

Incidencia de la aireación secundaria en llamas confinadas de quemadores atmosféricos de premezcla a alta presión

*Francisco Javier Cadavid Sierra**, *Jorge Enrique Buitrago García*,
y Daniel Velásquez

(Recibido el 22 de diciembre de 2001)

Resumen

En este trabajo se ha estudiado experimentalmente cuales son las variables que afectan la aireación secundaria y su relación con otros fenómenos cuya presencia compromete la operación óptima de la cámara de combustión, como son: el apagado y la estabilidad de la llama, así como las corrientes de recirculación de los productos de combustión en el interior de la cámara.

Así se desarrolló un sistema de combustión flexible que nos permitió variar el volumen de la cámara de combustión, el área de entrada de aire secundario, el área de salida de los productos de combustión y la potencia térmica. También se podía variar el área de entrada de aire primario, pero ésta no fue modificada y todo el tiempo se trabajó en la posición de máxima área.

Este montaje experimental nos permitió comparar y determinar la influencia de los parámetros de diseño, mencionados en el párrafo anterior, sobre la tasa de aireación secundaria en un sistema de combustión con llama confinada y se determinó que los parámetros que mayor influencia tienen sobre ella son el área de salida de humos (contrapresiones en la cámara de combustión) y la intensidad de combustión.

----- *Palabras clave:* llama confinada, quemadores atmosféricos de premezcla a alta presión, aireación secundaria, recirculación.

Incidence of secondary aeration in confined flames of high pressure premixed atmospheric burner

Abstract

In this work, an experimental study about the variables that affect the secondary aeration has been applied. The relationships with phenomena that affect the proper operation of the combustion chamber are discussed in detail. These

* Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y URE. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Antioquia. fco_cadavid@yahoo.fr.

phenomena are quenching, flame stabilization and the combustion product recirculation.

A flexible combustion system developed to allow variations in the volume of combustion chamber, the area of secondary air entrance, the outlet of combustion products and the thermal output is presented. Also, the system could vary the inlet of primary air, though the study is carried out with maximal working area.

The experimental setup allowed to compare and to find the influence of design parameters mentioned above on the secondary aeration and also to obtain the insight that the most important design parameters were combustion product outlet and the combustion intensity.

----- *Key words:* confined flames, high-pressure premixed atmospheric burner, secondary aeration, recirculation.

Introducción

En aplicaciones energéticas del gas natural en pequeñas y medianas empresas, la utilización de sistemas de combustión con llamas de premezclas confinadas a alta presión resulta viable, desde el punto de vista técnico-económico, debido a sus bajos costos de construcción y operación. Así por ejemplo, este tipo de sistemas, en general, no requieren ventiladores para impulsar el aire de combustión, puesto que este es arrastrado por el impulso del gas descargado a alta presión, lo que también incide en el tamaño de los principales componentes del quemador, haciéndolos más pequeños.

Los procedimientos de diseño y construcción de este tipo de sistemas de combustión requieren el examen de algunos fenómenos fluidodinámicos y de propagación de la combustión, en particular aquellos relacionados con los factores que inciden en la aireación secundaria, dado que ésta es determinante para garantizar una combustión completa en llamas de premezcla confinadas y para reducir las corrientes de recirculación en la cámara.

En este trabajo se ha estudiado experimentalmente cuáles son las variables que afectan la aireación secundaria y su relación con otros fe-

nómenos cuya ocurrencia compromete la operación óptima de la cámara de combustión como son: el apagado y la estabilidad de la llama así como las corrientes de recirculación de los productos de combustión al interior de la cámara.

Configuración y funcionamiento de un sistema de combustión con llamas de premezcla confinadas

En la figura 1 se presenta un sistema de combustión de llama de premezcla confinada a alta presión. Como puede observarse, está constituido por un quemador atmosférico de premezcla parcial a alta presión y una cámara de combustión.

El gas descargado por el inyector del quemador a presiones mayores de 100 mbar, debido al impulso, induce el aire primario para la combustión; en el mezclador se realiza la mezcla y se incrementa la presión, la cual es necesaria para vencer las resistencias en los puertos de llama de la cabeza. El aire secundario es inducido por la corriente de gases que sale de la cabeza para contribuir a completar la combustión en la cámara. La cámara de combustión es el recinto donde se desarrolla la llama y se forman los productos de la combustión que son el medio caloportador para transferir la energía térmica

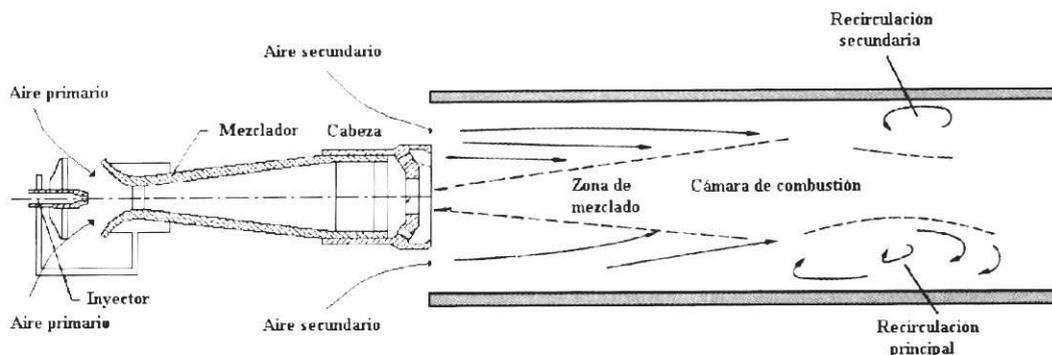


Figura 1 Sistema de combustión de llama de premezcla confinada a alta presión

liberada, cuando éstos circulan por un sistema de intercambio de calor.

Los parámetros básicos de operación de un quemador atmosférico de premezcla a alta presión son la potencia térmica y la tasa de aireación primaria, los cuales son determinantes en el funcionamiento de un sistema de combustión con llama confinada. Estos factores dependen de las propiedades de combustión del gas (densidad relativa, poder calorífico inferior o superior, volumen estequiométrico de aire), de la presión de suministro y de la geometría del quemador (diámetro del inyector, del cuello y de los puertos) [1-3].

En el diseño y operación de una cámara de combustión, un parámetro básico de diseño es la intensidad de combustión, definida como la relación entre la potencia térmica y el volumen de la cámara. En todo sistema de combustión confinado existe un volumen límite para liberar una determinada cantidad de energía de manera óptima sin que se generen fenómenos fluidodinámicos que puedan alterar la estabilidad de la combustión.

