

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 925 773**

51 Int. Cl.:

F01K 25/10 (2006.01)

F02C 3/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.04.2017 PCT/IB2017/052283**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.10.2017 WO17182980**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2017 E 17721213 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.06.2022 EP 3445955**

54 Título: **Sistema y método para la oxidación de gases de hidrocarburos**

30 Prioridad:

21.04.2016 US 201662325752 P

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

19.10.2022

73 Titular/es:

**8 RIVERS CAPITAL, LLC (100.0%)
406 Blackwell Street, 4th Floor
Durham, North Carolina 27701, US**

72 Inventor/es:

**FORREST, BROCK ALAN;
FETVEDT, JEREMY ERON y
MCGRODDY, PETER MICHAEL**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 925 773 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 y método para la oxidación de gases de hidrocarburos

Campo de la divulgación

- 5 La presente divulgación se refiere a sistemas y a métodos mediante los cuales se pueden oxidar diversas corrientes de gas para la producción de energía. Una corriente de gas puede incluir más particularmente hidrocarburos y uno o más diluyentes. La energía producida a través de la oxidación se puede impartir, por ejemplo, a un sistema o método de producción de energía.

Antecedentes

- 10 Muchos procesos industriales dan como resultado corrientes gaseosas que incluyen un contenido de materiales de hidrocarburos que son combustibles. En muchos casos, dichas corrientes pueden incluir hidrocarburos así como uno o más materiales adicionales que puede considerarse que contaminan o diluyen de otro modo los hidrocarburos y, por lo tanto, limitan su utilidad. El dióxido de carbono es un ejemplo de un material adicional que se encuentra frecuentemente mezclado con gases de hidrocarburos, particularmente en varios aspectos de la industria del petróleo. Por ejemplo, el gas natural crudo producido a partir de formaciones geológicas a menudo incluye un
- 15 contenido significativo de dióxido de carbono. Por el contrario, el dióxido de carbono extraído de formaciones geológicas a menudo incluye un contenido significativo de gases de hidrocarburos. Aún más, los gases de producción que se recuperan en los métodos de recuperación mejorada de petróleo (EOR) a menudo comprenden una mezcla de gases de hidrocarburos y dióxido de carbono. Las corrientes de gas de combinación, como los ejemplos anteriormente mencionados, generalmente requieren un procesamiento específico para separar los
- 20 componentes, es decir, para proporcionar una corriente de hidrocarburo sustancialmente pura que pueda ser adecuada para la combustión y/o para proporcionar una corriente de dióxido de carbono sustancialmente pura que pueda ser adecuada para uso en EOR, o secuestro, o para otros usos finales. Por lo tanto, sería útil tener más opciones para utilizar corrientes que contienen hidrocarburos.

- 25 El documento US 2013/0205746 A1 da a conocer un sistema de producción de energía que está adaptado para lograr una producción de energía de alta eficiencia.

El documento EP 0 831 205 A2 da a conocer un sistema de generación de energía con mayor vida útil y menor mala influencia sobre la atmósfera o el medio ambiente.

Sumario de la divulgación

- 30 La invención se define mediante el método de la reivindicación 1 y el sistema de producción de energía de la reivindicación 9, que se describen con más detalle en las siguientes realizaciones.

En una o más realizaciones, la presente divulgación puede proporcionar sistemas y métodos útiles para la producción de energía. En particular, los sistemas y métodos pueden configurarse para el procesamiento de una corriente de hidrocarburo diluido de modo que los hidrocarburos en la corriente se oxidan sin una combustión sustancial y, por lo tanto, confieren energía adicional al ciclo de producción de energía.

- 35 En una o más realizaciones, la presente divulgación puede proporcionar un método para la producción de energía que comprende:

quemar un combustible carbonoso con oxígeno en una cámara de combustión en presencia de una corriente de CO₂ recirculada para formar una corriente de producto de combustión que comprende CO₂;

- 40 expandir la corriente de producto de combustión en una turbina para producir energía y formar una corriente de escape de turbina;

enfriar la corriente de escape de turbina en un intercambiador de calor de recuperador;

eliminar cualquier agua presente de la corriente de escape de turbina enfriada para formar la corriente de CO₂ recirculada;

comprimir al menos una parte de la corriente de CO₂ recirculada;

- 45 opcionalmente desviar una parte de la corriente de CO₂ recirculada y combinar la parte desviada con el oxígeno antes de dicha combustión;

hacer pasar la corriente de CO₂ recirculada comprimida de vuelta a través del intercambiador de calor de recuperador de modo que la corriente de CO₂ recirculada comprimida se calienta con calor extraído de la corriente de escape de turbina;

- 50 introducir una corriente de hidrocarburo diluido en condiciones en las que los hidrocarburos de la corriente de

hidrocarburo diluido se oxidan sin combustión sustancial; y

dirigir la corriente de CO₂ recirculada, comprimida y calentada a la cámara de combustión.

En una o más realizaciones adicionales, el método para la producción de energía puede definirse adicionalmente en relación con una o más de las siguientes afirmaciones, que pueden combinarse en cualquier número y orden.

- 5 La corriente de hidrocarburo diluido se puede introducir de manera que los hidrocarburos se oxidan dentro del intercambiador de calor de recuperador o un intercambiador de calor adicional configurado para el intercambio de calor con uno o ambos la corriente de CO₂ recirculada y el oxígeno.

La corriente de hidrocarburo diluido se puede combinar con la corriente de CO₂ recirculada comprimida antes de dicha etapa de paso.

- 10 La corriente de hidrocarburo diluido se puede combinar con la corriente de CO₂ recirculada comprimida en el intercambiador de calor de recuperador.

La corriente de hidrocarburo diluido se puede combinar con la corriente de CO₂ recirculada comprimida en un intercambiador de calor adicional.

- 15 Una parte la corriente de CO₂ recirculada se puede desviar y combinar con el oxígeno para formar una corriente de oxígeno diluido, y la corriente de hidrocarburo diluido se puede combinar con la corriente de oxígeno diluido.

La corriente de oxígeno diluido combinada con la corriente de hidrocarburo diluido puede hacerse pasar a través del intercambiador de calor de recuperador o de un intercambiador de calor adicional en el que se oxidan los hidrocarburos en la corriente de hidrocarburo diluido.

El gas de hidrocarburo diluido es un producto de un proceso de recuperación mejorada de petróleo.

- 20 En una o más realizaciones, la presente divulgación puede proporcionar un método para la producción de energía que comprende: llevar a cabo un ciclo de Brayton cerrado o semicerrado en el que: se utiliza CO₂ como fluido de trabajo; se utiliza un combustible carbonoso como primera fuente de combustible y se quema para calentar el fluido de trabajo; y se utiliza un intercambiador de calor de recuperador para volver a captar calor de la combustión; y añadir una corriente de hidrocarburo diluido al ciclo de Brayton cerrado o semicerrado como segunda fuente de combustible, en el que los hidrocarburos de la corriente de hidrocarburo diluido se oxidan sin combustión sustancial para proporcionar calor adicional.

- 25 En una o más realizaciones, la presente divulgación puede proporcionar un método para el procesamiento de una corriente residual que comprende: proporcionar una corriente residual que comprende uno o más hidrocarburos y uno o más diluyentes; e introducir la corriente residual en un ciclo de Brayton cerrado o semicerrado de manera que los hidrocarburos en la corriente residual se oxidan sin una combustión sustancial.

- 30 En una realización de acuerdo con la invención y como se define en la reivindicación 1, un método para la producción de energía comprende llevar a cabo un ciclo de producción de energía cerrado o semicerrado en el que: se hace circular CO₂ como un fluido de trabajo que se comprime y expande repetidamente para la producción de energía; se quema una primera fuente de combustible en una cámara de combustión para calentar el fluido de trabajo después de comprimir el fluido de trabajo y antes de expandir el fluido de trabajo para producir energía; y se usa un intercambiador de calor de recuperador para volver a captar el calor de la combustión para calentar el fluido de trabajo. El método comprende además calentar el fluido de trabajo con el calor que se forma fuera de la cámara de combustión utilizando una segunda fuente de combustible, siendo dicho calentamiento además del calor de combustión captado de nuevo, y siendo dicha segunda fuente de combustible una corriente de hidrocarburo diluido que se oxida sin combustión sustancial para proporcionar el calor que se forma fuera de la cámara de combustión.

- 35 En una o más realizaciones adicionales, el método para la producción de energía puede definirse adicionalmente en relación con una o más de las siguientes afirmaciones, que pueden combinarse en cualquier número y orden.

La concentración de hidrocarburos en la corriente de hidrocarburo diluido puede estar por debajo del límite explosivo inferior (LEL) de los hidrocarburos.

- 40 Los hidrocarburos en la corriente de hidrocarburo diluido pueden oxidarse catalíticamente.

- 45 El método puede comprender particularmente las siguientes etapas: el primer combustible se quema con oxígeno en la cámara de combustión en presencia del fluido de trabajo de CO₂ para formar una corriente de escape; la corriente de escape de la cámara de combustión se expande en una turbina para producir energía y formar una corriente de escape de turbina; la corriente de escape de turbina se enfría en el intercambiador de calor de recuperador; la corriente de escape de turbina que sale del intercambiador de calor de recuperador se purifica para eliminar al menos agua del fluido de trabajo; al menos una parte del fluido de trabajo se comprime en un compresor; al menos una parte del fluido de trabajo comprimido se hace pasar de vuelta a través del intercambiador de calor de recuperador de manera que el fluido de trabajo comprimido se calienta con calor extraído de la corriente de escape

de turbina; y el fluido de trabajo comprimido y calentado se recircula a la cámara de combustión.

