

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 723**

51 Int. Cl.:

F23D 14/22 (2006.01)

F23D 14/32 (2006.01)

C03B 5/235 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.06.2010 PCT/US2010/037076**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.12.2010 WO10144286**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.06.2010 E 10722270 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.04.2017 EP 2440500**

54 Título: **Quemador de oxígeno combustible de orificio pasante**

30 Prioridad:

08.06.2009 US 184944 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

17.07.2017

73 Titular/es:

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, PA 18195-1501, US**

72 Inventor/es:

**D'AGOSTINI, MARK DANIEL;
HABEL, MICHAEL EDWARD y
WATSON, MATTHEW JAMES**

74 Agente/Representante:

DURÁN MOYA, Luis Alfonso

ES 2 624 723 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Quemador de oxígeno-combustible de orificio pasante

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a quemadores de oxígeno-combustible para su utilización en hornos de alta temperatura, por ejemplo hornos del vidrio.

10 Son bien conocidos los hornos del vidrio de recuperación que queman aire-combustible. Los hornos del vidrio de recuperación tienen múltiples orificios del recuperador aire-combustible para producir llamas de combustión para la fusión del vidrio. Las características básicas de diseño de los hornos del vidrio se describen en varias referencias, por ejemplo "Glass Furnaces, Design Construction and Operation" (Hornos del vidrio, diseño constructivo y funcionamiento), de Wolfgang Trier, traducido por K. L. Loewenstein, Society of Glass Technology, Sheffield, R.U., 2000, y The Handbook of Glass Manufacture," (Manual de fabricación del vidrio,) 3ª ed. vols. 1 y 2, de Fay Tooley
15 (ed.), Ashlee Publishing Co. (Nueva York), 1984.

Puede ser deseable la conversión de uno o varios orificios del recuperador para la combustión oxígeno-combustible para reconvertir el horno a un horno híbrido tal como se describe en el documento US-A-6519973.

20 La finalización de la combustión aire-combustible y la sustitución del aporte de energía por la combustión oxígeno-combustible tiene sus problemas. Puesto que el horno se diseñó inicialmente como un horno de aire-combustible, es difícil encontrar ubicaciones adecuadas para colocar los quemadores de oxígeno-combustible. Una ubicación donde se han instalado los quemadores de oxígeno-combustible es el cuello del orificio del orificio del recuperador.
25

La parte posterior del orificio se puede bloquear u obstruir de otro modo para limitar o impedir el flujo de aire caliente del recuperador en el orificio. Se puede realizar un agujero en la parte superior, parte inferior, o en los lados del cuello del orificio para la instalación del quemador de oxígeno-combustible. El quemador de oxígeno-combustible se introduce a continuación en este agujero y en el cuello del orificio. El quemador de oxígeno-combustible tiene que estar diseñado para descargar combustible y oxígeno en el espacio del horno. Esto requiere que el quemador tenga un codo o una curva para cambiar la dirección del flujo del combustible y el oxidante. El problema de la instalación de un quemador a través del cuello del orificio es que el tamaño del agujero para introducir el quemador es pequeño con el fin de mantener la integridad estructural del cuello del orificio.
30

35 Cuando el quemador se instala a través de un agujero en la parte superior o en la parte inferior del cuello del orificio del recuperador, el quemador tendrá una parte en general vertical para conducir el combustible y el oxígeno a través del agujero y una parte en general horizontal para descargar el combustible y el oxígeno en el espacio de combustión y el oxígeno en el espacio de combustión del horno de vidrio con una parte acodada entre la parte en general vertical y la parte en general horizontal. Cuando el quemador se instala a través de la pared lateral del cuello del orificio del recuperador, el quemador puede tener dos partes en general horizontales con una parte acodada entre las dos partes en general horizontales.
40

45 Un problema de la instalación de un quemador de oxígeno-combustible en el cuello del orificio del recuperador es que el quemador de oxígeno-combustible necesitará tener la tobera de descarga cerca de la parte acodada, lo que requiere un cambio brusco o marcado en la dirección del flujo en una posición próxima a la tobera de descarga. Una parte horizontal larga que termina en la tobera de descarga en el interior del orificio es problemática debido a las limitaciones de espacio en el orificio del recuperador. Además, una parte horizontal larga que termina en la tobera de descarga es problemática debido a que requeriría un gran agujero cortado en la pared del orificio que puede afectar al acero estructural que rodea el orificio. El cambio brusco o marcado en la dirección del flujo en una posición próxima a la tobera de descarga provoca una alta caída de la presión, y turbulencia del flujo que sale de la tobera. La turbulencia provoca un mezclado rápido y, por consiguiente, una combustión próxima a la tobera que da como resultado llamas cortas. La combustión próxima a la tobera no es deseable debido al recalentamiento de la tobera y, cuando el quemador se utiliza como quemador de orificio pasante, el recalentamiento del refractario en el cuello del orificio.
50
55

El documento EP0532825 se refiere a la utilización de, al menos, un quemador de oxígeno-combustible de manera concreta en hornos de recuperación de quemadores transversales para la fusión del vidrio. Al hacer funcionar quemadores de oxígeno-combustible situados en emplazamientos concretos en un horno de recuperación de quemadores transversales de manera apropiada, puede llevarse a cabo la fusión del vidrio sin perturbar la cantidad de movimiento de la llama de los quemadores de aire-combustible, mejorando de ese modo la eficiencia de la fusión del vidrio y aumentando la producción de los productos de vidrio.
60

El documento US6582218 describe un quemador de oxígeno-combustible para proporcionar energía de combustión a un horno de vidrio mediante la mezcla y la combustión de un chorro de combustible y un chorro de oxidante. El quemador está dividido en, al menos, dos partes, una parte vertical que comienza sustancialmente en la parte
65

inferior o el extremo de alimentación del quemador y una parte sustancialmente horizontal, en general más corta que termina en el extremo opuesto o de descarga del quemador. En una realización clave, la parte vertical del quemador sobresale en el interior de la atmósfera del horno a través del lado inferior de un orificio de aire, mientras que la parte horizontal apunta hacia el interior del horno. Dependiendo del número de quemadores instalados, esto permite una conversión parcial o total de un horno de aire-combustible a un horno de oxígeno-combustible. Además, en una realización clave, el quemador incluye unos medios de escalonamiento del oxidante para introducir el oxidante a través de un conducto escalonado que discurre por debajo y de manera colateral con el conducto exterior.

BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un quemador según la reivindicación 1. El quemador es adecuado para convertir la combustión aire-combustible utilizando un orificio del recuperador para la combustión oxígeno-combustible, que resuelve los problemas mencionados anteriormente. La presente invención se refiere asimismo a un horno con el quemador y un procedimiento de calentamiento de un horno utilizando el quemador según las reivindicaciones 14 y 18, respectivamente. El procedimiento se puede utilizar durante una reparación del recuperador, para prolongar la duración del horno, y/o para aumentar la velocidad de producción de un horno existente.

El quemador comprende una primera camisa de fluido de refrigeración con un diámetro exterior equivalente, D , un primer conducto de oxidante dispuesto en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la primera camisa de fluido de refrigeración y un conducto de combustible.

El primer conducto de oxidante tiene una entrada, una primera porción más abajo de la entrada del primer conducto de oxidante, una porción curvada más abajo de la primera porción del primer conducto de oxidante, y una segunda porción más abajo de la porción curvada del primer conducto de oxidante.

La porción curvada tiene un ángulo de curvatura, α , de 45° a 120° . El ángulo de curvatura α puede ser de 60° a 110° .

La segunda porción del primer conducto de oxidante termina en un extremo de salida y tiene un eje del flujo y una longitud, L . La segunda porción puede tener una sección transversal circular.

El conducto de combustible tiene una entrada, una primera porción más abajo de la entrada, una porción curvada y una segunda porción. La primera porción del conducto de combustible está dispuesta en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la primera porción del primer conducto de oxidante. La porción curvada del conducto de combustible está dispuesta en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la porción curvada del conducto de oxidante. La segunda porción del conducto de combustible termina en un extremo de salida y tiene un eje del flujo. La segunda porción del conducto de combustible está dispuesta en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la segunda porción del primer conducto de oxidante. La segunda porción del conducto de combustible puede tener una sección transversal circular.

El eje del flujo de la segunda porción del primer conducto de oxidante puede ser recto y puede ser sustancialmente paralelo o sustancialmente coincidente con el eje del flujo de la segunda porción del conducto de combustible.

Un paso de oxidante está formado o definido entre la segunda porción del conducto de combustible y la segunda porción del primer conducto de oxidante. El paso de oxidante tiene una parte de entrada, una parte de transición más abajo de la parte de entrada, y una parte de salida más abajo de la parte de transición. La parte de entrada tiene un área de la sección transversal, A_i . La parte de salida tiene un área de la sección transversal, A_o .

$\frac{L}{D}$ varía entre 0,8 y 7 o varía entre 1,4 y 7, y $\frac{A_i}{A_o}$ varía entre 1,3 y 5.

La segunda porción del primer conducto de oxidante puede tener una superficie interior convexa en la parte de transición del paso de oxidante.

La segunda porción del conducto de combustible define un paso de combustible en el que el paso de combustible tiene una parte de entrada, una parte de transición más abajo de la parte de entrada, y una parte de salida más abajo de la parte de transición. La parte de entrada de la segunda porción del conducto de combustible tiene un área de la sección transversal, A_{fi} , y la parte de salida de la segunda porción del conducto de combustible tiene un área

de la sección transversal, A_{fo} . en que $\frac{A_{fi}}{A_{fo}}$ puede ser desde 1,0 hasta 5 o desde 1,37 hasta 5.

La segunda porción del conducto de combustible puede tener una superficie exterior cóncava en la parte de transición del paso de oxidante.

La segunda porción del conducto de combustible puede tener una superficie interior cóncava y una superficie interior convexa en la parte de transición del paso de combustible, en la que la superficie interior convexa del conducto de combustible está más abajo de la superficie interior cóncava del conducto de combustible.

5 El extremo de salida de la segunda porción del primer conducto de oxidante puede sobresalir del extremo de salida de la segunda porción del conducto de combustible de 0,2 cm a 3 cm.

10 El quemador puede comprender además un segundo conducto de oxidante en una relación fija en el espacio con la segunda porción del primer conducto de oxidante.

15 El segundo conducto de oxidante puede estar dispuesto en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la primera camisa de fluido de refrigeración. El quemador puede comprender además una segunda camisa de fluido de refrigeración y el segundo conducto de oxidante puede estar dispuesto en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la segunda camisa de fluido de refrigeración. El segundo conducto de oxidante puede tener una entrada, una primera porción más abajo de la entrada del segundo conducto de oxidante, y una porción curvada más abajo de la primera porción del segundo conducto de oxidante y una segunda porción más abajo de la porción curvada del segundo conducto de oxidante.

20 La porción curvada del segundo conducto de oxidante tiene un ángulo de curvatura, β , estando el ángulo de curvatura β en el interior de 15° del ángulo de curvatura α , y una segunda porción más abajo de la porción curvada del segundo conducto de oxidante, terminando la segunda porción del segundo conducto de oxidante en una tobera y teniendo un eje del flujo, la segunda porción del segundo conducto de oxidante en una relación fija en el espacio con la segunda porción del primer conducto de oxidante.

25 El ángulo de curvatura, β puede estar en el interior de 2° del ángulo de curvatura, α , y el eje del flujo de la segunda porción del segundo conducto de oxidante puede ser sustancialmente paralelo al eje del flujo de la segunda porción del primer conducto de oxidante.

30 La tobera del segundo conducto de oxidante tiene una entrada y una salida. El extremo de salida de la segunda porción del primer conducto de oxidante puede sobresalir de la salida de la tobera de la segunda porción del segundo conducto de oxidante de 0,2 cm a 3 cm. La entrada puede tener una sección transversal circular y un área de la sección transversal A_{ni} , y la salida puede tener una sección transversal no circular y un área de la sección transversal, A_{no} , en la que la salida de la tobera tiene una proporción de anchura a altura de 1,5 a 5. $\frac{A_{ni}}{A_{no}}$ puede
35 variar entre 1,25 y 5.

La tobera del segundo conducto de oxidante puede tener una altura convergente y una anchura divergente.

40 La tobera del segundo conducto de oxidante puede tener una superficie convexa que realiza la transición entre la sección transversal circular y la sección transversal no circular.

45 El horno comprende el recuperador, la cámara de combustión del horno y el cuello del orificio del recuperador que conecta el recuperador a la cámara de combustión del horno. El cuello del orificio del recuperador define un orificio y una abertura del orificio en la pared del horno. El horno comprende asimismo un quemador según las características descritas anteriormente. El quemador penetra a través del cuello del orificio del recuperador y en el orificio y el quemador está dispuesto para dirigir el combustible y un gas oxidante a través de la abertura del orificio al interior del horno.

50 El horno comprende asimismo la cubeta del tanque de fusión dispuesta debajo y contigua a la cámara de combustión del horno, un extremo de carga para introducir los ingredientes de formación del vidrio en la cubeta del tanque de fusión, y un extremo de descarga para retirar un producto del vidrio de la cubeta del tanque de fusión. El horno comprende asimismo un orificio de extracción en la pared del horno para retirar los productos de la combustión de la cámara de combustión del horno.

55 En una realización, el segundo conducto de oxidante penetra en la pared del horno en una posición por debajo de la abertura del orificio y está dispuesto para dirigir el oxidante al interior del horno.

60 El procedimiento de calentamiento de un horno comprende obstruir el flujo de aire al orificio, cerrar el flujo de combustible a un quemador de aire-combustible asociado con el orificio, instalar un quemador tal como el descrito anteriormente de modo que el quemador penetre a través del cuello del orificio del recuperador en el interior del orificio, hacer pasar un refrigerante a través de la primera camisa de fluido de refrigeración y, si está presente, a través de la segunda camisa de refrigeración, introducir un primer gas oxidante en el horno a través del primer conducto de oxidante, e introducir el combustible u otro combustible en el horno a través del conducto de combustible, realizar la combustión del combustible o del otro combustible con el gas oxidante para formar productos

de combustión y retirar los productos de la combustión de la cámara de combustión del horno a través de un orificio de extracción.

5 El procedimiento puede comprender continuar con el flujo de aire a través del orificio en una cantidad mayor que el 5% hasta menos o igual al 25% del aire estequiométrico requerido para la combustión del combustible que pasa a través del quemador.

10 El procedimiento puede comprender además introducir el primer gas oxidante o un segundo gas oxidante en el horno a través de un segundo conducto de oxidante para realizar la combustión del combustible o del otro combustible.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DIVERSAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

15 La figura 1 muestra un quemador de orificio pasante con una lanza de escalonamiento del oxidante en el orificio opcional.

La figura 2 muestra un quemador de orificio pasante instalado en un cuello del orificio del recuperador de un horno con una lanza de escalonamiento del oxidante de orificio inferior.

20 La figura 3 muestra una vista a mayor escala del extremo de descarga del primer conducto de oxidante y del conducto de combustible.

La figura 4 muestra una vista a mayor escala del extremo de descarga de una lanza de escalonamiento del oxidante de orificio inferior.

25 La figura 5 es una gráfica del flujo calorífico normalizado en función de la distancia desde la tobera del quemador en un horno de ensayo.

30 La figura 6 es una gráfica de resultados de modelado que muestran la temperatura pico de la llama en función de la longitud de la tobera adimensional.

La figura 7 es una gráfica de resultados de modelado que muestran la temperatura de la llama en función de la distancia desde la salida de la tobera del quemador.

35 La figura 8a es una gráfica de contorno de la magnitud de la velocidad a partir de los resultados de modelado.

La figura 8b es una gráfica de contorno de la magnitud de velocidad a partir de los resultados de modelado.

40 La figura 9 es una gráfica de los resultados de modelado que muestra la longitud de la llama en función de la longitud de la tobera adimensional.

La figura 10 es una gráfica de los resultados de modelado que muestran la temperatura en función de la proporción del área de paso de oxígeno.

45 La figura 11 es una gráfica de los resultados de modelado que muestran la temperatura en función de la proporción del área del paso de oxígeno.

50 La figura 12 es una gráfica de los resultados de modelado que muestran la temperatura de la llama en función de la distancia desde la salida de la tobera del quemador.

La figura 13 es una gráfica de los resultados de modelado que muestran la segunda desviación de velocidad de oxidante en función de la segunda proporción del área del paso de oxidante.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

55 Los artículos "un(o)" y "una" tal como se utilizan en el presente documento significan uno o varios cuando se aplican a cualquier característica en las realizaciones de la presente invención descritas en la memoria descriptiva y las reivindicaciones. La utilización de "un(o)" y "una" no limita el significado a una sola característica a menos que tal límite se establezca específicamente. El artículo "el/la" que precede a sustantivos en singular o en plural o a frases nominales indica una característica especificada particular o características especificadas particulares y pueden tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se utiliza. El adjetivo "cualquiera" significa uno, alguno, o todos indiscriminadamente de cualquier cantidad.

60 La expresión "al menos una porción" significa "una porción o todo".

65 Con fines de simplicidad y claridad, se omiten las descripciones detalladas de dispositivos, circuitos, y

procedimientos bien conocidos para no hacer poco clara la descripción de la presente invención con detalles innecesarios.

La presente invención se refiere a un quemador. Más concretamente la invención se refiere a un quemador de oxígeno-combustible utilizado para sustituir la combustión aire-combustible por la combustión oxígeno-combustible en un horno de vidrio que tiene orificios del recuperador aire-combustible. El quemador es particularmente adecuado para convertir al menos parcialmente un orificio de recuperador de combustión aire-combustible en una combustión oxígeno-combustible. Debido a la forma geométrica del orificio del recuperador del horno de vidrio, el quemador utilizado para tal conversión requiere un cambio brusco o marcado en la dirección del flujo en una posición próxima a la tobera de descarga.

