

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 716 245**

51 Int. Cl.:

F23C 99/00 (2006.01)

F23C 9/00 (2006.01)

F23J 15/00 (2006.01)

F23L 7/00 (2006.01)

F23N 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.05.2011 PCT/CA2011/000593**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.11.2012 WO12159189**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2011 E 11866158 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2019 EP 2715233**

54 Título: **Sistema de oxi-combustión de combustible fósil a alta presión con captura de dióxido de carbono para su conexión con un sistema de conversión de energía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.06.2019

73 Titular/es:

**HER MAJESTY THE QUEEN IN RIGHT OF
CANADA AS REPRESENTED BY THE MINISTER
OF NATURAL RESOURCES (100.0%)
580 Booth Street, 16th Floor
Ottawa, Ontario K1A 0E4 , CA**

72 Inventor/es:

**ZANGANEH, KOUROSH, ETEMADI;
PEARSON, WILLIAM, JOHN;
MITROVIC, MILENKA y
SHAFEEN, AHMED**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 716 245 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

Sistema de oxi-combustión de combustible fósil a alta presión con captura de dióxido de carbono para su conexión con un sistema de conversión de energía

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a sistemas de combustión y procedimientos operativos de sistemas de combustión y, en particular, a un sistema de combustión para la conexión operativa con un sistema de conversión de energía. Más concretamente, la invención se refiere a un sistema de combustión de encendido por oxígeno bajo presión que utiliza dióxido de carbono supercrítico y a un procedimiento de operar el sistema para su interconexión con un sistema de ciclo cerrado de Brayton de dióxido de carbono supercrítico.

10 Antecedentes de la invención

Las emisiones de los gases invernadero a la atmósfera están aumentando a una escala alarmante y, entre ellas, las emisiones de dióxido de carbono, como resultado de la utilización incrementada de combustibles fósiles, constituyen un factor considerable para el calentamiento global en el cambio climático, lo que ha llevado a la aplicación de esfuerzos internacionales para desarrollar sistemas de energía baja en carbono que resulten menos dependientes de los combustibles fósiles. Sin embargo, los costes relativos de los combustibles alternativos a los combustibles fósiles presentan una desventaja significativa lo que ha llevado a la aplicación de esfuerzos para desarrollar tecnologías que, en el curso de la transición de la economía baja en carbono, puedan utilizar combustible fósiles pero sin los graves efectos de las emisiones de gases invernadero. Para procesos industriales, por ejemplo, para la generación de energía, estos esfuerzos incluyen procedimientos mejorados de capturar el dióxido de carbono a partir de los procesos y el incremento de la eficiencia del proceso de generación de energía. En el caso de la generación de energía, estos procedimientos son la captura de dióxido de carbono precombustión, la captura de dióxido de carbono postcombustión y la combustión de oxi-combustible con captura de dióxido de carbono. Sin embargo, cada uno de estos procedimientos presenta unas desventajas asociadas con los costes de capital y operativos de las plantas de captura de dióxido de carbono, y en el caso de los gasificadores sopladados con oxígeno de procesos de oxi-combustible a partir de unidades conocidas de separación de aire criogénicas. Además de los elevados costes de construcción y operativos, otras desventajas son conocidas en relación con cada uno de estos procedimientos incluyendo la complejidad de la tecnología y los riesgos asociados y la baja eficiencia energética en comparación con el funcionamiento de las plantas anteriores, en particular para la generación de energía.

En el documento US 4,498,289 se describe un ciclo de energía expuesta al fuego directo mejorado que genera y emplea un gas de combustión, por ejemplo, dióxido de carbono, como fluido de trabajo que experimenta una expansión de turbina para obtener energía y recompresión para su reutilización. El documento US 4,498,289 divulga también un sistema de combustión para la conexión operacional con un sistema de conversión de energía, en el que el sistema de conversión de energía es un sistema Brayton cerrado.

Se han avanzado propuestas para la integración de los ciclos Brayton cerrados con una fuente de calor nuclear o con una fuente de calor solar. Sin embargo, cada una de estas fuentes presenta desventajas inherentes en base a la naturaleza de la fuente y desventajas significativas de coste, de manera que el uso de un combustible fósil para la fuente de calor permanece siendo atractiva si las emisiones de dióxido de carbono pueden ser sustancialmente reducidas o eliminadas.

Se ha encontrado ahora que muchas de las desventajas identificadas anteriormente, y otras, pueden ser afrontadas y superadas por un proceso sencillo, eficiente, compacto, y de bajas emisiones en un sistema de combustión presurizado que está construido para su conexión con un sistema de conversión de energía, en particular un sistema de ciclo Brayton cerrado de dióxido de carbono supercrítico o sistemas similares, por ejemplo, pero no limitados a, sistemas para la generación de energía. El sistema y el procedimiento de la invención proporciona una integración de un proceso de combustión altamente eficiente de combustible presurizado con emisiones prácticamente nulas con el sistema de conversión de energía. Los sistemas y el procedimiento de combustión de la invención puede ser operado con combustibles fósiles en sus diversas formas, esto es, como combustibles gaseosos, líquidos o sólidos.

En el sistema y procedimiento de la invención, el calor es suministrado al sistema de expulsión de energía por un cambiador de calor de conexión, y la temperatura de la combustión y, por tanto, la corriente del producto de la combustión que pasa hacia y a través del cambiador de calor puede, en parte, ser moderado y controlado por las tasas de flujo en masa del combustible y el oxígeno así como por la recirculación selectiva dentro del quemador de parte de la corriente de gases de combustión que salen del cambiador de calor, para satisfacer las exigencias de energía térmica del sistema de conversión de energía en el cambiador de calor.

También se ha encontrado que pueden conseguirse eficiencias suplementarias mediante el uso de la corriente de gases de combustión para precalentar la alimentación de combustible entrante y la alimentación de oxígeno entrante. Dependiendo de la configuración del sistema de conversión de energía, el calor excedente que proviene del sistema puede ser utilizado para calentar el suministro de combustible entrante y alimentar oxígeno para el sistema de combustión. Así mismo, pueden conseguirse eficiencias adicionales utilizando la corriente de gases de combustión para conectar una máquina motriz conectada a la bomba de circulación. Así mismo, la operación a alta

presión del sistema de combustión en la sección supercrítica de dióxido de carbono sobrante evita la necesidad energética de la compresión de la corriente de escape de dióxido de carbono para su almacenamiento o utilización. Así mismo, la corriente de escape del gas de combustión presurizada puede ser purificada utilizando menos tecnologías intensivas como por ejemplo membranas.