La corriente de hidrocarburo diluido se puede añadir al fluido de trabajo después de comprimir el fluido de trabajo en el compresor y antes de hacer pasar de vuelta el fluido de trabajo a través del intercambiador de calor de recuperador.

- 5 Los hidrocarburos en la corriente de hidrocarburo diluido pueden oxidarse dentro del intercambiador de calor de recuperador.

Los hidrocarburos en la corriente de hidrocarburo diluido pueden oxidarse en un intercambiador de calor adicional configurado para el intercambio de calor con uno o ambos del fluido de trabajo y una corriente de oxígeno que proporciona el oxígeno a la cámara de combustión.

- 10 La corriente de hidrocarburo diluido se puede combinar con el fluido de trabajo comprimido en el intercambiador de calor de recuperador.

Una parte del fluido de trabajo comprimido se puede combinar con oxígeno para formar una corriente de oxígeno diluido, y en el que la corriente de hidrocarburo diluido se combina con la corriente de oxígeno diluido.

- 15 La corriente de oxígeno diluido combinada con la corriente de hidrocarburo diluido puede hacerse pasar a través del intercambiador de calor de recuperador en el que se oxidan los hidrocarburos en la corriente de hidrocarburo diluido.

La corriente de oxígeno diluido combinada con la corriente de hidrocarburo diluido se puede hacer pasar a través de un intercambiador de calor adicional en el que se oxidan los hidrocarburos en la corriente de hidrocarburo diluido.

La corriente de hidrocarburo diluido se puede introducir en un reactor de oxidación.

- 20 Una corriente de reacción que sale del reactor de oxidación puede introducirse en el intercambiador de calor de recuperador.

Una corriente de reacción que sale del reactor de oxidación se introduce en una turbina adicional para la producción de energía.

Una parte de la corriente de escape de turbina se puede introducir en el reactor de oxidación para incluirla en la corriente de reacción que se introduce en la turbina adicional.

- 25 La corriente de hidrocarburo diluido puede ser un producto de un proceso de recuperación mejorada de petróleo. En una o más realizaciones, la presente divulgación puede proporcionar un sistema para la producción de energía que comprende:

una unidad de producción de energía configurada para llevar a cabo un ciclo de Brayton cerrado o semicerrado, incluyendo dicha unidad una cámara de combustión configurada para la combustión de un combustible carbonoso en presencia de una corriente de CO₂ recirculada; y

- 30 una o más entradas configuradas para introducir una corriente de hidrocarburo diluido en un componente de la unidad distinto de la cámara de combustión.

En una realización de acuerdo con la invención y como se define en la reivindicación 9, un sistema de producción de energía comprende: una unidad de producción de energía configurada para llevar a cabo un ciclo de producción de energía cerrado o semicerrado, incluyendo dicha unidad de producción de energía: una cámara de combustión configurada para combustión de un primer combustible en presencia de un fluido de trabajo de CO₂ comprimido; una turbina configurada para expandir el fluido de trabajo de CO₂ comprimido para proporcionar un fluido de trabajo de CO₂ expandido; un compresor configurado para comprimir el fluido de trabajo de CO₂ expandido para proporcionar el fluido de trabajo de CO₂ comprimido; un intercambiador de calor de recuperador configurado para transferir calor del fluido de trabajo de CO₂ expandido que sale de la turbina al fluido de trabajo de CO₂ comprimido que sale del compresor; y una o más entradas configuradas para introducir una corriente de hidrocarburo diluido en un componente de la unidad de producción de energía distinto de la cámara de combustión.

- 35 En una o más realizaciones adicionales, el sistema de producción de energía puede definirse adicionalmente en relación con una o más de las siguientes afirmaciones, que pueden combinarse en cualquier número y orden.

- 45 La entrada se puede configurar para introducir la corriente de hidrocarburo diluido en el intercambiador de calor de recuperador.

El sistema de producción de energía puede comprender además un segundo intercambiador de calor, y la entrada puede configurarse para introducir la corriente de hidrocarburo diluido en el segundo intercambiador de calor.

- 50 La entrada se puede configurar para introducir la corriente de hidrocarburo diluido en una línea que comprende el fluido de trabajo de CO₂.

La entrada se puede configurar para introducir la corriente de hidrocarburo diluido en la línea aguas abajo del intercambiador de calor de recuperador y aguas arriba del compresor.

El sistema de producción de energía puede comprender además un reactor de oxidación, y la entrada puede configurarse para introducir la corriente de hidrocarburo diluido en el reactor de oxidación.

- 5 El reactor de oxidación puede ser un reactor de oxidación catalítica.

El reactor de oxidación se puede configurar para generar una corriente de reacción que se introduce en el intercambiador de calor de recuperador.

El reactor de oxidación se puede configurar para recibir una parte del fluido de trabajo de CO₂ expandido aguas arriba del intercambiador de calor de recuperador.

- 10 El sistema de producción de energía puede comprender además una segunda turbina configurada para recibir una corriente de reacción del reactor de oxidación.

Breve resumen de las figuras

Habiendo descrito así la divulgación en los términos generales anteriores, ahora se hará referencia a los dibujos adjuntos, que no están necesariamente dibujados a escala, y en los que:

- 15 la figura 1 es un diagrama de flujo para una planta de producción de energía de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, en la que se puede introducir una corriente de hidrocarburo diluido en varios elementos de la planta de producción de energía;

- 20 la figura 2 es un diagrama de flujo para una planta de producción de energía de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, en la que se introduce una corriente de hidrocarburo diluido en una corriente de fluido de trabajo recirculado;

la figura 3 es un diagrama de flujo para una planta de producción de energía de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, en la que se introduce una corriente de hidrocarburo diluido en un intercambiador de calor suplementario;

- 25 la figura 4 es un diagrama de flujo para una planta de producción de energía de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, en la que una corriente de hidrocarburo diluido se combina con una corriente de oxidante diluido;

la figura 5 es un diagrama de flujo para una planta de producción de energía de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, en la que se introduce una corriente de hidrocarburo diluido en un reactor catalítico;

- 30 la figura 6 es un diagrama de flujo para una planta de producción de energía de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, en la que se introduce una corriente de hidrocarburo diluido en una corriente de escape de turbina aguas abajo de una turbina y aguas arriba de un intercambiador de calor; y

la figura 7 es un diagrama de flujo para una planta de producción de energía de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, en la que una corriente de hidrocarburo diluido se introduce en un reactor catalítico con una corriente de escape de turbina y luego se expande a través de una turbina secundaria.

35 Descripción detallada

Ahora se describirá la presente invención con más detalle a continuación. Sin embargo, esta invención puede implementarse de muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones establecidas en este documento; más bien, estas realizaciones se proporcionan para que esta divulgación sea exhaustiva y completa. Como se usan en esta memoria descriptiva y en las reivindicaciones, las formas singulares “un”, “una” y “el/la” incluyen referentes plurales a menos que el contexto dicte claramente lo contrario.

- 45 En una o más realizaciones, la presente divulgación proporciona sistemas y métodos para la producción de energía en los que una corriente de hidrocarburo diluido se oxida sin combustión sustancial para añadir energía para la producción de energía. Los sistemas y métodos permiten una utilización eficiente y de bajo coste de corrientes que, de lo contrario, tendrían que someterse a una separación costosa y lenta para proporcionar materiales útiles (por ejemplo, una corriente purificada de hidrocarburos y/o una corriente purificada de uno o más diluyentes).

- 50 Una corriente de hidrocarburo diluido como se usa en el presente documento se entiende que significa una corriente que comprende cantidades superiores a trazas de uno o más hidrocarburos y al menos un diluyente. La corriente de hidrocarburo diluido puede comprender una concentración de hidrocarburos que es adecuada para proporcionar el nivel deseado de calentamiento mediante la oxidación de los hidrocarburos. La concentración de los hidrocarburos en la corriente de hidrocarburo diluido está limitada únicamente porque la corriente de hidrocarburo diluido comprende hidrocarburos en una cantidad que está por debajo del límite explosivo inferior (LEL). En particular, la

concentración de hidrocarburo diluido en la corriente puede estar por debajo del LEL después de mezclar el hidrocarburo diluido con la corriente de CO₂ recirculada como se describe más adelante en este documento.

Un hidrocarburo presente en la corriente de hidrocarburo diluido está preferentemente en estado gaseoso. Los ejemplos no limitantes de hidrocarburos que pueden estar presentes incluyen compuestos de C₁ a C₁₀. Preferiblemente, la corriente de hidrocarburo diluido comprende compuestos de C₁ a C₄; sin embargo, pueden estar presentes compuestos de C₅ a C₁₀, particularmente cuando la corriente de hidrocarburo diluido va a someterse a presurización. En realizaciones específicas, la corriente de hidrocarburo diluido comprende al menos metano. En algunas realizaciones, la corriente de hidrocarburo diluido comprende gas natural.

Un diluyente presente en la corriente de hidrocarburo diluido puede ser cualquier material que sirva para diluir la concentración de hidrocarburo para que esté dentro del intervalo indicado anteriormente. En realizaciones específicas, el diluyente puede comprender CO₂. Otros ejemplos no limitantes de diluyentes que pueden estar presentes incluyen nitrógeno, agua, H₂S y oxígeno. En algunas realizaciones, el diluyente puede comprender predominantemente CO₂ (es decir, más del 50% en volumen del diluyente es CO₂), y el diluyente puede comprender específicamente alrededor del 60% en volumen o más, alrededor del 75% en volumen o más, alrededor del 80% en volumen o más, alrededor del 90% en volumen o más, alrededor del 95% en volumen o más, alrededor del 98% en volumen o más, aproximadamente el 99% en volumen o más, aproximadamente el 99,5% en volumen o más o aproximadamente el 99,8% en volumen o más de CO₂. Por ejemplo, el diluyente puede comprender de aproximadamente el 60% en volumen a aproximadamente el 99,9% en volumen, de aproximadamente el 75% en volumen a aproximadamente el 99,8% en volumen o de aproximadamente el 80% en volumen a aproximadamente el 99,5% en volumen de CO₂.

