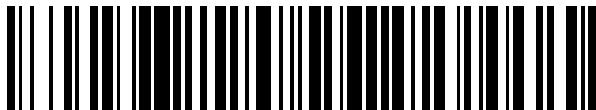


(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 788 165**

(51) Int. Cl.:

C03B 3/02 (2006.01)

C03B 5/235 (2006.01)

C03B 5/237 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.10.2016 PCT/US2016/057808**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **04.05.2017 WO17074772**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.10.2016 E 16790827 (6)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2020 EP 3368487**

(54) Título: **Regeneración termoquímica y recuperación de calor en hornos de vidrio**

(30) Prioridad:

29.10.2015 US 201562248013 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.10.2020

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

KOBAYASHI, HISASHI

(74) Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 788 165 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

Regeneración termoquímica y recuperación de calor en hornos de vidrio

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a la combustión en hornos de fundición de vidrio, en donde el material se alimenta al horno y se calienta y/o funde mediante el calor de combustión que se produce dentro del horno.

10 **Antecedentes de la invención**

Se han desarrollado para hornos de alta temperatura muchos sistemas variados de recuperación de calor residual a partir de gas de combustión caliente. Éstos incluyen regeneradores y recuperadores para precalentar el oxidante para la combustión, tales como aire y oxígeno, calderas de calor residual para generar vapor, precalentadores para alimentación de materiales sólidos al horno, y recuperadores y regeneradores termoquímicos para calentar y reformar combustible. En un horno de fundición de vidrio alimentado por combustible y oxígeno, un único sistema de recuperación de calor residual, tal como los regeneradores de calentamiento por oxígeno, como se describe en la patente US-5.921.771, puede recuperar solo una parte del calor residual disponible en el gas de combustión caliente. Al combinar dos o más sistemas de recuperación de calor diferentes en paralelo o en serie, se puede recuperar más calor residual del gas de combustión caliente. Por ejemplo, puede instalarse una caldera de calor residual en sentido descendente de un sistema principal de recuperación de calor de alta temperatura para generar vapor y enfriar el gas de combustión. Otro ejemplo es combinar regeneradores de calentamiento por oxígeno y un recuperador termoquímico, o regeneradores termoquímicos.

25 La patente US-6.113.874 describe métodos termoquímicos de recuperación de calor útiles con hornos que emplean regeneradores, en donde una corriente de productos de combustión que se forman en el horno se pasa a través de un primer regenerador de calor para calentar el primer regenerador y enfriar los productos de combustión, y a continuación una parte de los productos de combustión enfriados se combinan con combustible para formar una mezcla que pasa a través de un segundo regenerador calentado, en donde la mezcla experimenta una reacción endotérmica para formar gas sintético que luego pasa al horno y se quema.

30 La presente invención comprende una mejora en este método de recuperación de calor mediante la combinación de un sistema de precalentamiento de hornada o desecho de vidrio en la corriente abajo, particularmente útil en la fabricación de vidrio.

35 **Breve resumen de la invención**

Un aspecto de la presente invención es un método para realizar la combustión en un horno de fundición de vidrio, que comprende

40 (A) quemar combustible en un horno de fundición de vidrio para producir productos gaseosos de combustión, y
 (B) alternativamente

45 (1)(a) pasar productos gaseosos de combustión desde el horno hasta, y a través de, un primer regenerador enfriado para calentar el primer regenerador y enfriar dichos productos gaseosos de combustión,

50 (b) pasar al menos una primera parte (por lo que se refiere hasta un 100 %) de dichos productos gaseosos de combustión enfriados desde dicho primer regenerador en intercambio térmico con material sólido para fabricación de vidrio que contenga sustancias orgánicas para enfriar más los productos gaseosos de combustión enfriados, y calentar el material para fabricación de vidrio y pirolizar las sustancias orgánicas contenidas en este para formar productos de pirólisis, y

55 (c) pasar los productos gaseosos de combustión adicionalmente enfriados, los productos gaseosos de la pirólisis y el combustible, a un segundo regenerador calentado y, en el segundo regenerador, hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión, los productos gaseosos de la pirólisis y combustible en una reacción endotérmica para formar gas sintético que comprenda hidrógeno y CO, y pasar dicho gas sintético desde el segundo regenerador en el horno y quemarlo en el horno, y

60 (d) alimentar a dicho horno dicho material para fabricación de vidrio calentado; y

65 (2)(a) pasar productos gaseosos de combustión desde el horno hasta, y a través de, un segundo regenerador enfriado, para calentar el segundo regenerador y enfriar dichos productos gaseosos de combustión,

(b) pasar una primera parte (por lo que se refiere hasta un 100 %) de dichos productos gaseosos de combustión enfriados desde dicho segundo regenerador en intercambio térmico con material sólido para fabricación de vidrio que contenga sustancias orgánicas para enfriar más los productos gaseosos de combustión enfriados, y

calentar el material para fabricación de vidrio y pirolizar las sustancias orgánicas contenidas en este para formar productos gaseosos de la pirólisis, y

5 (c) pasar los productos gaseosos de combustión enfriados adicionalmente, los productos gaseosos de la pirólisis y el combustible, a un primer regenerador calentado y, hacer reaccionar en el primer regenerador los productos gaseosos de combustión y el combustible en una reacción endotérmica para formar gas sintético que comprende hidrógeno y CO, y pasar dicho gas sintético desde el primer regenerador hasta el horno y quemarlo en el horno, y

10 (d) alimentar a dicho horno dicho material para fabricación de vidrio calentado.

10 El intercambio térmico con el material sólido para fabricar vidrio puede llevarse a cabo mediante intercambio térmico por contacto directo, intercambio térmico indirecto o una combinación de intercambio térmico directo e indirecto. En el intercambio térmico de contacto directo, el material sólido para fabricar vidrio se calienta por contacto directo con productos gaseosos de combustión y productos gaseosos de la pirólisis formados a partir de la mezcla de material sólido para fabricación de vidrio con los productos gaseosos de combustión. Esto se puede lograr haciendo fluir una corriente de las piezas y partículas de material para fabricación de vidrio, y los productos gaseosos de combustión, simultáneamente, a través del mismo tubo u otro conducto en el cual el gas fluya a través de espacios entre las piezas y las partículas, y entre en contacto con sus superficies para pasar calor al material para fabricación de vidrio. En intercambio térmico de contacto indirecto, el material sólido para fabricación de vidrio no está en contacto directo con productos gaseosos de combustión gaseosos, y los productos gaseosos de la pirólisis formados a partir del material sólido para fabricación de vidrio no se mezclan con los productos gaseosos de combustión dentro del intercambiador térmico. La corriente de gas y el material para fabricación de vidrio no entran en contacto entre sí, pero están físicamente separados por una barrera (tal como una pared metálica entre tubos adyacentes) que permite al calor fluir entre el gas y el material para fabricación de vidrio.

25 Como se usa en la presente memoria, "pirolizar" significa descomponer material térmicamente para formar productos gaseosos, líquidos y sólidos, con o sin causar, además, que el material experimente una reacción química (tal como oxidación parcial) que cambie la estructura molecular o el peso molecular del material, o produzca productos de reacción, sin oxidar completamente el 100 % del material a productos finales totalmente oxidados, tales como dióxido de carbono y agua. Como se usa en la presente memoria, "productos gaseosos de la pirólisis" son productos formados por pirólisis que son gaseosos y que pueden contener partículas finas de líquido y/o sólido transportable en la fase gaseosa.

Otro aspecto de la presente invención utiliza el método anteriormente mencionado con precalentamiento del oxidante gaseoso que se ha de alimentar al horno.

35 Por ejemplo, este aspecto es un método para realizar la combustión en un horno de fundición de vidrio, que comprende

(A) quemar combustible en un horno de fundición de vidrio para producir productos gaseosos de combustión, y

40 (B) alternativamente (i) pasar una primera cantidad de los productos gaseosos de combustión desde el horno hasta, y a través de, un primer regenerador enfriado para calentar el primer regenerador y enfriar dicha primera cantidad de productos gaseosos de combustión,

45 (ii) pasar una segunda parte de los productos gaseosos de combustión desde el horno hasta, y a través de, un segundo regenerador enfriado para calentar el segundo regenerador y enfriar dicha segunda cantidad de productos gaseosos de combustión,

50 (iii) pasar los productos gaseosos de combustión enfriados de dicho primer regenerador, de dicho segundo regenerador, o de tanto dichos primer como segundo regeneradores, intercambiando calor con material sólido para fabricación de vidrio que contenga material orgánico, para enfriar adicionalmente los productos gaseosos de combustión enfriados y calentar el material para fabricación de vidrio y pirolizar el material orgánico en el material para fabricación de vidrio, para formar productos gaseosos de la pirólisis, y alimentar a dicho horno dicho material para fabricación de vidrio calentado,

55 (iv) pasar el combustible de reformado, los productos gaseosos de combustión adicionalmente enfriados, los productos gaseosos de la pirólisis y los productos gaseosos de combustión enfriados de dicho primer regenerador, los productos gaseosos de combustión enfriados de dicho segundo regenerador o los productos gaseosos de combustión enfriados de tanto dicho primer como dicho segundo regeneradores, a un tercer regenerador calentado,

60 (v) hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión y el combustible de reformado y los productos gaseosos de la pirólisis en el tercer regenerador en una reacción endotérmica bajo condiciones efectivas para formar gas sintético que comprenda hidrógeno y monóxido de carbono y, de ese modo, enfriar el tercer regenerador,

65 (vi) pasar el oxidante gaseoso a, y a través de, un cuarto regenerador calentado para calentar el oxidante gaseoso y enfriar el cuarto regenerador, y

(vii) pasar dicho gas sintético y cualquier producto de la pirólisis sin reaccionar desde dicho tercer regenerador a dicho horno, pasando dicho oxidante gaseoso calentado desde el cuarto regenerador al horno, y quemar en el horno el gas sintético, cualquier producto de la pirólisis sin reaccionar y dicho oxidante gaseoso calentado; a la vez que se mantiene la diferencia de temperaturas de los productos de combustión que pasan hacia fuera de dichos primer y segundo regeneradores a 167 K (300 °F) o menos;

y

(2) (i) pasar una primera cantidad de los productos gaseosos de combustión del horno a, y a través de, un tercer regenerador enfriado para calentar el tercer regenerador y enfriar dicha primera cantidad de productos gaseosos de combustión,

5 (ii) pasar una segunda cantidad de productos gaseosos de combustión desde el horno a, y a través de, un cuarto regenerador enfriado para calentar el cuarto regenerador y enfriar dicha segunda cantidad de productos gaseosos de combustión,

10 (iii) pasar los productos gaseosos de combustión enfriados desde dicho tercer regenerador, desde dicho cuarto regenerador, o desde tanto dichos tercer como cuarto regeneradores, intercambiando calor con material sólido para fabricación de vidrio que contenga material orgánico, para adicionalmente enfriar los productos gaseosos de combustión enfriados y calentar el material para fabricación de vidrio y el material orgánico de la pirólisis en el material para fabricación de vidrio, para formar productos gaseosos de la pirólisis, y alimentar en dicho horno dicho material para fabricación de vidrio calentado,

15 (iv) pasar el combustible de reformado, los productos gaseosos de combustión enfriados adicionales, los productos gaseosos de la pirólisis y los productos gaseosos de combustión enfriados desde dicho tercer regenerador, los productos gaseosos de combustión enfriados desde dicho cuarto regenerador o los productos gaseosos de combustión enfriados desde tanto dichos tercer como cuarto regeneradores, a un primer regenerador calentado,

20 (v) hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión y el combustible de reformado y los productos de la pirólisis en el primer regenerador en una reacción endotérmica bajo condiciones efectivas para formar gas sintético que comprenda hidrógeno y monóxido de carbono y, de ese modo, enfriar el primer regenerador,

25 (vi) pasar el oxidante gaseoso a, y a través de, un segundo regenerador calentado para calentar el oxidante gaseoso y enfriar el segundo regenerador, y

25 (vii) pasar dicho gas sintético y cualquier producto de la pirólisis sin reaccionar desde dicho primer regenerador a dicho horno, pasando dicho oxidante gaseoso calentado desde el segundo regenerador al horno, y quemando en el horno el gas sintético, cualquier producto de la pirólisis sin reaccionar y dicho oxidante gaseoso calentado en el horno; a la vez que se mantiene la diferencia de temperaturas de los productos de combustión que pasan hacia fuera de dichos tercer y cuarto regeneradores a 167 K (300 °F) o menos.

Breve descripción de los dibujos

30 Las Figuras 1 y 1a son diagramas de flujo de realizaciones de la presente invención.

Las Figuras 2 y 3 son vistas en sección transversal de partes de las realizaciones de las Figuras 1 y 1a.

35 Las Figuras 4 y 4a son diagramas de flujo de otras realizaciones de la presente invención.

Las Figuras 5 y 6 son vistas en sección transversal de partes de la realización de las Figuras 4 y 4a.