El orificio del recuperador se puede convertir temporalmente de combustión aire-combustible a combustión oxígeno-combustible en los casos en los que el recuperador asociado necesita ser reparado. El orificio del recuperador se puede convertir a la combustión oxígeno-combustible en una base más permanente para aprovechar los beneficios del oxígeno-combustible. Varios de los orificios más próximos al extremo del grupo del horno de vidrio se pueden convertir a la combustión oxígeno-combustible para mejorar la fusión en grupos mediante las llamas de oxígeno-combustible.

Haciendo referencia ahora a los dibujos, en los que números de referencia similares se refieren a elementos similares en la totalidad de las diversas vistas, la figura 1 muestra un quemador -1- según una realización de la invención y la figura 2 muestra una parte de un horno -100- que comprende el cuello -105- del orificio del recuperador y un quemador -101- instalado en el cuello del orificio del recuperador.

Los quemadores -1- y -101- comprenden una primera camisa -10- de fluido de refrigeración, un primer conducto -20- de oxidante y un conducto -40- de combustible. La primera camisa -10- de fluido de refrigeración tiene un diámetro exterior equivalente, D , que para el caso de una sección transversal circular es igual al diámetro exterior y para una sección transversal no circular es igual a 4 veces el área de la sección transversal exterior de la camisa dividida por el perímetro exterior. El primer conducto -20- de oxidante está dispuesto en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la primera camisa -10- de fluido de refrigeración y el conducto -40- de combustible está dispuesto en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior del primer conducto -20- de oxidante. En general, concéntrico significa que el eje de un conducto es común con el eje del otro conducto o se desliza ligeramente hasta 2 cm.

Una camisa de fluido de refrigeración es una cubierta o envoltura exterior, como una cubierta que encierra un espacio intermedio a través del cual puede circular un fluido de control de la temperatura. El fluido de refrigeración puede ser agua. Las camisas del fluido de refrigeración, por ejemplo camisas enfriadas con agua, son bien conocidas en la técnica de los quemadores y de la combustión. Los detalles en el diseño de la camisa de fluido de refrigeración no son críticos para la invención. Un experto en la técnica puede seleccionar y/o modificar fácilmente un diseño de camisa de fluido de refrigeración apropiado de entre los conocidos en la técnica.

La primera camisa -10- de fluido de refrigeración se precisa para impedir el recalentamiento del quemador. Cuando el quemador se introduce en un orificio del recuperador del horno de vidrio, el calor del horno irradiará a la superficie exterior del quemador. Cuando el quemador está en funcionamiento, la llama que proviene del quemador irradiará de retorno al quemador. El agua u otro fluido de refrigeración se introduce en la entrada 11 de la primera camisa -10- de fluido de refrigeración y fluye alrededor del primer conducto -20- de oxidante incluyendo el área alrededor del extremo de descarga de combustible y oxidante. El agua u otro fluido de refrigeración se evacúa por la salida -13- de la primera camisa -10- de fluido de refrigeración.

Tal como se utiliza en el presente documento, un conducto es cualquier medio para conducir un fluido, por ejemplo, una tubería, un tubo, una conducción o similar. La primera camisa -10- de fluido de refrigeración, el primer conducto -20- de oxidante y el conducto -40- de combustible están fabricados de un metal, preferentemente acero inoxidable. Un experto en la técnica puede seleccionar fácilmente materiales adecuados de construcción para el quemador.

El conducto de oxidante es un conducto previsto para conducir un gas oxidante y conectarse a un suministro de oxidante. Un gas oxidante es cualquier gas que contenga más del 21% en volumen de oxígeno. El oxígeno de calidad industrial que tiene una concentración de oxígeno del 80% en volumen al 100% en volumen es un gas oxidante, como lo es el chorro de evacuación de gases de una planta de nitrógeno, que tiene normalmente una concentración de oxígeno del 60% en volumen al 80% en volumen. Los oxidantes pueden ser asimismo mezclas de aire y oxígeno industrial o un chorro de evacuación que tenga una concentración de oxígeno entre el 22% en volumen y el 28% en volumen o entre el 28% en volumen y el 60% en volumen. El conducto de oxidante puede ser diseñado para conducir oxígeno de calidad industrial utilizando materiales compatibles con dicho oxígeno de calidad industrial.

El conducto de combustible es un conducto previsto para conducir un combustible. El conducto de combustible está conectado a un suministro de combustible. El combustible puede ser un combustible gaseoso, por ejemplo, gas natural, propano u otros hidrocarburos gaseosos, hidrógeno, monóxido de carbono o combinaciones de los mismos.

- 5 O el combustible puede ser líquido, por ejemplo, aceite destilado n.º 1, aceite combustible destilado n.º 2, combustible diésel, biodiésel y sus subproductos (tales como glicerol), queroseno, aceite combustible n.º 4, aceite residual n.º 5, aceite combustible residual n.º 6, aceite combustible-tipo Bunker-C y otros conocidos por un experto habitual en la técnica. El combustible líquido puede ser atomizado mediante cualquiera de varios medios conocidos por un experto en la técnica.
- 10 El primer conducto -20- de oxidante tiene una entrada -21- para recibir un gas oxidante, una primera porción -23- más abajo de la entrada -21-, una porción curvada -25- más abajo de la primera porción -23- y una segunda porción -27- más abajo de la porción curvada -25-. El gas oxidante puede ser oxígeno de calidad industrial.
- 15 Hacia arriba y hacia abajo se definen relativos al flujo previsto de un fluido, por ejemplo el combustible u oxidante. El extremo de más arriba corresponde al extremo más próximo a la entrada en la que se introduce fluido en el dispositivo y el extremo de más abajo corresponde al extremo de la tobera o salida por la que el fluido sale del dispositivo.
- 20 La entrada -21- puede incluir un accesorio de desconexión rápida u otro accesorio adecuado para conectar el suministro de gas oxidante al quemador.
- La primera porción -23- puede tener una sección transversal circular. La primera porción -23- puede tener asimismo separadores para garantizar la concéntrica entre la primera porción del primer conducto de oxidante y la primera porción del conducto de combustible.
- 25 La porción curvada -25- tiene un ángulo de curvatura, α , de 45º a 120º. El ángulo de curvatura, α , puede ser de 60º a 110º. El ángulo de curvatura se define como el ángulo suplementario del ángulo incluido. El ángulo incluido, que es menor de 180º es el ángulo definido entre una parte recta de la primera porción de un conducto y una parte recta de la segunda porción del conducto. El ángulo incluido en el caso del primer conducto de oxidante se define entre una parte recta de la primera porción del primer conducto de oxidante y una parte recta de la segunda porción del primer conducto de oxidante. El ángulo de curvatura, α , tal como se muestra en la figura 1 y la figura 2, es el ángulo suplementario al ángulo incluido en el caso del primer conducto de oxidante. Un ángulo de curvatura de 0º corresponde a no estar curvado, es decir recto. Un ángulo de curvatura de 180º corresponde a una curva "en forma de U".
- 30 La curva en la porción curvada -25- puede ser suave, teniendo un radio tal como se muestra en la figura 2, o, tal como se muestra en la figura 1, la curva puede tener un ángulo brusco.
- 35 La segunda porción -27- del primer conducto -20- de oxidante termina en un extremo -29- de salida y tiene un eje del flujo -22- y una longitud, L . La segunda porción -27- puede tener una sección transversal circular.
- 40 El eje del flujo corresponde a una línea en la dirección del flujo que pasa a través de los centros geométricos de las partes transversales del conducto, en el que las partes transversales están situadas en planos perpendiculares a la línea. El eje del flujo puede incluir una línea curvada. En el caso de este quemador, al menos una parte del eje del flujo es una parte en línea recta.
- 45 Para los fines de esta invención, la longitud, L , de la segunda porción del primer conducto de oxidante corresponde a la parte en línea recta del eje del flujo entre la porción curvada y el extremo de salida tal como se muestra en la figura 1 y la figura 2.
- 50 El conducto -40- de combustible tiene una entrada -41- para recibir un combustible, una primera porción -43- más abajo de la entrada -41-, una porción curvada -45- y una segunda porción -47-.
- La entrada -41- puede incluir un accesorio de desconexión rápida u otro accesorio adecuado para conectar el suministro de combustible al quemador.
- 55 Tal como se muestra en la figura 1 y la figura 2, la primera porción -43- del conducto -40- de combustible está dispuesta en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la primera porción -23- del primer conducto -20- de oxidante. La porción curvada -45- está dispuesta en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la porción curvada -25-.
- 60 La curva en la porción curvada -45- puede ser suave, teniendo un radio tal como se muestra en la figura 2, o tiene un ángulo brusco tal como se muestra en la figura 1. La porción curvada -45- será compatible con la porción curvada -25-.
- 65 La segunda porción -47- termina en un extremo -49- de salida y tiene un eje del flujo -42-. La segunda porción -47- está dispuesta en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la segunda porción -27- del primer conducto -20- de oxidante. La segunda porción -47- puede tener una sección transversal circular.

La segunda porción -47- del conducto de combustible puede ser concéntrica con la segunda porción -27- del primer conducto -20- de oxidante tal que el eje del flujo -42- y el eje del flujo -22- son ambos rectos y son sustancialmente paralelos o sustancialmente coincidentes. El eje del flujo -42- y el eje del flujo -22- son coincidentes en la figura 1.

5 El término "paralelo" significa que se extienden en la misma dirección, equidistantes por todas partes y que no se juntan. Con respecto al eje del flujo -22- y al eje del flujo -42-, sustancialmente paralelos significa separados con una distancia máxima de separación de 2 cm.

10 El término "coincidente" significa ocupar el mismo espacio o ubicación. Con respecto al eje del flujo -22- y al eje del flujo -42-, sustancialmente coincidente significa coincidentes en el interior de 2 cm.

15 El paso -50- de oxidante está formado o definido entre la segunda porción -47- del conducto -40- de combustible y la segunda porción -27- del primer conducto -20- de oxidante. El paso -50- de oxidante tiene una parte -51- de entrada, una parte -53- de transición más abajo de la parte -51- de entrada, y una parte -55- de salida más abajo de la parte -53- de transición. La parte -51- de entrada tiene un área de la sección transversal, A_i . La parte -55- de salida tiene un área de la sección transversal, A_o . El área de la sección transversal, A_o está diseñada para proporcionar una velocidad de gas oxidante desde aproximadamente unos 30 m/s hasta aproximadamente 150 m/s a los caudales diseñados de gas oxidante.

20 El cambio brusco o marcado en la primera dirección del flujo de oxidante en una posición próxima a la tobera de descarga se puede describir mediante la proporción entre la longitud, L , y el diámetro exterior equivalente, D , de la primera camisa de fluido de refrigeración. Es deseable maximizar la proporción L/D para minimizar la no uniformidad en el perfil de velocidad del primer oxidante en la tobera de descarga, puesto que la no uniformidad de la velocidad es una causa primaria de combustión acelerada cerca de la tobera de descarga, lo cual puede conducir a temperaturas de la llama excesivamente altas y, por consiguiente, daños o fallo del quemador. Sin embargo, una longitud corta es necesaria para el acoplamiento del conjunto del quemador en el espacio limitado disponible en un orificio de un recuperador de un horno de vidrio. Se estima que la L/D máxima admisible en base al espacio disponible es de 7,0.

30 Una solución para lograr una distribución del flujo aceptable con una L/D baja es colocar un dispositivo de mezclado estático en la segunda porción del primer paso de oxidante. Un dispositivo de mezclado estático es una obstrucción estacionaria colocada en el campo del flujo que favorece la redistribución del flujo, al aumentar localmente la mezcla y la difusión turbulentos, en general, a través de la dispersión de la presión estática. Un ejemplo corriente de un dispositivo de mezclado estático es una placa perforada; es decir, una placa que cruza la sección transversal del flujo que comprende una pluralidad de agujeros pequeños distribuidos en toda la placa, y a través de los cuales debe pasar el flujo.

40 Desafortunadamente, tanto la dispersión de la presión estática como la generación de un mezclado/difusión turbulentos son características de flujo indeseables en este caso. En primer lugar, el aumento de la turbulencia del chorro de oxidante da como resultado un mezclado más rápido entre oxidante y combustible, lo cual conduce a un agravamiento del problema de una temperatura de la llama excesivamente elevada cerca de la tobera del quemador. En segundo lugar, la dispersión de la presión estática conduce a un mayor requerimiento de presión de suministro del oxidante. En algunos casos, el mayor requerimiento de presión de suministro no se puede cumplir, mientras que en otros casos añade costes de inversión y de funcionamiento considerables a la instalación debido a la necesidad de instalar y hacer funcionar uno o varios compresores de gas. Para la realización de este quemador que comprende un segundo conducto de oxidante en relación de espacio fija con el primer conducto de oxidante:

45 $0,8 \leq \frac{L}{D} \leq 7$. En el caso de realizaciones del quemador en las que no se incluye el segundo conducto de oxidante:

$$1,4 \leq \frac{L}{D} \leq 7.$$

50 Una característica del presente quemador que tiende a distribuir uniformemente y a enderezar el flujo del oxidante e impedir la mezcla prematura del oxidante y el combustible en el horno sin las características indeseables mencionadas anteriormente de un dispositivo de mezclado estático es la reducción del área de la sección transversal del paso -50- de oxidante de la parte -51- de entrada a la parte -55- de salida. Esta reducción del área de la sección transversal del primer paso de oxidante se logra a través de la parte -53- de transición. Para la mejora de la distribución del primer flujo de oxidante, es deseable maximizar la proporción del área de entrada a salida de la sección transversal. Sin embargo, para una primera velocidad de oxidante determinada en la salida, un aumento de

55 la proporción $\frac{A_i}{A_o}$ requiere un aumento del tamaño del área de la sección transversal de entrada. Los límites prácticos del valor superior de esta proporción debido a la limitación del espacio disponible en el orificio del

recuperador son $\frac{A_i}{A_o} = 5$ En el caso de este quemador $1,3 \leq \frac{A_i}{A_o} \leq 5$.

Tal como se muestra en la figura 1, la figura 2 y a mayor escala en la figura 3, la segunda porción -27- del conducto -20- de oxidante puede tener una superficie interior convexa en la parte -53- de transición del paso -50- de oxidante.

Tal como se muestra en la figura 1, la figura 2 y a mayor escala en la figura 3, la segunda porción -47- del conducto -40- de combustible puede tener una superficie exterior cóncava en la parte -53- de transición del paso -50- de oxidante. Estas curvaturas convexas y cóncavas ayudan a enderezar el flujo del oxidante de modo que se alinea con el eje -22- del primer chorro de oxidante a medida que se aproxima al extremo -29- de salida, mientras que disminuye simultáneamente la generación y la difusión de remolinos turbulentos.

La segunda porción -47- del conducto -40- de combustible forma o define un paso -60- de combustible. El paso -60- de combustible tiene una parte -61- de entrada, una parte -63- de transición más abajo de la parte -61- de entrada, y una parte -65- de salida más abajo de la parte -63- de transición. La parte de entrada de la segunda porción del conducto de combustible tiene un área de la sección transversal, A_{fi} , y la parte de salida de la segunda porción del conducto de combustible tiene un área de la sección transversal rea, A_{fo} .

De manera similar a la segunda porción del primer conducto de oxidante, una característica del quemador que tiende a enderezar el flujo de combustible y a impedir la mezcla turbulenta acelerada del oxidante y el combustible en el horno es la reducción del área de la sección transversal del paso -60- de combustible desde la parte -61- de entrada hasta la parte -65- de salida. Para la mejora de la distribución del flujo de combustible, es deseable maximizar la proporción de entrada a salida del área de la sección transversal. Sin embargo, para una velocidad de

combustible determinada en la salida, un aumento de la proporción $\frac{A_{fi}}{A_{fo}}$ requiere un aumento del tamaño del área

de la sección transversal de entrada. Los límites prácticos del valor superior de esta proporción debido a la limitación del espacio disponible en el orificio del recuperador son $\frac{A_{fi}}{A_{fo}}$ igual a 5. En el caso de este quemador,

$1,0 < \frac{A_{fi}}{A_{fo}} \leq 5$ o $1,37 \leq \frac{A_{fi}}{A_{fo}} \leq 5$. Basándose en las velocidades de combustión esperadas (es decir, caudales de

combustible), el área de la sección transversal A_{fo} se diseña para proporcionar una velocidad de combustible desde aproximadamente 25 m/s hasta aproximadamente 150 m/s.

Tal como se muestra en la figura 1 y en la figura 2, la segunda porción -47- del conducto -40- de combustible puede tener una superficie interior cóncava y una superficie interior convexa en la parte de transición del paso -60- de combustible en la que la superficie interior convexa está más abajo de la superficie interior cóncava del conducto -60- de combustible. Esta forma geométrica ayuda a realinear el flujo en la superficie interior del paso de combustible con el eje -42- del flujo mientras que se minimiza la generación y difusión de remolinos turbulentos en el chorro de combustible. Al alinear los flujos del primer oxidante y el combustible a lo largo de sus ejes respectivos y al minimizar simultáneamente la generación y difusión de remolinos turbulentos, estas características actúan para reducir la velocidad de mezclado del combustible y el oxidante a medida que se descargan en el horno. Tal como se estableció previamente, esto es importante para proteger los componentes metálicos del quemador frente a daños a alta temperatura provocados por una llama de oxígeno/combustible corta.

Tal como se muestra en la figura 1 y la figura 2, el extremo -29- de salida de la segunda porción -27- del conducto -20- de oxidante sobresale del extremo -49- de salida de la segunda porción -47- del conducto -40- de combustible. El extremo -29- de salida puede sobresalir del extremo -49- de salida de 0,2 cm a 3 cm. Sobresalir significa que avanza o se extiende hacia afuera de la superficie o contexto circundante.