La corriente de hidrocarburo diluido puede proceder de cualquier fuente, incluidos residuos industriales, productos de reacción, corrientes de producción de hidrocarburos (por ejemplo, de un pozo de gas natural o pozo de petróleo) y similares. Si se desea, una corriente de hidrocarburo de dicha fuente se puede diluir específicamente mediante la adición de CO₂ (u otro diluyente) a la corriente de hidrocarburo. Por ejemplo, una corriente residual puede comprender hidrocarburos en una concentración por encima del LEL, y dicha corriente puede usarse de acuerdo con la presente divulgación mediante la adición de diluyente adicional. Además de lo anterior, el CO₂ extraído de formaciones naturales a menudo incluye un contenido de gas natural u otra mezcla de hidrocarburos gaseosos. En algunas realizaciones, una corriente de hidrocarburo diluido puede surgir de la recuperación mejorada de petróleo (EOR), como en los métodos descritos en la patente estadounidense n.º 8.869.889. Los métodos de EOR normalmente dan como resultado una corriente de producción que comprende una mezcla de materiales que deben separarse para proporcionar corrientes utilizables de materiales sustancialmente puros. Cuando se utiliza CO₂ en EOR, los materiales producidos deben tratarse específicamente para separar el CO₂ de los productos de hidrocarburos. En la patente antes mencionada de Palmer *et al.*, puede usarse una mezcla de CO₂ e hidrocarburos como parte de la fuente de combustible en un método de producción de energía asociado. En tales métodos, la mezcla de CO₂ e hidrocarburos combinados se dirige a una cámara de combustión en la que se quema, normalmente junto con una corriente de combustible de hidrocarburo sustancialmente puro. Dicho método requiere una cámara de combustión especialmente diseñada que pueda quemar combustibles con un contenido de BTU más bajo, está limitado a usar sólo corrientes con una concentración de hidrocarburo específica (para mantener la estabilidad de llama en la cámara de combustión) y está limitado en cuanto a la velocidad de flujo total de hidrocarburos ricos en CO₂ que pueden procesarse en una sola planta. Además, debido a que las concentraciones relativas de los componentes de dicha corriente de CO₂ y los hidrocarburos gaseosos de EOR pueden experimentar fluctuaciones significativas, tales métodos se ven obstaculizados porque es difícil lograr una temperatura de llama sustancialmente constante en la cámara de combustión.

Actualmente, se requiere una energía y un gasto significativos para separar los hidrocarburos de CO₂. En el caso de la producción de gas natural crudo, los hidrocarburos diluidos producidos en el campo generalmente se secan, se destilan para eliminar los hidrocarburos de cadena más larga (líquidos de gas natural o NGL), se endulzan mediante la eliminación de H₂S y otras impurezas, y se envían a través de una torre de absorción para eliminar el CO₂. Luego, el gas natural limpio se envía a la tubería para su consumo aguas abajo, tal como para la producción de energía, y el CO₂ limpio se ventila, se secuestra y/o se utiliza (por ejemplo, para EOR adicional). Cuando se utiliza CO₂ para EOR, la parte del CO₂ inyectado que se produce junto con el petróleo producido a menudo contiene una pequeña cantidad de hidrocarburos gaseosos que deben separarse para permitir la reinyección del CO₂ en la formación. Este gas de hidrocarburos rico en CO₂ debe separarse del petróleo producido y secarse y destilarse de manera similar para eliminar cualquier NGL. Luego, este gas debe volver a comprimirse para reinyectarse en el campo. Estos procesos requieren una gran cantidad de energía y consumibles, lo que genera altos gastos de capital y gastos operativos para el proceso.

Los sistemas y métodos de la presente divulgación permiten un uso eficiente y de bajo coste de corrientes de hidrocarburo diluido para añadir energía a sistemas y métodos de producción de energía existentes. Por ejemplo, las corrientes de hidrocarburo diluido pueden introducirse en un sistema y un método en los que se quema un combustible carbonoso para producir calor en una corriente que puede o no estar presurizada por encima de la presión ambiental. La corriente de hidrocarburo diluido también se puede aplicar a uno o más sistemas en los que se hace circular un fluido de trabajo para calentarlo y enfriarlo repetidamente y/o para presurizarlo y expandirlo repetidamente. Tal fluido de trabajo puede comprender uno o más de H₂O, CO₂ y N₂, por ejemplo.

Los sistemas y métodos de la presente divulgación pueden superar problemas en el campo extrayendo el poder calorífico de los hidrocarburos arrastrados de una corriente de hidrocarburo diluido sin combustión. En vez de eso, las condiciones inherentes de los sistemas y métodos de producción de energía a alta temperatura pueden utilizarse para facilitar la oxidación térmica de estos hidrocarburos en la corriente de hidrocarburo diluido. Por ejemplo, la oxidación puede ocurrir en un intercambiador de calor. Esto permite que los ciclos de energía existentes utilicen estas corrientes de hidrocarburo diluido con una modificación mínima del proceso, utilicen velocidades de flujo significativamente más altas de estas corrientes y simplifiquen el ciclo general al eliminar ciertos equipos y la necesidad de fuentes externas de calor.

Se ha mostrado que la utilización de CO₂ (particularmente en forma supercrítica) como fluido de trabajo en la producción de energía es un método altamente eficiente para la producción de energía. Véase, por ejemplo, la patente estadounidense n.º 8.596.075, que describe el uso de un fluido de trabajo de CO₂ directamente calentado en un sistema de generación de energía de ciclo de Brayton de oxcombustible recuperado con emisiones prácticamente nulas de cualquier corriente a la atmósfera. Anteriormente se ha propuesto que puede utilizarse CO₂ como fluido de trabajo en un ciclo cerrado en el que el CO₂ se comprime y expande repetidamente para la producción de energía con calentamiento intermedio usando una fuente de calor indirecta y uno o más intercambiadores de calor. Véase, por ejemplo, la patente estadounidense n.º 8.783.034. Por lo tanto, en algunas realizaciones, la corriente de hidrocarburo diluido se puede usar como entrada a un ciclo de Brayton cerrado o semicerrado para aumentar la eficiencia de la producción de energía a través de dicho ciclo.

Ejemplos adicionales de sistemas y métodos de producción de energía en los que se puede usar una corriente de hidrocarburo diluido como se describe en el presente documento se dan a conocer en la patente estadounidense n.º 9.068.743, la patente estadounidense n.º 9.062.608, la patente estadounidense n.º 8.986.002, la patente estadounidense n.º 8.959.887, la patente estadounidense n.º 8.869.889 y la patente estadounidense n.º 8.776.532. Como ejemplo no limitativo, un sistema de producción de energía con el que se puede usar una corriente de hidrocarburo diluido se puede configurar para quemar un combustible con O₂ en presencia de un fluido circulante de CO₂ en una cámara de combustión, preferiblemente en el que el CO₂ se introduce a una presión de al menos alrededor de 12 MPa (por ejemplo, de alrededor de 12 MPa a alrededor de 60 MPa) y una temperatura de al menos alrededor de 400°C (por ejemplo, de alrededor de 400°C a alrededor de 1200°C), para proporcionar una corriente de producto de combustión que comprende CO₂, preferiblemente en el que la corriente de producto de combustión tiene una temperatura de al menos aproximadamente 800°C (por ejemplo, aproximadamente 1500°C). Dicho sistema de producción de energía se puede caracterizar además por uno o más de los siguientes.

La corriente de producto de combustión se puede expandir a través de una turbina con una presión de descarga de aproximadamente 1 MPa o mayor (por ejemplo, de aproximadamente 1 MPa a aproximadamente 7,5 MPa) para generar energía y proporcionar un vapor de descarga de turbina que comprende CO₂.

La corriente de descarga de turbina puede hacerse pasar a través de una unidad de intercambiador de calor de recuperador para proporcionar una corriente de descarga enfriada.

La corriente de descarga de turbina enfriada se puede procesar para eliminar uno o más componentes secundarios distintos de CO₂ (particularmente cualquier agua presente y/o SO_x y/o NO_x) para proporcionar una corriente de descarga purificada, que en particular puede ser una corriente de CO₂ recirculada.

La corriente de CO₂ recirculada se puede comprimir, particularmente hasta una presión en la que el CO₂ es supercrítico.

El CO₂ supercrítico se puede enfriar para aumentar la densidad (preferiblemente hasta por lo menos aproximadamente 200 kg/m³) de la corriente de CO₂ recirculada.

La corriente de CO₂ recirculada de alta densidad se puede bombear hasta una presión adecuada para la entrada en la cámara de combustión (por ejemplo, como se indicó anteriormente).

La corriente de CO₂ recirculada presurizada se puede calentar al pasar a través de la unidad de intercambiador de calor de recuperador utilizando calor recuperado de la corriente de descarga de turbina.

La totalidad o una parte de la corriente de CO₂ recirculada presurizada se puede calentar aún más con calor que no se extrae de la corriente de descarga de turbina (preferiblemente en la que el calentamiento adicional se proporciona uno o más de antes de, durante o después de pasar a través del intercambiador de calor de recuperador) antes de recircularse a la cámara de combustión.

La corriente de CO₂ recirculada, presurizada y calentada puede hacerse pasar a la cámara de combustión.

