

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 786 190**

51 Int. Cl.:

**F23D 14/84** (2006.01)

**F23C 5/08** (2006.01)

**F23N 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2015** **E 15000511 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2020** **EP 2913586**

54 Título: **Quemador y procedimiento de calentamiento transitorio**

30 Prioridad:

**28.02.2014 US 201414193698**

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

**09.10.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SANE, ANUP VASANT;**  
**GANGOLI, SHAILESH PRADEEP;**  
**SLAVEJKOV, ALEKSANDAR GEORGI;**  
**BUZINSKI, MICHAEL DAVID;**  
**COLE, JEFFREY D.;**  
**HENDERSHOT, REED JACOB y**  
**XIAOYI, HE**

74 Agente/Representante:

**DURAN-CORRETJER, S.L.P**

**ES 2 786 190 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 y procedimiento de calentamiento transitorio

## 5 ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

Esta solicitud se refiere a un quemador y a un procedimiento para calentar un horno, y en particular a un horno industrial de fusión, para proporcionar una transferencia de calor mejorada a la vez que mejora la uniformidad del calentamiento y reduce las condiciones potenciales de sobrecalentamiento y oxidación en la superficie del baño fundido.

En un sistema convencional, el calor proporcionado, por una llama estacionaria, no está dirigido hacia el baño fundido, limitando de este modo la transferencia de calor desde la llama a la masa fundida. Además, si un sistema convencional es modificado para dirigir una llama estacionaria hacia la masa fundida, se puede producir un sobrecalentamiento y una oxidación del metal no deseados. Un enfoque para evitar el sobrecalentamiento, tal como se explica en la Patente US 5,554,022, es dirigir una llama de momento bajo hacia la masa fundida y a continuación hacer colisionar un chorro de momento alto contra la llama de momento bajo, haciendo que la llama se desplace. No obstante, este planteamiento todavía tiene un potencial significativo para la oxidación del metal y unas llamas potentes pueden interactuar con el refractario del horno y sobrecalentarlo.

Los documentos de Patente DE 102011014996 A1, US 6074197 A y US 2012122047 A1 dan a conocer diferentes quemadores.

## 25 CARACTERÍSTICAS

Un quemador de calentamiento transitorio según la reivindicación 1 y un procedimiento según la reivindicación 12 proporcionan factores mejorados de cobertura y visualización de una llama en un horno. La configuración del quemador permite un óptimo suministro del flujo calorífico tanto espacialmente como temporalmente, de modo que se puede conseguir y mantener una distribución uniforme de temperaturas en el horno. Se consigue un flujo de calor uniforme dirigiendo el flujo de calor a ubicaciones adecuadas, por ejemplo tal como se determina por medio de un algoritmo basado en la forma geométrica del horno o basado en retroalimentación en tiempo real de uno o varios sensores, durante ciertos periodos de tiempo. El quemador y el procedimiento permiten de manera selectiva unas llamas más largas y más penetrantes que pueden colisionar con la carga en el horno para proporcionar una fusión mejor, a la vez que se minimizan las pérdidas por oxidación de la masa fundida. En particular, múltiples llamas de momento alto son dirigidas hacia la masa fundida de una manera cíclica. Se evita el sobrecalentamiento y la energía es distribuida más uniformemente sobre el baño fundido. El quemador es capaz asimismo de generar vórtices modulando selectivamente múltiples llamas. En particular, el quemador tiene una serie de elementos del quemador independientes, cada uno con su propia llama en una situación pasiva o activa, que pueden ser moduladas en diversas disposiciones y frecuencias para conseguir el perfil del flujo calorífico deseado.

En las reivindicaciones dependientes se describen realizaciones opcionales que pertenecen también a la invención.

Los elementos del quemador pueden estar sustancialmente separados de manera uniforme en un círculo circunscrito, y la tobera de escalonamiento está posicionada en el interior del círculo circunscrito. En un aspecto, el quemador incluye tres elementos del quemador cada uno de ellos separado a  $120^\circ$  de los elementos del quemador adyacentes. En otro aspecto, el quemador incluye cuatro elementos del quemador separados a  $90^\circ$  de los elementos del quemador adyacentes. En aspectos adicionales, el quemador puede incluir cinco o seis elementos del quemador separados uniformemente alrededor de un círculo circunscrito.

En un aspecto, por lo menos uno de los elementos del quemador está inclinado radialmente hacia el exterior en un ángulo  $\alpha$  desde el círculo circunscrito. Los elementos del quemador pueden estar todos inclinados con el mismo ángulo  $\alpha$ , o cada elemento del quemador,  $n$ , puede estar inclinado radialmente hacia el exterior en un ángulo diferente  $\alpha_n$ . El ángulo  $\alpha$  es preferentemente menor o igual a  $60^\circ$  aproximadamente y más preferentemente desde unos  $10^\circ$  hasta unos  $40^\circ$ .

En otro aspecto, por lo menos uno de los elementos del quemador está inclinado tangencialmente en un ángulo  $\beta$  con respecto al círculo circunscrito. El ángulo  $\beta$  es preferentemente menor o igual a  $60^\circ$  aproximadamente, y más preferentemente desde unos  $10^\circ$  a unos  $40^\circ$ .

En otra realización de un quemador, los elementos del quemador y la tobera de escalonamiento están posicionados, en general, de modo colineal con cada tobera de escalonamiento situada aproximadamente equidistante entre dos elementos del quemador. En un aspecto, el quemador tiene como mínimo tres toberas de escalonamiento, incluyendo una tobera de escalonamiento central y por lo menos cuatro elementos del quemador posicionados alternados con las toberas de escalonamiento. En otro aspecto, los elementos del quemador y las toberas de escalonamiento a cada lado de la tobera de escalonamiento central están inclinados en un ángulo  $\gamma$  y alejándose de la tobera de escalonamiento central.

5 En otra realización de un quemador, las toberas de distribución y las toberas anulares de los elementos del quemador tienen cada una de ellas una sección transversal con un eje menor y un eje mayor que es por lo menos 1,5 veces más largo que el eje menor. Por lo menos dos toberas de escalonamiento están posicionadas, en general, de forma colineal y sustancialmente paralelas a los ejes mayores y son adyacentes a cada elemento del quemador.

10 En otra realización de un quemador, la tobera de escalonamiento tiene una sección transversal con un eje menor y un eje mayor que es por lo menos 1,5 veces más largo que el eje menor y como mínimo dos elementos del quemador están posicionados de manera colineal, y son adyacentes a la tobera de escalonamiento y sustancialmente paralelos al eje mayor. En un aspecto los elementos del quemador están inclinados hacia el exterior desde el eje menor de la tobera de escalonamiento en un ángulo  $\Phi$  de menos de unos 45°.

15 El controlador está programado para controlar el flujo de combustible a una tobera de distribución pasiva, para que sea mayor de cero y menor o igual a la mitad del caudal de una tobera de distribución activa. En una realización, el controlador está programado para controlar que la proporción de escalonamiento sea menor o igual a aproximadamente el 40 %.

20 En otra realización, el combustible que sale de una tobera de distribución activa tiene una velocidad del chorro activo y el oxidante que sale de la tobera de escalonamiento tiene una velocidad del chorro de escalonamiento, y el controlador está programado para controlar que la proporción de la velocidad del chorro de escalonamiento con respecto a la velocidad del chorro activo sea por lo menos aproximadamente de 0,05 y menor de 1. Preferentemente, la proporción de la velocidad del chorro de escalonamiento con respecto a la velocidad del chorro activo está controlada para que sea desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 0,4.

25 En un aspecto el primer oxidante que fluye a través de las toberas anulares tiene una concentración de oxígeno igual o mayor del 70 % aproximadamente. En otro aspecto, el segundo oxidante que fluye a través de la tobera de escalonamiento tiene una concentración de oxígeno igual o mayor del 20,9 % aproximadamente.

30 Según la invención, una tobera de distribución activa tiene un caudal del chorro activo y en la misma una tobera de distribución pasiva tiene un caudal del chorro pasivo, y el controlador está programado para controlar que la proporción del caudal del chorro activo con respecto al caudal del chorro pasivo sea desde 5 aproximadamente hasta 40 aproximadamente. Preferentemente, el controlador está programado para controlar que la proporción del caudal del chorro activo con respecto al caudal del chorro pasivo sea desde aproximadamente 15 hasta aproximadamente 25.

35 En otro aspecto, un elemento del quemador que tiene una tobera de distribución pasiva tiene una proporción de equivalencia desde aproximadamente 0,2 hasta aproximadamente 1. En otro aspecto, un elemento del quemador que tiene una tobera de distribución activa tiene una proporción de equivalencia desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 10. La proporción de equivalencia es la proporción del flujo de oxidante estequiométrico teórico a través de la tobera anular con respecto al flujo de oxidante real a través de la tobera anular para quemar el combustible que fluye a través de la tobera de distribución.

40 En otra realización, un sensor está configurado para proporcionar una señal al controlador. El controlador está programado para controlar que cada tobera de distribución sea activa o pasiva en base a la señal. El sensor ha sido seleccionado de entre el grupo compuesto de sensores de temperatura, sensores de radiación, sensores ópticos, cámaras, sensores de color, sensores de conductividad, sensores de proximidad y combinaciones de los mismos.

45 En una realización, el primer oxidante y el segundo oxidante tienen la misma concentración de oxígeno. En otra realización, el primer oxidante y el segundo oxidante tienen concentraciones de oxígeno diferentes.

50 En una realización, la tobera de escalonamiento incluye una paleta de turbulencia para generar una turbulencia en el segundo oxidante.

55 Se describe un procedimiento de funcionamiento de un quemador en un horno, teniendo el quemador por lo menos una tobera de escalonamiento y por lo menos dos elementos del quemador cada uno de los cuales comprende una tobera de distribución rodeada por una tobera anular. El procedimiento incluye hacer circular oxidante con un caudal de escalonamiento a través de la tobera de escalonamiento, hacer circular oxidante con un primer caudal de oxidante principal a través de cada una de las toberas anulares, seleccionar por lo menos una de las toberas de distribución para que sea activa y por lo menos una de las toberas de distribución para que sea pasiva, hacer circular combustible con un caudal del chorro activo a través de las toberas de distribución activas, y hacer circular combustible con un caudal del chorro pasivo a través de las toberas de distribución pasivas, donde el caudal del chorro activo es mayor que el caudal medio de combustible a través de las toberas de distribución y el caudal del chorro pasivo es menor que el caudal medio de combustible a través de las toberas de distribución.

El procedimiento puede incluir además la detección de un parámetro en el horno, seleccionando de nuevo qué toberas de distribución son activas y qué toberas de distribución son pasivas en base al parámetro detectado, y la repetición periódica de las etapas de detección y de una nueva selección.