El extremo -49- de salida del conducto -40- de combustible está hundido desde el extremo -29- de salida del conducto -20- de oxidante para proteger el extremo -49- de salida de la radiación de la llama que proviene del quemador y del entorno de alta temperatura del horno de vidrio. El conducto -20- de oxidante que incluye el extremo -29- de salida del conducto de oxidante está refrigerado por el fluido de refrigeración que circula a través de la primera camisa -10- de fluido de refrigeración.

Por otra parte, el conducto -40- de combustible es enfriado por el flujo de oxidante que pasa a través del paso de oxidante. Al hundir el extremo -49- de salida, el extremo -49- de salida estará expuesto a menos radiación térmica y se puede evitar el recalentamiento. En caso de que el extremo -49- de salida esté demasiado hundido, el combustible y el oxidante pueden reaccionar en el interior del quemador provocando daños al quemador debido al recalentamiento del conducto de oxidante. Un equilibrio apropiado entre la protección del extremo -49- de salida frente a la radiación térmica y la mezcla de combustible y oxidante está proporcionado por el extremo -29- de salida que sobresale del extremo -49- de salida de 0,2 cm a 3 cm.

El quemador puede incluir asimismo el escalonamiento del oxidante. El escalonamiento del oxidante en el contexto de esta invención significa retener una porción del oxígeno de combustión del primer chorro de oxidante para que se pueda suministrar en un "escalón" posterior de la combustión del combustible. Tal como se muestra en la figura 1, la lanza escalonada puede formar parte del horno colocada en el orificio del recuperador, denominada lanza en el orificio, y/o tal como se muestra en la figura 2, la lanza escalonada puede ser una pieza independiente colocada por debajo del orificio del recuperador, denominada lanza de orificio inferior. Se descubrió que el escalonamiento del oxidante proporciona un medio para ajustar la llama en el horno.

El oxígeno escalonado actúa para disminuir la temperatura pico de la llama de oxígeno/combustible. La disminución de la temperatura pico reduce el riesgo de daños al quemador debido a la alta temperatura y asimismo reduce la velocidad de mezclado de combustible y oxidante. La reducción de la velocidad de mezclado de combustible y oxidante ralentiza el proceso de combustión dando como resultado por tanto una llama más larga, que es más deseable. Por otra parte, el escalonamiento crea una región de combustión rica en combustible o pobre en oxígeno en el interior de la llama. La región rica en combustible favorece la formación de partículas sólidas ricas en carbono (hollín), lo que potencia la transferencia de calor radiante desde la llama a la masa fundida del vidrio, y conduce asimismo a menores emisiones de NOx. Existe un límite práctico, sin embargo, para el grado de escalonamiento que se puede emplear con seguridad y eficazmente. Este límite se ajustará normalmente por la cantidad de movimiento de la llama, que disminuye a medida que aumenta la cantidad de oxígeno en el escalonado. Si la cantidad de movimiento de la llama es demasiado baja, la llama será inestable en el horno y podría, por ejemplo, elevarse hacia la bóveda del horno (techo) donde podría dañar el refractario de la bóveda.

La colocación y orientación escalonada del oxígeno afecta asimismo a la llama del quemador. El oxidante escalonado que se introduce inmediatamente por debajo de la primera tobera de oxidante/combustible tiene determinadas características deseables. Por ejemplo, el oxidante escalonado introducido en esta ubicación se mezcla con el combustible justo más abajo de la tobera del quemador, y por consiguiente no se diluye sustancialmente por el gas del horno. Por otra parte, el escalonamiento en esta ubicación es eficaz para potenciar la combustión de la porción inferior de la llama del quemador principal. Esto da como resultado que la energía radiante de la llama se dirija preferentemente hacia abajo, hacia la masa fundida del vidrio, más que hacia arriba hacia la bóveda. Si existe inquietud por el recalentamiento del orificio, la tobera de escalonado en el orificio se puede dirigir hacia abajo, hacia el suelo del orificio, donde proporciona un enfriamiento por convección de esta superficie. Alternativamente, si existe insuficiente espacio disponible para alojar tanto la tobera del quemador como la lanza en el interior del orificio, entonces es admisible ubicar una tobera de oxígeno escalonado en cualquier lugar, por ejemplo, bajo el orificio pero por encima de la superficie de la masa fundida del vidrio.

La inclusión del escalonamiento del oxidante tanto bajo el orificio del recuperador como en el interior del orificio del recuperador proporciona al operador flexibilidad que afecta al calentamiento de la masa fundida del vidrio, recalentamiento del refractario del orificio del recuperador y a emisiones contaminantes tales como NOx. Se llevaron a cabo experimentos en un horno de ensayo de un solo orificio. Los resultados experimentales verificaron el efecto sustancial de la cantidad y ubicación del escalonamiento del oxidante en la transferencia de calor, la temperatura del orificio y la temperatura del techo del horno. La figura 5, por ejemplo, indica que se logra un flujo calorífico mucho mayor hacia el suelo del horno con el 80% de escalonamiento del oxidante en el orificio en comparación con "sin escalonamiento" y el 80% de casos de escalonamiento de orificio inferior. Aunque estos datos proporcionan tendencias representativas, la cantidad y ubicación óptimas del escalonamiento del oxidante se determina mejor basándose en la forma geométrica del horno y las condiciones de funcionamiento específicas.

Tal como se muestra en la figura 2, el quemador puede incluir una lanza -90- de escalonamiento del oxidante de orificio inferior que se coloca en una relación fija en el espacio en la segunda porción -27- del primer conducto -20- de oxidante. La lanza de escalonamiento del oxidante de orificio inferior se utiliza para dirigir un chorro de oxidante bajo una llama producida mediante la introducción de combustible y oxidante del conducto -40- de combustible y del primer conducto -20- de oxidante, respectivamente.

La lanza -90- de escalonamiento del oxidante de orificio inferior tiene una entrada -91- para recibir el primer gas oxidante o un segundo gas oxidante. El primer gas oxidante y el segundo gas oxidante pueden ser oxígeno de calidad industrial de las mismas o diferentes fuentes.

La entrada -91- puede incluir asimismo un accesorio de desconexión rápida u otro accesorio adecuado para conectar el suministro de gas oxidante en la lanza -90- de escalonamiento del oxidante de orificio inferior.

La lanza -90- de escalonamiento del oxidante de orificio inferior puede no necesitar una camisa de fluido de refrigeración. El flujo del gas oxidante a través de la lanza de escalonamiento del oxidante de orificio inferior puede ser suficiente para mantener fría la tobera de la lanza de escalonamiento del oxidante de orificio inferior. El gas oxidante introducido en la lanza -90- de escalonamiento del oxidante de orificio inferior será, en general, el mismo gas oxidante que se introduce en el primer conducto -20- de oxidante, por ejemplo oxígeno de calidad industrial. Sin embargo, el gas oxidante introducido en la lanza de escalonamiento del oxidante de orificio inferior puede ser un gas oxidante diferente que el introducido en el primer conducto -20- de oxidante.

El quemador puede incluir una lanza de escalonamiento del oxidante en el orificio mostrado en la figura 1 como el segundo conducto -80- de oxidante que se coloca en una relación fija en el espacio con la segunda porción -27- del primer conducto -20- de oxidante. El segundo conducto -80- de oxidante se utiliza para dirigir un chorro de oxidante por debajo de la llama.

Puesto que la lanza de escalonamiento del oxidante en el orificio está en el orificio del recuperador, requerirá refrigeración. El segundo conducto -80- de oxidante puede estar dispuesto en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la primera camisa -10- de fluido de refrigeración o en una segunda camisa -70- de fluido de refrigeración opcional tal como se muestra en la figura 1.

El quemador puede comprender además una segunda camisa -70- de fluido de refrigeración opcional y un segundo conducto -80- de oxidante dispuesto en una relación fija en el espacio y, en general, de manera concéntrica en el interior de la segunda camisa -70- de fluido de refrigeración. La segunda camisa -70- de fluido de refrigeración puede ser precisa para impedir que la tobera de la lanza de oxidante se recaliente debido al calentamiento por radiación de la llama y el horno. El agua u otro fluido de refrigeración es introducido en la entrada -71- de la segunda camisa -70- de fluido de refrigeración opcional y fluye rodeando el segundo conducto -80- de oxidante que incluye el área alrededor del extremo de descarga de oxidante. El agua u otro fluido de refrigeración es evacuado por la salida -73- de la segunda camisa -70- de fluido de refrigeración opcional.

El segundo conducto -80- de oxidante tiene una entrada -81- para recibir el gas oxidante o un segundo gas oxidante, una primera porción -83- más abajo de la entrada -81-, una porción curvada -85- más abajo de la primera porción -83-, y una segunda porción -87- más abajo de la porción curvada -85-. El primer gas oxidante y el segundo gas oxidante pueden ser oxígeno de calidad industrial de las mismas o diferentes fuentes.

La entrada -81- puede incluir un accesorio de desconexión rápida u otro accesorio adecuado para conectar el suministro de gas oxidante a la lanza de oxidante para el quemador.

La primera porción -83- puede tener una sección transversal circular, y puede estar unida físicamente, por ejemplo mediante soldadura, a la superficie exterior de la primera porción de la primera tobera de oxidante.

La porción curvada -85- tiene un ángulo de curvatura, β , en el que el ángulo de curvatura, β , está en el interior de 15° del ángulo de curvatura, α . El ángulo de curvatura, α , puede ser de 60° a 110° . La segunda porción -87- del segundo conducto -80- de oxidante puede estar inclinada hacia arriba o hacia abajo en relación con la segunda porción -27- del primer conducto -20- de oxidante. El ángulo incluido del segundo conducto -80- de oxidante está definido entre una parte recta de la primera porción -81- del segundo conducto -80- de oxidante y una parte recta de la segunda porción -85- del segundo conducto -80- de oxidante. El ángulo de curvatura, β , es el ángulo suplementario al ángulo incluido del segundo conducto de oxidante.

La segunda porción -87- del segundo conducto -80- de oxidante termina en una tobera y tiene un eje del flujo -82-. La segunda porción -87- del segundo conducto -80- de oxidante está en una relación fija en el espacio la segunda porción -27- del primer conducto -20- de oxidante. La segunda camisa -70- de fluido de refrigeración opcional y el segundo conducto -80- de oxidante pueden estar soldados juntos o unidos de otra manera como parte del conjunto del quemador.

El ángulo de curvatura, β , puede estar en el interior de 2° del ángulo de curvatura, α . El eje del flujo -82- de la segunda porción -87- del segundo conducto -80- de oxidante puede ser sustancialmente paralelo al eje del flujo -22- de la segunda porción -27- del primer conducto -20- de oxidante. Con respecto al eje del flujo -82- y al eje del flujo -22-, sustancialmente paralelo significa separado y equidistante en el interior del 10% de la distancia de separación máxima.

Tal como se muestra en la figura 1, el extremo -29- de salida de la segunda porción -27- del primer conducto de oxidante puede sobresalir de la salida -89- de la tobera. El extremo -29- de salida puede sobresalir de la salida -89- de 0,2 cm a 3 cm. La tobera del segundo conducto -80- de oxidante puede estar hundida con respecto al extremo de salida -29- de la segunda porción -27- del primer conducto -20- de oxidante para permitir que la primera camisa de refrigeración y/o la segunda porción -27- del primer conducto -20- de oxidante protejan la tobera frente a la radiación de la llama y/o del horno.

Tal como se muestra en la figura 1 y con detalle en la figura 4, la tobera de la segunda porción -87- del segundo conducto -80- de oxidante tiene una entrada -88-, una parte de transición y una salida -89-. La entrada -88- puede tener una sección transversal circular y un área de la sección transversal, A_{ni} , y la salida -89- tiene una sección transversal no circular y un área de la sección transversal, A_{no} . La salida -89- de la tobera puede tener una proporción de anchura a altura ("W" a "H") de 1,5 a 5. Para los fines de esta invención, la proporción de anchura a altura de la salida -89- se mide en la cara de salida de la tobera. La anchura es la dimensión más grande en relación con la altura.

En el caso de esta tobera, $\frac{A_{ni}}{A_{no}}$ puede ser de 1,25 a 5. Una proporción del área mayor que el límite inferior

establecido es esencial para minimizar la no uniformidad del flujo de oxidante en la salida de la tobera, lo cual puede conducir a flujo separado o inverso, aumentando el riesgo de corrosión de la tobera, el taponamiento y fallos prematuros. Una proporción del área menor del límite superior es necesaria para evitar una segunda velocidad de oxidante excesivamente alta o un segundo conducto de oxidante inaceptablemente grande.

La tobera puede tener una altura convergente y una anchura divergente. La altura convergente ayuda a reducir el área de la sección transversal, lo que es necesario para impedir la separación del flujo. La anchura divergente aumenta la amplitud del chorro secundario emergente, de modo que es más ancho que la llama creada por el primer oxidante y el combustible. Esto aumenta la uniformidad de la mezcla debajo del oxidante escalonado y en el lado inferior de la llama. La segunda porción -87- del segundo conducto de oxidante -80- puede tener una superficie interior convexa próxima a la salida -89-. La superficie interior convexa permite una transición rápida y suave del flujo de salida a una orientación que es paralela al eje del flujo principal -82-. El semiángulo de la divergencia en la dimensión de la anchura puede ser de 5° a 15°.

Las toberas se describen comúnmente como "convergentes" (se reducen desde una dimensión ancha hasta una dimensión menor en la dirección del flujo) o "divergentes" (se expanden desde una dimensión menor hasta una dimensión mayor en la dirección del flujo). La tobera "de Laval" tiene una parte convergente seguida por una parte divergente y se denomina frecuentemente tobera convergente-divergente.

Las toberas convergentes aceleran los fluidos subsónicos. Si la proporción de presión de la tobera es suficientemente alta, el flujo alcanzará la velocidad del sonido en el punto más estrecho (es decir, la garganta de la tobera). En esta situación, la tobera se dice que está "estrangulada".

La tobera descrita en el presente documento difiere de la tobera del tipo "de Laval". La tobera del tipo "de Laval" tiene una parte convergente seguida por una parte divergente como se contrasta con la tobera instantánea que tiene una anchura divergente y una altura convergente.

El quemador está diseñado para ser introducido en un orificio del recuperador tal como se muestra en la figura 2. Se debe recortar un agujero en el cuello del orificio del recuperador para proporcionar un lugar para introducir el quemador. El agujero se puede cortar en la parte superior, la parte inferior (solera) o en los lados del cuello del orificio. Preferentemente, el agujero se recorta en la parte inferior o suelo del cuello del orificio.

El quemador puede ser introducido en el orificio a través de un agujero cortado en la parte inferior del cuello del orificio, preferentemente en una orientación sustancialmente vertical tal como se muestra en la figura 2. El quemador puede incluir una placa de montaje -95- para posicionar y unir el quemador al cuello del orificio. El quemador descarga el combustible y el gas oxidante en un plano sustancialmente horizontal en el espacio de combustión del horno.

El quemador puede funcionar en una diversidad de formas para controlar la temperatura y distribución del flujo calorífico, tanto en el tanque del vidrio como en el orificio del recuperador. Esto se logra principalmente a través del ajuste en la distribución del oxígeno, cuya utilización estratégica proporciona la adaptación de la longitud, la luminosidad y la estabilidad de la llama, y puede contribuir asimismo a la refrigeración de la superficie del orificio.

El quemador puede funcionar introduciendo un combustible gaseoso a través del conducto -40- de combustible, introduciendo uno o más chorros de gas oxidante a través de dos o más del primer conducto -20- de gas oxidante, la lanza de escalonamiento del oxidante en el orificio (segundo conducto -80- de oxidante), y la lanza -90- de escalonamiento del oxidante del orificio inferior.

La presente invención se refiere asimismo a un horno -100-, una porción del cual se muestra en la figura 2. Aunque el horno según la presente invención se muestra con el quemador según la figura 2, el quemador según la figura 1 puede ser utilizado asimismo junto con el horno y un experto en la técnica puede adaptar claramente la descripción en el caso del quemador según la figura 1. El horno comprende un recuperador -125-, una cámara -135- de combustión del horno y un cuello -105- del orificio del recuperador que conecta el recuperador -125- a la cámara -135- de combustión del horno. El cuello -105- del orificio del recuperador define un orificio -110- y una abertura -115- del orificio en la pared -120- del horno -100-. El horno puede comprender asimismo un quemador según las características descritas anteriormente. El quemador penetra a través del cuello -105- del orificio del recuperador y en el orificio -110- y el quemador está dispuesto para dirigir un combustible y un oxidante al interior del horno -100-.

El cuello -105- del orificio del recuperador comprende el arco del orificio (parte superior), la solera del orificio (parte inferior) y las paredes laterales, contruidos normalmente de ladrillo refractario. El cuello del orificio del recuperador define un paso u orificio entre el recuperador y la abertura del orificio o boca del orificio del horno. Tal como se utiliza en este documento, el orificio es el conducto de paso y se distingue de la abertura del orificio.

5 El recuperador es un dispositivo de recuperación de calor que utiliza la transferencia recuperativa de calor y es bien conocido en la técnica. Se pueden encontrar detalles de los recuperadores en "Glass Furnaces, Design Construction and Operation," (Hornos del vidrio, diseño constructivo y funcionamiento,) de Wolfgang Trier, traducido por K. L. Loewenstein, Society of Glass Technology, Sheffield, R.U., 2000, y "Manual de fabricación del vidrio", 3ª ed. vols. 1 y 2, de Fay Tooley (ed.), Ashlee Publishing Co. (Nueva York), 1984.

10 Tal como se utiliza en el presente documento, el cuello del orificio del recuperador es cualquier conducto que sirve o sirvió previamente para transferir aire de combustión desde un recuperador a un espacio de combustión en un horno.

15 El horno puede incluir un quemador que incluye cualquiera o todas las características descritas anteriormente para el quemador.

20 En una realización, tal como se muestra en la figura 1, se puede utilizar una lanza de escalonamiento en el orificio en el horno.

