40 a 66 KVH/m²
- Caldera acuotubular de circulación forz.....60 a 150 KVH/m²

En la producción de vapor tiene importancia la clase de combustible utilizado. Es frecuente medir la potencia de una caldera, expresando el calor total transmitido por la superficie de calefacción en kilocalorías por hora (Kcal/Hr.).

2.

RENDIMIENTO DE UNA CALDERA

Se llama rendimiento al porcentaje de calor contenido en el combustible que se traspassa al vapor generado por la caldera, al quemar dicho combustible.

También podría definirse el rendimiento diciendo que: "Es la relación entre la energía (calor) **contenida en el vapor y el calor contenido en el combustible que se quema**".

En otras palabras:

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{\text{Calor contenido en el vapor}}{\text{Calor contenido en el combustible quemado}} \times 100$$

Los factores que influyen en una caldera, considerando que un rendimiento de un 70% es el que se logra generalmente en la práctica, serían los siguientes:

- a) Por combustión incompleta9.80%
- b) Por gases calientes de chimenea.....14.00%
- c) Por cenizas o escorias.....2.85%
- d) Por radiación y otras causas3.35%
- e) Rendimiento de la caldera.....70.00%

CONDICIONES QUE INFLUYEN EN UN MEJOR RENDIMIENTO

1. Mejorando la combustión y sistema de quemar el combustible, su efecto visible será menos hollín saliendo por la chimenea.
2. Procurando que los gases que van a la chimenea fluctúen entre los 200 a 300 °C para no afectar el tiraje ni tener pérdidas exageradas por los gases calientes.
3. Disminuyendo las pérdidas por radiación. Esto se logra aislando la caldera y las cañerías conductoras de vapor o agua caliente con un buen aislante térmico.
4. Utilizando economizadores y precalentadores de aire.
5. Mantener la caldera y los conductos de humo siempre limpios.
6. Haciendo buenos tratamientos al agua de alimentación para evitar incrustaciones.

COEFICIENTE DE EVAPORACION O VAPORIZACION

Es el vapor que se obtiene dividiendo la cantidad de kilos de vapor generados en una hora por el peso en kilos del combustible consumido en esa misma hora.

Esto nos indica el número de kilos de vapor que produce cada kilo de combustible quemado.

Este factor es importante para conocer la cantidad de combustible y la forma de trabajo o rendimiento de una planta generadora de vapor. O sea, cuanto mayor sea el rendimiento de una caldera y mejor sea la calidad del combustible y el sistema de combustión, mayor será la cantidad de vapor generado por el combustible, es decir, mayor será su coeficiente de evaporación.

3. COMBUSTION

Combustión es la reacción química mediante la cual las sustancias combustibles reaccionan con el oxígeno, desarrollando luz y calor.

Sustancias combustibles son todas las que al combinarse con el oxígeno del aire a ciertas temperaturas, se queman produciendo calor. A toda sustancia que se pueda quemar se llama combustible.

Para que haya combustión, es necesario que exista un cuerpo que se queme llamado combustible, el oxígeno del aire que recibe el nombre de comburente y una fuente de calor que entregue la temperatura necesaria. Si uno de estos elementos falta, no puede haber combustión. Ahora, si están los tres elementos, la combustión puede ser mala o incompleta si:

- El combustible es inadecuado o de mala calidad.
- El aire es poco o insuficiente.
- La temperatura es baja.

Como el aire es el que da el oxígeno necesario para la combustión, siempre debe mantenerse una adecuada relación aire-combustible para que la combustión sea correcta o completa.

_ combustible _ + Oxígeno O₂ _ = _ productos de _ + _ Calor
_ combustión

En general todos los combustibles están constituidos por: carbono (C), hidrógeno (H₂), azufre (S), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂), humedad y cenizas. Los distintos combustibles tienen estos elementos pero en diferentes proporciones, siendo el carbono el elemento fundamental, ya que mientras mayor sea la proporción de carbono, el combustible al quemarse genera mayor calor.

3.1. **COMBUSTION DEL CARBONO**

La combustión del carbono depende de la cantidad de oxígeno. Según esto, la combustión puede ser completa o incompleta:

a) COMBUSTION COMPLETA: Si la cantidad de oxígeno es suficiente, la combustión del carbono es completa y se obtiene anhídrido carbónico (CO₂). Se aprovecha en este caso la mayor cantidad de calor del combustible.

El porcentaje mínimo de anhídrido carbónico que se recomienda es 12%, siendo el ideal 14,5%.

b) COMBUSTION INCOMPLETA: Si el oxígeno que se entrega a la combustión es insuficiente, el combustible no se quema totalmente. En este caso se forma monóxido de carbono (CO) y la cantidad de calor que se aprovecha es mucho menor.

El monóxido de carbono no debe estar presente en la combustión. Además de significar un daño a la salud, significa que la combustión no es buena, lo que se manifiesta con gases oscuros en la chimenea.