5 **Sumario de la invención**

Por tanto, la invención busca proporcionar un sistema de combustión para su conexión operativa con un sistema de conversión de energía y un procedimiento de suministrar energía a un sistema de conversión de energía de acuerdo, respectivamente, con la reivindicación 1 y la reivindicación 17. Características y ventajas detalladas adicionales se describen en las reivindicaciones dependientes.

10 **Breve descripción de los dibujos**

A continuación se describirá la invención en relación con los dibujos, en los que

la Figura 1 es una representación esquemática de una disposición similar a la invención;

la Figura 2 es una representación esquemática de una primera forma de realización de la invención, para un combustible gaseoso;

15 la Figura 3 es una representación esquemática de una primera forma de realización de la invención, para un combustible líquido;

la Figura 4 es una representación esquemática de una segunda forma de realización, para un combustible sólido; y

20 la Figura 5 es una representación esquemática de una tercera forma de realización de la invención, para un combustible con impurezas en suspensión.

Descripción detallada de los dibujos

Con referencia, en primer término, a la Figura 1, en ella se muestra un sistema de combustión 5 en una representación esquemática que comprende el sistema 5 construido para estar adecuadamente conectado con cualquier sistema de conversión de energía (no mostrado) que está diseñado para recibir energía térmica por contacto. En esta forma de realización, el sistema de combustión 5 comprende un quemador 10, mostrado y que presenta una pluralidad de regiones, diseñadas para el encendido por oxígeno presurizado y que presenta una entrada 12 de oxígeno, una entrada 14 de combustible y una salida 18 de los productos de combustión, desde la cual la corriente del gas de combustión puede pasar hacia la entrada 22 del cambiador de calor 120, y a lo largo de la vía 28 hasta la salida 24 del cambiador de calor. El calor procedente de la corriente de gas de combustión que pasa a través del cambiador de calor 120 es recibida por el sistema de conversión de energía desde la superficie 26 de contacto mediante cualquier medio apropiado (no mostrado).

Después de pasar por el cambiador de calor 120, la corriente del enfriador del gas de combustión pasa hasta el tambor 34 del condensado, que elimina todo tipo de líquido durante la puesta en marcha. La vía de flujo de la corriente de gas de combustión continúa hasta el divisor 38 en el que el conducto 40 de recirculación es separado del conducto 48 de escape. En el curso de la operación, según se utiliza con mayor detalle más adelante, la tasa de recirculación se modifica de manera selectiva para la moderación de la temperatura del quemador, y cualquier parte residual de la corriente de gas de combustión no al conducto 40 de recirculación pasa hasta el interior de la corriente de escape dentro del conducto 48, y a través de una máquina motriz, mostrada aquí como la turbina 50, para ser posteriormente tratada como producto de dióxido de carbono.

40 La corriente de recirculación pasa al interior del conducto 40 de recirculación es bombeada por la bomba 42 de circulación y suministrada a las regiones seleccionadas del quemador 10, a través de las entradas 44 respectivas de recirculación suministradas al quemador 10.

Con referencia ahora a la Figura 2, un sistema de combustión 205 en una primera forma de realización de la invención, diseñada para su uso con una alimentación de combustible gaseoso. La configuración de los componentes principales del sistema de combustión 205 es similar al sistema de combustión 5 de la Figura 1. Sin embargo, la corriente de gas de combustión que sale del quemador 10 en la salida 18 pasa hasta la entrada 222 para pasar al interior y a través del cambiador de calor 220 en una primera vía 228, mientras el fluido de trabajo procedente de un sistema de conversión de energía (no mostrado) pasa en la dirección opuesta dentro de una segunda vía 30 a través del cambiador de calor 220, para recibir la energía térmica de la corriente de gas de combustión en la primera vía 228. Al mismo tiempo, si se requiere para la gestión de carga, según lo analizado con mayor detalle más adelante, parte de la corriente de gas de combustión que sale del quemador 10 en la salida 18 puede ser desviada alrededor del cambiador de calor 220 en un conducto 32 de derivación opcional, para volver a unirse con la corriente de gas de combustión que sale del cambiador de calor 220 en la salida 224.

Después del divisor 38, la corriente de recirculación es bombeada por la bomba 42 en el conducto 40 de recirculación de la misma manera mostrada en la Figura 1. Sin embargo, en esta forma de realización, el conducto 40 de recirculación está provisto de un cambiador de calor 76 opcional, que puede ser utilizado de manera selectiva para eliminar parte de la energía térmica de la corriente de recirculación para la gestión de la carga. Una porción de la corriente de recirculación puede ser separada para unirse a la corriente de la alimentación de oxígeno dentro del conducto 60, en lugar de pasar directamente al interior del quemador en las entradas 44 de recirculación. Para la puesta en marcha de esta forma de realización, el dióxido de carbono presurizado es alimentado al quemador a través del conducto 16.

La Figura 2 también muestra determinadas opciones para la corriente de escape dividida a partir de la corriente de recirculación en el divisor 38. Después de la expansión a través de una primera máquina motriz mostrada en forma de turbina 50, la corriente de escape, de manera opcional, puede ser introducida en y a través del cambiador de calor 72 a través del cual la alimentación de oxígeno también pasa, de manera que la energía térmica excedente de la corriente de escape puede ser utilizada para precalentar parcialmente la alimentación de oxígeno. Como alternativa suplementaria u opción adicional, la corriente de escape puede ser introducida hasta el interior y a través del cambiador de calor 73 y utilizada para precalentar la alimentación de combustible gaseoso dentro del conducto 62. A continuación, la corriente de escape puede ser introducida en un medio de purificación 52 apropiado, para la eliminación de contaminantes, antes de pasar al interior del conducto 54 de producto.

Como otras opciones adicionales, el calor sobrante procedente del sistema de conversión de energía puede ser utilizado para contribuir a precalentar la alimentación de oxígeno en el conducto 60 a través del cambiador de calor 74 y para precalentar la alimentación de combustible gaseoso en el conducto 62 a través del cambiador de calor 75.

