

## **PARTE 4 : QUEMADORES**

## INDICE

1. GENERALIDADES .....	3
2. TIPOS DE QUEMADORES.....	3
2.1. Quemadores atmosféricos y de aire impulsado .....	3
2.2. Quemadores de mezcla previa por aire inductor (llama azul) .....	4
2.3. Quemadores monobloc.....	5
2.4. Quemadores de llama plana .....	5
2.5. Quemadores de inmersión.....	6
2.6. Tubos radiantes .....	7
2.7. Quemadores de radiación infrarroja .....	8
2.8. Quemadores de alta velocidad .....	8
3. DESCRIPCIÓN DE LOS QUEMADORES .....	9
3.1. Inyector.....	9
3.2. Cámara de mezcla y órgano de regulación de aire primario .....	9
3.3. Efecto Venturi .....	10
3.4. Cabeza del quemador.....	11
4. FUNCIONAMIENTO DE LOS QUEMADORES .....	11
4.1. Funcionamiento correcto. Estabilidad de la llama .....	11
4.2. Funcionamiento defectuoso.....	12
4.2.1. Desprendimiento de la llama.....	12
4.2.2. Retorno de la llama .....	12
4.2.3. Puntas amarillas .....	13
4.2.4. Otros funcionamientos defectuosos. ....	13
4.3. Estabilidad de la llama .....	13
4. QUEMADORES AUTOMÁTICOS CON AIRE PRESURIZADO .....	14
4.1. Tipos .....	14
4.2. Descripción .....	15

## 1. GENERALIDADES

Son los dispositivos en que se lleva a cabo la combustión controlada del gas. Los quemadores se diseñan de forma que cumplan una serie de objetivos.

- a) deben producir una llama estable.
- b) deben mezclar homogéneamente el gas y el aire, y la proporción debe encontrarse dentro de los límites de inflamabilidad.
- c) la cantidad de gas quemado ha de ser la adecuada a la potencia que se desea alcanzar.
- d) la combustión del gas debe ser completa.

## 2. TIPOS DE QUEMADORES

### 2.1. Quemadores atmosféricos y de aire impulsado

Los quemadores atmosféricos (cocinas) son aquellos en los que el aire se toma del ambiente que los rodea. Se les llama así por contraposición a los quemadores de impulsión (calderas de elevada potencia, hornos), en los cuales el aire, y en algunos casos también el gas, es aportado mediante ventilación forzada.

Quemadores de llama blanca son aquellos en los que no se realiza la mezcla previa de gas y el aire.

En un principio todos los quemadores de gas eran de llama blanca. Consistían en un simple tubo metálico, dotado de orificios por donde salía el gas a la atmósfera. La llama tomaba el aire necesario para la combustión del ambiente que la rodeaba (figura 1).

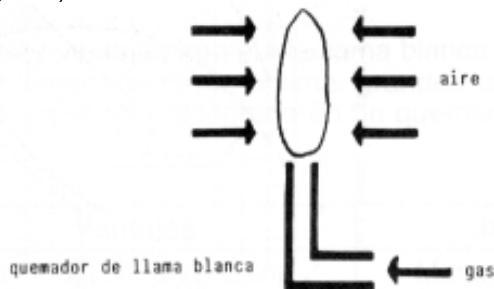


figura 1

Los quemadores de llama blanca se caracterizan por no tener una entrada de aire primario, los orificios del quemador son muy finos, y están calibrados a la presión de suministro, con el fin de obtener la potencia prevista y las llamas estables.

Normalmente los orificios son ranuras a fin de obtener llamas planas, en forma de mariposa, con lo que se aumenta la superficie de la llama de forma que se capte el máximo de aire secundario.

La llama sin mezcla previa (llama blanca), se trata de una llama de gran longitud pero de baja temperatura.

Se muestra de color amarillo, debido fundamentalmente a la presencia de carbono libre que sólo ha alcanzado la temperatura necesaria para ponerse incandescente sin llegar a oxidarse.

## 2.2. Quemadores de mezcla previa por aire inductor (llama azul)

Para la correcta combustión de los gases de alto poder calorífico se precisa disponer de una gran cantidad de aire que los quemadores de llama blanca no podrían suministrar aunque se aumentara el número de orificios de salida del gas.

Si en los quemadores de llamas blancas se emplearan gases de alto poder calorífico se producirían llamas blancas demasiado largas que se desprenderían con facilidad. Además se correría el riesgo de producir una mala combustión (combustión incompleta).

Estos problemas obligaron a desarrollar unos quemadores en los cuales el aire que se precisa para realizar una combustión completa se aporta en dos etapas: en la primera una parte del aire se mezcla con el gas antes de la combustión (aire primario) y en la segunda, el resto del aire se aporta a la altura de la llama (aire secundario). Las llamas de estos quemadores cuando están bien reguladas son estables y de color azul y la combustión es completa. A estos quemadores se les denomina quemadores de premezcla (figura 2).

