

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **3 010 723**

(51) Int. Cl.:

C03B 5/235 (2006.01)
C03B 5/237 (2006.01)
F23C 9/00 (2006.01)
F23L 7/00 (2006.01)
F23L 15/02 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- (86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.04.2020 PCT/US2020/028177**
(87) Fecha y número de publicación internacional: **26.11.2020 WO20236348**
(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2020 E 20723737 (1)**
(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2025 EP 3972939**

(54) Título: **Método para llevar a cabo una combustión en un horno con regeneración termoquímica**

(30) Prioridad:

20.05.2019 US 201962850079 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.04.2025

(73) Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.00%)
10 Riverview Drive
Danbury, CT 06810, US**

(72) Inventor/es:

**FRANCIS, ARTHUR, W.;
KOBAYASHI, HISAH;
BELL, ROBERT, L. y
WU, KUANG-TSAI**

(74) Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 010 723 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

Método para llevar a cabo una combustión en un horno con regeneración termoquímica

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a métodos de combustión en los que al menos uno de los reactantes para la combustión se introduce a baja velocidad en hornos tales como hornos de fusión de vidrio, en donde el material se introduce en el horno para calentarse y/o fundirse mediante el calor de combustión que se produce dentro del horno.

10 **Antecedentes de la invención**

Una tecnología útil conocida como regeneración termoquímica (TCR) para utilizar el calor de los gases de combustión que se producen en hornos tales como los de fusión de vidrio se describe en la patente US-6.113.874.

15 En esta tecnología, los gases de combustión pasan a través de un regenerador calentado por los gases de combustión. Una parte de los gases de combustión que salen de este regenerador se mezcla con el combustible gaseoso, y la mezcla resultante se introduce en otro regenerador que se ha calentado lo suficiente para que la mezcla se convierta en gas de síntesis en virtud de una reacción endotérmica de componentes de la mezcla. El gas de síntesis resultante se introduce entonces desde el regenerador con el que se formó, hacia el horno para su combustión. A intervalos adecuados, se invierten los regeneradores en los que se llevan a cabo las operaciones.

20 La patente WO 2016/168443 A1 expone un método para llevar a cabo la combustión en un horno, que comprende:

25 (A) quemar combustible en un horno para producir productos gaseosos de combustión; y

(B) llevar a cabo la siguiente secuencia de etapas (1) y (3):

30 (1)

35 (i) pasar una parte de los productos gaseosos de combustión hacia y a través de un primer regenerador enfriado para calentar el primer regenerador y enfriar dicha parte de los productos gaseosos de combustión,

40 (ii) pasar al menos parte de dicha parte enfriada de productos gaseosos de combustión de dicho primer regenerador, y el combustible, hacia un segundo regenerador calentado y, en el segundo regenerador, hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión y el combustible en una reacción endotérmica en el segundo regenerador para formar gas de síntesis que comprende hidrógeno y CO,

45 (iii) pasar dicho gas de síntesis formado en el segundo regenerador a una velocidad inferior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) hacia un primer conducto que tiene una salida que está conectada al interior del horno,

50 (iv) inyectar al menos una corriente de gas motor que tiene una velocidad de al menos 30,48 m/s (100 pies por segundo) desde una boquilla del primer conducto que tiene un diámetro interno D hacia el gas de síntesis del primer conducto a una distancia L aguas arriba desde la pared interior del horno, arrastrando de esta manera el gas de síntesis hacia la corriente de gas motor del primer conducto y formando en el primer conducto al menos una corriente mezclada que comprende una mezcla de gas de síntesis y el gas motor y que tiene una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo), y

55 (v) pasar dicha corriente mezclada a una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) desde dicho primer conducto hacia dicho horno y quemar la corriente mezclada con una o más corrientes de oxidante inyectada en dicho horno; y

60 (3)

55 (i) pasar una parte de los productos gaseosos de combustión hacia y a través de un segundo regenerador enfriado para calentar el segundo regenerador y enfriar dicha parte de los productos gaseosos de combustión,

65 (ii) pasar al menos parte de dicha parte enfriada de productos gaseosos de combustión de dicho segundo regenerador, y el combustible, a un primer regenerador calentado y, en el primer regenerador, hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión y el combustible en una reacción endotérmica en el primer regenerador para formar gas de síntesis, que comprende hidrógeno y CO,

65 (iii) pasar dicho gas de síntesis formado en el primer regenerador a una velocidad inferior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) hacia un segundo conducto que tiene una salida que está conectada al interior del horno,

65 (iv) inyectar al menos una corriente de gas motor que tiene una velocidad de al menos 30,48 m/s (100 pies por segundo) desde una boquilla del conducto que tiene un diámetro interno D hacia el gas de síntesis del segundo conducto a

una distancia L aguas arriba desde la pared interior del horno, arrastrando de esta manera el gas de síntesis hacia la corriente de gas motor del segundo conducto y formando en el segundo conducto al menos una corriente mezclada que comprende una mezcla de gas de síntesis y el gas motor y que tiene una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo), y

5 (v) pasar dicha corriente mezclada a una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) desde dicho segundo conducto hacia dicho horno y quemar la corriente mezclada con una o más corrientes de oxidante injectado en dicho horno; y después de eso

10 (C) repetir la etapa (B) al menos una vez.

10 Otros procesos de combustión se exponen en las patentes EP 0281144 A2 y WO 2017/112671 A1.

Aun cuando esta tecnología tiene en general muchas características atractivas, los presentes inventores han descubierto inesperadamente formas para mejorar la eficiencia de esta tecnología.

15 **Breve resumen de la invención**

Por lo tanto, un aspecto de la presente invención es un método para realizar la combustión en un horno, que comprende

20 (A) quemar combustible en un horno para producir productos gaseosos de combustión; y

(B) llevar a cabo la siguiente secuencia de etapas (1) a (4):

25 (1)

(i) pasar una parte de los productos gaseosos de combustión hacia y a través de un primer regenerador enfriado para calentar el primer regenerador y enfriar dicha parte de los productos gaseosos de combustión,

30 (ii) pasar al menos parte de dicha parte enfriada de productos gaseosos de combustión de dicho primer regenerador, y el combustible gaseoso, hacia un segundo regenerador calentado y, en el segundo regenerador, hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión y el combustible gaseoso en una reacción endotérmica en el segundo regenerador para formar gas de síntesis que comprende hidrógeno y CO,

35 (iii) pasar dicho gas de síntesis formado en el segundo regenerador a una velocidad inferior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) hacia un primer conducto que tiene una salida que está conectada al interior del horno,

40 (iv) inyectar al menos una corriente de gas motor que tiene una velocidad de al menos 30,48 m/s (100 pies por segundo) desde una primera boquilla del primer conducto en el gas de síntesis del primer conducto aguas arriba desde el interior del horno, arrastrando de esta manera el gas de síntesis hacia la corriente de gas motor del primer conducto y formando en el primer conducto una corriente mezclada que comprende una mezcla de gas de síntesis y el gas motor y que tiene una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo), y

45 (v) pasar dicha corriente mezclada a una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) desde dicho primer conducto hacia dicho horno y quemar la corriente mezclada con una o más corrientes de oxidante injectada en dicho horno; y a continuación

(2)

50 (i) interrumpir el paso de combustible gaseoso al segundo regenerador, continuar haciendo pasar productos gaseosos de combustión enfriados hacia y a través de dicho segundo regenerador, eliminando de esta manera el combustible y el gas de síntesis del segundo regenerador y reduciendo la concentración de combustible y gas de síntesis en el segundo regenerador, alimentando el combustible y el oxidante gaseoso saliendo por la primera boquilla del primer conducto y quemándolos para generar calor de combustión que calienta el interior del horno y, después de eso, interrumpir la inyección de dicho oxidante gaseoso desde dicha primera boquilla en el primer conducto, de modo que solo salga combustible por la primera boquilla, y quemar dicho combustible con dichas una o más corrientes oxidantes inyectadas en dicho horno; y después de eso

55 (ii) interrumpir el flujo de combustible que sale de la primera boquilla hacia el primer conducto, e interrumpir la combustión del combustible que sale de dicha primera boquilla, e interrumpir el paso de los productos gaseosos de combustión desde el horno a través del primer regenerador; y a continuación

(3)

60 (i) pasar una parte de los productos gaseosos de combustión hacia y a través de un segundo regenerador enfriado para calentar el segundo regenerador y enfriar dicha parte de los productos gaseosos de combustión,

(ii) pasar al menos parte de dicha parte enfriada de productos gaseosos de combustión de dicho segundo regenerador, y el combustible gaseoso, a un primer regenerador y, en el primer regenerador, hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión y el combustible gaseoso en una reacción endotérmica en el primer regenerador para formar gas de síntesis, que comprende hidrógeno y CO;

5 (iii) pasar dicho gas de síntesis formado en el primer regenerador a una velocidad inferior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) hacia un segundo conducto que tiene una salida que está conectada al interior del horno,

10 (iv) inyectar al menos una corriente de gas motor que tiene una velocidad de al menos 30,48 m/s (100 pies por segundo) desde una segunda boquilla del segundo conducto hacia el gas de síntesis del segundo conducto aguas arriba desde el interior del horno, arrastrando de esta manera el gas de síntesis hacia la corriente de gas motor del segundo conducto y formando en el segundo conducto una corriente mezclada que comprende una mezcla de gas de síntesis y el gas motor y que tiene una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo), y

15 (v) pasar dicha corriente mezclada a una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) desde dicho segundo conducto hacia dicho horno y quemar la corriente mezclada con una o más corrientes de oxidante injectado en dicho horno; y a continuación

(4)

20 (i) interrumpir el paso de combustible gaseoso al primer regenerador, continuar haciendo pasar productos gaseosos de combustión enfriados hacia y a través de dicho primer regenerador, eliminando de esta manera el combustible y el gas de síntesis del primer regenerador y reduciendo la concentración de combustible y gas de síntesis en el primer regenerador, alimentando el combustible y el oxidante gaseoso que sale por la segunda boquilla del segundo conducto y quemándolos para generar calor de combustión que calienta el interior del horno y, después de eso, interrumpir la inyección de dicho oxidante gaseoso desde dicha segunda boquilla en el segundo conducto, de modo que solo salga combustible por la segunda boquilla, y quemar dicho combustible con dichas una o más corrientes oxidantes injectadas en dicho horno; y después de eso

30 (ii) interrumpir el flujo de combustible que sale de la segunda boquilla hacia el segundo conducto, e interrumpir la combustión del combustible que sale de dicha segunda boquilla, e interrumpir el paso de los productos gaseosos de combustión desde el horno a través del segundo regenerador; y después de eso

35 (C) repetir la etapa (B) al menos una vez.

Las condiciones preferidas para llevar a cabo los métodos de la presente invención incluyen lo siguiente:

El impulso total de dicho gas motor es superior a cinco veces el impulso de la mezcla de gases de combustión reciclados y gas combustible que se reforma en el regenerador;

40 El caudal másico del gas motor injectado en el gas combustible es inferior al 30 % del caudal másico del gas combustible en el que se inyecta el gas motor;

45 El caudal másico del gas motor injectado en el gas combustible es superior al 5 % e inferior al 20 % del caudal másico del gas combustible en el que se inyecta el gas motor,

50 El gas motor se inyecta en el gas combustible desde una boquilla que tiene un diámetro interno D en el conducto a una distancia L aguas arriba desde la pared interna del horno en condiciones tales que el valor de $(L/D) \times (N/R)$ es de 4 a 25, en donde N es el número de corrientes de gas motor injectado en el gas combustible en el conducto y R es la relación del caudal másico total del gas combustible pasado al conducto respecto al caudal másico total de la corriente, o de todas las corrientes, de gas motor inyectado al conducto, arrastrando de esta manera el gas combustible hacia la corriente de gas motor en el conducto y formando en el conducto al menos una corriente mezclada que comprende una mezcla del gas combustible y el gas motor y que tiene una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo);

55 El chorro motor comprende oxígeno, vapor, gases de combustión reciclados o gas combustible;

60 Al menos dos corrientes de gas motor se inyectan a una velocidad de al menos 60,96 m/s (200 pies por segundo) en un ángulo divergente con respecto al otro en dirección horizontal al gas combustible en el conducto hacia la dicha salida, y el caudal másico de cada corriente de gas motor inyectado en el gas combustible es inferior al 10 % del caudal másico del gas combustible en el que se inyecta el gas motor;

Dicho horno es un horno de fusión de vidrio que tiene al menos dos conductos desde los cuales se pasa gas combustible hacia el horno, teniendo cada conducto una salida conectada al interior del horno a través de una pared lateral del horno.

65 La invención incluye realizaciones preferidas definidas como referencia al impulso relativo de los flujos de gas.

Una es un método para llevar a cabo la combustión en un horno equipado con regeneradores termoquímicos con un puerto de combustión a través del cual el gas de síntesis calentado puede entrar en el horno, uno o más puertos de oxidante a través de los cuales puede injectarse el oxidante hacia el horno y un puerto de escape que está conectado hacia el horno y a través del cual los productos gaseosos de combustión pueden salir del horno, que comprende

- 5 (i) hacer fluir el gas de síntesis calentado hacia el horno a través del puerto de combustión al impulso F a una velocidad inferior a 15,24 m/s (50 pies por segundo),
- 10 (ii) inyectar al menos una corriente de gas motor a un impulso M que tiene una velocidad de al menos 30,48 m/s (100 pies por segundo), dentro del conducto conectado al puerto de combustión para arrastrar dicho gas de síntesis a la corriente de gas motor y proyectar la corriente combinada resultante hacia el horno,
- 15 (iii) inyectar una o más corrientes de oxidante al impulso total O a través de dicho uno o más puertos de oxidante hacia el horno en donde el eje de cada corriente de oxidante se coloca entre 7,62 cm a 76,2 cm (3 pulgadas a 30 pulgadas) desde el perímetro interno del puerto de combustión, y mezclando el oxidante inyectado con la corriente de combustible que se arrastra a la corriente del gas motor para formar una llama visible que se proyecta hacia el horno sin tocar las paredes ni la corona del horno, y
- 20 (iv) sacar los productos gaseosos de combustión del horno a través del puerto de escape al impulso X, en donde el impulso combinado F+M+O es superior a 150 % del impulso X.