Con referencia ahora a la Figura 3, se muestra un sistema de combustión 305 en una segunda forma de realización de la invención en una representación esquemática diseñada para su uso con una alimentación de combustible líquido. Esta forma de realización es similar en muchos aspectos a la forma de realización mostrada en la Figura 2 para la alimentación gaseosa, que incluye el conducto 32 de derivación opcional para la gestión de carga, el conducto 16 de puesta en marcha para la alimentación de dióxido de carbono presurizado y los cambiadores de calor 72, 74, 75, y 76. Así mismo, parte de la corriente de recirculación del conducto 40 puede ser separada para ser añadida a la alimentación del combustible líquido en el conducto 64 para atomizar el combustible antes de su suministro al interior del quemador 10 en la entrada 14; como alternativa o adicionalmente, parte de la corriente de recirculación puede ser separada y añadida a la alimentación de oxígeno en el conducto 60 de la misma manera mostrada en la Figura 2. Así mismo, para el tratamiento de las impurezas derivadas de la alimentación de combustible líquido, unos medios de eliminación de cenizas, mostrados aquí en forma de referencias numerales 36a, 36b, y 36c pueden disponerse en emplazamientos apropiados dentro del sistema.

Con referencia ahora a la Figura 4, se muestra un sistema de combustión 405 en una tercera forma de realización de la invención en una representación esquemática, diseñada para su uso con una alimentación de combustible sólido. En esta forma de realización, el combustible sólido es suministrado en el alimentador 66. De manera opcional, parte de la corriente de recirculación puede ser separada dentro del conducto 46 y utilizada para acarrear el combustible sólido desde el alimentador 66 hasta el interior de la entrada 14 del quemador 10. En esta forma de realización también, los cambiadores de calor 72 y 74 opcionales pueden ser utilizados para precalentar la alimentación de oxígeno en el conducto 60. De la misma manera mostrada en la Figura 3, para tratar las impurezas de la alimentación de combustible sólido, pueden disponerse unos medios de eliminación mostrados aquí en las referencias numerales 36a, 36b y 36c en emplazamientos apropiados del sistema.

Con referencia ahora a la Figura 5, se muestra un sistema de combustión 505 en una cuarta forma de realización de la invención en una representación esquemática y señala para su uso con una alimentación de combustible en forma de impurezas en suspensión. En esta forma de realización, las impurezas en suspensión son suministradas a partir del alimentador 68 directamente al interior del quemador 10 en la entrada 14. Las características de los medios de eliminación de cenizas se disponen en emplazamientos apropiados, por ejemplo los de las referencias numerales 36a, 36b, 36c; y los cambiadores de calor 72, 74 y 76 opcionales pueden disponerse de la misma manera mostrada en la Figura 4.

Con referencia ahora a las Figuras 2 a 5, el proceso de puesta en marcha estará compuesto por las siguientes etapas: El sistema puede ser precalentado por las válvulas de cierre V2, V3 y V5 y parcialmente por las válvulas V1 y V6, y

Y el combustible sólido, líquido o gaseoso con aire a la presión ambiente u otro medio alternativo apropiado, para regularlo a la temperatura operativa del sistema, y la activación de la bomba 42 de circulación que utiliza un motor al mismo tiempo que modula las válvulas V1 y V6 para optimizar la tasa de calentamiento en las diferentes secciones del sistema. Por ejemplo, el precalentamiento puede efectuarse por el combustible líquido o gaseoso con aire a la presión ambiente. Medios apropiados alternativos incluirían el uso de medios eléctricos o solares externos u otros medios. Cuando se ha completado el precalentamiento, la alimentación de aire y combustible es aislada y la válvula V6 se cierra.

ES 2 716 245 T3

Después de este precalentamiento inicial hay diversas operaciones para la realización completa de la puesta en marcha.

En primer lugar, para sistemas destinados a ser operados con combustible gaseoso, como en la Figura 2, las siguientes etapas son las siguientes:

- 5 1. Presurizar el sistema con dióxido de carbono a una presión inferior o igual a la presión operativa y a una temperatura inferior o igual a la temperatura operativa del sistema;
2. Poner en marcha la bomba de circulación para establecer la corriente de recirculación;
3. Poner en marcha el flujo de combustible y oxígeno, iniciar la combustión e incrementar los caudales hasta que el sistema alcance los valores operativos normales, modulando al tiempo la válvula de control V1 hasta que se alcance la presión y la temperatura operativas en estado estable; y
- 10 4. Mientras el sistema alcanza las condiciones de estado estable, también modular las válvulas de control V2 y V3 para optimizar el rendimiento del combustible.

Como un procedimiento alternativo para sistemas destinados a ser operados con combustible gaseoso las siguientes etapas son las expuestas a continuación:

- 15 1. Poner en marcha el flujo de combustible y oxígeno y una corriente moderada de la temperatura del dióxido de carbono presurizado a partir de una fuente externa, iniciar la combustión e incrementar los caudales hasta que el sistema alcance los valores operativos normales, al tiempo que se modula la válvula V1 de control hasta que se alcancen la presión y la temperatura operativas en estado estable;
2. Simultáneamente, poner en marcha la bomba de circulación y continuar la circulación hasta establecer completamente la corriente de recirculación en las operaciones de estado estable, reduciendo gradualmente al tiempo la alimentación externa de dióxido de carbono presurizado;
- 20 3. Mientras el sistema está alcanzando las condiciones de estado estable, modular también las válvulas V2 y V3 de control para optimizar el rendimiento de la combustión.