Otro factor determinante en la operación óptima de un sistema de combustión confinado con llama de premezcla es la tasa de aireación secundaria, definida como la relación entre el caudal de aire que entra a la cámara, inducido por el impulso de los gases calientes, y el caudal de gas. La tasa de aireación secundaria provee el oxígeno faltante para completar la combustión; así mismo atenúa los efectos negativos de las corrientes de recirculación que se forman en la cámara. Estas corrientes afectan la estabilidad de la llama; una excesiva recirculación puede producir el apagado de la llama y deteriorar la calidad de la combustión.

Identificación de variables incidentes sobre la aireación secundaria

El objetivo del proyecto es analizar la influencia de los parámetros geométricos en la zona de admisión de aire secundario sobre la tasa de ai-

reación secundaria y la estabilización de llamas confinadas en un quemador atmosférico de alta presión. En los diversos trabajos del Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía relacionados con el tema [1-2] y de la literatura estudiada [2-4], se ha identificado que los parámetros geométricos en la zona de admisión de aire secundario que mayor influencia tienen sobre la tasa de aireación secundaria y la estabilización de llama son los siguientes:

- Área de aireación secundaria.
- Área de salida de humos.
- Volumen efectivo de la cámara de combustión.
- Potencia del sistema (definida por el inyector y la presión de suministro).
- Sistema de estabilización de llama.
- Sistema de direccionamiento de aire secundario.

Procedimiento experimental

Equipos de medición utilizados

El montaje utilizado consistió de los siguientes elementos:

- Regulador de alta presión: empleado para garantizar las presiones de suministro a los quemadores desde 0,05 bar hasta 1,35 bares, marca AGA.
- Medidor de caudal volumétrico: marca SIERRA, empleado para medir el caudal de gas natural utilizado en las pruebas. El principio físico para la medición de caudal es el denominado "hilo caliente". Rango de operación: 0-70 l/min. Precisión: ± 1 l/min.
- Quemadores de ensayo: se utilizó un quemador de premezcla parcial a alta presión con flexibilidad para el cambio de las cabezas de estabilización de llama. El quemador consiste en un conducto tipo venturi con una zona de

- transición que permite el mezclado del aire y del gas (ver figura 1).
- Inyectores: se utilizaron inyectores debidamente calibrados, con diámetros de 0,58, 0,68, 0,75, 0,90 y 1,10 mm.
 - Sistemas para la estabilización de llama: se diseñó una cabeza estabilizadora de llama que permitió flexibilidad en la modulación de la potencia, variando el diámetro del inyector y la presión de suministro.
 - Cámara de combustión flexible que permite variar el volumen útil, la sección de salida de los humos y la entrada del aire secundario. El área útil de entrada de aire secundario puede variarse mediante el desplazamiento axial al eje del quemador de un anillo roscado. Además se puede variar la geometría de admisión del aire secundario mediante el uso de un dispositivo mecánico denominado *bafle*, que tiene la forma de una tobera convergente que acelera el flujo de gas.
 - Termocuplas: se utilizaron para medir la temperatura de los humos de combustión en la zona media de la cámara, en la salida de la cámara de combustión, la temperatura ambiente y la temperatura de la premezcla. Las termocuplas utilizadas fueron:
 - Termocuplas tipo R con pozo cerámico para inmersión en fluidos: utilizada para la medición de la temperatura en la parte media y final de la cámara de combustión. Rango de medición: 0-1.750 °C. Precisión: ± 1 °C.
 - Termocupla tipo PT-100 con recubrimiento metálico: utilizada para medir la temperatura ambiente. Rango de medición: 0-100 °C. Precisión: ± 1 °C.
 - Termocupla tipo K con recubrimiento metálico: utilizada para medir la temperatura de la premezcla. Rango de medición: 0-1.300 °C. Precisión: ± 1 °C.
 - Registrador: utilizado para obtener los registros de temperatura de las termocuplas tipo R.
 - Sistema de adquisición de datos serie MULTILOG: utilizado para el registro y adquisición de la temperatura ambiente, la humedad relativa y la presión atmosférica. Los datos adquiridos fueron almacenados y presentados gráficamente en un computador portátil.
 - Medidor tipo Vernier: necesario para establecer la longitud de la zona de aireación secundaria.
 - Analizador de gases infrarrojo: empleado para determinar la composición del metano (CH_4) y oxígeno (O_2) en la premezcla y la composición de O_2 , monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) y CH_4 en los gases de la combustión.
 - El equipo utilizado en este trabajo fue un analizador MULTOR 610, el cual determina la composición de: CH_4 (0-25%), CO (0-5%), CO_2 (0-25%) por infrarrojo y O_2 (0-21%) mediante una celda electroquímica incorporada al analizador IR.
 - Cilindros de gas natural a alta presión: se utilizó gas natural de Guajira, almacenado en cilindros a 200 bares. En la tabla 1 se muestra la composición de dicho gas.

Procedimiento para el desarrollo de las pruebas

El quemador de trabajo permite realizar variaciones geométricas tales como el cambio de inyectores, de cabezas y del área de entrada de aire primario; está conformado por cuatro elementos que se acoplan entre sí: cabeza, quemador, inyector y zona de admisión de aire primario. El quemador opera en condiciones de llama confinada.

La cámara de combustión tiene un diámetro de 70 mm y una longitud máxima de 685 mm (ver figura 2). Un recubrimiento en lana cerámica le permite al sistema concentrar, en el interior de la

Tabla 1 Composición del gas natural empleado en los ensayos

<i>Componente</i>	<i>Concentración (%)</i>
Metano	97,7600
Etano	0,3800
Propano	0,2000
n-Butano	0
i-Butano	0
n-Pentano	0
i-Pentano	0
Hexano	0
Heptano	0
N ₂	1,2900
CO ₂	0,3700
Propiedades	
Va	9,4177
P.C.I.	9,3277 kW / m ³ _(st)
Grav. específica	0,5665
%CO ₂ máx.	11,7782

cámara, el calor liberado en el proceso de combustión, con lo que se disminuyen las pérdidas de calor por convección de las paredes de la cámara al ambiente.

El desplazamiento de la zona de evacuación de humos mediante un sistema sin fin-corona permite trabajar con volúmenes diferentes en la experimentación. Los volúmenes con los cuales se trabajó en la parte experimental se presentan en la tabla 2.

