

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 729**

51 Int. Cl.:

F23D 14/22 (2006.01)
F23L 7/00 (2006.01)
C03B 5/235 (2006.01)
C03B 5/237 (2006.01)
F23L 15/02 (2006.01)
F23M 5/02 (2006.01)
F23D 14/66 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.04.2016 PCT/US2016/027500**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **20.10.2016 WO16168443**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.04.2016 E 16723560 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2019 EP 3283823**

54 Título: **Métodos de combustión para corriente de combustible de baja velocidad**

30 Prioridad:

16.04.2015 US 201562148338 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.04.2020

73 Titular/es:

PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)
10 Riverview Drive
Danbury, CT 06810, US

72 Inventor/es:

FRANCIS, ARTHUR W., JR.;
KOBAYASHI, HISASHI y
WU, KUANG-TSAI

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 755 729 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

Métodos de combustión para corriente de combustible de baja velocidad

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al método de combustión en el que los reactivos para la combustión se introducen a baja velocidad en hornos tales como hornos de fusión de vidrio, en donde el material se introduce en el horno y se calienta y/o funde mediante el calor de combustión que se produce dentro del horno.

10

Antecedentes de la invención

En US-4.217.088 se describe un aparato para quemar gases combustibles a baja presión. En la patente US-6.113.874 se describe una tecnología útil conocida como thermo-chemical regenerator (regenerador termoquímico - TCR) para utilizar el calor de los gases de escape que se producen en hornos tales como los de fusión de vidrio. En esta tecnología, los gases de escape pasan a través de un regenerador calentado por los gases de escape. Una parte de los gases de escape 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, al horno para su combustión. A intervalos adecuados, se invierten los regeneradores en los que se llevan a cabo las operaciones.

15

20

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

25

Breve resumen de la invención

Por tanto, un aspecto de la presente invención es un método como se define en la reivindicación 1. Otro aspecto de la invención es un método como se define en la reivindicación 9.

30

Las condiciones preferidas para llevar a cabo esta realización incluyen lo siguiente:

El impulso total de dicho gas motor es más de cinco veces el impulso de dicho gas combustible;

35

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

40

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 inyectado 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 este modo el gas combustible a 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 15,2 m/s, es decir, 50 pies por segundo;

45

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

50

Al menos dos corrientes de gas motor se inyectan a una velocidad de al menos 61 m/s, es decir, 200 pies por segundo en un ángulo divergente uno 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 combustible en el que se inyecta el gas motor;

55

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

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

60

Uno es un método de llevar a cabo la combustión en un horno como se define en la reivindicación 4. Otra de dichas realizaciones es un método de llevar a cabo la combustión en un horno como se define en la reivindicación 6.

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

5 El impulso combinado F+M+O es superior al 300 % del impulso X; El dicho impulso M es mayor que el impulso X;

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

10 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 30,5 m/s, es decir, 100 pies/s;

15 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;

20 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 al horno para que se quemé con el resto del gas combustible o del gas de síntesis en la mezcla.

25 **Breve descripción de los dibujos**

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

30 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.

35 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.

40 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.

45 **Descripción detallada de la invención**

La presente invención es aplicable de forma general para un proceso de combustión en el que el combustible entra en un horno con una velocidad baja (con lo que se quiere decir que el combustible o el combustible y el oxidante pueden entrar en un horno con velocidades bajas). La corriente de gas motor descrita en la presente descripción, 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 descripción con especial detalle con respecto a un tipo preferido de horno, en concreto uno que emplea un proceso de recuperación de calor que recapta calor utilizable procedente de corrientes de salida de gases de escape a alta temperatura. Este proceso de recuperación de calor se realiza en dos ciclos, que reciben el nombre en la presente descripción de ciclo de escape y ciclo de reformado. Estos dos ciclos se llevan a cabo de forma alternante 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 escape producidos por la combustión oxicombustible tienen concentraciones mayores de H₂O y CO₂, favoreciendo ambos las reacciones endotérmicas de reformado que se utilizan en el método de esta invención. Durante el ciclo de escape, los materiales refractarios presentes en un primer regenerador extraen y almacenan calor desde un gas de escape 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 escape enfriados que salen del primer regenerador, una parte (que se denomina en la presente gases de escape reciclados o RFG) se introduce en otro (segundo) regenerador y se mezcla con una corriente de combustible (denominada en la presente descripción 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 descripción, 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 descripción. El gas de síntesis sale del segundo regenerador al horno y se quema en el horno con oxidante para proporcionar energía térmica para calentar y/o fundir material en el horno.

Transcurrido un periodo 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 periodo 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 escape que salen del primer generador, es decir, en el ciclo de escape. El proceso de inversión se lleva a cabo según un mecanismo y un plan predeterminados, en donde las válvulas se secuencian para abrirse y cerrarse en función de tiempos específicos.

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 descripción 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 Fig. 1a, o se sitúan en ambos lados opuestos del horno (10) como se muestra en la Fig. 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.

Como se muestra en la Fig. 1, el horno (10) de vidrio 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 (conocido como carga y/o vidrio roto) se cargan en el horno para que se calienten y se fundan. El flujo de vidrio fundido fuera del horno (10) se representa como (90). El horno (10) está equipado con un primer regenerador (100) en el lado izquierdo del horno y el 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 Figs. 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 observa en Fig. 2, el regenerador (200) está en el ciclo de escape en donde la corriente (50) de gases de escape del interior del horno (10) entra en el cuello (240) del puerto y después fluye al espacio superior (530) del regenerador (200) pasado un analizador (250) de oxígeno. La corriente de gases de escape 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 Fig. 1, una parte (52) de los gases de escape producidos en el horno (10) puede derivarse a un conducto (70) a través de una válvula (350) parcialmente abierta, que posteriormente entra a la pila (340) para salir, 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 escape del horno vayan al regenerador (200) como corriente (50) de gases de escape.

Como se ve en las Figs. 1 y 2, la corriente (201) de gases de escape enfriados sale del regenerador (200) por el conducto (260), pasa a través de una válvula abierta (210) y un sensor (310) de oxígeno, y a continuación entra por el lado de aspiración del soplador (300). La mayor parte de los gases (301) de escape 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 pila (340) a través de la cual estos gases de escape abandonan el sistema para salir como se define en la presente descripción. Una parte (303) de los gases de escape se recicla a la parte inferior del regenerador

(100) pasando a través del conducto (320) y la válvula (360). Estos son los Recycled Flue Gas (Gases de escape 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 conducto (130) a través de la válvula (120).

5 Como se observa en Fig. 3, el reforming fuel (combustible de reformado - RF) de la corriente (130) interseca y se mezcla con el RFG (303) en el lugar (127) en conductos (128) que también se comunican 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 escape 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 continúa a medida que la mezcla de RFG/RF sigue desplazándose hacia el espacio superior (430). La corriente gaseosa (425) (denominada en la presente descripción 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, van de 1800 °F a 2500 °F.