40 Las Figuras 7a, 7b y 7c son representaciones esquemáticas de realizaciones de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

La presente invención es útil en hornos, tales como hornos de fundición de vidrio, hornos para calentar y/o fundir metales y menas; incineradores; hornos de cemento; y similares, en donde el material se alimenta al horno y se calienta y/o funde mediante el calor de combustión que ocurre dentro del horno. La combustión ocurre entre el combustible, que puede ser cualquier hidrocarburo gaseoso combustible o hidrocarburo líquido atomizado (preferiblemente que comprenda los compuestos C1-C4, tales como metano) así como el gas sintético que se produce como se describe en la presente memoria, y el oxidante gaseoso que incluye aire y cualquier mezcla gaseosa que contenga más oxígeno que aire.

50 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 retoma calor utilizable de las corrientes del escape de gas de combustión 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 de "oxicombustión", es decir, combustión de combustibles con oxidante gaseoso que comprendan un contenido de oxígeno de al menos 50 % en volumen de oxígeno y preferiblemente al menos 80 % en volumen de oxígeno, más preferiblemente al menos 90 % en volumen de oxígeno, e incluso al menos 99 % en volumen de oxígeno, debido a que los gases de combustión producidos por la combustión de oxicombustión tienen concentraciones mayores de H₂O y CO₂, favoreciendo ambas las reacciones de reformado endotérmicas 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. A continuación, en el ciclo de reformado, una parte (que se denomina en la presente memoria como Recycled Flue Gas [Gas de combustión - RFG] o RFG) del gas de combustión enfriado que salen del primer regenerador, se alimenta a otro regenerador y se mezcla con una corriente de combustible (denominada en la presente memoria como Reforming Fuel [Combustible de reformado - RF] o RF). En la descripción que sigue, el metano puro (CH₄) se describe como combustible de reformado a título ilustrativo. Otros combustibles de

reformado satisfactorios incluyen cualquier gas combustible que contenga una concentración significativa de hidrocarburos, mezcla de gases o combustibles líquidos vaporizados que incluyen, aunque no de forma limitativa, gas natural, propano y GLP (gas licuado de petróleo). Los combustibles que, predominantemente, comprenden H₂ y CO, tales como el gas productor que se genera mediante la gasificación de carbón, no son adecuados como Combustible de reformado. Por lo tanto, el combustible de reformado debería comprender al menos un 25 % en volumen de uno o más hidrocarburos gaseosos de la fórmula CH₄ y/o C_XH_Y, en donde X es 2-4 e Y es X a (4X-2).

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. A medida que la mezcla de RGF/RF pasa a través del segundo regenerador, alcanza una temperatura a la cual comienzan a producirse y continúan produciéndose las reacciones de disociación térmica y las reacciones de reformado, dando lugar a productos que incluyen H₂ y CO. Estas reacciones son endotérmicas, y el calor necesario para promover estas reacciones se absorbe del material refractario calentado. Las reacciones de disociación térmica de combustible son conocidas como reacciones de craqueo y producen muchas especies de combustible, tales como H₂, C₂H₂, C₂H₄ y hollín. Las reacciones de reformado producen una composición gaseosa que, de forma típica, comprende uno o más componentes, tales como H₂, CO y gases sin reaccionar, que comprenden H₂O, CO₂ y CH₄. En la presente memoria, la composición gaseosa así producida puede denominarse también "gas sintético". La mezcla de productos gaseosos emerge desde el segundo regenerador al horno, en donde los componentes gaseosos se queman en el horno con oxidante para proporcionar energía térmica para calentar y/o fundir material en el horno. Esta combustión puede, además, quemar una parte de cualquier hollín presente con los productos gaseosos.

Tal como se describe más completamente a continuación, el oxidante gaseoso para la combustión en el horno se calienta antes de alimentarse al horno. Se calienta pasándolo a, y a través de, un regenerador que se calentó previamente. Al mismo tiempo, una parte de los productos gaseosos de combustión formados en el horno se pasan afuera del horno a través de otro regenerador, para calentar ese regenerador.

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. Antes de la inversión, se detiene el flujo de combustible de reformado y se continúa el flujo de RFG hasta que algo de, o todo, el combustible de reformado residual y el gas sintético en el regenerador se purguen fuera del regenerador y se quemen en el horno. Esta etapa de purga también actúa para eliminar el hollín depositado sobre las superficies del material refractario en el regenerador, ya que el hollín reacciona con el RFG y se gasifica. Tras esta inversión, el regenerador que se calentó mediante el gas de combustión saliente se cambia para comenzar el calentamiento del oxidante entrante, y el regenerador que se usó para calentar el oxidante entrante se cambia de manera que el gas de combustión que sale del horno pase a través de él para recalentarlo para usarlo para calentar el oxidante. Despues de un período de tiempo adicional, vuelve a invertirse el funcionamiento de los dos pares de 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.

Se describe a continuación, junto con las Figuras 1 a 3, el funcionamiento y el control de un aspecto de la presente invención. Como ejemplo, se utiliza un horno (10) de vidrio con un puerto final de entrada provisto de dos regeneradores en la pared final (3).

Como se muestra en la Figura 1, el horno (10) de puerto final tiene una estación (20) de alimentación donde el material (30) de alimentación que comprende materiales sólidos para fabricación de vidrio (conocido como hornada y/o desecho de vidrio) se cargan en el horno para que se calienten y fundan. La estación (20) de calentamiento y la estación (20A) de calentamiento opcional se describen más a continuación. 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.

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 Figuras 1 y 2, la corriente (201) de gas de combustión enfriado sale del regenerador (200) por el conducto (260), pasa a través de una válvula abierta (210), se divide en dos corrientes (204) y (204A).

- 5 El material (209) para fabricación de vidrio se alimenta a la estación (20) de alimentación, en la que el material para fabricación de vidrio se puede calentar y, posteriormente, alimentar al horno (10). El material (209) para fabricación de vidrio incluye material sólido que, al fundirse, forma un vidrio fundido que luego puede conformarse en artículos de vidrio. El material para fabricación de vidrio puede incluir material conocido como deshecho de vidrio, que comprende piezas de vidrio, tales como recipientes y botellas de vidrio reciclados. El material para fabricación de vidrio en la corriente (209), especialmente el deshecho de vidrio, contiene materia orgánica en, o sobre, él, con lo que se entiende cualquier sustancia o sustancias sólidas, semisólidas o líquidas que tengan en la estructura molecular al menos carbono e hidrógeno y, además, opcionalmente, oxígeno. Los ejemplos de materia orgánica incluyen carbohidratos, hidrocarburos, polímeros, ácidos grasos, ceras, grasas y otros glicéridos, e incluyen materia, tal como papel y materia adhesiva. El material (209) para fabricación de vidrio también puede contener materiales que, al fundirse, formen vidrio o entren en reacciones para formar vidrio. Estos materiales se conocen como "hornada"; los ejemplos incluyen arena de sílice, carbonato de sodio, piedra caliza, dolomita, otros carbonatos, sulfatos, óxidos e hidróxidos de sodio, de calcio, de magnesio y de potasio. Los materiales de la hornada, si están presentes, puede también contener materia orgánica en estos.
- 10
- 15
- 20 La corriente (201) de productos gaseosos de combustión enfriados (gas de combustión) se divide en dos corrientes (204) y (204A). La corriente (204) es Recycled Flue Gas (Gas de combustión reciclado - RFG) para usarse como reactivo en el regenerador (100) para las reacciones de reformado. La corriente (204) pasa a, y a través de, la estación (20), donde calienta los materiales (209) para fabricación de vidrio en la estación (20), y es por lo tanto adicionalmente enfriado. El gas (206) de combustión adicionalmente enfriado contiene productos gaseosos de la pirólisis de los materiales (209) para fabricación de vidrio y sale de la estación (20), pasa a través del ventilador 300 de induced draft (tiro inducido - ID) y la válvula (360), se mezcla con el combustible de reformado de la corriente (130) en la ubicación (127) y se alimenta al fondo del regenerador (100) en forma de corriente (128). El combustible de reformado que ha de alimentarse al regenerador (100) se suministra por un conducto (130) a través de la válvula (120). Los combustibles de reformado adecuados incluyen metano (que es preferido), así como 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).
- 25
- 30
- 35 El material 219 para fabricación de vidrio que se produce en la estación (20) se alimenta al horno (10) a través del alimentador (21).
- 40 La corriente (204A) de productos gaseosos de combustión enfriados se pasa a una unidad (20A) opcional calentadora de hornada/desechos de vidrio, en donde la corriente (204A) calienta el material (209A) para fabricación de vidrio que se alimenta por separado a la unidad (20A). En esta realización, el material (209A) para fabricación de vidrio puede ser hornada o desechos de vidrio, pero debe estar sustancialmente libre de materia orgánica. El material (209A) para fabricación de vidrio que se calienta en la estación (20A), se alimenta a un horno (10). El gas (206A) de combustión adicionalmente enfriado sale de la estación (20A), pasa a través del ventilador (300A) de ID y se puede pasar al escape (340). El material (219A) para fabricación de vidrio se alimenta al horno (10) a través del alimentador (21).
- 45 Debe tenerse en cuenta que la estación (20A) puede, en su lugar, ser cualquier otro componente de recuperación de calor que utilice de manera útil el calor contenido en la corriente (204A). Los ejemplos de otros componentes de recuperación de calor incluyen una caldera que convierte agua de alimentación en vapor.
- 50 El intercambio térmico entre la corriente (204) y los materiales para fabricación de vidrio, y entre la corriente (204A) y los materiales para fabricación de vidrio, preferiblemente es por intercambio térmico directo, lo que se prefiere, pero puede ser mediante intercambio térmico indirecto o una combinación de intercambio térmico directo e indirecto.
- 55 En la estación (20), la corriente (204) de gas piroliza la materia orgánica que el material para fabricación de vidrio contiene. Los productos gaseosos de la pirólisis se unen con la corriente (206) de gas que sale de la estación (20). El intercambio térmico directo facilita esta unión, ya que los productos gaseosos de la pirólisis se unen inmediatamente a la corriente de gas tras la pirólisis. Cuando se emplea un intercambio térmico indirecto, los materiales para fabricación de vidrio calentados pueden separarse del gas mediante una manera conocida, en la que se arrastran a medida que salen del intercambiador térmico indirecto, y mediante la conducción adecuada, la corriente de gas recuperada que contiene los productos gaseosos de la pirólisis puede alimentarse a la corriente (206).
- 60 La Figura 1a ilustra una disposición en la que la estación (20) emplea intercambio térmico indirecto. Los productos gaseosos (229) de la pirólisis no se unen a la corriente (206) en esta disposición, pero se mezclan en la corriente (303) de Recycled flue gas (Gas de combustión reciclado - RFG), y se alimenta al regenerador (100) de reformado. La corriente (301) de gas de combustión está libre de los productos gaseosos (229) de la pirólisis gaseosa, y se expulsa a la chimenea (340).
- 65 La pirólisis no convierte completamente toda la materia orgánica presente en formas totalmente oxidadas, es decir, dióxido de carbono y agua. Por lo tanto, los productos de la pirólisis incluyen compuestos que pueden participar en

reacciones, tales como el reformado y la combustión. Cualquier producto de la pirólisis que no reaccione en las reacciones de reformado en los regeneradores (100) y (200), pasan al horno (10) y se queman completamente allí.

La corriente (204) de gas al entrar en contacto con el material para fabricación de vidrio en la estación (20) se encuentra, típicamente, a una temperatura de 427 °C a 649 °C (800 °F a 1200 °F). El suavizado y adherencia de algunos materiales para fabricación de vidrio puede tener lugar a una temperatura de 538 °C (1000 °F) o menos, lo que puede impedir la circulación fluida en la estación 20 de los materiales para fabricación de vidrio. La temperatura de gas máxima de la corriente (204) debe controlarse para evitar problemas de adherencia. El material para fabricación de vidrio que entra en la estación (20) puede estar a temperatura ambiente o más. El material para fabricación de vidrio que contenga materia orgánica debe calentarse mediante la corriente (204) de gas a una temperatura de al menos 149 °C (300 °F), preferiblemente, a al menos 260 °C (500 °F). Esto se logra mediante el ajuste adecuado de la temperatura de la corriente (204) de gas, y de la cantidad de tiempo que el gas y el material para fabricación de vidrio estén en contacto entre si. En este campo técnico se conoce el equipo adecuado para proporcionar el contacto gas-sólidos deseado.

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). Cuando la temperatura del RFG/RF llega a un nivel suficientemente alto y alcanza la temperatura de reformado, se producen reacciones de disociación térmica y reacciones de reformado endotérmicas en las que el combustible de reformado (p. ej., CH₄) reacciona con CO₂ y H₂O en el RFG y forma CO, H₂ y, posiblemente, 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 memoria como una corriente de gas de "reformado" o "sintético") sale de la parte superior del paquete (420) de material refractario. La corriente (425) tiene una alta temperatura y puede incluir especies tales como CO, H₂, hollín, CH₄ sin reaccionar y CO₂ y H₂O sin reaccionar. La corriente (425) pasa a través del cuello (140) del puerto y del sensor (150) de oxígeno, y entra en el horno (10). La corriente sale del paquete (420) de material refractario a temperaturas que, por ejemplo, varían desde 982 °C hasta 1371 °C (1800 °F hasta 2500 °F).