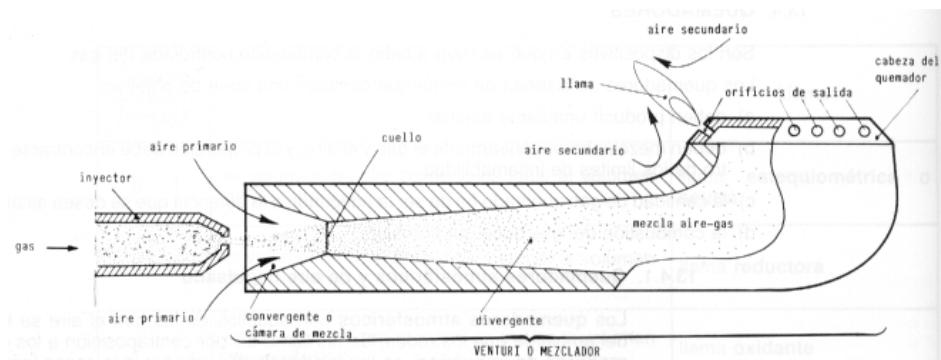


figura 2

Al existir una mezcla previa entre el combustible y comburente, se obtienen llamas cortas de color azulado y de alta temperatura.

En caso de que el comburente incorporado no sea suficiente para garantizar la combustión completa, se produce una segunda zona de llama incolora, dando lugar a un penacho que recubre la anterior (figura 3).

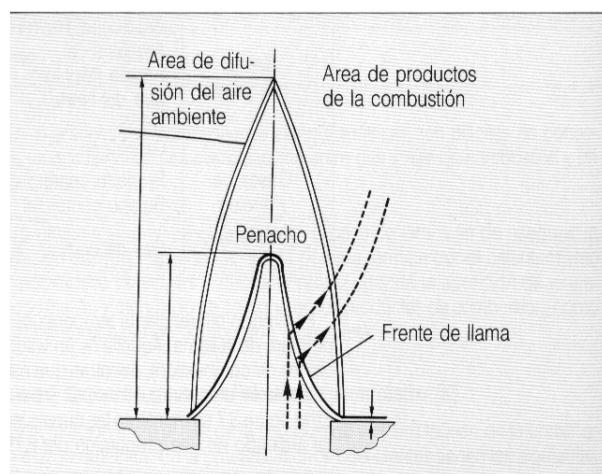


figura 3 - Esquema de una llama con mezcla previa.

### 2.3. Quemadores monobloc

Es el tipo de quemadores más conocidos en el mercado, se adapta perfectamente a calderas y hornos de baja temperatura. Estos quemadores (figura 4) tienen la ventaja de que pueden construirse de una forma completamente automática, incorporándoles a los mismos, los elementos de control y seguridad precisos. Se utilizan especialmente en calderas de calefacción, calderas de vapor y en hornos o secaderos, donde la temperatura y la presión o depresión de las cámaras de combustión, no sean muy altas.

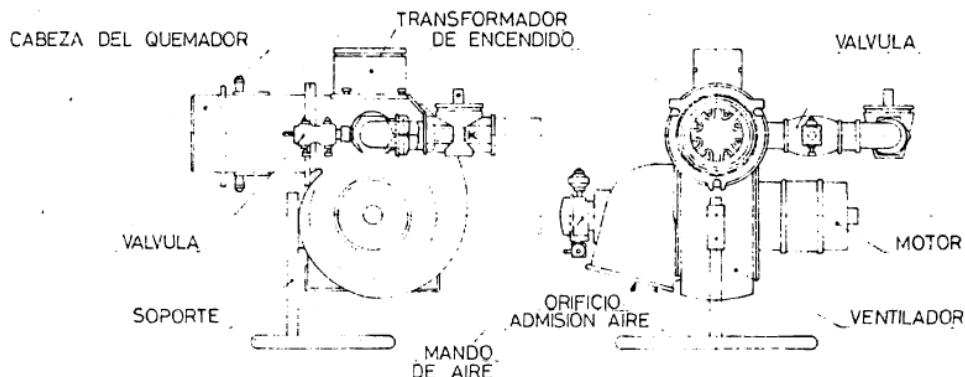


figura 4

### 2.4. Quemadores de llama plana

Existe también un modelo de quemador (figura 5), que tiene como principal ventaja, la de formar una llama plana completamente, de manera que se extienda radialmente por la pared de obra de la cámara de combustión. Estos quemadores tienen la gran ventaja de aplicaciones donde la llama no pueda incidir directamente sobre el producto, porque el mismo esté situado muy cerca de la salida del quemador; ejemplo de ellos, es el tipo de hornos llamados de campana.

El gas y el aire llegan separadamente al quemador. El gas llega a través de un inyector por el centro del quemador. El aire es llevado tangencialmente al cuerpo del quemador de forma que se obtenga un movimiento de rotación de aquel fluido. Este aire, por efecto de la fuerza centrífuga se aplasta a las paredes del bloque refractario cuando una zona de depresión permite la mezcla con el gas y la consiguiente combustión. La llama de desarrolla en forma de disco, sobre la pared del laboratorio. El espesor de la llama puede variar de 50 a 100 mm en función de la potencia calorífica del quemador y un diámetro exterior puede llegar a 1 m.