La eliminación del monóxido de carbono en el proceso de combustión es de vital importancia. Esto se logra agregando aire (secundario) para convertir este CO en CO₂, antes que salga por la chimenea.

3.2.

COMBUSTION DE OTROS ELEMENTOS

- a) La combustión del hidrógeno (H_2) produce agua en estado de vapor que sale con los gases y humos por la chimenea.
- b) La combustión del azufre produce anhídrido sulfuroso. Si éste absorbe oxígeno forma anhídrido sulfúrico, que con el agua o humedad de los mismos gases de la combustión da origen a la formación de ácido sulfúrico. Este ácido produce corrosión en las planchas y tubos. El azufre se considera como una impureza perjudicial en los combustibles.
- c) El nitrógeno es un gas inerte que no se quema, pero llega al hogar, se calienta y arrastra ese calor hacia el exterior por la chimenea.
- d) El porcentaje máximo de oxígeno que debe salir por la chimenea debe ser de un 6%, siendo el ideal un 2%.
- e) La humedad, por ser agua, no se quema y sólo se transforma en vapor, que se pierde junto con el calor que absorbe.
- f) Las cenizas también son sustancias incombustibles; luego no se queman.

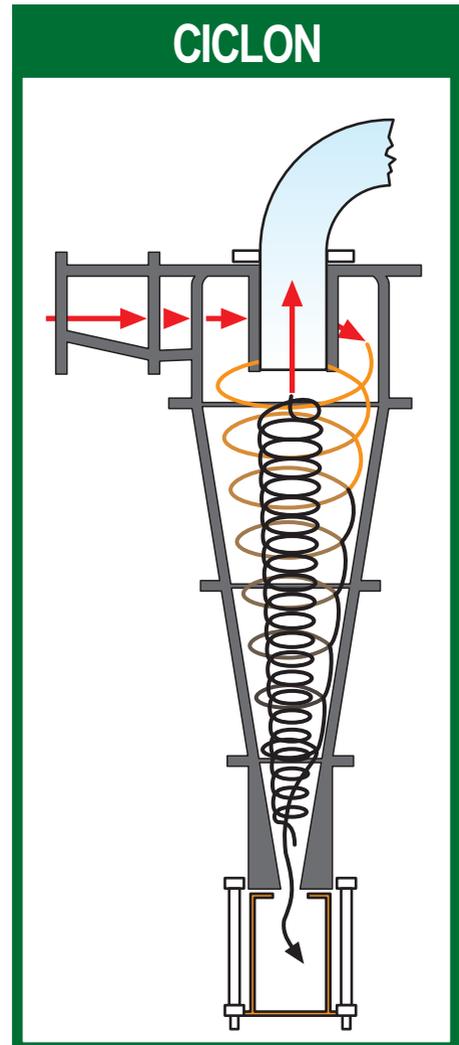


Figura 1

PRECIPITADOR ELECTROSTATICO (SISTEMA DE PLACA)

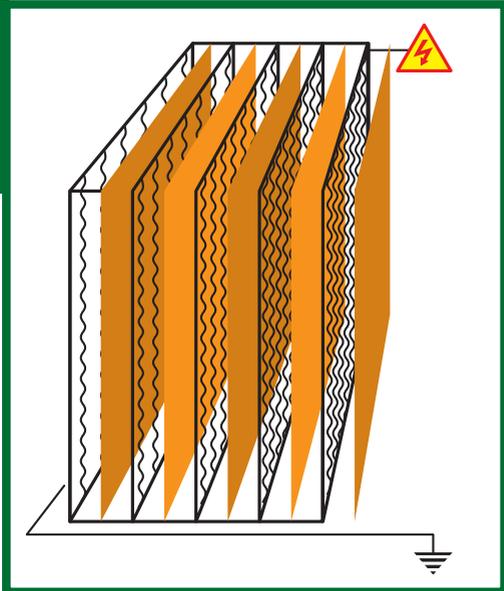


Figura 2

TRATAMIENTO QUIMICO DE PRODUCTOS DE COMBUSTION (DESULFURIZACION Y DENITRIFICACION)

