

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 016 637**

51 Int. Cl.:

F01K 25/10

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.05.2020** **PCT/IB2020/054653**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.11.2020** **WO20234735**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.05.2020** **E 20726965 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.03.2025** **EP 3969732**

54 Título: **Control de inventario de ciclo cerrado**

30 Prioridad:

17.05.2019 US 201962849239 P

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

09.05.2025

73 Titular/es:

**8 RIVERS CAPITAL, LLC (100.00%)
406 Blackwell Street
Durham, North Carolina 27701, US**

72 Inventor/es:

**FETVEDT, JEREMY ERON y
FORREST, BROCK ALAN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 3 016 637 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

Control de inventario de ciclo cerrado

Campo de la divulgación

- 5 La materia de asunto divulgada actualmente se refiere a sistemas y métodos para controlar los diversos aspectos de una central eléctrica. Más particularmente, los sistemas y métodos pueden utilizar una variedad de señales y funciones para la gestión de masa en un ciclo de potencia cerrado o semicerrado.

Antecedentes

- 10 A medida que aumenta la demanda mundial de producción de potencia eléctrica, existe una necesidad continua de plantas de producción de potencia adicionales para satisfacer dichas necesidades. Los ciclos de potencia de bucle cerrado o de bucle semicerrado que utilizan un fluido de trabajo de dióxido de carbono (u otro fluido de trabajo) pueden ser ventajosos en vista de las eficiencias alcanzables y el potencial de poco o ningún escape de productos de combustión a la atmósfera. Por ejemplo, la patente de EE. UU. n.º 8,596,075 de Allam et al. proporciona eficiencias deseables en sistemas de combustión de oxcombustible que utilizan una corriente de CO₂ reciclado en donde el CO₂ se captura como una corriente relativamente pura a alta presión. Sin embargo, los ciclos de producción de potencia de bucle cerrado o de bucle semicerrado pueden requerir un control de inventario para mantener las condiciones operativas requeridas, en particular cuando se utiliza una entrada de calor variable. Dicho control de inventario puede incluir funciones, como la gestión de masa y/o la gestión de presión. Los documentos US2016/017758 A1 y US2018/283222 A1 divulgan otros sistemas de gestión de masa.

- 20 Los sistemas conocidos para la gestión de masa pueden incluir el uso de un tanque en el que se puede almacenar y liberar fluido. El tanque se conecta típicamente para transmisión de fluidos a una línea de flujo en el lado de baja presión y el lado de alta presión de un elemento de aumento de presión (por ejemplo, una bomba o compresor). Como tal, el fluido se puede liberar en la línea en el lado de baja presión y/o se puede tomar de la línea en el lado de alta presión. Como tal, el tanque está a una presión que está entre la presión de succión y la presión de escape del elemento de aumento de presión. Sin embargo, tales sistemas pueden estar limitados en su capacidad para proporcionar flexibilidad de parámetros operativos, como cuando se utiliza una entrada de calor variable al sistema. En consecuencia, existe una necesidad de sistemas y métodos adicionales adecuados para controlar múltiples aspectos de las plantas energéticas, particularmente plantas energéticas configuradas para operar con un ciclo de producción de potencia de bucle cerrado o bucle semicerrado.

Compendio de la divulgación

- 30 Un sistema de producción de potencia según la invención se describe en la reivindicación 1 y un método para controlar el inventario de un fluido de trabajo en un sistema de producción de potencia se describe en la reivindicación 7.

- 35 La presente divulgación proporciona sistemas y métodos para la producción de potencia en donde se utilizan una o más rutas de control para controlar una o más acciones. Los controles pueden basarse en una variedad de entradas manuales o automatizadas, valores calculados, valores preestablecidos, valores medidos, funciones lógicas, algoritmos informáticos o entradas de programas informáticos.