25 En una realización, tal como se muestra en la figura 2, el conducto -90- penetra en la pared -120- del horno en una posición por debajo de la abertura -115- del orificio y está dispuesto para dirigir el oxidante al interior del horno. El conducto -90- es una lanza de escalonamiento del oxidante de orificio inferior. El conducto está "por debajo" de la abertura del orificio si una línea trazada verticalmente hacia arriba de la lanza corta el orificio. Verticalmente significa derecho hacia arriba o hacia abajo, en vertical.

30 El horno puede incluir tanto una lanza de escalonamiento del oxidante en el orificio como una lanza de escalonamiento del oxidante de orificio inferior.

35 El horno comprende asimismo la cubeta del tanque de fusión dispuesta por debajo y contigua a la cámara de combustión del horno, un extremo de carga para introducir componentes para la formación del vidrio en la cubeta del tanque de fusión, y un extremo de descarga para retirar un producto del vidrio de la cubeta del tanque de fusión. Los componentes para la formación del vidrio se cargan en la cubeta del tanque de fusión del horno y se funden por el calor de las llamas de combustión en la cámara de combustión del horno. El vidrio fundido fluye desde el extremo de carga hasta el extremo de descarga y se retira como un producto del horno. El vidrio fundido retirado se somete a operaciones de conformación para transformar el vidrio en láminas del vidrio, fibra del vidrio, recipientes u otro producto que se desee.

40 El horno comprende asimismo un orificio de extracción en una pared del horno para retirar los productos de la combustión de la cámara de combustión del horno. El combustible y el oxidante se introducen a través del quemador en el cuello del orificio del recuperador en la cámara de combustión del horno, realizándose la combustión para formar una llama y transferir calor a los ingredientes de formación del vidrio y al vidrio fundido. Los productos de combustión de la reacción del combustible y oxidante se retiran de la cámara de combustión del horno a través del orificio de extracción.

45 La presente invención se refiere asimismo a un procedimiento de calentamiento de un horno, por ejemplo durante una reparación del recuperador. Después de hacer funcionar un horno durante un periodo de tiempo prolongado, el relleno de la transferencia de calor o del recuperador de calor se pueden obturar con componentes volátiles condensados del horno de vidrio o se degradan de otro modo. El horno todavía requiere seguir siendo calentado cuando un orificio de aire-combustible es puesto fuera de servicio para reparar el recuperador. Preferentemente se proporciona suficiente calor para mantener la producción del vidrio.

50 El procedimiento se puede utilizar asimismo para prolongar la duración de un horno sin reparar el recuperador degradado o para aumentar la velocidad de producción de un horno existente.

55 El quemador descrito anteriormente puede ser utilizado en un procedimiento de calentamiento de un horno mientras se repara un recuperador, para prolongar la duración del horno sin reparar el recuperador y/o para aumentar la velocidad de producción de un horno existente.

60 El procedimiento de calentamiento del horno comprende obstruir el flujo de aire al orificio, finalizar el flujo de combustible a un quemador de aire-combustible asociado con el orificio, instalar un quemador tal como el descrito anteriormente de modo que el quemador penetre a través del cuello del orificio del recuperador y en el interior del orificio, hacer pasar un refrigerante a través de la primera camisa de fluido de refrigeración, introducir un primer gas oxidante en el horno a través del primer conducto de oxidante, e introducir el mismo combustible que se utilizó durante la operación de aire-combustible anterior o un combustible diferente en el horno a través del conducto de combustible.

65 El procedimiento comprende asimismo quemar el combustible seleccionado con el primer gas oxidante para formar los productos de combustión y retirar los productos de la combustión de la cámara de combustión del horno a través de un orificio de extracción.

5 Durante una reparación del recuperador, se necesitará interrumpir el flujo de aire a través de esta porción del paquete de recuperadores de calor del recuperador de modo que los recuperadores de calor degradados se puedan retirar y se puedan instalar recuperadores de calor de sustitución. El recuperador puede ser un diseño de caja abierta o un diseño compartimentalizado. El flujo de aire se puede obstruir o bloquear de otra manera en la parte inferior del recuperador. Puede ser deseable asimismo obstruir o bloquear de otra manera el flujo de aire en el extremo de más arriba del orificio del recuperador.

10 El cuello del orificio del recuperador puede ser cortado o modificado de otro modo para proporcionar un agujero para instalar el quemador. El agujero en el cuello del orificio del recuperador puede estar situado en la parte inferior o solera del cuello del orificio del recuperador tal como se muestra en la figura 2. El agujero puede estar cortado asimismo en cualquiera de los lados del cuello del orificio del recuperador o en el arco o parte superior del cuello del orificio del recuperador.

15 El quemador puede ser instalado de modo que el quemador penetre a través del cuello del orificio del recuperador y en el interior del orificio. La distancia del extremo de salida de la segunda porción del primer conducto de oxidante y la distancia del extremo de salida de la segunda porción del conducto de combustible de cualquiera de las paredes del cuello del orificio se pueden ajustar mediante la posición de la placa de montaje -95-.

20 En general, un refrigerante, preferentemente agua, se hará pasar a través de la primera camisa de fluido de refrigeración durante la instalación del quemador en el cuello del orificio del recuperador para impedir el recalentamiento del quemador mientras está siendo instalado.

25 Una vez instalado, un primer gas oxidante será introducido en el horno a través del primer conducto de oxidante y un combustible será introducido en el horno a través del conducto de combustible. El combustible puede ser el mismo combustible que el que se utilizó para la operación de aire-combustible previa o se puede utilizar un combustible diferente si se desea. El combustible puede ser gas natural.

30 El procedimiento puede comprender además introducir el primer gas oxidante o un segundo gas oxidante en el horno a través de un segundo conducto de oxidante.

35 El procedimiento puede comprender además introducir una cantidad de aire a través del orificio del recuperador. El aire, puede provenir del recuperador o de otra fuente. El aire introducido de esta manera tiene al menos tres efectos beneficiosos. En primer lugar, purga el orificio de gases del horno recirculados y de partículas, minimizando de esta manera la corrosión y acumulación de material en partículas en el interior del orificio. En segundo lugar, añade cantidad de movimiento a la llama. Finalmente, permite la reducción del flujo de oxidante al quemador, lo que disminuye a su vez los costes de funcionamiento y ralentiza la velocidad de combustión cerca de la tobera del quemador. La velocidad de combustión más lenta prolonga e intensifica, en general, la región luminosa de la llama, incrementando en consecuencia la transferencia de calor radiante. Se puede suministrar hasta el 25% de la cantidad requerida de flujo estequiométrico de oxígeno al quemador mediante el flujo de aire a través del orificio. Parte del requerimiento de oxígeno es proporcionado por el aire a través del orificio, del 95% a tan solo aproximadamente el 75% de la cantidad estequiométrica de oxidante requerido para completar la combustión del combustible al horno puede ser proporcionada por el primer gas oxidante y/o el segundo gas oxidante.

45 El recuperador puede ser reparado a continuación mientras que el funcionamiento del quemador proporciona calentamiento al horno y continúa la producción del vidrio.

50 Por lo demás, el horno puede continuar con su funcionamiento en este modo sin reparar el recuperador hasta el final de la campaña del horno.

55 Algunos límites de los intervalos de los parámetros del quemador se determinaron mediante consideraciones geométricas (es decir, espacio disponible) del quemador y del orificio de un horno de vidrio de recuperación. Para ayudar a determinar otros límites de estos intervalos, se utilizó un modelado de dinámica de fluidos computacional (CFD), tal como se describe en el siguiente ejemplo.

Ejemplo

60 Se utilizó un modelado CFD para aislar y examinar los efectos de los parámetros de diseño y de funcionamiento sobre los fenómenos térmicos y de la mecánica de fluidos en el quemador. Un quemador y un segundo oxidante asociado como se muestra en la figura 1 sirvieron como la configuración de modelado base. Los parámetros que variaron durante la acción de modelado, junto con sus intervalos respectivos, se facilitan en la tabla 1. Obsérvese que aunque el flujo de oxidante escalonado, es decir el porcentaje del flujo de oxidante total (primero más segundo), no es un parámetro de diseño para el quemador, fue incluido en el presente documento puesto que su variación en el interior del ejemplo ayuda a destacar adicionalmente los efectos de los demás parámetros. Se supuso que el combustible es gas natural, que se modela como metano al 100%.

Por motivos prácticos, solo se presentan los resultados de CFD más sobresalientes.

Tabla 1

Parámetro	Mínimo	Máximo
Longitud adimensional del quemador, L/D	0,8	2,7
Primera proporción del área de la sección transversal del flujo de oxidante; $\frac{A_i}{A_o}$	1,0	1,9
Proporción del área de la sección transversal del flujo de combustible; $\frac{A_{fi}}{A_{fo}}$	1,0	1,9
Proporción del área de la sección transversal del segundo conducto de oxidante; $\frac{A_{ni}}{A_{no}}$	1,0	1,55
Flujo de oxidante escalonado (% del flujo de oxidante total)	20%	80%

5 La variación de la longitud adimensional del quemador L/D , se llevó a cabo con el primer oxidante y las proporciones del área de la sección transversal del flujo de área de combustible en sus valores máximos (véase la tabla 1). Los resultados se resumen en las figuras 6 a 9.

10 Por ejemplo, el efecto de L/D en la temperatura pico de la llama se muestra en la figura 6. Obsérvese que aunque la tendencia en el caso del 20% de escalonamiento muestra un aumento gradual y relativamente pequeño de la temperatura a medida que se reduce L/D , la temperatura pico de la llama en el 80% del caso de escalonamiento aumenta en casi 100 K para el 80% de oxidante a medida que disminuye L/D de 2,7 a 1,4, luego disminuye a medida que decrece adicionalmente L/D hasta 0,8. Puesto que la temperatura pico de la llama aumenta en menos de 100 K para L/D variando entre 0,8 y 2,7 y L/D mayor que 2,7 tendría una temperatura pico de la llama aun más baja, es adecuado un L/D de 0,8 a 7. El quemador puede funcionar en un intervalo de L/D de 0,8 a 7.

20 Un examen más detallado de la temperatura de la llama en los casos que implican el 80% de escalonamiento se facilita en la figura 7, que compara la distribución de la temperatura de la llama para L/D igual a 0,8, 1,4 y 2,7. En primer lugar se observará que la temperatura pico en los tres casos se produce relativamente cerca de la tobera del quemador; por consiguiente, las variaciones en el valor pico exponen en potencia el metal del quemador a daños por alta temperatura. Además, para L/D igual a 1,4 y 2,7, la temperatura de la llama aumenta inicialmente, alcanzando un valor pico a una distancia de aproximadamente 0,5 m de la salida de la tobera. Sin embargo, para L/D igual a 0,8, la temperatura pico se produce a una distancia menor de 0,2 m de la salida de la tobera, aumentando de esta manera adicionalmente el riesgo de recalentamiento de la tobera. Asimismo es de interés que la temperatura de la llama para el caso de L/D igual a 0,8 disminuye inmediatamente después de que se logre el pico, alcanzando un mínimo local que se encuentra entre 150 y 200 K más bajo que el que se produce en los otros dos casos. Estas características sugieren un cambio más radical en las propiedades de la llama que se produce entre L/D igual a 1,4 y 0,8 que el que se produjo para L/D igual a 2,7 y 1,4.

30 Una explicación del cambio en las propiedades de la llama se puede deducir de los perfiles de la velocidad de salida de la tobera de los casos de L/D igual a 1,4 y 0,8 facilitados en las figuras 8a y 8b, respectivamente. En particular, aunque la trayectoria de la mezcla combustible/primer oxidante permanece esencialmente inalterada en los dos casos, la trayectoria del segundo oxidante se altera significativamente a medida que se varía L/D . Es decir, para L/D igual a 1,4, la trayectoria del segundo oxidante es esencialmente paralela a la del primer chorro de oxidante/combustible. Sin embargo, a medida que se reduce L/D hasta 0,8, el flujo de oxidante escalonado, que tiene una longitud de desarrollo insuficiente en el interior de la segunda tobera de oxidante, se inclina hacia arriba hacia la llama principal aproximadamente 4 grados. Esto conduce a una rápida convergencia entre la llama y el oxidante secundario, que cuando se combina con el volumen relativamente grande del segundo oxidante (el 80% del oxidante total como oxidante escalonado), genera un mezclado acelerado cerca de la punta del quemador, lo que hace que la temperatura pico se localice más próxima a la tobera y que la temperatura mínima subsiguiente sea más baja que en los otros casos. El efecto práctico de estos hallazgos es que cuando el quemador comprende un segundo conducto de oxidante, el valor mínimo de L/D debe ser mayor o igual a 1,4. Sin embargo, puesto que las características del chorro de combustible/primer oxidante no se ven afectadas en gran medida por el cambio de L/D igual de 1,4 a 0,8, cuando el quemador no comprende el segundo conducto de oxidante, el valor mínimo de L/D debe ser mayor o igual a 0,8.

El efecto de L/D en la longitud de la llama, ilustrado en la figura 9, refuerza las conclusiones extraídas de las figuras 6 a 8. Esta figura muestra cómo la reducción de L/D conduce al acortamiento de la llama, debido presumiblemente al desarrollo insuficiente de los perfiles de velocidad de reacción en el interior del quemador y de las toberas de lanza de escalonamiento, lo que conduce a un mezclado acelerado. El efecto de acortamiento de la llama de L/D entre 1,4 y 0,8 para el 80% del oxidante escalonado es particularmente grave y puede ser atribuido de nuevo a la convergencia rápida entre los flujos principales y secundarios de la tobera, descritos anteriormente.

La variación de la primera proporción del área de oxidante se llevó a cabo con longitudes adimensionales del quemador, L/D , de 0,8 y 1,4. Se mostró que la temperatura pico de la llama es sensible a la primera proporción del

área de oxidante. La figura 10 muestra la temperatura pico en función de $\frac{A_i}{A_o}$ para L/D igual a 1,4, y para el 20% y el 80% de escalonamiento del oxidante. Un aumento de la temperatura pico del orden de 190 K se produce en el 80% de escalonamiento mientras que se produce un aumento de la temperatura pico de 230 K en el 20% de

escalonamiento ya que la proporción del área $\frac{A_i}{A_o}$ se reduce desde 1,9 hasta 1,0. En el último caso, el aumento de

la temperatura pico se agudiza a medida que disminuye $\frac{A_i}{A_o}$ desde 1,3 hasta 1,0. En la figura 11, se presentan resultados similares en el caso de L/D igual a 0,8. Como en la figura 10, el aumento de la temperatura pico se

agudiza a medida que se reduce $\frac{A_i}{A_o}$ por debajo de 1,3. En todos los casos, la temperatura pico más alta de la

llama alcanza un valor en el intervalo de 2600 a 2650 K para $\frac{A_i}{A_o}$ igual a 1,0.

En la figura 12 se presentan detalles adicionales que comparan las distribuciones de temperatura de la llama en el

caso de escalonamiento del 80% con $\frac{A_i}{A_o}$ igual a 1,0 y 1,9. Las distribuciones de temperatura en ambos casos muestran de nuevo el valor pico característico cerca de la salida de la tobera. Obsérvese sin embargo que la

ubicación del pico cambia desde una distancia de aproximadamente 0,4 m desde la tobera del quemador para $\frac{A_i}{A_o}$

igual a 1,9 hasta aproximadamente 0,2 m desde la tobera para $\frac{A_i}{A_o}$ igual a 1,0. Puesto que es la combinación de la temperatura pico y la ubicación del pico lo que define el riesgo relativo del recalentamiento de la tobera, se deduce

que se deben evitar los valores de $\frac{A_i}{A_o}$ menores de 1,3.

El mecanismo mediante el cual el efecto de variar la proporción del área de oxidante altera las propiedades de la

llama es a través del perfil de velocidad de salida del primer oxidante. Es decir, la disminución de la proporción $\frac{A_i}{A_o}$ aumenta la mala distribución del primer flujo de oxidante en la salida de la tobera del quemador, generando de ese modo un exceso de turbulencia y de movimiento lateral que aumenta la temperatura pico de la llama y acorta la longitud de la llama. Una forma para cuantificar la mala distribución de la velocidad es calcular la desviación de velocidad, definida como la desviación estándar de la velocidad local del valor medio de la sección transversal. Definida como tal, una desviación de velocidad superior corresponde a un mayor grado de no uniformidad que, en el caso de la presente invención, conduce a una mayor velocidad de mezclado no deseable entre el combustible y el

primer oxidante. Las desviaciones de velocidad que corresponden a la primera proporción del área de oxidante $\frac{A_i}{A_o}$ igual a 1,0, 1,3 y 1,9; L/D igual a 1,4; el 20% de escalonamiento, se enumeran en la tabla 2. La magnitud de las desviaciones, normalizada como un porcentaje de la velocidad de la sección transversal media, indica una

duplicación de la no uniformidad del primer oxidante a medida que se reduce la proporción del área $\frac{A_i}{A_o}$ desde 1,9 hasta 1,0. Por otra parte, muestra un aumento relativamente pequeño en la desviación de la velocidad a medida que

$\frac{A_i}{A_o}$ se reduce desde 1,9 hasta 1,3, comparado con un aumento bastante grande a medida que $\frac{A_i}{A_o}$ disminuye desde 1,3 hasta 1,0, indicando además la necesidad de mantener la primera proporción del área de oxidante $\frac{A_i}{A_o}$ en 1,3 o superior a la misma.