Otra tal realización es un método para llevar a cabo la combustión en un horno equipado con regeneradores termoquímicos con un puerto de combustión a través del cual el gas de síntesis calentado puede entrar en el horno, uno o más puertos de oxidante a través de los cuales puede injectarse el oxidante hacia el horno y un puerto de escape que está conectado hacia el horno y a través del cual los productos gaseosos de combustión pueden salir del horno, que comprende

- (i) hacer fluir el gas de síntesis calentado hacia el horno a través del puerto de combustión al impulso F a una velocidad inferior a 15,24 m/s (50 pies por segundo),
- 30 (ii) inyectar al menos una corriente de gas motor al impulso M que tiene una velocidad de al menos 30,48 m/s (100 pies por segundo) y una o más corrientes de oxidante hacia el horno a un impulso total de oxidante O desde puntos fuera del puerto de combustión en donde el eje de cada corriente de gas motor y oxidante se coloca entre 7,62 cm a 76,2 cm (3 pulgadas a 30 pulgadas) desde el perímetro interno del puerto de combustión, y arrastrando el gas del horno circundante y el gas de síntesis para formar una llama visible que se proyecta hacia el horno sin tocar las paredes laterales ni la corona del horno, y
- 35 (iii) sacar los productos gaseosos de combustión del horno a través del puerto de escape al impulso X, en donde el impulso combinado F+M+O es superior a 150 % del impulso X.

40 En estas realizaciones, los valores de impulso F, M, O y X deben expresarse en las mismas unidades, tales como (libras/hora) por (pies/segundo).

En las dos realizaciones anteriores, las condiciones preferidas incluyen:

45 El puerto de escape es la entrada a un regenerador que está funcionando en el “ciclo de combustión” como se describe en la presente memoria, en la que productos de combustión gaseosos calientes fluyen del horno a un regenerador para calentar el regenerador.

El impulso combinado F+M+O es superior al 300 % del impulso X;

50 El dicho impulso M es mayor que el impulso X;

El impulso de cada corriente de dichas corrientes de oxidante es mayor que L;

55 Dicho gas motor comprende 5 a 20 % del flujo total de oxidante inyectado a dicho horno;

Dichas corrientes de oxidante se inyectan a una velocidad superior a 30,48 m/s (100 pies/s);

60 La densidad de dicho gas de síntesis caliente que entra en dicho horno a través de dicho puerto de combustión es menor que la densidad de dichos productos de combustión gaseosos que salen de dicho horno en dicho puerto de escape;

Al menos dos corrientes de gas motor se inyectan en dicho gas de síntesis calentado en cada puerto de combustión en un ángulo divergente uno respecto al otro en dirección horizontal para formar una llama visible de ancho horizontal;

65 Tanto dicho puerto de combustión como el puerto de escape están en ángulo para reducir la transferencia de calor por radiación directa desde el horno a los regeneradores termoquímicos.

Preferiblemente, el contenido de oxígeno de la mezcla de gas motor y gas combustible es inferior al requisito estequiométrico para una combustión completa del gas combustible o del gas de síntesis en la mezcla, y se inyectan una o más corrientes secundarias de oxidante gaseoso que comprende oxígeno hacia el horno para que se queme con el resto del gas combustible o del gas de síntesis en la mezcla.

Breve descripción de las figuras

Las Figuras 1, 1a, 1b, y 2-3 son representaciones esquemáticas de distintos aspectos de la presente invención.

La Figura 4 es una vista superior de un horno de vidrio en el que se aplica la invención.

La Figura 4a es una vista superior de una realización alternativa en la que puede aplicarse la invención.

La Figura 5a es una vista superior de una realización alternativa de un horno de vidrio en el que se aplica la invención.

La Figura 5 es una vista lateral del horno de vidrio que se muestra en la Figura 4, visto en sección transversal tomada a lo largo de la línea A-A de la Figura 4.

La Figura 6 es una vista frontal en planta de un lado del horno de vidrio de las Figuras 4 y 5, vista desde dentro del horno.

Las Figuras 7a, 7b y 7c son vistas en planta frontales de un lado de un horno de vidrio que muestran realizaciones alternativas de la invención.

La Figura 8 es una vista en corte transversal lateral de un conducto que incluye una lanza útil en la presente invención.

Descripción detallada de la invención

La siguiente descripción describirá primero el aparato y el método de regeneración termoquímica generales y, a continuación, la implementación del gas motor y la implementación de la combustión, en la ubicación del gas motor, durante la purga de un regenerador entre cada ciclo de la regeneración termoquímica.

La presente invención es aplicable generalmente para un proceso de combustión en el que el combustible o el oxidante entra en un horno con una velocidad baja (con lo que se quiere decir que uno o ambos combustible y oxidante pueden entrar en un horno con velocidades bajas). La corriente de gas motor descrita en la presente memoria, y el uso de la corriente de gas motor para arrastrar gas combustible, tal como gas de síntesis, proporcionan ventajas útiles con cualquier horno que tenga la corriente de combustible o la corriente oxidante inyectadas a baja velocidad.

La invención se describe en la presente memoria con especial detalle con respecto a un tipo preferido de horno, en concreto uno que emplea un proceso de recuperación de calor que recata calor utilizable procedente de corrientes de salida de gases de combustión a alta temperatura. Este proceso de recuperación de calor se realiza en dos ciclos, que reciben el nombre en la presente memoria de ciclo de escape y ciclo de reformado. Estos dos ciclos se llevan a cabo de forma alternaente en dos o más regeneradores llenos de material refractario. El proceso de recuperación de calor se lleva a cabo preferiblemente en asociación con hornos y otros dispositivos de combustión que emplean procesos de

combustión “oxicombustible”, es decir, combustión de combustibles con oxidante gaseoso que comprende un contenido de oxígeno de al menos 50 % en volumen de oxígeno, y preferiblemente al menos 75 u 80 % en volumen de oxígeno, más preferiblemente al menos 90 % en volumen de oxígeno, e incluso al menos 99 % en volumen de oxígeno, dado que los gases de combustión producidos por la combustión oxicombustible tienen concentraciones mayores de H₂O y CO₂, favoreciendo ambas las reacciones endotérmicas de reformado que se utilizan en el método de la presente invención.

Durante el ciclo de escape, los materiales refractarios presentes en un primer regenerador extraen y almacenan calor desde un gas de combustión a alta temperatura que se introduce desde el horno a, y a través de, este regenerador. Después, en el ciclo de reformado, de los gases de combustión enfriados que salen del primer regenerador, una parte (que se denomina en la presente gases de combustión reciclados o RFG) se introduce en otro (segundo) regenerador y se mezcla con una corriente de combustible (denominada en la presente memoria combustible de reformado o RF). En la descripción que sigue, el metano puro (CH₄) se describe como combustible de reformado a título ilustrativo. Otros combustibles satisfactorios incluyen cualquier gas combustible, mezcla de gases o combustibles líquidos vaporizados que incluyen, aunque no de forma limitativa, gas natural, propano y GLP (gas licuado de petróleo).

En el ciclo de reformado, la mezcla de RFG/combustible reformado entra en el segundo regenerador en el que ya se ha calentado el material refractario, como se describe en la presente memoria, y fluye a través del mismo hacia el horno. La temperatura de la mezcla de RFG/RF que pasa a través del segundo regenerador sigue aumentando extrayendo calor del corrector ya precalentado. Parte del combustible puede descomponerse endotérmicamente en el calentamiento a medida que pasa a través del corrector y formar H₂, otros hidrocarburos y hollín. A medida que la mezcla de RFG/RF pasa a través del segundo regenerador, alcanza una temperatura a la cual comienzan a producirse reacciones de reformado y continúan produciéndose, dando lugar a productos que incluyen H₂ y CO. Las reacciones de reformación son endotérmicas y el calor necesario para promover las reacciones de reformación se absorbe del

material refractario calentado. La composición gaseosa que se produce por las reacciones de reformación comprende de forma típica uno o más componentes tales como H₂, CO, gases sin reaccionar que comprenden H₂O, CO₂, CH₄, otros hidrocarburos y hollín. La composición gaseosa así producida puede denominarse también «gas de síntesis» en la presente memoria. El gas de síntesis sale del segundo regenerador hacia el horno y se quema en el horno con oxidante para proporcionar energía térmica para calentar y/o fundir material en el horno.

Transcurrido un período de tiempo, se invierte el funcionamiento de los dos regeneradores, es decir, el regenerador que se utilizó en el ciclo de escape se cambia al ciclo de reformado, y el regenerador que se utilizó en el ciclo de reformado se cambia al ciclo de escape. Después de un período de tiempo adicional, vuelve a invertirse el funcionamiento de los dos regeneradores. Los tiempos de las inversiones pueden determinarse mediante el tiempo transcurrido o por otros criterios tales como la temperatura de los gases de combustión que salen del primer generador, es decir, en el ciclo de escape.

El proceso de inversión se lleva a cabo de acuerdo con un mecanismo y un plan predeterminados, en donde las válvulas se secuencian para abrirse y cerrarse basándose en tiempos específicos, para purgar el interior del regenerador que se había utilizado para generar gas de síntesis. Durante la etapa de purga, el combustible se alimenta y se quema a la salida de ese regenerador (como se describe en mayor detalle a continuación), para proporcionar calor al contenido del horno y ayudar a reemplazar el calor de la combustión del gas de síntesis que ya no fluye hacia fuera de ese regenerador.

El funcionamiento y el control de la presente invención se describe a continuación primero junto con las Figs. 1 a 3. Como ejemplo, se utiliza un horno (10) de vidrio con un puerto final de entrada provisto de dos regeneradores en la pared final (3). Sin embargo, la operación descrita en la presente memoria de un par de regeneradores puede llevarse a cabo del mismo modo cuando los pares de regeneradores están situados uno junto al otro en un lado del horno (10) como se muestra en la Figura 1a, o se sitúan en ambos lados opuestos del horno (10) como se muestra en la Figura 1b. Cuando los regeneradores están en lados opuestos de un horno, sus puertos respectivos a través de los cuales los productos de combustión gaseosos alternativos salen del horno y el gas de síntesis (gas combustible) entra en el horno, se encuentran en un eje que es perpendicular al eje longitudinal del horno.

Según muestran las Figuras 1, 1a y 1b, el horno (10) de puerto final tiene paredes laterales (11) y (12) y una estación (20) de alimentación donde el material (30) de alimentación que comprende materiales sólidos de fabricación de vidrio (conocidos como materiales de carga y/o vidrio de desecho) se cargan en el horno para que se calienten y se fundan. El flujo de vidrio fundido que sale del horno (10) se representa como (90). El horno (10) está equipado con un primer regenerador (100) en el lado izquierdo del horno y un segundo regenerador (200) en el lado derecho del horno. Las vistas en sección transversal vertical de los dos regeneradores se muestran con más detalle en las Figuras 2 y 3. Pares de regeneradores (100) y (200) que se sitúan como se muestra en las Figs. 1a o 1b se conectan entre sí, y se accionan, como se describe a continuación con referencia a las Figs. 1-3, 4-4a, 5-5a, 6-7 y 7a-7c.

Como se ve en la Figura 1 y la Figura 2, el regenerador (200) está en el ciclo de escape en donde la corriente de gases de combustión (50) del interior del horno (10) entra en el cuello (240) del puerto y después fluye al espacio superior (530) del regenerador (200) más allá de un analizador (250) de oxígeno. La corriente de gases de combustión calienta los materiales refractarios (representados como (520)) a medida que fluye a través de los pasos entre los materiales refractarios dentro del regenerador (200), y entra en el espacio (500) inferior de la cámara a través de pasos (515) de gas soportados en un arco (510) que también soporta el peso de todo el lecho de materiales refractarios. Como se observa en la Figura 1, una parte (52) de los gases de combustión producidos en el horno (10) puede derivarse a un canal (70) a través de una válvula (350) parcialmente abierta, que después entra a la chimenea (340) para su expulsión, lo que significa que no vuelve a entrar en el horno, sino que se descarga a la atmósfera y/o se transporta a una o más otras estaciones para el almacenamiento y/o tratamiento posterior, o cualquier combinación de dichos destinos. Para obtener una recuperación de calor máxima, se prefiere que la válvula (350) esté cerrada de modo que prácticamente todos los gases de combustión del horno vayan al regenerador (200) como corriente (50) de gases de combustión.

Como se ve en las Figuras 1 y 2, la corriente (201) de gases de combustión enfriados sale del regenerador (200) por el canal (260), pasa a través de una válvula abierta (210) y un sensor (310) de oxígeno, y a continuación entra por el lado de succión del soplador (300). La mayor parte de los gases (301) de combustión que abandonan el lado de presión del soplador pasa a través de un amortiguador (330) y seguidamente un medidor (332) de flujo, y finalmente se dirige a una chimenea (340) a través de la cual estos gases de combustión abandonan el sistema para salir como se define en la presente memoria. Una parte (303) de los gases de combustión se recicla a la parte inferior del regenerador (100) pasando a través del canal (320) y la válvula (360). Estos son los Recycled Flue Gas (Gases de combustión reciclados - RFG). Su caudal se mide mediante un medidor (322) de flujo. El combustible reformado que debe alimentarse al segundo regenerador (100) se suministra por un canal (130) a través de la válvula (120).