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 de 80 % en volumen, más preferiblemente igual o mayor de 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 sintético restante en el regenerador (100) se purga mediante el RFG (por ejemplo, de la manera que se describe a continuación) durante una cantidad de tiempo especificada, por lo que casi todo el gas sintético en el regenerador se expulsa al horno y se quema completamente.

Tras la inversión, el gas de combustión del horno pasa a través de un regenerador (100), en donde el regenerador (100) se calienta y el gas de combustión se enfriá, y una parte del mismo pasa al escape (como se define en la presente memoria), y una parte (o el resto) del gas de combustión se pasa a la estación (20) o también a la estación (20A), y una parte, o el resto, del gas de combustión no pasa a través de las estaciones (20) y (20A). El gas de combustión que no pasa al escape, que pasa a través de la estación (20) o que evita esas estaciones, se mezcla con combustible y la mezcla se pasa a través de un regenerador (200) y al horno. La válvula (110) que se había cerrado, se abre, la válvula (210) se cierra, y la válvula (360) se cierra y la válvula (380) se abre, para permitir que el gas de combustión calentado pase del regenerador (100) hacia, y a través de, una estación (20) y un soplador (300), y para permitir que la corriente (320), que es una parte (204) de este gas de combustión, pase al regenerador (200) tras mezclarlo con el combustible (230) de reformado que entra a través de la válvula (220) que se había cerrado, pero que ahora se abre. 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 del combustible de reformado y de gas de combustión reciclado y gas de combustión adicionalmente enfriado que contenga productos gaseosos de la pirólisis, experimenta en el regenerador (200) las reacciones de reformado endotérmicas que se habían producido en el regenerador (100) en el ciclo anterior, como se describe en la presente memoria, para producir una corriente (425) de gas sintético, que pasa al horno (10) donde se quema con oxidante (235) que es alimentado a través de la válvula (225).

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 encenderse o no durante el proceso de 5 inversión cuando el regenerador (es decir, (100) o (200), según sea el caso) de reformado esté experimentando 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.

10 La presente invención puede usarse, además, en realizaciones en las cuales el oxidante para la combustión en el horno se precalienta en regeneradores que se precalientan cíclicamente mediante productos gaseosos de combustión del horno. Es decir, con referencia a las Figuras 4, 4a, 5 y 6, el oxidante calentado para la combustión del gas sintético se suministra al horno (10) a través del conducto (135). Este oxidante puede ser aire, o puede tener un contenido de oxígeno más alto que el 15 del aire, es decir, al menos 21 % en volumen, y preferiblemente igual o mayor de 80 % en volumen, más preferiblemente igual o mayor de 90 % en volumen, o incluso al menos 99 % en volumen. El oxidante se proporciona a partir de una fuente adecuada, tal como un depósito de almacenamiento o una unidad de separación de aire (ejemplos de los cuales son conocidos y comercialmente disponibles), a través del conducto (605) y al, y a través del, regenerador calentado (600). El regenerador (600) puede tener la estructura y modo habitual de funcionamiento en el que el paquete (691) de material refractario se soporta sobre arco (692) a lo largo del cual hay conductos (693) de gas que permiten que el gas fluya entre el paquete (691) de material refractario y el espacio inferior (694).

20 En este ciclo de funcionamiento, el oxidante gaseoso fluye desde la línea (606) hacia el espacio inferior (694), hacia, y a través de, el paquete (691) de material refractario, al espacio superior (695) y a la línea (135). El oxidante se calienta en el regenerador (600) y pasa del regenerador (600) al conducto (135) y al horno. La válvula (115) está abierta para permitir el flujo de oxidante a la línea (606) a través de la cual el oxidante pasa al regenerador (600). La válvula (620), que controla el flujo del gas de combustión a través y hacia fuera del regenerador (600) en el conducto (610) el cual está conectado a la entrada (lado de succión) del soplador (300), se cierra en 25 este ciclo. En el otro ciclo, que se describe en la presente memoria, las posiciones de la válvula están invertidas y el gas de combustión fluye desde la línea (135) al, y a través del, regenerador (600) en el trayecto opuesto a la línea (606).

30 En este ciclo de operación, con referencia a las Figuras 4, 4a y 5, algunos de los productos gaseosos de combustión (gas de combustión) pasan fuera del horno (10) al conducto (235) y de allí al, y a través del, regenerador (700). El regenerador (700) puede tener la estructura y el modo de operación habituales en los que el paquete (791) de material refractario se soporta sobre arco (792) a lo largo del cual hay conductos (793) de gas que permiten que el gas fluya a través del espacio superior (795) y a través del paquete (791) de material refractario al espacio inferior (794). Este flujo de productos de combustión de la línea (235) calienta el regenerador (700). Los productos de combustión se enfrián y salen del regenerador (700) a través 35 de los conductos (701) y (710). La válvula (720), que controla el flujo del gas de combustión a través y hacia fuera del regenerador (700) hacia los conductos (701) y (710), está abierta en este ciclo, y la válvula (225) que controla el flujo de oxidante desde una fuente adecuada, tal como un tanque de almacenamiento o una unidad de separación de aire del conducto (705), hasta, y a través de, el regenerador calentado (700) en el siguiente ciclo, se cierra. En el otro ciclo, que se describe en la presente memoria, las posiciones de la válvula están invertidas y el gas de combustión fluye desde la línea (710) al, y a través del, regenerador (700) en el trayecto opuesto y pasa a través de la línea (235) al horno (10).

40 Además, con referencia nuevamente a las Figuras 4, 4a y 5, la corriente (710) de gas de combustión enfriado pasa a través de la válvula (720), se une a la línea (204), y pasa a la estación (20), de manera que el gas de combustión del regenerador (700) también se puede utilizar para precalentar el material para fabricación de vidrio y pirolizar el material orgánico presente 45 en el material (209) para fabricación de vidrio alimentado a la estación (20). Cuando también se usa una segunda estación opcional (20A), la línea (204A) puede transportar gas de combustión desde la línea (710) a la estación (20A).

50 La corriente (206) en esta realización contiene, además, gas de combustión adicionalmente enfriado obtenido de un regenerador (200) o de un regenerador (700), o de ambos regeneradores (200) y (700). La corriente (206) también contiene productos gaseosos de la pirólisis que, como se describió anteriormente, se forman a partir de materia orgánica en el material para fabricación de vidrio.

55 La Figura 4a representa una disposición en la que la estación (20) emplea intercambio térmico indirecto. Los productos gaseosos (229) de la pirólisis no se unen a la corriente (206) en esta disposición, pero se mezclan en la corriente (303) de Recycled flue gas (Gas de combustión reciclado - RFG), y se alimenta al regenerador (100) de reformado. La corriente (301) de gas de combustión está libre de los productos gaseosos (229) de la pirólisis gaseosa, y se expulsa a la chimenea (340).

60 El intercambio térmico entre el gas de combustión de los regeneradores (600) y (700) de oxidante y el material para fabricación de vidrio que contiene materia orgánica también produce productos gaseosos de la pirólisis, como se describió anteriormente, que se contienen en las corrientes de gas (que también contienen RF y RFG) que pasan, alternativamente, a los regeneradores (100) y (200), y en donde se producen reacciones de reformado endotérmicas para producir gas sintético que pasa a un horno (10) y se quema. Cualquier producto de la pirólisis sin reaccionar que no reaccionó en las reacciones de reformado pasa al horno y se quema completamente en el horno.

Cuando el regenerador para calentar oxidante está lo suficientemente frío, y el otro regenerador que calentará el oxidante se calienta suficientemente, los ciclos se invierten. En ese punto, el gas de combustión se pasa desde el horno (10) a través de un regenerador (600), luego a través de la válvula (620) a la estación (20) y a la estación opcional (20A).

- 5 De forma típica, el proceso de recuperación de calor continua con uno de los regeneradores (100) y (200) en el ciclo de combustión y con uno de estos regeneradores en el ciclo de reformado, como se observa en la Figura 4, y con uno de los regeneradores (600) y (700) de oxidación en modo de calentamiento de oxidante y uno que se recalienta al pasar el gas de combustión a través de él, durante aproximadamente 20 a 40 minutos, o hasta que los materiales refractarios en el regenerador de reformado estén demasiado fríos para proporcionar el calor suficiente para estimular las reacciones químicas endotérmicas deseadas. En ese momento, y ahora continuando con la descripción de la presente memoria, donde el regenerador (200) estaba en el ciclo de combustión y el regenerador (100) estaba en el ciclo de reformado, y el oxidante se calentó en el regenerador (600) y se alimentó al horno mientras que los productos gaseosos de combustión abandonaban el horno (10) y calentaban el regenerador (700), la operación del horno (10) experimenta una inversión en la que el regenerador (200) se transita al ciclo de reformado para la recuperación de calor, el regenerador (100) se transita al ciclo de combustión para la acumulación de calor, el regenerador (600) se transita para recibir gas de combustión para recalentar el regenerador (600), y el regenerador (700) se transita para recibir y calentar el oxidante que pasa a través de él al el horno. Antes de la inversión, el gas sintético restante en el regenerador (100) y el oxidante restante en el regenerador (600) se han de purgar al horno (10). En este caso, el combustible de reformado suministrado al regenerador (100) y el oxidante suministrado al regenerador (600) se interrumpen al principio cerrando la primera válvula (120) de cierre y la válvula (115), respectivamente, y abriendo la válvula (365) de la línea de purga de oxidante para permitir al RFG del soplador (300) fluir a través de las líneas (320) y (305) a través de la válvula (365) a la línea (606). El gas sintético restante en el regenerador (100) y el oxidante restante en el regenerador (600) se purgan mediante el RFG durante una cantidad de tiempo especificada, de manera que casi todo el gas sintético en el regenerador (100) y todo el oxidante en el regenerador (600) se expulsen al horno y se quemén hasta terminarlos.
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65
- 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) se cierra y la válvula (380) que se había cerrado, se abre, para permitir que el gas de combustión calentados pase del regenerador (100) hacia, y a través de, un soplador (300), y para permitir que una parte (303) de este gas de combustión pase al regenerador (200) tras mezclarlo con el combustible (230) de reformado que entra a través de la válvula (220) que se había cerrado, pero que ahora se abre. 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 gas de combustión reciclado experimenta en el regenerador (200) las reacciones de reformado endotérmicas que se produjeron en el regenerador (100) en el ciclo anterior, como se describe en la presente memoria, para producir gas sintético que pasa al, y a través del, cuello (240) del puerto y luego al horno (10), donde se quema con oxidante del conducto (237) que se calentó tras alimentarlo a través de la válvula (225). Además, tras la inversión, el gas de combustión pasa a través del regenerador (600), y el flujo de oxidante a través del regenerador (600) se cierra, mientras que el flujo de gas de combustión desde el horno a través del regenerador (700) se cierra, y el flujo del oxidante a través del regenerador (700) al horno, comienza. Las válvulas (115) y (720) se cierran, y las válvulas (620) y (225) se abren.
- Antes de la inversión, el gas sintético restante en el regenerador (200) y el oxidante restante en el regenerador (700) se han de purgar al horno (10). En este caso, el combustible de reformado suministrado al regenerador (200) y el oxidante suministrados al regenerador (700) se interrumpen al principio cerrando la primera válvula (220) de cierre y la válvula (225), respectivamente, y abriendo la válvula (385) de la línea de purga de oxidante para permitir al RFG del soplador (300) fluir desde la línea (301) a través de la línea (307) a las líneas (710) y (701). El gas sintético restante en el regenerador (200) y el oxidante restante en el regenerador (700) se purgan mediante el RFG durante una cantidad de tiempo especificada, de manera que casi todo el gas sintético en el regenerador (200) y todo el oxidante en el regenerador (700) se expulsen al horno y se quemén hasta terminarlos.
- Por lo tanto, se puede observar que en un ciclo, el gas (721) de combustión reciclado que se alimenta con combustible (130) de reformado y productos gaseosos de la pirólisis al regenerador (100), puede comprender gas de combustión reciclado del regenerador (200), gas de combustión reciclado del regenerador (700), o gas de combustión reciclado de ambos regeneradores (200) y (700). En el otro ciclo, el gas (610) de combustión reciclado que se alimenta con combustible (230) y productos gaseosos de la pirólisis al regenerador (200), pueden comprender gas de combustión reciclado del regenerador (100), gas de combustión reciclado del regenerador (600), o gas de combustión reciclado de ambos regeneradores (100) y (600).
- La corriente (204) de gas al entrar en contacto con el material para fabricación de vidrio en la estación (20) se encuentra, típicamente, a una temperatura de 427 °C a 649 °C (800 °F a 1200 °F). El suavizado y adherencia de algunos materiales para fabricación de vidrio puede tener lugar a una temperatura de 538 °C (1000 °F) o menos, lo que puede impedir la circulación fluida en la estación 20 de los materiales para fabricación de vidrio. La temperatura de gas máxima de la corriente (204) debe controlarse para evitar problemas de adherencia. El material para fabricación de vidrio que entra en la estación (20) puede estar a temperatura ambiente o más. El material para fabricación de vidrio que contenga materia orgánica debe calentarse mediante la corriente (204) de gas a una temperatura de al menos 149 °C (300 °F),

preferiblemente, a al menos 260 °C (500 °F). Esto se logra mediante el ajuste adecuado de la temperatura de la corriente (204) de gas, y de la cantidad de tiempo que el gas y el material para fabricación de vidrio estén en contacto entre sí. En este campo técnico se conoce el equipo adecuado para proporcionar el contacto gas-sólidos deseado.