Para la variación del área en la salida de los humos se utilizó un cono que apunta hacia el inyector y que varía su posición con la manipulación de un tornillo que lo desplaza axialmente hacia el

Tabla 2 Volúmenes utilizados en los ensayos

<i>Indicador de posición</i>	<i>Volumen (m³)</i>
VC máx	2,5207 x 10 ⁻³
VC med	1,7414 x 10 ⁻³
VC mín	1,2219 x 10 ⁻³

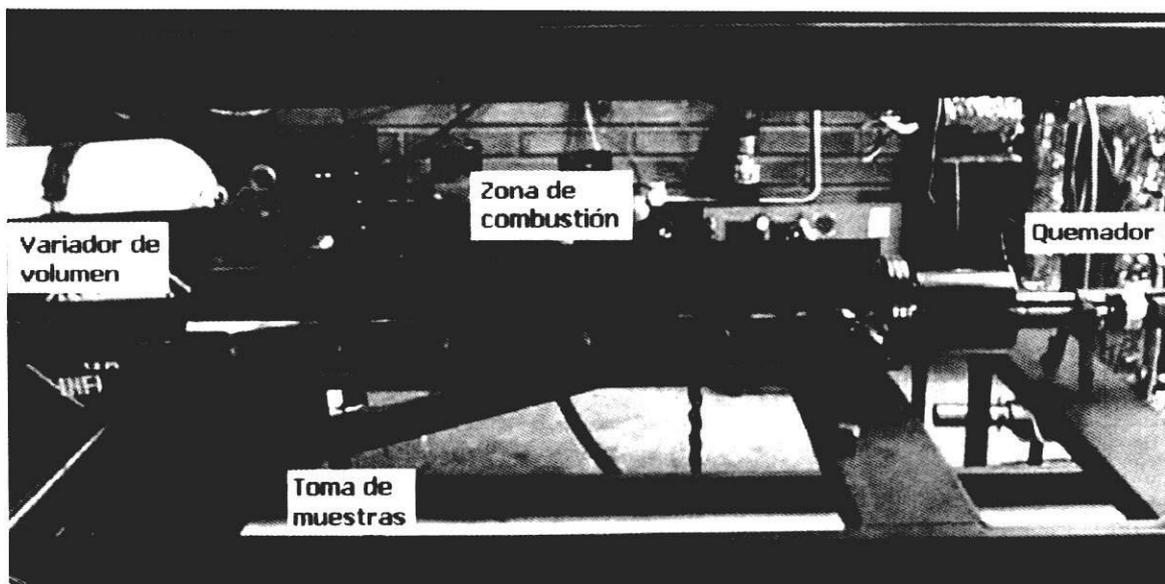


Figura 2 Cámara de combustión para ensayos

interior de la cámara de combustión. Las áreas en la salida de los humos (ASH) se presentan en la tabla 3.

Tabla 3 Área de salida de humos

Indicador de posición	Área (m ²)
ASH máx	3,8485 x 10 ⁻³
ASH mín	1,8850 x 10 ⁻³

Para modificar el área de entrada de aire (AEAS) se utilizó un sistema tuerca-tornillo. En la tabla 4 se presentan los valores empleados cuando se trabaja la cámara de combustión sin baffle y en la tabla 5 los valores correspondientes cuando se le adiciona a la cámara de combustión un baffle.

Tabla 4 Área de entrada de aireación secundaria para cámara de combustión sin baffle

Indicador de posición	Área (mm ²)
AEAS 1	439,51
AEAS 2	676,18
AEAS 3	1056,53
AEAS 4	1690,44

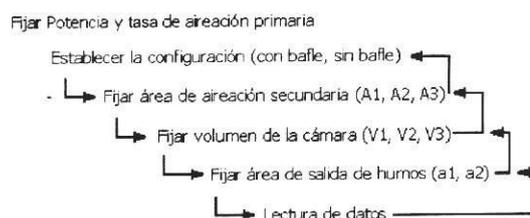
Tabla 5 Área de entrada de aireación secundaria para cámara de combustión con baffle

Indicador de posición	Área (mm ²)
AEAS 1	439,51
AEAS 2	794,51
AEAS 3	1056,53
AEAS 4	1741,16

La información de entrada básica fue: la composición del gas, la presión de suministro, la geometría del quemador (tipo de inyector y tipo de estabilización), la temperatura del sitio, la presión atmosférica, la temperatura de premezcla y el AEAS.

Las variables para medir durante las pruebas fueron: el caudal de gas, el porcentaje de CH₄ y de O₂ en la premezcla, de O₂, CO₂, CO y CH₄ en los productos de combustión, el caudal de combustible para la determinación de la potencia y la temperatura de los humos en la salida de la cámara de combustión.

Los ensayos se organizaron de tal manera que se pudieran modificar las variables incidentes sobre la tasa de aireación secundaria para lo cual se trabajó la siguiente secuencia:



Como variables respuesta en cada ensayo se registraron:

- En la premezcla, el porcentaje en volumen de metano (CH₄), con lo cual es posible determinar el factor de aireación primaria, así:

$$n_p = \frac{1}{V_a} \left(\frac{y_{CH_4}}{y'_{CH_4}} - 1 \right) \quad (1)$$

Donde:

n_p : Tasa de aireación primaria, valor adimensional.

V_a : Volumen estequiométrico de aire, en m³_(st) de aire/m³_(st) de combustible.

y_{CH_4} : Fracción de metano en el gas combustible de ensayo, en porcentaje.

y'_{CH_4} : Fracción de metano en la premezcla, en porcentaje.

- En los humos de combustión a la salida de la cámara se registró CO₂, CO, CH₄ y O₂. Con

los porcentajes de CO₂ y O₂ y utilizando el software ENARGAS [5] se determina el factor de aireación total. La tasa de aireación secundaria, que es la medida de la entrada de aire secundario en relación con el caudal de gas utilizado en cada ensayo, queda definida por:

$$n_s = n - n_p \quad (2)$$

Donde:

n_s : Tasa de aireación secundaria, valor adimensional.

n : Factor total de aireación, valor adimensional.

n_p : Tasa de aireación primaria, valor adimensional.

- La intensidad de combustión, que se define como la razón entre la potencia térmica y el volumen útil de la cámara de combustión (ecuación 3).

$$IC = \frac{P_t}{VC} \quad (3)$$

Donde:

IC : Intensidad de combustión, en kW/m³.

VC : Volumen de la cámara de combustión, en m³.

P_t : Potencia térmica, en kW.

Análisis de resultados

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la parte experimental. Está dividido en tres secciones: en la primera se presentan los resultados obtenidos cuando la cámara de combustión trabaja sin baffle, en la segunda, cuando lo hace con baffle y en la tercera se compara el comportamiento de la cámara al trabajar con baffle y sin él.

En todas las pruebas realizadas se hizo un análisis de los productos de combustión y en ningún

caso las emisiones de CO superaron el 0,05% en volumen y en general no se detectó presencia de CH₄.

Funcionamiento de la cámara de combustión sin baffle (SF)

Influencia de la intensidad de combustión sobre la tasa de aireación secundaria al modificar el área de entrada de aire secundario manteniendo constante el área de salida de humos

En las figuras 4 y 5 se muestra cómo varía la tasa de aireación secundaria (n_s) al modificar la intensidad de combustión (IC) para un área de entrada de aire secundario (AEAS) y un área de salida de humos (ASH) dada. También se puede ver cómo varía n_s con los cambios en el AEAS manteniendo constantes IC y ASH. Así mismo se muestra cómo influyen las variaciones en ASH sobre la tasa de aireación secundaria si se mantienen constantes AEAS e IC.