5

Tabla 2

Primera proporción del área de oxidante; $\frac{A_i}{A_o}$	Desviación de la velocidad (% de la velocidad media)
1,0	21,5
1,3	13,9
1,9	10,7

10

Con relación a la proporción del área de combustible, $\frac{A_{fi}}{A_{fo}}$, la disminución de este parámetro a lo largo del intervalo de 1,9 a 1,0 tiene un efecto cualitativamente similar sobre la temperatura pico de la llama que el cambio en la primera proporción del área de oxidante (con los mismos límites). La magnitud del efecto, sin embargo, es menor. Por ejemplo, con L/D igual a 0,8, la reducción de la proporción del área de combustible desde 1,9 hasta 1,0 produjo un aumento de 70 K en la temperatura pico de la llama, mientras que el aumento de la temperatura de la llama producido por la misma reducción en la primera proporción del área del oxidante fue de 250 K (véase la figura 11).

15

La menor sensibilidad de las características de la llama a la proporción del área de la tobera de combustible comparada con la de la primera proporción del área de oxidante es rastreada por el hecho de que el perfil de velocidad de la salida de la tobera de combustible no es tan sensible a los cambios de la proporción del área como lo es el primer perfil de velocidad de la salida de oxidante. Tal como se documenta en la tabla 3, las desviaciones de

20

la velocidad del combustible en la salida de la tobera para la proporción del área de combustible $\frac{A_{fi}}{A_{fo}}$ igual a 1,0 y 1,9 son menores que la mitad de los valores comparables para el primer oxidante (véase la tabla 2) Las

25

proporciones del área de combustible $\frac{A_{fi}}{A_{fo}}$ menores que 1,0 no son deseables ya que son propensas a efectos inestables de separación del flujo. Por consiguiente, basándose en el modelado CFD cualquier proporción del área

de la tobera de combustible, $\frac{A_{fi}}{A_{fo}}$, mayor o igual a 1,0 es aceptable en esta invención. Sin, embargo, las mediciones y observaciones de las propiedades de la llama realizadas durante las pruebas de prototipo de laboratorio indican que el rendimiento del quemador se mejora adicionalmente a través de la utilización de una proporción del área de combustible mayor de 1,37, y asimismo con un contorno cóncavo a convexo tal como se muestra en la figura 3.

Tabla 3

Proporción del área de oxidante $\frac{A_{fi}}{A_{fo}}$	Desviación de la velocidad (% de la velocidad media)
1,0	9,4
1,9	4,8

30

La proporción del área de la sección transversal de flujo, $\frac{A_{ni}}{A_{no}}$, del segundo conducto de oxidante influye enormemente en la segunda distribución de la velocidad del oxidante que sale de la tobera que, a su vez, puede afectar tanto al rendimiento como a la durabilidad del sistema del quemador. Para las condiciones de interés para

$$1,0 \leq \frac{A_{ni}}{A_{no}} \leq 1,55$$

35

esta invención, $\frac{A_{ni}}{A_{no}}$, los resultados del modelado CFD verificaron el fuerte efecto en la distribución de la velocidad. La figura 13 muestra que la desviación de la velocidad del oxidante secundario aumenta bruscamente

$$\frac{A_{ni}}{A_{no}}$$

cuando la proporción del área, $\frac{A_{ni}}{A_{no}}$, disminuye por debajo de un valor de aproximadamente 1,25, tal como es indicado por el aumento de pendiente en la curva. Aunque los resultados sugieren que el efecto en el rendimiento de la combustión es relativamente menor en todo este intervalo, la ruptura en el perfil de la velocidad de salida de la tobera en las proporciones del área por debajo de este valor crítico conduce a zonas de velocidad de salida muy baja que son propensas a inestabilidades que pueden conducir a un flujo separado o inverso. Esto aumenta el riesgo de corrosión y taponamiento de la tobera, y es probable que conduzca a la necesidad de un mantenimiento más

5 frecuente y a tasas de fallo más altas. Por lo tanto, la proporción del área aceptable mínima $\frac{A_{ni}}{A_{no}}$ para la segunda tobera de oxidante de esta invención es de 1,25.

10 En las siguientes cláusulas, se describen realizaciones preferentes de la invención:

1. Un quemador que comprende:

una primera camisa de fluido de refrigeración con un diámetro exterior equivalente, D ;

15 un primer conducto de oxidante dispuesto en una relación fija en el espacio y generalmente de manera concéntrica en el interior de la primera camisa de fluido de refrigeración, teniendo el primer conducto de oxidante:

una entrada;

20 una primera porción más abajo de la entrada del primer conducto de oxidante;

una porción curvada más abajo de la primera porción del primer conducto de oxidante, teniendo la porción curvada del primer conducto de oxidante un ángulo de curvatura, α , de 45° a 120°; y

25 una segunda porción más abajo de la porción curvada del primer conducto de oxidante, terminando la segunda porción del primer conducto de oxidante en un extremo de salida y teniendo un eje del flujo y una longitud, L ; y

un conducto de combustible que tiene:

30 una entrada;

una primera porción más abajo de la entrada del conducto de combustible, en el que la primera porción del conducto de combustible está dispuesta en una relación fija en el espacio y generalmente de manera concéntrica en el interior de la primera porción del primer conducto de oxidante;

35 una porción curvada en la que la porción curvada del conducto de combustible está dispuesta en una relación fija en el espacio y generalmente de manera concéntrica en el interior de la porción curvada del primer conducto de oxidante; y

40 una segunda porción que termina en un extremo de salida y que tiene un eje del flujo en el que la segunda porción del conducto de combustible está dispuesta en una relación fija en el espacio y generalmente de manera concéntrica en el interior de la segunda porción del primer conducto de oxidante, definiendo de ese modo un paso de oxidante entre la segunda porción del conducto de combustible y la segunda porción del primer conducto de oxidante;

45 en el que el paso de oxidante tiene una parte de entrada, una parte de transición más abajo de la parte de entrada, y una parte de salida más abajo de la parte de transición, en la que la parte de entrada tiene un área de la sección transversal, A_i , teniendo la parte de salida un área de la sección transversal, A_o , y

$$\text{en que } 0,8 \leq \frac{L}{D} \leq 7 \quad \text{y} \quad 1,3 \leq \frac{A_i}{A_o} \leq 5$$

50 2. El quemador de la cláusula 1, en el que la segunda porción del conducto de combustible define un paso de combustible en el que el paso de combustible tiene una parte de entrada, una parte de transición más abajo de la parte de entrada, y una parte de salida más abajo de la parte de transición, en el que la parte de entrada de la segunda porción del conducto de combustible tiene un área de la sección transversal, A_{fi} , y la parte de salida de la

55 segunda porción del conducto de combustible tiene un área de la sección transversal, A_{fo} , en la que $1,0 \leq \frac{A_{fi}}{A_{fo}} \leq 5$.

3. El quemador de la cláusula 1, en el que la segunda porción del conducto de combustible define un paso de

combustible, en el que el paso de combustible tiene una parte de entrada, una parte de transición más abajo de la parte de entrada, y una parte de salida más abajo de la parte de transición, en el que la parte de entrada de la segunda porción del conducto de combustible tiene un área de la sección transversal, A_{fi} , y la parte de salida de la

$$1,37 \leq \frac{A_{fi}}{A_{fo}} \leq 5$$

segunda porción del conducto de combustible tiene un área de la sección transversal, A_{fo} , en el que

5 4. El quemador de la cláusula 2 o 3, en el que la segunda porción del conducto de combustible tiene una superficie interior cóncava y una superficie interior convexa en la parte de transición del paso de combustible, en el que la superficie interior convexa del conducto de combustible está más abajo de la superficie interior cóncava del conducto de combustible.

10 5. El quemador de la cláusula 1, en el que el extremo de salida de la segunda porción del primer conducto de oxidante sobresale del extremo de salida de la segunda porción del conducto de combustible de 0,2 cm a 3 cm.

15 6. El quemador de la cláusula 1, que comprende además:
una segunda camisa de fluido de refrigeración opcional; y

20 un segundo conducto de oxidante dispuesto en una relación fija en el espacio y generalmente de manera concéntrica en el interior de, al menos, una de la primera camisa de fluido de refrigeración y la segunda camisa de fluido de refrigeración, teniendo el segundo conducto de oxidante:

una entrada;

25 una primera porción más abajo de la entrada del segundo conducto de oxidante;

una porción curvada más abajo de la primera porción del segundo conducto de oxidante, teniendo la porción curvada del segundo conducto de oxidante un ángulo de curvatura, β , estando el ángulo de curvatura β en el interior de 15° del ángulo de curvatura α ; y

30 una segunda porción más abajo de la porción curvada del segundo conducto de oxidante, terminando la segunda porción del segundo conducto de oxidante en una tobera y teniendo, la segunda porción del segundo conducto de oxidante un eje del flujo en una relación fija en el espacio con la segunda porción del primer conducto de oxidante;

en el que
$$1,4 \leq \frac{L}{D} \leq 7$$

35 7. El quemador de la cláusula 6, en el que el ángulo de curvatura, β está en el interior de 2° del ángulo de curvatura, α , y en el que el eje del flujo de la segunda porción del segundo conducto de oxidante es sustancialmente paralelo al eje del flujo de la segunda porción del primer conducto de oxidante.

40 8. El quemador de la cláusula 6, en el que la tobera tiene una entrada y una salida y en el que el extremo de salida de la segunda porción del primer conducto de oxidante sobresale de la salida de la tobera de la segunda porción del segundo conducto de oxidante de 0,2 cm a 3 cm.

45 9. El quemador de la cláusula 6, en el que la tobera de la segunda porción del segundo conducto de oxidante tiene una entrada y una salida en que la entrada tiene una sección transversal circular y un área de la sección transversal, A_{ni} , y la salida tiene una sección transversal no circular y un área de la sección transversal, A_{no} , en la que la salida de la tobera tiene una proporción de anchura a altura de 1,5 a 5.

$$1,25 \leq \frac{A_{ni}}{A_{no}} \leq 5$$

10. El quemador de la cláusula 9, en el que

50 11. El quemador de la cláusula 9, en el que la tobera tiene una altura convergente y una anchura divergente.

12. El quemador de la cláusula 9, en el que la tobera tiene una superficie convexa que realiza la transición entre la sección transversal circular y la sección transversal no circular.

55 13. El quemador de la cláusula 1, en el que la segunda porción del primer conducto de oxidante tiene una superficie interior convexa en la parte de transición del paso de oxidante.

14. El quemador de la cláusula 1, en el que la segunda porción del conducto de combustible tiene una superficie exterior cóncava en la parte de transición del paso de oxidante.

15. El quemador de la cláusula 6, en el que $60^\circ < \alpha < 110^\circ$ y $60^\circ < \beta < 110^\circ$.
- 5 16. El quemador de la cláusula 1, en el que la segunda porción del primer conducto de oxidante tiene una sección transversal circular.
17. El quemador de la cláusula 1, en el que la segunda porción del conducto de combustible tiene una sección transversal circular.
- 10 18. El quemador de la cláusula 1, en el que el eje del flujo de la segunda porción del primer conducto de oxidante es recto y es sustancialmente paralelo o sustancialmente coincidente con el eje del flujo de la segunda porción del conducto de combustible.
- 15 19. Un horno que comprende:
un recuperador;
una cámara de combustión del horno;
- 20 un cuello del orificio del recuperador que conecta el recuperador a la cámara de combustión del horno, definiendo el cuello del orificio del recuperador un orificio y una abertura del orificio en una pared del horno; y
un quemador según una cualquiera de las cláusulas 1 a 18, penetrando el quemador a través del cuello del orificio del recuperador y al interior del orificio, estando dispuesto el quemador para dirigir un combustible y un oxidante a la
25 cámara de combustión del horno.
20. El horno de la cláusula 19, que comprende además:
una cubeta del tanque de fusión dispuesta debajo de la cámara de combustión del horno, teniendo la cubeta del
30 tanque de fusión un extremo de carga para introducir los ingredientes de formación del vidrio en la cubeta del tanque de fusión y un extremo de descarga para retirar un producto del vidrio de la cubeta del tanque de fusión; y
un orificio de extracción en la pared o en otra pared del horno para retirar los productos de la combustión de la
35 cámara de combustión del horno.
21. Un horno que comprende:
un recuperador;
- 40 una cámara de combustión del horno;
un cuello del orificio del recuperador que conecta el recuperador a la cámara de combustión del horno, definiendo el cuello del orificio del recuperador un orificio y una abertura del orificio en una pared del horno; y
- 45 un quemador según la cláusula 5, en el que la primera camisa de refrigeración, el primer conducto de oxidante y el conducto de combustible penetran a través del cuello del orificio del recuperador y al interior del orificio, estando dispuesto el primer conducto de oxidante para dirigir un oxidante al interior del horno, estando dispuesto el conducto de combustible para dirigir un combustible al horno, y en el que el segundo conducto de oxidante penetra en la pared del horno en una posición por debajo de la abertura del orificio, estando dispuesto el segundo conducto de
50 oxidante para dirigir el oxidante al horno.
22. El horno de la cláusula 21, que comprende además:
una cubeta del tanque de fusión dispuesta debajo de la cámara de combustión del horno, teniendo la cubeta del
55 tanque de fusión un extremo de carga para introducir los ingredientes de formación del vidrio en la cubeta del tanque de fusión, y un extremo de descarga para retirar un producto del vidrio del tanque de fusión; y
un orificio de extracción en la pared o en otra pared del horno para retirar los productos de la combustión de la
60 cámara de combustión del horno.
23. Un procedimiento de calentamiento de un horno, teniendo el horno el cuello del orificio del recuperador que conecta el recuperador a la cámara de combustión del horno, definiendo el cuello del orificio del recuperador un orificio y una abertura del orificio en una pared del horno, comprendiendo el procedimiento:
65 obstruir el flujo de aire al orificio;

ES 2 624 723 T3

finalizar el flujo de combustible a un quemador de aire-combustible asociado con el orificio;

instalar un quemador definido según una cualquiera de las cláusulas 1 a 18 de modo que el quemador penetra a través del cuello del orificio del recuperador y en el interior del orificio;

5 hacer pasar un refrigerante a través de la primera camisa de fluido de refrigeración y, si está presente, a través de la segunda camisa de fluido de refrigeración;

introducir un primer gas oxidante en la cámara de combustión del horno a través del primer conducto de oxidante;

10 introducir el combustible u otro combustible en la cámara de combustión del horno a través del conducto de combustible;

15 realizar la combustión del combustible o del otro combustible con el primer gas oxidante para formar productos de combustión; y

retirar los productos de la combustión de la cámara de combustión del horno a través de un orificio de extracción.

20 24. El procedimiento de la cláusula 23, que comprende además continuar con el flujo de aire a través del orificio en una cantidad mayor que el 5% a una cantidad menor o igual al 25% del aire estequiométrico requerido para la combustión del combustible o del otro combustible que pasa a través del quemador.

25 25. El procedimiento de la cláusula 24, en el que el primer gas oxidante comprende del 28% en volumen al 100% en volumen de oxígeno.

26. El procedimiento de la cláusula 24, en el que el quemador está definido según una cualquiera de las cláusulas 5 a 12 y 18 y que comprende además:

30 introducir el primer gas oxidante o un segundo gas oxidante en la cámara de combustión del horno a través del segundo conducto de oxidante.

27. El procedimiento de la cláusula 26, en el que el segundo gas oxidante comprende del 28% en volumen al 100% en volumen de oxígeno.

35

REIVINDICACIONES

1. Quemador, (1) que comprende:

5 una primera camisa (10) de fluido de refrigeración con un diámetro exterior equivalente, D ;

un primer conducto (20) de oxidante dispuesto en una relación fija en el espacio y generalmente de manera concéntrica en el interior de la primera camisa (10) de fluido de refrigeración, teniendo el primer conducto (20) de oxidante:

10 una entrada (21);

una primera porción (23) más abajo de la entrada (21) del primer conducto (20) de oxidante;

15 una porción curvada (25) más abajo de la primera porción (23) del primer conducto (20) de oxidante, teniendo la porción curvada (20) del primer conducto de oxidante un ángulo de curvatura, α , de 45° a 120° ; y

20 una segunda porción (27) más abajo de la porción curvada (25) del primer conducto (20) de oxidante, terminando la segunda porción (27) del primer conducto (20) de oxidante en un extremo de salida (29) y teniendo un eje del flujo (22) y una longitud, L ; y

25 un conducto (40) de combustible que tiene:

una entrada (41);

30 una primera porción (43) más abajo de la entrada (41) del conducto de combustible, en el que la primera porción (43) del conducto (40) de combustible está dispuesta en una relación fija en el espacio y generalmente de manera concéntrica en el interior de la primera porción (23) del primer conducto (20) de oxidante;

35 una porción curvada (45) en el que la porción curvada del conducto de combustible está dispuesta en una relación fija en el espacio y generalmente de manera concéntrica en el interior de la porción curvada (25) del primer conducto (20) de oxidante; y

40 una segunda porción (47) que termina en un extremo (49) de salida y que tiene un eje del flujo (42) en el que la segunda porción (47) del conducto de combustible está dispuesta en una relación fija en el espacio y generalmente de manera concéntrica en el interior de la segunda porción (27) del primer conducto (20) de oxidante, definiendo de ese modo un paso (50) de oxidante entre la segunda porción (47) del conducto (40) de combustible y la segunda porción (27) del primer conducto (20) de oxidante;

45 en el que el paso (50) de oxidante tiene una parte (51) de entrada, una parte (53) de transición más abajo de la parte de entrada, y una parte (55) de salida más abajo de la parte (53) de transición, en el que la parte (51) de entrada tiene un área de la sección transversal, A_i , teniendo la parte (55) de salida un área de la sección transversal, A_o , y

en el que $0,8 \leq \frac{L}{D} \leq 7$ y $1,3 \leq \frac{A_i}{A_o} \leq 5$

mediante lo cual, en general, concéntrico significa que el eje de un conducto es común con el eje del otro conducto o está desplazado ligeramente hasta en 2 cm.