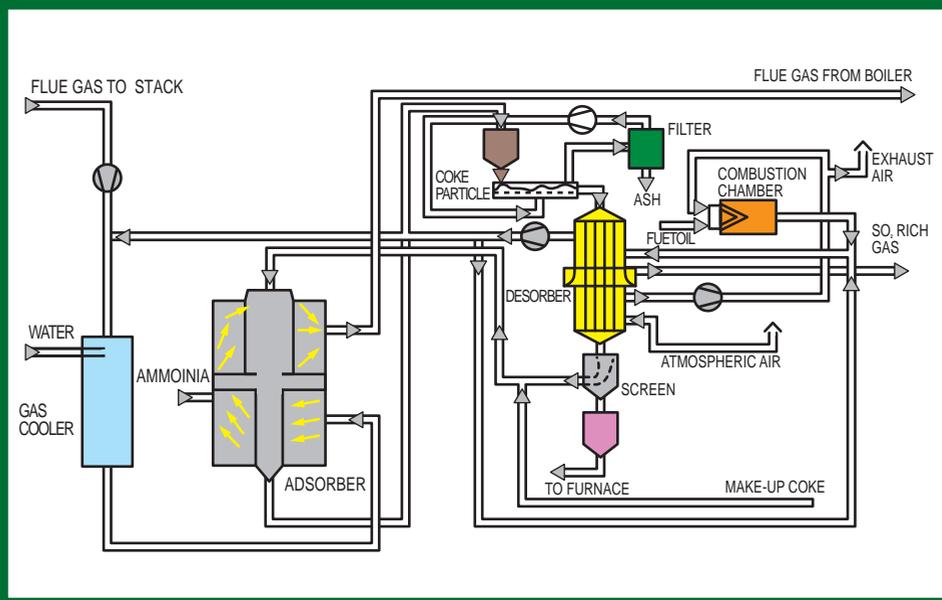


Figura 3

3.3.

CONTROL DE UNA BUENA COMBUSTION

Hay varios factores que influyen para que una combustión se realice en buena forma. Los principales son:

- La cantidad de aire.
- El tiro.
- La temperatura del hogar.
- El estado de la instalación.
- El tiempo necesario para asegurar una buena combustión.

a) CANTIDAD DE AIRE (AIRE TEORICO-AIRE PRACTICO)

Para quemar una cierta cantidad de combustible, se puede calcular por fórmula el aire necesario (aire teórico). Sin embargo, para obtener una buena combustión, no basta disponer del aire necesario para el combustible. Es importante que cada partícula del combustible encuentre la cantidad de oxígeno que necesita para quemarse. Para ello debe existir una mezcla homogénea entre el aire y el combustible.

Nunca un combustible puede quemarse bien con el aire del cálculo teórico; es necesario "un exceso de aire". El porcentaje de este exceso de aire puede variar entre un 15% y un 40% dependiendo del tipo de combustible y del tipo de hogar.

El exceso de aire no se ocupa en la combustión, pero es necesario para asegurar el oxígeno que necesita el combustible, ya que la mezcla aire-combustible no siempre se efectúa correctamente.

Para obtener el aire necesario para una combustión completa existen dos medios:

- **AIRE PRIMARIO:** Que entra directamente con los combustibles líquidos o gaseosos o por debajo de las parrillas, en el caso de combustibles sólidos. Es el aire necesario para quemar completamente un combustible.
- **AIRE SECUNDARIO:** Que es el aire adicional o en exceso que se agrega al hogar para lograr una buena combustión.

En las calderas que queman combustibles sólidos, este aire se introduce sobre el lecho del combustible a través de la puerta del hogar o de las aberturas que éste tiene.

En calderas que queman combustibles líquidos o gaseosos, este aire entra por una puerta regulable bajo el quemador.