Por ejemplo en la figura 3 se ve que las mayores tasas de aire secundario se obtienen al trabajar con el AEAS4 y el ASH máx. En la figura 4, esto se da al trabajar con AEAS3 y el ASH máx. Si se compara la tasa de aireación secundaria al trabajar con una intensidad de combustión fija, se observa que con las áreas de salida mínimas se obtuvieron menores tasa de aireación secundaria que cuando se trabajó con las áreas de salida máximas. Esto, causado por las contrapresiones generadas en el extremo de la cámara al disminuir dicha área.

Esto nos permite concluir que las disminuciones en el ASH causan disminuciones en la tasa de aireación secundaria.

También se observa que, en general, a medida que el AEAS aumenta, la tasa de aireación secundaria aumenta. Las razones por las cuales en la figura 4 se obtienen tasas de aireación secundarias mayores al trabajar con el AEAS3-ASH máx y con el AEAS2-ASH máx que con el

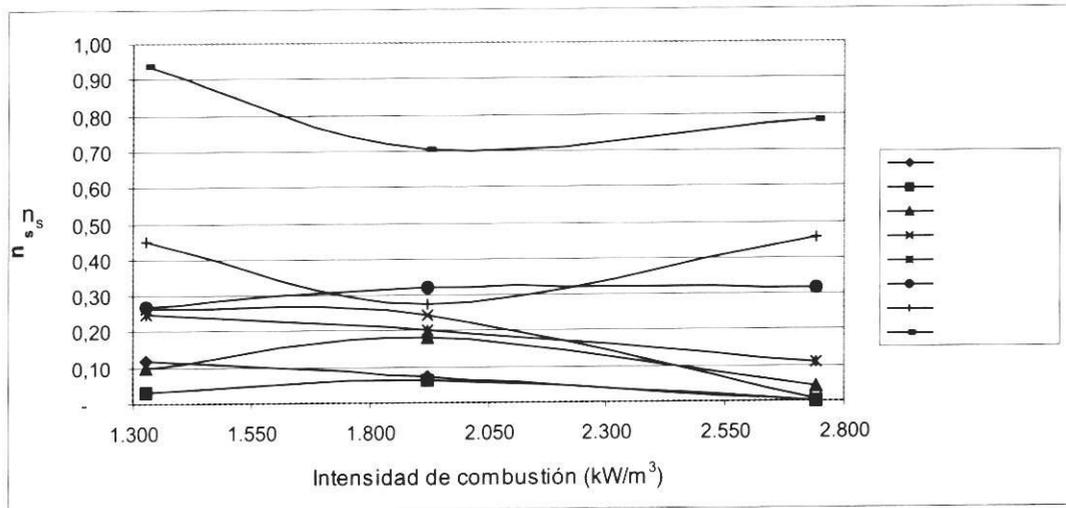


Figura 3 Intensidad de combustión vs tasa de aireación secundaria. Potencia: 3,35 kW

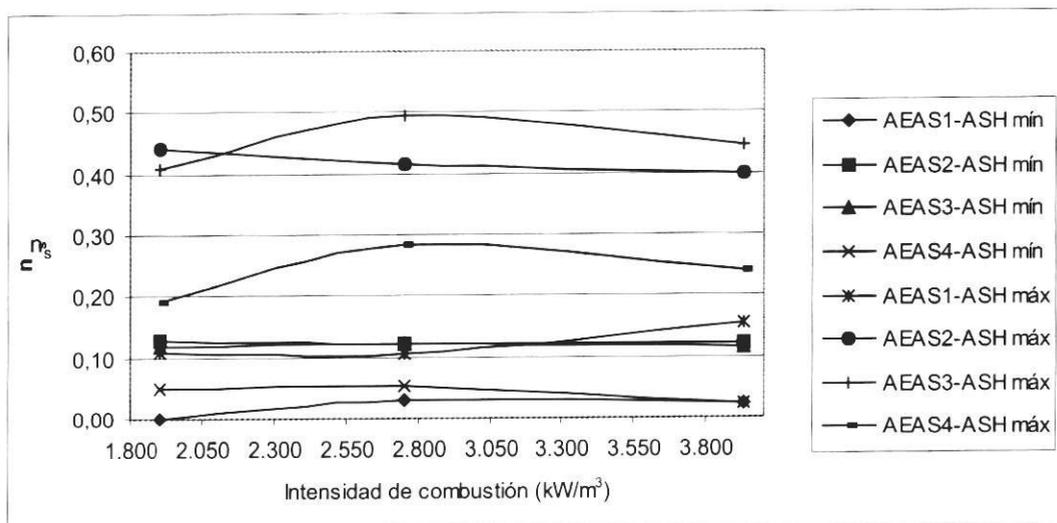


Figura 4 Intensidad de combustión vs tasa de aireación secundaria. Potencia: 4,80 kW

AEAS4-ASH máx aún no son claras. Este es un comportamiento aparentemente anómalo.

Influencia del área de entrada de aire secundario sobre la tasa de aireación secundaria manteniendo constante el volumen de la cámara y el área de salida de humos

En las figuras 6 y 7 se grafica la variación de n_s al modificar AEAS, trabajando con potencias

térmicas de 4,8 y 3,35 kW respectivamente. En ellas se puede ver cómo influyen el volumen de la cámara de combustión (VC) y el ASH sobre la tasa de aireación secundaria al mantener constante el AEAS.

En éstas se comprueba nuevamente lo dicho anteriormente, es decir, que cuando se trabaja con el ASH mín se obtienen las más bajas tasas de aireación secundaria.