50 2. Quemador, según la reivindicación 1, en el que la segunda porción del conducto de combustible define un paso de combustible en el que el paso de combustible tiene una parte de entrada, una parte de transición más abajo de la parte de entrada, y una parte de salida más abajo de la parte de transición, en el que la parte de entrada de la segunda porción del conducto de combustible tiene un área de la sección transversal, A_{fi} , y la parte de salida de la segunda porción del conducto de combustible tiene un área de la sección transversal, A_{fo} , en el que $1,0 \leq \frac{A_{fi}}{A_{fo}} \leq 5$.

55 3. Quemador, según la reivindicación 2, en el que la segunda porción del conducto de combustible tiene una superficie interior cóncava y una superficie interior convexa en la parte de transición del paso de combustible, en el que la superficie interior convexa del conducto de combustible está más abajo de la superficie interior cóncava del conducto de combustible.

60 4. Quemador, según la reivindicación 1, en el que el extremo de salida de la segunda porción del primer conducto de oxidante sobresale del extremo de salida de la segunda porción del conducto de combustible de 0,2 cm a 3 cm.

5. Quemador, según la reivindicación 1, que comprende además:
- 5 una segunda camisa de fluido de refrigeración opcional; y
- un segundo conducto de oxidante dispuesto en una relación fija en el espacio y generalmente de manera concéntrica en el interior de, al menos, una de la primera camisa de fluido de refrigeración y de la segunda camisa de fluido de refrigeración, teniendo el segundo conducto de oxidante:
- 10 una entrada;
- una primera porción más abajo de la entrada del segundo conducto de oxidante;
- 15 una porción curvada más abajo de la primera porción del segundo conducto de oxidante, teniendo la porción curvada del segundo conducto de oxidante un ángulo de curvatura, β , estando el ángulo de curvatura β en el interior de 15° del ángulo de curvatura α ; y
- una segunda porción más abajo de la porción curvada del segundo conducto de oxidante, terminando la segunda porción del segundo conducto de oxidante en una tobera y teniendo un eje del flujo, estando la segunda porción del segundo conducto de oxidante en una relación fija en el espacio con la segunda porción del primer conducto de oxidante;
- 20 en el que $1,4 \leq \frac{L}{D} \leq 7$
6. Quemador, según la reivindicación 5, en el que el ángulo de curvatura, β está en el interior de 2° del ángulo de curvatura, α , y en el que el eje del flujo de la segunda porción del segundo conducto de oxidante es sustancialmente paralelo al eje del flujo de la segunda porción del primer conducto de oxidante, por lo que sustancialmente paralelo significa separado con una desviación con una distancia de separación máxima de 2 cm.
- 25 7. Quemador, según la reivindicación 5, en el que la tobera tiene una entrada y una salida y en el que el extremo de salida de la segunda porción del primer conducto de oxidante sobresale de la salida de la tobera de la segunda porción del segundo conducto de oxidante de 0,2 cm a 3 cm.
8. Quemador, según la reivindicación 5, en el que la tobera de la segunda porción del segundo conducto de oxidante tiene una entrada y una salida, en el que la entrada tiene una sección transversal circular y un área de la sección transversal, A_{ni} , y la salida tiene una sección transversal no circular y un área de la sección transversal, A_{no} , en el que la salida de la tobera tiene una proporción de anchura a altura de 1,5 a 5.
- 35 9. Quemador, según la reivindicación 8, en el que $1,25 \leq \frac{A_{ni}}{A_{no}} \leq 5$.
10. Quemador, según la reivindicación 8, en el que la tobera tiene una altura convergente y una anchura divergente.
- 40 11. Quemador según la reivindicación 8, en el que la tobera tiene una superficie convexa que realiza la transición entre la sección transversal circular y la sección transversal no circular.
12. Quemador, según la reivindicación 5, en el que $60^\circ < \alpha < 110^\circ$ y $60^\circ < \beta < 110^\circ$.
- 45 13. Quemador, según la reivindicación 1, en el que el eje del flujo de la segunda porción del primer conducto de oxidante es recto y es sustancialmente paralelo o sustancialmente coincidente con el eje del flujo de la segunda porción del conducto de combustible.
14. Horno que comprende:
- 50 un recuperador (125);
- una cámara (135) de combustión del horno;
- 55 un cuello (105) del orificio del recuperador que conecta el recuperador (125) a la cámara (135) de combustión del horno, definiendo el cuello (105) de orificio del recuperador un orificio (110) y una abertura (115) del orificio en una pared (120) del horno (100); y
- 60 un quemador (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, penetrando el quemador a través del cuello (105) del orificio del recuperador y en el orificio (110), estando dispuesto el quemador (1) para dirigir un combustible y un oxidante al interior de la cámara (135) de combustión del horno.

15. Horno, según la reivindicación 14, que comprende además:

una cubeta del tanque de fusión dispuesta debajo de la cámara de combustión del horno, teniendo la cubeta del tanque de fusión un extremo de carga para introducir los ingredientes de formación del vidrio en la cubeta del tanque de fusión y un extremo de descarga para retirar un producto del vidrio de la cubeta del tanque de fusión; y

un orificio de extracción en la pared o en otra pared del horno para retirar los productos de la combustión de la cámara de combustión del horno.

16. Horno, según la reivindicación 14, que comprende:

un quemador según la reivindicación 4, en el que la primera camisa de refrigeración, el primer conducto de oxidante y el conducto de combustible penetran a través del cuello del orificio del recuperador y en el interior del orificio, estando el primer conducto de oxidante dispuesto para dirigir un oxidante al horno, estando el conducto de combustible dispuesto para dirigir un combustible al horno, y en el que el segundo conducto de oxidante penetra en la pared del horno en una posición por debajo de la abertura del orificio, estando el segundo conducto de oxidante dispuesto para dirigir el oxidante al horno.

17. Horno, según la reivindicación 16, que comprende además:

una cubeta del tanque de fusión dispuesta debajo de la cámara de combustión del horno, teniendo la cubeta del tanque de fusión un extremo de carga para introducir ingredientes de formación del vidrio en la cubeta del tanque de fusión, y un extremo de descarga para retirar un producto del vidrio de la cubeta de fusión; y

un orificio de extracción en la pared o en otra pared del horno para retirar los productos de la combustión de la cámara de combustión del horno.

18. Procedimiento de calentamiento de un horno (100), teniendo el horno un cuello (105) del orificio del recuperador que conecta el recuperador (125) a una cámara de combustión del horno, definiendo el cuello (105) del orificio del recuperador un orificio (110) y una abertura (115) del orificio en una pared (120) del horno, comprendiendo el procedimiento:

obstruir el flujo de aire al orificio;

finalizar el flujo de un combustible a un quemador de aire-combustible asociado con el orificio;

instalar un quemador (1) definido según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, de tal modo que el quemador penetra a través del cuello (105) del orificio del recuperador y en el orificio;

hacer pasar un refrigerante a través de la primera camisa (10) de fluido de refrigeración y, si está presente, a través de la segunda camisa de fluido de refrigeración;

introducir un primer gas oxidante en la cámara (135) de combustión del horno a través del primer conducto (20) de oxidante;

introducir el combustible u otro combustible en la cámara (135) de combustión del horno a través del conducto de combustible;

realizar la combustión del combustible o del otro combustible con el primer gas oxidante para formar productos de combustión; y

retirar los productos de la combustión de la cámara (135) de combustión del horno a través de un orificio de extracción.

19. Procedimiento, según la reivindicación 18, que comprende además continuar con el flujo de aire a través del orificio en una cantidad mayor que el 5% hasta una cantidad menor o igual al 25% del aire estequiométrico requerido para la combustión del combustible o del otro combustible que pasa a través del quemador.

20. Procedimiento, según la reivindicación 19, en el que el quemador está definido según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 11 y 13 y que comprende además:

introducir el primer gas oxidante o un segundo gas oxidante en la cámara de combustión del horno a través del segundo conducto de oxidante.

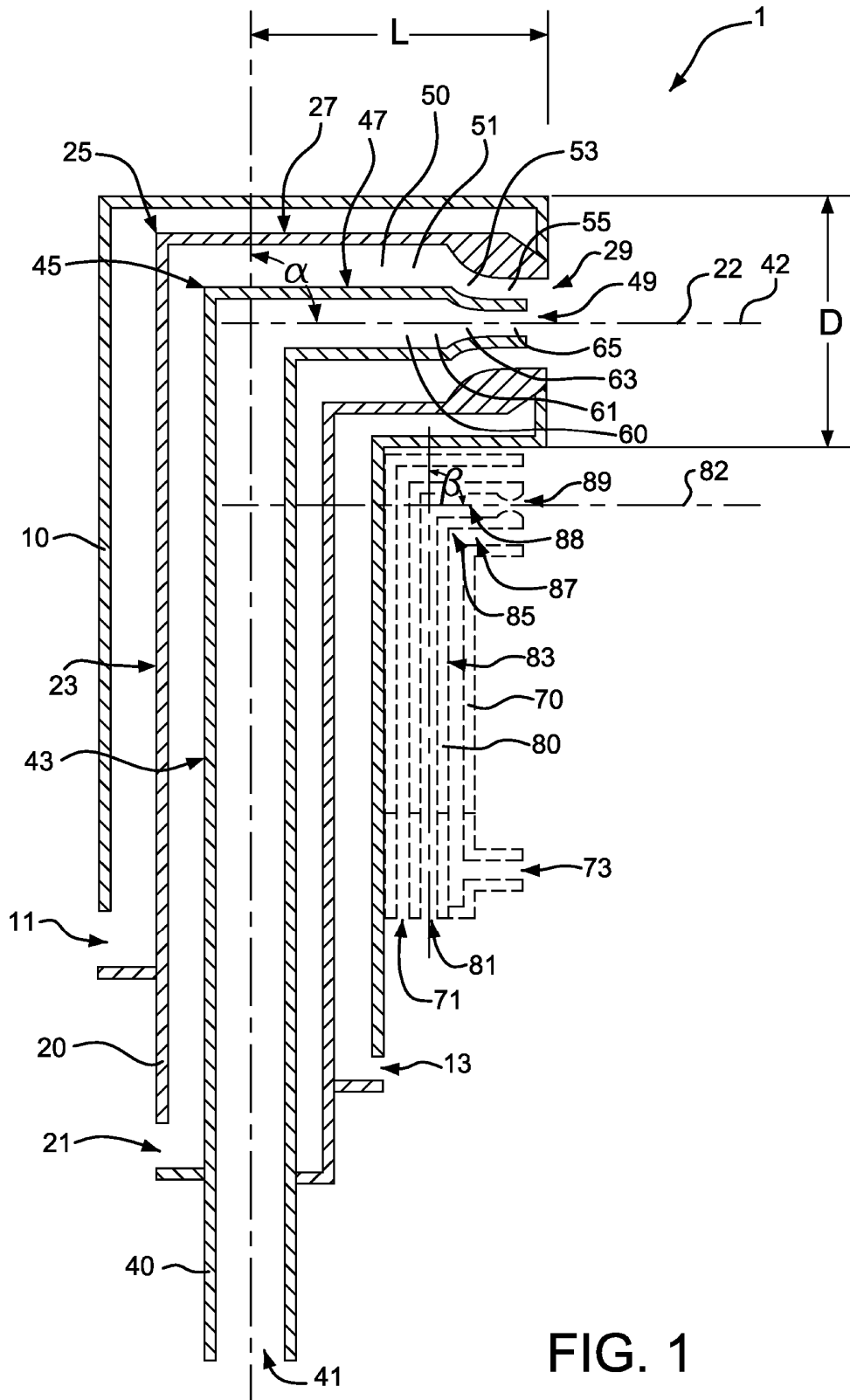
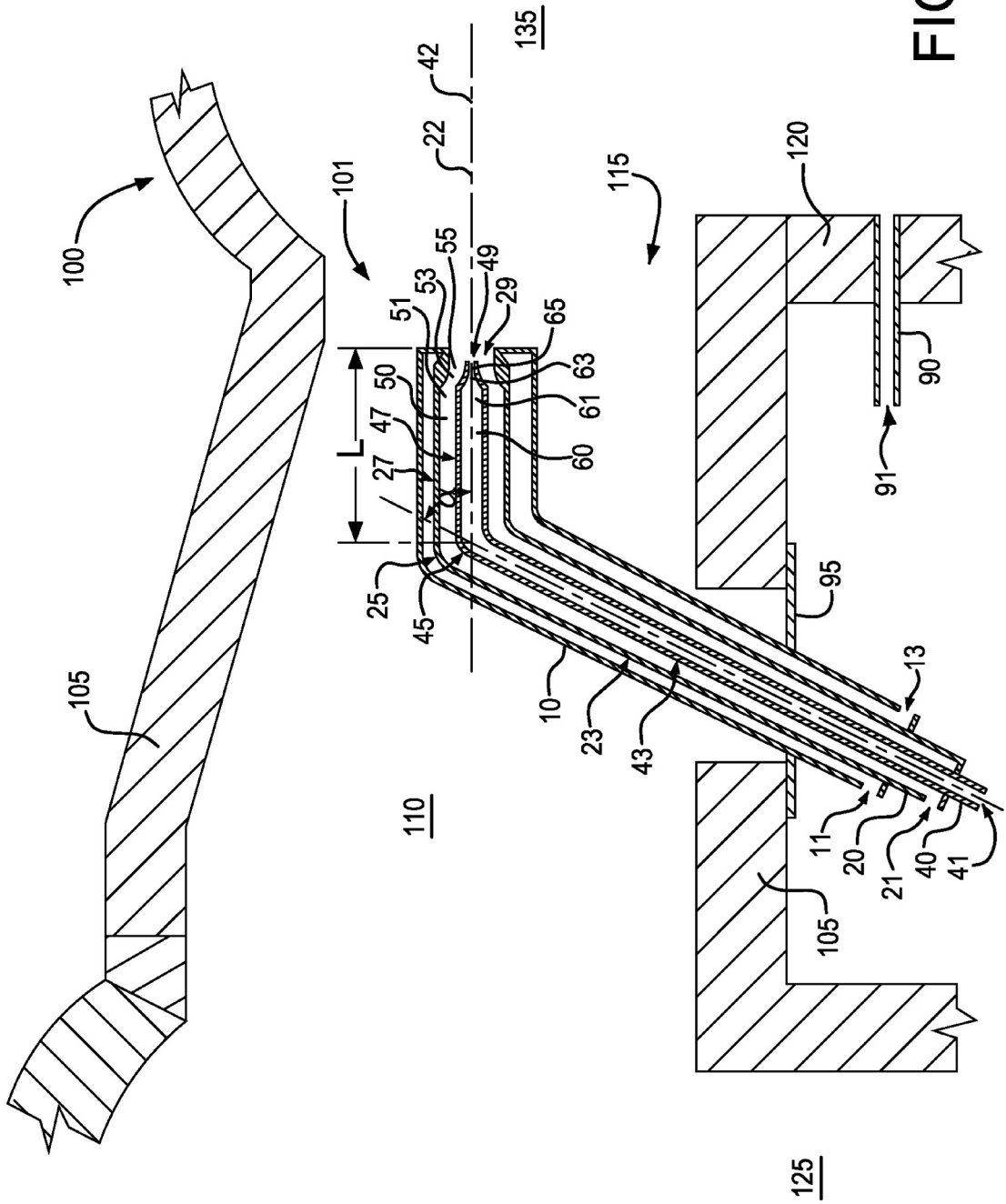