En una o más realizaciones, un sistema de producción de energía adecuado para introducir una corriente de hidrocarburo diluido como se describe en el presente documento puede configurarse para calentar mediante métodos distintos de la combustión de un combustible carbonoso (o además de la combustión de un combustible carbonoso). Como ejemplo no limitativo, se puede energía solar usar para complementar o reemplazar la entrada de calor derivada de la combustión de un combustible carbonoso en una cámara de combustión. Asimismo, se pueden

utilizar otros medios de calentamiento. En algunas realizaciones, se puede utilizar cualquier forma de entrada de calor en una corriente recirculada de CO₂ a una temperatura de 400°C o menos. Por ejemplo, pueden utilizarse vapor de condensación, gases de escape de turbina de gas, corrientes de gas comprimidas adiabáticamente y/u otras corrientes de fluidos calientes que pueden estar por encima de los 400°C.

- 5 En una o más realizaciones, una planta de producción de energía puede incluir alguna combinación de los elementos que se muestran en la figura 1 (aunque se entiende que también pueden incluirse elementos adicionales). Como se ve en la misma, una planta 10 de producción de energía (o unidad de producción de energía) puede incluir una cámara 100 de combustión configurada para recibir combustible de un suministro 50 de combustible (por ejemplo, un combustible carbonoso) y oxidante de un suministro 60 de oxidante (por ejemplo, una planta o unidad de separación de aire (ASU) que produce oxígeno sustancialmente puro). Se ilustra una pluralidad de líneas (52, 54) de suministro de combustible; sin embargo, puede usarse sólo una sola línea de suministro de combustible o se pueden usar más de dos líneas de suministro de combustible. Asimismo, aunque sólo se ilustra una única línea 62 de oxidante, se puede utilizar una pluralidad de líneas de oxidante. El combustible se quema en la cámara de combustión con el oxidante en presencia de una corriente de CO₂ recirculada. La corriente de producto de combustión en la línea 102 se expande a través de una turbina 110 para producir energía con un generador 115 combinado. Aunque la cámara 100 de combustión y la turbina 110 se ilustran como elementos separados, se entiende que, en algunas realizaciones, una turbina puede estar configurada de modo que incluye la cámara de combustión. En otras palabras, una sola unidad de turbina puede incluir una sección de combustión y una sección de expansión. En consecuencia, la discusión en este documento sobre el paso de corrientes a una cámara de combustión también puede interpretarse como el paso de corrientes a una turbina que está configurada para combustión así como para expansión.

- Los gases de escape de turbina en la línea 112 se enfrían en un intercambiador 120 de calor y el agua (en la línea 132) se separa en el separador 130 para producir una corriente de CO₂ recirculada sustancialmente pura en la línea 135. Si se desea, parte de la corriente de CO₂ sustancialmente puro puede retirarse de la planta y/o desviarse a otras partes de la planta (por ejemplo, para enfriar la turbina). La corriente de CO₂ recirculada se comprime en un compresor de múltiples etapas. Como se ilustra, el compresor de múltiples etapas incluye una primera etapa 140, una segunda etapa 160 y un enfriador 150 intermedio. Opcionalmente, se pueden añadir uno o más compresores o bombas adicionales. La corriente de CO₂ recirculada comprimida en la línea 165 se hace pasar de vuelta a través del intercambiador 120 de calor a la cámara 100 de combustión. Como se ilustra (y como se analiza más adelante), una corriente 170 de hidrocarburo diluido puede introducirse en el ciclo de producción de energía. La corriente 170 se muestra generalmente como una o más entradas configuradas para introducir la corriente de hidrocarburo diluido en un componente de la unidad 10 de producción de energía. Esto se ilustra mediante la flecha continua en el margen derecho de la figura 1. La corriente 170 de hidrocarburo diluido puede excluirse específicamente de la entrada en la cámara 100 de combustión.

- 35 Dentro del ciclo de producción de energía comentado anteriormente, la corriente recirculada en una o ambas de la línea 135 y la línea 165 (que consiste en CO₂ predominantemente limpio) se puede dividir en una fracción de CO₂ de exportación, una fracción de CO₂ de dilución y una corriente de CO₂ recirculada. La razón del CO₂ dividido entre la fracción CO₂ de dilución está determinada por lo que se necesita para mezclar con el oxígeno sustancialmente puro de la ASU y proporcionar al oxidante de combustión la razón de O₂/CO₂ deseada. La corriente 170 de hidrocarburo diluido se puede mezclar directamente con la corriente de CO₂ recirculada (por ejemplo, con la corriente en la línea 135 y/o la línea 165 y/o una corriente lateral tomada de la línea 135 y/o la línea 165). La cantidad de corriente de CO₂ recirculada utilizada en esta mezcla es suficiente para mantener el flujo másico necesario a través del circuito de recirculación y depende del flujo másico de la corriente de hidrocarburo diluido (esto también proporciona un mecanismo para gestionar cambios en la velocidad de flujo de las corrientes de hidrocarburo diluido). El resto del CO₂ de la corriente de escape de turbina se convierte en fracción de CO₂ de exportación que se limpiará y enviará a una tubería para su utilización o secuestro aguas abajo.

- Las corrientes de fracción de CO₂ de exportación y de fracción de CO₂ de dilución pueden comprimirse y bombearse juntas en la operación típica del ciclo de energía (es decir, pueden comprimirse y bombearse de cualquier manera de combinación dependiendo del uso final de la fracción de CO₂ de exportación). En una realización, estas corrientes pueden enviarse a una unidad de purificación de CO₂ (por ejemplo, usando refrigeración y destilación) para eliminar el exceso de O₂ y cualquier material inerte y generar una corriente de CO₂ de alta pureza a la presión deseada. Luego se envía la fracción de CO₂ de dilución para mezclarse con el O₂ entrante para formar el oxidante de alta presión necesario en la cámara de combustión. En otra realización, la fracción de CO₂ de dilución se puede enviar directamente al mezclado con O₂ sin que sea necesaria esta eliminación de impurezas. La fracción de CO₂ de exportación se envía a una tubería para su secuestro o utilización aguas abajo.

- En una realización, la corriente de CO₂ recirculada se puede mezclar con la corriente 170 de hidrocarburo diluido antes de la compresión y el bombeo hasta la presión de entrada de la cámara de combustión (por ejemplo, aproximadamente 300 bar en algunas realizaciones). Como se ilustra en la figura 2, un hidrocarburo diluido de la fuente 171 de hidrocarburo fluye a través de la línea 172 y se introduce en la línea 135. Como tal, el hidrocarburo diluido en la línea 171 se introduce en la línea 135 que comprende el fluido de trabajo de CO₂ recirculado aguas abajo del intercambiador 120 de calor de recuperador y aguas arriba del compresor 140 y/o el compresor 160. Esto se puede realizar por separado de la fracción de CO₂ de exportación y la fracción de CO₂ de dilución para evitar la

contaminación de estas corrientes por hidrocarburos y otras especies distintas de CO₂ presentes en la corriente 170 de hidrocarburo diluido. Esto se puede lograr usando un equipo rotativo completamente separado o usando ruedas separadas del mismo equipo rotatorio, como sería viable en un compresor de engranaje integral. La corriente de hidrocarburo diluido/CO₂ recirculado mixta (ahora a una presión de aproximadamente 300 bar y a una temperatura ligeramente superior a la temperatura ambiente) se envía luego al tren 120 de intercambiador de calor primario para calentarse contra la corriente de escape de turbina en la línea 112. A menos que se indique lo contrario, otros elementos ilustrados en la figura 2 son como se describen en relación con la figura 1.

A medida que la corriente se calienta a través del tren 120 de intercambiador de calor hasta una temperatura cercana a la de los gases de escape de turbina, los hidrocarburos introducidos a través de la corriente 170 de hidrocarburo diluido experimentan oxidación térmica sin combustión sustancial. La oxidación térmica tiene lugar sin una combustión sustancial ya que las condiciones no permiten la formación de una llama sostenida. Por lo tanto, la ausencia de una combustión sustancial no excluye necesariamente que se produzca cualquier combustión, y un pequeño porcentaje (por ejemplo, menos del 5% en volumen) de los compuestos de hidrocarburo proporcionados a través de la corriente de hidrocarburo diluido puede quemarse mientras que sustancialmente la totalidad (por ejemplo, al menos el 95% en volumen) de los compuestos de hidrocarburo proporcionados a través de la corriente de hidrocarburo diluido experimentan oxidación térmica. En algunas realizaciones, la oxidación térmica puede tener lugar en ausencia total de combustión de los compuestos de hidrocarburo proporcionados a través de la corriente de hidrocarburo diluido. Esta oxidación térmica puede ocurrir en el intercambiador de calor de recuperador primario y/o puede ocurrir en un intercambiador de calor independiente que se dedica a facilitar estas reacciones. En algunas realizaciones, la oxidación térmica puede ocurrir dentro de pasajes dedicados del intercambiador de calor de recuperador.

Estas reacciones de oxidación se permiten por el hecho de que la cámara de combustión del ciclo de energía funciona con un exceso de O₂, lo que lleva a que esté presente O₂ residual en la corriente de CO₂ recirculada a una concentración sustancialmente pequeña pero a una alta presión parcial. Por ejemplo, la corriente de CO₂ recirculada en la línea 135 y/o la línea 165 puede tener una concentración de O₂ de aproximadamente el 0,01% en volumen a aproximadamente el 10% en volumen, de aproximadamente el 0,1% en volumen a aproximadamente el 8% en volumen o de aproximadamente el 0,2% en volumen a aproximadamente el 5% en volumen. En presencia de este O₂, hidrocarburos arrastrados (así como otras especies diluyentes, como H₂S) introducidos en la corriente de CO₂ recirculada de la corriente de hidrocarburo diluido comienzan a oxidarse dentro de los canales de los intercambiadores de calor del ciclo de energía a medida que se calientan progresivamente.