- 40 En una o más realizaciones, la presente divulgación puede referirse a un sistema de producción de potencia. El sistema puede incluir una variedad de elementos eficaces para la producción de potencia utilizando un circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado. En algunas realizaciones, dicho sistema puede comprender: un circuito de fluido de trabajo a través del cual se hace circular un fluido de trabajo entre una presión más alta y una presión más baja; una turbina generadora de potencia conectada para transmisión de fluidos al circuito de fluido de trabajo de modo que reciba fluido de trabajo a la presión más alta, expanda el fluido de trabajo y tenga como salida el fluido de trabajo desde una salida de la misma a la presión más baja; un primer componente de compresión aguas abajo de la turbina generadora de potencia y en conexión de fluidos con la misma; un segundo componente de compresión aguas abajo del primer componente de compresión y en conexión de fluidos con el mismo; un tanque de almacenamiento en comunicación de fluidos con el circuito de fluido de trabajo; y un controlador configurado para transferir fluido de trabajo entre el tanque y una o más posiciones en el circuito de fluido de trabajo. El sistema puede definirse además en relación con una o más de las siguientes afirmaciones que pueden combinarse en cualquier orden o número.

El primer componente de compresión puede ser un compresor de una sola etapa o de varias etapas.

El segundo componente de compresión puede ser una bomba de velocidad variable.

- 50 El sistema de producción de potencia puede comprender además al menos una línea configurada para el paso de fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento y el circuito de fluido de trabajo.

El sistema de producción de potencia puede comprender además al menos una válvula configurada para controlar el flujo de fluido a través de la al menos una línea configurada para el paso de fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento y el circuito de fluido de trabajo.

El controlador se puede configurar para abrir y cerrar al menos una válvula en función de al menos una entrada condicional recibida por el controlador.

5 La al menos una línea configurada para el paso de fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento y el circuito de fluido de trabajo puede configurarse para retirar fluido de trabajo del circuito de fluido de trabajo aguas arriba del primer componente de compresión y aguas abajo de una salida de la turbina de generación de potencia.

La al menos una línea configurada para el paso de fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento y el circuito de fluido de trabajo puede configurarse para eliminar fluido de trabajo del circuito de fluido de trabajo aguas abajo del primer componente de compresión y aguas arriba del segundo componente de compresión.

10 La al menos una línea configurada para el paso de fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento y el circuito de fluido de trabajo puede configurarse para introducir fluido de trabajo en el circuito de fluido de trabajo aguas abajo del primer componente de compresión y aguas arriba del segundo componente de compresión.

La al menos una línea configurada para el paso de fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento y el circuito de fluido de trabajo puede configurarse para introducir fluido de trabajo en el circuito de fluido de trabajo aguas abajo del segundo componente de compresión y aguas arriba de una entrada de la turbina de generación de potencia.

15 El sistema de producción de potencia puede comprender además un calentador posicionado aguas arriba de la turbina generadora de potencia y que tiene una salida en comunicación de fluidos con una entrada de la turbina generadora de potencia.

20 El sistema de producción de potencia puede comprender además un componente de calentamiento/enfriamiento en una conexión de calentamiento/enfriamiento con el tanque de almacenamiento y configurado para uno o ambos fluidos de trabajo de calentamiento y enfriamiento que están presentes en el tanque de almacenamiento.

Otros ejemplos de los sistemas de producción de potencia descritos en esta memoria se desprenden de la divulgación adicional proporcionada en esta memoria.

25 En una o más realizaciones, la presente divulgación puede relacionarse con un método para controlar el inventario en un sistema de producción de potencia que utiliza un circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado. En algunas realizaciones, dicho método puede comprender: expandir un fluido de trabajo en un circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado a través de una turbina generadora de potencia desde una presión más alta a una presión más baja; comprimir el fluido de trabajo expandido en un primer componente de compresión; comprimir aún más el fluido de trabajo en un segundo componente de compresión; y transferir fluido de trabajo entre una o más posiciones del circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado y un tanque de almacenamiento. El método se puede definir además en relación con una o más de las siguientes afirmaciones que se pueden combinar en cualquier orden o número.

30 La transferencia del fluido de trabajo entre una o más posiciones del circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado y el tanque de almacenamiento puede basarse en al menos una entrada condicional a al menos un controlador en una disposición de trabajo con el circuito de fluido de trabajo.