En segundo lugar, para sistemas destinados a ser operados con combustible sólido, como en la Figura 3, las siguientes etapas son las que se exponen a continuación:

- 25 1. Prepresurizar el sistema con dióxido de carbono a una presión inferior o igual a la presión operativa y a una temperatura inferior o igual a la temperatura operativa del sistema.
2. Poner en marcha la bomba de circulación para establecer la corriente de recirculación;
3. Poner en marcha el flujo de oxígeno y combustible, atomizando el combustible que utiliza una corriente de dióxido de carbono presurizado desde una fuente externa alimentada a través de la válvula V8 de control, iniciar la combustión e incrementar los caudales hasta que el sistema alcance los valores operativos normales, modulando al tiempo la válvula V1 de control hasta que se alcance la presión y temperatura operativas en estado estable. Simultáneamente, a medida que la presión se vaya acumulando en el sistema, cerrar gradualmente la válvula V8 y abrir la válvula V7; y
- 30 4. Mientras el sistema está alcanzando las condiciones de estado estable, modular también las válvulas V2, V3 y V7 de control para optimizar el rendimiento de la combustión.
- 35

Como otro procedimiento alternativo para sistemas destinados a ser operados con combustible líquido, las etapas pueden ser las siguientes:

- 40 1. Poner en marcha el flujo de oxígeno y combustible y una corriente de moderación de la temperatura del dióxido de carbono presurizado desde una fuente externa a través de la válvula V8 de control, iniciar la combustión e incrementar los caudales hasta que el sistema alcance los valores operativos normales, al tiempo que se modula la válvula V1 de control hasta que se alcance la presión y temperatura operativas de estado estable. Simultáneamente, a medida que la presión se va acumulando en el sistema cerrar gradualmente la válvula V8 y abrir la válvula V7;
- 45 2. Simultáneamente, poner en marcha la bomba de circulación y continuar la circulación para establecer completamente la corriente de recirculación en las condiciones de estado estable, al tiempo que se reduce gradualmente la alimentación externa de dióxido de carbono; y
3. Mientras el sistema está alcanzando las condiciones de estado estable, modular también las válvulas V2, V3 y V7 de control para optimizar el rendimiento de la combustión.

ES 2 716 245 T3

Durante la operación, existen diversos procedimientos de gestión de la carga del sistema en respuesta a las exigencias del sistema de conversión de energía al cual la energía térmica es alimentada a través del cambiador de calor (220). Estos procedimientos y opciones se basan en el control de la cantidad de calor que se transfiere al sistema de conversión de energía a través del cambiador de calor (220), mientras que el sistema de conversión de energía experimenta variaciones de la carga. Las operaciones siguientes pueden ser puestas en práctica de forma individual o en combinación con combustibles gaseosos, líquidos o sólido (como se muestra de forma diversa en las Figuras 2 a 5):

- 5 • Introducir un nuevo cambiador de calor HX6 para modular la temperatura de la corriente de recirculación dentro del margen de temperatura elegido como objetivo.
- 10 • Introducir un medio de derivación alrededor del HX1 con una válvula V4 de modulación para controlar el caudal de la corriente de derivación.
- Introducir uno medio de control de inventario mediante el uso de una válvula V5 de alivio para controlar la presión, la temperatura y el caudal de masa sobrante dentro del sistema.
- 15 • Modular el combustible y los caudales de O₂ para acompañar la variación de la carga en el sistema de conversión de energía.
- Modular la bomba de circulación para controlar el caudal de masa de la corriente de recirculación.

20

25

30

REIVINDICACIONES

1.- Un sistema (5) de combustión para su conexión operativa con un sistema de conversión de energía, en el que el sistema de conversión de energía es un sistema de ciclo de Brayton cerrado, comprendiendo el sistema de combustión:

- 5 (i) una unidad de combustión construida y dispuesta para la operación selectiva a presiones de combustión que sobrepasen la presión supercrítica de dióxido de carbono (7,38 MPa) y que comprende un quemador (10), en la que dicho quemador debe producir unos gases de combustión a alta presión que suministran energía térmica, indirectamente, por medio de un primer cambiador de calor (120, 220) hacia un sistema de conversión de energía separado, en la que dicha energía térmica es transferida a dicho sistema de conversión de energía sin conexión de corriente directa con dicho quemador (10) y dichos gases de combustión a alta presión no son expandidos para convertir formas de energía, a medida que pasan a través del primer cambiador de calor (120), presentando el quemador (10)
 - (a) al menos una cámara de combustión;
 - 15 (b) una entrada (14) de combustible, para extraer indirectamente energía combustible de los gases de combustión a alta presión, construida y dispuesta para recibir una alimentación de combustible a una presión que sobrepasa la presión de combustión seleccionada;
 - (c) una entrada (12) de oxígeno construida y dispuesta para recibir una alimentación de un oxígeno y a una presión que sobrepasa la presión de combustión seleccionada;
 - 20 (d) una entrada (16) de admisión de dióxido de carbono construida y dispuesta para recibir una alimentación independiente de dióxido de carbono supercrítico no reciclado de retorno hacia el quemador a una presión que sobrepasa la presión de combustión seleccionada;
 - (e) al menos una salida (18) de productos de combustión que define una vía de flujo de salida del quemador para dirigir los productos de combustión hacia el primer cambiador de calor (120, 220); y
 - 25 (f) al menos una entrada (44) de recirculación de la corriente de los productos de la combustión dispuesta en el quemador (10);
- (ii) una unidad de suministro de oxígeno operativamente conectada a la entrada (12) de oxígeno;
- (iii) una unidad de suministro de combustible operativamente conectada a la entrada (14) de combustible;
- 30 (iv) al menos un primer cambiador de calor (120, 220) construido y dispuesto para la conexión operativa con el sistema de conversión de energía para indirectamente alimentar energía térmica a dicho sistema de conversión de energía, que presenta una región de entrada, una región de descarga y al menos un primer paso de flujo que define una vía de flujo entre la región de entrada y la región de descarga para los productos de la combustión recibidos desde el quemador;
- (v) una salida (24) del cambiador de calor después del primer cambiador de calor (120, 220) para los gases de la combustión, que comprende un paso de flujo;
- 35 (vi) un bucle (40) de recirculación operativamente conectado a dicha al menos una entrada (44) de recirculación de la corriente de los productos de la combustión y que comprende al menos una bomba (42) de circulación, situada dicha bomba de circulación, después del primer cambiador de calor (120, 220), destinado a hacer circular la corriente de los productos de combustión; y
- 40 (vii) una unidad de descarga de la combustión operativamente conectada a la región de descarga del primer cambiador de calor (120, 220) para la eliminación de los productos de la combustión y que comprende
 - (a) un divisor (38) para la división de los productos de la combustión dentro de la corriente (40) de recirculación y una corriente (48) de escape;
 - (b) una unidad de suministro de la corriente de recirculación operativamente conectada a la entrada (44) de recirculación; y
 - 45 c) una unidad de suministro de la corriente de escape operativamente conectada a la unidad de escape de la combustión.