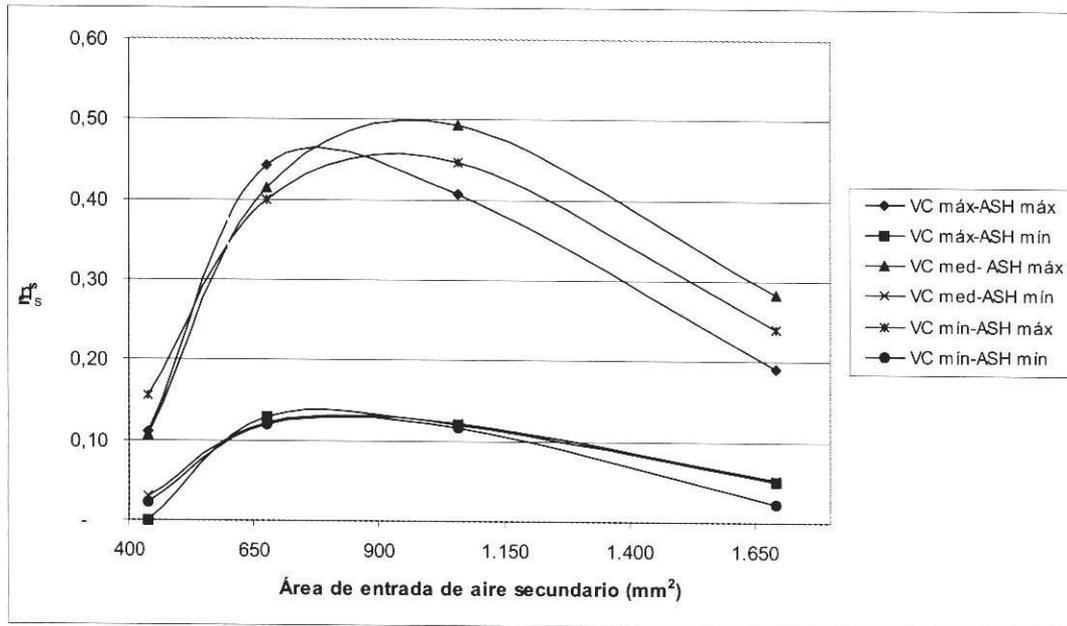


Figura 5 Área de entrada de aire secundario vs tasa de aireación secundaria. Potencia del quemador: 4,8 kW

En la figura 5 se ve adicionalmente que existe un valor en AEAS a partir del cual la tasa de aireación secundaria en vez de aumentar comienza a disminuir. Es decir, que existe un valor óptimo de diseño para AEAS, que en este caso se ubica entre 650 y 900 mm². Este comportamiento, aparentemente se da a partir de un valor de intensidad de combustión, pues en la figura 6 se tiene un comportamiento diferente. En ésta, al contrario de la figura 5, a medida que aumenta AEAS aumenta n_s . Así mismo se ve que, en general, para una potencia dada, a medida que aumenta VC aumenta la n_s .

Influencia del ASH sobre la n_s manteniendo constantes AEAS e IC

En la figura 7 se grafica la tasa de aireación secundaria en función del ASH. En ella se puede comparar el comportamiento del sistema de combustión al trabajar con IC y 4 AEAS. En general se observa que al disminuir la IC aumenta la n_s . Una vez más se ve que al trabajar con el ASH mín se presenta una fuerte disminución en n_s .

Por ejemplo, se ve que n_s al trabajar con el AEAS3 y el ASH máx es cuatro veces mayor que al trabajar con el AEAS3 y el ASH mín.

Funcionamiento de la cámara de combustión con bafle (CB)

El objetivo de esta sección es el de determinar la influencia de la adición a la cámara de combustión de un bafle sobre la tasa de aireación secundaria.

Influencia de IC sobre n_s al modificar el AEAS. ASH constante

En la figura 8 se grafica n_s en función de IC para cuatro valores de AEAS y dos valores de ASH. La diferencia entre esta figura y la 4 es la adición de un bafle a la cámara de combustión.

Al igual que en la figura 4, en ésta se ve que las mayores n_s se obtuvieron al trabajar con el AEAS3 y el ASH máx. Si se compara con la figura 4 se ve que al trabajar sin bafle se obtienen mayores tasas de aireación secundaria.

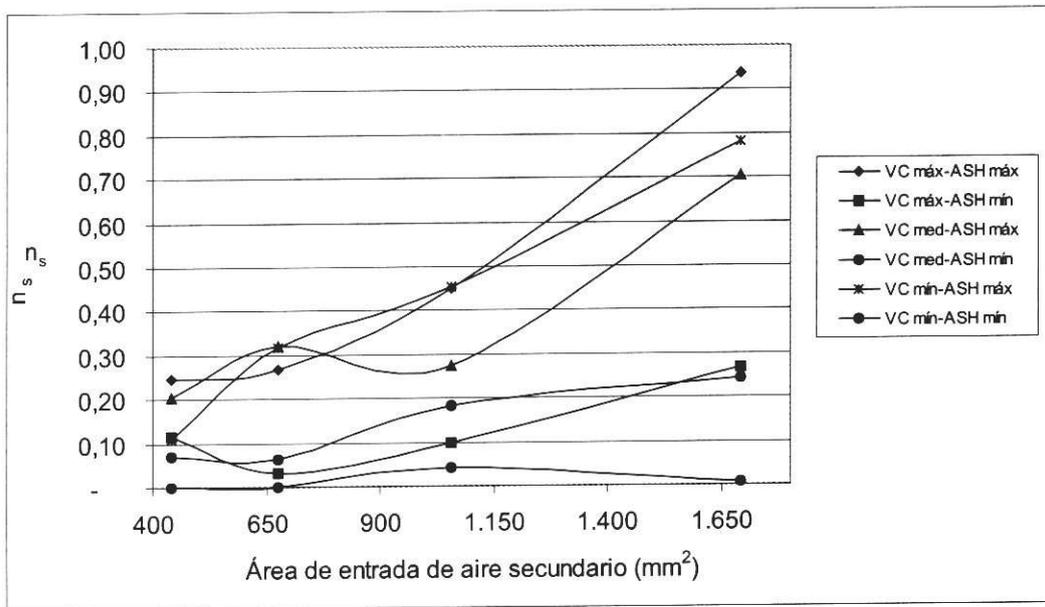


Figura 6 Área de entrada de aire secundario vs tasa de aireación secundaria (n_s). Potencia del quemador: 3,35 kW

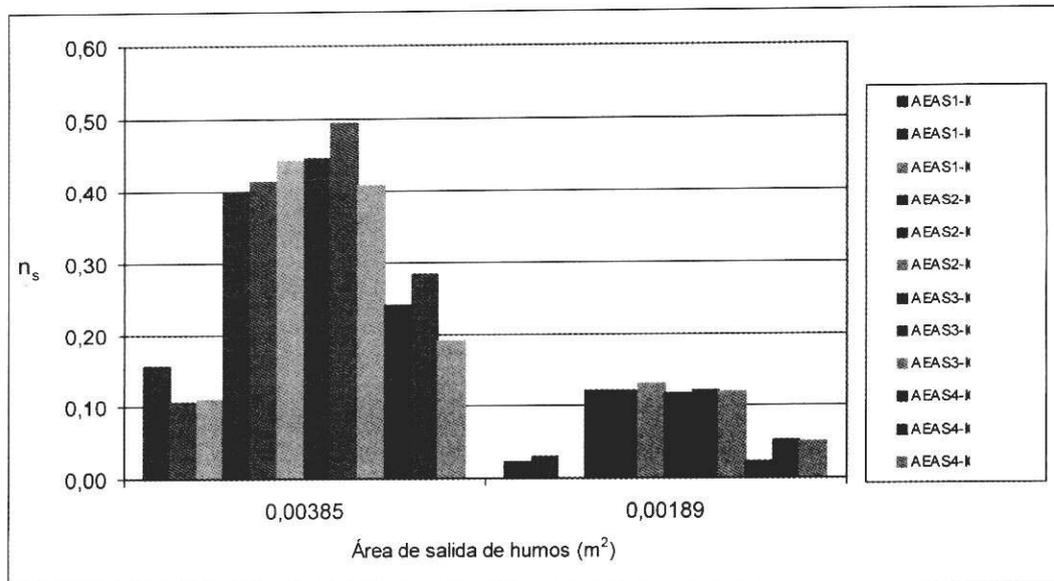


Figura 7 Área de salida de humos vs tasa de aireación secundaria (n_s). La IC y el AEAS permanecen constantes