FIG. 1



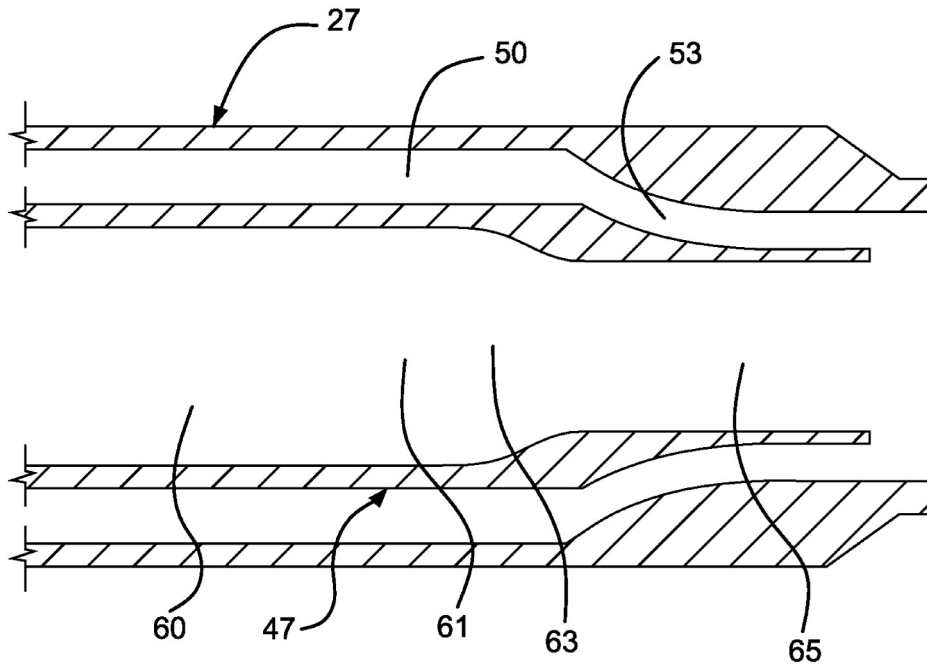


FIG. 3

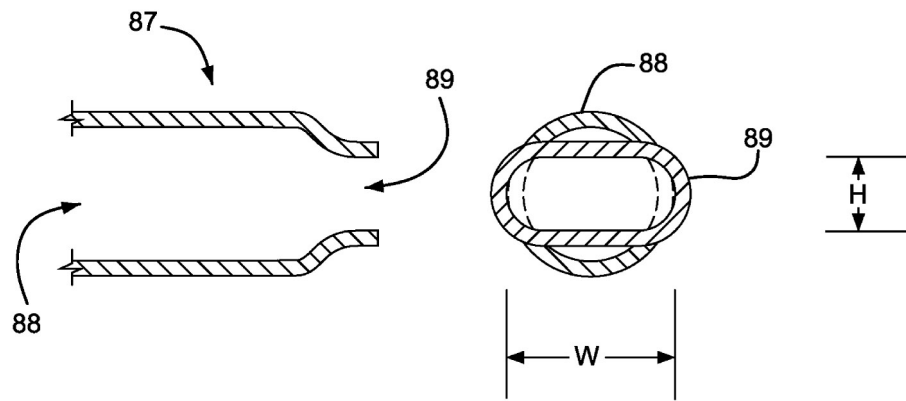


FIG. 4

Datos de flujo calorífico

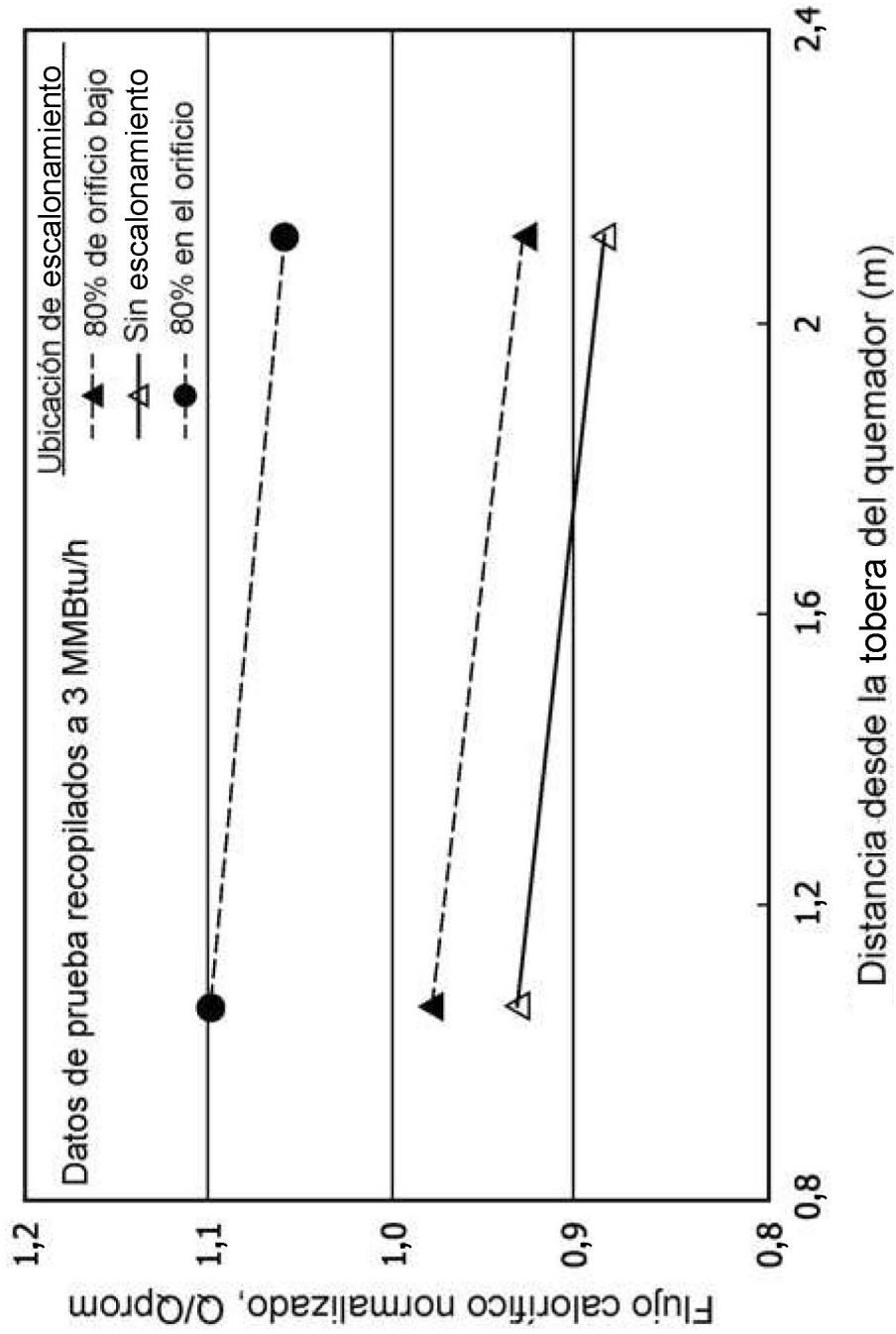


FIG. 5

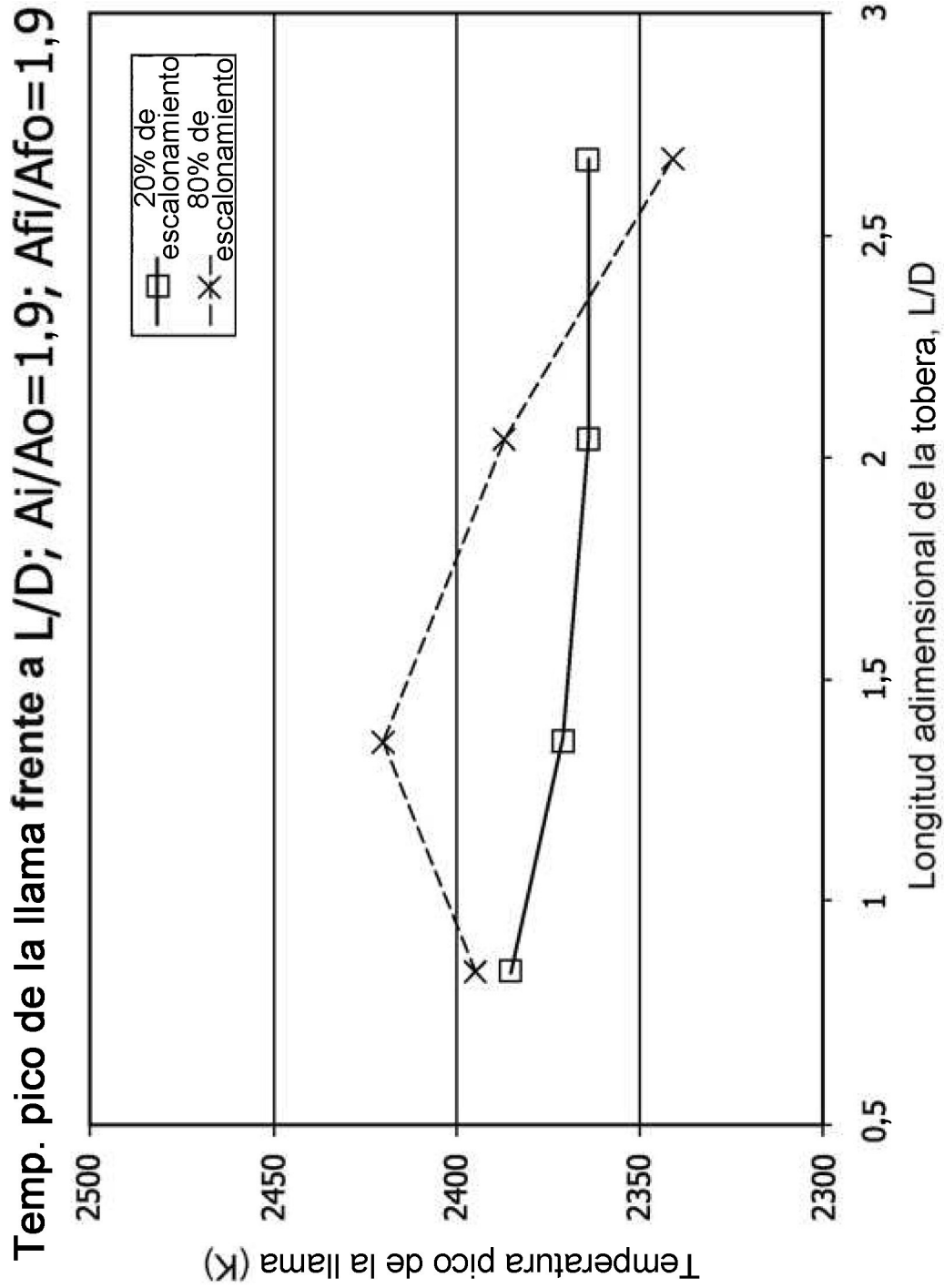


FIG. 6

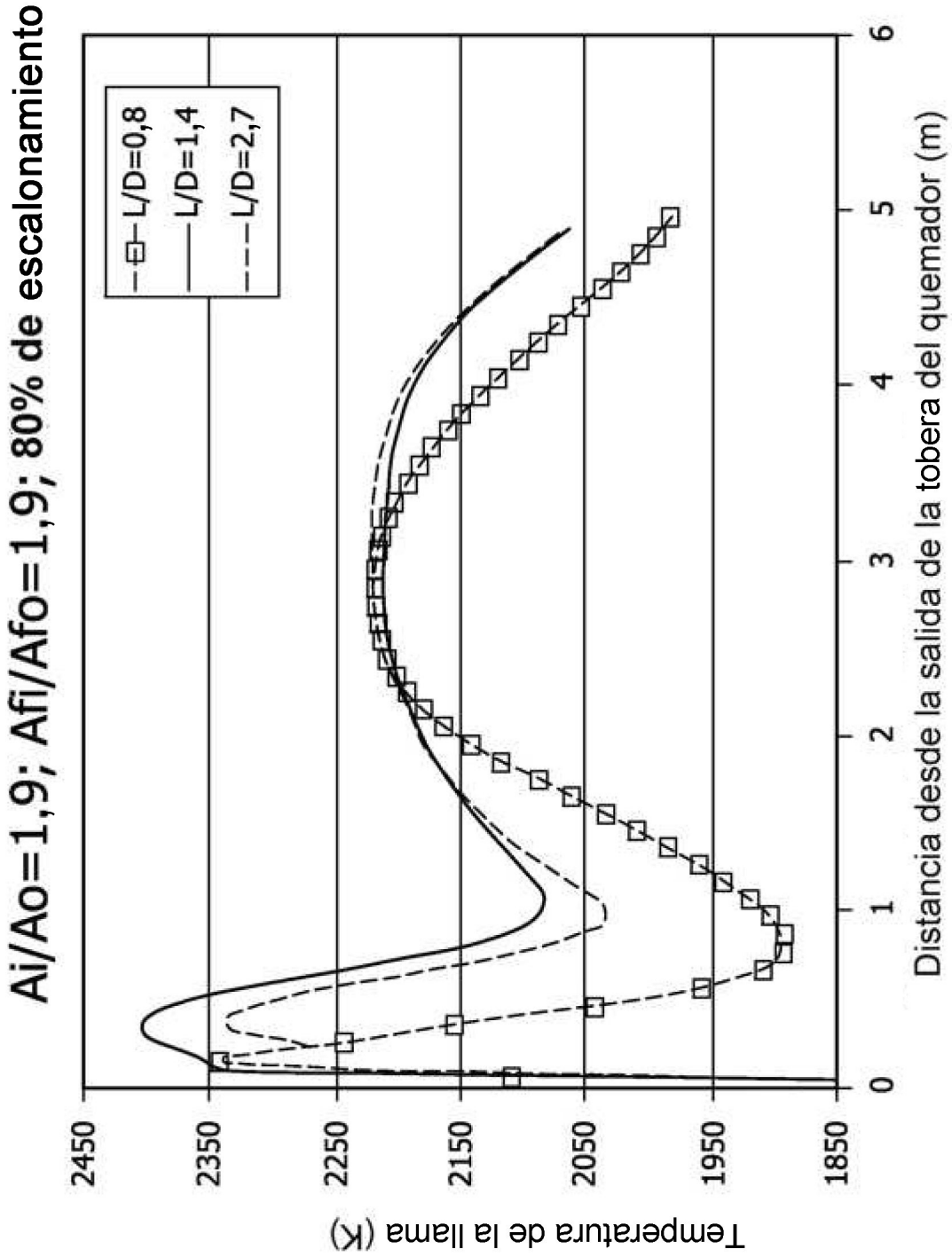
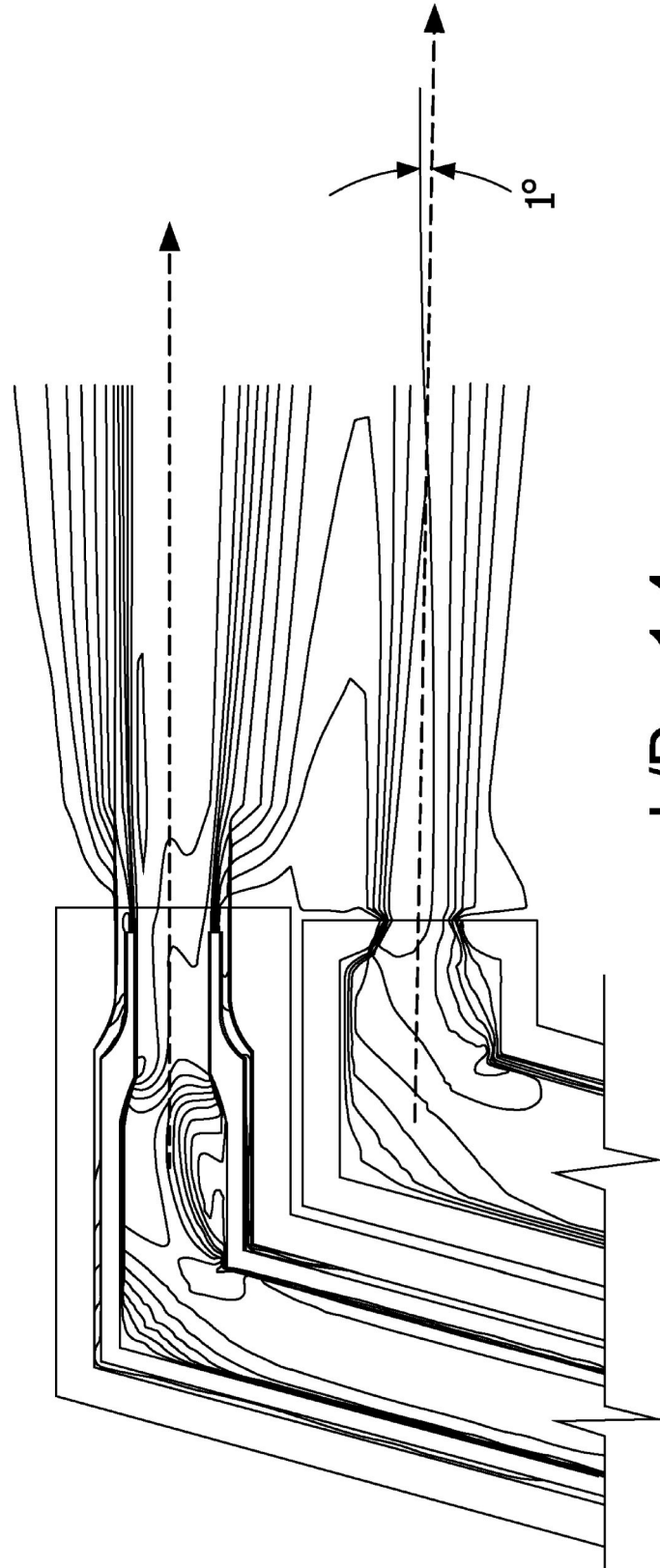