5 Se describe una realización de un quemador de calentamiento transitorio. El quemador incluye por lo menos dos elementos del quemador teniendo cada uno de ellos una tobera de distribución configurada para hacer circular un primer fluido, una tobera anular que rodea la tobera de distribución y está configurada para hacer circular un segundo fluido, y por lo menos una tobera de escalonamiento configurada para hacer circular un tercer fluido. El quemador incluye además un controlador programado para controlar de forma independiente el flujo del primer fluido a cada tobera de distribución, de modo que por lo menos una de las toberas de distribución sea activa y por lo menos una de las toberas de distribución sea pasiva, y para controlar que la proporción de escalonamiento sea menor o igual del 75 % aproximadamente. El flujo en una tobera de distribución activa es mayor que el flujo medio a las toberas de distribución, y el flujo en una tobera de distribución pasiva es menor que el flujo medio a las toberas de distribución. La proporción de escalonamiento es la proporción del flujo del tercer fluido con respecto a la suma del flujo del segundo fluido y del flujo del tercer fluido. En esta realización, el primer fluido contiene uno de combustible y de oxígeno y el segundo fluido y el tercer fluido contienen el otro de combustible y oxígeno, donde el combustible y el oxígeno son reactivos.

A continuación se describen otros aspectos de la invención.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es una vista en perspectiva desde un extremo de una realización de un quemador de calentamiento transitorio.

La figura 2 es un control esquemático para una realización de un quemador de calentamiento transitorio.

La figura 3 es una secuencia operativa esquemática para una realización de un quemador de calentamiento transitorio como el de la figura 1.

La figura 4 es una vista esquemática desde un extremo que muestra orientaciones de la tobera para dos realizaciones de un quemador de calentamiento transitorio.

Las figuras 5a a 5e son vistas de diversas realizaciones de un quemador de calentamiento transitorio. La figura 5a muestra un quemador que tiene una tobera central de escalonamiento rodeada por cuatro elementos del quemador inclinados radialmente hacia el exterior; la figura 5b muestra un quemador que tiene una tobera central de escalonamiento rodeada por cuatro elementos del quemador inclinados tangencialmente a lo largo de un círculo circunscrito; la figura 5c muestra un quemador que tiene una disposición colineal de elementos del quemador alternados y toberas de escalonamiento en las que todas excepto la tobera central de escalonamiento están inclinadas hacia el exterior; la figura 5d muestra un quemador que tiene cuatro elementos del quemador colineales adyacentes y sustancialmente paralelos al eje mayor de una tobera de escalonamiento con ranuras; y la figura 5e muestra un par de elementos del quemador alineados de llama plana y un par de toberas colineales de escalonamiento adyacentes y sustancialmente paralelas al eje mayor de cada elemento del quemador.

La figura 6 muestra diversas posibles formas geométricas de una tobera de distribución en el interior de cada elemento del quemador.

La figura 7 es una vista, en perspectiva, de un horno mostrando dos posibles orientaciones de montaje de un quemador de calentamiento transitorio.

La figura 8 es un gráfico en el que se compara en una escala relativa los datos de producción de NOx de un quemador convencional de oxígeno-combustible, un quemador convencional escalonado de oxígeno-combustible, y un quemador de calentamiento transitorio en ambos modos, luminoso y no luminoso.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

La figura 1 representa una realización de un quemador de calentamiento transitorio 10. El quemador 10 incluye un cuerpo 12 que tiene una cara 14 en la que está montado el quemador 10 en un horno (por ejemplo, tal como en la figura 7), la cara 14 está expuesta a la zona de combustión en el horno.

El quemador 10 incluye una serie de elementos 20 del quemador orientados de tal modo que definen un círculo circunscrito (ver la figura 4) con los elementos 20 del quemador distanciados preferentemente por igual alrededor del círculo circunscrito. Por lo menos una tobera de escalonamiento 30 está situada en el interior del círculo circunscrito. A efectos de referencia, están representados un chorro activo (A) y un chorro pasivo (P) para mostrar que el chorro activo tiene una llama más grande que el chorro pasivo.

El quemador 10 representado en la figura 1 tiene cuatro elementos 20 del quemador separados aproximadamente a intervalos de 90°. Sin embargo, se comprende que el quemador 10 puede incluir cualquier número n de elementos 20 del quemador igual o mayor que dos. Por ejemplo, un quemador 10 puede tener dos elementos 20 del quemador distanciados, de modo que sean diametralmente opuestos, o alternativamente tres elementos 20 del quemador distanciados a intervalos de 120° aproximadamente, o cinco o más elementos 20 del quemador distanciados a intervalos aproximadamente iguales. Se comprende asimismo que para ciertas formas geométricas del horno, de configuraciones, o de condiciones operativas, puede ser deseable tener un quemador 10 con una serie de elementos 20 del quemador que estén distanciados de forma desigual alrededor del círculo circunscrito. En otra alternativa, el quemador 10 puede tener una serie de elementos 20 del quemador que estén posicionados para definir una forma geométrica distinta de un círculo, por ejemplo, un óvalo o un polígono irregular, dependiendo de la forma geométrica y la configuración del horno.

El quemador 10 de la figura 1 tiene una tobera de escalonamiento 30 situada en la posición central. Sin embargo, se comprende que pueden estar dispuestas una serie de toberas de escalonamiento 30, donde las toberas de escalonamiento 30 pueden ser todas del mismo tamaño o de diferentes tamaños. Adicionalmente, dependiendo de la forma geométrica del horno, de las características deseadas de la llama, de la orientación de los elementos individuales 20 del quemador, y de otros factores, la tobera o toberas de escalonamiento (30) pueden estar situadas descentradas en el interior del círculo circunscrito definido por los elementos 20 del quemador. La tobera de escalonamiento 30 puede tener cualquier forma.

Cada elemento 20 del quemador incluye una tobera de distribución 22 rodeada por una tobera anular 24. Un reactivo distribuido fluye a través de la tobera de distribución 22 mientras que un reactivo escalonado fluye a través de la tobera anular 24, donde un reactivo es un combustible y el otro reactivo es un oxidante. Una parte del reactivo escalonado fluye asimismo a través de la tobera de escalonamiento 30. En una realización, el combustible fluye a través de la tobera de distribución 22 como el reactivo distribuido, mientras que el oxidante fluye a través de la tobera anular 24 como el reactivo escalonado. En otra realización, el oxidante es el reactivo distribuido que fluye a través de la tobera de distribución 22 y el combustible es el reactivo escalonado que fluye a través de la tobera anular 24. La proporción del reactivo escalonado introducido a través de las toberas anulares 24 comparado con el de la tobera de escalonamiento 30 puede ser ajustada con el objeto de mantener un funcionamiento estable del quemador y/o controlar propiedades de la llama tales como el perfil de liberación de calor.

Tal como se utiliza en esta memoria, el término "combustible" indica cualquier sustancia que contenga hidrocarburos que pueda ser utilizada como combustible en una reacción de combustión. Preferentemente, el combustible es un combustible gaseoso tal como gas natural, pero el combustible puede ser asimismo un combustible líquido atomizado o un combustible sólido pulverizado en un gas portador. Tal como se utiliza en esta memoria, el término "oxidante" indica cualquier sustancia que contiene oxígeno que puede oxidar el combustible en una reacción de combustión. Un oxidante puede ser aire, aire viciado (es decir, gas con menos de un 20,9 % de oxígeno aproximadamente) aire enriquecido en oxígeno (es decir, gas con más del 20,9 % de oxígeno aproximadamente) u oxígeno esencialmente puro (es decir, gas con aproximadamente el 100 % de oxígeno). En realizaciones preferentes, el oxidante es un aire enriquecido en oxígeno que tiene una concentración de oxígeno de por lo menos aproximadamente el 26 %, por lo menos aproximadamente el 40 %, por lo menos aproximadamente el 70 %, o por lo menos aproximadamente el 98 %.

La tobera de distribución 22 puede ser de cualquier forma. Un subconjunto de posibles formas a modo de ejemplo se muestra en la figura 6, incluyendo una tobera con ranuras (figura 6a), una tobera con una única ranura, (figura 6b), una tobera circular (figura 6c) y una tobera con múltiples orificios (figura 6d). Una explicación más detallada de posibles formas de tobera se puede encontrar en la Patente US 6,866,503 incorporada a esta memoria en su totalidad como referencia. Por ejemplo, para crear una llama luminosa con elevadas propiedades de transferencia de radiación, se puede utilizar una tobera de distribución 22 que tenga un factor de forma de menos de 10, mientras que para crear una llama no luminosa que puede tener un NOx menor, se puede utilizar una tobera de distribución que tenga un factor de forma de 10 o mayor. El modo luminoso puede ser preferible para operaciones de fusión, mientras que el modo no luminoso puede ser preferible en operaciones de recalentamiento. Se debe tener en cuenta que una tobera con un alto factor de forma puede incluir una tobera con múltiples orificios. Tal como se describe con detalle en la Patente US 6,866,503, el factor de forma,  $\sigma$ , se define como el cuadrado del perímetro, P, dividido por el doble del área de la sección transversal A, o en forma de ecuación:

$$\sigma = P^2 / 2A.$$

La figura 2 muestra un esquema simplificado de control para un quemador 10 tal como el descrito anteriormente. Un primer fluido F1 es suministrado a las toberas de distribución 22 a un caudal total controlado por medio de una válvula de control 23. El flujo del primer fluido F1 a cada tobera de distribución 22 es controlado por separado. En una realización, una válvula de control 26 antes de cada tobera de distribución 22 está modulada entre una posición de flujo elevado y una de flujo reducido, correspondientes respectivamente a una situación activa y una situación pasiva del elemento 20 del quemador que contiene dicha tobera de distribución 22. En una realización alternativa, la válvula de control 26 está posicionada en paralelo con un conducto de derivación 27. En esta realización, la válvula de control 26 está modulada entre una posición abierta y una posición cerrada, que corresponden asimismo a las

situaciones activa y pasiva del elemento 20 del quemador, mientras que el conducto de derivación 27 permite que una cantidad relativamente pequeña del flujo evite la válvula de control 26 de modo que parte del primer fluido F1 fluye siempre a la tobera de distribución 22, incluso en la situación pasiva.

5 El efecto de cualquiera de las disposiciones es el de modular el flujo a través de la tobera de distribución 22 entre un caudal activo relativamente elevado y un caudal pasivo relativamente reducido. Por ejemplo, un caudal activo puede ser definido como un caudal mayor que el caudal medio a las toberas de distribución 22, mientras que un caudal pasivo puede ser definido como un caudal menor que el caudal medio a las toberas de distribución 22. El caudal medio se determina dividiendo el caudal total del primer fluido F1 por el número total n de toberas de distribución 22/elementos 20 del quemador. Se pueden utilizar otras relaciones entre el caudal activo y el caudal pasivo, siempre que el caudal activo sea mayor que el caudal pasivo.