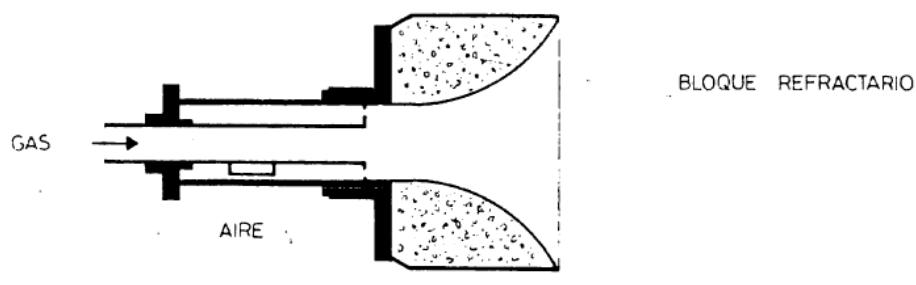


figura 5

## 2.5. Quemadores de inmersión

Este tipo de equipos tienen por finalidad el calentamiento directo de un líquido mediante la acción del calor de los gases producidos por la combustión al atravesar el líquido en forma de burbujas. No hay que confundir este sistema con el de serpentines sumergidos, por el interior de los cuales pasan los productos de la combustión y la cesión de calor, la realiza el tubo del serpentín en contacto con el líquido. El sistema que aquí describimos es directo, a diferencia del de serpentín, que es indirecto.

Los quemadores para la combustión sumergida pueden ser:

- de premezcla total.
- de aire total y gas separado.

A veces, no dispone una entrada de aire suplementario alrededor del quemador. Este no es aire secundario sino aire de dilución de los productos de la combustión.

El quemador o la cámara de distribución de los productos de la combustión (ver figura 6) dentro del líquido desembocan a una cierta profundidad.

Sobre los orificios hay una presión hidrostática igual a la altura de líquido que deben vencer los productos de la combustión. Por ello es necesario que el aire y el gas o en su caso la mezcla de ambos, lleguen al quemadora una presión superior a la que equivale a la altura del líquido.

Por ejemplo en una cuba que contenga 1 m de altura desagua desde el frente de orificios de la cámara de combustión, el aire y el gas deben llegar al quemador bajo una presión del orden de 1,20 m de c.d.a.

Durante los períodos de paro, el líquido entra en la cámara e inunda el quemador. A la puesta en marcha hay que realizar un barrido con aire por medio del ventilador de aire de combustión, sin gas. Esta ventilación asegura el secado de las bujías de encendido situadas por encima del nivel del baño, que en el momento de la parada se encuentran en atmósfera saturada de agua.

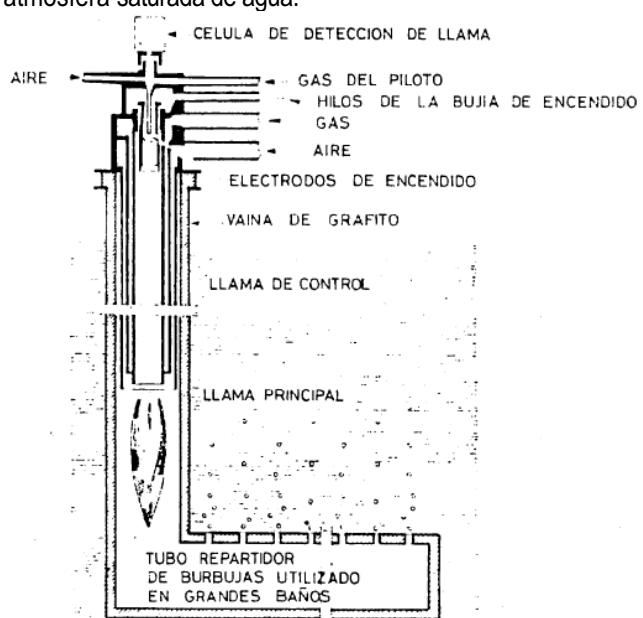


figura 6

## 2.6. Tubos radiantes

Los tubos radiantes recuperadores actúan como dispositivos térmicos mediante los cuales el calor que se genera en la combustión de un combustible gaseoso se utiliza en forma de radiación. Los tubos radiantes recuperadores constituyen el sistema de calentamiento indirecto a gas de alta temperatura más utilizado actualmente por las ventajas que presenta en aspectos tales como rendimiento, homogeneidad de temperatura, mantenimiento, etc. Los tubos radiantes recuperadores pueden definirse como unos equipos de calentamiento indirecto a la vez fuente y recuperador de calor. El aire comburente se precalienta mediante una circulación en contracorriente de los productos de la combustión en el interior de un intercambiador de calor gas/gas situado en la parte posterior del cabezal del generador en cuyo caso se denomina tubo radiante autorrecuperador, o bien, en el exterior del quemador, en cuyo caso se llama tubo radiante con recuperador de calor exterior.

El tubo radiante está constituido por un tubo metálico (figura 7), que puede resistir temperaturas de cámara de hasta 950 °C; o por un tubo cerámico que puede resistir temperaturas de trabajo de hasta 1.200 °C. Las potencias unitarias pueden variar entre 5 kW y 45 kW, si bien la gama comercial que se fabrica comúnmente es de 15kW y de 35kW.