Como se ve en la Figura 1 y mejor en la Figura 3, el combustible de reformado (RF) de la corriente (130) se interseca y se mezcla con el RFG (303) en la ubicación (127) en el canal (128) que también se comunica con el espacio inferior (400) del regenerador (100). Esta mezcla de RFG/RF entra en el paquete (420) de material refractario ya precalentado del regenerador (100) a través de los pasos (415) de gas en el arco (410). El regenerador (100) ya se ha calentado en un ciclo anterior mediante el paso de gases de combustión procedentes del horno en, y a través del, regenerador (100). La temperatura de la mezcla RFG/RF aumenta a medida que fluye a través del paquete de material refractario del regenerador (100). Parte del combustible puede descomponerse endotérmicamente en el calentamiento a medida que

pasa a través del corrector y formar H₂, otros hidrocarburos y hollín. Cuando la temperatura de RFG/RF alcanza la temperatura de reformado, pueden producirse reacciones endotérmicas de reformado en las que el combustible reformado (p. ej. CH₄) reacciona con CO₂ y H₂O en el RFG y forma de CO, H₂, y algo de hollín. El calor requerido para las reacciones endotérmicas de reformado se obtiene de los materiales refractarios calentados. La reacción de reformado

5 continúa a medida que la mezcla de RFG/RF sigue desplazándose hacia el espacio superior (430). La corriente gaseosa (425) (denominada en la presente memoria corriente de gas «reformado» o de «gas de síntesis») sale de la parte superior del paquete (420) de materiales refractarios. La corriente (425) tiene una temperatura elevada e incluye especies tales como CO, H₂, hollín, CH₄ sin reaccionar, y CO₂ y H₂O sin reaccionar. La corriente (425) de gas de síntesis pasa a través del cuello (140) del puerto y el sensor (150) de oxígeno, y entra en el horno (10). La corriente de gas de síntesis sale del paquete (420) de materiales refractarios a temperaturas que, por ejemplo, varían de 982 a 1371 °C (1800 °F a 2500 °F).

10 La corriente (142) de gas motor, representada en la Figura 3 y descrita más completamente a continuación, pasa a través de la válvula abierta (144) y se mezcla en la corriente (425) del regenerador (100). La corriente de combustible (842) también está ubicada para proporcionarse en esta ubicación, cuando la válvula (844) está abierta durante una etapa de purga como se describe a continuación. La corriente (143) mezclada resultante de gas de síntesis y gas motor pasa al horno (10) y se quema en el horno (10) para generar calor de combustión adicional útil para calentar y/o fundir material en el horno, tal como material de fabricación de vidrio. El oxidante para la combustión del gas de síntesis lo suministra un canal (135) con una válvula (115) abierta. Este oxidante puede ser aire, o puede tener un contenido de oxígeno más alto que el del aire, es decir, al menos 21 % en volumen, y preferiblemente igual o mayor que 75 u 80 % en volumen, más preferiblemente igual o mayor que 90 % en volumen, o incluso al menos 99 % en volumen. Otra corriente de gas motor (242) de este tipo controlada por la válvula (244) se proporciona para su uso con el regenerador (200) como se muestra en la Figura 2, cuando el regenerador (200) está en el ciclo de producción de gas de síntesis. La corriente de combustible (942) está ubicada para proporcionar combustible a esta ubicación, cuando la válvula (944) está abierta, como se describe a continuación.

15 25 De forma típica, el proceso de recuperación de calor procede con un regenerador en el ciclo de escape y un regenerador en el ciclo de reformado, como se ve en la Figura 1, durante aproximadamente 20 a 40 minutos o hasta que los materiales refractarios en el regenerador de reformado estén demasiado fríos para proporcionar suficiente calor para promover las reacciones químicas endotérmicas deseadas. En ese punto, y continuando ahora con la descripción de la presente memoria, donde el regenerador (200) estaba en el ciclo de escape, y el regenerador (100) estaba en el ciclo de reformado, el horno (10) experimenta una inversión en la que el regenerador (200) experimenta una transición al ciclo de reformado para la recuperación de calor, y el regenerador (100) experimenta una transición al ciclo de escape para la acumulación de calor.

30 35 Antes de la inversión, el gas de síntesis restante en el regenerador (100) se purga al horno (10). En este caso, el suministro de combustible de reformado al regenerador se termina cerrando la válvula (120) mientras se deja que continúe el flujo de RFG desde el otro regenerador al regenerador que se está purgando, tal como a través del ventilador (300). La válvula (844) se abre para que el gas combustible (842) (tal como gas natural, metano o cualquier otro producto o composición gaseoso de hidrocarburo combustible) fluya hacia la boquilla desde la que se injectó el gas motor. Comenzando típicamente de 10 a 20 segundos tras la finalización del flujo de combustible de reformado al regenerador que se está purgando, el gas combustible fluye desde (842) a través de la boquilla (670) (que se ve en la Figura 8) de modo que durante un período típicamente de aproximadamente 10 a 25 segundos, tanto el gas combustible como el gas motor oxidante fluyen hacia fuera de la boquilla (670). Un período de tiempo típicamente de aproximadamente 30 a 45 segundos tras la terminación del flujo de gas de reformado al regenerador, el flujo de gas motor oxidante se termina cerrando la válvula (144); el gas combustible continúa fluyendo hacia fuera de la boquilla (670) y se quema en el horno (10) con el oxidante que se introduce en el horno. El flujo de gas combustible no transmite necesariamente fuerza motriz al gas que fluye en este momento a través del regenerador que se está purgando. El flujo de gas combustible típicamente continúa hasta típicamente aproximadamente 120 segundos tras la terminación del flujo de combustible de reformado. El gas combustible (842) se quema en la boquilla para proporcionar calor a la carga que está en el horno (10). A lo largo de estas etapas de purga, los gases de combustión reciclados continúan fluyendo (típicamente a aproximadamente el doble del caudal anterior) a través del regenerador (100) para purgar el gas de síntesis restante y el gas combustible residual de este regenerador, al horno (10). El gas de síntesis restante en el regenerador (100) se purga mediante el RFG durante una cantidad de tiempo especificada, por lo que casi todo el gas de síntesis en el regenerador se expulsa al horno y se quema completamente.

40 45 50 La combustión del gas combustible en la boquilla por la que pasa el gas motor proporciona calor al horno incluso durante la purga, en la que no se produce gas de síntesis en el regenerador que se está purgando. Además, la combustión en la boquilla de gas motor se puede usar para complementar e incluso para reemplazar la combustión del gas de síntesis del regenerador, por ejemplo, en momentos en que el funcionamiento del TCR se detiene por mantenimiento u otras razones.

55 60 Después, una vez que el regenerador se ha purgado de manera suficiente del gas de síntesis, se detiene la combustión del combustible de (842) cerrando la válvula (844), se detiene el flujo de oxígeno de la lanza de gas motor, se detiene el flujo de oxidante por etapas y las posiciones de las válvulas se invierten de modo que el RFG y el combustible se alimentan al regenerador (200) para producir gas de síntesis en el mismo, y los gases de combustión fluyen a través del regenerador (100) para calentarlo. Preferiblemente, en el momento en que las posiciones de las válvulas deben cambiarse para invertir las funciones de los dos regeneradores, los flujos de combustible y gas oxidante se detienen durante aproximadamente 10 segundos para dar tiempo a que las válvulas afectadas se accionen y cambien de posición.

En la inversión tras la purga, los gases de combustión procedentes del horno pasan a través del regenerador (100), y una parte de los mismos pasa a escape (según se define en la presente memoria) mientras que una parte o el resto se mezcla con combustible y la mezcla se pasa a través del regenerador (200) y hacia el horno. La válvula (110) que se había cerrado se abre, la válvula (210) está cerrada, y la válvula (360) está cerrada y la válvula (380) se abre, para permitir que los de gases de combustión calentados pasen del regenerador (100) hacia, y a través de, un soplador (300), y para permitir que una parte (303) de estos gases de combustión pasen al regenerador (200) una vez mezclado con el combustible reformado (230) que entra a través de la válvula (220) que se había cerrado pero que ahora está abierta. La válvula (115) que se había abierto se cierra, dado que no se produce ninguna combustión con ayuda de oxidante a través de la válvula (115) en esta fase, y la válvula (225) se abre. La mezcla resultante de combustible de reformado y de gases de combustión reciclados se produce en las reacciones endotérmicas del regenerador (200) producidas en el regenerador (100) en el ciclo anterior como se describe en la presente memoria, para producir gas (425) de síntesis, que pasa al horno (10) donde se quema con oxidante (235) que se introduce a través de la válvula (225).

En la inversión, también se cierra la válvula (144), y se abre la válvula (244) de modo que la corriente (242) de gas motor se mezcla con gas de síntesis que sale del regenerador (200), y la mezcla resultante entra en el horno (10) para la combustión. Después, cuando la producción de gas de síntesis en el regenerador (200) ha avanzado de manera suficiente, los ciclos se invierten nuevamente, pero solo después de que el regenerador (200) se purgue del gas de síntesis de manera análoga a cómo se purgó el regenerador (100) antes del ciclo que ahora termina.

Durante el proceso de recuperación de calor, el horno (10) puede encenderse conjuntamente con otros quemadores tales como (60) y (65) de modo que tanto la llama (40) de gas de síntesis como las llamas (62) y (64) de los quemadores coexistan. Además, los quemadores (60) y (65) pueden o no funcionar durante el proceso de inversión cuando el regenerador (100) o (200) de reformado según sea el caso, está sujeto a la secuencia de purga descrita anteriormente. Para obtener una recuperación de calor máxima, se prefiere que los quemadores (60) y (65) no combustionen conjuntamente con la llama (40) de gas de síntesis. También se prefiere que durante la secuencia de purga, los quemadores (60) y (65) no estén en funcionamiento.

El chorro motor de la presente invención emplea dos planteamientos generales diferentes para evitar la condición de flujo de combustible no controlado (es decir, forma de llama no controlada) que han reconocido causada por la velocidad muy baja del gas de síntesis caliente que entra en el horno a través del puerto de TCR. El primer planteamiento consiste en transformar el gas de síntesis de baja velocidad en una corriente de gas de velocidad más alta bien definida utilizando un gas motor dentro de la corriente de gas de síntesis. El segundo planteamiento consiste en colocar un número suficiente de chorros de alta velocidad alrededor del puerto de gas de síntesis para arrastrar el gas de síntesis a múltiples chorros de gas junto con el gas del horno circundante para controlar tanto la forma de la llama como la temperatura de la llama. Además, el método puede formar una llama de oxícombustible larga que se proyecta desde la pared de combustión hacia la pared opuesta del horno para la corriente de combustible de gas de síntesis de baja velocidad que sale de un puerto de combustión ubicado en la pared de cocción. En las siguientes secciones, estos aspectos de la presente invención se describen en detalle.

Volviendo a la implementación de la corriente de gas motor en la presente invención, puede utilizarse (especialmente con combustión de oxícombustible) para producir una llama bien contorneada con una baja temperatura pico de llama en un horno u otra cámara de combustión procedente de una corriente de combustible u oxígeno de baja velocidad de menos de 15,2 m/s (50 pies/s) y más preferiblemente menos de 7,6 m/s (25 pies/s), en donde al menos una corriente (142) de gas motor de alto impulso con un bajo caudal másico se introduce en la corriente de baja velocidad en los pasajes de suministro de gas (conductos) (alternativamente, (140) y (240)) conectados a un horno para formar una corriente mezclada (143) de velocidad superior en la dirección del puerto de salida que se introduce en el horno. La velocidad de la corriente de gas motor debería ser de al menos 30,5 m/s (100 pies/s) y es preferiblemente de al menos 121,9 m/s (400 pies/s), más preferiblemente de al menos 243,8 m/s (800 pies/s). Las corrientes mezcladas cuando entran en el horno tras la mezcla tienen velocidades de gas superiores a 15,2 m/s (50 pies/s) y más preferiblemente superiores a 30,5 m/s (100 pies/s).

La presente invención es especialmente útil cuando la corriente de combustible o de oxígeno en la que se introduce la corriente de gas motor tiene una densidad de gas baja y una velocidad en el paso de menos de 9,1 m/s (30 pies/s) o incluso inferior a 4,6 m/s (15 pies/s). Con la presente invención se ha descubierto que se evita el riesgo de que la llama (formada por la combustión del gas de síntesis u otro gas combustible) aumente o se eleve hacia la corona del horno, lo que evita el riesgo de daño a la corona debido a la temperatura muy alta de la llama. De hecho, la invención es especialmente útil donde la densidad del gas combustible o del gas de síntesis que se arrastra al gas motor según se describe en la presente memoria, es inferior a la densidad de los productos de combustión gaseosos formados por la combustión en el horno.

Los puntos de inyección de la corriente mezclada y de cualquier corriente secundaria tal como una oxidante, que entran en el horno, pueden separarse para evitar un mezclado local rápido que podría formar una llama de alta temperatura con emisiones elevadas de NOx. La velocidad de la corriente mezclada se define como la velocidad promedio de la corriente de gas motor y de la corriente de baja velocidad original en la cual se introduce la corriente de gas motor. Cuando se emplean dos o más corrientes de gas motor, se prefiere que al menos una de las corrientes que entran en el horno tenga una velocidad superior a 30,5 m/s (100 pies/s), y preferiblemente todas las corrientes tengan velocidades de gas de más de 30,5 m/s (100 pies/s). El caudal másico total de todas las corrientes de gas motor es inferior al 60 %, preferiblemente menos del 30 %, y lo más preferiblemente menos del 20 %, o incluso al 15 %, del caudal másico de la corriente de combustible de baja velocidad en la cual se introduce el gas motor.

Preferiblemente cada corriente de gas motor está compuesta de combustible u oxidante que se quema en el horno. Con máxima preferencia, el gas motor comprende oxígeno para que se queme en el horno. Es especialmente preferible que la corriente de gas motor comprenda al menos 75 % en volumen de oxígeno y preferiblemente al menos 90 % en volumen de oxígeno, especialmente en su uso con la combustión de gas de síntesis procedente de

5 los métodos del regenerador termoquímico descritos en la presente memoria. En otro aspecto preferido, el caudal másico del gas motor inyectado en el gas combustible gas de síntesis proporciona entre 10 % (o incluso 5 %) y 35 %, preferiblemente entre 10 % y 25 % (o incluso 10 % a 20 %), del caudal másico estequiométrico de oxígeno requerido para la combustión completa del gas combustible o del gas de síntesis en el que se inyecta el gas motor.