La corriente (142) de gas motor, representada en la Fig. 3 y descrita más completamente a continuación, pasa a través de la válvula abierta (144) y se mezcla en la corriente (425). La corriente (143) mezclada resultante 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 conducto (135) con una válvula abierta (115). 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.

De forma típica, el proceso de recuperación de calor se produce con un regenerador en el ciclo de escape y un regenerador en el ciclo de reformado, como se observa en Fig. 1, durante aproximadamente 20 a 40 minutos o hasta que los materiales refractarios del regenerador de reformado estén demasiado fríos para proporcionar calor suficiente para favorecer las reacciones químicas endotérmicas deseadas. En ese punto, y continuando con la descripción de la presente descripción 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) pasa al ciclo de reformado para recuperación de calor y el regenerador (100) se lleva al ciclo de escape para la acumulación de calor. Antes de la inversión, el gas de síntesis restante en el regenerador (100) se purga al horno (10). En este caso, el combustible de reformación suministrado al regenerador se corta primero cerrando la válvula (120) al tiempo que se permite el flujo de RFG desde el soplador (300). 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.

En la inversión, los gases de escape procedentes del horno pasan a través del regenerador (100), y una parte de los mismos pasa a escape (como se define en la presente descripción) mientras que una parte o el resto se mezcla con combustible y la mezcla se hace pasar por el regenerador (200) y al 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 gases de escape calentados pasen del regenerador (100) hacia, y a través de, un soplador (300), y para permitir que una parte (303) de estos gases de escape 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 escape 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 descripción, 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.

Durante el proceso de recuperación de calor, el horno (10) pueden 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.

5 Para conseguir las características de llama deseables en el horno, es importante producir una llama larga que se proyecte desde el puerto de combustión hasta la pared opuesta con una buena cobertura de llama a lo largo de una gran superficie específica. Conseguir estas características deseables de llama en un horno de vidrio lleva a una fusión de vidrio eficiente y a un buen rendimiento de la eliminación de burbujas del vidrio.

10 Sin embargo, cuando los presentes inventores intentaron seguir el diseño de estado de la técnica del quemador del regenerador de aire para obtener una llama larga producida a partir del gas de síntesis formado con TCR, situando lanzas de inyector de oxígeno por debajo del puerto de gas de síntesis e inyectando oxígeno para conformar una forma de llama deseada en un horno de vidrio, descubrieron que los principios de diseño del estado de la técnica del regenerador eran ineficaces. Se utilizó un programa computacional fluid mechanics (computacional de mecánica de fluidos - CFD) para
 15 simular un horno de vidrio de recipiente típico y se analizaron la forma de la llama y las condiciones de transferencia de calor dado que se variaron el número, ubicación, velocidad de inyección y la dirección de los chorros de oxígeno. Aunque parte del gas de síntesis cercano a las boquillas de inyección de oxígeno se arrastró rápidamente en los chorros de oxígeno para formar llamas locales, parte del flujo del gas de síntesis siguió el flujo natural de circulación del flujo de convección de gas del horno existente dentro del horno, dirigiendo el gas combustible a la pared de contacto y a las superficies refractarias de la corona en alta concentración, antes de mezclarlo con el oxidante para la combustión. Esta
 20 condición es muy poco deseable y puede dar lugar a daño refractario, recalentamiento local, combustible sin quemar que sale a través del puerto de salida, y mala distribución del calor a los materiales del lote cargados en el horno.

Los presentes inventores han descubierto dos enfoques generales diferentes para evitar la condición de flujo de combustible no controlado (es decir, forma de llama no controlada) que reconocieron causada por la velocidad
 25 muy baja del gas de síntesis caliente que entra en el horno a través del puerto de TCR. El primer enfoque 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 enfoque consiste en situar un número suficiente de chorros de alta velocidad alrededor del puerto de gas de síntesis para arrastrar el gas de
 30 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, los presentes inventores han descubierto también un método para formar una llama de oxicomcombustible 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 situado en la pared de cocción. En las siguientes secciones estas invenciones se describen en
 35 detalle.

Volviendo a la aplicación de la corriente de gas motor en esta invención, puede utilizarse (especialmente con combustión de oxicomcombustible) para producir una llama bien contorneada con una baja temperatura de llama
 40 máxima baja en un horno u otra cámara de combustión procedente de una corriente de combustible de baja velocidad de menos de 50 pies/s y más preferiblemente menos de 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 pasos de suministro de gas (conductos) [alternativamente, (140) y (240)] conectados a un horno para formar una corriente
 45 mezclada de velocidad más alta en la dirección del puerto (143) de salida que se introduce en el horno. La velocidad de la corriente de gas motor debería ser de al menos 100 pies/s y es preferiblemente de al menos 200 pies/s, más preferiblemente al menos 400 pies/s. Las corrientes mezcladas cuando entran en el horno, tras la mezcla tienen velocidades de gas superiores a 50 pies/s y más preferiblemente superiores a 100 pies/s.

Esta invención es especialmente útil cuando la corriente de combustible 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 30 pies/s o incluso inferior a 15 pies/s.
 50 Con esta 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 descripción, 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
 55 emisiones elevadas de NOx. La velocidad de la corriente mezclada se define como la velocidad promedio de impulso 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 100 pies/s, y preferiblemente todas las corrientes tienen velocidades de gas de más de
 60 100 pies/s. El caudal másico total de todas las corrientes de gas motor es inferior al 60 %, preferiblemente inferior al 30 %, y con máxima preferencia inferior al 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
 65 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 los métodos del regenerador termoquímico descritos en la presente descripción. 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 4 % y 25 % (o incluso 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.

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 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 (horno) hacia ubicaciones 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 al 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 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/D , en donde la distancia de la cavidad L se define como la distancia entre el punto de inyección al conducto [en el extremo (670) de la boquilla] al conducto de salida 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 Fig. 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 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 descripción.

Puede introducirse una corriente de oxidante secundario (también denominada en la presente descripción “2° oxidante”) en el recinto de combustión desde uno o más puntos de inyección separados del conducto que lleva la corriente mezclada, para completar la combustión del combustible restante que se ha llevado al 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.

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 influidas 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 escape y mayor eficiencia de uso de energía en un horno de vidrio, 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, la invención permite establecer una atmósfera oxidante sobre la carga en el horno, que a menudo ayuda a mejorar las propiedades del producto que se está produciendo.

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 encastra 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 escape del horno al conducto.

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, en aplicaciones de horno de vidrio, la corriente de gas motor y la corriente de 2° oxidante en la práctica de esta 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 álcalis. Este método para controlar el campo de flujo general del horno se describe con mayor detalle más adelante.

Utilizando una corriente de gas motor con una alta velocidad y bajo caudal másico se minimiza la dilución 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 másico 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).