CONTROL DEL AIRE DE LA COMBUSTION

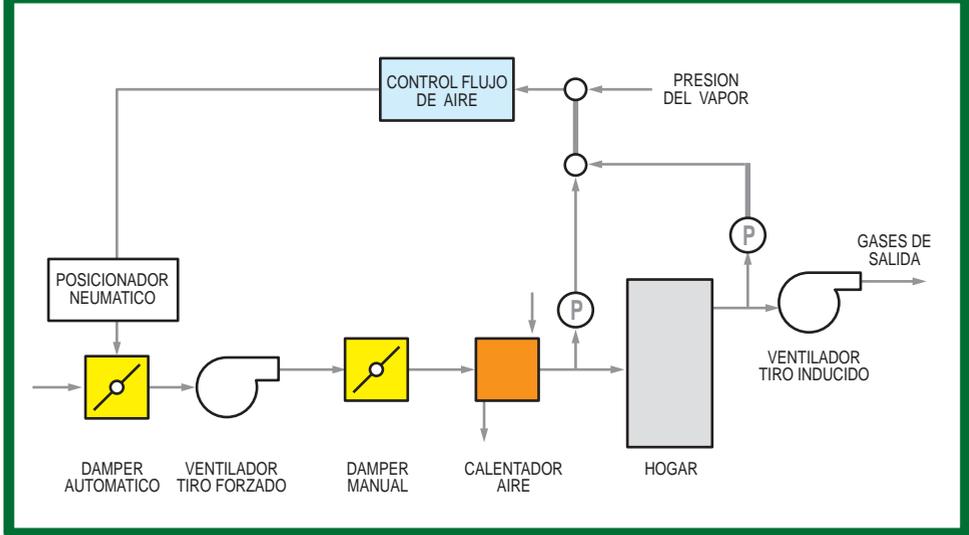


Figura 4

CONTROL DE LA RAZON AIRE-COMBUSTIBLE

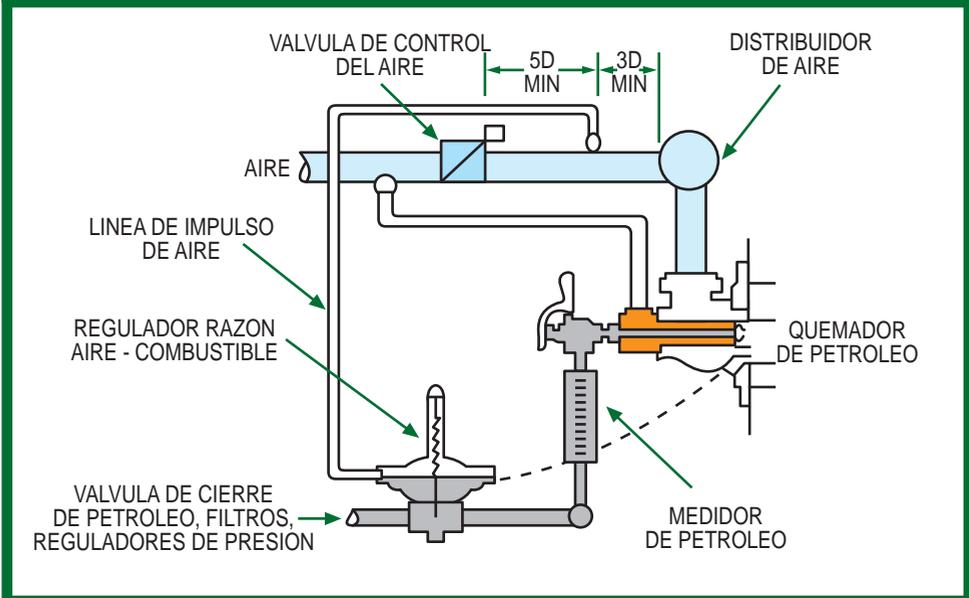


Figura 5

La combustión requiere tanto aire primario como secundario. Lo importante es que ambos entren en la debida proporción.

SISTEMA DE COMBUSTION	EXCESO DE AIRE (%)
- Carbón parrilla fija, manual	45 - 50
- Carbón, parrilla móvil, esparcimiento.	30 - 45
- Carbón pulverizado.	15 - 20
- Madera, 40% humedad, pila	35 - 40
- Petróleo, atomizado mecánico y con aire.	15 - 18
- Gas	10 - 12

En general, un déficit de aire o un exceso bajo recomendado conducen a una **combustión incompleta**, con el consiguiente desaprovechamiento de la energía del combustible. Si el exceso es muy alto, el aire enfría el fuego, **perdiéndose gran parte del calor del combustible** en los gases que salen por la chimenea.

b) EL TIRO

Se llama tiro a la diferencia de presión que existe entre los gases del hogar y el aire ambiente, lo que permite el paso necesario de aire para la combustión.

El tiro puede ser:

- Natural.
- Compensado.
- Artificial.

TIRO NATURAL: Por este medio se obtiene el aire para la combustión y es proporcionado por la chimenea, que al mismo tiempo tiene por objeto lanzar los gases productos de la combustión, a una altura suficiente para evitar perjuicios o molestias al vecindario (gases y no humos).

La acción de la chimenea está basada en la diferencia de temperaturas entre los gases calientes y el aire ambiente. A medida que los gases se calientan en el fogón de la caldera, se hacen más livianos al disminuir su densidad y toman un movimiento ascensional; suben por la chimenea y provocan cierta aspiración de aire que da origen a una corriente que

desde la sala de calderas, atraviesa el cenicero y toda la instalación, suministrando a los fuegos el aire de combustión necesario. Los gases que salen por la chimenea deben tener una temperatura no menor de 180 °C, a fin de poder conservar la velocidad necesaria para mantener la aspiración de aire nuevo. Este fenómeno recibe el nombre de **tiro o tiraje**.

El tiraje aumenta en relación a la altura de la chimenea; también influye la diferencia de temperatura entre los gases de la combustión y el aire ambiente; a mayor diferencia de temperatura mayor será la velocidad y fuerza de la corriente de aire.

TIRO ARTIFICIAL: Algunas veces es necesario suplementar el tiraje natural con uno artificialmente provocado. Esto se consigue utilizando un ventilador u otro medio cualquiera, incluso vapor. Con tiraje artificial se tiene la posibilidad de variar la cantidad de aire que llega al hogar dentro de amplios límites.

El tiraje artificial se usa de preferencia:

- Cuando se queman determinados combustibles sólidos.
- Cuando hay grandes oscilaciones de carga.
- En calderas de tres o más pasos.
- El tiro artificial puede ser forzado o inducido.

En el tiraje artificial forzado, obligan al aire a ingresar dentro de la caldera, manteniendo una **sobrepresión** en el hogar, utilizando ventiladores o inyectores de vapor.

En el tiro artificial inducido, un ventilador se ubica a la salida de la caldera succionando los gases desde el interior, impulsándolos hacia la chimenea. Tiende a producir **depresiones** en el hogar.