10 Para el uso de la invención en un horno que hace uso de un regenerador termoquímico, la corriente de gas motor comprende preferiblemente una parte (es decir, menos del 100 % del requisito estequiométrico) del oxidante utilizado en la combustión del combustible que está en la corriente en la que se introduce la corriente de gas motor. Como gas motor pueden utilizarse cualesquiera otros gases tales como RFG comprimido, vapor, gas combustible y aire. La corriente de gas motor que comprende esta parte del oxidante de combustión se suministra a través de una boquilla o de múltiples boquillas instaladas

15 dentro del conducto de suministro de combustible a través del cual la corriente de combustible de baja velocidad pasa del regenerador al horno. Esta corriente de gas motor, que comprende la parte del oxidante de combustión, está a alta velocidad con un impulso muy elevado producido por el uso de boquillas de inyección adecuadas. El elevado impulso de la corriente de gas motor no solo atrapa, mezcla y quema parte del combustible de baja velocidad circundante sino que también atrapa, impulsa y dirige el combustible no quemado restante de baja velocidad al recinto de combustión (hornos) hacia ubicaciones

20 deseadas mediante el intercambio de impulso entre el combustible y la corriente de gas motor. Al menos 50 % en volumen, preferiblemente al menos 70 % en volumen y más preferiblemente al menos 90 % en volumen del gas de escape o del gas de síntesis es arrastrado a la corriente de gas motor en el conducto de gas de escape de baja velocidad antes de entrar en el horno, formando la corriente mezclada que pasa hacia el horno. La relación del caudal másico de gas combustible arrastrado respecto al caudal másico del gas motor inyectado es aproximadamente proporcional a la relación de la distancia

25 L de la cavidad y el diámetro D del extremo de la boquilla a través de la cual se introduce la corriente de gas motor al conducto, es decir, L dividido entre D, en donde la distancia de la cavidad L se define como la distancia entre el punto de inyección al conducto (en el extremo de la boquilla (670)) a la salida del conducto al horno, es decir, a la superficie interior del interior del horno donde acaba el conducto (L es el espacio mostrado como (690) en la Figura 5). Por tanto, puede definirse el intervalo preferido de L/D que proporciona una cantidad deseada de arrastre de gas de síntesis en la corriente

30 de gas motor para cualquier aparato dado llevando a cabo pruebas con las geometrías específicas del conducto de suministro de combustible y de la boquilla de gas motor, utilizando las relaciones descritas en la presente memoria.

Puede introducirse una corriente de oxidante secundario (también denominada en la presente memoria como «2.^º oxidante») en el recinto de combustión desde uno o más puntos de inyección espaciados del conducto que lleva la corriente mezclada para completar la combustión del combustible restante que se ha llevado hacia el horno en la corriente mezclada. Preferiblemente el oxígeno secundario se inyecta de dos a cuatro puntos de inyección por debajo de la línea central del conducto de gas de síntesis. Más preferiblemente, el oxígeno secundario se inyecta de dos a cuatro puntos de inyección por debajo del conducto de gas de síntesis para mantener una atmósfera oxidante en al menos la parte de la atmósfera dentro de la parte inferior del horno que está en contacto con el material contenido en el horno.

40 En este proceso de combustión para combustibles de baja velocidad, los impulsos de la corriente de gas motor y de cualquier corriente secundaria de oxidante son mucho mayores que el impulso de la corriente a la que se alimenta el gas motor. Por lo tanto, las características de campo de flujo en los hornos (tales como las direcciones de flujo, magnitudes de la velocidad y la ubicación de las zonas de recirculación de flujo) se ven fuertemente influenciadas y principalmente determinadas por las direcciones (es decir, ángulos del vector) y la magnitud de los impulsos diseñados para estas dos corrientes de oxidante. Esta capacidad adicional de ser capaz de alterar o modificar las características de flujo del horno durante el dicho proceso de combustión es especialmente ventajosa para lograr un rendimiento térmico optimizado y una distribución de temperaturas deseada en el horno. Las ventajas adicionales incluyen emisiones reducidas de NOx, transporte reducido de partículas en los gases de combustión y mayor eficiencia de uso de energía en un horno de vidrio,

45 50 y la capacidad de ajustar el estado redox (es decir, más oxidante o menos oxidante, más reductor o menos reductor) de la atmósfera gaseosa cerca de los materiales fundidos de fabricación de vidrio o de otros materiales en el horno. Por lo tanto, este aspecto de la presente invención permite establecer una atmósfera oxidante sobre la carga en el horno, lo que frecuentemente ayuda a mejorar las propiedades del producto que se está produciendo.

55 Dado que la corriente de gas motor está para arrastrar e impulsar la corriente de combustible de baja velocidad al recinto de combustión antes de formar una llama principal en el horno, el lugar en el que se introduce la corriente de gas motor en el conducto para su mezcla con la corriente de baja velocidad, se encuestra en el conducto lejos de las paredes interiores calientes del horno mismo, para atrapar la mayor parte de la corriente de combustible de baja velocidad y para limitar o minimizar el arrastre de los gases de combustión del horno al conducto.

60 65 El método de combustión de la presente invención también puede aplicarse para influir en los patrones generales de flujo en el horno de forma que se obtenga un rendimiento térmico óptimo del horno. Esto difiere de los quemadores, que utilizan un chorro de alta velocidad para arrastrar un chorro de baja velocidad únicamente con fines de combustión, pero sin influir significativamente en los patrones generales de flujo del horno. Por ejemplo y en aplicaciones de horno de vidrio, la corriente de gas motor y la corriente de 2.^º oxidante en la práctica de la presente invención pueden diseñarse de modo que se obtengan campos de flujo de horno preferidos para evitar el sobrecalentamiento de las paredes refractarias o de la corona

del horno, y para tener velocidades locales de gas bajas cerca de las superficies de vidrio para minimizar la volatilización de ácalis. Este método para controlar el campo de flujo general del horno se describe con mayor detalle más adelante.

- 5 Utilizando una corriente de gas motor con una alta velocidad y bajo caudal m醩ico se minimiza la diluci髇 del combustible o la corriente de oxígeno cuando se utilizan gases de no combustión (N₂, CO₂, vapor, gas combustible reciclado, etc.). Dado que la inyección de gases de no combustión en el horno reduciría la eficiencia energética del horno, es especialmente importante minimizar el caudal m醩ico de la corriente de gas motor. Cuando se utiliza un caudal pequeño de gas combustible (p. ej., el gas motor es combustible que se introduce en una corriente de oxígeno o es una corriente de gas motor de oxígeno o aire introducido en una corriente de combustible), el calor generado por la reacción dentro del paso de gas es pequeño y evita el sobrecalentamiento del paso del gas. Esto constituye una consideración importante cuando la corriente de baja velocidad está a una temperatura elevada, como es el caso de la corriente de combustible precalentada en el funcionamiento del thermochemical regenerator (regenerador termoquímico - TCR).
- 10 15 En un sistema regenerativo termoquímico de recuperación de calor residual para hornos de vidrio, tanto la salida de gases de combustión como el suministro de gas combustible precalentado comparten el mismo paso de conducto (es decir, el cuello del puerto del regenerador) de forma alternativa. Esto significa que el tamaño del conducto es común para ambos usos. La velocidad de los gases de combustión en la entrada del puerto se diseña típicamente en el intervalo de 6,1 m/s (20 pies/s) hasta 15,24 m/s (50 pies por segundo) o incluso hasta 18,29 m/s (60 pies/s) para impedir el arrastre de partículas de carga y para facilitar una distribución de flujo uniforme en una gran área de sección transversal del paquete de material refractario del regenerador. La velocidad de los gases de combustión también está restringida por la potencia del soplador de combustión y por las condiciones de desgaste resultantes de la alta velocidad en las superficies internas del conducto refractario de alta temperatura revestido. Dado que el caudal volumétrico del gas combustible del TCR es sustancialmente menor que el caudal de gas procedente del horno, el gas combustible tiene como consecuencia de ello una velocidad más baja a través del conducto compartido. La presente invención mejora la velocidad de descarga de la corriente de gas combustible de velocidad más baja en el espacio de combustión, transmitiendo un mayor impulso y un vector de velocidad más alta a la corriente de gas combustible en combinación con la corriente de gas motor que comprende oxidante. Esto es importante para llevar a cabo una combustión eficiente donde el impulso del gas combustible sin el chorro de gas motor en la entrada al espacio de combustión sea demasiado bajo para mantener su propia dirección de flujo. Sin el mayor impulso y el mayor vector de velocidad, el gas combustible seguirá el patrón de circulación natural de las celdas de convección existentes en el espacio de combustión, dirigiendo el gas combustible a la pared de contacto y a las superficies refractarias de la corona en alta concentración antes de la mezcla con el oxidante para la combustión. Esta condición es muy poco deseable y puede dar lugar a daño refractario, recalentamiento local, combustible sin quemar que sale a través de la salida de escape, y una mala distribución del calor a la carga de proceso. La característica de gas motor de la presente invención resuelve todas estas condiciones no deseables al transmitir tanto impulso como dirección a la corriente de gas combustible a medida que entra en el espacio de combustión, permitiendo que la mezcla resultante se dirija de modo que se complete la combustión dentro del volumen disponible, y proporcionando un patrón favorable de liberación de calor, bajas emisiones de NOx y CO, así como una velocidad controlada en la superficie del vidrio para evitar una generación excesiva de compuestos volátiles procedentes de la superficie fundida.
- 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 Los combustibles de baja presión pueden comprimirse a presiones más altas para aumentar el impulso y la velocidad de los chorros de combustible para aplicaciones industriales. Sin embargo, este método requiere en general una gran cantidad de medidas de seguridad y redundancias para lograr operaciones seguras, lo que aumenta rápidamente los costes de compresión del combustible. La compresión del combustible está también limitada por los materiales de ingeniería disponibles y está sujeta a las temperaturas máximas de combustible permitidas. Por ejemplo, un combustible de gas de síntesis de alta temperatura y baja presión a una presión de suministro de aproximadamente 0,498 kPa (dos pulgadas de columna de agua (es decir, 2"-H₂O)) y cuya composición comprende CO, H₂, CH₄ y hollín, resultaría muy costoso de comprimir incluso a una temperatura moderada de menos de 260 °C (500 °F). Para el gas de síntesis del TCR precalentado por encima de 1093 °C (2000 °F), no existe una forma práctica de comprimir la corriente. La presión de la corriente de gas motor se utiliza para dirigir y suministrar combustibles de baja velocidad a un recinto de combustión con el uso de boquillas para crear corrientes de alta velocidad del gas motor, especialmente donde el gas motor es oxidante. Estas boquillas pueden estar fabricadas con materiales refractarios de alta temperatura y, opcionalmente, montarse en las puntas de lanzas de metal refrigeradas por agua o aire para su uso. Puesto que el oxígeno puede obtenerse de fuentes comerciales tales como aparatos de VPSA o un suministro de oxígeno líquido a una presión lo suficientemente elevada para servir como primera y segunda corriente de oxidante, la presente invención no requiere equipos costosos de compresión de combustible y es de aplicación fácil, segura y muy económica. El método y aparato actuales para la combustión de combustible de baja velocidad también tiene las ventajas añadidas de reducir las emisiones de NOx y de reducir las temperaturas pico de la llama, debido a que el combustible de baja velocidad se convierte a una corriente mezclada de velocidad superior y se quema mediante al menos dos oxidantes suministrados al recinto de combustión en una combustión por etapas, como se describe en las patentes US-6.394.790 y 5.601.425. Otra ventaja técnica de la presente invención es que los patrones generales de flujo del horno y las características de flujo pueden alterarse o modificarse a través de distintos diseños de boquillas de modo que se proporcionen

cantidades adecuadas de impulso de flujo y ángulos de flujo de corriente a la corriente de gas motor y a la corriente de oxidante secundario.

La siguiente descripción se refiere a los dibujos, incluidas las Figuras 4, 4a, 5, 5a, 6-7, 7a-7c y 8 para describir la práctica y el funcionamiento representativos de la invención actual en un horno de vidrio equipado con regeneradores termoquímicos de calor (TCR) para la recuperación de calor de los gases de combustión del tipo descrito en la patente US-6.113.874.

El horno (10) de vidrio tiene un regenerador (100) en el lado izquierdo de la pared (3) del horno y un regenerador (200) en el lado derecho de la pared (3). Como se ha descrito anteriormente, los regeneradores (100) y (200) están conectados a unos conductos también denominados cuellos (140) y (240) de puerto respectivamente en la presente memoria, que conectan con el interior del horno (10) de vidrio. En las Figuras 4 y 5, el regenerador (100) se muestra en el ciclo de reformado en el que el gas (425) de síntesis se produce mediante reformado termoquímico del combustible y los gases de combustión reciclados del horno en el paquete (420) de material refractario. Esta corriente (425) de gas de síntesis comprende normalmente CO, H₂, CH₄, CO₂, N₂, otras clases de hidrocarburos y hollín. Tiene una temperatura típicamente superior a 1093 °C (2000 °F) o 1149 °C (2100 °F) y un peso molecular promedio en peso inferior a 18, o incluso inferior a 14 (es decir, la densidad de gas es inferior a 0,16 o incluso inferior a 0,11 kg/m³ (0,01 o incluso inferior a 0,007 libras/pie³), pero su presión es muy baja, del orden de menos de 25 Pa o incluso menos de 12,5 Pa (25 kPa o incluso menos de 125 kPa (0,1 o incluso menos de 0,5 pulgadas de columna de agua (0,1" o incluso menos de 0,5"-H₂O)) por encima de la presión ambiente del horno. La corriente (425) de gas de síntesis entra en el cuello (140) del puerto a través de un plano (630) y sale hacia el horno para la combustión a través del plano (640) que es el plano de la superficie interior de la pared (3).