2.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que el sistema de ciclo Brayton cerrado presenta un fluido de trabajo y el primer cambiador de calor (220) comprende además un segundo paso (30) de flujo que define una vía de flujo entre la región de admisión y la región de descarga para una alimentación del fluido de trabajo a partir del sistema de ciclo Brayton cerrado.

- 3.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que la entrada (12) de oxígeno está construida y dispuesta para recibir una alimentación de oxígeno con una pureza de al menos un 70%.
- 4.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que cada una de la al menos una cámara de combustión está construida y dispuesta para ser operada a una presión de al menos 10 MPa.
- 5 5.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 1, que comprende además un dispositivo (36a, 36b, 36c) de eliminación de impurezas para producir una corriente de producto de dióxido de carbono.
- 6.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 1, que comprende además una máquina motriz (50) situada dentro del paso (48) de flujo y operativamente conectada al bucle (40) de recirculación, siendo la máquina motriz (50) seleccionada entre al menos uno de una turbina, un motor, un motor eléctrico y una combinación de estos.
- 10 7.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que el primer cambiador de calor (120, 220) se selecciona entre un cambiador de calor de circuito impreso, un cambiador de calor de circuito impreso de contracorriente, un cambiador de calor de carcasa y tubo, un cambiador de calor de carcasa y tubo de contracorriente, un cambiador de calor tipo placa, y un cambiador de calor tipo placa de contracorriente.
- 15 8.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 1, que comprende además al menos un segundo cambiador de calor (72) para su conexión operativa con la salida de escape de la combustión, que presenta una región de admisión, una región de descarga y que define un paso de flujo entre la región de admisión y la región de descarga para la corriente de escape, en el que el segundo cambiador de calor comprende además un segundo paso (60) de flujo que define una vía de flujo para la corriente entrante de oxígeno y se selecciona entre un cambiador de calor de circuito impreso, un cambiador de calor de circuito impreso de contracorriente, un cambiador de calor de carcasa y tubo, un cambiador de calor de carcasa y tubo de contracorriente, un cambiador de calor tipo placa y un cambiador de calor tipo placa de contracorriente.
- 20 9.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 1, que comprende además al menos un tercer cambiador de calor (73) para su conexión operativa con la salida de escape de la combustión corriente abajo del segundo cambiador de calor (72) y que comprende un paso de flujo para la corriente de escape, en el que el tercer cambiador de calor se selecciona entre un cambiador de calor de circuito impreso, un cambiador de calor de circuito impreso de contracorriente, un cambiador de calor de carcasa y tubo, un cambiador de calor de carcasa y tubo de contracorriente, un cambiador de calor tipo placa y un cambiador de calor tipo placa de contracorriente.
- 25 10.- Un sistema de combustión de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 9, en el que el sistema de conversión de energía comprende un cambiador de calor secundario (72) y un cambiador de calor terciario (73), pudiendo la unidad de suministro de oxígeno estar conectada operativamente al cambiador de calor secundario y a la unidad (62, 64) de suministro de combustible gaseoso o líquido que puede estar operativamente conectada al cambiador de calor terciario.
- 30 11.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que la entrada (14) de combustible está construida y dispuesta para recibir una alimentación de combustible seleccionado entre el grupo que consiste en un combustible líquido, en el que la entrada de admisión de combustible está construida y dispuesta para recibir una corriente desde la corriente de recirculación para atomizar el combustible líquido; un combustible gaseoso seleccionado entre gas natural, gas de síntesis procedente de un proceso de gasificación y de gases de purga a partir de un proceso de refinado de combustible; un combustible sólido pulverizado, en el que la entrada de admisión y combustible está construida y dispuesta para recibir una corriente desde la corriente de recirculación para acarrear el combustible sólido pulverizado; y mezclas de dicho combustible líquido, dicho combustible gaseoso y dicho combustible sólido.
- 35 12.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 9, en el que el tercer cambiador de calor (73) comprende un segundo paso de flujo que define una vía de flujo para la alimentación entrante de combustible.
- 40 13.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 11, en el que la alimentación de combustible es un combustible sólido pulverizado que presenta un tamaño de partículas de menos de aproximadamente 300 micrómetros, y en el que el combustible comprende el combustible sólido pulverizado acarreado por una corriente de dióxido de carbono supercrítico o el combustible comprende el combustible sólido pulverizado transportado por una corriente desde la corriente de recirculación.
- 45 14.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 13, en el que la alimentación de combustible es una alimentación con impurezas en suspensión de un combustible sólido pulverizado en dióxido de carbono líquido, y la unidad de suministro de combustible comprende además un sistema de alimentación de combustible con impurezas en suspensión.
- 50 15.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 11, en el que la unidad de combustión comprende además al menos un dispositivo (36a, 36b, 36c) de salida de eliminación de sólidos construido y dispuesto para
- 55

eliminar las partículas sólidas no combustibles que comprenden al menos partículas entre cenizas volantes, cenizas de asentamiento en el fondo, escoria y particulados sin cenizas.

5 16.- Un sistema de combustión de acuerdo con la Reivindicación 11, en el que el bucle (40) de recirculación comprende al menos un dispositivo (36a, 36b, 36c) de salida de eliminación de sólidos construido y dispuesto para eliminar partículas sólidas no combustibles, en el que un dispositivo entre el al menos un dispositivo (36a) de eliminación de sólidos está situado corriente arriba del primer cambiador de calor (220).

17.- Un procedimiento de proporcionar energía térmica a un sistema de conversión de energía, en el que el sistema de conversión de energía es un sistema de ciclo Brayton cerrado, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

10 (a) procurar una unidad de combustión construida y dispuesta para la operación selectiva a presiones de combustión que sobrepasan la presión supercrítica de dióxido de carbono (7,38 MPa) y que comprende un quemador (10) que presenta al menos una cámara de combustión, en el que dicho quemador está destinado a producir gases de combustión a alta presión que alimentan energía térmica indirectamente por medio de un primer cambiador de calor (120, 220) a un sistema de conversión de energía separado, en el que dicha energía térmica es transferida a dicho sistema de conversión de energía sin conexión de
15 corriente directa con dicho quemador (10) y dichos gases de combustión a alta presión no son expandidos para convertir las formas de energía a medida que pasan a través de un primer cambiador de calor (120, 220) y operativamente conectado al primer cambiador de calor que presenta un paso del flujo de los productos de la combustión, estando además la unidad de combustión conectada operativamente a una bomba (42) de circulación, estando dicha bomba de circulación destinada a hacer circular la corriente de los
20 productos de la combustión;