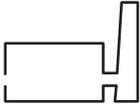
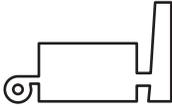
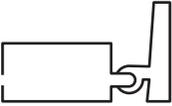
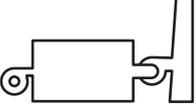
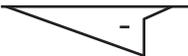
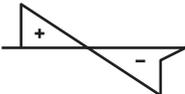
CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE EVACUACION DE GASES				
TIPO	CHIMENEA	TIRO FORZADO	TIRO INDUCIDO	TIRO COMPENSADO
ESQUEMA				
PRESIONES				
CARACTERISTICAS	<p>MEJOR OPERACION SI:</p> <ul style="list-style-type: none"> - T° GASES AUMENTA. - T° EXTERIOR DISMINUYE. - ALTURA AUMENTA. - DIAMETRO AUMENTA. - BUENA AISLACION. <p>SE USA EN CALDERAS PEQUEÑAS A MEDIANAS. EL TIRAJE SE CONTROLA POR REGULADORES DE TIRO (DAMPERS).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - PRODUCE SOBREPRESION EN EL HOGAR (HOGAR HERMETICO). - NO SE ENSUCIA. - TRABAJA CON AIRE FRIO. - SE USA EN CALDERAS DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS. 	<ul style="list-style-type: none"> - SE ENSUCIA MUCHO. - PROBLEMAS DE CALENTAMIENTO (GASES CALIENTES). - NO REQUIERE HOGARES HERMETICOS - SE USA EN CALDERAS DE COMBUSTIBLES SOLIDOS. 	<ul style="list-style-type: none"> - SISTEMA IDEAL. - BUENA REGULACION DE PRESIONES. - ALTURA DE CHIMENEA NECESARIA PARA DIFUNDIR GASES SIN MOLESTIAS. - SE UTILIZA EN GRANDES CALDERAS.

Figura 6

VENTAJAS DEL TIRO ARTIFICIAL SOBRE EL NATURAL

- Es independiente de las condiciones atmosféricas.
- Se adapta más fácilmente a las variaciones de carga.
- Permite quemar carbones de menor calidad, carbones pequeños y capas gruesas de carbón.

Con el tiro artificial se puede variar, dentro de límites amplios, la cantidad de aire que llega al hogar; esto permite hacer trabajar a las calderas con sobrecargas mucho mayores que con tiro natural.

c) TEMPERATURA DEL HOGAR

Según sea el tipo de combustible, necesitará mayor o menor temperatura para que se queme.

Interesa conocer básicamente dos tipos de temperatura:

- **TEMPERATURA O PUNTO DE INFLAMACION:** es la temperatura a la cual un combustible empieza a desprender vapores inflamables.

- **TEMPERATURA O PUNTO DE IGNICION:** es la temperatura a la cual se inicia la combustión.

En el hogar, la combustión sólo se produce cuando se alcanza la temperatura de ignición.

Con el objeto de lograr altas temperaturas en los hogares, éstos se revisten con ladrillos y materiales refractarios. Estos elementos soportan altas temperaturas y permiten mantener temperaturas elevadas dentro del hogar.

d) ESTADO DE LA INSTALACION

El estado de la instalación es importante para una buena combustión.

Cada puerta que tenga el hogar, sea de carga de combustible, de entradas de aire primario o secundario, etc., deben mantenerse en buenas condiciones mecánicas y de funcionamiento. Deben permitir abrirse y cerrarse con facilidad, deben ajustarse bien, impidiendo que el aire se filtre sin control sobre el proceso de combustión. Es importante también la ubicación correcta del quemador.

Deben repararse las grietas o partiduras que hayan en la estructura de ladrillos o albañilería para evitar entradas indebidas de aire.

Todo operador debe asegurarse que la instalación a su cargo esté en buenas condiciones de trabajo. Si se observan algunas fallas que impidan la buena marcha del equipo, deben tomarse las medidas necesarias para repararlas.

e) ASPECTOS GENERALES

La chimenea debe contar con un regulador de tiro que tiene que ser accionado por el operador en el momento oportuno para dosificar el aire de acuerdo a las necesidades.

Para controlar que la combustión sea correcta, la instalación debe contar con instrumentos que indiquen la proporción de los gases que salen al exterior y su temperatura. Esto permite al operador regular la combustión de acuerdo a lo que le indiquen estos instrumentos.

Si alguna instalación no cuenta con estos instrumentos, el operador debe recurrir a sus conocimientos y experiencias para controlar eficazmente la combustión.

Una forma práctica de hacerlo es observando el extremo de la chimenea, sin abandonar su puesto de trabajo. Se recomienda abrir una claraboya o colocar un espejo que permita ver el extremo superior de la chimenea.

Si no existe forma de observar la chimenea, la combustión puede controlarse observando el color de la llama y de los gases en el hogar.

Una buena combustión debe eliminar a la atmósfera sólo gases calientes incoloros, sin que se aprecien humos visibles.

Cuando se trabaja con un exceso de aire, no se ven humos por la chimenea pero, después de cierto tiempo, la combustión puede descontrolarse al bajar la temperatura del hogar por el aire en exceso.