En un sistema regenerativo termoquímico de recuperación de calor residual para hornos de vidrio, tanto la salida de gases de escape 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 escape en la entrada del puerto se diseña, de forma típica, en el intervalo de 20 pies/s hasta 50 pies por segundo o incluso hasta 60 pies/s para impedir el arrastre de partículas de la 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 escape también está restringida por la potencia del soplador de escape 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 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 NO_x 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.

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 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 500 °F. Para el de gas de síntesis del TCR precalentado anteriormente por encima de 2000 °F no hay un modo práctico de comprimir la corriente.

La presente invención utiliza la presión de la corriente de gas motor 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 NO_x y de reducir las temperaturas máximas de la llama, debido a que el combustible de baja velocidad se convierte a una corriente mezclada de velocidad más alta y se quema mediante al menos dos oxidantes suministrados al recinto de combustión en una combustión por etapas, como se describe en US-6.394.790 y en US-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 ilustración se refiere a las Figuras 4, 4a, 5, 5a, 6-7 y 7a-7c y describe la práctica y el funcionamiento representativos de la presente invención en un horno de vidrio equipado con thermochemical heat regenerators (regeneradores de calor termoquímicos - TCR) para la recuperación de calor de los gases de escape del tipo descrito en la patente US-6.113.874.

5 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 descripción, 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 escape 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 de forma típica superior a 2000 °F o 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 0,01 o incluso inferior a 0,007 libras/pie³), pero su presión es muy baja, del orden de menos de 0,1 o incluso de 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 al horno para la combustión a través del plano (640) que es el plano de la superficie interior de la pared (3).

20 En la Fig. 5, 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 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 asfixió a una velocidad sónica de aproximadamente 980 pies/s. La lanza y el conjunto de boquilla se instalaron dentro del cuello (140) del puerto (conducto) con el extremo de descarga de la boquilla (670) hundida 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.

30 La corriente (142) de gas motor 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 este modo una corriente (600) de combustible mezclada en el cuello (140) de puerto (conducto). La corriente (600) mezclada pasa del conducto (140) interior 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.

40 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, las lanzas (660) se utilizan únicamente en el regenerador que está funcionando en el ciclo de reformado.

45 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 al 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 roto para la fabricación de vidrio) y líquido fundido (810). Los gases (50) de escape 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).

65 En la práctica preferida real, también se instalarían inyectores adicionales para gas de escape 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) de puerto (conducto) y el(los) bloque(s) refractario(s) (835) en el lado derecho del horno, aunque no se muestran en las Figuras 4 y 5. Estos dispositivos de inyección se utilizarían cuando el proceso de

TCR haya experimentado una inversión en la que el gas de síntesis se produce en el regenerador (200) y los gases de escape del horno se llevan al regenerador (100) para precalentar el paquete (420) de material refractario.

5 Otra ventaja adicional de la presente invención es que el uso de los gases motores permite una distribución adecuada de reactivos 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.

10 En la Fig. 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 7,5 pies más alta que 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, Fig. 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, Fig. 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.

25 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 4a ilustra dicha disposición de recuperación de calor del TCR vista desde arriba, donde los cuellos (140, 240) de puerto están inclinados en direcciones horizontales y la lanza (660) motora está instalada en el cuello (140) de 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:

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

40 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 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 1 atm, la velocidad sónica para O₂ (entrada 70F) en una salida de boquilla es de 980 pies/s; para 70F aire, la velocidad sónica en una salida de boquilla es de 1030 pies/s)

45 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.

50 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 al 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 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 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 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) x (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) x (N/R). Es decir, L puede proporcionarse situando cada una de las boquillas (670) dentro del conducto, D puede darse proporcionando 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 descripción, y el valor de R puede proporcionarse aplicando los caudales máxicos 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 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 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 Fig. 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 determinado con respecto al caudal máxico total de gas de síntesis que pasa a través del conducto y el caudal máxico total de gas motor alimentado a través de todo el N de boquillas. Las dimensiones adecuadas L y D y los caudales máxicos 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 10 a 80 pulgadas; de $D,^{1/4}$ de pulgada a 1 pulgada; de caudal máxico de gas de síntesis, 1000 a 4000 libras por hora (lb/h); y con el caudal máxico de gas motor seleccionado como se describe en la presente descripción con referencia a valores que incluyen las relaciones de caudal máxico, contenidos de oxígeno y velocidades descritas en la presente descripción. 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 escape 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 roto 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 oxicomcombustible 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 oxicomcombustible 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 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 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 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 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).

La presente invención también puede practicarse en realizaciones alternativas en las que el gas motor no se utiliza en la corriente de combustible antes de que la corriente de combustible (gas de síntesis) entre en el horno. En estas realizaciones, las corrientes de oxidante de alta velocidad se inyectan en el horno en estrecha proximidad a la abertura de puerto donde la corriente de combustible entra en el horno. Cada corriente oxidante atrapa el gas del horno circundante y una parte de la corriente de combustible de baja velocidad. El gas de horno atraído actúa como un diluyente para reducir la temperatura de llama local, hace que la longitud de llama sea mayor y también ayuda a reducir la formación de NOx. En estas realizaciones, las corrientes de oxidante se inyectan a través de aberturas que están separadas alrededor de la abertura del puerto de combustible y se inyectan a una velocidad mayor que 100 pies/s, preferiblemente mayor que 150 pies/s, y más preferiblemente mayor que 200 pies/s para que arrastre la mayor parte de la corriente de combustible de velocidad baja a las corrientes de oxidante para la combustión, y evitan la formación de una llama no controlada que se eleve hacia la corona o un corto circuito en el puerto de escape de gases de escape. En una disposición preferida, se sitúan dos a ocho inyectores de oxígeno alrededor de cada puerto a través del cual se inyecta combustible (gas de síntesis) en el horno. Se muestran ejemplos que

utilizan cuatro corrientes de oxígeno en la Figura 7a, 7b y 7c, que son vistas a una parte de pared (3) desde del interior del horno. Como se ve en estas figuras, hay situadas cuatro boquillas (780) de oxidante alrededor de la abertura (140A) del conducto y se emiten cuatro corrientes en chorro de oxidante separadas. Cuando las boquillas de oxidante están separadas ampliamente de la abertura del conducto, como se observa en la Figura 7, la corriente de oxidante procedente de cada boquilla de oxidante arrastra más gas del horno circundante y diluye la concentración del chorro de oxidante antes de que arrastre la corriente de combustible de baja velocidad que sale de la salida (140A) del conducto. La llama resultante tiene una temperatura de llama más baja. Cuando las boquillas de oxidante están situadas cerca de la abertura del conducto, como se ve en las Figuras 7b y 7c, la corriente de oxidante que sale de cada boquilla de oxidante arrastra menos gas de horno circundante antes de que arrastre la corriente de combustible de baja velocidad que sale de la salida (140A) del conducto. La llama resultante tiene una temperatura de llama más alta. Por tanto, la forma y dirección general de la llama así como la temperatura de la llama pueden controlarse mediante el número total de boquillas de oxidante, la ubicación y el ángulo de cada boquilla, y el caudal de oxidante de cada boquilla y la velocidad del chorro. Preferiblemente, el eje de cada boquilla de inyección de oxidante se sitúa en la pared final separado entre 3 pulgadas y 30 pulgadas del perímetro interno del puerto de combustible conectado a la superficie interior de la pared de combustión. Más preferiblemente, el eje de cada boquilla de inyección de oxidante se sitúa en la pared de combustión separado entre 5 pulgadas y 20 pulgadas del perímetro interior del puerto de combustible conectado a la superficie interior de la pared de combustión.