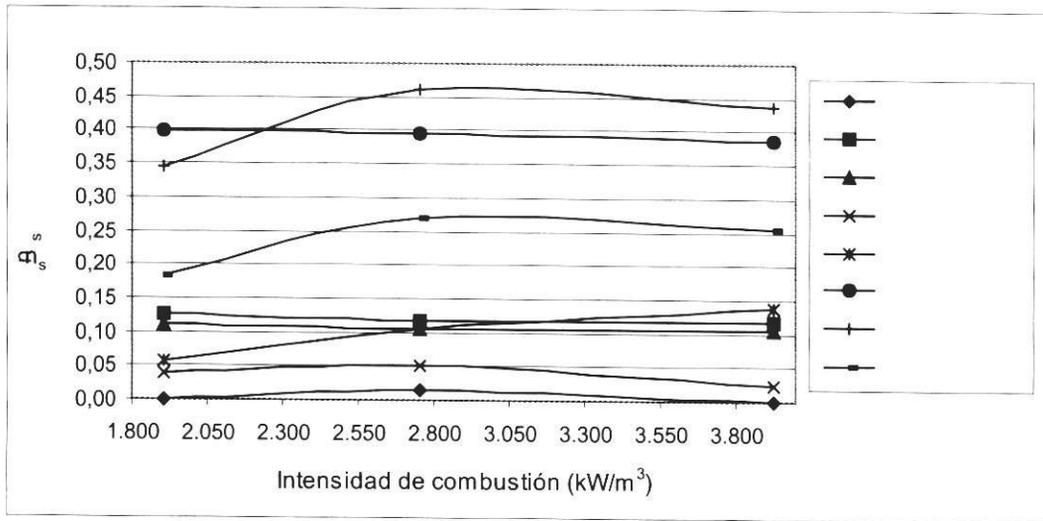


Figura 8 Intensidad de combustión vs tasa de aireación secundaria. Potencia: 4,80 kW. Área de salida constante

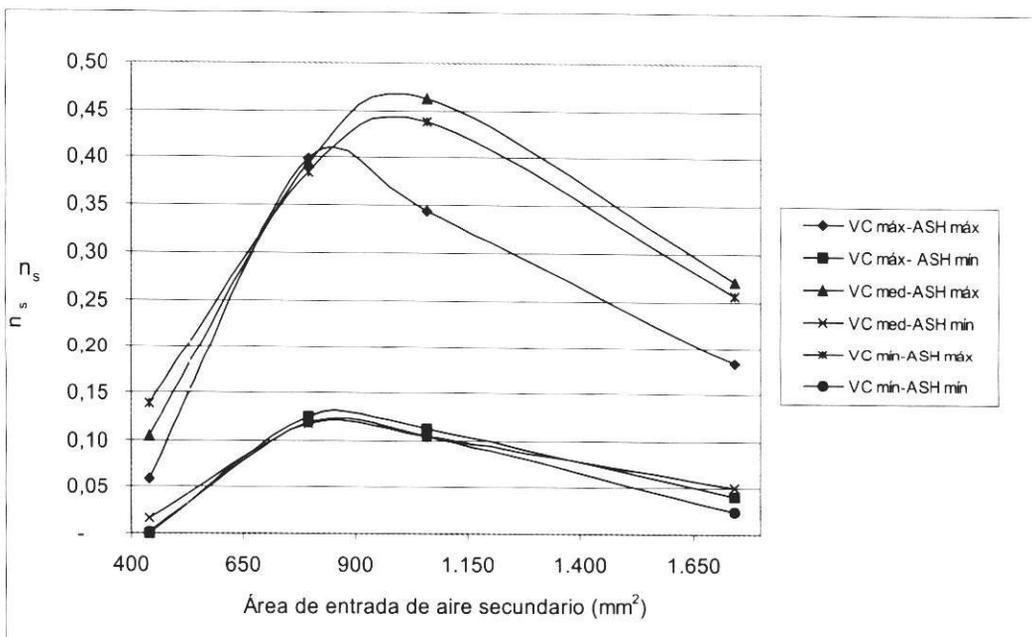


Figura 9 Área de entrada de aire secundario vs tasa de aireación secundaria (n_s). Potencia del quemador: 4,80 kW

Influencia del AEAS sobre la n_s manteniendo constante VC y ASH

En la figura 9 se grafica n_s en función de AEAS. Se observa un comportamiento semejante al observado en la figura 5; sin embargo, en este caso se obtienen valores inferiores n_s . También se observa un corrimiento hacia la derecha del rango idóneo de área de entrada de aire secundario, en este caso se debería trabajar con un AEAS comprendida entre 700 y 1.000 mm². Como en el caso de la figura 5 y contrario a lo esperado, las mejores tasas de aireación secundaria se obtuvieron con una cámara de combustión de volumen intermedio y no máximo, lo cual resulta paradójico. A este fenómeno aún no se le ha encontrado explicación.

Influencia del área de salida de humos sobre la tasa de aireación secundaria manteniendo constantes el área de entrada de aire secundario y la intensidad de combustión

En la figura 10 se presenta n_s en función de ASH al trabajar con cuatro AEAS y tres IC al adicionarle un bafle a la cámara de combustión.

Como en la figura 7, se observa que al disminuir la IC se mejora la n_s . La mejoría más notoria se

presentó con el AEAS1 que pasó de una tasa de aireación secundaria de 0,14 al trabajar con una IC igual a 3.930 kW/m³ a una de 0,60 cuando se emplea una IC igual a 1.900 kW/m³.

Comparación del funcionamiento entre una cámara de combustión sin bafle (SB) y una con bafle (CB)

En esta sección se busca determinar cómo afecta la adición de un bafle en la cámara de combustión el funcionamiento del sistema de combustión. En la primera sección se muestra el comportamiento de n_s al trabajar con diferentes IC para dos AEAS y ASH. En la segunda sección se presentan las variaciones en n_s al variar ASH para dos AEAS y tres IC. Finalmente en la tercera sección se grafica la n_s en función de AEAS para tres valores IC y ASH. Toda esta parte de la experimentación se realizó utilizando un quemador de 4,8 kW de potencia térmica.