(b) conectar el primer cambiador de calor al sistema de conversión de energía;

(c) seleccionar una presión de combustión operativa;

25 (d) determinar un intervalo de la temperatura de suministro requerida para el sistema de conversión de energía y determinar un intervalo de temperatura elegido como objetivo dentro del intervalo de la temperatura de suministro requerida;

(e) suministrar una alimentación de combustible, una alimentación de oxígeno y a una presión que exceda de la presión de combustión operativa seleccionada y, simultáneamente, suministrar de manera selectiva una alimentación de fluido de presurización que comprenda un flujo de un dióxido de carbono supercrítico independiente no generado y reciclado de retorno al quemador en el quemador;

30 (f) quemar la alimentación de combustible en la cámara de combustión en presencia de la alimentación de oxígeno y del fluido de presurización a la presión de combustión operativa seleccionada para producir el producto de la combustión;

(g) dirigir los productos de la combustión hacia el primer cambiador de calor (120, 220);

35 (h) dividir de manera selectiva los productos de la combustión que salen del primer cambiador de calor en una corriente (40) de recirculación y una corriente (48) de escape;

(i) suministrar la corriente (40) de recirculación al quemador (10);

(j) supervisar el intervalo de la temperatura de suministro requerida y ajustar el intervalo de la temperatura elegida como objetivo de acuerdo con los cambios del intervalo de la temperatura de suministro requerida;

40 (k) controlar de manera selectiva y ajustar la tasa de alimentación de combustible y oxígeno y la tasa de suministro de la corriente de recirculación hacia el quemador para situar y mantener la corriente de productos de la combustión dentro del intervalo de la temperatura elegida como objetivo; y

(l) suministrar la corriente de escape a una unidad de escape de la combustión para su recuperación y eliminación selectiva.

45 18.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 17, que comprende además antes de la etapa (e) las etapas de puesta en marcha de (d.1) precalentar la unidad de combustión a una temperatura operativa dentro del intervalo de temperatura elegido como objetivo mediante la combustión de una alimentación de combustible en el aire a presión ambiente;

50 (d. 2) suministrar al quemador una alimentación de combustible y una alimentación de oxígeno con una alimentación de fluido de presurización que comprende un flujo de dióxido de carbono a una temperatura inferior a un máximo del intervalo de temperatura elegido como objetivo seleccionado, y a una presión inferior a la presión de combustión operativa seleccionada, y quemar el combustible para elevar la temperatura y la presión de la unidad de combustión a los valores seleccionados respectivos; y

(d. 3) operar de manera selectiva la bomba de circulación para establecer la corriente de recirculación.

- 5 19.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 17, en el que el sistema de ciclo Brayton cerrado presenta un fluido de trabajo, y el primer cambiador de calor (220) comprende además un segundo paso (30) de flujo que define una vía de flujo para una alimentación del fluido de trabajo para recibir calor a partir de la corriente de los productos de la combustión suministrados en la etapa (g) hacia el primer paso de flujo.
- 20.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 17, en el que la etapa (c) comprende seleccionar una presión de combustión operativa de entre 10 MPa y 25 MPa.
- 10 21.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 17, que comprende además, antes de la etapa (e), la etapa (c. 1) comprende además precalentar el oxígeno, disponer un segundo cambiador de calor (72) en la unidad de escape de la combustión, suministrar la corriente de escape hacia y a través del segundo cambiador de calor (72) y suministrar la alimentación de oxígeno hacia y a través del segundo cambiador de calor para ser calentada por la corriente (48) de escape.
- 15 22.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 17, en el que la etapa de suministrar una alimentación de combustible en la etapa (e) comprende además suministrar gas natural, comprendiendo además el procedimiento, antes de la etapa (e), la etapa de (c. 2) precalentar la alimentación de combustible, la provisión de un tercer cambiador de calor (73) en la unidad de escape de la combustión, suministrar la corriente de escape hacia y a través del tercer cambiador de calor, y suministrar la alimentación de combustible hacia y a través del tercer cambiador de calor para ser calentada por la corriente de escape.
- 20 23.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 17, en el que la etapa de suministrar una alimentación de combustible en la etapa (e) comprende además suministrar una alimentación de combustible seleccionado entre el grupo que consiste en un combustible líquido, un combustible, gaseoso, un combustible sólido y mezclas de estos, en el que el combustible es un combustible de hidrocarburo seleccionado entre al menos un combustible de carbón, carbón pulverizado, carbón beneficiado, aceite, asfalto, coque de petróleo, desechos combustibles, biomasa, gas natural, gas de síntesis a partir de un proceso de gasificación y gases de purga procedentes de un proceso de refinado de combustible y combinaciones de estos.
- 25 24.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 23, en el que la etapa (e) comprende además proporcionar la alimentación de combustible como combustible sólido pulverizado en una corriente de dióxido de carbono supercrítico.
- 30 25.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 23, en el que la etapa (e) comprende suministrar la alimentación de combustible como combustible sólido pulverizado como impurezas en suspensión en dióxido de carbono líquido.
- 35 26.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 17, en el que la etapa (k) comprende además acondicionar la corriente de escape mediante la eliminación de vapor de agua y de impurezas de la corriente de escape para producir una corriente de producto de dióxido de carbono dentro de un intervalo de pureza seleccionado.
- 40 27.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 17, en el que la etapa (a) comprende además la provisión de al menos un dispositivo (36a, 3b, 36c) de eliminación de sólidos y al menos una salida de sólidos entre el quemador (10) y el primer cambiador de calor (220), y el procedimiento comprende además antes de la etapa (g) la etapa (f, 1) de hacer pasar la corriente de los productos de la combustión a través del dispositivo de eliminación de sólidos y descargar los sólidos eliminados a través de la al menos una salida de los sólidos.
- 45