Los presentes inventores han descubierto que puede obtenerse un buen patrón de forma de llama y distribución de calor en un horno de puerto final con combustión de oxicomcombustible con TCR como se describe en la presente descripción, con puertos de combustible desde los que el combustible se inyecta al horno, con gas motor inyectado como se describe en la presente descripción, y con el conducto (70) o similar como puerto de escape a través del cual salen los productos gaseosos de combustión ("gases de escape") del horno a la salida, cuando se cumplen las siguientes condiciones de flujo.

- (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 al horno es al menos 100 %, preferiblemente superior a 150 %, o incluso superior a 300 %, del impulso "X" del flujo de gases de escape que sale del puerto de escape.
- (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.
- (3) Los puertos (véanse las figuras 7a, 7b y 7C) están situados en la pared final con una distancia de separación suficiente entre estos y lejos de la pared lateral más próxima, o los puertos están situados cerca de las paredes laterales y los chorros de oxígeno y gas motor y forman un ángulo alejado de la pared lateral más próxima para impedir que la zona rica en combustible toque la pared lateral.

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 escape) 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 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 120.000 a 1.500.000 libras/hora por pies por segundo (lb/h*pies/s) para el impulso del oxidante (en la presente descripción "O"); del orden de 90.000 a 1.100.000 (lb/h*pies/s) para el impulso del gas motor (denominado en la presente descripción "M"); del orden de 10.000 a 120.000 (lb/h*pies/s) para el impulso del gas combustible (denominado en la presente descripción "F"); y del orden de 60.000 a 700.000 (lb/h*pies/s) para el impulso de productos gaseosos de combustión (denominados en la presente descripción "X").

Si los chorros de oxígeno están situados 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 situación de los chorros de oxígeno.

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, logrando 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.

Cuando un horno de combustión con oxicomcombustible 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 al horno sea al menos 100 %, preferiblemente 150 % del impulso del flujo de los gases de escape que salen del puerto de escape. Además, si el flujo de combustible de oxígeno tiene menos del 30 % del impulso de los gases de escape 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.

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 al horno) a partir de dos o más corrientes de oxidante que tengan lugares de inyección significativamente distintos. Por ejemplo, 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 escape 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, que comprende
 - (i) pasar gas combustible a una velocidad inferior a 15,2 m/s (50 pies por segundo) a un conducto que tiene una salida que está conectada al interior del horno,
 - (ii) inyectar al menos una corriente de gas motor que tenga una velocidad de al menos 30,5 m/s (100 pies por segundo) en el gas combustible en el conducto en donde el caudal másico del gas motor inyectado en el gas combustible es inferior a 60 % del caudal másico del gas combustible en el que se inyecta el gas motor,
 - (iii) formar en el conducto al menos una corriente mezclada que comprende una mezcla del gas combustible y del gas motor y que tiene una velocidad media de impulso superior a 15,2 m/s (50 pies por segundo) en la dirección de dicha salida,
 - (iv) pasar dicha corriente mezclada de dicho conducto a dicho horno, y
 - (v) quemar la corriente mezclada con una o más corrientes de oxidante inyectadas en dicho horno.

2. Un método según la reivindicación 1 en donde el gas motor se inyecta en el gas combustible a partir de una boquilla que tiene un diámetro interno D en el conducto a una distancia L aguas arriba desde la pared interior 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 inyectadas en el gas combustible en el conducto y R es la relación de 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 en el conducto, arrastrando de este modo el gas combustible a 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 del gas motor y que tiene una velocidad superior a 15,2 m/s (50 pies por segundo).

3. Un método según la reivindicación 1 en donde al menos dos corrientes de gas motor se inyectan a una velocidad de al menos 61,0 m/s, (200 pies por segundo) en un ángulo divergente relativo entre sí en la dirección horizontal al gas combustible en el conducto hacia la dicha salida, y el caudal másico de cada corriente del gas motor inyectado en el gas combustible es inferior a 10 % del caudal másico del gas combustible en el que se inyecta el gas motor.

4. 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 inyectarse el oxidante al horno, y un puerto de escape que está conectado al horno y a través del cual los productos de combustión gaseosos pueden salir del horno, que comprende
 - (i) hacer fluir el gas de síntesis calentado al horno a través del puerto de combustión al impulso F a una velocidad inferior a 15,2 m/s (50 pies por segundo),
 - (ii) inyectar al menos una corriente de gas motor a un impulso M con una velocidad de al menos 30,5 m/s (100 pies por segundo), dentro del puerto de combustión para arrastrar dicho gas de síntesis a la corriente de gas motor y proyectar la corriente combinada resultante al horno,
 - (iii) inyectar una o más corrientes de oxidante al impulso total O a través de dicho uno o más puertos de oxidante al horno en donde el eje de cada corriente de oxidante se sitúa entre 7,6 cm (3 pulgadas) a 76 cm (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
 - (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.

5. Un método según la reivindicación 4 en donde 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 la dirección horizontal para formar una llama visible de ancho horizontal.

6. 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 inyectarse el oxidante al horno, y un puerto de escape que está conectado al horno y a través del cual los productos de combustión gaseosos pueden salir del horno, que comprende
 - (i) hacer fluir el gas de síntesis calentado al horno a través del puerto de combustión al impulso F a una velocidad inferior a 15,2 m/s (50 pies por segundo),
 - (ii) inyectar al menos una corriente de gas motor al impulso M que tiene una velocidad de al menos 30,5 m/s (100 pies por segundo) y una o más corrientes de oxidante al horno a un impulso total de oxidante O desde puntos en una pared fuera del puerto de combustión en