35 El segundo componente de compresión puede ser una bomba de velocidad variable.

La al menos una entrada condicional al por lo menos un controlador puede incluir uno o más de un cambio en una velocidad de funcionamiento de la bomba de velocidad variable, una presión de succión medida entre el primer componente de compresión y la bomba de velocidad variable, y una temperatura del fluido de trabajo en una salida de la turbina generadora de potencia.

40 El circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado puede configurarse para mantener un intervalo de presión de funcionamiento entre la primera unidad de compresión y la segunda unidad de compresión, siendo dicho intervalo de presión de funcionamiento comprendido entre una presión mínima P1 y una presión máxima P2.

45 El al menos un controlador puede configurarse para provocar el paso de fluido de trabajo desde el tanque de almacenamiento a al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado para mantener la presión por encima de la presión mínima P1.

El paso del fluido de trabajo desde el tanque de almacenamiento puede ser a al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado que está aguas arriba del primer componente de compresión y aguas abajo de una salida de la turbina generadora de potencia.

50 El paso del fluido de trabajo desde el tanque de almacenamiento puede ser a al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado que está aguas abajo del primer componente de compresión y aguas arriba del segundo componente de compresión.

El al menos un controlador puede configurarse para provocar el paso de fluido de trabajo al tanque de almacenamiento desde al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado para mantener

la presión por debajo de la presión máxima P2.

El paso del fluido de trabajo al tanque de almacenamiento puede ser desde al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado que se encuentra aguas abajo del primer componente de compresión y aguas arriba del segundo componente de compresión.

- 5 El paso del fluido de trabajo al tanque de almacenamiento puede ser desde al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado que se encuentra aguas abajo del segundo componente de compresión y aguas arriba de una entrada de la turbina generadora de potencia.

El fluido de trabajo puede contener dióxido de carbono.

El fluido de trabajo puede contener más del 50 % molar de dióxido de carbono.

- 10 El método puede comprender además uno o ambos fluidos de trabajo de calentamiento y enfriamiento que se encuentran en el tanque de almacenamiento.

Otras realizaciones del método descrito actualmente para controlar el inventario en un sistema de producción de potencia son evidentes a partir de la divulgación adicional proporcionada en esta memoria.

Breve descripción de la figura

- 15 A continuación se hará referencia al dibujo adjunto, que no está necesariamente dibujado a escala, y en donde:

La FIG. 1 es un diagrama de flujo para un ciclo de producción de potencia de bucle cerrado con elementos de control de inventario según realizaciones de la presente divulgación.

Descripción detallada

- 20 Tal como se utiliza en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas, las formas singulares "un", "una", "el", "la" incluyen referentes plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

- La presente divulgación se refiere a sistemas y métodos adaptados para controlar una o más acciones en el funcionamiento de una planta de producción de potencia. Como tal, la presente divulgación se refiere además a plantas de producción de potencia que incluyen una variedad de elementos, incluidos dichos sistemas de control. Ejemplos no limitativos de elementos que pueden incluirse en una planta de producción de potencia según la presente divulgación se describen en la Patente de EE. UU. N.º 8,596,075, la Patente de EE. UU. N.º 8,776,532, la Patente de EE. UU. N.º 8,959,887, la Patente de EE. UU. N.º 8,986,002, la Patente de EE. UU. N.º 9,068,743, la Patente de EE. UU. N.º Pub. 2010/0300063, la Patente de EE. UU. N.º Pub. 2012/0067054, la Patente de EE. UU. N.º Pub. 2012/0237881 y la Patente de EE. UU. N.º Pub. 2013/0213049.

- 30 En una o más realizaciones, la presente divulgación se refiere a un sistema y/o un método de producción de potencia que utiliza un ciclo de bucle cerrado o bucle semicerrado. En particular, el sistema y/o el método pueden incorporar elementos beneficiosos para el control de inventario. En ciertas realizaciones, dichos elementos se configuran para mejorar las operaciones con una gestión mejorada de los flujos de masa y/o volumen en uno o más puntos del ciclo.