Influencia de la IC sobre n_s al modificar el AEAS manteniendo constante ASH

En las figuras 11 y 12 se compara el efecto del área de salida sobre la tasa de aireación secundaria.

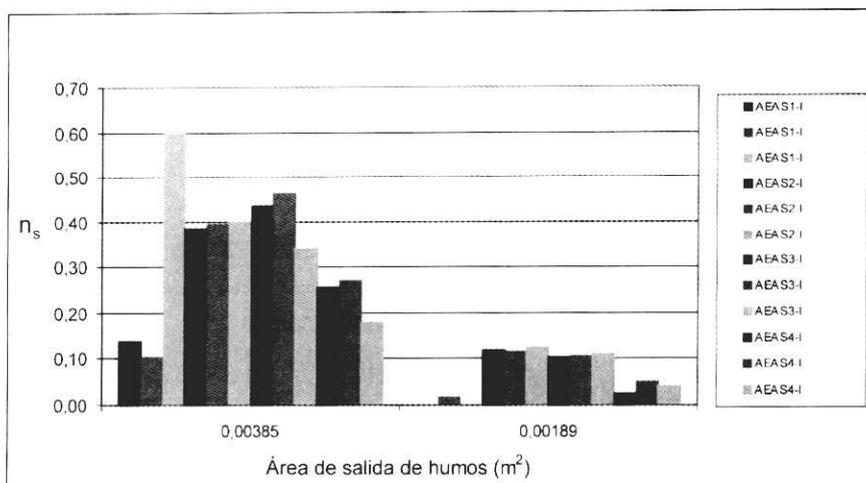


Figura 10 Área de salida de humos vs tasa de aireación secundaria (n_s). La intensidad de combustión y el área de entrada de aire secundario permanecen constantes

Al comparar los resultados de las figuras 12 y 13 se observa que al trabajar la cámara de combustión sin baffle se obtienen valores un poco mayores de n_s que cuando se trabaja con baffle.

Influencia del área de salida de humos sobre la aireación secundaria al modificar el área de entrada de aire secundario, con intensidad de combustión constante

Al comparar los resultados de las figuras 14, 15 y 16, se ve que al trabajar la cámara de combustión sin baffle se obtienen valores mayores de n_s que cuando se trabaja con baffle, además al aumentar la IC se obtuvieron, como era de esperarse, menores valores de n_s .

Influencia del área de entrada de aire secundario sobre la aireación secundaria. Intensidad de combustión y área de salida constantes

Intensidad de combustión 1.900 kW/m³. Al comparar los resultados de las figuras 17, 18, 19, 20 y 21, nuevamente se ve reflejado el hecho de que al trabajar la cámara de combustión sin baffle se obtienen valores mayores de tasa de aireación secundaria que cuando se trabaja con baffle. Así mismo se observa que al trabajar con un área de entrada de aire secundario comprendida entre 800 y 900 mm² se obtienen las mayores tasas de aireación secundaria, independientemente de si se trabaja la cámara de combustión con baffle o sin él.

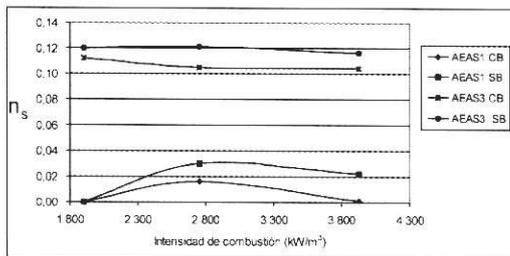


Figura 11 Intensidad de combustión vs tasa de aireación secundaria. Área de salida 0,00385 m²

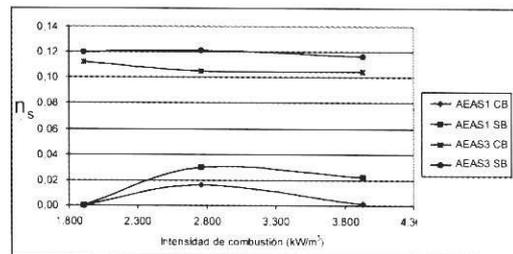


Figura 12 Intensidad de combustión vs tasa de aireación secundaria. Área de salida = 0,00189 m²

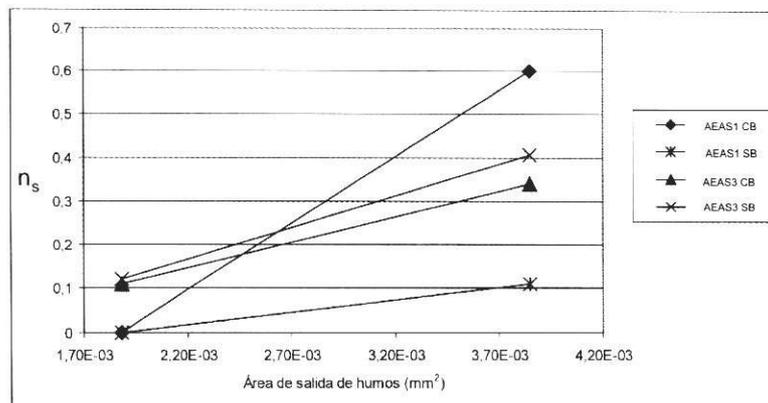


Figura 13 Área de salida de humos vs tasa de aireación secundaria. Intensidad de combustión 1.900 kW/m³

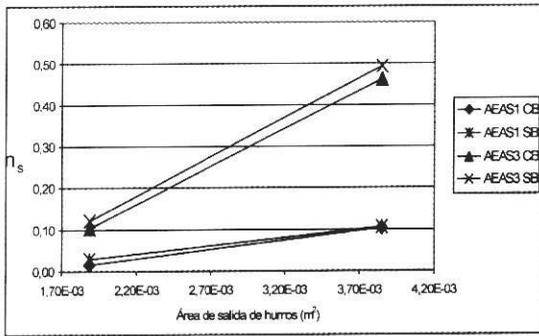


Figura 14 Área de salida de humos vs tasa de aireación secundaria. Intensidad de combustión 2.760 kW/m³

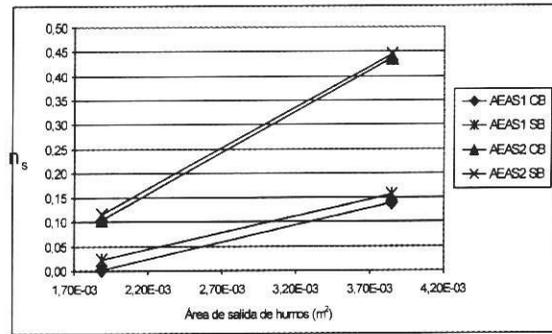


Figura 15 Área de salida de humos vs tasa de aireación secundaria. Intensidad de combustión 3.930 kW/m³