5 La presente invención utiliza el aparato y procedimientos descritos anteriormente para conseguir ventajas inesperadas.

Una ventaja es que el valor térmico de la materia orgánica se utiliza en el horno, lo que aumenta la eficacia del método en su globalidad. Otra ventaja es que el método evita el riesgo de problemas de olores y emisiones que podrían presentarse si el material de deshecho de vidrio que contenga materia orgánica se alimenta simplemente directamente al horno. Otra ventaja más es que el tamaño y el coste del equipo requerido de reciclado de gas de combustión para el proceso TCR global se reduce sustancialmente debido a la temperatura mucho más fría del gas de combustión enfriado que sale de la estación (20). En el proceso TCR normal la temperatura del gas de combustión enfriado es aproximadamente de 640 °C a 760 °C (1200 °F a 1400 °F) y una parte de esta corriente se recicla para crear la mezcla de gas de reformado. El circuito de gas de combustión reciclado contiene un ventilador, conductos y muchas válvulas, todos los cuales tienen que ser capaces de soportar una alta temperatura de gas, lo que requiere un costoso acero inoxidable. En comparación, la temperatura del gas de combustión enfriado se espera que esté en un intervalo de 93 °C a 260 °C (200 °F a 500 °F), dependiendo de la cantidad de deshecho de vidrio disponible para el precalentamiento. De este modo, el caudal de volumen del gas de combustión reciclado (y, por lo tanto, el tamaño del ventilador, de los conductos y de las válvulas en el circuito de gas de fluido reciclado) se reduce sustancialmente.

20 Además, en las realizaciones que empleen precalentamiento con oxígeno en los regeneradores (Figuras 4-6), se ha descubierto inesperadamente que en cada dicho ciclo, el par de regeneradores, a través de los cuales se pasan los productos gaseosos de combustión, deben hacerse funcionar para mantener uno o ambos conjuntos de condiciones. Un conjunto de condiciones es que la relación entre el caudal molar de los productos gaseosos de combustión que fluyen desde el regenerador que se utilizará para proporcionar calor a la reacción endotérmica en el siguiente ciclo, y el caudal molar de los productos gaseosos de combustión que fluyen desde el regenerador que se utilizará para precalentar el oxidante que se calentará y pasará al horno en el siguiente ciclo, debería mantenerse a fin de que esta relación sea inferior a 70:30 cuando la relación molar de RFG/RF sea 1:1, y la relación del caudal molar del gas de combustión al caudal molar de la mezcla RFG/RF sea 2:1. Preferiblemente, esta relación es menor de 65:45, y al menos 55:45. Un intervalo más preferido para esta relación es (57 a 65): (43 a 35).

Al contrario de la anterior descripción de la patente US-6.113.874, el presente inventor también ha descubierto que es ventajoso hacer funcionar el regenerador de reformado a una relación RFG/RF molar inferior a 0,5, o incluso sin flujo de RFG, es decir, a una relación RFG/RF molar de 0, cuando el oxidante a incorporar al horno se caliente en un regenerador separado que se haya calentado mediante el flujo de gas de combustión a través de éste desde el horno. Cuando no se mezcla RFG con RF, no pueden tener lugar reacciones de reformado; sin embargo, algunos de los componentes de combustible se quebrarán para formar hidrógeno, C₂H₄, C₂H₂, hollín y muchas otras especies. Estas reacciones de craqueo son, además, endotérmicas y contribuyen a la recuperación de calor en las especies gaseosas del regenerador. Cuando no se mezcla gas de combustión reciclado con "combustible de reformado", la relación entre el caudal molar de los productos gaseosos de combustión que fluyen del regenerador que se utilizó para calentar el regenerador y, por lo tanto, proporcionar calor a la reacción endotérmica en el siguiente ciclo, y el caudal molar de los productos gaseosos de combustión que fluyen desde el regenerador que se utilizó para precalentar el oxidante que se calentará y pasará al horno en el siguiente ciclo, debería mantenerse de modo que esta relación sea inferior a 65:35. Preferiblemente, esta relación es inferior a 60:40, y más preferiblemente al menos 50:50. Un intervalo más preferido para esta relación es (55 a 60): (45 a 40).

45 Es especialmente ventajoso que la cantidad total de productos de combustión que salen del horno sea aquella de los dos conductos que alimentan los productos de combustión a los regeneradores. La relación deseada entre los respectivos caudales molares se puede monitorizar e implementar mediante dispositivos de dosificación adecuados en el conducto ubicado corriente abajo de cada regenerador, y mediante la configuración adecuada de las válvulas que regulan el caudal de los gases en cada conducto. Por ejemplo, en un ciclo, estos caudales molares son aquellos de los conductos (201) y (710), y en el otro ciclo estos caudales molares son aquellos de los conductos (128) y (610).

Otro conjunto de condiciones para mantener, en la realización de la presente invención, que incluye el uso cíclico de regeneradores para precalentar oxidante, es asegurar que las temperaturas de los flujos de productos gaseosos de combustión que salen de cada par de regeneradores a través de los cuales fluyen los productos de combustión en cada ciclo alternante (es decir, en referencia a la Figura 1, los regeneradores (200) y (700) en un ciclo, y los regeneradores (100) y (600) en el otro ciclo), deberían estar dentro de 167 °C (300 °F) o menos entre ambos, preferiblemente dentro de 111 °C (200 °F), y más preferiblemente dentro de 56 °C (100 °F) o menos entre ambos. Expresado de otro modo, la diferencia de temperatura entre estos dos flujos de productos gaseosos de combustión debería ser 167 °C (300 °F) o menos, preferiblemente 111 °C (200 °F) o menos, más preferiblemente 56 °C (100 °F) o menos. Haciendo referencia a la Figura 4, esto se refiere a la diferencia entre las temperaturas de las corrientes (201) y (710) en un ciclo, y la diferencia entre las temperaturas de las corrientes (128) y (610) en el otro ciclo. Estas temperaturas se pueden medir y comparar fácilmente utilizando equipos convencionales comercialmente disponibles. Una manera ventajosa de mantener las respectivas diferencias de temperatura dentro de la proximidad indicada entre sí es ajustando los caudales molares de cada una de las corrientes de los productos de combustión del horno a, y a través de, cada regenerador que se caliente mediante los productos de combustión en un ciclo dado.

Las temperaturas típicas se proporcionan aquí para el funcionamiento de la invención con un horno para fabricación de vidrio.

- 5 La corriente (240) de gas de combustión que entra en el regenerador (200) está, de forma típica, de 1371 °C a 1649 °C (2500 °F a 3000 °F), y la corriente (201) que sale del regenerador (200) está, de forma típica, de 260 °C a 538 °C (500 °F a 1000 °F). La corriente (235) que entra al regenerador (700) también está, de forma típica, de 1371 °C a 1649 °C (2500 °F a 3000 °F), y la corriente (701) que sale del regenerador (700) está, de forma típica, de 260 °C a 538 °C (500 °F a 1000 °F). La corriente (128) de mezcla de gas de combustión reciclado y combustible de reformado que entra en el regenerador (100) está, de forma típica, de 149 °C a 538 °C (300 °F a 1000 °F), y la corriente (140) de producto de reformado está, de forma típica, de 982 °C a 1316 °C (1800 °F a 2400 °F). La corriente (606) de oxidante que entra en el regenerador (600) está, de forma típica, a -18 °C (cero grados F), o a temperatura ambiente, hasta 38 °C (100 °F). La corriente (135) de oxidante calentado que sale del regenerador (600) está, de forma típica, de 982 °C a 1316 °C (1800 °F a 2400 °F).
- 10
- 15 Las temperaturas dentro de cada regenerador se espera que aumenten y disminuyan a través de cada ciclo, y las temperaturas serán diferentes en diferentes ubicaciones dentro de los regeneradores. En el funcionamiento de la invención, con un típico horno para fabricación de vidrio, las temperaturas dentro del regenerador (200) al comienzo del ciclo pueden ser del orden de 260 °C a 482 °C (500 °F a 900 °F) en la parte inferior del regenerador, y de 982 °C a 1260 °C (1800 °F a 2300 °F) en la parte superior, y puede esperarse que aumenten antes del final de este ciclo hasta temperaturas del orden de 360 °C a 538 °C (600 °F a 1000 °F) en la parte inferior, y de 1038 °C a 1316 °C (1900 °F a 2400 °F) en la parte superior. En el mismo ciclo, las temperaturas dentro del regenerador (700) al comienzo del ciclo pueden ser del orden de 260 °C a 482 °C (500 °F a 900 °F) en la parte inferior del regenerador, y de 982 °C a 1260 °C (1800 °F a 2300 °F) en la parte superior, y puede esperarse que aumenten antes del final de este ciclo hasta temperaturas del orden de 316 °C a 538 °C (600 °F a 1000 °F) en la parte inferior, y de 1038 °C a 1260 °C (1900 °F a 2300 °F) en la parte superior. En el mismo ciclo, las temperaturas dentro del regenerador (100) al comienzo del ciclo pueden ser del orden de 316 °C a 538 °C (600 °F a 1000 °F) en la parte inferior del regenerador, y de 1038 °C a 1316 °C (1900 °F a 2400 °F) en la parte superior, y pueden esperarse que disminuyan antes del final de este ciclo hasta temperaturas del orden de 260 °C a 482 °C (500 °F a 900 °F) en la parte inferior, y de 982 °C a 1260 °C (1800 °F a 2300 °F) en la parte superior. En el mismo ciclo, las temperaturas dentro del regenerador (600) al comienzo del ciclo pueden ser del orden de 316 °C a 538 °C (600 °F a 1000 °F) en la parte inferior del regenerador, y de 1038 °C a 1316 °C (1900 °F a 2400 °F) en la parte superior, y pueden esperarse que disminuyan antes del final de este ciclo hasta temperaturas del orden de 260 °C a 482 °C (500 °F a 900 °F) en la parte inferior, y de 982 °C a 1260 °C (1800 °F a 2300 °F) en la parte superior.
- 20
- 25
- 30
- 35 Estos valores se esperarían si el ciclo se invierte aproximadamente cada 20 minutos. Cuando el ciclo se invierte con menos frecuencia, la diferencia entre las temperaturas al principio y al final de cada ciclo (56 °C, es decir 100 °F, en este ejemplo) se prevé que sea mayor, e incluso el doble, es decir, aproximadamente 111 °C (200 °F), tan grande como estos valores si los ciclos se invierten la mitad de las veces, es decir, cada 40 minutos.
- 40 Ejemplo 1
 - En una horna de fundición de vidrio de 350 toneladas por día (tpd) funcionando mediante combustión de gas natural con oxígeno ("oxicombustible") utilizando 2,6 MW de estímulo eléctrico, la cantidad de deshecho de vidrio cargado al horno corresponde al 50 % del vidrio producido por el horno. La entrada de gas natural es de 38,1 MMBtu HHV/h y el estímulo eléctrico proporciona 8,4 MMBtu/h de energía neta al horno. Las pérdidas de calor de la pared del horno son de 6,4 MMBtu/h y el vidrio fundido producido en el horno contiene 23,4 MMBtu/h de energía sensible y química. El resto del equilibrio térmico es la pérdida térmica del gas de combustión de 16,3 MMBtu HHV/h a 1482 °C (2700 °F) y la pérdida de radiación del puerto de combustión de 0,3 MMBtu/h.
 - 45
 - 50 En el mismo horno, equipado con un TCR y un precalentador (20A) de deshecho de vidrio de contacto directo corriente abajo para recuperación adicional de calor, todo como se muestra en la Figura 1 y se ilustra en la Figura 7a, el gas de combustión caliente a una temperatura de 1482 °C (2700 °F) sale del horno y entra en el regenerador (200). Con el sistema combinado TCR-precalentador de deshecho de vidrio, la entrada de combustible se reduce en 24,7 % a 28,7 MMBtu HHV/h. El caudal del gas de combustión del horno es aproximadamente 4361 m³/h (154.000 SCFH) y la temperatura del gas de combustión que sale del regenerador (200) se calcula que es aproximadamente 538 °C (1000 °F). Si la temperatura del gas de combustión está demasiado caliente como para introducirlo directamente en la estación (20) de precalentamiento de deshecho de vidrio corriente abajo, se puede, opcionalmente, utilizar inyección de agua o de gas de combustión reciclado para modular la temperatura del gas de combustión.
 - 55
 - 60 El gas de combustión del regenerador (200) se divide en dos corrientes, (204) y (204A). La corriente (204) se introduce en la estación precalentadora (20) de deshecho de vidrio que también se carga con deshecho de vidrio posconsumo (deshecho de vidrio externo) que contenga impurezas orgánicas, tales como residuos de alimentos y papel. Aproximadamente el 70 % del deshecho de vidrio es deshecho de vidrio posconsumo, y aproximadamente el 30 % del deshecho de vidrio es, en este ejemplo, deshecho de vidrio limpio que se genera internamente. En un relación de masa RFG/NG de 1, se introducen aproximadamente 793 m³/h (28.000 SCFH) de gas de combustión en la estación (20), y el gas de combustión enfriado que sale de la estación (20), que contiene productos orgánicos de la pirólisis, se recicla, se
 - 65

mezcla con el combustible de reformado, y se inyecta en el regenerador (100) para la recuperación de calor, para la formación de gas sintético, y para la destrucción de los productos gaseosos de la pirólisis en el paquete de material refractario. La corriente (204) (3568 m³/h [126.000 SCFH]) puede introducirse en una estación opcional de recuperación de calor, tal como un precalentador de deshecho de vidrio limpio o un precalentador de hornada o una caldera de calor residual, y expulsarlo a la atmósfera tras pasar a través de un sistema de limpieza de gas de combustión apropiado.