La mezcla de la corriente de CO₂ recirculada con la corriente de hidrocarburo diluido se controla preferiblemente de modo que el contenido total de hidrocarburo de la mezcla está por debajo del límite explosivo inferior (LEL), que puede variar en función de la mezcla específica de compuestos presentes. Por lo tanto, en algunas realizaciones, la mezcla de la corriente de hidrocarburo diluido y la corriente de CO₂ recirculada puede tener una concentración mínima de hidrocarburo de al menos el 0,1% en volumen, al menos el 0,5% en volumen, al menos el 1% en volumen o al menos el 2% en volumen, y la mezcla de la corriente de hidrocarburo diluido y la corriente de CO₂ recirculada puede tener una concentración máxima de hidrocarburo que es menor que el LEL, como se indicó anteriormente. Como ejemplo no limitante, una mezcla que comprende predominantemente CO₂ y metano puede tener un contenido máximo de metano inferior al 5% en volumen (por ejemplo, de aproximadamente el 0,01% en volumen al 4,95% en volumen).

Se entiende que las condiciones para la combustión requieren la combinación de una fuente de ignición con un combustible y un oxidante en una razón suficiente. Cuando la concentración de combustible está por debajo del LEL, la razón de combustible con respecto a oxidante es insuficiente para la combustión. Ejemplos de valores de LEL para varios hidrocarburos son los siguientes (con todos los porcentajes en volumen): butano (1,8%); monóxido de carbono (12,5%); etano (3,0%); etanol (3,3%); etileno (2,7%); gasolina (1,2%); metano (5,0%); metanol (6,7%); y propano (2,1%). En función de los valores de LEL conocidos, es posible calcular el LEL de un combustible de hidrocarburo sustancialmente puro, así como de un combustible de hidrocarburo mixto para garantizar que la concentración de hidrocarburo está por debajo del LEL global para el material o materiales particulares que se mezclan con la corriente de CO₂ recirculada. Dado que la concentración de hidrocarburos en esta corriente mixta está tan diluida (es decir, está por debajo del LEL de la mezcla), no se produce "combustión". Este proceso simplemente oxida los hidrocarburos para dar CO₂ y agua y produce calor sustancial para la corriente de CO₂ recirculada, lo que permite conservar adicionalmente el calor de alto grado de los gases de escape de turbina y utilizarlo aguas abajo en el intercambiador de calor. Este calor adicional también reduce la necesidad de fuentes de calor de bajo grado utilizadas para optimizar el tren del intercambiador de calor de recuperación del ciclo de energía. Es decir, puede que no sea necesario eliminar el calor del compresor de aire principal de la ASU y/o del ciclo de compresión de gas caliente como fuentes de calor no derivadas de la turbina.

Los gases de escape de turbina en la línea 112 de este proceso se enfrían en el intercambiador 120 de calor primario como en una configuración típica del ciclo de producción de energía, tal como se muestra en la figura 1; sin embargo, luego se envía a un enfriador de contacto directo modificado que se ha actualizado para eliminar cualquier especie de SO_x y/o NO_x que surja de la corriente de hidrocarburo diluido (por ejemplo, especies de sulfato o sulfito formadas por oxidación de compuestos que contienen azufre, como H₂S y/o especies de nitrato o nitrito formadas por oxidación de nitrógeno). Un proceso a modo de ejemplo en este sentido se describe en la solicitud de patente

estadounidense n.º 15/298.975. Los gases de escape de turbina limpios se dividen luego en la fracción de CO₂ de dilución, la fracción de CO₂ de exportación y la corriente de CO₂ recirculada y el proceso se repite introduciéndose corriente de hidrocarburo diluido adicional en el ciclo de energía.

En algunas realizaciones, la corriente de CO₂ recirculada y la corriente de hidrocarburo diluido se pueden mezclar dentro del tren del intercambiador de calor primario una vez que se ha calentado la corriente de CO₂ recirculada hasta una temperatura apropiada para facilitar las reacciones de oxidación. Alternativamente (o en combinación), la corriente de CO₂ recirculada y la corriente de hidrocarburo diluido se pueden mezclar dentro de un intercambiador de calor independiente adicional. Esto puede evitar que se produzcan estas reacciones en las partes de menor temperatura del tren del intercambiador de calor, en las que la temperatura puede ser insuficiente para permitir que se produzca la reacción de oxidación. En consecuencia, la corriente de CO₂ recirculada puede introducirse en el intercambiador de calor en una primera sección de temperatura, y la corriente de hidrocarburo diluido puede introducirse en el intercambiador de calor en una segunda sección de temperatura más alta en la que la temperatura de la corriente de CO₂ recirculada es suficiente para facilitar la oxidación de los compuestos de hidrocarburo en la corriente de hidrocarburo diluido. Como ejemplo, en la figura 3, se ilustra un segundo intercambiador 167 de calor opcional (o un intercambiador de calor suplementario). Una corriente 166 lateral tomada de la línea 165 dirige una parte de la corriente de CO₂ recirculada a través del segundo intercambiador 167 de calor para calentarse mediante oxidación de la corriente de hidrocarburo diluido en la línea 172 que se introduce en el segundo intercambiador 167 de calor y se recibe de la fuente 171 de hidrocarburo. Luego, la corriente de CO₂ recirculada calentada se introduce en el intercambiador 120 de calor de recuperador.

En algunas realizaciones, la corriente de hidrocarburo diluido se puede introducir en la corriente de oxidante, que está formada por una mezcla de oxígeno y la fracción de CO₂ de dilución, en una ubicación adecuada dentro del intercambiador de calor primario (o, alternativamente, en un intercambiador de calor dedicado independiente) de modo que la temperatura de la corriente combinada es suficiente para mantener las reacciones de oxidación. El uso de la corriente de oxidante puede servir para aumentar la velocidad (y disminuir el tiempo de residencia requerido) de estas reacciones debido a la mayor presión parcial de oxígeno presente en dicha corriente en relación con la presión parcial de oxígeno en la corriente de CO₂ recirculada. Por ejemplo, con referencia a la figura 4, una fracción de CO₂ de dilución en la línea 165a se toma de la línea 165 y se mezcla con oxidante en la línea 62 de la fuente 60 de oxidante para formar una corriente de oxidante diluido (por ejemplo, con una razón de O₂/CO₂ de alrededor de 5/95 a alrededor de 40/60 o de alrededor de 10/90 a alrededor de 30/70). La corriente de oxidante diluido puede calentarse al pasar a través del intercambiador 120 de calor contra la corriente de descarga de turbina de enfriamiento en la línea 112. Por lo tanto, la totalidad o una parte de la corriente de hidrocarburo diluido puede introducirse en la corriente de oxidante diluido antes o durante el paso a través del intercambiador 120 de calor. Como se ilustra en la figura 4, el hidrocarburo diluido de la fuente 171 de hidrocarburo diluido se hace pasar a través de la línea 172 para introducirse en la corriente de oxidante diluido en la línea 62 aguas abajo del punto en el que se añade CO₂ en la línea 165a.

En algunas realizaciones, una parte de la corriente de oxidante puede introducirse en la mezcla de la corriente de hidrocarburo diluido y la corriente de CO₂ recirculada ya sea aguas arriba o dentro del tren del intercambiador de calor primario (o, alternativamente, un intercambiador de calor dedicado independiente). Tal adición puede servir para aumentar la presión parcial de oxígeno y aumentar la velocidad de las reacciones de oxidación.

En algunas realizaciones, se puede usar un catalizador en la zona del intercambiador de calor en la que tiene que producirse la oxidación para facilitar las reacciones de oxidación y garantizar la oxidación completa. Como ejemplo no limitativo, pueden usarse catalizadores de cambio de gas de agua habitualmente usados (por ejemplo, varios óxidos metálicos, como Fe₂O₃, Cr₂O₃ y CuO). Del mismo modo, pueden usarse otros catalizadores adaptados para reducir la presión parcial de O₂ que se requiere en la corriente de CO₂ recirculada y la corriente de hidrocarburo diluido mixtas.

Además, la oxidación catalizada se puede llevar a cabo en un reactor dedicado que está separado de la unidad 120 de intercambio de calor primario. Como se ilustra en la figura 5, se puede usar un reactor 180 de oxidación opcional, y la totalidad o parte de la corriente de hidrocarburo diluido se puede introducir directamente en el reactor de oxidación. En particular, el hidrocarburo diluido de la fuente de 171 hidrocarburo diluido se hace pasar a través de la línea 172 al reactor 180 de oxidación en el que el hidrocarburo diluido se oxida para producir calor. Además, opcionalmente, se puede tomar oxidante de la línea 62 (o directamente de la fuente 60 de oxidante) en la corriente 62a y se puede introducir en el reactor 180 de oxidación. La oxidación de la corriente de hidrocarburo diluido en el reactor 180 de oxidación puede producir una corriente 182 de reacción que puede tener una química compuesta sustancialmente por CO₂ y H₂O (con una posible cantidad despreciable de hidrocarburos residuales). Se esperaría que la corriente 182 de reacción aumentara de temperatura como resultado de la reacción de oxidación, y la corriente de reacción así calentada puede introducirse en el intercambiador 120 de calor en la superficie de contacto de temperatura apropiada. En algunas realizaciones, una parte de la corriente de CO₂ recirculada (por ejemplo, de una o ambas de las líneas 135 y 165) se puede añadir a la corriente de hidrocarburo diluido y/o a la corriente 182 de reacción. Como se ve en la figura 5, CO₂ en la línea 165b (tomado de la línea 165) se puede introducir en la línea 172 con hidrocarburo diluido a través de la línea 165b' y/o en la corriente 182 de reacción a través de la línea 165b". Tales adiciones pueden ser útiles para regular la temperatura de la reacción de oxidación en el reactor 180 de oxidación y/o regular la temperatura de la propia corriente 182 de reacción antes de la introducción al tren 120 de

intercambiador de calor de recuperación primario. De esta manera, la corriente de hidrocarburo diluido se puede usar esencialmente como una fuente de calor de bajo grado que se puede considerar que es “calor externo” para su adición al intercambiador 120 de calor de recuperación que puede añadirse a, o reemplazar, otras fuentes de calentamiento externo, como utilizar la recuperación de calor de la ASU y/o un ciclo de recompresión de gas caliente. Tal forma de funcionamiento puede ser útil para mejorar la eficiencia mediante la reducción de los requisitos de UA del tren de intercambiador de calor de recuperación de ciclo de energía mientras se proporciona CO₂ adicional para exportar y compensar aún más la demanda de combustible en la cámara de combustión de ciclo de energía.