- donde el eje de cada corriente de gas motor y oxidante se sitúa entre 7,6 cm (3 pulgadas) a 76 cm (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 al horno sin tocar las paredes ni la corona del horno, y
- 5 (iii) productos gaseosos de combustión de escape 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.
7. Un método según la reivindicación 6 en donde 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 la dirección horizontal para formar una llama visible de ancho horizontal.
- 10 8. Un método según la reivindicación 1 en donde la al menos una corriente mezclada se forma arrastrando al menos 50 % en volumen del gas combustible a la corriente de gas motor
- 15 9. Un método para llevar a cabo la combustión en un horno, que comprende
- (i) pasar gas combustible que es gas de síntesis procedente de un regenerador termoquímico a una velocidad inferior a 50 pies por segundo (15,2 m/s) a un conducto que tiene una salida que está conectada al interior del horno,
- 20 (ii) inyectar al menos una corriente de gas motor que tenga una velocidad de al menos 100 pies por segundo (30,5 m/s) desde una boquilla en el conducto que tiene un diámetro interno D al gas de síntesis en el conducto a una distancia L corriente arriba desde la pared interior del horno en donde el caudal másico del gas motor inyectado en el gas combustible es menor que 60 % del caudal másico del gas combustible en el que se inyecta el gas motor,
- 25 (iii) 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 inyectado en el gas de síntesis en el conducto y R es la relación del caudal másico total del gas de síntesis pasado al conducto respecto al caudal másico total de la corriente, o de todas las corrientes, del gas motor inyectado en el conducto, arrastrando de este modo el gas de síntesis a la corriente de gas motor en el conducto y formando en el conducto al menos una corriente mezclada que comprende una mezcla del gas de síntesis y del gas motor y que tiene una
- 30 velocidad superior a 50 pies por segundo (15,2 m/s),
- (iv) pasar dicha corriente mezclada a una velocidad superior a 50 pies por segundo (15,2 m/s) desde dicho conducto a dicho horno, y
- 35 (v) quemar la corriente mezclada con una o más corrientes de oxidante inyectadas en dicho horno.
10. Un método según la reivindicación 8 o la reivindicación 9 en donde 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 en la mezcla, en donde se inyectan una o más corrientes secundarias de oxidante gaseoso que comprende oxígeno al horno para que se queme con el resto del gas combustible en la mezcla, y en donde el gas motor comprende oxígeno.
- 40 11. Un método según la reivindicación 9, en donde el conducto es un primer conducto, comprendiendo además el método
- 45 (A) quemar combustible en un horno para producir productos de combustión gaseosos; y
- (B) de forma alternada
- (1)
- 50 (i) pasar una parte de los productos gaseosos de combustión a 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, a un segundo regenerador calentado y,
- 55 en el segundo regenerador, hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión y el combustible en una reacción endotérmica en el segundo regenerador para formar dicho gas de síntesis, que comprende hidrógeno y CO, y
- (2)
- 60 (i) pasar una parte de los productos gaseosos de combustión a 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, a un primer regenerador calentado y, en el
- 65 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,
- 5 (iii) pasar dicho gas de síntesis formado en el primer regenerador a una velocidad inferior a 15,2 m/s (50 pies por segundo) a un segundo 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 30,5 m/s (100 pies por segundo) desde una boquilla en el conducto que tiene un diámetro interno D al gas de síntesis en el segundo conducto a una distancia L corriente arriba desde la pared interior del horno en donde el caudal másico del gas motor inyectado en el
- 10 gas de síntesis es inferior a 60 % del caudal másico del gas de síntesis en el que se inyecta el gas motor,
- 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 inyectado en el gas de síntesis en el segundo conducto y R es la relación del caudal másico total del gas de síntesis pasado al
- 15 segundo conducto respecto al caudal másico total de la corriente, o de todas las corrientes, del gas motor inyectado en el segundo conducto, arrastrando de este modo el gas de síntesis a la corriente de gas motor en el segundo conducto y formando en el segundo conducto al menos una corriente mezclada que comprende una mezcla del gas de síntesis y del gas motor y que tiene una velocidad superior a 15,2 m/s (50 pies
- 20 por segundo), y
- (v) pasar dicha corriente mezclada a una velocidad superior a 15,2 m/s (50 pies por segundo) desde dicho segundo conducto a dicho horno y quemando la corriente mezclada con una o más corrientes de oxidante inyectado en dicho horno.
- 25 12. Un método según la reivindicación 11 en donde dicho gas motor tiene un contenido de oxígeno de al menos 75 % en volumen de oxígeno.
- 30 13. Un método según la reivindicación 11 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 al horno para que se queme con el resto del gas de síntesis en la mezcla.