15 Independientemente de cómo hayan sido determinados los caudales activo y pasivo, el caudal pasivo debe ser mayor de un caudal cero. El caudal pasivo es suficiente para mantener la combustión en cada elemento 20 del quemador, de modo que proporciona un mecanismo para una ignición inmediata cuando un elemento 20 del quemador se conmuta de la situación pasiva a la situación activa. El caudal pasivo distinto de cero protege asimismo la tobera de distribución 22 contra la entrada de materias extrañas. En una realización, el caudal pasivo es menor o igual a la mitad del caudal activo. Según la invención, la proporción del caudal activo respecto al caudal pasivo es, por lo menos, de 5 aproximadamente, y no es mayor de aproximadamente 40. En otra realización más, la proporción del caudal activo respecto al caudal pasivo es, por lo menos, de 15 aproximadamente y no mayor de 25 aproximadamente.

25 Un segundo fluido F2 es suministrado a la tobera anular 24. Una válvula de control 28 controla el caudal total del segundo fluido F2 a las toberas anulares 24 y, según la invención, un colector 29 distribuye el flujo aproximadamente por igual entre las n toberas anulares 24. Un tercer fluido F3 es suministrado a la tobera de escalonamiento 30 y el caudal del tercer fluido F3 es controlado por una válvula de control 32. La tobera de escalonamiento 30 puede incluir una paleta de turbulencia u otro mecanismo (no mostrado) para impartir turbulencia en el tercer fluido F3 que sale de la tobera de escalonamiento 30. La turbulencia impartida en el tercer fluido F3 tiene como resultado la rotura de dicho chorro de fluido, lo que puede contribuir al arrastre del chorro del tercer fluido F3 por el chorro o los chorros activos. No obstante, no es deseable una turbulencia intensa dado que podría dominar la estructura del flujo y alterar las formas de la llama.

35 El segundo fluido F2 y el tercer fluido F3 contienen el mismo tipo de reactivo, sea combustible u oxidante. Por ejemplo, cuando el primer fluido F1 es combustible, el segundo fluido F2 y el tercer fluido F3 son ambos oxidantes, y cuando el primer fluido F1 es oxidante el segundo fluido F2 y el tercer fluido F3 son ambos combustibles. En una realización, el segundo fluido F2 y el tercer fluido F3 son fluidos diferentes, es decir, cada uno de ellos tiene el mismo reactivo (combustible u oxidante) pero en diferentes concentraciones. En este caso, la válvula de control 28 y la válvula de control 32 deben ser válvulas independientes para controlar los dos fluidos F2 y F3. En una realización alternativa (no mostrada), cuando el segundo fluido F2 y el tercer fluido F3 son el mismo fluido con la misma concentración del mismo reactivo, se puede utilizar una válvula de escalonamiento en lugar de la válvula de control 28 y de la válvula de control 32 para distribuir una parte del flujo de manera aproximadamente homogénea a las n toberas anulares 24 y el resto del caudal a la tobera de escalonamiento 30.

45 En la realización representada, el caudal del segundo fluido F2 a cada una de las toberas anulares 24 no está controlado de forma independiente. Como resultado de ello, cada tobera anular 24 tiene siempre un flujo que es aproximadamente el caudal medio del segundo fluido F2 cuando la válvula de control 28 está abierta. El caudal medio se determina dividiendo el caudal total del segundo fluido F2 por el número total n de toberas anulares 24/elementos 20 del quemador. Alternativamente, el caudal del segundo fluido F2 a cada tobera anular 24 puede ser controlado de manera independiente.

50 En la realización representada, debido a que el caudal del segundo fluido F2 en cada tobera anular 24 es aproximadamente el mismo, cada elemento 20 del quemador funciona en cualquier lado de la proporción estequiométrica, dependiendo de si el elemento 20 del quemador está activo o pasivo en este momento. Cuando un elemento 20 del quemador está en la situación activa, dicho elemento 20 del quemador funciona fuera de la proporción estequiométrica y a veces muy alejado de la proporción estequiométrica, en un sentido, y cuando el elemento 20 del quemador está en situación pasiva, dicho elemento 20 del quemador funciona fuera de la proporción estequiométrica y a veces muy alejado de la proporción estequiométrica, en el sentido opuesto. Por ejemplo, cuando el primer fluido F1 es combustible y el segundo fluido F2 es oxidante, un elemento 20 del quemador en la situación activa funcionará con abundancia de combustible y un elemento 20 del quemador en situación pasiva funcionará con escasez de combustible. Alternativamente, cuando el primer fluido F1 es oxidante y el segundo fluido F2 es combustible, un elemento 20 del quemador en situación activa funcionará con escasez de combustible y un elemento 20 del quemador en situación pasiva funcionará con abundancia de combustible. Sin embargo, debido a que el flujo total de combustible y de oxidante está controlado por medio de las válvulas de control 23 y 28 (y asimismo por medio de una válvula de control de escalonamiento 32) la estequiometría global del quemador 10 sigue siendo la misma independientemente de cuáles, y de cuántos elementos 20 del quemador están en situación activa con respecto a la situación pasiva.

5 .La estequiometría a la que funciona cada elemento 20 del quemador se puede caracterizar por una proporción de equivalencia. Para un caudal de combustible dado, la proporción de equivalencia se determina como la proporción del flujo de oxígeno estequiométrico teórico con respecto al flujo real de oxígeno. Para un oxidante que es oxígeno al 100 %, el flujo de oxígeno es igual al flujo de oxidante. Para un oxidante con un porcentaje de oxígeno X menor del 100 %, el flujo de oxígeno en el chorro oxidante se determina dividiendo el caudal de oxidante por el porcentaje X de oxígeno; por ejemplo, para satisfacer una demanda de oxígeno de 100 SCFH (pies cúbicos por hora) utilizando un oxidante que contiene el 40 % de oxígeno, se requieren 250 SCFH del oxidante.

10 La siguiente descripción se refiere a la realización en la que el primer fluido F1 es un combustible y el segundo fluido F2 y el tercer fluido F3 son ambos oxidantes. Cuando un elemento 20 del quemador está en situación pasiva, la proporción de equivalencia es menor de 1, y preferentemente es menor de 0,2 aproximadamente. Esto significa que un elemento pasivo 20 del quemador está funcionando con escasez de combustible, con tanto como cinco veces el oxígeno preciso para una combustión completa. Por el contrario, cuando un elemento 20 del quemador está en situación activa, la proporción de equivalencia es mayor de 1 aproximadamente, y preferentemente es de no más de 10 aproximadamente. Esto significa que un elemento activo 20 del quemador está funcionando con abundancia de combustible, con tan poco oxígeno como el 10 % del preciso para una combustión completa.

20 La proporción de escalonamiento se define como la proporción de la cantidad de reactivo que fluye a través de la tobera de escalonamiento 30 con respecto a la cantidad total de reactivo que fluye a través de las toberas anulares 24 y de la tobera de escalonamiento 30. Por ejemplo, cuando el segundo fluido F2 y el tercer fluido F3 son oxidantes, la proporción de escalonamiento es la cantidad de oxígeno proporcionado por la tobera de escalonamiento 30 dividida por la cantidad total de oxígeno proporcionado por la tobera de escalonamiento 30 y las toberas anulares 24 combinadas. Si el segundo fluido F2 y el tercer fluido F3 son los mismos fluidos (es decir, con la misma concentración de oxígeno), entonces la proporción de escalonamiento es simplemente el caudal del tercer fluido F3 dividido por la suma del caudal del segundo fluido F2 y el caudal del tercer fluido F3. Pero si el segundo fluido F2 y el tercer fluido F3 son fluidos diferentes (es decir, con diferentes concentraciones de oxígeno X2 y X3 respectivamente), entonces la proporción de escalonamiento se calcula teniendo en cuenta las diferencias de concentración, tal como  $X_3F_3 / (X_2F_2 + X_3F_3)$ , como comprenderá un experto en la materia.

30 El quemador 10 funciona preferentemente con una proporción de escalonamiento igual o menor del 75 % aproximadamente. Por ejemplo, cuando el oxidante está escalonado, es decir, cuando el segundo fluido F2 y el tercer fluido F3 son oxidantes, por lo menos aproximadamente un 25 % del oxígeno que va al quemador 10 fluye a través de las toberas anulares 24, y no más del 75 % aproximadamente del oxígeno fluye a través de la tobera de escalonamiento 30. Más preferentemente, el quemador 10 se hace funcionar con una proporción de escalonamiento igual o menor del 40 % aproximadamente. Además, tal como se ha explicado anteriormente, debido al funcionamiento activo o pasivo de cada uno de los elementos 20 del quemador, dichos uno o varios elementos 20 del quemador activos en un cierto momento funcionan con un exceso del primer fluido F1 comparado con el estequiométrico, y uno o varios elementos 20 del quemador que son pasivos en el mismo momento funcionan con un exceso del segundo fluido F2 comparado con el estequiométrico, proporcionando de este modo alguna magnitud de escalonamiento incluso sin tener en cuenta el tercer fluido F3 proporcionado por la tobera de escalonamiento 30.

45 El primer fluido F1 que sale por una tobera de distribución activa 22 tiene una velocidad del chorro activo determinada por el caudal del primer fluido F1 y el área de la sección transversal de la tobera de distribución 22. El segundo fluido F2 que sale por una tobera anular 24 tiene una velocidad del chorro anular determinada por el caudal del segundo fluido F2 y el área de la sección transversal de la tobera anular 24. De manera similar, el tercer fluido F3 que sale por la tobera de escalonamiento 30 tiene una velocidad del chorro de escalonamiento determinada por el caudal del tercer fluido F3 y el área de la sección transversal de la tobera de escalonamiento 30. Preferentemente, la velocidad del chorro activo es mayor que la velocidad del chorro anular. Adicionalmente, para un rendimiento óptimo del quemador 10, la velocidad del chorro de escalonamiento debería ser menor o igual a la velocidad del chorro activo, y mayor o igual a 0,05 veces la velocidad del chorro activo. En una realización, la proporción de la velocidad del chorro de escalonamiento con respecto a la velocidad del chorro activo es menor o igual a 0,4 aproximadamente. En otra realización, la proporción de la velocidad del chorro de escalonamiento con respecto a la velocidad del chorro activo es mayor o igual a 0,1 aproximadamente.

55 En una realización a modo de ejemplo ensayada en una disposición vertical del fuego (montado en el techo) la velocidad del chorro del primer fluido F1 a través de una tobera de distribución activa 22 era, como mínimo, de unos 250 pies/segundo aproximadamente y preferentemente de unos 300 pies/segundo aproximadamente, y la velocidad en una tobera de distribución pasiva 22 era de aproximadamente el 20 % de la velocidad del chorro activo. Para una disposición horizontal del fuego, la velocidad del chorro activo puede ser considerablemente más baja dado que existe menos necesidad de combatir los efectos de flotación para evitar el sobrecalentamiento del bloque del quemador.

65 Todas las válvulas de control 23, 26, 28 y 32 están conectadas y controladas por medio de un controlador 100 que está programado o configurado específicamente para el funcionamiento del quemador 10. El controlador 100 puede incluir componentes electrónicos convencionales tales como dispositivos CPU, RAM, ROM, de E/S, y la

programación o configuración del controlador 100 puede ser llevada a cabo mediante una combinación de uno o varios dispositivos de hardware, software inalterable, software y cualquier otro mecanismo conocido actualmente o desarrollado en el futuro para programar instrucciones de funcionamiento en un controlador.