Como se sabe, la combustión es una reacción y, por lo tanto, requiere de tiempo para que se efectúe en buena forma. Por esta razón, el encendido debe ser lento y a medida que se va calentado el hogar se puede aumentar paulatinamente el combustible y el aire hasta llegar a un momento en que es posible obtener y mantener un régimen normal de trabajo, sin ningún descontrol.

Las personas a cargo de calderas, que deben dar un servicio a una hora determinada, tendrán que iniciar el encendido con la anticipación necesaria, para no verse obligadas a apurar los fuegos en perjuicio de una buena combustión.

Toda combustión en que se observen humos oscuros visibles es una mala combustión. Puede deberse a falta de aire, exceso de combustible o baja temperatura en el hogar.

4. **COMBUSTIBLE**

Existen muchas sustancias combustibles, tanto no renovables como renovables, pero no todas pueden usarse en procesos con fines prácticos o para utilizarse en calderas. En general, los combustibles se dividen según su estado físico en sólidos, líquidos y gaseosos y, asimismo, éstos pueden ser naturales o artificiales.

Como se dijo anteriormente, en general, todos los combustibles están constituidos por los mismos elementos, variando sus proporciones. Para ser clasificados según su rendimiento, es decir la cantidad de calor que generan al quemarse cierta cantidad de combustible, se utiliza un valor llamado "PODER CALORIFICO". Es la cantidad de calor que se obtiene al quemar un kilogramo de combustible.

Cuando se trata de combustibles sólidos se expresa en Kcal/Kg. Cuando se trata de combustibles líquidos Kcal/M³, o Kcal/Ltrs. y para los combustibles gaseosos se expresa en Kcal/m³.

En el cuadro siguiente se expresa el poder calorífico de algunos de los combustibles más usados:

COMBUSTIBLE SOLIDO	PODER CALORIFICO
Carbón de piedra _____	6.500 a 7.100 Kcal/Kg.
Carboncillo _____	6.000 a 6.500 Kcal/Kg.
Carbón coke _____	6.000 a 6.600 Kcal/Kg.
Leña _____	3.000 a 3.700 Kcal/Kg.
Basuras o desperdicios domésticos _____	1.800 a 2.200 Kcal/Kg.
COMBUSTIBLES LIQUIDOS	
Petróleo diesel o Fuel Oil _____	8.500 a 10.500 Kcal/Ltrs
Kerosene _____	10.000 a 11.000 Kcal/Ltrs
Alquitrán combustible _____	9.000 a 10.000 Kcal/Ltrs
COMBUSTIBLES GASEOSOS	
Gas licuado (de petróleo) _____	11.500 a 12.000 Kcal/m ³
Gas de alumbrado (de carbón) _____	10.000 a 11.000 Kcal/m ³

5. QUEMADORES

5.1. QUEMADORES DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS

Los combustibles líquidos deben ser vaporizados antes de ser quemados.

Algunos quemadores de baja capacidad (hasta 25 Kg de combustible/Hr.), denominados quemadores de vaporización, realizan esta acción en una sola etapa mediante calentamiento.

Sin embargo, todos los quemadores industriales de alta capacidad realizan la vaporización en dos etapas: **atomización** o separación de líquido en finas partículas y **vaporización** mediante calentamiento directo de las partículas.

Según el mecanismo o medio de atomización utilizado, los quemadores se clasifican en:

- Quemadores de atomización con aire a baja presión.
- Quemadores de atomización con aire o vapor a alta presión.
- Quemadores de atomización mecánica.
- Quemadores centrífugos o de copa rotatoria.

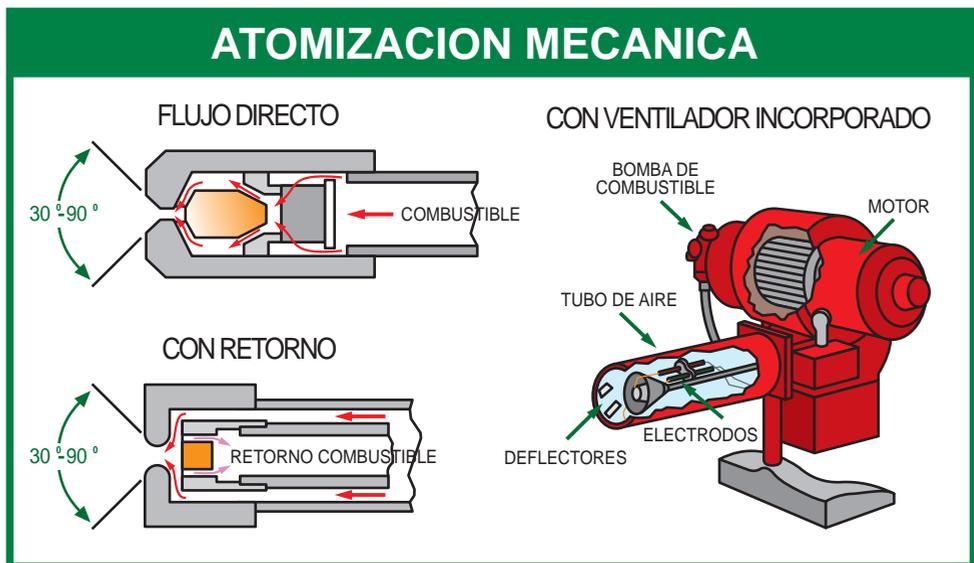


Figura 7

ATOMIZACION CENTRIFUGA (COPA ROTATORIA)