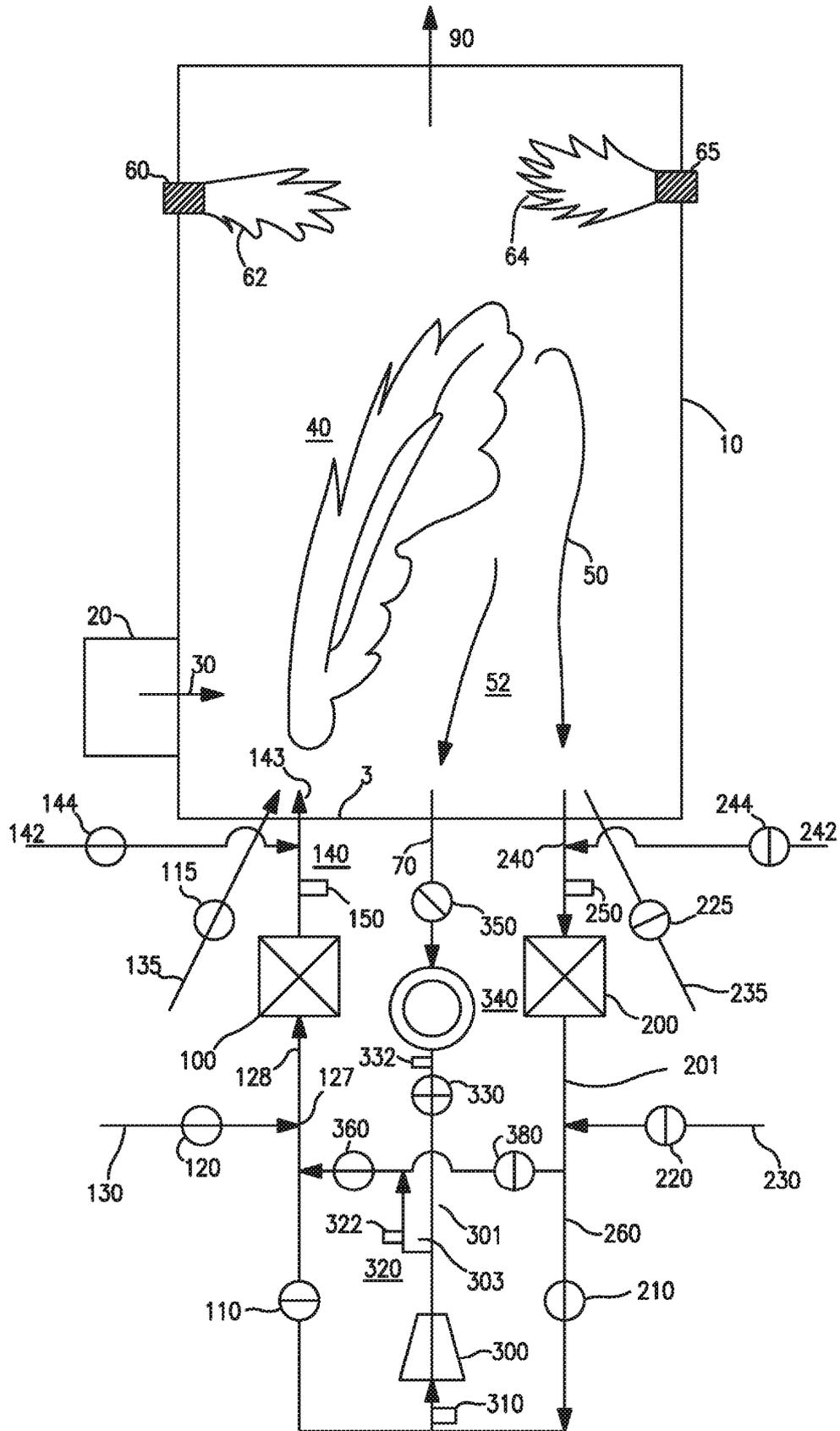


FIG. 1

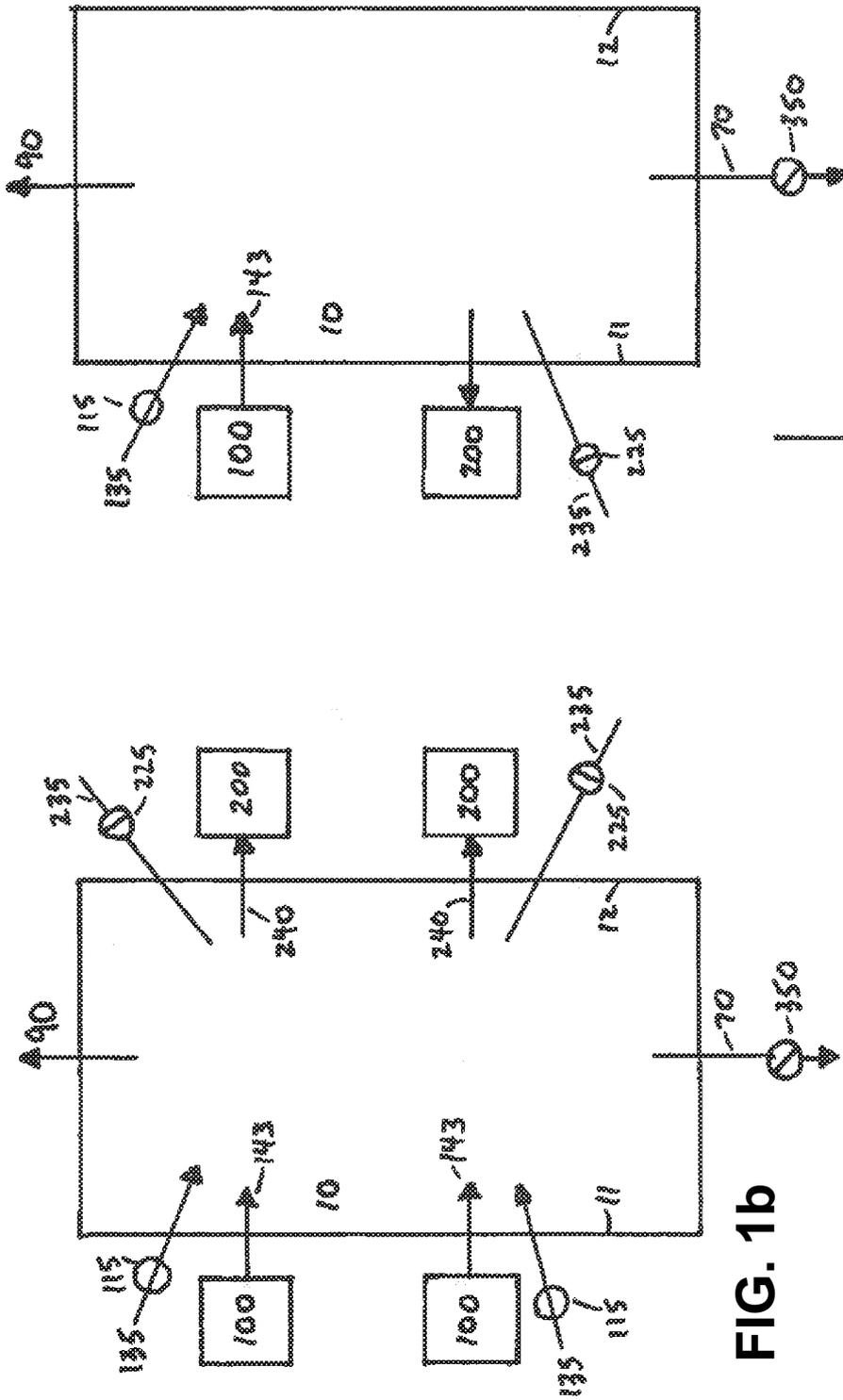


FIG. 1a

FIG. 1b

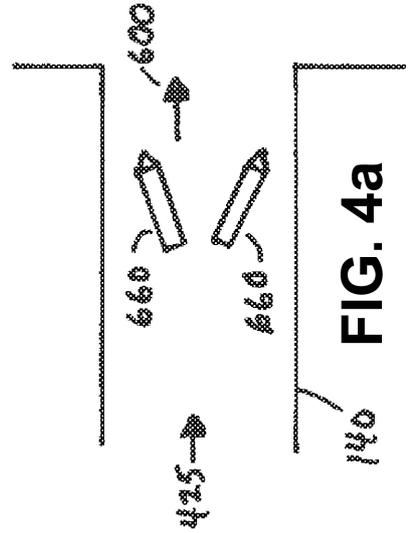


FIG. 4a

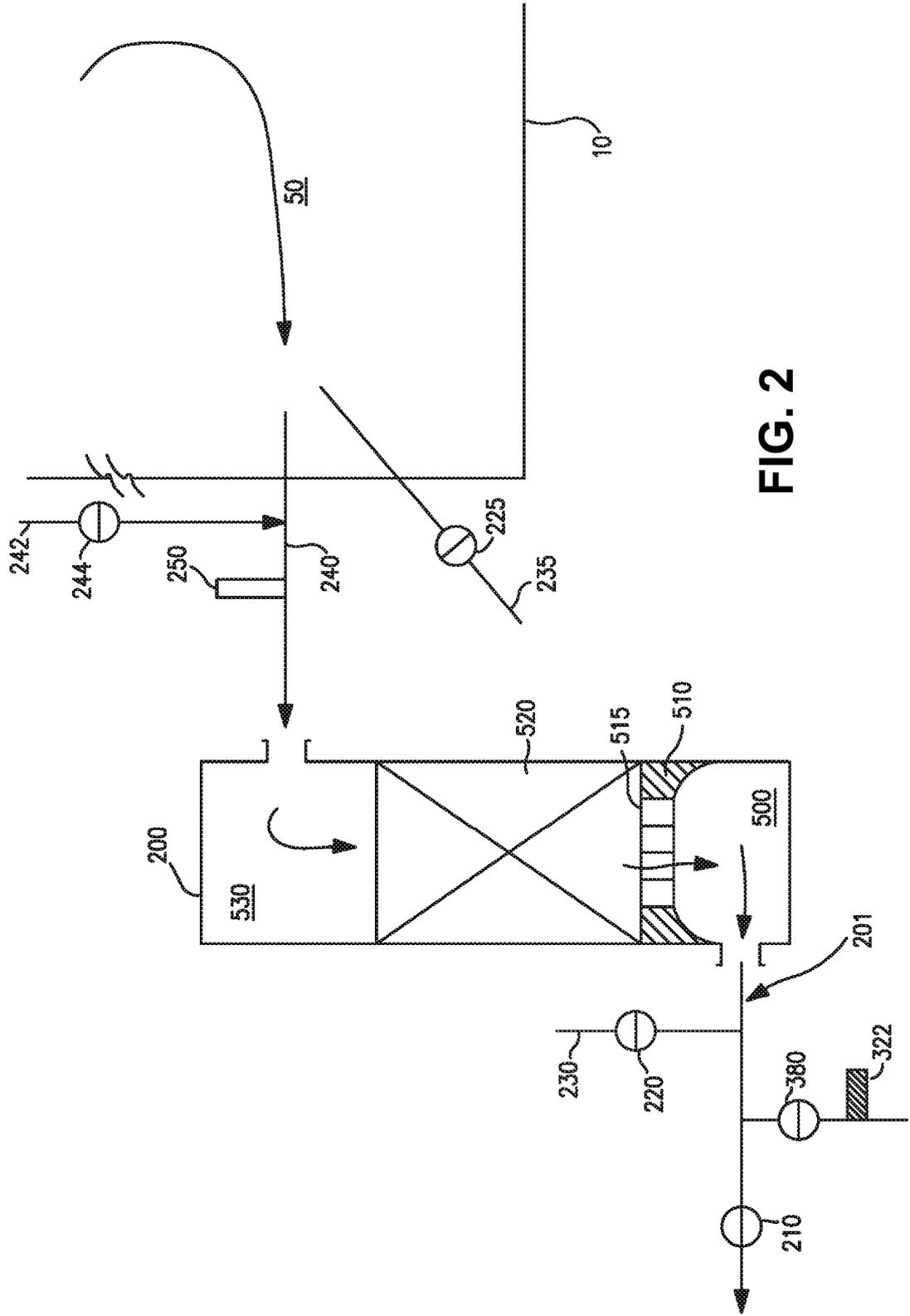