- 5 Tal como se ha descrito anteriormente, por lo menos uno de los fluidos F1, F2 y F3 debe ser o debe contener un combustible, y por lo menos uno de los fluidos F1, F2 y F3 debe ser un oxidante o debe contener oxígeno. El combustible puede ser un combustible gaseoso, un combustible líquido, o un combustible sólido pulverizado en un portador gaseoso. En una realización, F1 es un combustible, y F2 y F3 son oxidantes. En este caso, F2 y F3 pueden ser el mismo oxidante, o F2 y F3 pueden ser oxidantes diferentes. Por ejemplo, en una realización preferente, F1 es un combustible gaseoso tal como gas natural, F2 es un oxidante que tiene una concentración de oxígeno igual o mayor de aproximadamente el 70 %, y F3 es un oxidante que tiene una concentración de oxígeno igual o mayor del 20,9 % aproximadamente. En otra realización similar, F1 es un combustible gaseoso tal como gas natural, F2 es un oxidante que tiene una concentración de oxígeno mayor que la del aire y F3 es aire.
- 10
- 15 En una realización alternativa, F1 es un oxidante y F2 y F3 son combustibles. En este caso, F1 tiene una concentración de oxígeno igual o mayor del 26 % aproximadamente, preferentemente igual o mayor del 40 % aproximadamente, y más preferentemente igual o mayor del 70 % aproximadamente.

20 La figura 3 muestra una posible secuencia de funcionamiento para la realización del quemador 10 mostrado en la figura 1. Con fines explicativos, los cuatro elementos 20 del quemador están etiquetados como a, b, c, y d. Tal como se muestra, en un momento dado, solamente está activo un elemento 20 del quemador, mientras que los restantes elementos 20 del quemador están pasivos, y cada elemento 20 del quemador es conmutado sucesivamente a la situación activa cuando el elemento 20 del quemador previamente activo antes es devuelto a la situación pasiva.

25 En particular, en la realización representada, el elemento 20a del quemador está activo mientras que los elementos 20b, 20c y 20d del quemador están pasivos. En otras palabras, cada una de las toberas anulares 24 en cada elemento 20 del quemador está recibiendo un flujo aproximadamente igual del segundo fluido F2, y solamente la tobera de distribución 22 en el elemento 20a del quemador está recibiendo un flujo activo mayor del primer fluido F1, mientras que las toberas de distribución 22 en los otros elementos 20b, 20c y 20d del quemador están recibiendo un flujo pasivo menor del primer fluido F1. De ello resulta una llama penetrante, relativamente larga, que emana del elemento activo 20a del quemador y llamas (piloto) relativamente cortas que emanan de los elementos pasivos 20b, 20c y 20d del quemador. Como se muestra adicionalmente en la realización representada, cuando el elemento 20b del quemador pasa a estar activo, el elemento 20a del quemador vuelve a la situación pasiva y los elementos 20c y 20d del quemador permanecen pasivos. A continuación, cuando el elemento 20c del quemador pasa a ser activo, el elemento 20b del quemador vuelve a la situación pasiva y los elementos 20c y 20a del quemador permanecen pasivos. Finalmente, cuando el elemento 20d del quemador pasa a ser activo, el elemento 20d del quemador vuelve a la situación pasiva y los elementos 20a y 20b del quemador permanecen pasivos.

30

35

40 La secuencia mostrada en la figura 3 y descrita anteriormente es solamente una de variantes esencialmente ilimitadas. En un ejemplo no limitativo, un elemento 20 del quemador está activo en un cierto momento en una secuencia repetitiva tal como a-b-c-d o a-b-d-c, o a-c-b-d, o a-c-d-b. En otro ejemplo no limitativo, un elemento 20 del quemador está activo en un cierto momento en una secuencia aleatoria. En un ejemplo no limitativo más, un elemento 20 del quemador está activo en un cierto momento, pero durante periodos de tiempo iguales o diferentes.

45 Además, en otros ejemplos, más de un elemento 20 del quemador está activo en un momento dado. Por ejemplo, para un quemador 10 que tiene tres o más elementos 20 del quemador, dos elementos 20 del quemador pueden estar activos y los restantes pasivos. En general, para un quemador 10 que tiene n elementos del quemador, cualquier número de elementos del quemador desde 1 a n-1 pueden estar activos y los restantes pasivos.

50 Cada elemento 20 del quemador puede ser conmutado de la situación pasiva a la activa en base a una secuencia de tiempos pre-programada, de acuerdo con un algoritmo predeterminado, de acuerdo con una secuencia aleatoria, o dependiendo de las condiciones del horno. Uno o varios sensores 110 pueden estar situados en el horno para detectar cualquier parámetro que pueda ser relevante para determinar las ubicaciones en las que se necesite más o menos calor de combustión. Por ejemplo, el sensor puede ser un sensor de temperatura, de tal modo que cuando el sensor de temperatura está por debajo de un umbral determinado, el elemento 20 del quemador orientado para calentar el horno en la zona de dicho sensor de temperatura puede estar activo con más frecuencia o durante periodos de tiempo más largos. O bien, si un sensor de temperatura detecta que una parte del horno o de la carga está recibiendo insuficiente calor, uno o varios elementos 20 del quemador situados cerca de dicha parte del horno o inclinados hacia dicha parte de la carga pueden ser conmutados a la situación activa, mientras que los elementos 20 del quemador en las partes del horno que reciben un exceso de calor pueden ser conmutados a la situación pasiva.

55

60

Los sensores de temperatura pueden incluir sensores de contacto tales como termopares o RTD situados en las paredes del horno, o sensores sin contacto tales como sensores de infrarrojos, sensores de radiación, sensores ópticos, cámaras, sensores de color, u otros sensores disponibles en la industria. Asimismo, se pueden utilizar otros tipos de sensores para indicar el grado de fusión o de calentamiento en el horno, incluyendo pero no estando limitados a sensores de proximidad (por ejemplo, para detectar la proximidad de una carga sólida que todavía no se

65

ha fundido) o sensores de conductividad (por ejemplo, para detectar la mayor conductividad de un líquido comparada con fragmentos de sólidos mal interconectados).

5 Se pueden conseguir diversos beneficios mediante el funcionamiento del quemador 10 que se describe en esta memoria. Debido a que el calor puede ser dirigido con preferencia a ciertas ubicaciones y durante periodos de tiempo más cortos o más largos, se pueden identificar y eliminar puntos fríos en el horno, con el resultado de un calentamiento y una fusión más uniformes. En particular, para disposiciones con el fuego vertical (es decir, quemadores montados en el techo apuntando hacia abajo) como en la figura 7, hacer funcionar el quemador con menos de la totalidad de los elementos 20 del quemador en modo activo, reduce o se elimina los riesgos de llamaradas, evitando de este modo el sobrecalentamiento del bloque del quemador y del techo del horno. La combustión rica en combustible resultante de un elemento activo 20 del quemador, donde el oxígeno suministrado a través de la tobera anular 24 es significativamente menor que el oxígeno estequiométrico requerido por el combustible suministrado a través de la tobera de distribución 22, crea una atmósfera no oxidante cerca del baño fundido para ayudar a proteger la carga de una oxidación no deseable. Adicionalmente, la activación de los elementos 20 del quemador en una disposición cíclica repetida puede ser utilizada para generar un patrón de calentamiento en espiral que aumenta el tiempo de permanencia de los gases de combustión, aumenta las velocidades de transferencia del calor, y mejora la uniformidad del calentamiento, tal como se muestra por ejemplo en la Patente US 2013/00954437. Además, la activación selectiva de elementos 20 del quemador y la variación de la proporción de escalonamiento pueden utilizarse para ajustar la ubicación del flujo máximo de calor que emana de las reacciones de combustión y para ajustar la cobertura de la llama para acomodarse a diversas formas geométricas, condiciones, y niveles de carga del horno.

Las diversas configuraciones posibles del quemador incluyen las mostradas en la figura 5. En una realización del tipo mostrado en la figura 5a, uno o varios de los elementos 20 del quemador pueden estar inclinados radialmente hacia el exterior en un ángulo  $\alpha$  desde el círculo circunscrito por los elementos 20 del quemador, o formar un eje definido por la tobera de escalonamiento 30. Aunque la realización representada muestra los cuatro elementos 20 del quemador inclinados radialmente hacia el exterior con el mismo ángulo  $\alpha$ , se comprende que cada elemento 20 del quemador puede estar inclinado con un ángulo  $\alpha_n$  diferente dependiendo de la forma geométrica del horno y de las características de funcionamiento deseadas del quemador 10. El ángulo  $\alpha$  puede ser igual o mayor de  $0^\circ$  y preferentemente es igual o menor de  $60^\circ$  aproximadamente. Más preferentemente, el ángulo  $\alpha$  es por lo menos de  $10^\circ$  aproximadamente y no mayor de  $40^\circ$  aproximadamente.

En una realización del tipo mostrado en la figura 5b, uno o varios elementos 20 del quemador pueden estar inclinados tangencialmente al círculo circunscrito en un ángulo  $\beta$  para crear una turbulencia. Aunque la realización representada muestra los cuatro elementos 20 del quemador inclinados tangencialmente con el mismo ángulo  $\beta$ , se comprende que cada elemento 20 del quemador puede estar inclinado en un ángulo  $\beta_n$  diferente, dependiendo de la forma geométrica del horno y de las características de funcionamiento deseadas del quemador 10. El ángulo  $\beta$  puede ser igual o mayor de  $0^\circ$  aproximadamente y preferentemente es igual o menor de  $60^\circ$  aproximadamente. Más preferentemente, el ángulo  $\beta$  es por lo menos de  $10^\circ$  aproximadamente y no mayor de  $40^\circ$  aproximadamente.

En una realización del tipo mostrado en la figura 5c, una serie de elementos 20 del quemador están posicionados, en general, colineales entre sí para definir una línea que tiene un punto central y unos extremos. Aunque se muestran cuatro elementos 20 del quemador, esta realización es aplicable a una configuración con dos elementos 20 del quemador como mínimo y hasta tantos elementos 20 del quemador como puedan ser precisos en un horno determinado. Una tobera de escalonamiento 30 está posicionada entre cada par adyacente de elementos 20 del quemador, de tal modo que los elementos 20 del quemador y las toberas de escalonamiento 30 se alternan. Por ejemplo, una disposición con dos elementos 20 del quemador tiene una tobera de escalonamiento 30 situada entre los dos elementos 20 del quemador, y una disposición con tres elementos 20 del quemador tiene dos toberas de escalonamiento 30 posicionadas cada una de ellas entre un par de elementos 20 del quemador adyacentes. Los elementos 20 del quemador pueden estar todos ellos orientados perpendicularmente a la cara 14 del quemador, y algunos, o todos los elementos 20 del quemador pueden estar inclinados hacia el exterior en un ángulo y menor o igual a unos  $45^\circ$  desde el punto central de la línea hacia uno de los extremos de la línea. De manera similar, las toberas de escalonamiento 30 pueden estar orientadas perpendicularmente a la cara 14 del quemador, o algunas o todas las toberas de escalonamiento 30 pueden estar inclinadas en una dirección o en la otra a lo largo de la línea. En la realización representada, una tobera central de escalonamiento 30 está orientada perpendicularmente a la cara 14 del quemador, y una serie de tres elementos colineales, un elemento 20 del quemador, una tobera de escalonamiento 30 y otro elemento 20 del quemador, están posicionados diametralmente a cada lado e inclinados alejándose de la tobera central de escalonamiento 30 y hacia sus extremos respectivos de la línea.