En la Figura 4, la Figura 5 y la Figura 5a, una corriente (142) de gas motor pasa a través de la válvula (144) a una lanza (660) de metal que tiene una boquilla refractaria (670). La lanza (660) se describe con referencia a la Figura 8, que incluye la corriente (142) de gas motor, la válvula (144), la línea de alimentación de combustible (842), la válvula (844), el cuello (140) del puerto y el horno (10), que también se describen en otras figuras de los dibujos. Se proporcionan un pasaje central (848) y un pasaje anular (846), preferiblemente concéntricos entre sí. Preferiblemente, el gas motor se alimenta a través del pasaje central (848) y el combustible se proporciona a través del pasaje anular (846). Alrededor del pasaje anular (846) se proporciona una camisa (853) de aire de enfriamiento que entra por la entrada (851) de aire y sale por la salida (852) de aire. Se proporcionan aberturas (854) en la camisa (853) para que parte del aire de enfriamiento pueda pasar desde la camisa (853) para ayudar a mantener la boquilla (846A) al final del pasaje (846) y la boquilla (848A), al final del pasaje (848), enfriadas y limpias, ya que cuando se reanude el paso del combustible, el combustible tendrá una menor tendencia a agrietarse y formar hollín, lo que podría ensuciar la boquilla y desviar el eje de la llama cuya base estaría en la boquilla. El extremo (848A) del pasaje (848) está preferiblemente encastrado en hasta dos diámetros interiores del orificio de combustible refractario desde el extremo de la boquilla (670), y el extremo de la boquilla (670) está preferiblemente encastrado en hasta dos diámetros interiores del orificio de combustible desde la abertura hasta el cuello (140) del puerto.

La corriente (142) de gas motor puede ser una parte del oxidante de combustión que se utiliza para quemar el gas de síntesis u otro gas combustible que se introduce en el horno. La boquilla (670) refractaria está diseñada preferiblemente para tener un rendimiento del 10 % del total del flujo de oxidante de combustión, y la velocidad de inyección de oxidante se reguló a una velocidad sónica de aproximadamente 299 m/s (980 pies/s). La lanza y el conjunto de boquilla se instalan dentro del cuello (140) del puerto (conducto) con el extremo de descarga de la boquilla (670) encastrada a una distancia (690) desde el plano (640) que se define más arriba. La boquilla (670) puede comprender numerosos orificios (no mostrados) en su extremo de descarga que preferiblemente están diseñados de modo que el oxidante fluya a través de los orificios en direcciones que eviten un sobrecalentamiento del interior del material refractario dentro del cuello (140) de puerto.

Durante los ciclos de funcionamiento en los que la corriente (142) de gas motor está fluyendo, sale de la boquilla (670) como una corriente de alta velocidad que arrastra gran parte del gas (425) de síntesis de baja velocidad formando de esta manera una corriente (600) de combustible mezclada en el cuello (140) del puerto (conducto). La corriente (600) mezclada pasa del interior del conducto (140) al horno (10). La corriente de combustible mezclada tiene un impulso suficiente para resistir que se eleve hacia arriba hacia la parte superior (corona) del horno (10) y que en su lugar penetre al interior del horno (10) en una dirección preferida (630) con la ayuda del diseño de la boquilla refractaria (670) para minimizar o evitar que la llama toque o impacte sobre las paredes interiores y la corona del horno.

La Figura 4a ilustra una realización en la que hay dos boquillas (660) situadas entre sí en un ángulo divergente. Las corrientes de gas motor atraviesan ambas boquillas (660) dentro del conducto (140) para mezclarse con la corriente (425) dentro del conducto (140) y la corriente (600) mezclada resultante pasa del conducto al interior del horno (10).

Por supuesto, aunque ambos regeneradores (100) y (200) tienen lanzas (660) que se utilizarán para inyectar un gas motor cuando el regenerador se acciona en el ciclo de reformado, el gas motor se alimenta solo de la lanza (660) que está asociada al regenerador que está funcionando en el ciclo de reformado.

Pueden suministrarse al interior del horno una o más corrientes (750) de oxidante secundario, cada una por su propio conjunto de lanza (760) y boquilla (770) dentro de una bloque refractario (735) para la inyección del balance del oxidante de combustión para la combustión completa del gas de síntesis o del gas combustible. El gas (620) de síntesis de baja velocidad que no se ha arrastrado a la corriente (142) de gas motor puede arrastrarse a la corriente (785) de oxidante secundaria que pasa hacia el horno para la combustión. Los orificios de inyección en la boquilla(s) (770) están diseñados

de modo que el oxidante secundario arrastra los gases del horno circundantes antes de mezclarse con el gas de síntesis sin quemar o con la corriente de gas combustible impulsada por la corriente (142) de gas motor de modo que se forma una llama principal (790) deseada para calentar una carga en el horno, tal como para la fusión del vidrio. La llama principal (790) proporciona energía calorífica de radiación y convección a la carga (800 y 810) en el horno, que puede incluir sólidos (800) (tales como materiales de carga y/o vidrio de desecho para la fabricación de vidrio) y líquido fundido (810). Los gases (50) de combustión procedentes del interior del horno se llevan al regenerador (200) para precalentar los materiales refractarios en el mismo como se ha descrito anteriormente. La Figura 6 es una vista de una parte de pared (3) desde el interior del horno. Como se ve en la Figura 6, las boquillas (770) están situadas por debajo de la línea central horizontal de la salida (140A) del conducto (140), y están preferiblemente por debajo del conducto de salida (140A). Aunque se ilustran dos boquillas (770), hay preferiblemente dos a cuatro de dichas boquillas (770) en cada salida (140A).

En la práctica preferida real como se representa en la Figura 2, también se instalarían inyectores adicionales para gas combustible o gas de síntesis, para una corriente de gas motor y para corrientes secundarias de oxidante, funcionalmente equivalentes a los descritos anteriormente, en el cuello (240) del puerto (conducto) y los bloques refractarios (835) en el lado derecho del horno, aunque no se muestran en las Figuras 4 y 5. El combustible (942) también se muestra en la Figura 2. Estos dispositivos de inyección se utilizarían cuando el proceso de TCR haya experimentado una inversión a un ciclo en la que el gas de síntesis se produce en el regenerador (200) y los gases de combustión del horno se llevan al regenerador (100) para precalentar el paquete (420) de materiales refractarios.

Otra ventaja adicional de la presente invención es que el uso de los gases motores permite una distribución adecuada de reactantes de baja velocidad en un horno bajo el cual los conductos conectados al horno y los regeneradores no son rectos, sino que están inclinados en direcciones horizontal o vertical con respecto a la dirección de un regenerador.

En la Figura 5a, se muestra el cuello (140) de puerto con un ángulo agudo con respecto a la dirección hacia arriba del regenerador (100). La altura de la corona (432) del regenerador es aproximadamente 2,29 m (7,5 pies) superior a la superficie (811) de vidrio en el horno (10). Esta inusualmente gran diferencia en altura se debe a que el regenerador se instaló en los niveles de sótano existentes sin excavación. En este caso, el gas motor de alto impulso que sale de la lanza (660) también proporciona un efecto de «bombeo» para arrastrar el gas (425) de síntesis de baja velocidad, baja densidad, y elevada flotabilidad procedente del espacio superior más elevado del regenerador hacia el espacio de combustión menos elevado del horno. Este efecto de bombeo reduce de forma ventajosa el requisito de presión que debe desarrollar el soplador (300, Figura 1) en el lado de presión, reduciendo por tanto los costes operativos del proceso. Además, debido a que el cuello (240) de puerto también está muy angulado como el cuello (140) de puerto, la llama (790) y las paredes calientes del horno (10) no tienen vistas directas sobre el regenerador de espacio superior (530, Figura 2) del regenerador más frío del regenerador (200) que está en el ciclo de escape. Esta vista obstruida desde el horno caliente hasta el espacio superior del regenerador más frío reduce la transferencia de calor de radiación directa desde el horno (10) hasta el regenerador (200), lo que reduce pérdidas por radiación en el puerto al ambiente del horno y aumenta la eficiencia de recuperación de calor del TCR.

La presente invención también puede aplicarse por ejemplo a hornos de vidrio donde los cuellos de puerto estén inclinados en direcciones horizontales y conectados a los regeneradores. Esta aplicación de lanzas motoras puede producirse cuando el curso superior del paquete (420) de material refractario está casi a la misma elevación que la de la superficie (811) del vidrio, por lo que la elevación de la corona del regenerador está aproximadamente al mismo nivel que la corona del horno. La Figura 5a ilustra dicha disposición de recuperación de calor del TCR vista desde arriba, donde los cuellos (140, 240) del puerto están inclinados en direcciones horizontales y la lanza (660) motora está instalada en el cuello (140) del puerto del regenerador (100) de reformado. En este caso, los flujos de calor radiante que salen del horno a través de un plano (640) en la pared (3) posterior del horno se bloquean parcialmente y se reflejan de vuelta al horno (10) por las paredes inclinadas (242, 243) del cuello (240) de puerto, teniendo por tanto un efecto similar en la reducción de las pérdidas de calor por radiación del puerto y mejorando la eficiencia de recuperación de calor del proceso del TCR.

Otras condiciones de operación preferidas son las siguientes:

Cada corriente de oxidante debe tener una concentración de oxígeno superior a 50 % en volumen, preferiblemente superior a 75 % en volumen.

Cada corriente de gas motor introducida en el conducto para la mezcla con una corriente de combustible u otra corriente debería tener una velocidad de 61,0 m/s (200 pies/s) hasta la velocidad sónica o incluso velocidad supersónica en la salida de la boquilla. Para el punto de referencia, si la presión del recinto de combustión (horno) es de 101 kPa (1 atm), la velocidad sónica para O₂ (entrada a 21 °C (70 °F)) en una salida de boquilla es de 299 m/s (980 pies/s); para 21 °C (70 °F) aire, la velocidad sónica en una salida de boquilla es de 314 m/s (1030 pies/s)

Un gas motor que se introduce en una corriente dada de combustible debería comprender preferiblemente (por volumen) 1 % a 50 % (más preferiblemente de 5 % a 30 %, y aún más preferiblemente de 5 % a 15 %) del oxígeno de combustión total que se introduce en el horno para la combustión de combustible en dicha corriente de combustible.

Al menos 50 % en volumen, preferiblemente 70 % en volumen y más preferiblemente al menos 90 % en volumen del gas de escape o del gas de síntesis es arrastrado a la corriente de gas motor en el conducto de combustible, formando

la corriente mezclada que pasa hacia el horno. Como se ha descrito anteriormente, la relación del caudal másico del gas de síntesis o de otro gas combustible que se arrastra, respecto a la velocidad de flujo másico del gas motor inyectado, es aproximadamente proporcional a la relación de L y D, es decir, la distancia de cavidad L dividida por el diámetro D de la boquilla de gas motor, en donde la distancia de cavidad L se define como la distancia (690) a lo largo 5 del eje de la lanza (660) entre el punto de inyección en el conducto al plano de salida del conducto al horno, es decir, a la superficie interior del interior del horno donde el conducto termina. El intervalo preferido de la relación L/D para el 10 conducto depende del número de corrientes de gas motor inyectadas en el conducto, N, y de la relación R del caudal másico total del gas de síntesis que pasa a través del conducto respecto al caudal másico total de la corriente de gas motor que se introduce en el conducto. Cuando se combinan estos parámetros con L expresada en las mismas 15 unidades que D, y los caudales másicos en los que se basa R se expresan en las mismas unidades, de modo que R sea adimensional, la expresión $(L/D) \times (N/R)$ está preferiblemente entre 5 (o incluso 4) y 25, más preferiblemente de entre 8 y 15 o 16. Esta relación puede satisfacerse proporcionando valores adecuados de uno cualquiera o más de L, D, N y R, en cada situación operativa dada para proporcionar el valor deseado de la expresión $(L/D) \times (N/R)$. Es decir, L puede proporcionarse situando cada una de las boquillas (670) dentro del conducto, D puede darse proporcionando 20 una boquilla (670) con el diámetro deseado, puede proporcionarse un número adecuado N de lanzas (660) y boquillas (670) en el conducto en donde cada lanza (660) recibe gas motor como se describe en la presente memoria, y el valor de R puede proporcionarse aplicando los caudales másicos totales adecuados del gas de síntesis y del gas motor.

Preferiblemente, todo el gas motor que se introduce en un conducto dado se introduce a través de una o más lanzas (660) (es decir, un total de N lanzas) situado en el conducto. El número preferido de corrientes de gas motor en un 25 conducto, N, viene determinado por el tamaño y la forma del área en sección transversal del conducto y la forma deseada de llama en el horno. Cuando el área de sección transversal del conducto es grande, pueden ser adecuados dos a cuatro, o incluso seis o más corrientes de gas motor, cada una alimentada a través de su propia lanza (660), para lograr un arrastre de gas de síntesis de 50 a 90 % (preferiblemente 70 a 90 %) al gas motor dentro 30 del espacio de conducto disponible. La dirección de cada corriente de gas motor puede ajustarse para conformar diferentes formas de llama en combinación con la dirección y número de corrientes secundarias de oxidante. La Figura 6 ilustra una realización en la que hay una boquilla (670) correspondiente a una lanza (660) para el conducto, es decir, N es igual a uno. Donde se emplean dos o más de dos boquillas (670) en un conducto, la expresión $(L/D) \times (N/R)$ se determina siendo N el número total de boquillas que introducen gas motor al conducto y con R 35 determinado con respecto al caudal másico total de gas de síntesis que pasa a través del conducto y el caudal másico total de gas motor alimentado a través de todo el N de boquillas. Las dimensiones adecuadas L y D y los caudales másicos adecuados para el gas de síntesis y el gas motor que puedan emplearse en la práctica dependerán de factores que incluyen el tamaño total y la velocidad de combustión por puerto del horno con el que se emplea la invención. Por lo tanto, valores representativos no limitantes de L pueden ser de 25,4 a 203,2 cm (10 40 a 80 pulgadas); de D, 0,64 a 2,54 cm ($\frac{1}{4}$ de pulgada a 1 pulgada); de caudal másico de gas de síntesis, 453,6 a 1814,4 kg/h (1000 a 4000 libras por hora (lb/h)); y con el caudal másico de gas motor seleccionado como se describe en la presente memoria con referencia a valores que incluyen las relaciones de caudal másico, contenidos de oxígeno y velocidades descritas en la presente memoria. La presente invención también puede practicarse en realizaciones en las cuales el gas motor no contiene necesariamente oxígeno. En vez de ello, el gas motor puede ser cualquier gas, incluyendo vapor, aire comprimido, gas natural, dióxido de carbono, gases de combustión reciclados comprimidos o cualquier otra composición gaseosa que sea compatible con el horno.