El tubo radiante puede aplicarse a todo tipo de procesos industriales de tratamiento térmico al aire o con atmósfera controlada:

- Carbonitruración.
- Carburización.
- Nitrucción.
- Normalización.
- Temple.
- Recocido de materiales férricos y no férricos (alpacas, latones y bronces).
- Otros en los que se requiera un ambiente limpio y no contaminado (p. ej.: esmaltado y vitrificado).

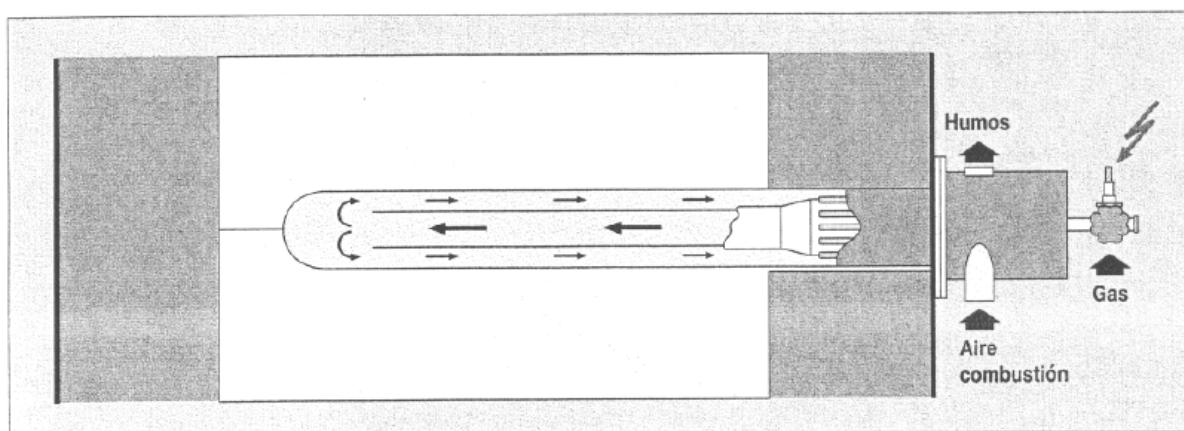


figura 7

## 2.7. Quemadores de radiación infrarroja

El funcionamiento de un quemador infrarrojo es similar al de un quemador atmosférico de llama azul, cuya cabeza está constituida por una placa cerámica perforada. La llama se forma en las proximidades del extremo exterior de los pequeños canales que tiene la placa cerámica. Al calentarse la placa se pone al rojo y genera calor en forma de radiación infrarroja (figura 8).

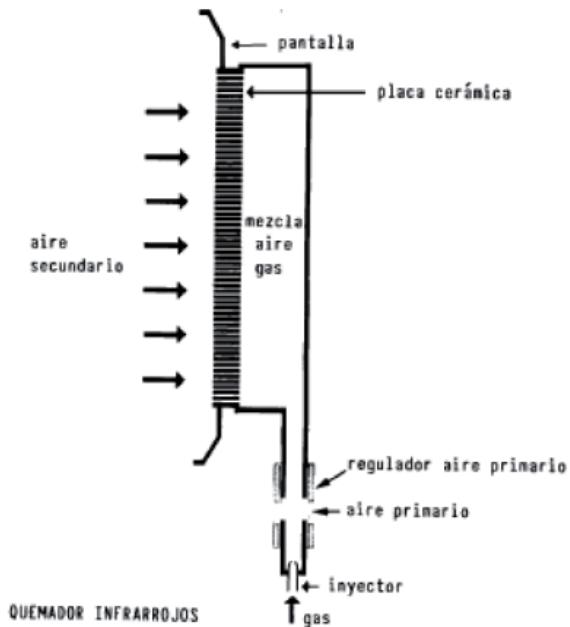


figura 8

Estos quemadores, además de su conocida utilización en las estufas domésticas, tienen otras aplicaciones en la industria. Una de las más usuales son los túneles de secado de pintura, la radiación infrarroja penetra en la pintura y seca primero las capas interiores.

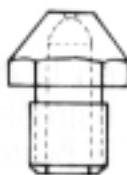
## 2.8. Quemadores de alta velocidad

Este tipo de quemadores, denominados también de vena de aire, son quemadores de gas destinados a funcionar en el seno de una vena de aire en movimiento generalmente dotado de una considerable velocidad.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS QUEMADORES

#### 3.1. Inyector

El inyector, también llamado “chicler”, es la pieza encargada de regular la potencia del quemador (figura 9). Tiene un orificio que fija el caudal de gas según la presión de suministro. Cualquier modificación del diámetro del orificio provoca la variación de la potencia del quemador para la misma presión de suministro. Si un inyector funciona correctamente, no debe modificarse su calibre ya que podría dar origen a una combustión defectuosa.