En una realización del tipo mostrado en la figura 5d, una serie de elementos 20 del quemador están posicionados de forma colineal entre sí para definir una línea que tiene un punto central y unos extremos. Aunque se muestran cuatro elementos 20 del quemador, esta configuración es aplicable a una configuración con, por lo menos, dos elementos 20 del quemador y hasta tantos elementos 20 del quemador como puedan ser precisos en un horno determinado. Una tobera de escalonamiento 30 alargada o, en general rectangular, que tiene un eje mayor por lo menos 1,5 veces más largo que un eje menor, está posicionada adyacente y separada a una distancia determinada de los elementos 20 del quemador, con el eje mayor sustancialmente paralelo a la línea definida por los elementos 20 del quemador.

Los elementos 20 del quemador pueden estar todos ellos orientados perpendicularmente a la cara 14 del quemador, o algunos o todos los elementos 20 del quemador pueden estar inclinados hacia el exterior en un ángulo y menor o igual que 45° desde el punto central de la línea hacia uno de los extremos de la línea.

5 En una realización del tipo mostrado en la figura 5e, cada elemento 20 del quemador tiene una configuración de llama plana, en la que tanto la tobera de distribución 22 como la tobera anular 24 tienen una configuración alargada o, en general rectangular, que tiene un eje mayor por lo menos 1,5 veces más largo que un eje menor. Este tipo de quemador de llama plana está descrito en detalle, por ejemplo, en la Patente US 5,611,682. Por lo menos dos toberas de escalonamiento 30 están posicionadas adyacentes y separadas del elemento 20 del quemador, y están orientadas, en general, de forma colineal para definir una línea que es sustancialmente paralela al eje mayor del elemento 20 del quemador. En esta configuración se utilizan por lo menos dos elementos 20 del quemador.

15 En cualquiera de las configuraciones antes descritas en la figura 5, puede ser implementado un esquema de funcionamiento transitorio similar al descrito anteriormente para la configuración de la figura 1. Concretamente, en un momento dado, por lo menos un elemento 20 del quemador se hace funcionar en situación activa, en la que el flujo de fluido a través de una tobera de distribución activa 22 es mayor que el flujo medio de fluido en la totalidad de las toberas de distribución 22, mientras que, al menos, un quemador 20 se hace funcionar en escalonamiento pasivo, en que el flujo de fluido a través de una tobera de distribución pasiva 22 es menor que el flujo medio de fluido a través de todas las toberas de distribución 22.

20 Tal como se muestra en la figura 7, uno o varios quemadores 10 pueden estar montados en el techo de un horno 200 (instalación vertical) o en una pared lateral de un horno 200 (instalación horizontal). En una instalación vertical los elementos 20 del quemador están dispuestos preferentemente en una configuración tal como la de la figura 5a o 5b, para proporcionar un flujo de calor óptimo a la carga, pero evitando el sobrecalentamiento del bloque del quemador. Por ejemplo, tal como se ha descrito anteriormente, los elementos 20 del quemador pueden estar orientados para estar inclinados radialmente hacia el exterior desde el círculo circunscrito que rodea la tobera de escalonamiento 30 (figura 5a). Alternativamente, los elementos 20 del quemador pueden estar orientados en una configuración de vórtice (inclinados tangencialmente respecto al círculo circunscrito) (figura 5b). En una configuración horizontal, los elementos 20 del quemador pueden estar dispuestos en cualquier disposición, y en particular pueden estar dispuestos tal como en cualquiera de las figuras 5c a 5e, dependiendo de la forma geométrica del horno.

35 Tal como se muestra en los datos de la figura 8, el quemador 10 presenta emisiones de NOx reducidas comparado con los quemadores convencionales de oxígeno-combustible. Se debe tener en cuenta que la escala de la figura 8 es relativa, normalizada al pico NOx de un quemador convencional de oxígeno-combustible. Cuando el quemador 10 funciona de manera transitoria tal como se describe en esta memoria en un modo luminoso (es decir, con un bajo factor de forma de la tobera de distribución 22), las emisiones pico de NOx son solamente aproximadamente el 40 % de las emitidas por un quemador convencional de oxígeno-combustible. Cuando el quemador 10 funciona de manera transitoria tal como se describe en esta memoria en un modo no luminoso (es decir, con un alto factor de forma de la tobera de distribución 22), las emisiones pico de NOx son todavía menores, aproximadamente de solo el 35 % de las emitidas por un quemador convencional de oxígeno-combustible. En ambos casos, el quemador 10 se hizo funcionar con combustible como el fluido distribuido, y con oxidante como el fluido escalonado. Sin estar limitados por la teoría, se cree que este sorprendente resultado es el resultado de la naturaleza altamente escalonada de la combustión producida por el quemador 10, que tiene como resultado una primera zona de la llama rica en combustible que produce poco NOx debido a la limitada disponibilidad de oxígeno, y una segunda zona de la llama pobre en combustible que produce poco NOx debido a sus bajas temperaturas de combustión.

**REIVINDICACIONES**

1. Quemador de calentamiento transitorio (10) que comprende:
- 5 por lo menos dos elementos (20) del quemador, cada uno de los cuales comprende:
- una tobera de distribución (22) configurada para hacer circular un combustible ; y
- 10 una tobera anular (24) que rodea la tobera de distribución (22) y está configurada para hacer circular un primer oxidante;
- un colector (29) configurado para distribuir el primer flujo de oxidante por igual a través de las toberas anulares (24) de los, por lo menos, dos elementos (20) del quemador;
- 15 por lo menos una tobera de escalonamiento (30) configurada para hacer circular un segundo oxidante; y un controlador (100) programado:
- para controlar de manera independiente el flujo de combustible a cada tobera de distribución (22), de tal modo que, por lo menos, una de las toberas de distribución (22) está activa y por lo menos una de las toberas de distribución (22) está pasiva, donde el flujo de combustible en una tobera de distribución activa (22) es mayor que el flujo medio de combustible a las toberas de distribución (22) y el flujo de combustible en una tobera de distribución pasiva (22) es menor que el flujo medio de combustible a las toberas de distribución (22); y
- 20 para controlar que la proporción de escalonamiento sea menor o igual al 75 %, donde la proporción de escalonamiento es la proporción del oxígeno contenido en el segundo flujo de oxidante con respecto a la suma del oxígeno contenido en el primer y el segundo flujos de oxidante,
- 25 en el que una tobera de distribución activa (22) tiene un caudal del chorro activo y en el que una tobera de distribución pasiva (22) tiene un caudal del chorro pasivo; y
- 30 en el que el controlador (100) está programado para controlar que la proporción del caudal del chorro activo con respecto al caudal del chorro pasivo sea de 5 a 40.
- 35 2. Quemador, según la reivindicación 1,
- en el que los elementos (20) del quemador están uniformemente separados en un círculo circunscrito; y
- en el que la tobera de escalonamiento (30) está posicionada en el interior del círculo circunscrito.
- 40 3. Quemador, según la reivindicación 2, en el que por lo menos uno de los elementos (20) del quemador está inclinado radialmente hacia el exterior en un ángulo  $\alpha$  desde el círculo circunscrito, en el que el ángulo  $\alpha$  es menor o igual a  $60^\circ$  aproximadamente, o en el que por lo menos uno de los elementos del quemador está inclinado tangencialmente en un ángulo  $\beta$  con respecto al círculo circunscrito, en el que el ángulo  $\beta$  es menor o igual a  $60^\circ$  aproximadamente.
- 45 4. Quemador, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los elementos (20) del quemador y la tobera de escalonamiento (30) están posicionados de forma colineal, con cada tobera de escalonamiento (30) situada equidistante entre dos elementos (20) del quemador.
- 50 5. Quemador, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
- en el que las toberas de distribución (22) y las toberas anulares (24) tienen cada una de ellas una sección transversal con un eje menor y un eje mayor que es, por lo menos, 1,5 veces más largo que el eje menor; y
- 55 en el que por lo menos dos toberas de escalonamiento (30) están posicionadas de forma colineal, y son adyacentes a cada elemento (20) del quemador y paralelas a los ejes mayores.
6. Quemador, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
- 60 en el que la tobera de escalonamiento (30) tiene una sección transversal con un eje menor y un eje mayor que es por lo menos 1,5 veces más largo que el eje menor; y
- en el que por lo menos dos elementos (20) del quemador están posicionados de forma colineal, y son adyacentes a la tobera de escalonamiento (30) y paralelos al eje mayor.
- 65 7. Quemador, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

en el que el controlador (100) está programado para controlar el flujo de combustible a una tobera de distribución pasiva (22) de modo que sea mayor de cero y menor o igual a la mitad del caudal de una tobera de distribución activa (22) y/o en el que el controlador (100) está programado para controlar que la proporción de escalonamiento sea menor o igual a un 40 % aproximadamente.

5 8. Quemador, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el combustible que sale de una tobera de distribución activa tiene una velocidad del chorro activo, y el oxidante que sale de la tobera de escalonamiento (30) tiene una velocidad del chorro de escalonamiento; y

10 en el que el controlador (100) está programado para controlar que la proporción de la velocidad del chorro de escalonamiento con respecto a la velocidad del chorro activo sea, por lo menos, de 0,05 y menor de 1.

9. Quemador, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

15 en el que el controlador (100) está programado para controlar el flujo del primer oxidante a través de las toberas anulares (24) de tal modo que este tenga una concentración de oxígeno igual o mayor del 70 % y/o en el que el controlador (100) está programado para controlar el flujo del segundo oxidante a través de la tobera de escalonamiento (30) de modo que este tenga una concentración de oxígeno igual o mayor del 20,9 %.

20 10. Quemador, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que un elemento (20) del quemador que tiene una tobera de distribución pasiva (22) tiene una proporción de equivalencia de 0,2 a 1, en el que la proporción de equivalencia es la proporción del flujo de oxidante estequiométrico teórico a través de la tobera anular (24) con respecto al flujo real de oxidante a través de la tobera anular (24) para realizar la combustión del combustible que fluye a través de la tobera de distribución (22), y en el que un elemento (20) del quemador que tiene una tobera de  
25 distribución activa (22) tiene una proporción de equivalencia de 1 a 10, en que la proporción de equivalencia es la proporción del flujo de oxidante estequiométrico teórico a través de la tobera anular (24) con respecto al flujo real de oxidante a través de la tobera anular (24) para realizar la combustión del combustible que fluye a través de la tobera de distribución (22).