Ejemplo 2

El mismo horno, como se describe en el Ejemplo 1, se equipó con TCR, con regeneradores de precalentamiento de oxígeno, y con una sección precalentadora (20) de deshecho de vidrio, como se describe en las Figuras 4-6 y se ilustran en la Figura 7b. El gas de combustión caliente, a una temperatura de 1482 °C (2700 °F) sale del horno y entra en los regeneradores (200) y (700). Con el sistema de recuperación de calor combinado, la entrada de combustible se reduce en 28,9 % a 27,1 MMBtu HHV/h. El caudal del gas de combustión del horno es de aproximadamente 4163 m³/h (147.000 SCFH), y la temperatura del gas de combustión después del O2-TCR dual se calcula que sea aproximadamente 407 °C (765 °F). El gas de combustión de los regeneradores (200) y (700) se divide en las corrientes (204) y (204A). La corriente (204) se usa como reactivos de reformado y se introduce en un precalentador (20) de deshecho de vidrio de contacto directo cargado con deshecho de vidrio posconsumo que contenga impurezas orgánicas, tales como residuos alimenticios y papel. Aproximadamente el 70 % del deshecho de vidrio es deshecho de vidrio posconsumo, y aproximadamente el 30 % del deshecho de vidrio es, en este ejemplo, deshecho de vidrio limpio que se genera internamente. En una relación de masa RFG/NG de 1, se introducen aproximadamente 765 m³/h (27.000 SCFH) de gas de combustión en el precalentador (20), y el gas de combustión enfriado tras el precalentador (20), que contiene productos orgánicos de la pirólisis, se recicla, se mezcla con el combustible de reformado, y se inyecta en el regenerador de TCR (100) para la recuperación de calor, para la formación de gas sintético, y para la destrucción de los productos gaseosos de la pirólisis del gas en el paquete de material refractario. La corriente (204A) (3398 m³/h [120.000 SCFH]) se introduce en una unidad opcional (20A) de recuperación de calor, tal como un precalentador de deshecho de vidrio limpio o un precalentador de hornada o una caldera de calor residual, y se expulsa a la atmósfera tras pasar a través de un sistema de limpieza de gas de combustión apropiado.

El intervalo preferido del caudal para la corriente (204) se determina en parte a partir de la relación preferida de los caudales de RFG a NG para el funcionamiento de TCR que

es de entre 0,5 a 3. Hay un caudal mínimo preferido de corriente (204) para vaporizar agua y para pirolizar materia orgánica en el deshecho de vidrio. Se prefiere maximizar la pirólisis de materia orgánica porque el deshecho de vidrio que contiene materia orgánica afecta al redox del vidrio durante la fusión en el horno y para minimizar la variación de contenido orgánico en el deshecho de vidrio. Al pirolizar la materia orgánica en el deshecho de vidrio y en la hornada, el redox del producto de vidrio se vuelve más estable, lo cual es beneficioso para el funcionamiento del horno.

Ejemplo 3

El mismo horno como se describe en el Ejemplo 1, se equipó con TCR, y la sección precalentadora indirecta (20) de deshecho de vidrio, como se describe en las Figura 1a y se ilustra en la Figura 7c. El gas de combustión caliente a una temperatura de 1482 °C (2700 °F) sale del horno y entra en el regenerador (200). Con el sistema combinado TCR-precalentador indirecto de deshecho de vidrio, la entrada de combustible se reduce a aproximadamente 27,5 MMBtu HHV/h. El caudal del gas de combustión del horno es aproximadamente 4163 m³/h (147.000 SCFH) y la temperatura del gas de combustión que sale del regenerador (200) se calcula que sea aproximadamente 538 °C (1000 °F). Si la temperatura del gas de combustión está demasiado caliente como para introducirlo directamente en la estación (20) de precalentamiento de deshecho de vidrio corriente abajo, se puede, opcionalmente, utilizar inyección de agua o de gas de combustión reciclado para modular la temperatura del gas de combustión.

El gas de combustión del regenerador (200) se introduce en la estación precalentadora indirecta (20) de deshecho de vidrio que se carga tanto con el deshecho de vidrio interno como el de posconsumo (deshecho de vidrio externo) que contiene impurezas orgánicas, tales como residuos de comida y papel. Todo el gas de combustión se introduce en la estación (20) y los productos orgánicos de la pirólisis se mezclan con recycled flue gas (gas de combustión reciclado - RFG) y se inyectan en el regenerador (100) con combustible de reformado para la recuperación de calor, para la formación de gas sintético, y para la destrucción de los productos gaseosos de la pirólisis en el paquete de material refractario.

REIVINDICACIONES

1. Un método para llevar a cabo la combustión en un horno de fundición de vidrio, que comprende
 - (A) quemar combustible en un horno (10) de fundición de vidrio para producir productos (50) gaseosos de combustión, y
 - (B) alternativamente
 - (1) (a) pasar productos gaseosos de combustión del horno a y a través de un primer regenerador enfriado (200) para calentar el primer regenerador y enfriar dichos productos gaseosos de combustión,
 - (b) pasar una primera parte (204) de dichos productos gaseosos de combustión enfriados desde dicho primer regenerador en intercambio térmico con material (209) para fabricación de vidrio que contenga sustancias orgánicas para enfriar más los productos gaseosos de combustión enfriados y calentar el material para fabricación de vidrio y pirolizar las sustancias orgánicas contenidas en el mismo para formar productos de la pirólisis, y
 - (c) pasar los productos gaseosos de combustión adicionalmente enfriados, los productos de la pirólisis y el combustible, a un segundo regenerador calentado (100) y, en el segundo regenerador, hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión, los productos de la pirólisis, y el combustible en una reacción endotérmica para formar un gas sintético que comprenda hidrógeno y CO, y pasar dicho gas sintético del segundo regenerador al horno y quemarlo en el horno, y
 - (d) alimentar a dicho horno dicho material (219) para fabricación de vidrio calentado; y
 - (2) (a) pasar productos gaseosos de combustión del horno a y a través de un segundo regenerador enfriado para calentar el segundo regenerador y enfriar dichos productos gaseosos de combustión,
 - (b) pasar una primera parte de dichos productos gaseosos de combustión enfriados desde dicho segundo regenerador en intercambio térmico con material sólido para fabricación de vidrio que contenga sustancias orgánicas para enfriar más los productos gaseosos de combustión enfriados y calentar el material para fabricación de vidrio y pirolizar las sustancias orgánicas contenidas en el mismo para formar productos de la pirólisis, y
 - (c) pasar los productos gaseosos de combustión adicionalmente refrigerados, los productos de la pirólisis 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 para formar gas sintético que comprenda hidrógeno y CO, y pasar dicho gas sintético del primer regenerador al horno y quemarlo en el horno, y
 - (d) alimentar a dicho horno dicho material para fabricación de vidrio calentado.
 2. Un método, según la reivindicación 1, en donde en las Etapas (B)(1)(b) o (B)(2)(b), o en ambas, dicho intercambio térmico es directo.
 3. Un método, según la reivindicación 1, en donde en las Etapas (B)(1)(b) o (B)(2)(b), o en ambas, dicho intercambio térmico es indirecto.
 4. Un método, según la reivindicación 1, que comprende, además, alternativamente, pasar una parte (204A) de dichos productos gaseosos de combustión enfriados de dicho primer regenerador (200) en intercambio térmico con una segunda corriente de material sólido (209A) para fabricación de vidrio para enfriar más dicha parte de los productos gaseosos de combustión enfriados y calentar la segunda corriente de material para fabricación de vidrio, y alimentar dicha segunda corriente calentada (219A) de material para fabricación de vidrio a dicho horno (10); y pasar una parte de dichos productos gaseosos de combustión enfriados de dicho segundo regenerador en intercambio térmico con una segunda corriente de material para fabricación de vidrio para enfriar más dicha parte de productos gaseosos de combustión enfriados y calentar la segunda corriente de material para fabricación de vidrio, y alimentar dicha segunda corriente calentada de material para fabricación de vidrio a dicho horno.
 5. Un método, según la reivindicación 1, en donde los productos gaseosos de combustión adicionalmente enfriados de dicho primer regenerador (200) formados en dicho intercambio térmico de este y los productos

gaseosos de combustión adicionalmente enfriados de dicho segundo regenerador (100) formados en dicho intercambio térmico del mismo contienen productos de la pirólisis.

- 6. Un método, según la reivindicación 1, en donde los productos gaseosos de combustión enfriados de dicho primer regenerador (200) y los productos gaseosos de combustión enfriados de dicho segundo regenerador (100) se enfrian más en intercambio térmico indirecto del mismo, y dicho intercambio térmico indirecto no forma productos de la pirólisis en el mismo.
- 7. Un método para llevar a cabo la combustión en un horno de fundición de vidrio, que comprende
 - (A) quemar combustible en un horno (10) de fundición de vidrio para producir productos gaseosos de combustión, y
 - (B) de forma alternativa (1) (i) pasar una primera cantidad de productos gaseosos de combustión del horno a y a través de un primer regenerador enfriado (200) para calentar el primer regenerador y enfriar dicha primera cantidad de productos gaseosos de combustión,
 - (ii) pasar una segunda cantidad de productos gaseosos de combustión del horno a y a través de un segundo regenerador enfriado (700) para calentar el segundo regenerador y enfriar dicha segunda cantidad de productos gaseosos de combustión,
 - (iii) pasar los productos gaseosos de combustión enfriados de dicho primer regenerador, de dicho segundo regenerador, o de ambos dichos primer y segundo regeneradores, en intercambio térmico con material sólido (209) para fabricación de vidrio que contenga material orgánico, para enfriar más los productos gaseosos de combustión enfriados y calentar el material para fabricación de vidrio y pirolizar el material orgánico en el material para fabricación de vidrio, para formar productos de la pirólisis, y alimentar dicho material para fabricación de vidrio a dicho horno,
 - (iv) pasar el combustible de reformado, los productos gaseosos de combustión adicionalmente enfriados, los productos de la pirólisis y los productos gaseosos de combustión enfriados de dicho primer regenerador, los productos gaseosos de combustión enfriados de dicho segundo regenerador, o los productos gaseosos de combustión enfriados de ambos dichos primero y segundo regeneradores, a un tercer regenerador calentado (100),
 - (v) hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión y el combustible de reformado y los productos de la pirólisis en el tercer regenerador en una reacción endotérmica bajo condiciones efectivas para formar gas sintético que comprenda hidrógeno y monóxido de carbono y, de ese modo, enfriar el tercer regenerador,
 - (vi) pasar el oxidante gaseoso a y a través de un cuarto regenerador calentado (600) para calentar el oxidante gaseoso y enfriar el cuarto regenerador, y
 - (vii) pasar dicho gas sintético y cualquier producto de la pirólisis sin reaccionar desde dicho tercer regenerador a dicho horno, pasando dicho oxidante gaseoso calentado desde el cuarto regenerador al horno, y quemar en el horno el gas sintético, cualquier producto de la pirólisis sin reaccionar, y dicho oxidante gaseoso calentado;
- a la vez que se mantiene la diferencia de temperaturas de los productos de combustión que pasan hacia fuera de dichos primer y segundo regeneradores, a 167 K (300 °F) o menos;
- y
- (2) (i) pasar una primera cantidad de los productos gaseosos de combustión del horno a y a través de un tercer regenerador enfriado para calentar el tercer regenerador y enfriar dicha primera cantidad de productos gaseosos de combustión,
- (ii) pasar una segunda cantidad de productos gaseosos de combustión del horno a y a través de un cuarto regenerador enfriado para calentar el cuarto regenerador y enfriar dicha segunda cantidad de productos gaseosos de combustión,
- (iii) pasar los productos gaseosos de combustión enfriados de dicho tercer regenerador, de dicho cuarto regenerador, o de ambos dichos tercer y cuarto regeneradores, en intercambio térmico con material sólido para fabricación de vidrio que contenga material orgánico, para enfriar más los productos gaseosos de combustión enfriados y calentar material para fabricación de vidrio y pirolizar el material orgánico en el material para fabricación de vidrio, para formar productos de la pirólisis, y alimentar a dicho horno dicho material para fabricación de vidrio,
- (iv) pasar el combustible de reformado, los productos gaseosos de combustión adicionalmente enfriados, los productos de la pirólisis y los productos gaseosos de combustión enfriados de dicho tercer regenerador, productos gaseosos de combustión enfriados de dicho cuarto regenerador, o productos gaseosos de combustión enfriados de ambos dichos tercer y cuarto regeneradores, a un primer regenerador calentado,
- (v) hacer reaccionar los productos gaseosos de combustión y el combustible de reformado y los productos de la pirólisis en el primer regenerador en una reacción endotérmica bajo condiciones