En algunas realizaciones, la corriente de hidrocarburo diluido se puede mezclar con la corriente de escape de turbina para que la oxidación de los hidrocarburos pueda “sobrecalentar” la corriente de escape de turbina. Como se ilustra en la figura 6, el hidrocarburo diluido de la fuente 171 de hidrocarburo diluido se puede introducir a través de la línea 172 directamente a los gases de escape de turbina en la línea 112 aguas arriba del intercambiador 120 de calor. Esto puede servir para aumentar la cantidad de calor disponible para la recuperación por la corriente de CO₂ recirculada al pasar a través del intercambiador 120 de calor. El oxidante de la corriente 62 de oxidante puede introducirse en la corriente de escape de turbina en dichas realizaciones dependiendo de la concentración de oxígeno residual en los gases de escape de turbina y la química de la corriente 170 de hidrocarburo diluido. Tal realización opcional se ilustra en la figura 6 en el que el oxidante en la línea 62b se hace pasar desde la línea 62 (o directamente desde la fuente 60 de oxidante) hasta la línea 112 de escape de turbina. Aunque se muestra que la línea 62a de oxidante entra en la línea 112 de escape de turbina aguas arriba del punto donde se introduce el hidrocarburo diluido en la línea 172, se entiende que la línea 62a de oxidante puede entrar en la línea 112 de escape de turbina aguas abajo del punto donde se introduce el hidrocarburo diluido en la línea 172, o la línea 62a de oxidante puede conectarse directamente a la línea 172 para mezclarse con el hidrocarburo diluido antes de entrar en la línea 112 de escape de turbina.

En realizaciones opcionales adicionales, como se ilustra en la figura 7, una parte de los gases de escape de turbina en la línea 112 se puede desviar en la línea 112a a un reactor 190 de oxidación (que puede incluir uno o más catalizadores como se indicó anteriormente) para combinarse con hidrocarburo diluido suministrado en la línea 172 desde la fuente 171 de hidrocarburo diluido. Además, opcionalmente, puede introducirse oxidante de la fuente 60 de oxidante en el reactor 190 de oxidación. La línea 112a puede configurarse para desviar una parte del fluido de trabajo de CO₂ expandido aguas arriba del intercambiador 120 de calor de recuperador y aguas abajo de la turbina 110. La corriente de producto de reacción en la línea 192 que sale del reactor 190 de oxidación tendrá una temperatura elevada por encima de la temperatura de los gases de escape de turbina en la línea 112 y puede expandirse aún más a través de una turbina 195 adicional (es decir, una turbina secundaria o una turbina suplementaria) para generación de energía adicional. Los gases de escape de turbina en la corriente 197 se pueden volver a combinar con los gases de escape de turbina en la línea 112 antes de introducirse en el intercambiador 120 de calor de recuperación, se pueden utilizar para otros fines o se pueden expulsar.

En cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento, la corriente de hidrocarburo diluido puede complementarse con otro combustible para adaptarse a cambios en la velocidad de flujo o la composición de la corriente de hidrocarburo diluido. Por ejemplo, se puede mezclar un contenido de gas natural con la corriente de hidrocarburo diluido.

Los sistemas y métodos descritos actualmente son beneficiosos para la integración de un sistema de producción de energía de alta eficiencia con combustibles de bajo BTU sin necesidad de cambios en la naturaleza básica del equipo utilizado (por ejemplo, la cámara de combustión y/o la turbina). La capacidad de utilizar corrientes de hidrocarburo diluido de esta manera sin necesidad de actualizar proporciona importantes ventajas económicas y de proceso, como reducir o eliminar los requisitos de GPU y/o aumentar la recuperación de CO₂.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la producción de energía que comprende:

llevar a cabo un ciclo de producción de energía cerrado o semicerrado en el que:

se hace circular CO₂ como un fluido de trabajo que se comprime y expande repetidamente para la producción de energía;

se quema una primera fuente de combustible en una cámara (100) de combustión para calentar el fluido de trabajo después de comprimir el fluido de trabajo y antes de expandir el fluido de trabajo para producir energía; y

se usa un intercambiador (120) de calor de recuperador para volver a captar el calor de la combustión para calentar el fluido de trabajo;

caracterizado por que el método comprende además calentar el fluido de trabajo con calor que se forma fuera de la cámara (100) de combustión utilizando una segunda fuente de combustible que se oxida sin una combustión sustancial, siendo dicho calentamiento además del calor de combustión captado de nuevo, en el que dicho segunda fuente de combustible es una corriente (170) de hidrocarburo diluido que comprende un diluyente y uno o más hidrocarburos en una concentración que está por debajo del límite explosivo inferior (LEL) del uno o más hidrocarburos.

2. El método según la reivindicación 1, en el que los hidrocarburos en la corriente (170) de hidrocarburo diluido se oxidan catalíticamente.

3. El método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que:

el primer combustible se quema con oxígeno en la cámara (100) de combustión en presencia del fluido de trabajo de CO₂ para formar una corriente de escape;

la corriente de escape de la cámara (100) de combustión se expande en una turbina (110) para producir energía y formar una corriente de escape de turbina;

la corriente de escape de turbina se enfría en el intercambiador (120) de calor de recuperador;

la corriente de escape de turbina que sale del intercambiador (120) de calor de recuperador se purifica para eliminar al menos agua del fluido de trabajo;

al menos una parte del fluido de trabajo se comprime en un compresor (140, 160);

al menos una parte del fluido de trabajo comprimido se hace pasar de vuelta a través del intercambiador (120) de calor de recuperador de manera que el fluido de trabajo comprimido se calienta con calor extraído de la corriente de escape de turbina; y

el fluido de trabajo comprimido y calentado se hace recircular a la cámara (100) de combustión.

4. El método según la reivindicación 3, en el que la corriente (170) de hidrocarburo diluido se añade al fluido de trabajo después de comprimir el fluido de trabajo en el compresor (140, 160) y antes de hacer pasar de vuelta el fluido de trabajo a través del intercambiador (120) de calor de recuperador; y opcionalmente en el que se aplica una o ambas de las siguientes condiciones:

los hidrocarburos en la corriente (170) de hidrocarburo diluido se oxidan dentro del intercambiador (120) de calor de recuperador;

los hidrocarburos en la corriente (170) de hidrocarburo diluido se oxidan en un intercambiador de calor adicional configurado para el intercambio de calor con uno o ambos del fluido de trabajo y una corriente de oxígeno que proporciona el oxígeno a la cámara (100) de combustión.

5. El método según la reivindicación 3 ó 4, en el que la corriente (170) de hidrocarburo diluido se combina con el fluido de trabajo comprimido en el intercambiador (120) de calor de recuperador.

6. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que una parte del fluido de trabajo comprimido se combina con oxígeno para formar una corriente de oxígeno diluido, y en el que la corriente (170) de hidrocarburo diluido se combina con la corriente de oxígeno diluido; y opcionalmente en el que se aplica una o ambas de las siguientes condiciones:

la corriente de oxígeno diluido combinada con la corriente (170) de hidrocarburo diluido se hace pasar a través del intercambiador (120) de calor de recuperador en el que se oxidan los hidrocarburos en la corriente (170) de hidrocarburo diluido;

la corriente de oxígeno diluido combinada con la corriente (170) de hidrocarburo diluido se hace pasar a través de otro intercambiador (167) de calor en el que se oxidan los hidrocarburos en la corriente (170) de hidrocarburo diluido.