FIG. 2

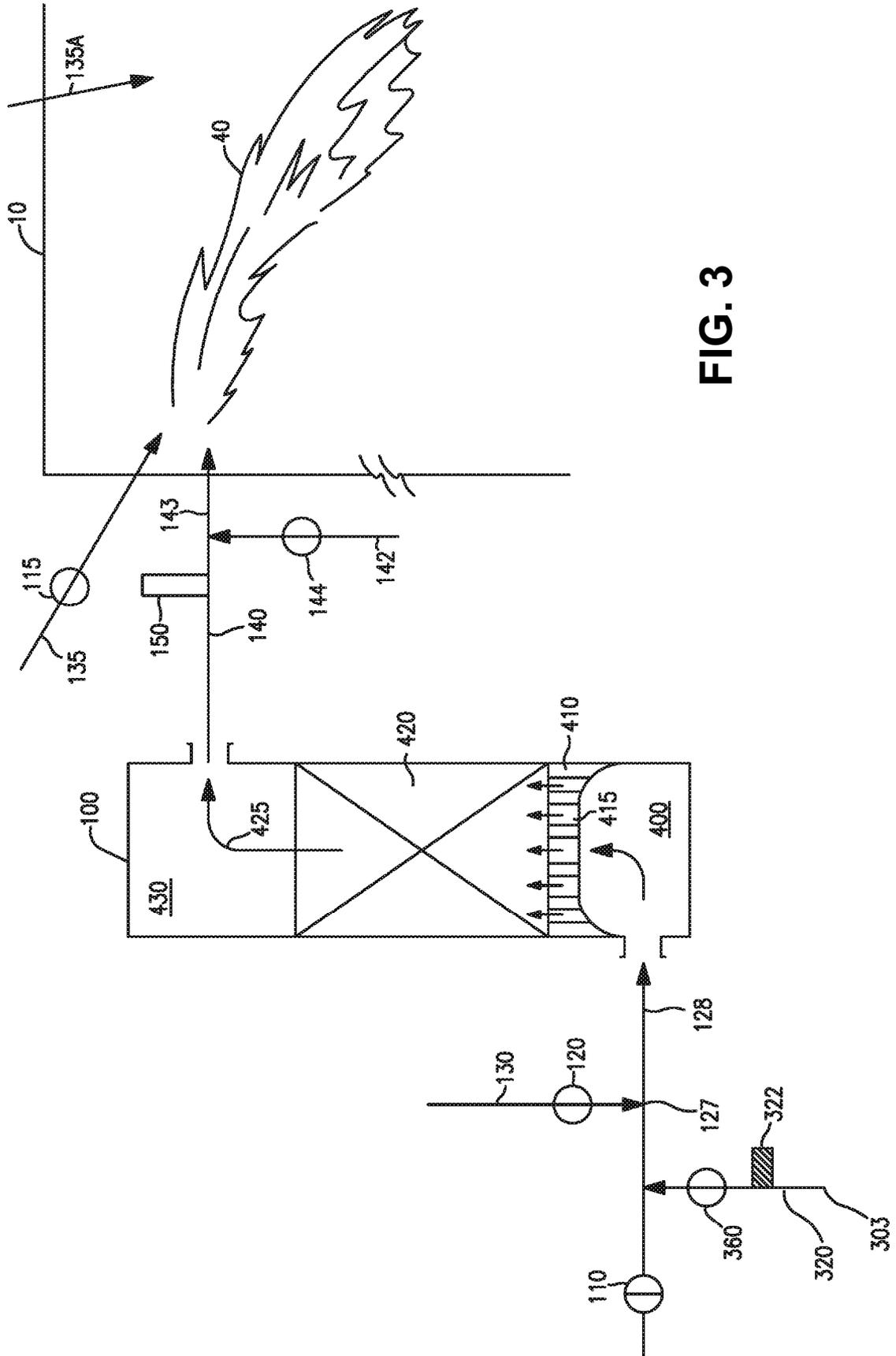


FIG. 3

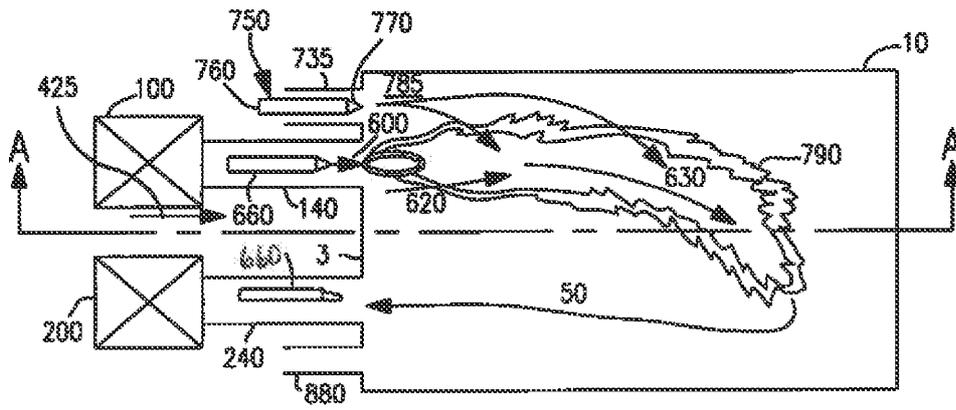


FIG. 4

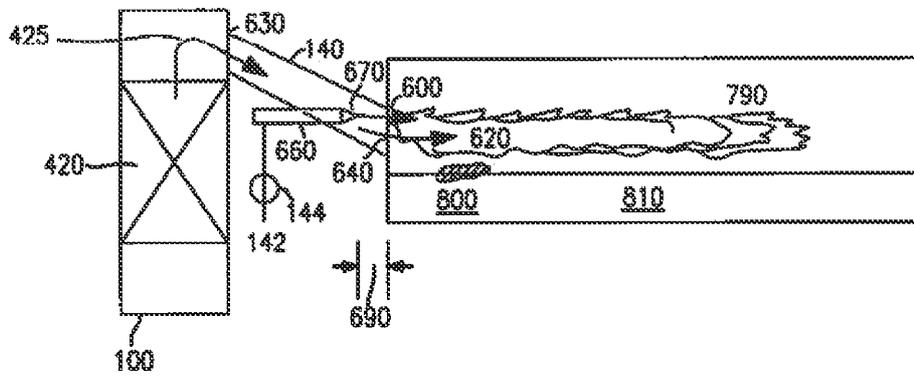


FIG. 5

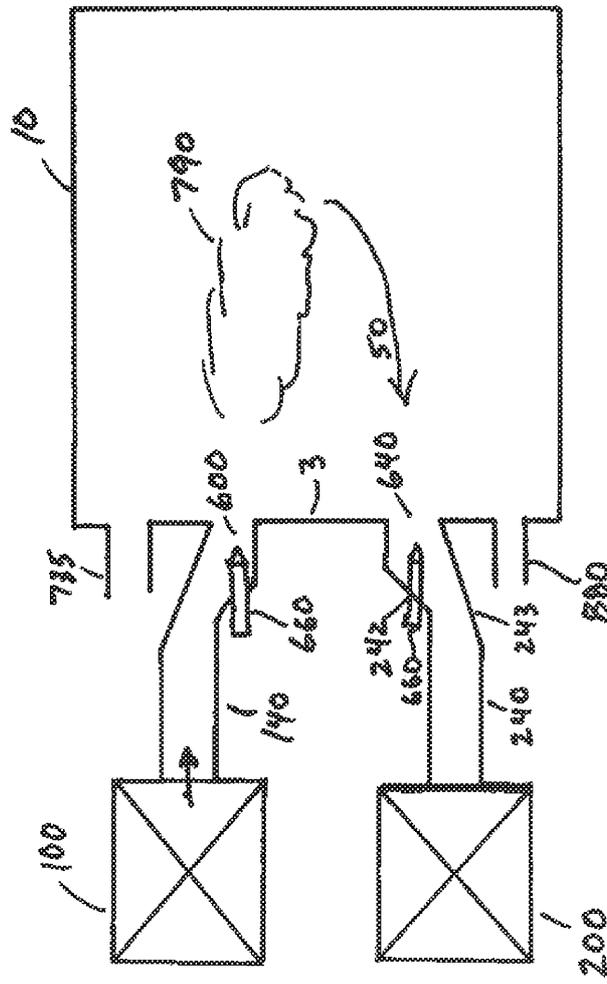


FIG. 5a