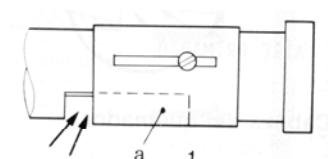


INYECTOR CALIBRADO

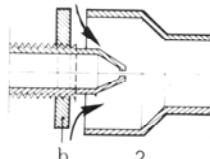
figura 9

#### 3.2. Cámara de mezcla y órgano de regulación de aire primario

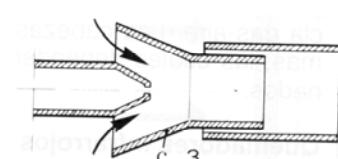
La cámara de mezcla es el elemento encargado de realizar la mezcla del aire primario y el gas. El aire primario entra en la cámara por la misma tobera que el gas o a través de unos agujeros practicados en las paredes del tubo, los cuales se llaman lumbreras. Las lumbreras pueden tener unos mecanismos que permiten regular la entrada de aire primario (figura 10).



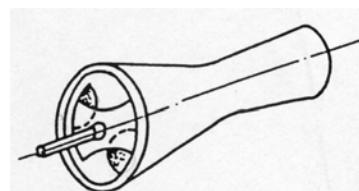
Por brida (a)



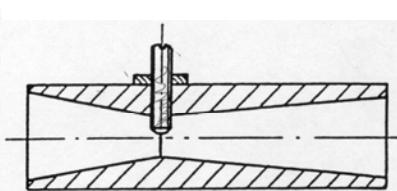
Por disco roscado (b)



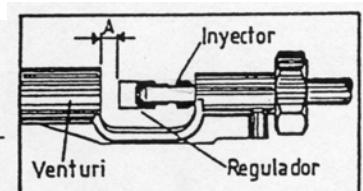
Por venturi regulable (c)



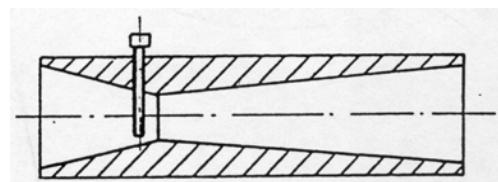
Mariposa



Tornillo de estrangulación



Capuchón



Tornillo de turbulencia

figura 10

El agujero del inyector es muy pequeño, y el gas cuando sale por éste lo hace a una velocidad muy elevada, lo que produce una depresión (efecto Venturi) que absorbe el aire primario que entra por las lumbreras (figura 7 y 8) mezclándose con el gas dentro del tubo (figura 11).

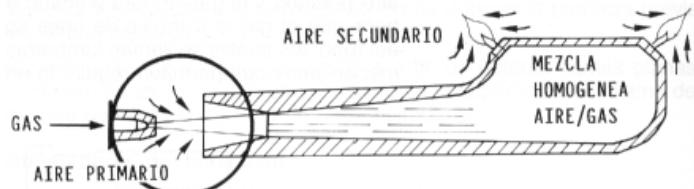


figura 11

### 3.3. Efecto Venturi

Un fluido que circule por un conducto horizontal de sección constante tiene la misma presión en todos sus puntos, ya que al ser horizontal la conducción, no hay diferencias de presión debidas a la altura.

Cuando en una conducción horizontal hay una variación de sección, como el caudal es el mismo en toda su longitud debe cumplir que:

$$\text{Caudal} = S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2$$

Si la sección  $S$  es menor en un punto determinado de la conducción, la velocidad  $V$  aumenta en este punto en la misma proporción, porque el caudal debe mantenerse constante.

En este caso se produce un efecto muy curioso, contrario a lo que pudiera esperarse por intuición. La presión que el fluido ejerce sobre el tubo en su parte angosta es inferior a la presión que ejerce el mismo fluido en la parte ancha del tubo. Es decir, la presión disminuye allí donde la velocidad aumenta en una conducción en la que no varíe su nivel.

Este efecto puede comprobarse mediante la construcción que se representa en la figura 12, en la que se observa que el manómetro que mide la presión en la parte estrecha indica menor presión que la que mide el manómetro instalado en la parte ancha.

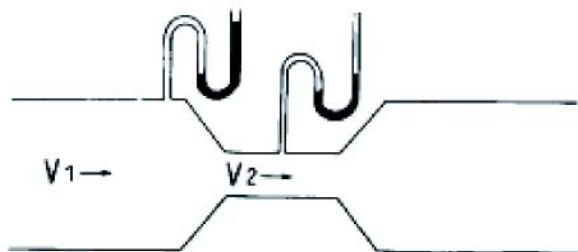


figura 12

Veamos cual es la aplicación que tiene el efecto Venturi en los quemadores. El agujero del inyector es muy pequeño, y el gas cuando sale por éste lo hace a una velocidad muy elevada, lo que produce una depresión que absorbe aire que entra por las lumbreras mezclándose con el gas dentro del tubo (figura 13).

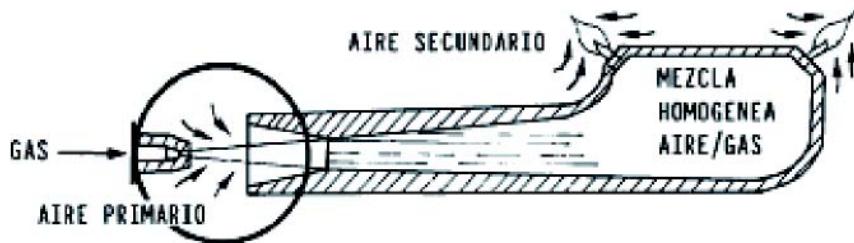


figura 13

### 3.4. Cabeza del quemador

En la cabeza del quemador se encuentran los orificios de salida de la mezcla gas-aire. Las cabezas de los quemadores pueden tener múltiples formas, las cuales dependen de la aplicación a la que se encuentren destinados (cocina, caldera, ...) (figura 14).