- efectivas para formar gas sintético que comprenda hidrógeno y monóxido de carbono y, de ese modo, enfriar el primer regenerador,
- (vi) pasar el oxidante gaseoso a, y a través de, un segundo regenerador calentado para calentar el oxidante gaseoso y enfriar el segundo regenerador, y
- (vii) pasar dicho gas sintético y cualquier producto de la pirólisis sin reaccionar desde dicho primer regenerador a dicho horno, pasando dicho oxidante gaseoso calentado desde segundo regenerador al horno, y quemando en el horno el gas sintético, cualquier producto de la pirólisis sin reaccionar, y dicho oxidante gaseoso calentado;
- 10 a la vez que se mantiene la diferencia de temperaturas de los productos de combustión que pasan hacia fuera de dichos tercer y cuarto regeneradores, a 167 K (300 °F) o menos.
8. Un método, según la reivindicación 7, en donde en las Etapas (B)(1)(iii) o (B)(2)(iii), o en ambas, dicho intercambio térmico es directo.
- 15 9. Un método, según la reivindicación 7, en donde en las Etapas (B)(1)(iii) o (B)(2)(iii), o en ambas, dicho intercambio térmico es indirecto.
10. Un método, según la reivindicación 7, que comprende, además, alternativamente, pasar una parte de dichos 20 productos gaseosos de combustión enfriados de dicho primer regenerador (200), de dicho segundo regenerador (700), o de ambos dichos primer y segundo regeneradores, en intercambio térmico con una segunda corriente (209A) de material sólido para fabricación de vidrio para enfriar más dicha parte de productos gaseosos de combustión enfriados y calentar la segunda corriente de material para fabricación de vidrio, y alimentar a dicho horno (10) dicha segunda corriente calentada (219A) de material para fabricación de vidrio; y pasar una parte de dichos productos gaseosos de combustión enfriados de dicho tercero 25 regenerador, de dicho cuarto regenerador, o de ambos dichos tercer y cuarto regeneradores, en intercambio térmico con una segunda corriente de material para fabricación de vidrio para enfriar más dicha parte de productos gaseosos de combustión enfriados, y calentar la segunda corriente de material para fabricación de vidrio, y alimentar a dicho horno dicha segunda corriente calentada de material para fabricación de vidrio.
- 30 11. Un método, según la reivindicación 7, en donde los productos gaseosos de combustión adicionalmente enfriados de dicho primer regenerador (200), de dicho segundo regenerador (700), o de ambos dichos primer y segundo regeneradores, formados en intercambio térmico de los mismos, contienen productos de la pirólisis, y los productos gaseosos de combustión adicionalmente enfriados de dicho tercero 35 regenerador (100), de dicho cuarto regenerador (600), o de ambos dichos tercer y cuarto regeneradores, formados en intercambio térmico de los mismos, contienen productos de la pirólisis.
12. Un método, según la reivindicación 7, en donde los productos gaseosos de combustión enfriados de dicho primer regenerador (200), de dicho segundo regenerador (700), o de ambos dichos primer y segundo regeneradores, y los productos gaseosos de combustión adicionalmente enfriados de dicho tercero 40 regenerador (100), de dicho cuarto regenerador (600), o de ambos dichos tercer y cuarto regeneradores, se enfrián más en intercambio térmico indirecto del mismo, y dicho intercambio térmico indirecto no forma los productos de la pirólisis en los mismos.