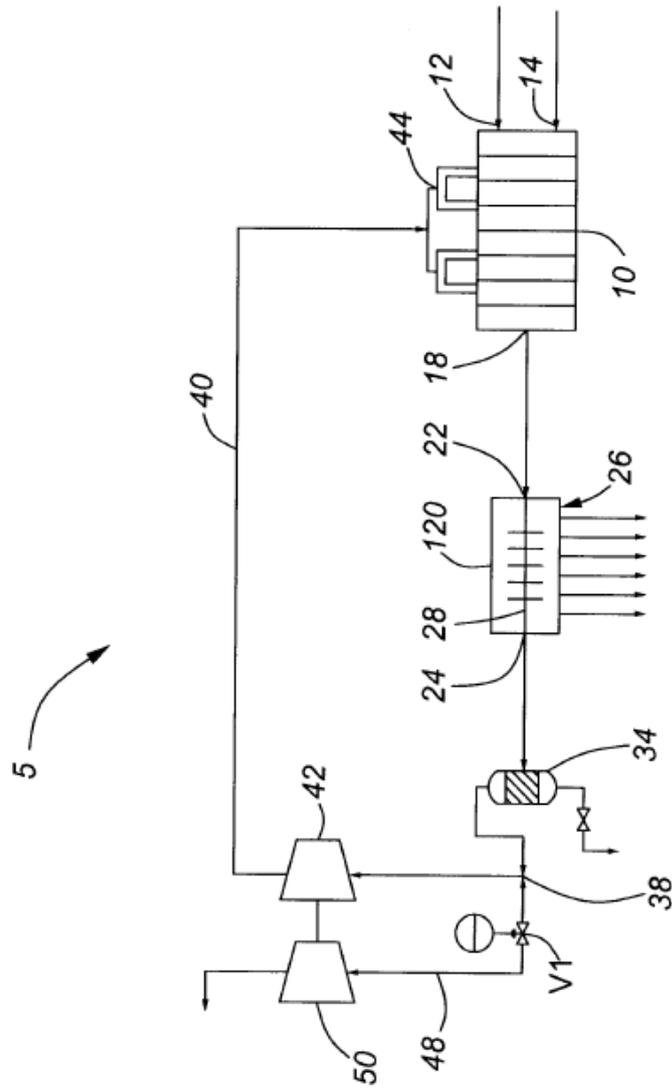


FIG. 1

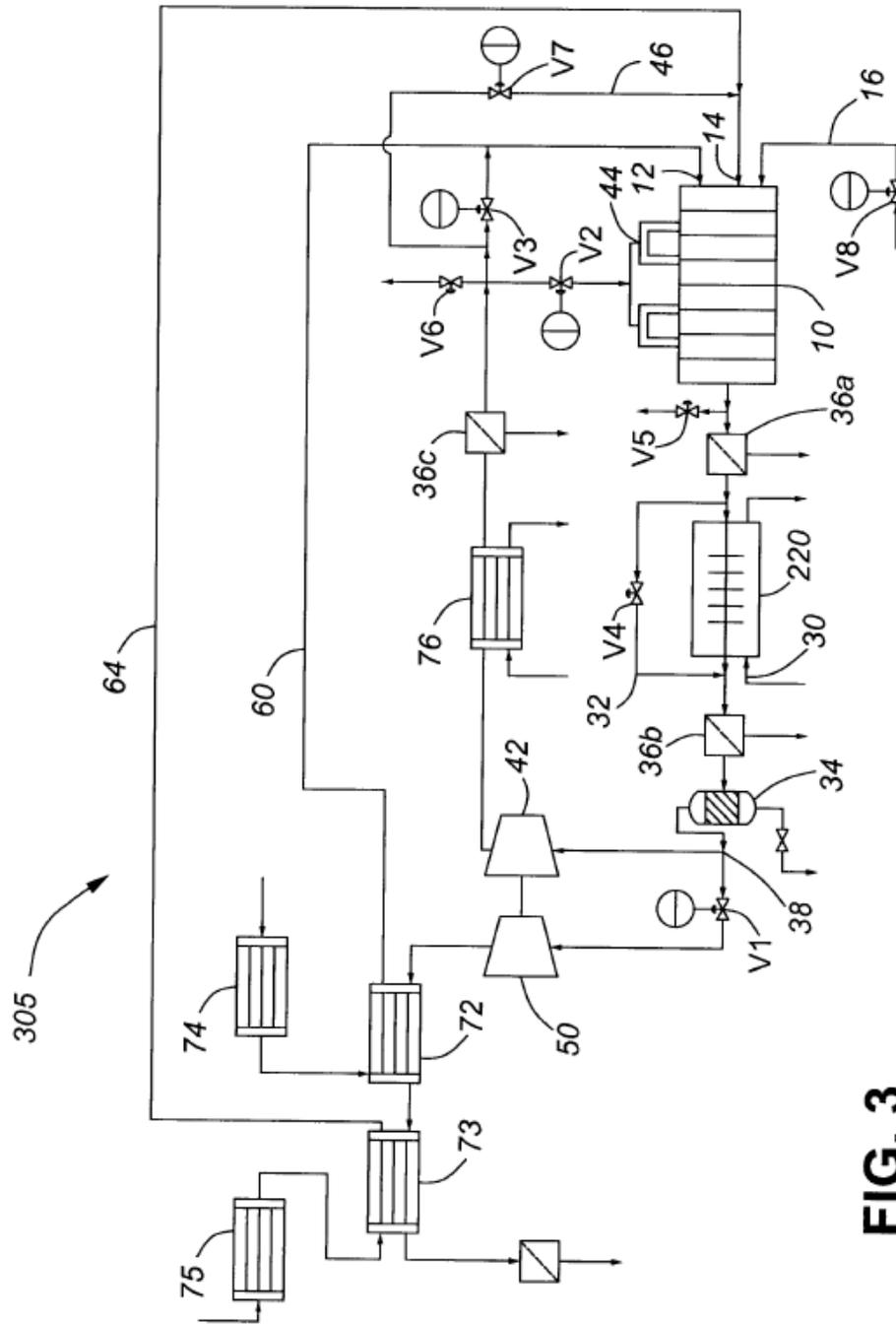


FIG. 3