30 11. Quemador, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un sensor (110) configurado para proporcionar una señal al controlador (100);

en el que el controlador (100) está programado para controlar cada tobera de distribución (22) para que sea activa o pasiva en base a la señal;

35 en el que el sensor (110) ha sido seleccionado de entre el grupo compuesto de sensores de temperatura, sensores de radiación, sensores ópticos, cámaras, sensores de color, sensores de conductividad, sensores de proximidad y combinaciones de los mismos.

40 12. Procedimiento para el funcionamiento de un quemador en un horno, teniendo el quemador por lo menos una tobera de escalonamiento (30) y por lo menos dos elementos (20) del quemador cada uno de los cuales comprende una tobera de distribución (22) rodeada por una tobera anular (24), comprendiendo el procedimiento:

45 hacer fluir oxidante a un caudal de escalonamiento a través de la tobera de escalonamiento (30);

hacer fluir oxidante a un caudal de oxidante principal a través de cada una de las toberas anulares (24);

seleccionar por lo menos una de las toberas de distribución (22) para que sea activa y, por lo menos, una de las toberas de distribución (22) para que sea pasiva;

50 hacer fluir combustible a un caudal del chorro activo a través de las toberas de distribución activas (22); y

hacer fluir combustible a un caudal del chorro pasivo a través de las toberas de distribución pasivas (22);

55 en el que el caudal del chorro activo es mayor que el caudal medio de combustible a través de las toberas de distribución (22) y el caudal del chorro pasivo es menor que el caudal medio de combustible a través de las toberas de distribución (22),

60 en el que la proporción del caudal del chorro activo con respecto al caudal del chorro pasivo es por lo menos de 5 hasta de no más de 40.

13. Procedimiento, según la reivindicación 12, que comprende además:

65 detectar un parámetro en el horno;

seleccionar de nuevo qué toberas de distribución (22) son activas y qué toberas de distribución (22) son pasivas en base al parámetro detectado; y

repetir periódicamente las etapas de detección y de nueva selección.