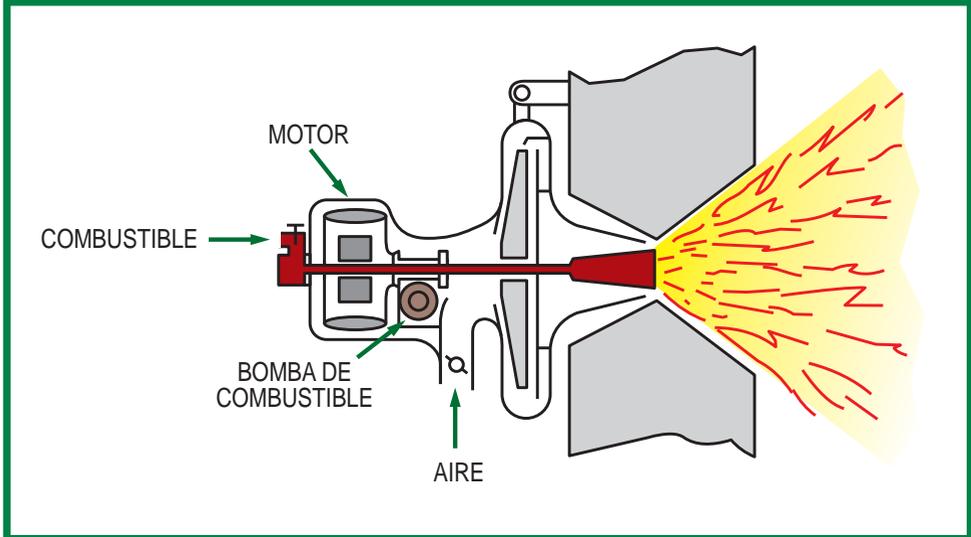


Figura 8

5.2.

QUEMADORES DE COMBUSTIBLES GASEOSOS

Son los que presentan menos dificultad en el proceso de combustión. Las partículas de gas que se mezclan íntimamente con el aire permiten una buena combustión con una mínima cantidad de aire.

Se clasifican según la zona donde se mezclan el aire y el combustible:

- Quemadores de premezcla: Mezclado antes del quemador
- Quemadores cerrados: Mezclado en el quemador.
- Quemadores abiertos: Mezclado mixto.

Sus capacidades cubren un rango muy amplio. Desde fracciones de kilogramos por hora (domésticos), hasta unos 1.500 Kg/Hr. (industriales y calderas grandes)

ABIERTOS (OPEN FIRING)