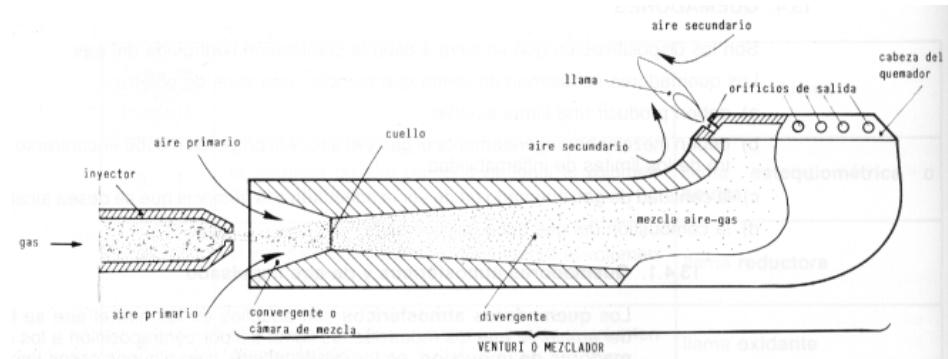


figura 14

## 4. FUNCIONAMIENTO DE LOS QUEMADORES

### 4.1. Funcionamiento correcto. Estabilidad de la llama

La mezcla de gas/aire sale por los orificios de la cabeza del quemador avanzando a una velocidad determinada mientras que su combustión se produce a otra velocidad de sentido opuesto (velocidad de propagación). Para que la llama quede en equilibrio en la cabeza del quemador es necesario que estas dos velocidades sean aproximadamente iguales, con una correcta regulación de gas y de aire. El aspecto de la llama es de tonalidad azulada y estable.

Vamos a describir los efectos indeseados que pueden darse en un quemador.

## 4.2. Funcionamiento defectuoso.

### 4.2.1. Desprendimiento de la llama

En la figura 15 se observa una llama desprendida.

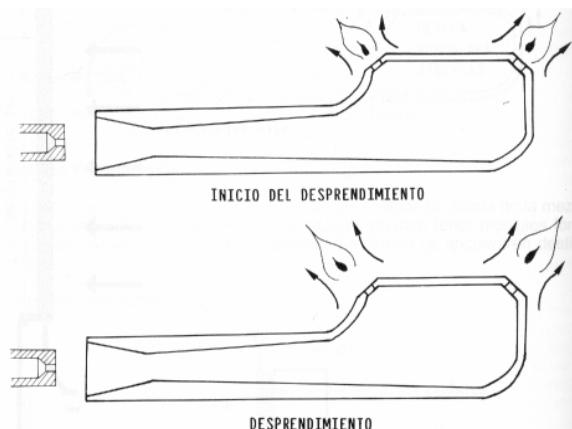


figura 15

El desprendimiento de la llama se produce cuando la velocidad de salida de la mezcla aire-gas por los orificios de la cabeza del quemador es superior a la velocidad de propagación de la combustión. Se corrige disminuyendo la presión de alimentación, cambiando el inyector, o regulando el aire primario. También puede darse este fenómeno si existe un exceso de aire primario, y en este caso deben ajustarse las lumbreras del quemador. Tienen tendencia al desprendimiento los quemadores que se encuentran alimentados por gas natural, butano propano o sus mezclas con aire.

### 4.2.2. Retorno de la llama

La figura 16 nos muestra el retorno de la llama o toma de fuego en el inyector.

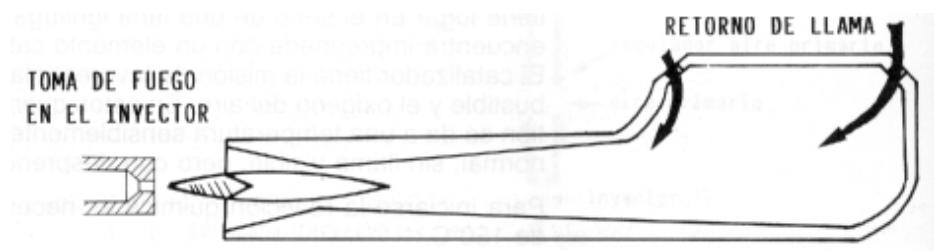


figura 16

El retorno de la llama se produce cuando la llama se propaga al interior del quemador y es debido a que la velocidad de salida de la mezcla aire-gas es menor que la velocidad de propagación de la combustión. Se corrige aumentando la presión de alimentación o cambiando el inyector.

#### **4.2.3. Puntas amarillas**

El fenómeno de las puntas amarillas se caracteriza por la aparición de flecos amarillos en la cima del cono azul en el interior de la llama. Estos flecos amarillos son debidos a la formación de partículas de carbono en el interior de la llama producidos por una incorrecta combustión de los hidrocarburos que componen el gas combustible. Estas partículas de carbono están sometidas a temperaturas muy elevadas, por lo que llevadas a la incandescencia dan la coloración amarilla de la llama.