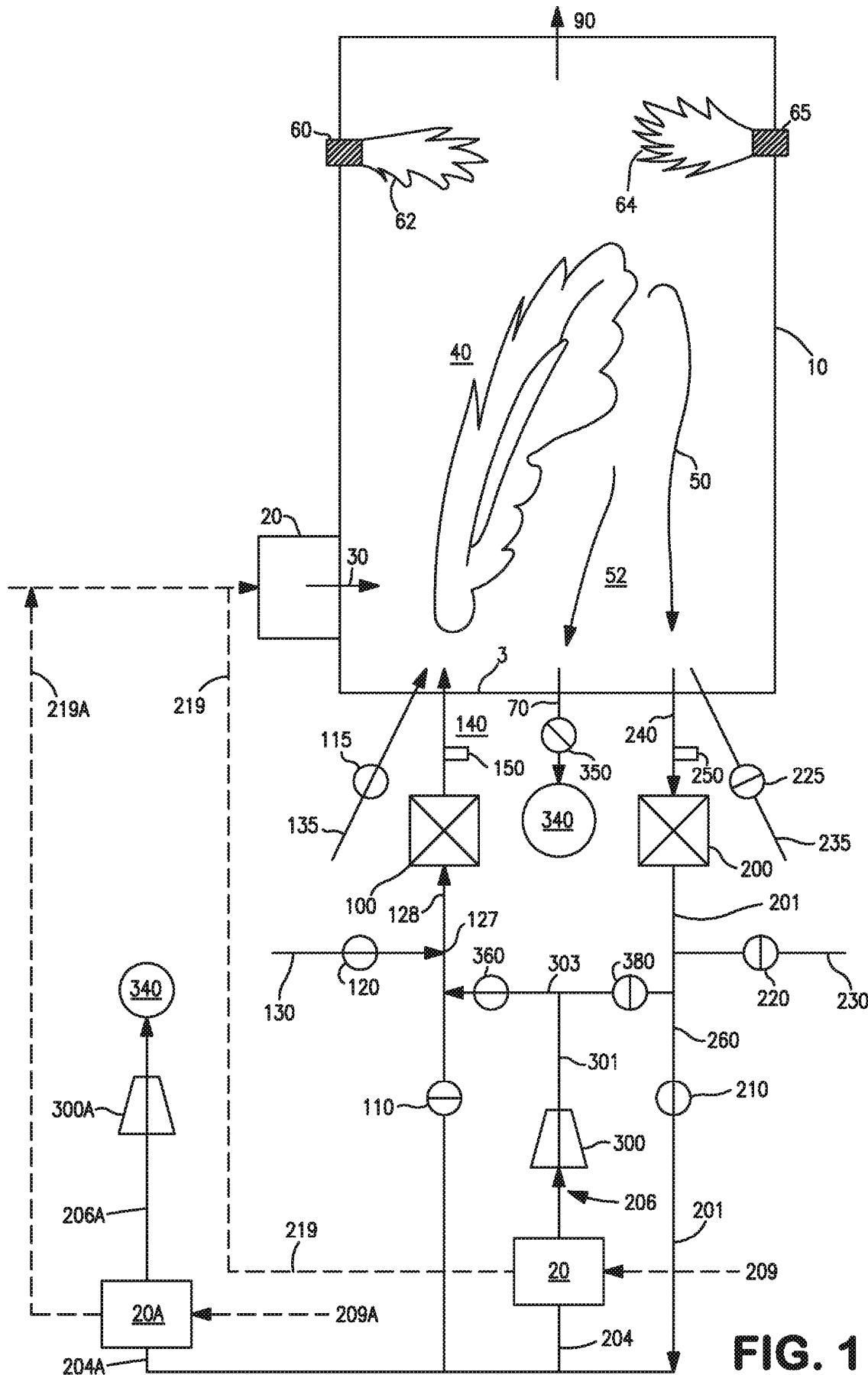
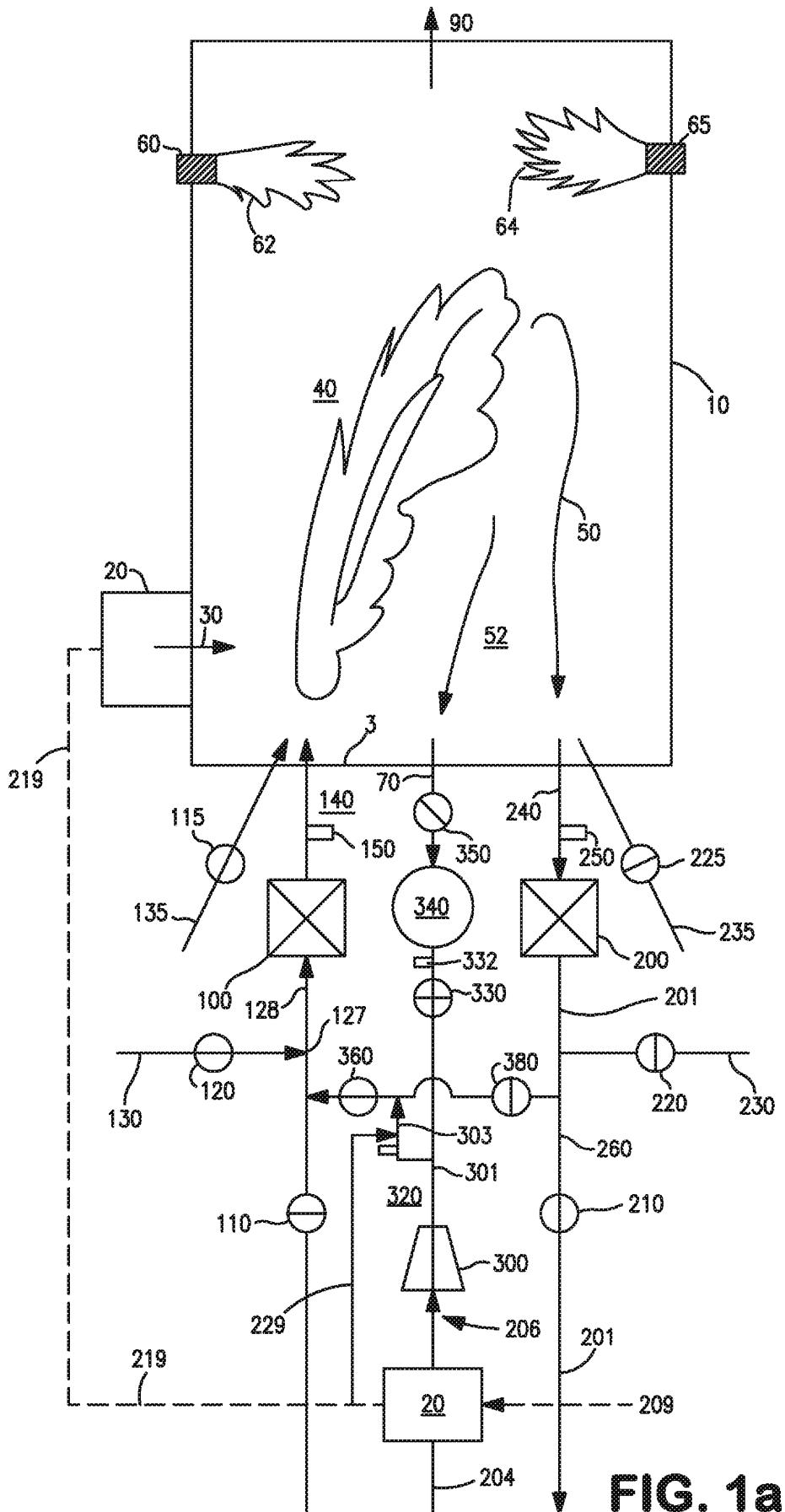
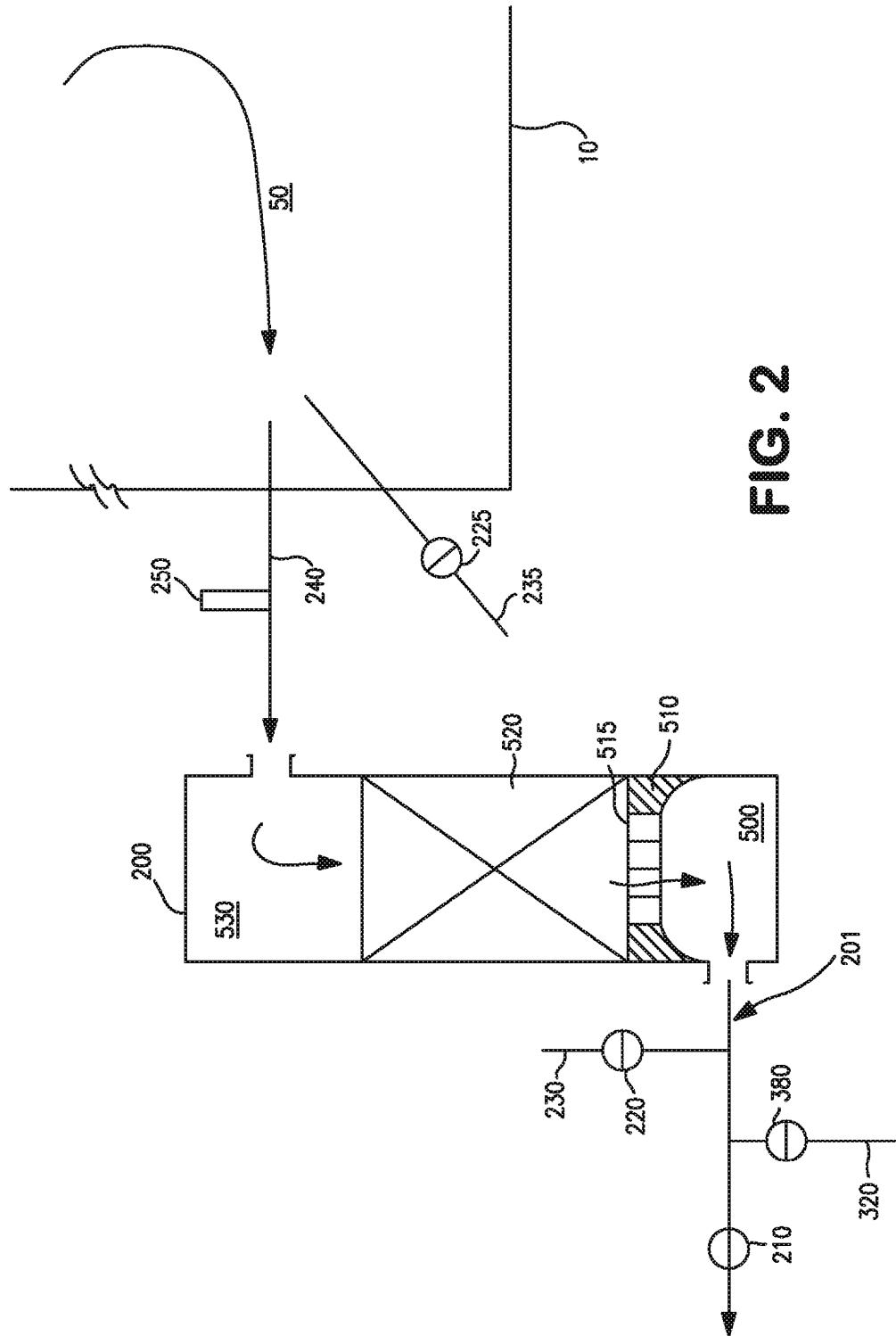
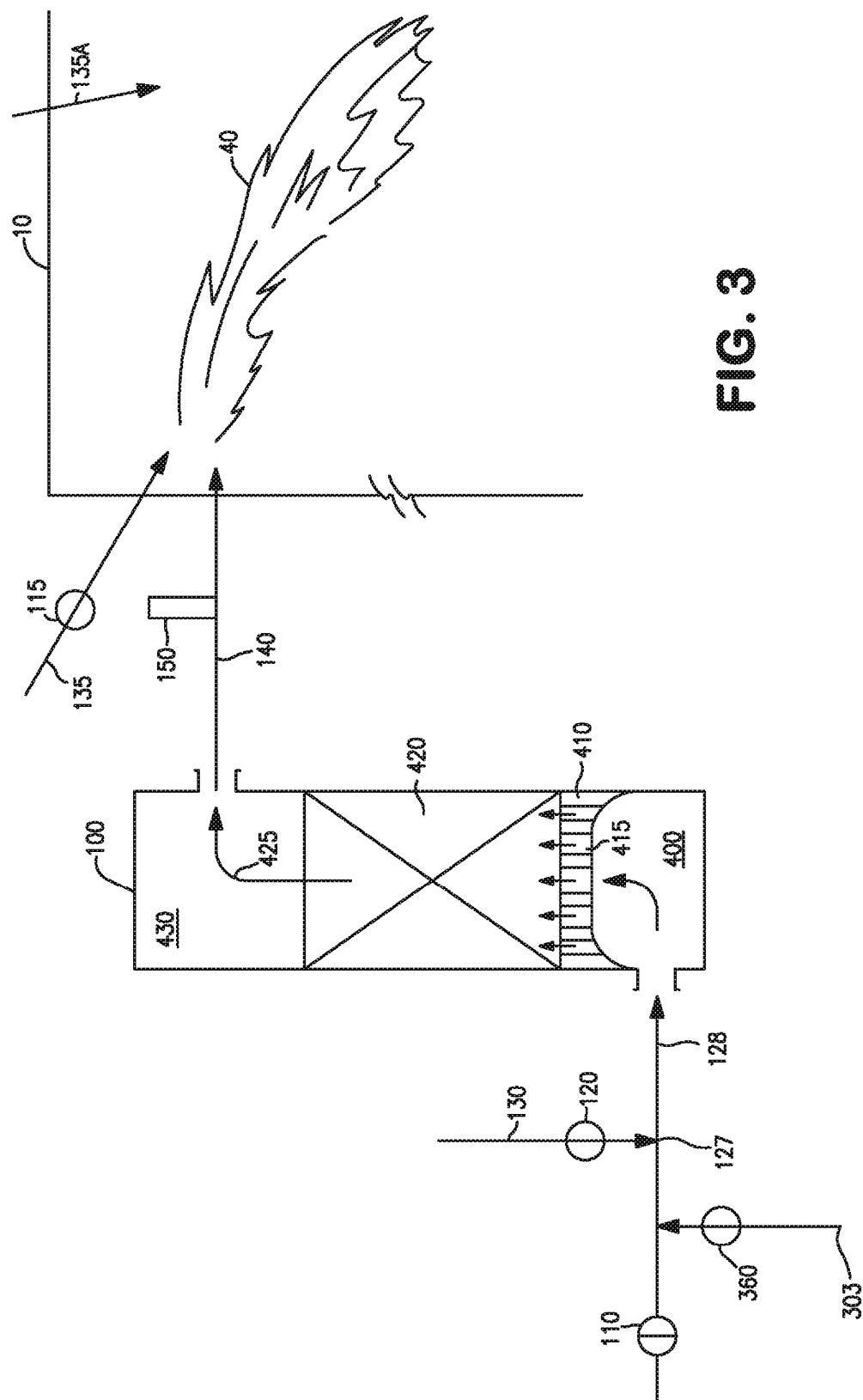
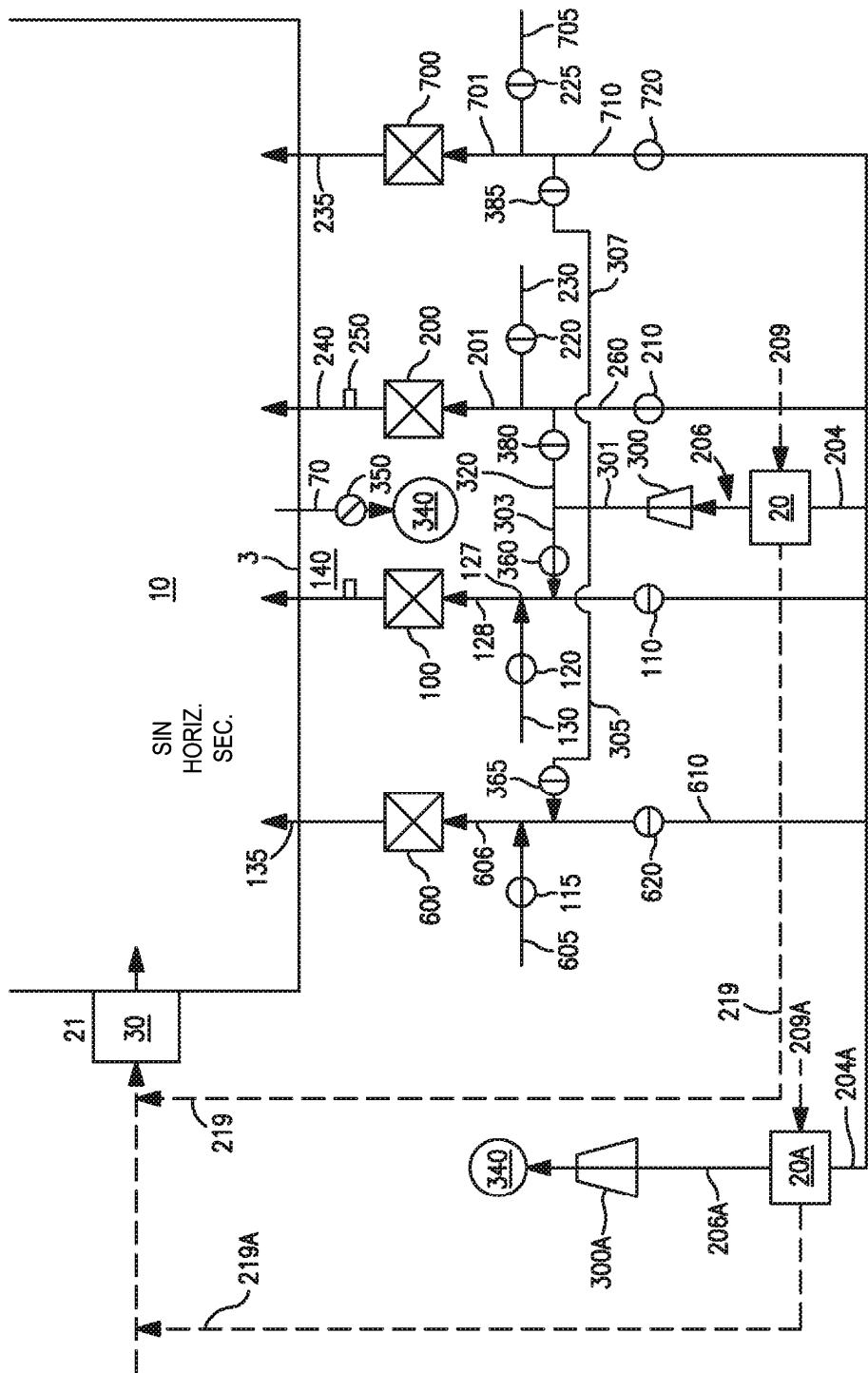