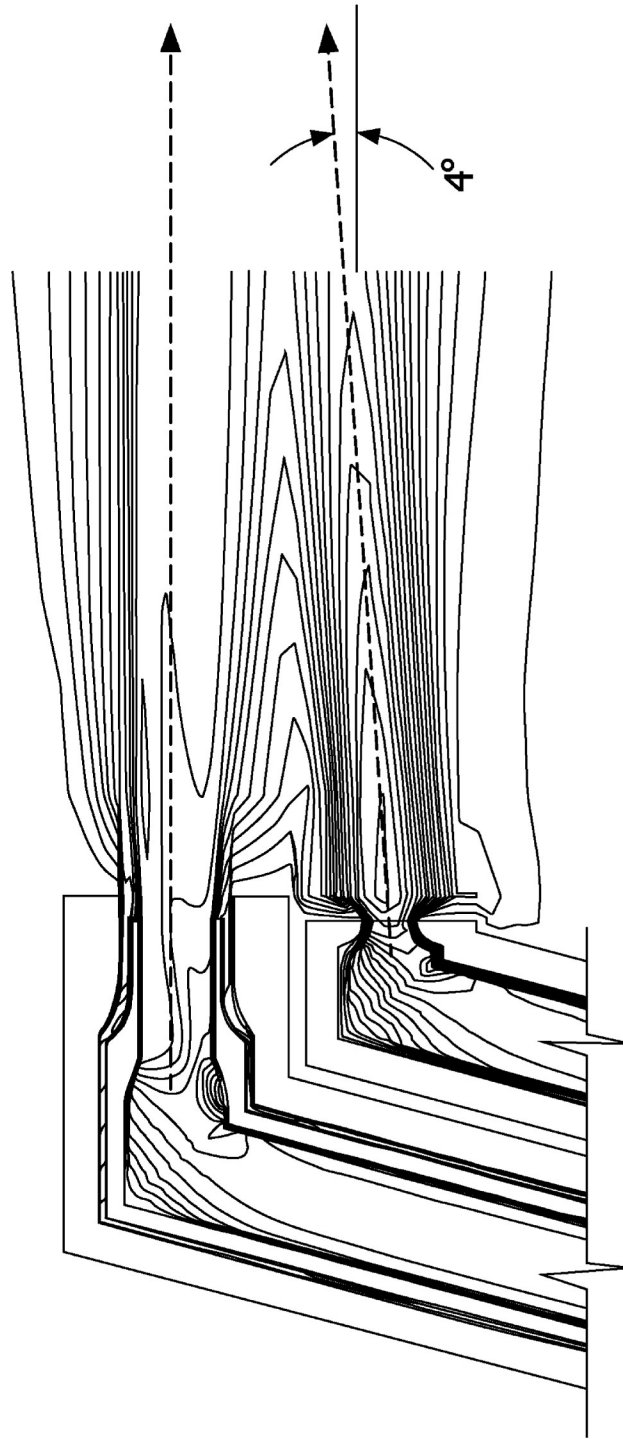
FIG. 7

FIG. 8a



$L/D = 1,4$

FIG. 8b



$L/D = 0,8$

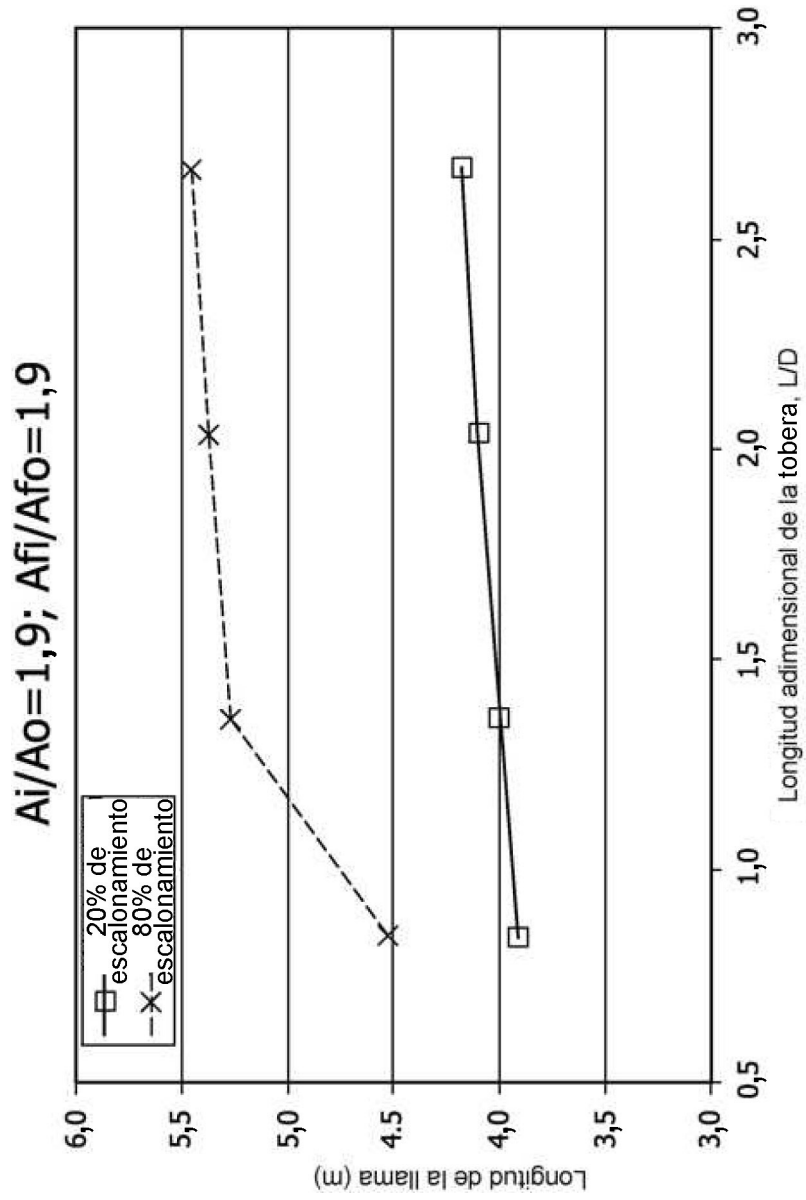


FIG. 9

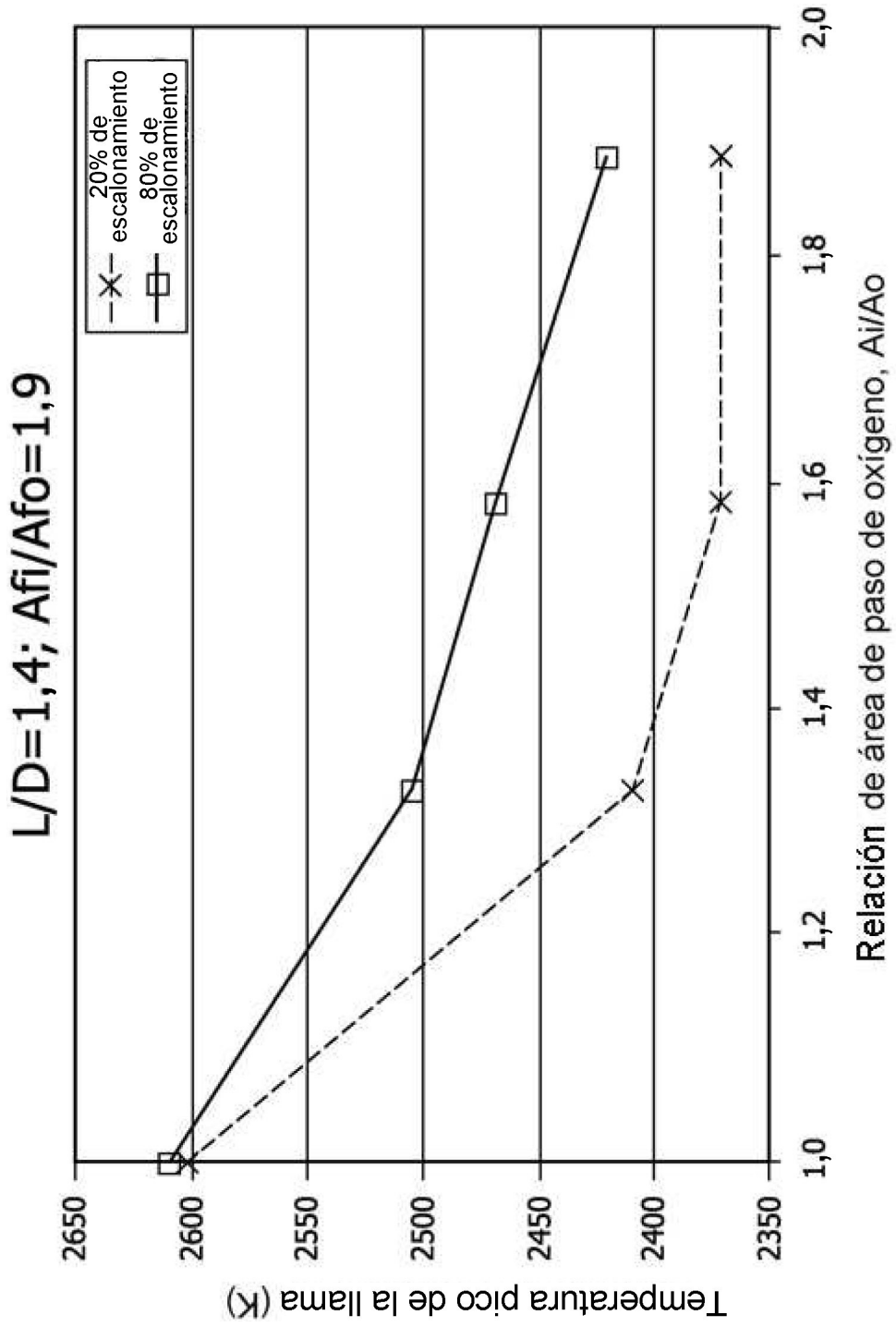


FIG. 10

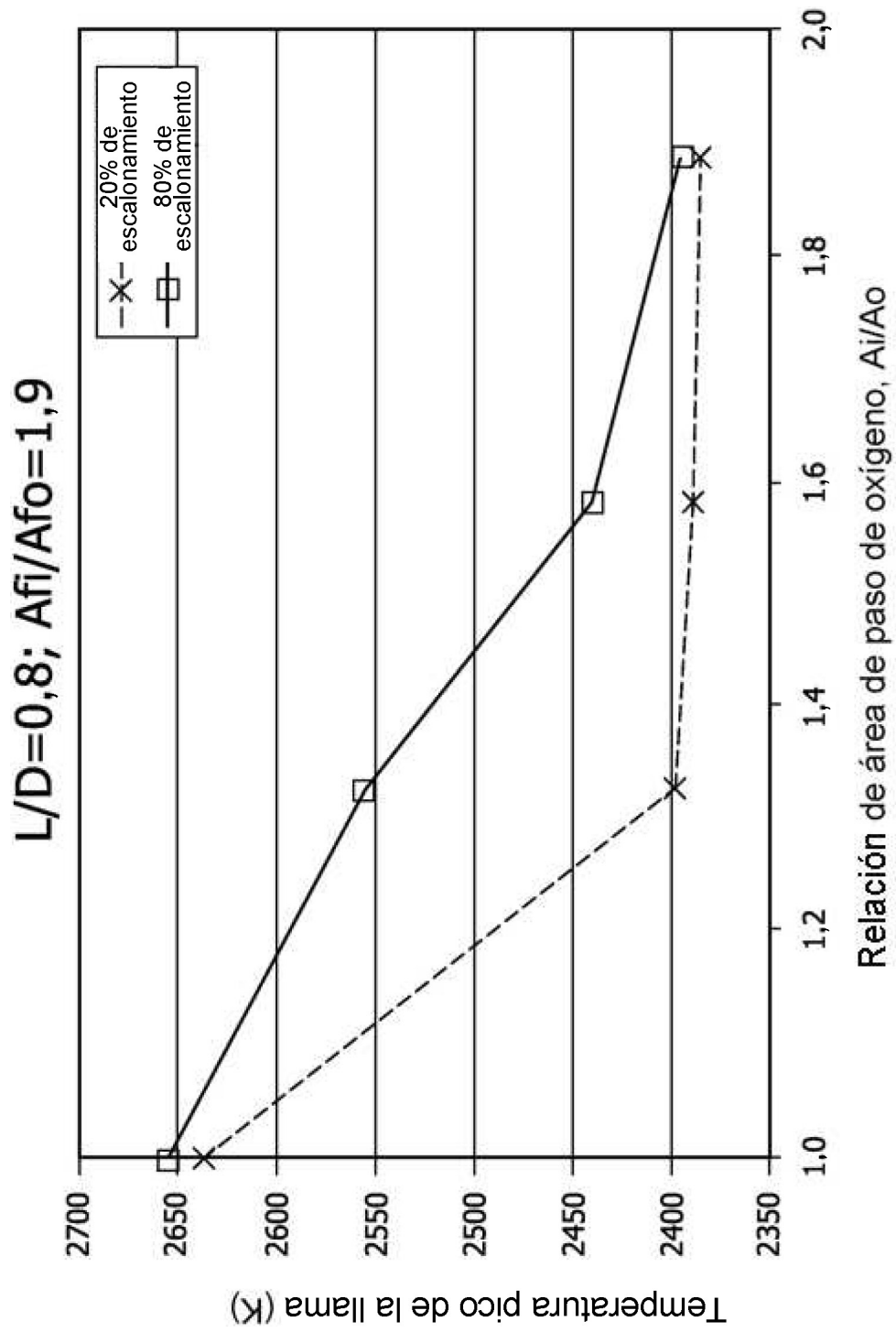


FIG. 11

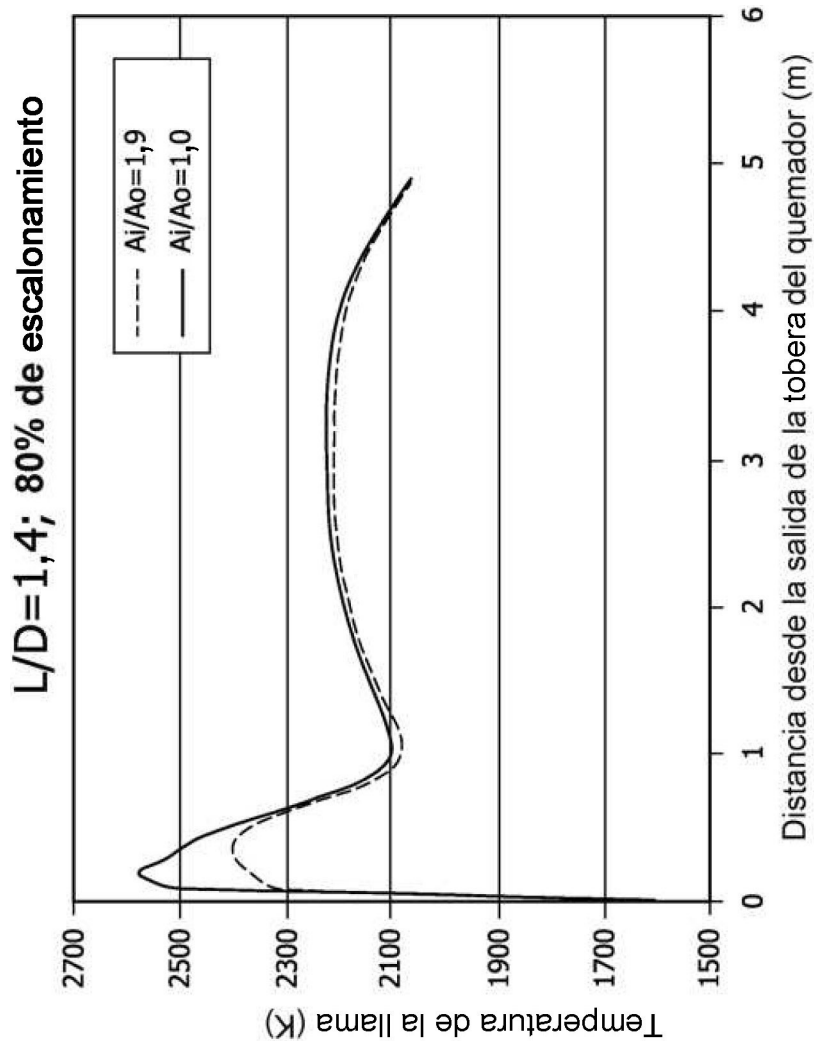
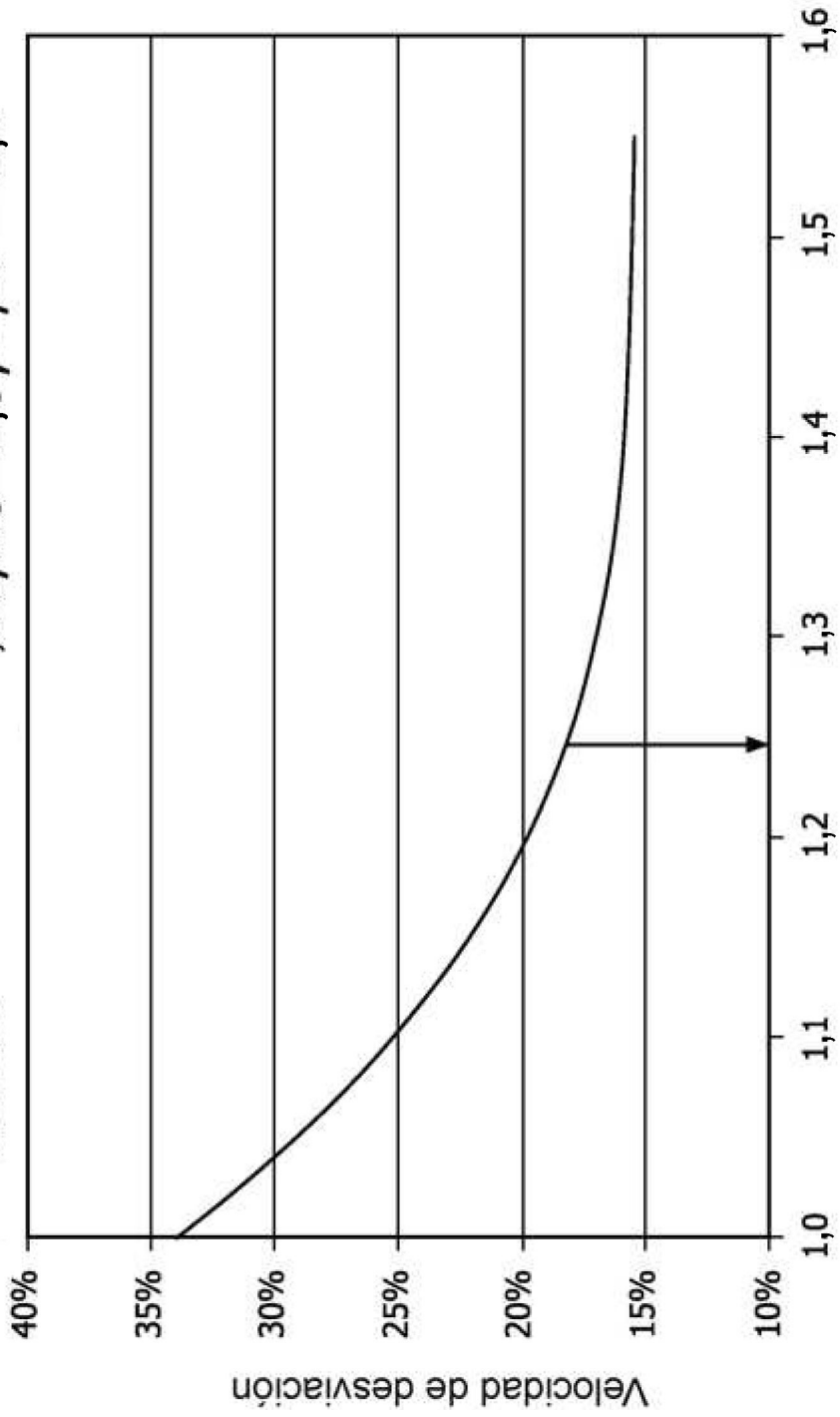


FIG. 12

Segunda desviación de velocidad de la tobera de oxidante
 80% de escalonamiento; $A_i/A_0=1,9$; $L/D = 1,4$



Segunda relación de área de oxidante, An_i/An_0

FIG. 13