Estas partículas de carbono deben recibir el oxígeno necesario para su combustión antes de que su temperatura sea demasiado baja porque sino se escapan de la llama, pudiéndose depositar si encuentran una superficie fría.

La aparición de puntas amarillas es característica de cada gas y se produce cuando hay un exceso de gas combustible o una falta de aire primario.

#### **4.2.4. Otros funcionamientos defectuosos.**

- Llama pequeña, vibrante y de tonalidad violácea: exceso de aire y/o defecto de gas.
- Exceso de llama, poca definición del cono de llama y puntas amarillas (penacho): defecto de aire y/o exceso caudal de gas.
- Llama pequeña y desprendimiento: elevada velocidad del gas o escaso caudal de gas y exceso de aire.
- Apagado de la llama en posición de mínimo en quemadores de cocinas: se produce por un aporte insuficiente de gas en la posición de regulación mínima del caudal de gas.

### **4.3. Estabilidad de la llama**

Para que la llama quede adherida al quemador, debe existir un equilibrio entre la velocidad de salida de la mezcla combustible por el quemador y la velocidad de avance de la llama.

La inestabilidad de la llama se produce por:

- Aumento de la velocidad de salida de la mezcla aire-combustible en relación a la velocidad de avance de la llama hasta un límite que pueda producir un despegue o desprendimiento de la llama.
- Disminución de la velocidad de salida de la mezcla aire-combustible en relación a la velocidad de avance de la llama hasta un límite que pueda producir un retroceso de la llama.

Este último fenómeno suele ser frecuente en gases con alto contenido en hidrógeno, debido a su alta velocidad de propagación de llama, tal y como se ha apuntado en el apartado 4.4.

Los diferentes factores que influyen en la estabilidad y aspectos de las llamas son los siguientes (tabla 1):

VARIACIÓN DE UN FACTOR QUEDANDO LOS DEMÁS CONSTANTES	TENDENCIA AL DESPRENDIMIENTO	TENDENCIA AL RETORNO DE LLAMA	APARICIÓN DE LAS PUNTAS AMARILLAS (CALIDAD DE LA COMBUSTIÓN)
Porcentaje de aireación primaria ↑	↑	↑	↓
Diámetro del inyector ↑	↑	↓	↑
Diámetro de los orificios ↑	↓	↑	↑
Profundidad de los orificios / diámetro ↑	↓	↓	nulo
Sección de salida ↑	↓	↑	↓
Separación de los orificios ↑	↑	nulo	↓

tabla 1

#### 4. QUEMADORES AUTOMÁTICOS CON AIRE PRESURIZADO

Estos quemadores se caracterizan por disponer de un sistema de alimentación forzada de aire y unos dispositivos de regulación, control y seguridad que los ponen en marcha o paran automáticamente en función de los valores de determinados parámetros (p.e. la temperatura del agua de una caldera). Se utilizan en aparatos que requieran una potencia elevada con hogares presurizados.

##### 4.1. Tipos

Los quemadores con aire presurizado corresponden, en general, al tipo denominado "mono-bloc" sin mezcla previa. Forman un conjunto compacto (figura 17), muy utilizados en calderas de calefacción central, calderas para la producción de agua caliente sanitaria o calentamiento de otros fluidos térmicos. También se emplean en aplicaciones industriales tales como hornos, secaderos o generadores de aire caliente. Están indicados especialmente para cámaras de combustión a baja o media temperatura (a título indicativo, inferior a 600 °C).

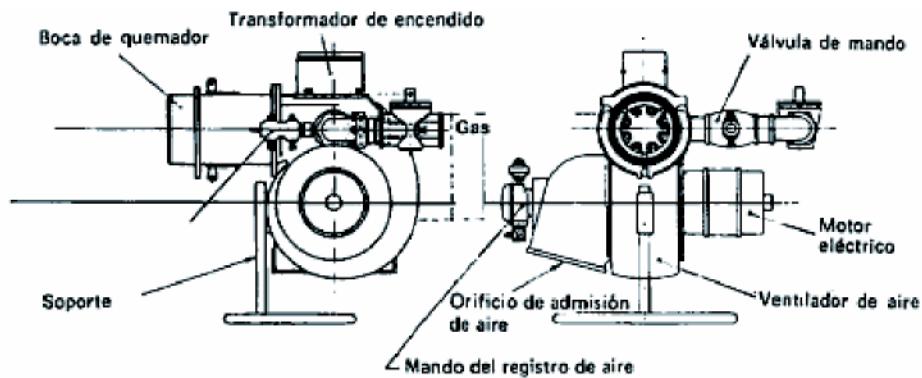


figura 17

En la figura 17 se representa, como ejemplo, el esquema de uno de estos quemadores, destacando sus principales componentes. En la figura 18 se muestran diferentes soluciones para el diseño del cabezal del quemador para efectuar la mezcla del aire con el gas.