Pueden utilizarse múltiples corrientes de gas motor para regular la forma de una llama en el horno para que la llama sea ancha y también tenga una longitud y direcciones adecuadas para el uso en las aplicaciones. La necesidad de llamas más anchas es especialmente crítica en un denominado horno de combustión cruzada cuando la longitud del horno en la dirección longitudinal es grande. Por ejemplo, en un horno de aire para fabricar vidrio flotado, se sitúan cinco a siete pares de puertos de regenerador en las paredes laterales del horno. Cada llama se proyecta transversalmente de una pared lateral a la pared lateral opuesta, y las múltiples llamas proporcionan una buena cobertura de la llama sobre una gran área de superficie del horno, en donde la fusión de la carga/vidrio de desecho 45 y la eliminación de las burbujas del vidrio fundido se produce de forma continua. Cuando un horno de este tipo se convierte a combustión de oxicomustible con el sistema de recuperación de calor del TCR, es deseable reducir el número de puertos de TCR para reducir las pérdidas de calor de la pared y reducir el coste de la conversión. Sin embargo, cuando se reduce el número de puertos, se reduce el número de llamas y se reduce la cobertura de llama, especialmente dado que el tamaño de la llama de oxicomustible es generalmente mucho más pequeño que el de la llama de aire de la misma tasa de combustión. Este problema de baja cobertura de llama puede resolverse creando una llama ancha a partir de cada puerto que cubre un área de superficie mayor. Pueden suministrarse 50 múltiples corrientes de gas motor a un conducto mediante el correspondiente número de lanzas (660) teniendo cada lanza una o más boquillas (670). Cada boquilla puede tener orificios individuales o múltiples por donde fluye un gas motor. Si se proporcionan múltiples orificios en una boquilla, la orientación y el tamaño de cada orificio pueden o 55 no ser los mismos. Estas lanzas motoras pueden estar situadas y escalonadas en una dirección vertical u horizontal o en cualquier lugar adecuado de un área en sección transversal de un conducto donde el combustible u oxidante de baja velocidad fluye a través del, y posteriormente al, horno. Se espera que la disposición de estas lanzas que alojan múltiples corrientes de gas motor para crear una llama ancha pueda depender de la forma y del área en sección transversal del conducto. También es importante señalar que el número de estas lanzas motoras aplicables 60 en un conducto puede estar limitado por el área de sección transversal del conducto disponible. Esto se debe a que cada lanza motora (660) puede necesitar una distancia suficiente de separación de las otras lanzas en el mismo 65

conducto de modo que las corrientes mezcladas (600) de cada uno de los orificios de las boquillas no interfieran entre sí para el desarrollo continuo de una llama ancha en la salida (640) del conducto y en el horno (10).

Se ha descubierto que puede obtenerse un buen patrón de forma de llama y distribución de calor en un horno de puerto final con combustión de oxicombustible con TCR como se describe en la presente memoria, con puertos de combustible desde los que el combustible se inyecta hacia el horno, con gas motor inyectado como se describe en la presente memoria, y con el canal (70) o similares como puerto de escape a través del cual salen los productos gaseosos de combustión («gases de combustión») del horno a la salida, cuando se cumplen las siguientes condiciones de flujo.

5 10 (1) El total de impulso «O» de oxígeno, el impulso «M» del gas motor y el impulso «F» del combustible (gas de síntesis) que fluye inyectado hacia el horno es al menos 100 %, preferiblemente superior a 150 %, o incluso superior a 300 %, del impulso «X» del flujo de gases de combustión que sale del puerto de escape.

15 15 (2) El flujo de gas de síntesis de baja velocidad y el gas del horno circundante son arrastrados a la corriente de gas motor y a las corrientes de oxidante, y se proyectan hacia la pared delantera.

20 20 (3) Los puertos (véanse las Figuras 7a, 7b y 7c) están colocados en la pared final con una distancia de separación suficiente entre estos y lejos de la pared lateral más próxima, o los puertos están ubicados cerca de las paredes laterales y los chorros de oxígeno y gas motor forman un ángulo alejado de la pared lateral más próxima para impedir que la zona rica en combustible toque la pared lateral.

25 Se reconocerá que los valores para el impulso del oxidante, del gas motor y de las corrientes de combustible (gas de síntesis) introducidos en un horno y para el impulso de los productos gaseosos de combustión (gases de combustión) que salen del horno, dependen de la tasa de combustión del horno. En hornos tales como los hornos de vidrio, las tasas de combustión típicas pueden ser del orden de 2,28 a 63,31 millones de kJ (5 millones a 60 millones BTU) por hora por puerto de combustión (es decir, los puertos en los que se produce la combustión en el horno). Para hornos que tengan tasas de combustión de esta magnitud, los valores típicos de los impulsos respectivos son del orden de 16 590 a 207 385 kg/h*m/s (120 000 a 1 500 000 libras/hora por pies por segundo (libras/hora* pies/s)) para el impulso del oxidante (denominado en la presente memoria «O»); del orden de 12 443 a 152 083 kg/h*m/s (90 000 a 1 100 000 libras/hora* pies/s)) para el impulso del gas motor (denominado en la presente memoria «M»); del orden de 1382 a 30 16 590 kg/h*m/s (10 000 a 120 000 (libras/hora* pies/s)) para el impulso del gas combustible (denominado en la presente memoria «F»); y del orden de 8295 a 96 780 kg/h*m/s (60 000 a 700 000 (libras/hora* pies/s)) para el impulso de productos gaseosos de combustión (denominado en la presente memoria «X»).

35 35 Si los chorros de oxígeno están colocados cerca de la pared lateral más cercana y se inyectan hacia la pared delantera, paralelos a las paredes laterales, los chorros de oxígeno se flexionarían hacia la pared lateral debido al efecto Coanda, dando lugar a una llama rica en combustible que toca la pared lateral. Esta condición puede evitarse inclinando los chorros de oxígeno lejos de la pared lateral. El ángulo óptimo de los chorros de oxígeno depende de la configuración del horno y de la colocación de los chorros de oxígeno.

40 40 En la presente invención el impulso de cada corriente de oxidante es preferiblemente mayor que el de la corriente de combustible. Por lo tanto, las características de campo de flujo en los hornos, tales como las direcciones de flujo, magnitudes de la velocidad y la ubicación de las zonas de recirculación de flujo, se ven fuertemente influidas y principalmente determinadas por las direcciones (es decir, ángulos del vector) y la magnitud de los impulsos diseñados para cada corriente de oxidante. La capacidad de modificar las características de flujo del horno variando la condición de flujo de cada corriente de oxidante es especialmente ventajosa para crear una forma de llama deseada, alcanzando un rendimiento térmico optimizado y una distribución de temperatura deseada en el horno. Además, ayuda a diseñar una llama para minimizar las emisiones de NOx y el arrastre de partículas y para lograr la mayor eficiencia de uso de energía de combustible en un horno de vidrio.

50 50 Cuando un horno de combustión con oxicombustible con un regenerador termoquímico se dispuso en la configuración de puerto final, se descubrió que el patrón general de flujo en el horno era diferente del de un horno regenerativo de aire. Cuando se aplicó el diseño de llama de aire convencional al diseño de llama de TCR, parte del combustible reformado de baja velocidad que salía del puerto de combustión se cortocircuitó al puerto de escape y se creó un patrón de calentamiento no deseable en el horno. Los presentes inventores descubrieron que los parámetros clave del flujo que evitan un cortocircuito de flujo de combustible o de oxígeno al puerto de escape es hacer que el impulso total de los flujos de oxígeno y de combustible inyectados hacia el horno sea al menos 100 %, preferiblemente 150 % del impulso del flujo de los gases de combustión que salen del puerto de escape. Además, si el flujo de combustible de oxígeno tiene menos del 30 % del impulso de los gases de combustión que salen del puerto, el flujo más débil debe arrastrarse rápidamente a la corriente más fuerte cerca del puerto de inyección y proyectarse hacia la pared delantera.

55 60 La presente invención también puede practicarse en realizaciones en las que el segundo oxidante puede no proporcionar el equilibrio del oxígeno requerido para quemar completamente el combustible que entra en el horno. Puede ser ventajoso proporcionar la cantidad de oxígeno requerida para quemar completamente el combustible (después de que la corriente mezclada que incluye el gas motor haya propulsado el combustible hacia el horno) a partir de dos o más corrientes de oxidante que tengan lugares de inyección significativamente distintos. Por ejemplo,

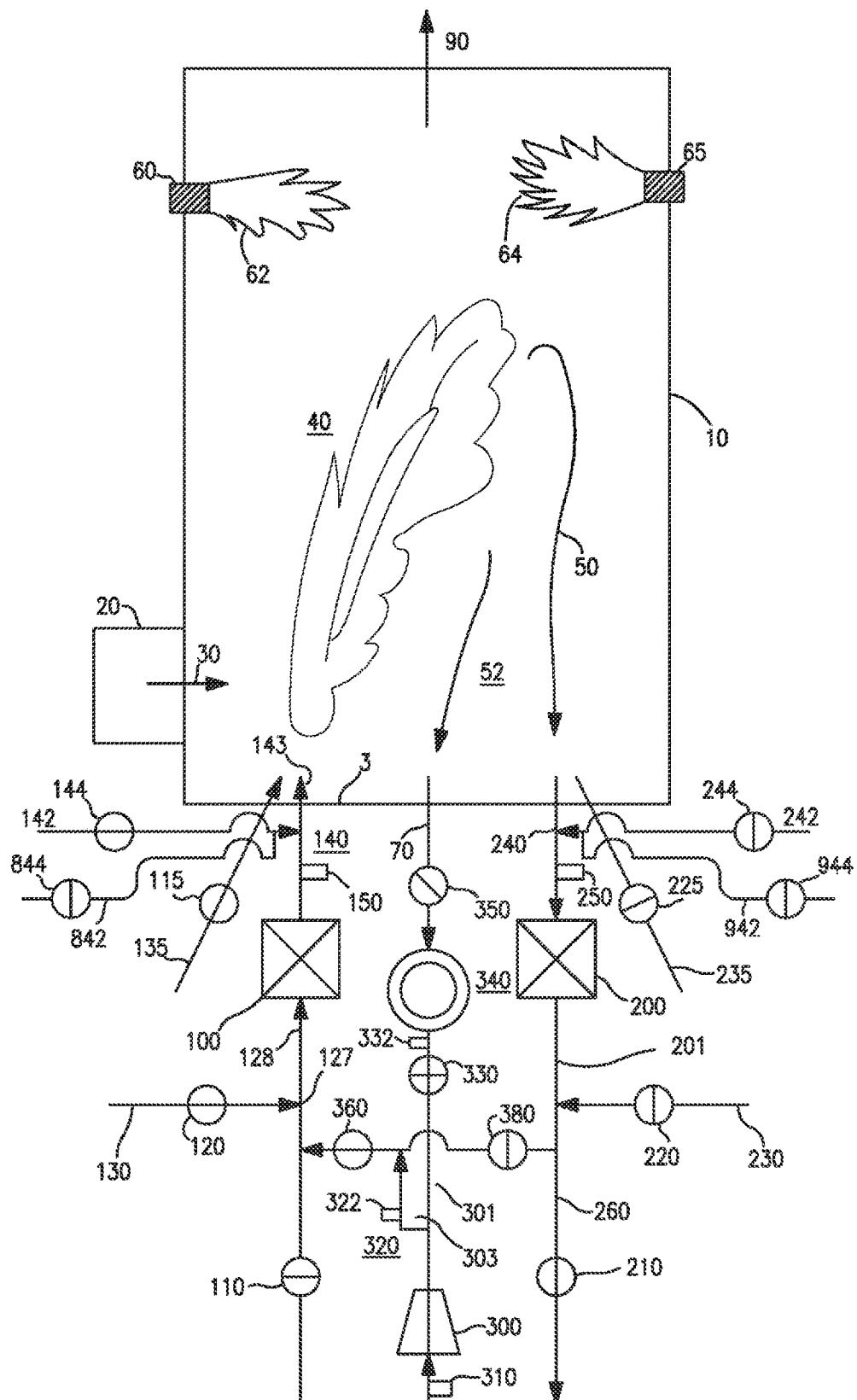
- 5 se inyecta una segunda corriente de oxidante en estrecha proximidad a la ubicación donde la corriente de combustible mezclado entra en el horno, mientras que una tercera corriente de oxidante se introduce después de que la segunda corriente de oxidante se ha consumido prácticamente en la llama. Un lugar típico para esta tercera corriente de oxidante está más cerca de la abertura donde los gases de combustión salen del horno. La ventaja de esta disposición de corrientes de oxidante es la reducción de la formación de NOx por el proceso de combustión. Este método de escalonamiento del proceso de combustión para reducir emisiones de NOx es bien conocido, pero la combinación con el proceso de combustión para una corriente de combustible de impulso muy bajo es nueva.