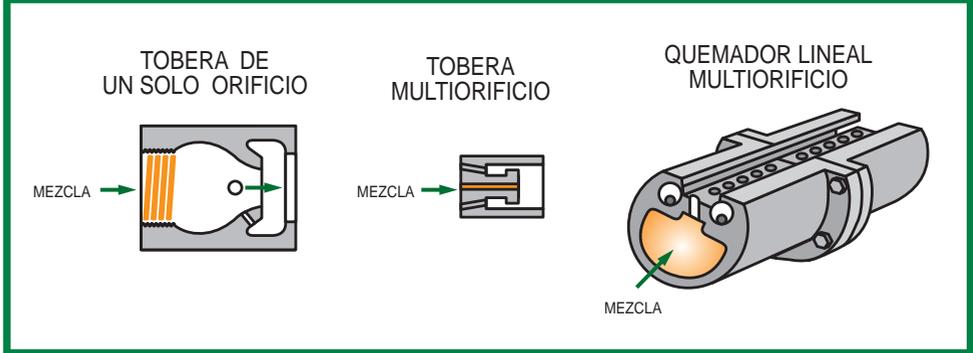


Figura 9

CERRADOS DE PRE-MEZCLA

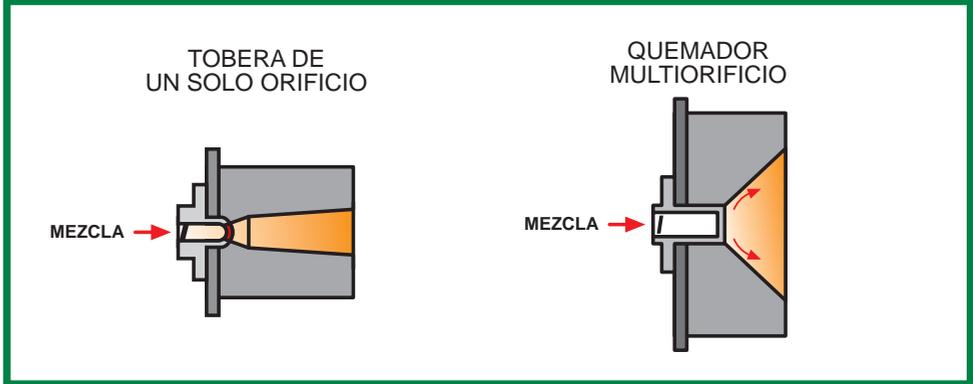


Figura 10

CERRADOS CON TOBERA MEZCLADORA

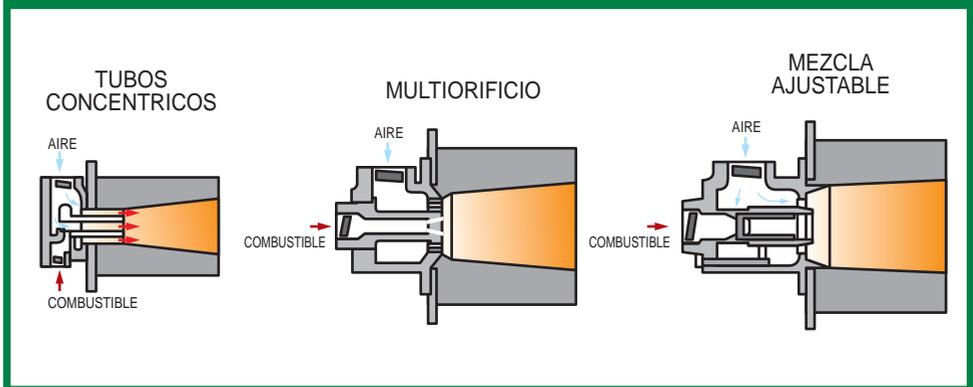


Figura 11

QUEMADORES DE COMBUSTIBLES SOLIDOS

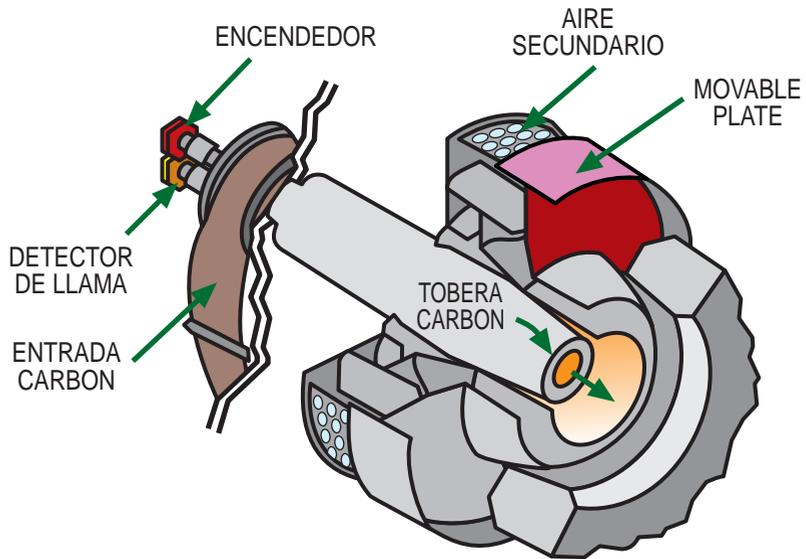


Figura 12

QUEMADOR CICLONICO

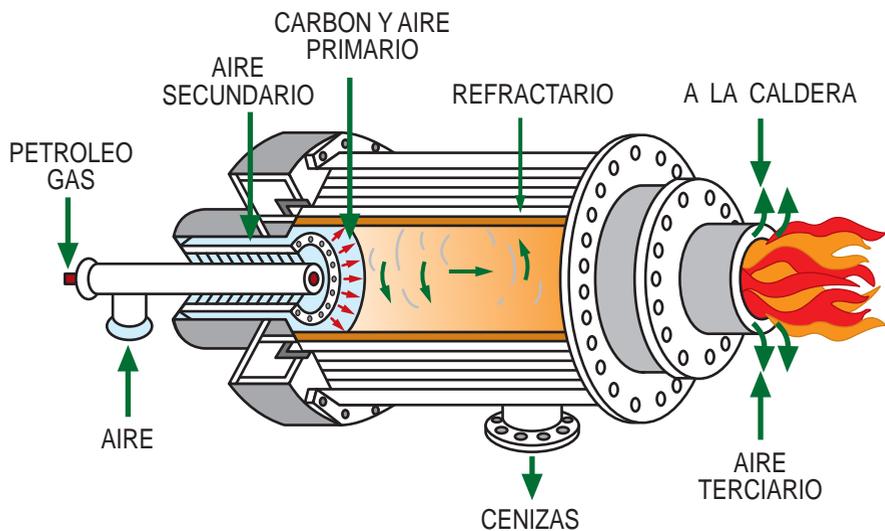


Figura 13