5

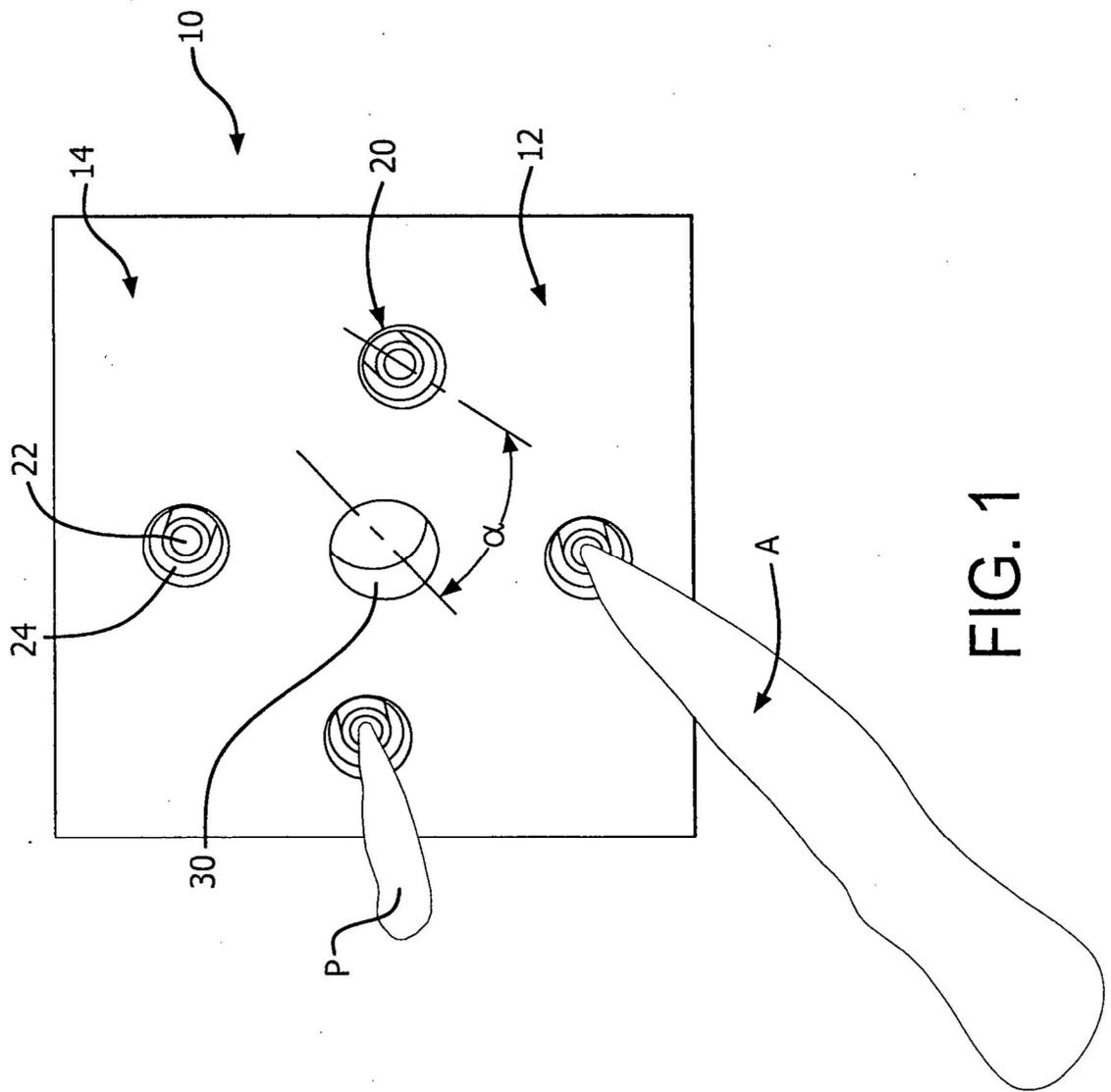


FIG. 1

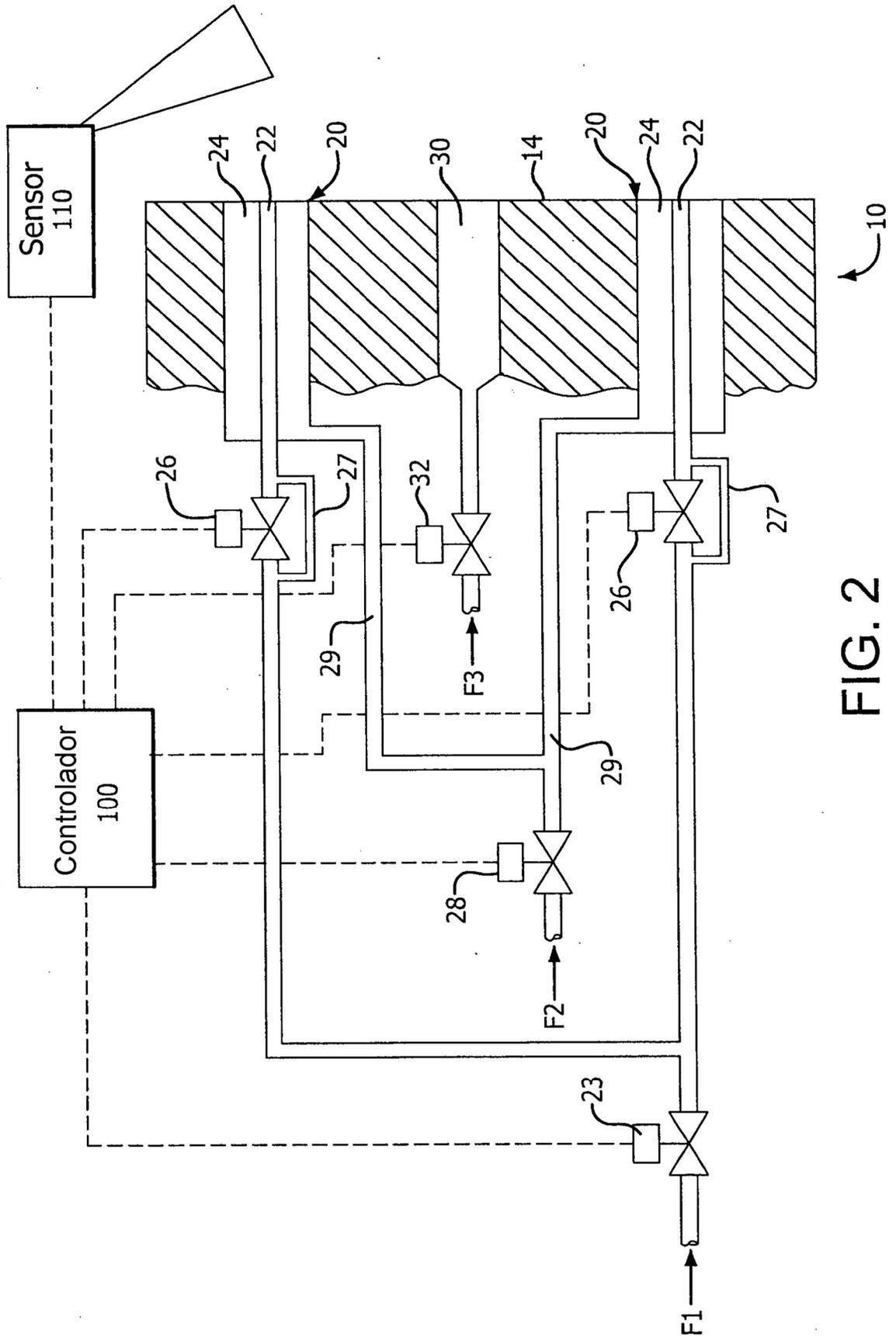


FIG. 2

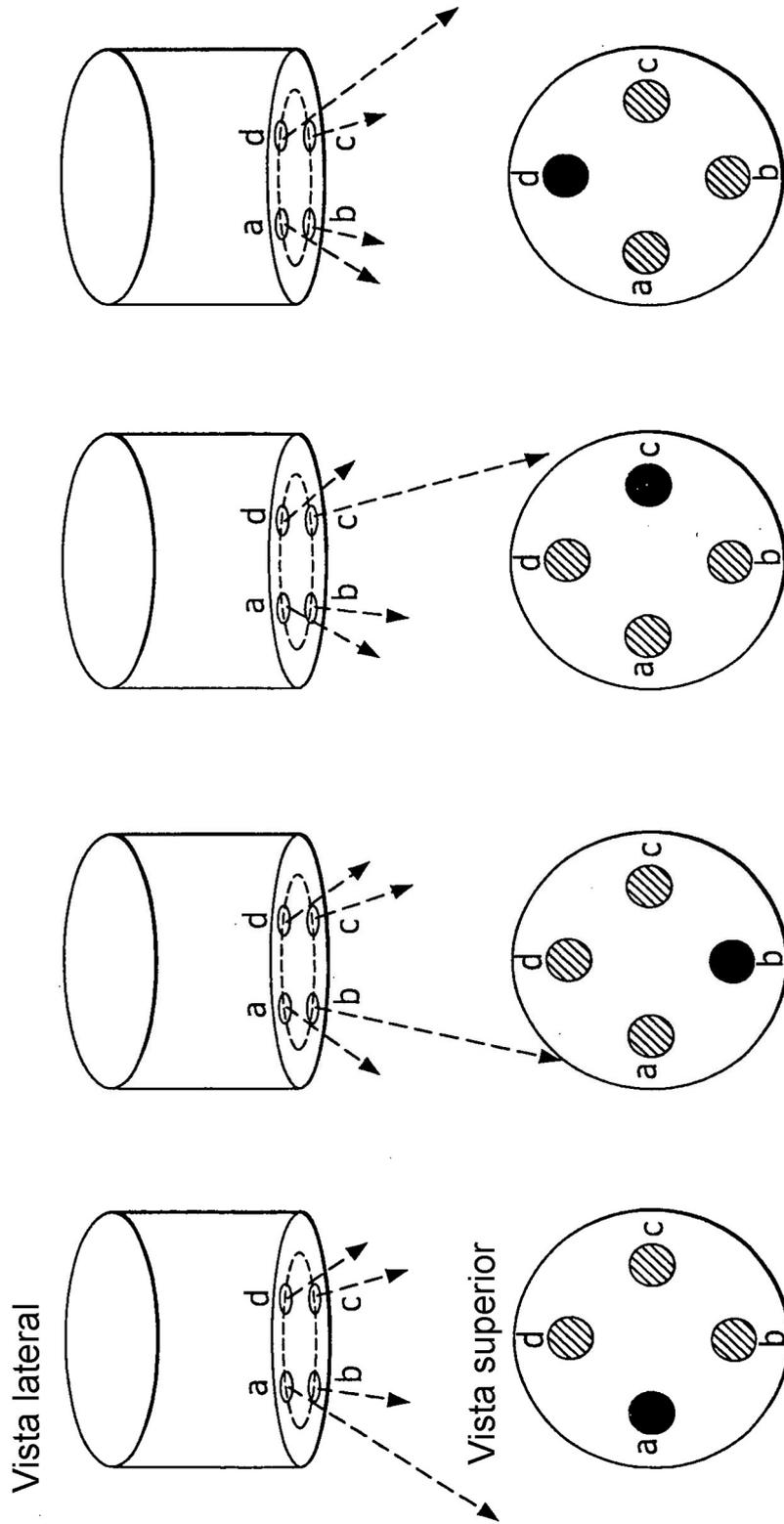


FIG. 3

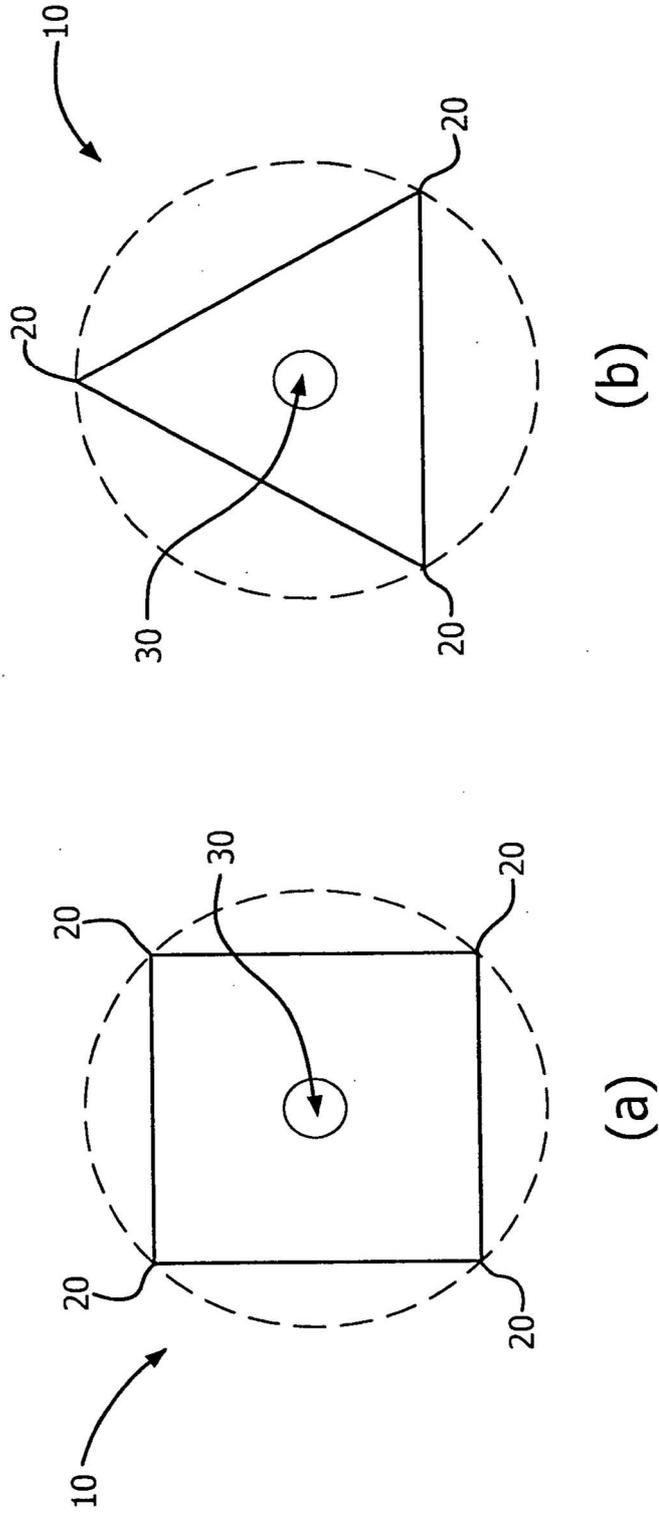


FIG. 4

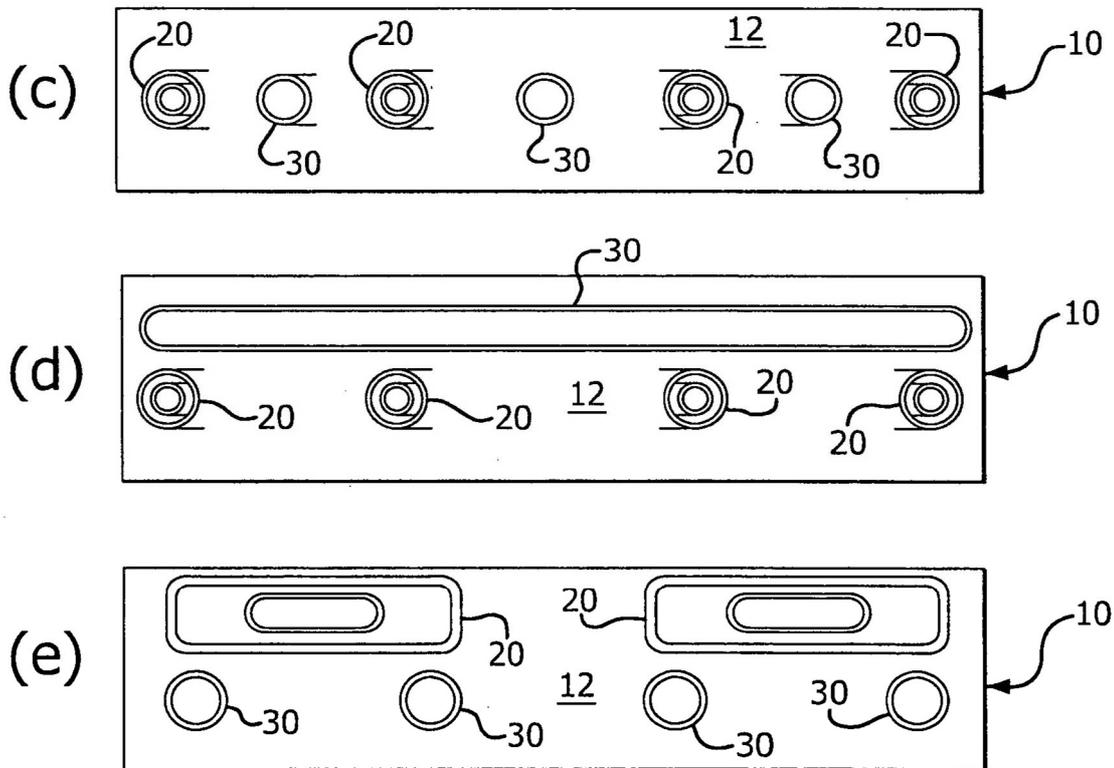
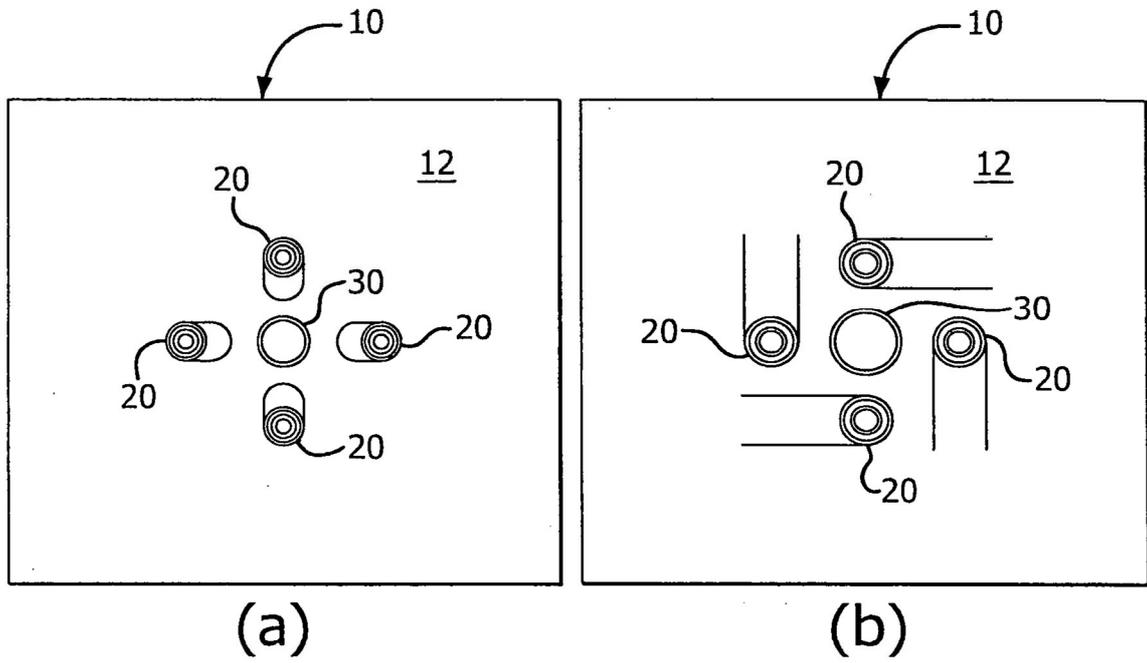