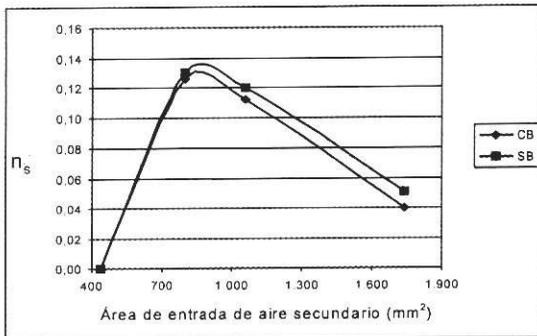


Figura 16 Área de entrada vs tasa de aireación secundaria (n_s). Área de salida 0,00385 m²

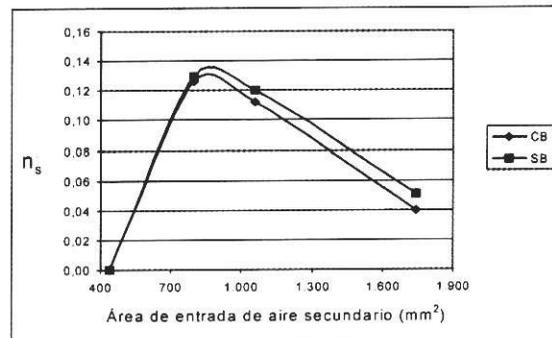


Figura 17 Área de entrada vs tasa de aireación secundaria (n_s). Área de salida = 0,00189 m²

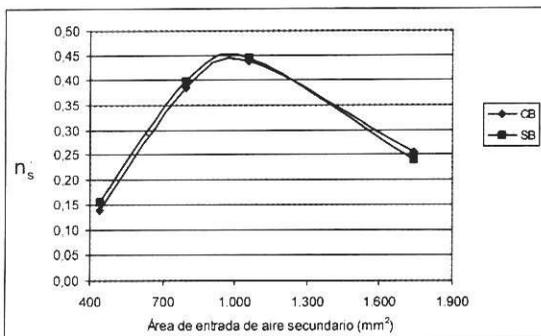


Figura 18 Área de entrada vs tasa de aireación secundaria (n_s). Área de salida: 0,00385 m²

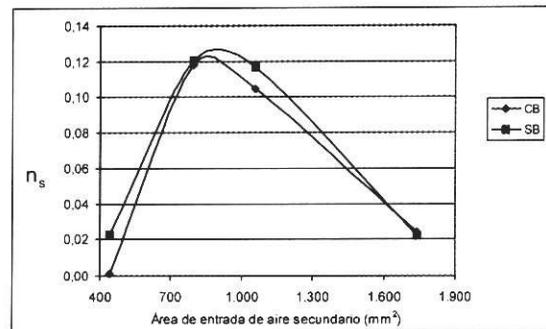


Figura 19 Área de entrada vs tasa de aireación secundaria (n_s). Área de salida: 0,00189 m²

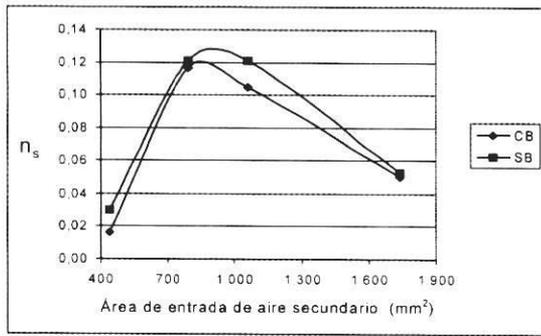


Figura 20 Área de entrada vs tasa de aireación secundaria (n_s). Área de salida: $0,00189 \text{ m}^2$

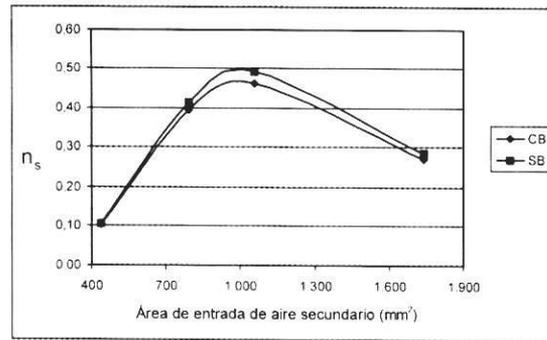


Figura 21 Área de entrada vs tasa de aireación secundaria (n_s). Área de salida: $0,00385 \text{ m}^2$

Conclusiones

- De los resultados obtenidos se puede concluir que el factor que más afecta la tasa de aireación secundaria es el área de salida de humos. Esto se esperaba puesto que las disminuciones en esta área generan presiones positivas en el extremo de cámara de combustión, lo cual impide la correcta entrada de aire secundario.
- Cuando se trabajó con un quemador de potencia térmica igual a 4,80 kW se observó que las máximas tasas de aireación secundaria se obtuvieron con un área de entrada de aire secundario comprendida entre 800 y 900 mm^2 , pero cuando se trabajó con una potencia térmica de 3,35 kW la máxima tasa de aireación secundaria se obtuvo cuando se utilizó la mayor área de entrada de aire secundario, es decir 1.741,0 mm^2 .
- La adición de un baffle a la cámara de combustión, en vez de generar aumentos en la tasa de aireación secundaria ocasionó pequeñas disminuciones en esta.
- Como se esperaba, los aumentos en la intensidad de combustión producen disminuciones en la tasa de aireación secundaria.

Agradecimientos

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos al Comité para el Desarrollo de la In-

vestigación, CODI, adscrito a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Antioquia, que con fondos provenientes de la estampilla municipal y departamental financió este proyecto. Así mismo agradecemos al Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería, CIA, por su importante colaboración en aspectos administrativos y logísticos requeridos en la ejecución del proyecto.

Referencias bibliográficas

1. Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía. Proyecto *Incidencia de los parámetros geométricos y de flujo primario sobre la tasa de la aireación y emisiones de CO en un quemador atmosférico de baja presión*. Universidad de Antioquia. 1998.
2. Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía. Proyecto *Incidencia de los parámetros geométricos y de flujo primario sobre la tasa de la aireación y emisiones de CO en un quemador atmosférico de mediana y alta presión*. Universidad de Antioquia. 1999.
3. Collection des techniques gazières, Calcul. *Conception et utilisation des Brûleurs industriels à Gaz*. Association technique de l'industrie du gaz en France. Paris. 1983.
4. E. J. Weber, "Principles of secondary aeration of atmospheric gas burners". En: *American Gas Association Laboratories, Research Bulletin 84*. November, 1960.
5. Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía. Proyecto *Diagramas de combustión de los gases colombianos*. Universidad de Antioquia. 1997.