- 5 7. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, en el que la corriente (170) de hidrocarburo diluido se introduce en un reactor (180, 190) de oxidación; y opcionalmente en el que se aplica una o ambas de las siguientes condiciones:

una corriente de reacción que sale del reactor (180) de oxidación se introduce en el intercambiador (120) de calor de recuperador;

una corriente de reacción que sale del reactor (190) de oxidación se introduce en una turbina (195) adicional para la producción de energía, y preferiblemente en el que una parte de la corriente de escape de turbina se introduce en el reactor de oxidación para incluirse en la corriente de reacción que se introduce en la turbina (195) adicional.
- 10 8. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la corriente (170) de hidrocarburo diluido es un producto de un proceso de recuperación mejorada de petróleo.
9. Un sistema de producción de energía que comprende:

15 una unidad (10) de producción de energía configurada para llevar a cabo un ciclo de producción de energía cerrado o semicerrado, incluyendo dicha unidad de producción de energía:

una cámara (100) de combustión configurada para la combustión de un primer combustible en presencia de un fluido de trabajo de CO₂ comprimido;

20 una turbina (110) configurada para expandir el fluido de trabajo de CO₂ comprimido para proporcionar un fluido de trabajo de CO₂ expandido;

un compresor (140, 160) configurado para comprimir el fluido de trabajo de CO₂ expandido para proporcionar el fluido de trabajo de CO₂ comprimido; y

un intercambiador (120) de calor de recuperador configurado para transferir calor del fluido de trabajo de CO₂ expandido que sale de la turbina (110) al fluido de trabajo de CO₂ comprimido que sale del compresor (140, 160);

25 caracterizado por que la unidad (10) de producción de energía comprende además una o más entradas configuradas para introducir una corriente (170) de hidrocarburo diluido en un componente de la unidad (10) de producción de energía distinto de la cámara (100) de combustión, en el que la corriente de hidrocarburo diluido (170) comprende un diluyente y uno o más hidrocarburos en una concentración que está por debajo del límite explosivo inferior (LEL) del uno o más hidrocarburos; y

30 un reactor (180, 190) de oxidación;

en el que la una o más entradas están configuradas para introducir la corriente (170) de hidrocarburo diluido en el reactor (180, 190) de oxidación, y en el que el reactor (180, 190) de oxidación está configurado para recibir una parte del fluido de trabajo de CO₂ expandido aguas arriba del intercambiador (120) de calor de recuperador.
- 35 10. El sistema de producción de energía según la reivindicación 9, en el que la una o más entradas están configuradas para introducir la corriente (170) de hidrocarburo diluido en el intercambiador (120) de calor de recuperador.
11. El sistema de producción de energía según la reivindicación 9 o la reivindicación 10, que comprende además un segundo intercambiador (167) de calor, y en el que la una o más entradas están configuradas para introducir la corriente (170) de hidrocarburo diluido en el segundo intercambiador (167) de calor.
- 40 12. El sistema de producción de energía según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que el reactor (180, 190) de oxidación es un reactor de oxidación catalítica.
13. El sistema de producción de energía según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que el reactor (180, 190) de oxidación está configurado para generar una corriente de reacción que se introduce en el intercambiador (120) de calor de recuperador.
- 45 14. El sistema de producción de energía según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, que comprende además una segunda turbina (195) configurada para recibir una corriente de reacción del reactor (180, 190) de oxidación.