REIVINDICACIONES

1. Un método para llevar a cabo la combustión en un horno (10), que comprende
- 5 (A) quemar combustible en un horno para producir productos de combustión gaseosos; y
(B) llevar a cabo la siguiente secuencia de etapas (1) a (4):
- 10 (1)
- 15 (i) pasar una parte de los productos gaseosos de combustión hacia y a través de un primer regenerador enfriado para calentar el primer regenerador y enfriar dicha parte de los productos gaseosos de combustión,
(ii) pasar al menos parte de dicha parte enfriada de productos gaseosos de combustión de dicho primer regenerador, y el combustible gaseoso, hacia un segundo regenerador calentado y, en el segundo regenerador, hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión y el combustible gaseoso en una reacción endotérmica en el segundo regenerador para formar gas de síntesis que comprende hidrógeno y CO,
(iii) pasar dicho gas de síntesis formado en el segundo regenerador a una velocidad inferior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) hacia un primer conducto que tiene una salida que está conectada al interior del horno,
(iv) inyectar al menos una corriente de gas motor que tiene una velocidad de al menos 30,48 m/s (100 pies por segundo) desde una primera boquilla del primer conducto en el gas de síntesis del primer conducto aguas arriba desde el interior del horno, arrastrando de esta manera el gas de síntesis hacia la corriente de gas motor del primer conducto y formando en el primer conducto una corriente mezclada que comprende una mezcla de gas de síntesis y el gas motor y que tiene una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo), y
(v) pasar dicha corriente mezclada a una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) desde dicho primer conducto hacia dicho horno y quemar la corriente mezclada con una o más corrientes de oxidante inyectada en dicho horno; y a continuación
- 20 (2)
- 25 (i) interrumpir el paso de combustible gaseoso al segundo regenerador, continuar haciendo pasar productos gaseosos de combustión enfriados hacia y a través de dicho segundo regenerador, eliminando de esta manera el combustible y el gas de síntesis del segundo regenerador y reduciendo la concentración de combustible y gas de síntesis en el segundo regenerador, alimentando el combustible y el oxidante gaseoso saliendo por la primera boquilla del primer conducto y quemándolos para generar calor de combustión que calienta el interior del horno y, después de eso, interrumpir la inyección de dicho oxidante gaseoso desde dicha primera boquilla en el primer conducto, de modo que solo salga combustible por la primera boquilla, y quemar dicho combustible con dichas una o más corrientes oxidantes inyectadas en dicho horno; y después de eso
(ii) interrumpir el flujo de combustible que sale de la primera boquilla hacia el primer conducto, e interrumpir la combustión del combustible que sale de dicha primera boquilla, e interrumpir el paso de los productos gaseosos de combustión desde el horno a través del primer regenerador; y a continuación
- 30 (3)
- 35 (i) pasar una parte de los productos gaseosos de combustión hacia y a través de un segundo regenerador enfriado para calentar el segundo regenerador y enfriar dicha parte de los productos gaseosos de combustión,
(ii) pasar al menos parte de dicha parte enfriada de productos gaseosos de combustión de dicho segundo regenerador, y el combustible gaseoso, hacia un primer segundo regenerador y, en el primer regenerador, hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión y el combustible gaseoso en una reacción endotérmica en el primer regenerador para formar gas de síntesis que comprende hidrógeno y CO,
(iii) pasar dicho gas de síntesis formado en el primer regenerador a una velocidad inferior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) hacia un segundo conducto que tiene una salida que está conectada al interior del horno,
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

- (iv) inyectar al menos una corriente de gas motor que tiene una velocidad de al menos 30,48 m/s (100 pies por segundo) desde una segunda boquilla del segundo conducto hacia el gas de síntesis del segundo conducto aguas arriba desde el interior del horno, arrastrando de esta manera el gas de síntesis hacia la corriente de gas motor del segundo conducto y formando en el segundo conducto una corriente mezclada que comprende una mezcla de gas de síntesis y el gas motor y que tiene una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo), y
 (v) pasar dicha corriente mezclada a una velocidad superior a 15,24 m/s (50 pies por segundo) desde dicho segundo conducto hacia dicho horno y quemar la corriente mezclada con una o más corrientes de oxidante inyectado en dicho horno; y a continuación
- (4)
- 15 (i) interrumpir el paso de combustible gaseoso al primer regenerador, continuar haciendo pasar productos gaseosos de combustión enfriados hacia y a través de dicho primer regenerador, eliminando de esta manera el combustible y el gas de síntesis del primer regenerador y reduciendo la concentración de combustible y gas de síntesis en el primer regenerador, alimentando el combustible y el oxidante gaseoso que sale por la segunda boquilla del segundo conducto y quemándolos para generar calor de combustión que calienta el interior del horno y, después de eso, interrumpir la inyección de dicho oxidante gaseoso desde dicha segunda boquilla en el segundo conducto, de modo que solo salga combustible por la segunda boquilla, y quemar dicho combustible con dichas una o más corrientes oxidantes inyectadas en dicho horno; y después de eso
 20 (ii) interrumpir el flujo de combustible que sale de la segunda boquilla hacia el segundo conducto, e interrumpir la combustión del combustible que sale de dicha segunda boquilla, e interrumpir el paso de los productos gaseosos de combustión desde el horno a través del segundo regenerador; y a continuación
- 25 (C) repetir la etapa (B) al menos una vez.
- 30 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde cada boquilla de chorro motor tiene un diámetro interno D y está ubicada a una distancia L aguas arriba de la pared interior del horno, y el valor de $(L/D) \times (N/R)$ es de 4 a 25, en donde N es el número de corrientes de gas motor inyectado en el gas de síntesis en el conducto y R es la relación del caudal másico total del gas de síntesis pasado hacia el conducto respecto al caudal másico total de la corriente, o de todas las corrientes, del gas motor inyectado en el conducto.
- 35 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde dicho gas motor comprende oxígeno o aire.
- 40 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde dicho gas motor tiene un contenido de oxígeno de al menos 75 % en volumen de oxígeno.
- 45 5. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde el contenido de oxígeno de la mezcla de gas motor y gas de síntesis es inferior al requisito estequiométrico para una combustión completa del gas de síntesis en la mezcla, y en donde se inyectan una o más corrientes secundarias de oxidante gaseoso que comprende oxígeno hacia el horno para que se queme con el resto del gas de síntesis de la mezcla.
- 50 6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5 en donde una o más corrientes secundarias de oxidante gaseoso se inyectan desde debajo de la línea central de la salida, o desde debajo de la salida, desde el primer o segundo conducto hacia el horno.
- 55 7. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde dicho combustible y dicho gas de síntesis se queman en dicho horno con un oxidante que comprende al menos un 75 % en volumen de oxígeno.
8. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde el gas de síntesis que pasa hacia dicho primer conducto y el gas de síntesis que pasa hacia dicho segundo conducto pasan a una velocidad inferior a 15,24 m/s (50 pies por segundo).
- 60 9. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde dicha al menos una corriente de gas motor inyectada en el gas de síntesis en el primer conducto tiene una velocidad de al menos 121,92 m/s (400 pies por segundo) y dicha al menos una corriente de gas motor inyectada en el gas de síntesis en el segundo conducto tiene una velocidad de al menos 121,92 m/s (400 pies por segundo).

10. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde el caudal másico del gas motor inyectado en el gas de síntesis en el primer conducto y en el gas de síntesis en el segundo conducto es inferior al 30 %, opcionalmente inferior al 15 %, del caudal másico del gas de síntesis en el que se inyecta el gas motor.
- 5 11. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde el gas motor inyectado en el primer conducto y en el segundo conducto comprende oxígeno y el caudal másico del gas motor inyectado en el gas de síntesis en cada conducto proporciona entre el 5 % y el 35 % del caudal másico estequiométrico de oxígeno requerido para la combustión completa del gas de síntesis en el que se inyecta el gas motor.
- 10 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde dicha corriente mezclada que pasa desde dicho primer conducto hacia dicho horno y dicha corriente mezclada que pasa desde dicho segundo conducto hacia dicho horno pasan a una velocidad superior a 30,48 m/s (100 pies por segundo).
- 15 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde al menos el 70 % en volumen del gas de síntesis es arrastrado hacia la corriente de gas motor en dichos conductos primero y segundo para formar de esta manera en dichos conductos dicha al menos una corriente mezclada.
- 20 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde la densidad del gas de síntesis que es arrastrado hacia el gas motor es inferior a la densidad de los productos gaseosos formados por dicha combustión de la corriente mezclada.
- 25 15. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde el horno contiene una carga que se calienta mediante la combustión del gas combustible en el horno, en donde dicha combustión crea una atmósfera oxidante sobre la carga en dicho horno.
16. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde dicha combustión de la corriente mezclada con una o más corrientes oxidantes inyectadas en dicho horno forma una llama que no toca visiblemente las paredes interiores ni el techo del horno.