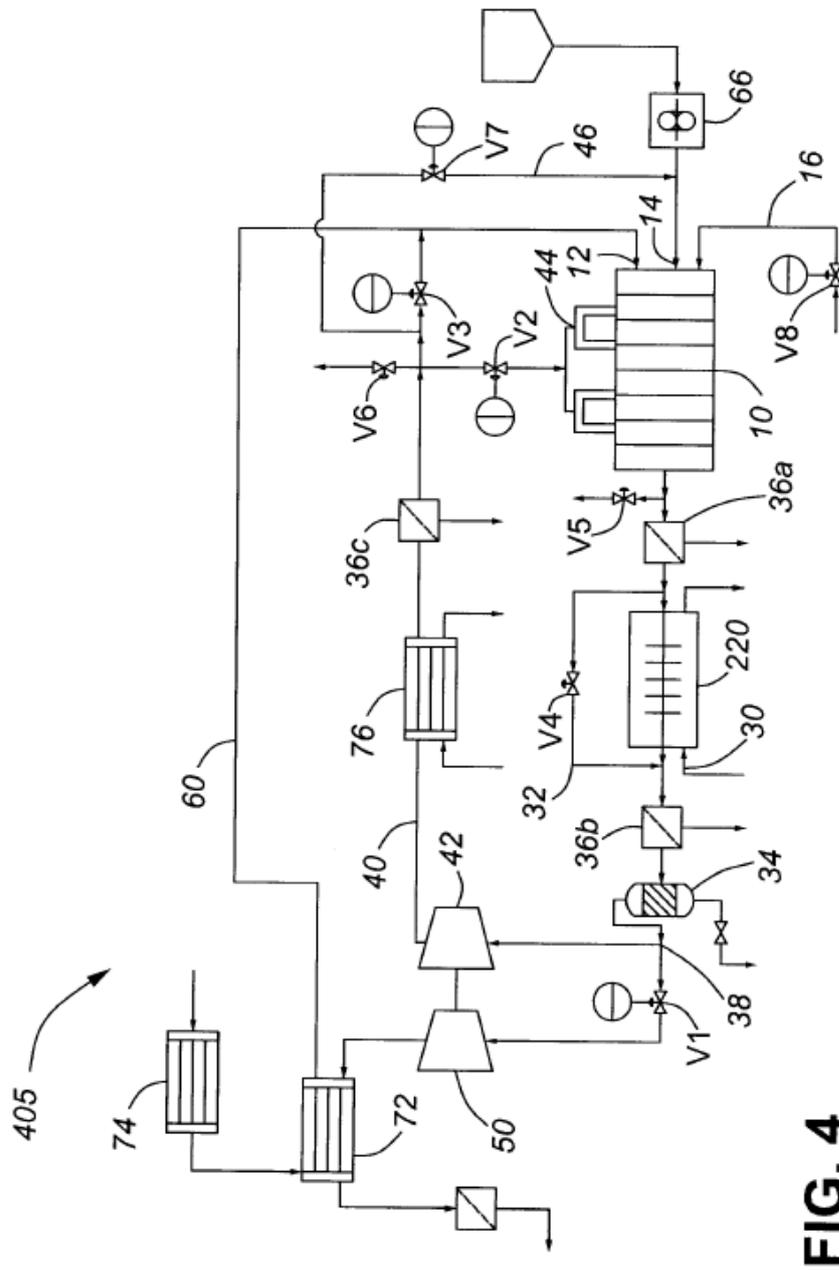


FIG. 4

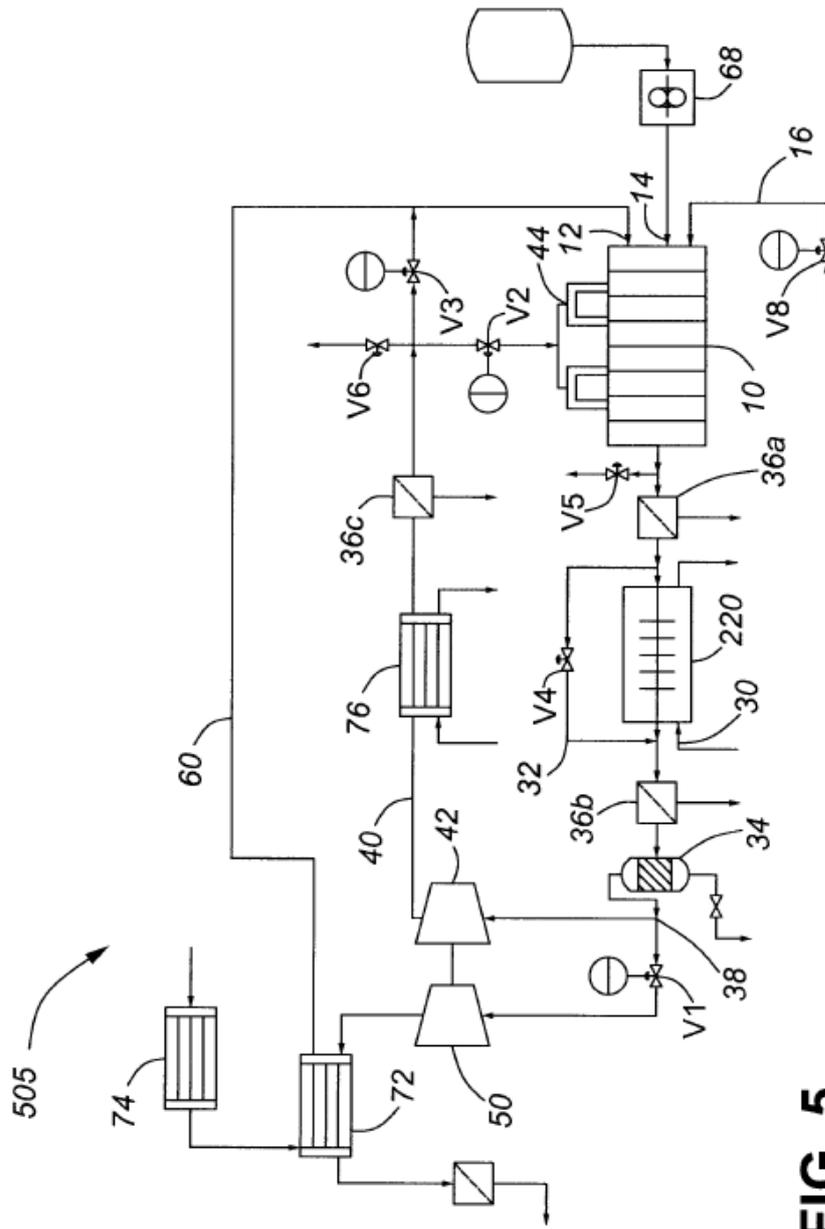


FIG. 5