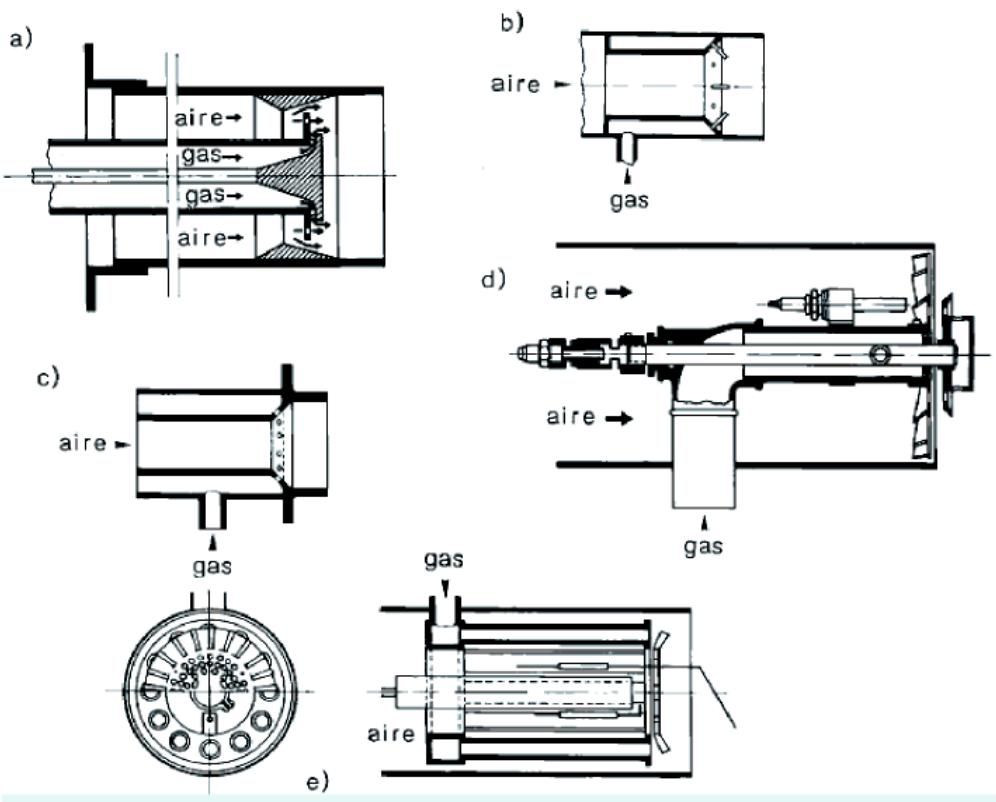


figura 18

#### 4.2. Descripción

Los quemadores de automáticos con aire presurizado están constituidos generalmente por los siguientes componentes:

- Las conducciones de aire y de gas y una cabeza de combustión provista de dispositivos favoreciendo la mezcla de los flujos de aire y gas, alimentados separadamente.
- Un ventilador de tipo centrífugo que proporciona el aire necesario para la combustión.
- Un sistema de ignición compuesto por un transformador de alta tensión y uno o dos electrodos de encendido. Algunos quemadores disponen de un piloto de encendido.
- Un sistema de detección de llama de respuesta prácticamente instantánea.
- Un sistema automático de maniobra que controla los dispositivos de encendido y seguridad y regula los caudales de aire y de gas, en función de la demanda térmica, manteniendo su proporcionalidad, ya sea de forma modulante (a pequeños intervalos), por etapas de potencia (en general dos o tres) o todo – nada.

- Unos presostatos de seguridad que bloquean el funcionamiento del quemador en caso de falta de presión de aire o exceso o defecto de presión de gas.
- Unas válvulas automáticas de seguridad, normalmente electromagnéticas, de cierre de paso de gas.

La secuencia de las operaciones automáticas de puesta en marcha es la siguiente:

- Autocontrol del estado de los circuitos del sistema de maniobra y del detector de llama (esta operación es opcional).
- Puesta en marcha del ventilador del quemador para efectuar una ventilación previa de la cámara de combustión con aire (llamado «barrido»). Esta operación tiene por objeto eliminar cualquier traza de mezcla de aire y gas que se hubiera podido formar y acumular durante el tiempo de parada. Se estima que este barrido es suficiente cuando se ha renovado cuatro veces el volumen de la cámara de combustión y conductos hasta la base de conexión con la chimenea. Con el caudal nominal de los ventiladores de aire de combustión en cámaras de dimensiones corrientes con respecto a su potencia, la puesta en marcha se realiza en un tiempo que oscila entre 30 s y 1 min. Este tiempo viene determinado por la norma establecida por el constructor. Para instalaciones de aparatos especiales este tiempo puede ser superior.
- Activación del sistema de encendido (chispa eléctrica).
- Apertura del circuito de gas, ya sea el quemador piloto o directamente el quemador principal a plena potencia o a caudal reducido, si fuera necesario.
- Activación del sistema de detección de llama.
- Desactivación del sistema de encendido.
- A partir de este momento, el sistema de regulación realiza automáticamente las sucesivas operaciones de encendido y apagado, repitiéndose toda la secuencia.

Si al arrancar el quemador no se produce el encendido de la llama dentro del margen de tiempo de seguridad (2 ó 3 segundos), se bloquea el sistema impidiendo la llegada de gas al quemador principal hasta que se corrija la anomalía.

Si el detector de llama detecta un fallo en la misma se produce igualmente el bloqueo del sistema.