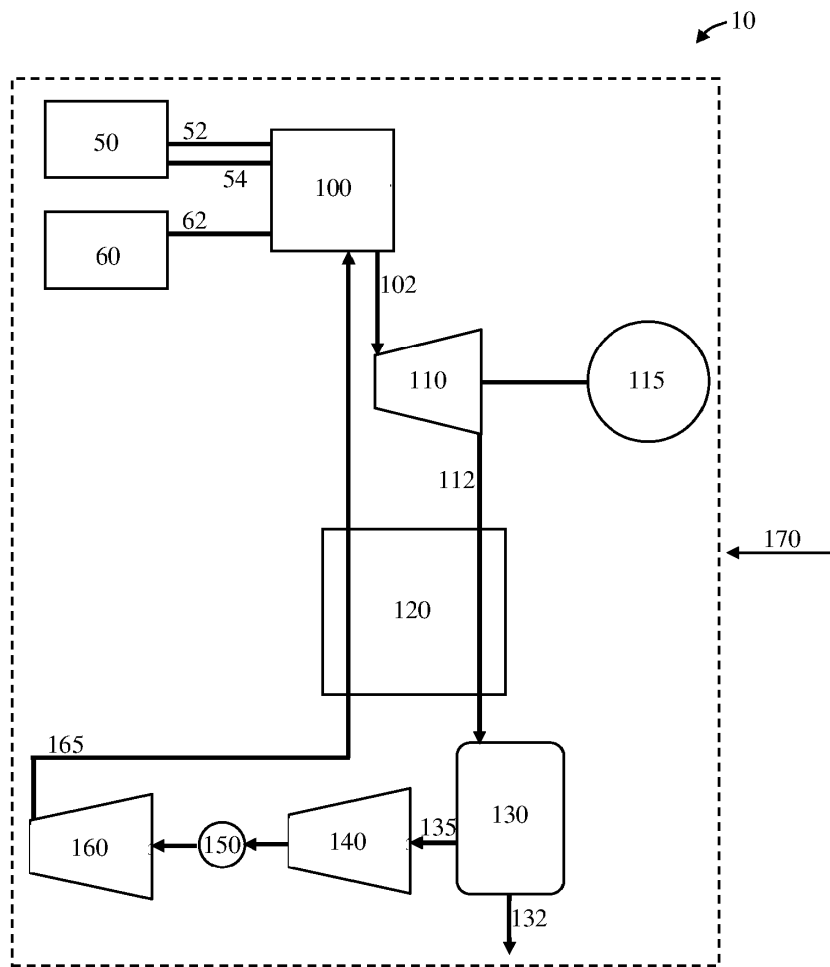


FIG. 1

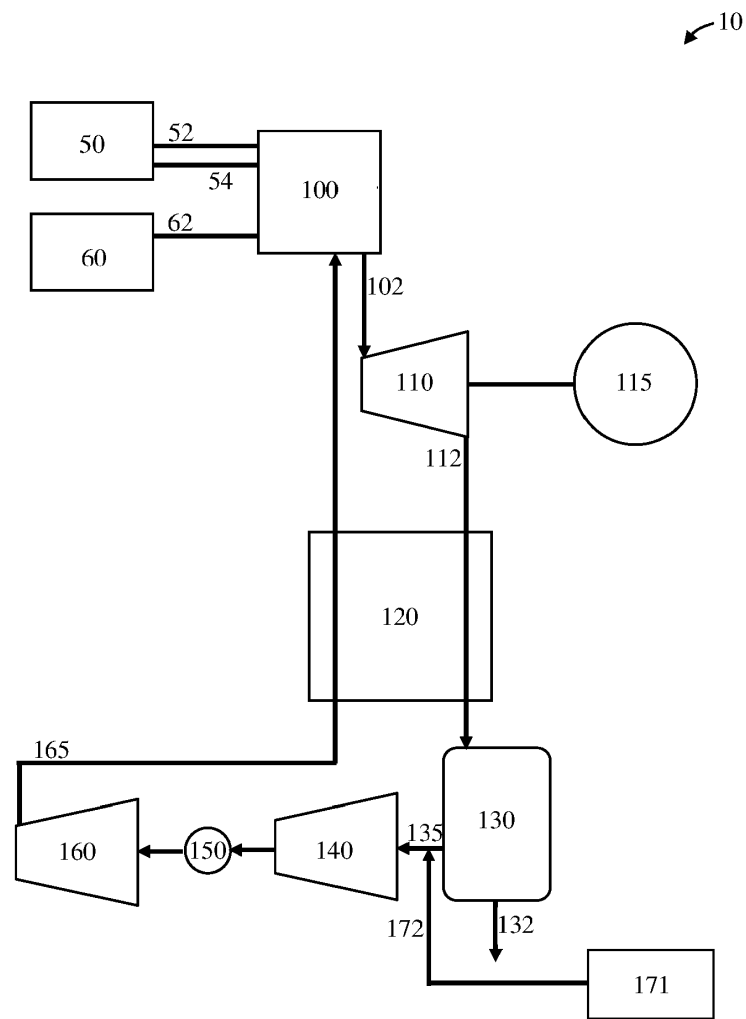


FIG. 2

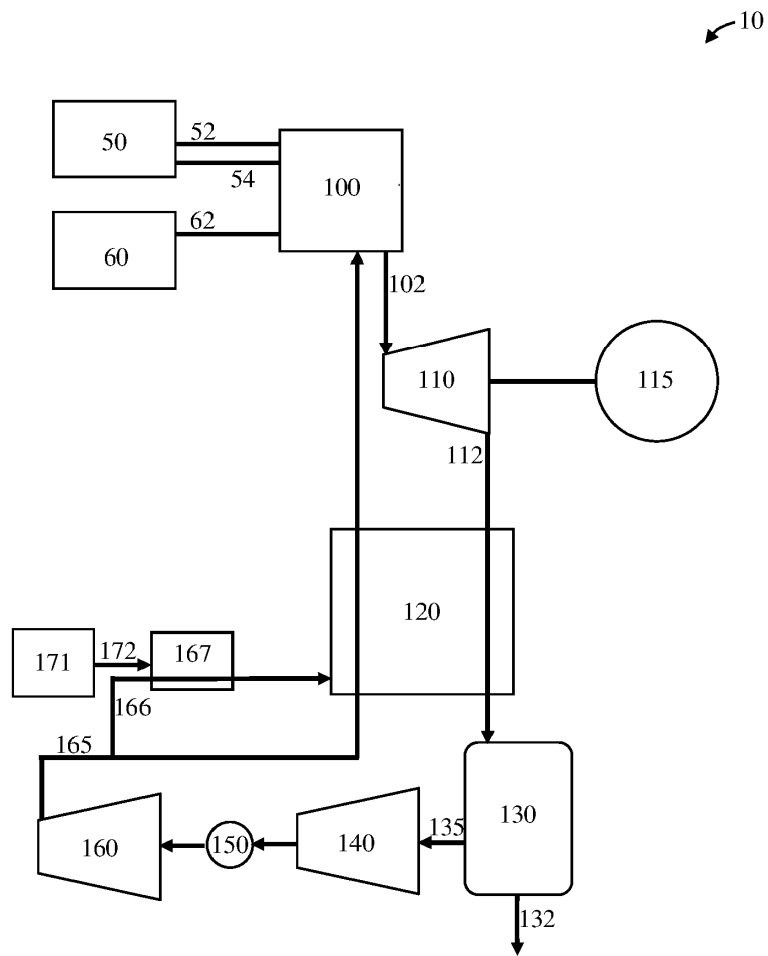


FIG. 3

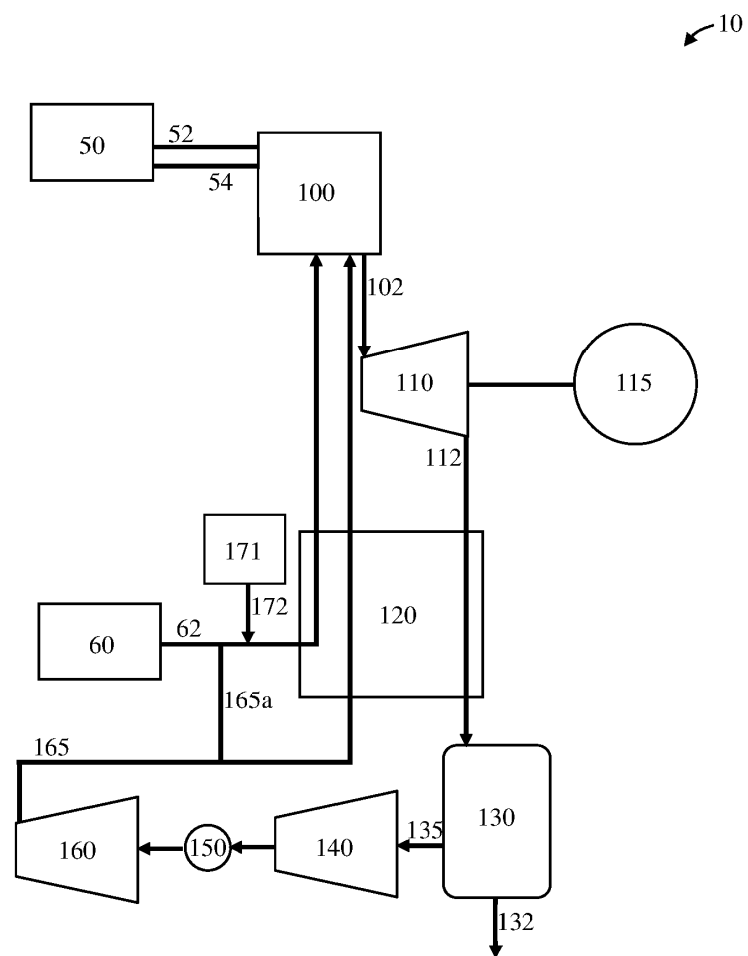


FIG. 4

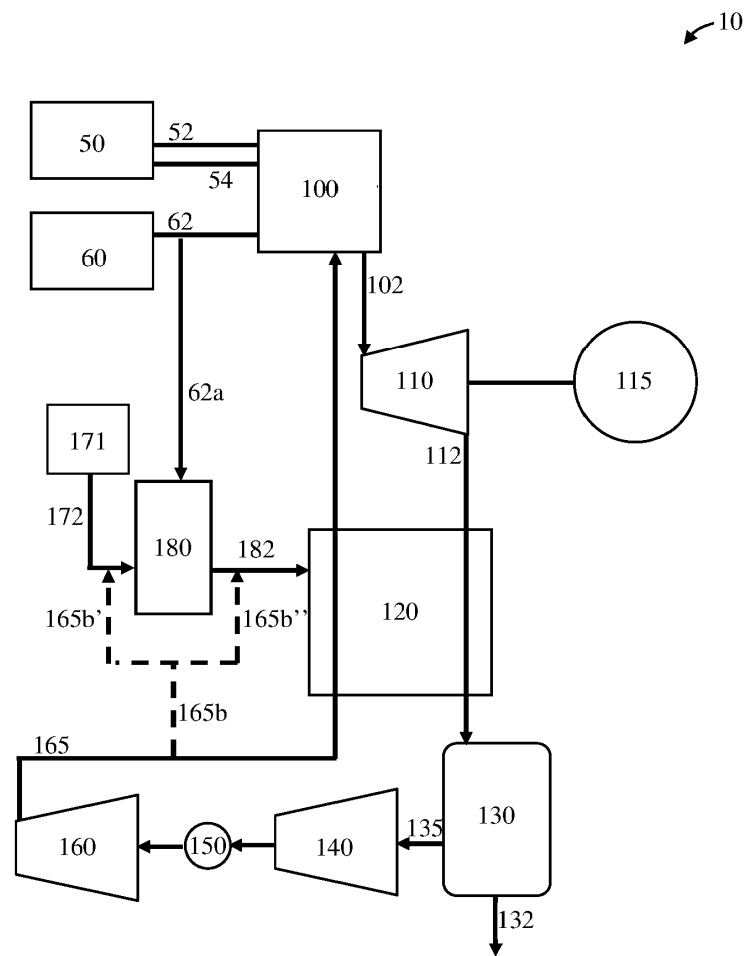


FIG. 5

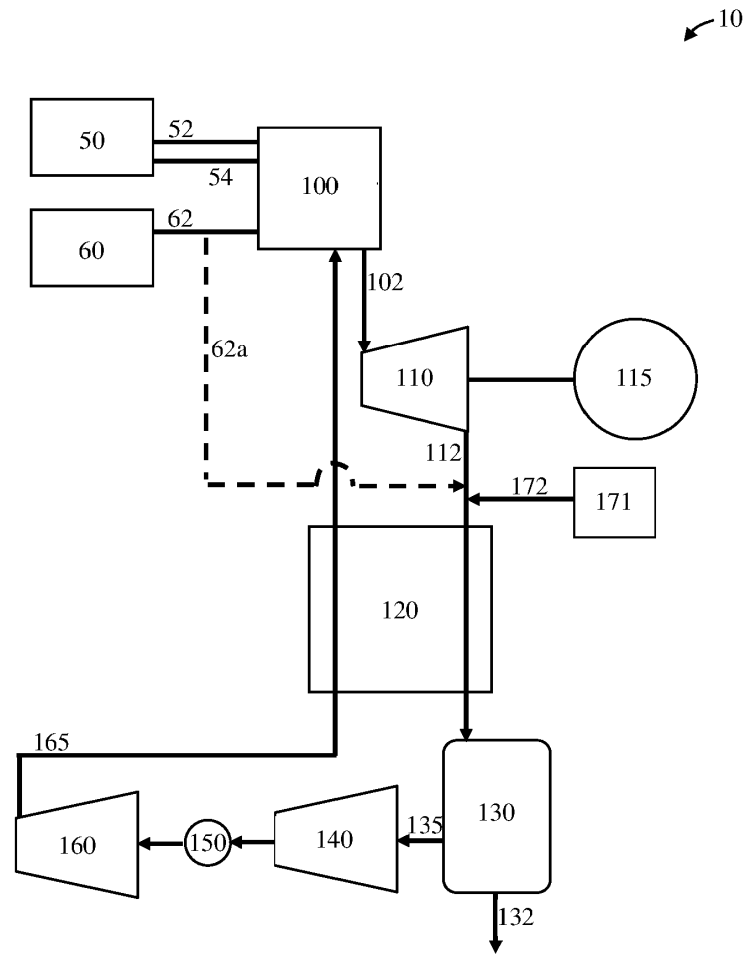


FIG. 6

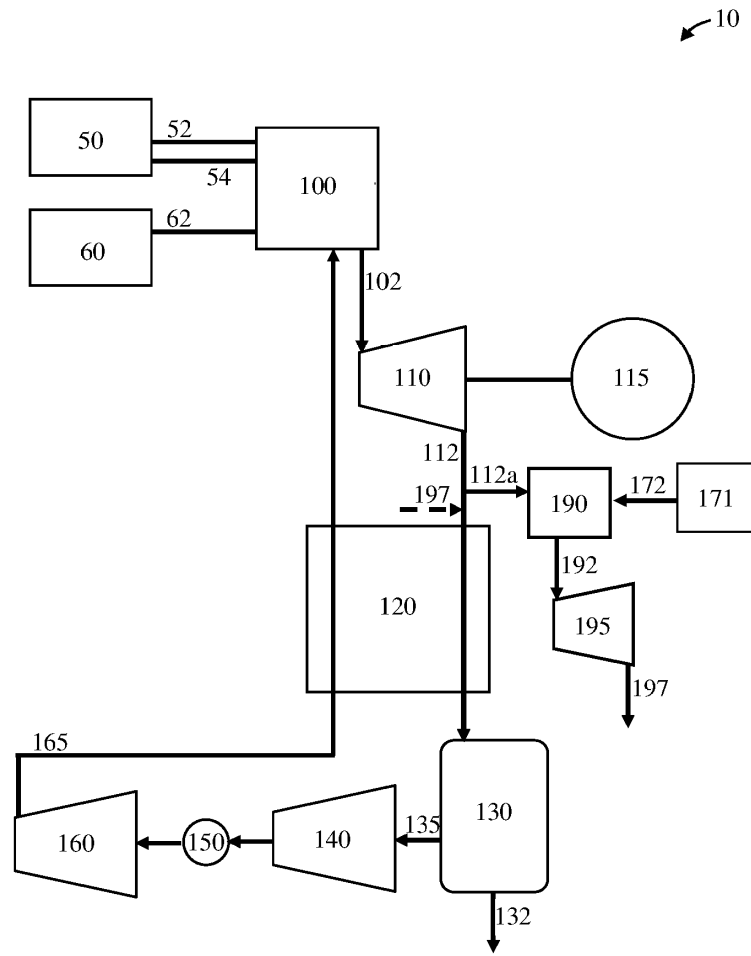


FIG. 7