FIG. 1

**FIG. 1a**



**FIG. 3**

**FIG. 4**

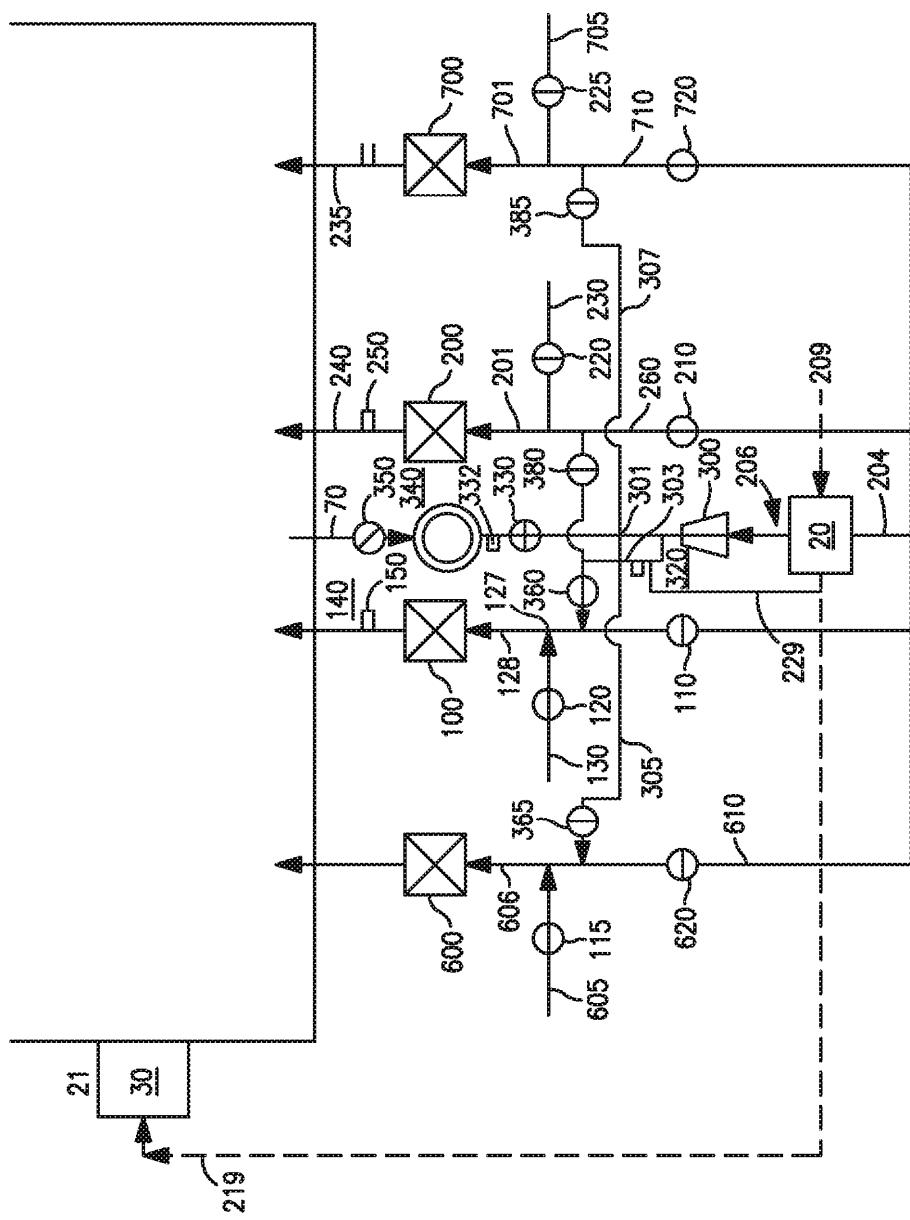
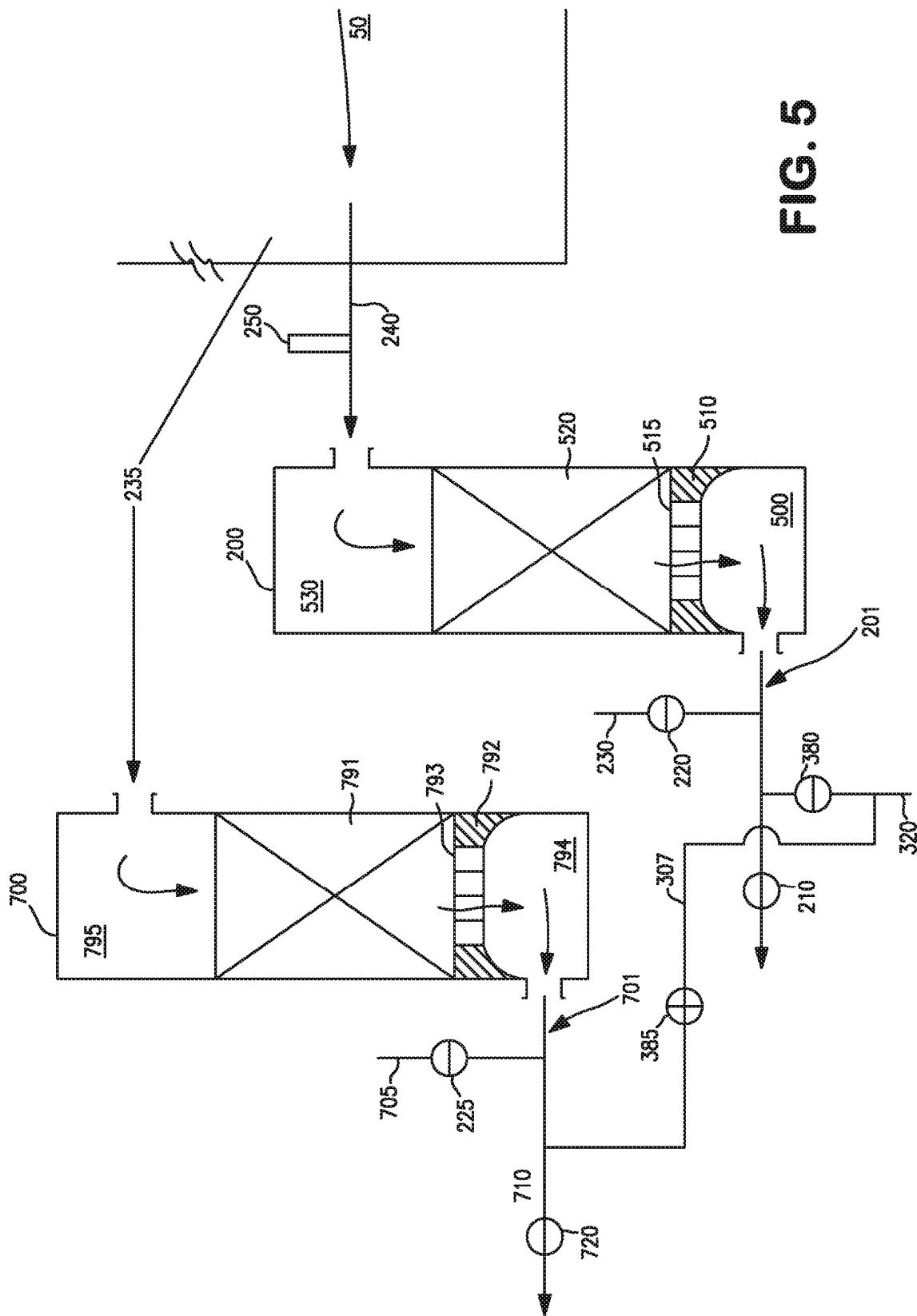


FIG. 4a

**FIG. 5**

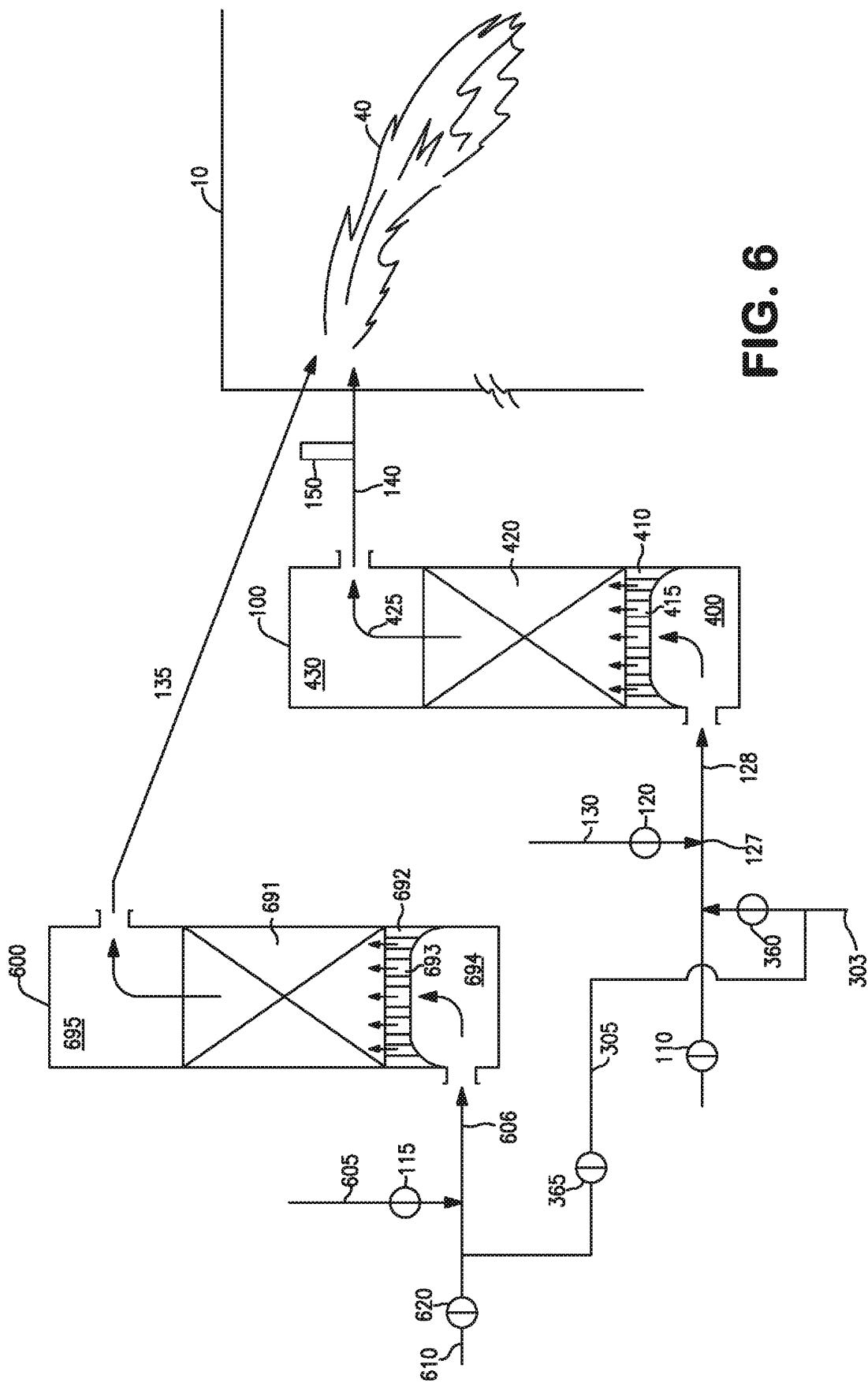
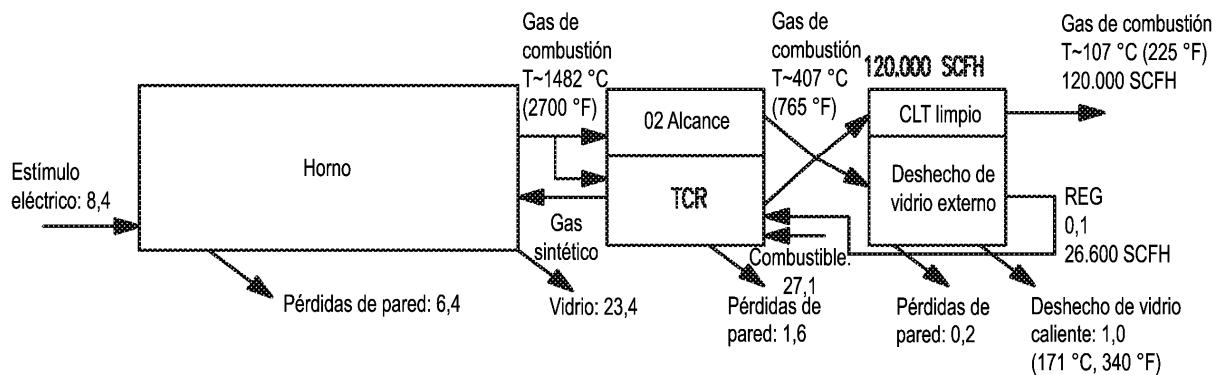
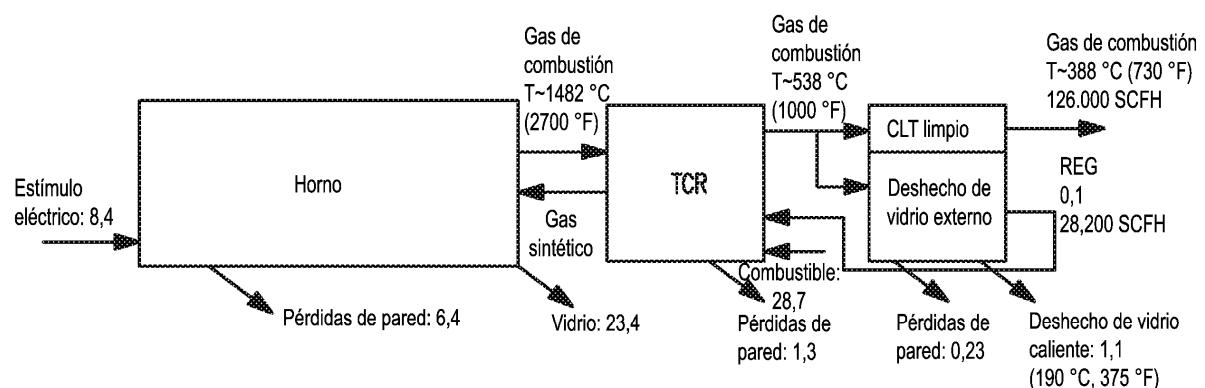
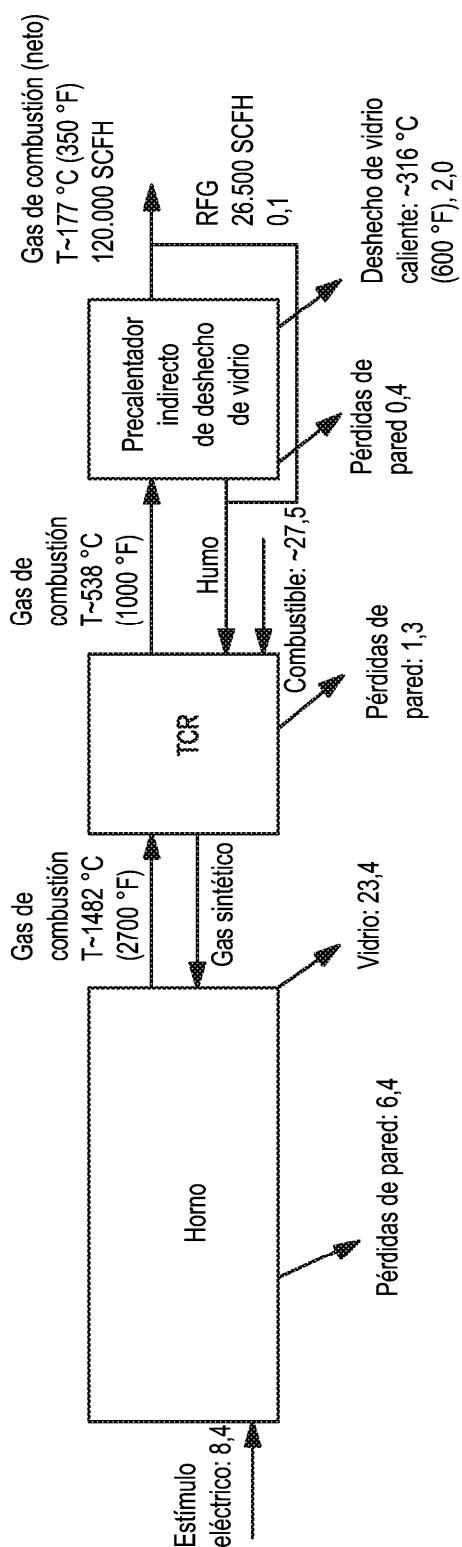


FIG. 6



**FIG. 7c**