**Figura 1**

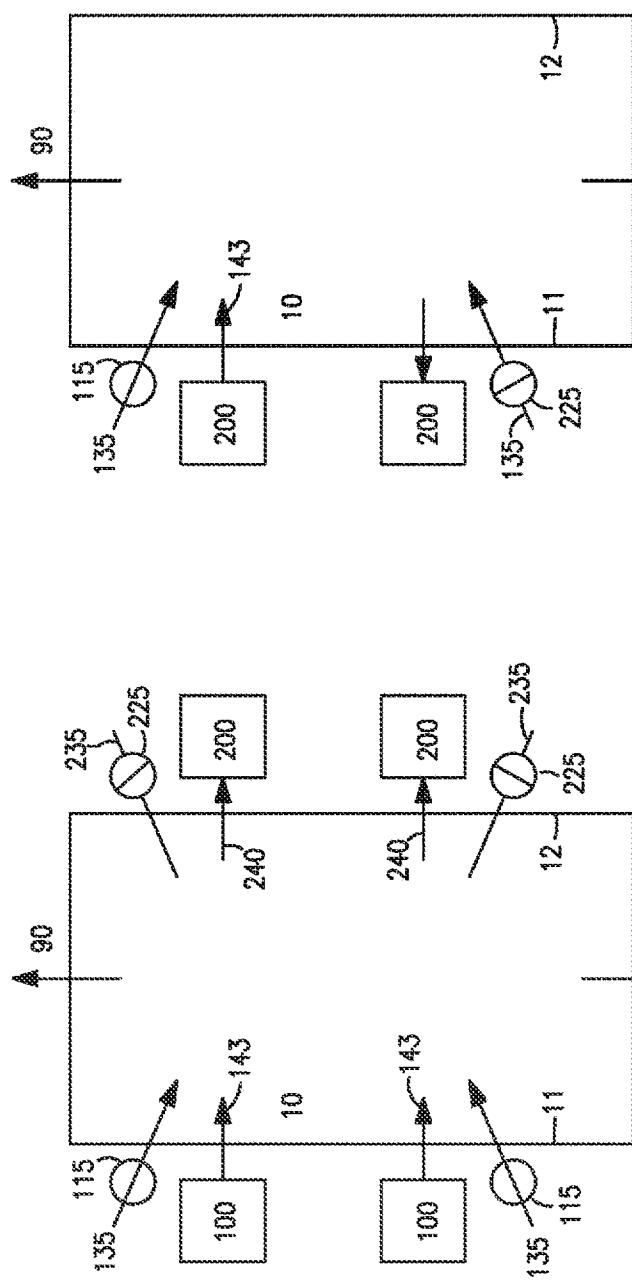


Figura 1b

Figura 1a

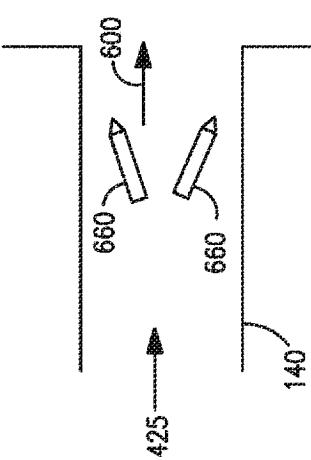


Figura 4a

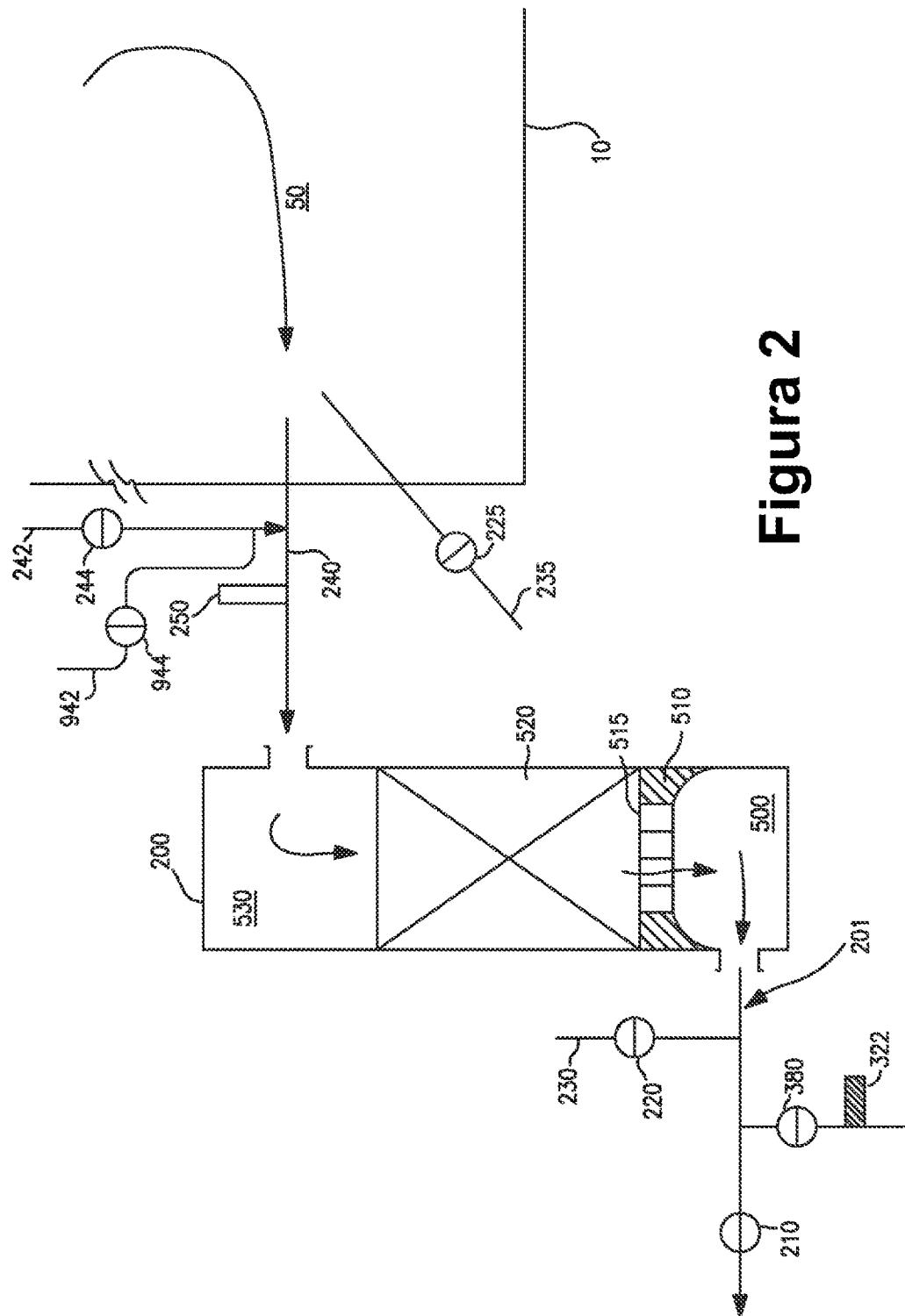
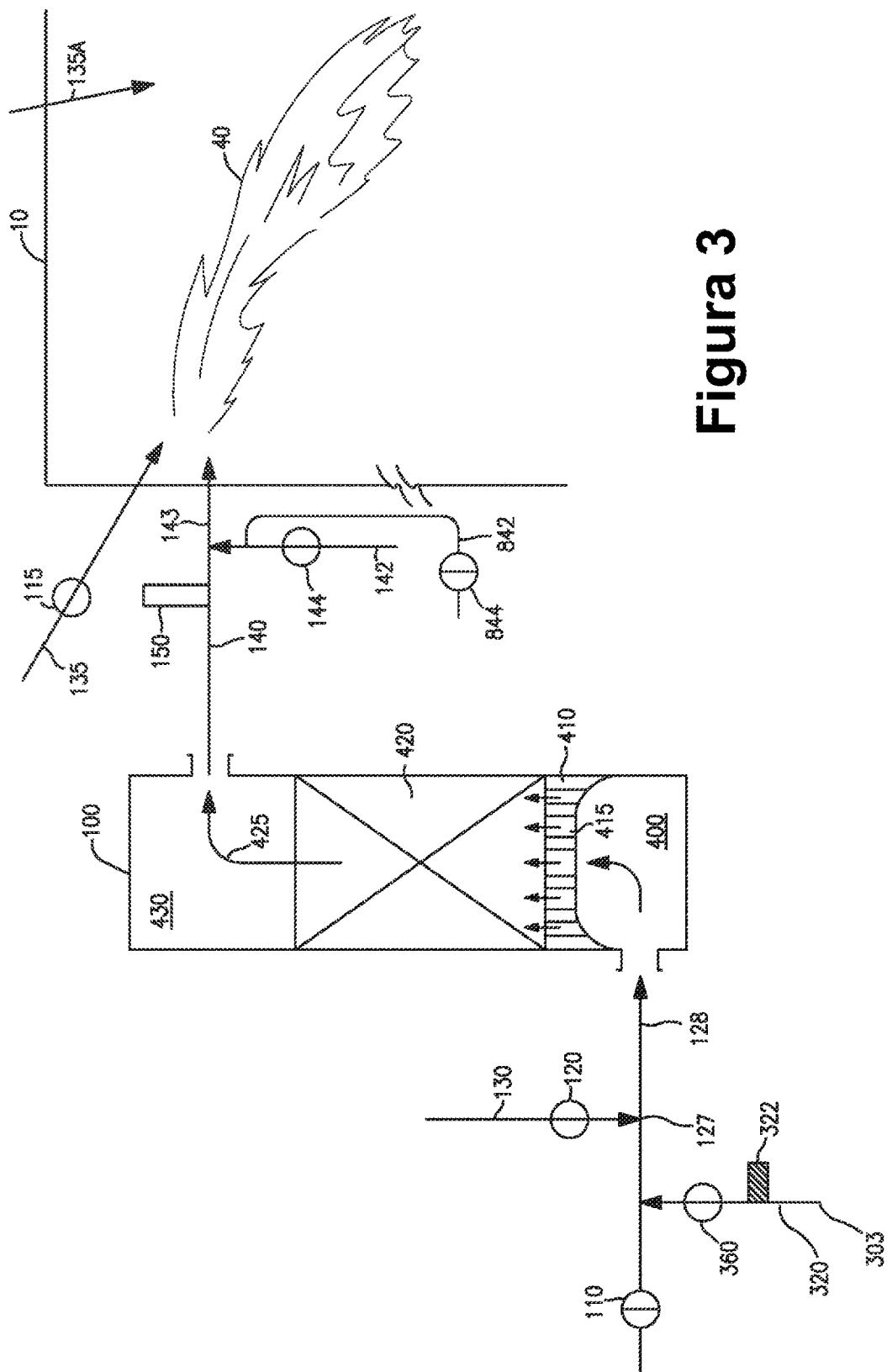


Figura 3

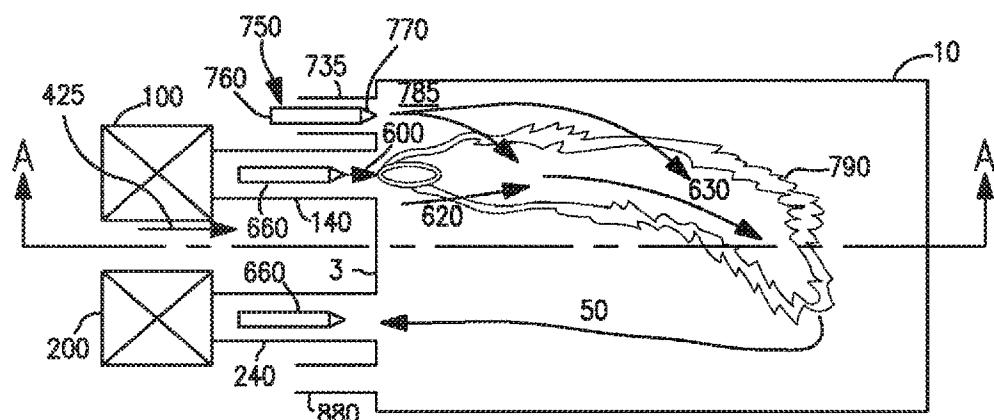


Figura 4

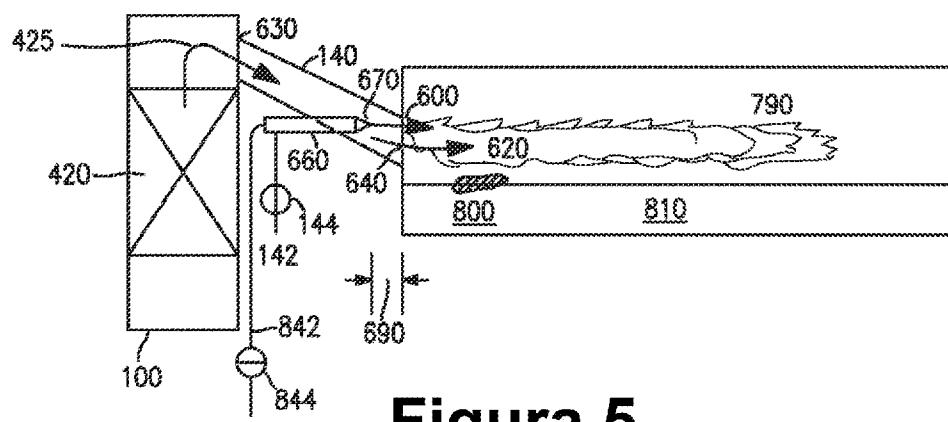


Figura 5

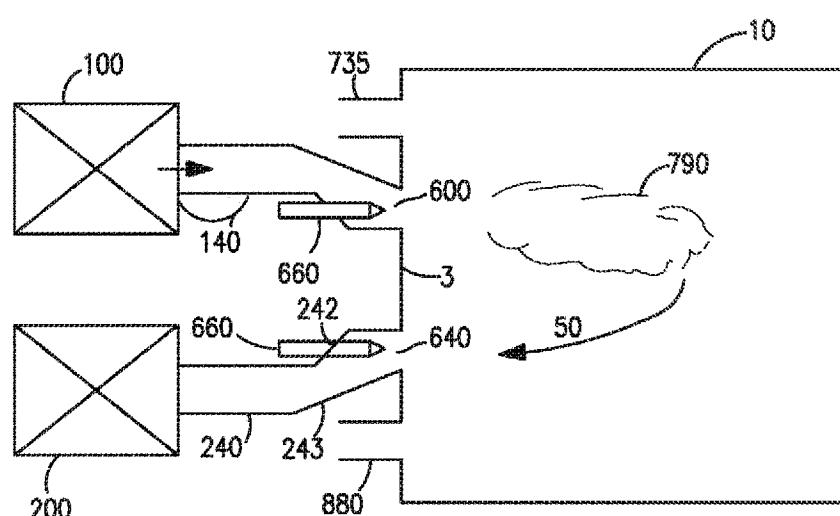


Figura 5a

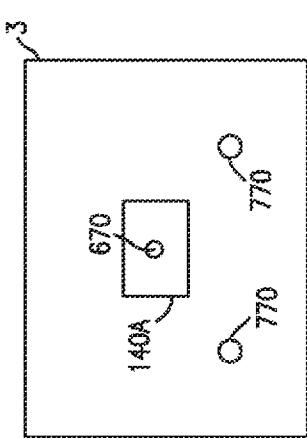


Figura 6

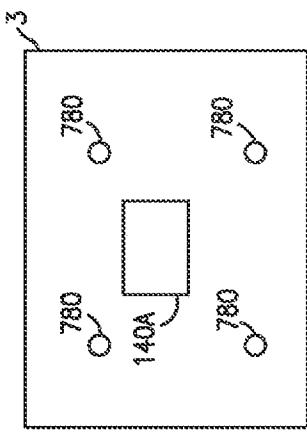


Figura 7a

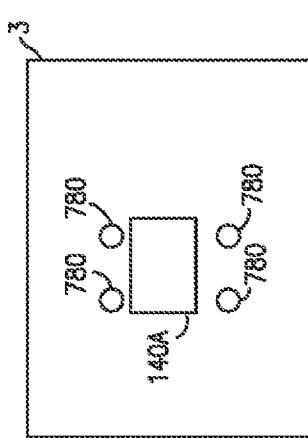


Figura 7b

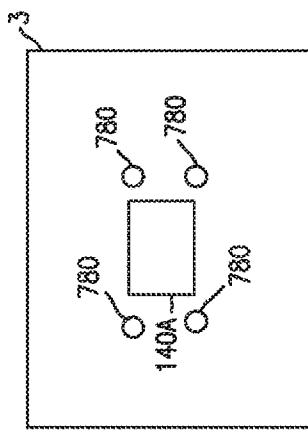


Figura 7c

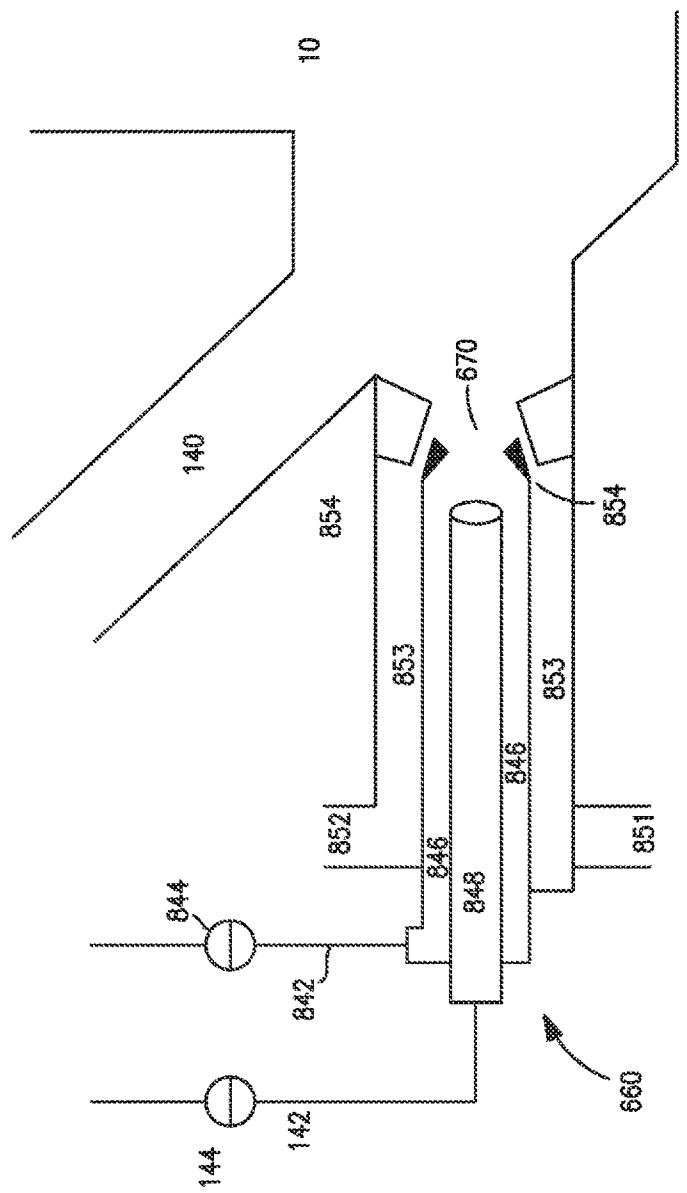


Figura 8