FIG. 5

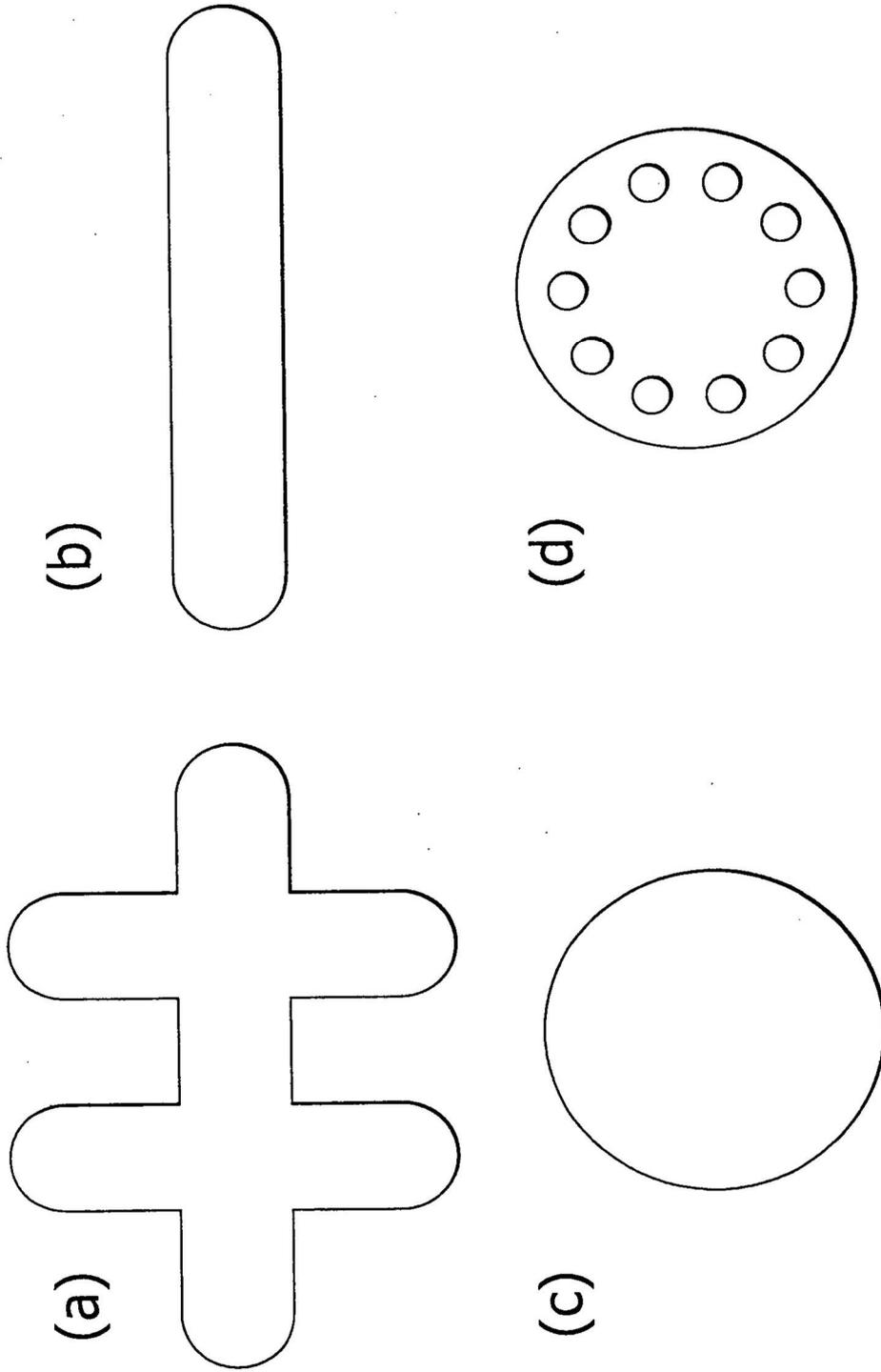


FIG. 6

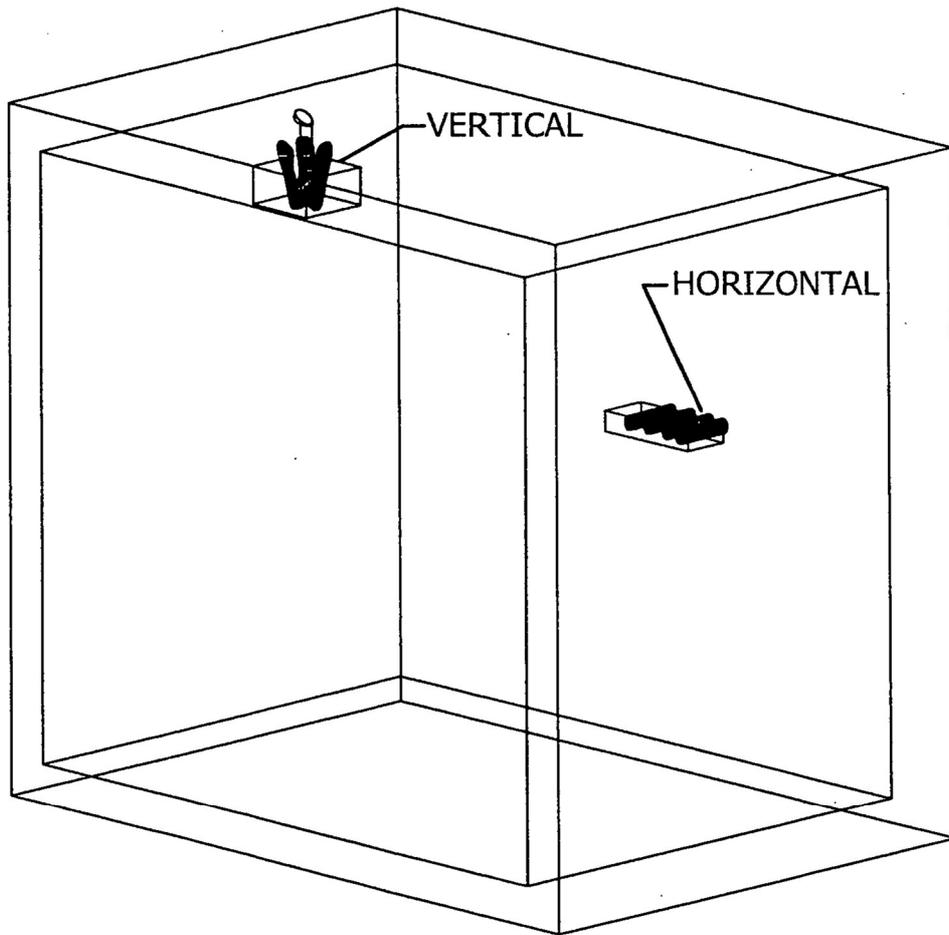


FIG. 7

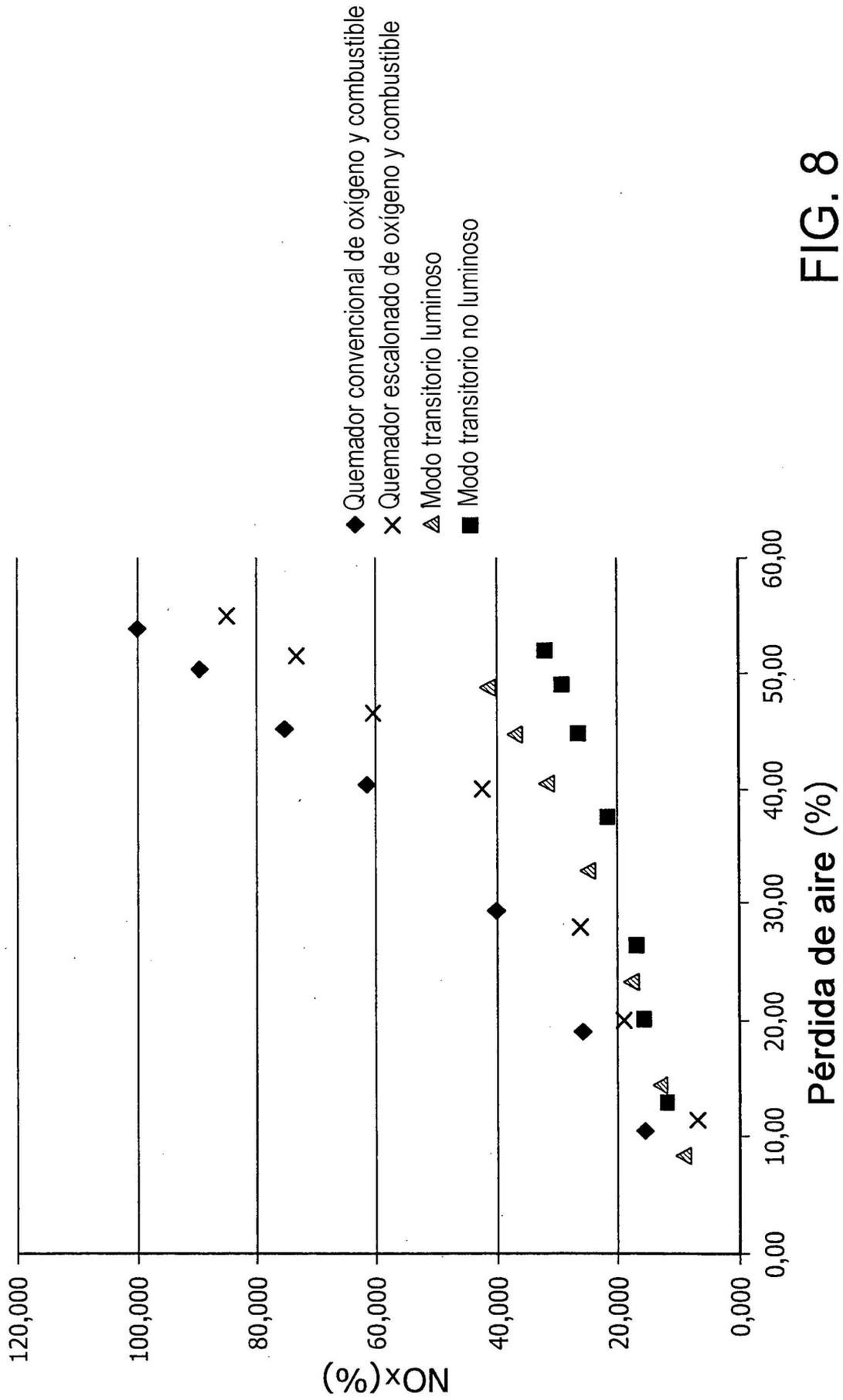


FIG. 8

**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

5 *Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.*

**Documentos de patentes citados en la descripción**

10

- US 5554022 A
- DE 102011014996 A1
- US 6074197 A
- US 2012122047 A1
- US 6866503 B
- US 201300954437 A
- US 5611682 A