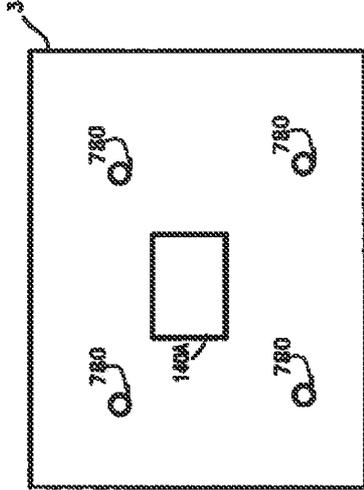


FIG. 7a

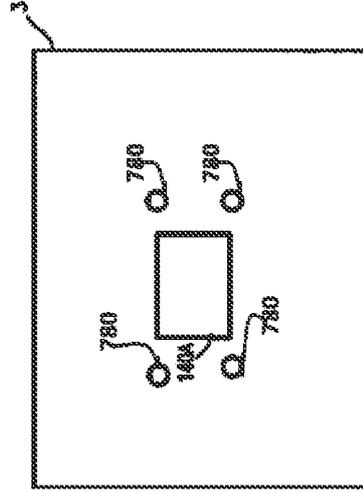


FIG. 7c

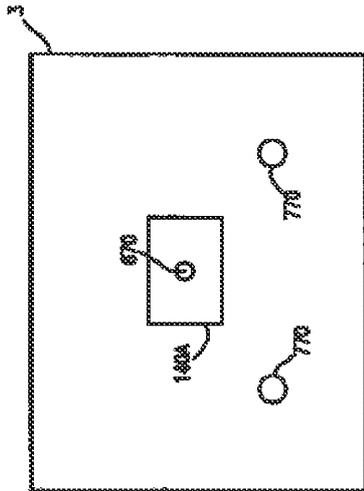


FIG. 6

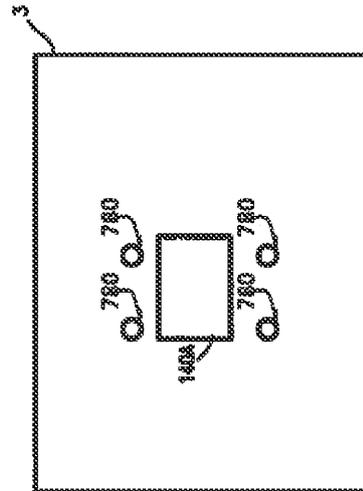


FIG. 7b