- Un sistema y/o un método de producción de potencia como el que se analiza en esta memoria puede exhibir controles de inventario mejorados mediante la utilización de una combinación de elementos. En algunas realizaciones, puede ser útil utilizar dos etapas independientes de compresión/bombeo de fluido a través del ciclo. Al tener dos etapas independientes de compresión/bombeo, el presente ciclo está en una posición beneficiosa para permitir que la presión entre las etapas independientes separadas flote sustancialmente, es decir, se encuentre dentro de un intervalo relativamente amplio definido por límites superior e inferior. No se sabe que los compresores/bombas multietapa exhiban tales capacidades ya que las etapas individuales deben equilibrarse cuidadosamente para que una no esté en sobrecarga mientras que la otra se encuentre dentro de los parámetros de funcionamiento normales. Al utilizar una pluralidad de etapas independientes de compresión/bombeo según la presente divulgación, es posible permitir que la presión en el área entre las etapas aumente y/o disminuya, almacenando así el exceso de inventario y/o proporcionando inventario adicional al ciclo sin el requisito del uso de equipo adicional. Además, se puede agregar un tanque de almacenamiento entre las etapas con controles simples para establecer una presión máxima y mínima para permitir cambios mucho mayores en las condiciones de funcionamiento del ciclo.

- Los sistemas y métodos según la presente divulgación pueden incorporar una variedad de componentes que funcionan en condiciones adecuadas. Por ejemplo, al menos una turbina productora de potencia y un generador asociado para generar electricidad pueden combinarse con una pluralidad de etapas independientes de compresión/bombeo que se separan por tuberías o líneas con suficiente volumen para acomodar el almacenamiento de fluido entre ellas. Esto puede incluir uno o más tanques de almacenamiento posicionados entre la pluralidad de etapas de compresión/bombeo. Uno o más enfriadores y/o calentadores pueden incluirse en uno o más puntos en el sistema, por ejemplo, para eliminar calor del fluido de trabajo expandido antes de la compresión, para eliminar calor o agregar calor entre las etapas de compresión/bombeo, y/o para agregar calor al fluido de trabajo antes de la expansión en la turbina. En algunas realizaciones, la turbina productora de potencia puede ser una unidad combinada de

calentador/turbina. Alternativamente, una cámara de combustión u otra unidad de calentamiento puede posicionarse aguas arriba de la turbina productora de potencia, particularmente directamente aguas arriba de la turbina productora de potencia.

Una realización de la presente invención se ilustra en la FIG. 1, que muestra un diagrama simplificado de un ciclo de producción de potencia de bucle cerrado. Sin embargo, se entiende que los aspectos de la presente divulgación pueden incorporarse asimismo, en su totalidad o en parte, en ciclos de producción de potencia de bucle cerrado o de bucle semicerrado que tengan más o menos partes en relación con el diagrama de la FIG. 1. Por ejemplo, los aspectos de la presente divulgación pueden incorporarse en producciones de potencia como se describe en cualquiera de los documentos anteriores. El ciclo ilustrado en la FIG. 1, por ejemplo, puede configurarse como un ciclo de producción de potencia de bucle semicerrado introduciendo una válvula 500 como se muestra en la FIG. 1 como un componente opcional. La válvula 500 puede permitir la extracción de una parte del fluido de trabajo. Asimismo, se puede utilizar una válvula 600 para la introducción de fluido de reposición y/o combustible. La válvula 500 y la válvula 600 pueden posicionarse en otras ubicaciones en el ciclo de producción de potencia ilustrado.

La FIG. 1 muestra una realización de un sistema de producción de potencia que incluye diversos componentes. Un circuito de fluido de trabajo 100 puede incluir cualquier tubería, línea, válvula, divisor, unión y otros componentes necesarios que se utilizan normalmente en un sistema de producción de potencia para el paso de un fluido calentado y/o comprimido a través del mismo. En el circuito de fluido de trabajo 100, un fluido de trabajo se hace circular entre una presión más alta y una presión más baja. Los intervalos para la presión más alta y la presión más baja pueden variar según se desee. Por ejemplo, la presión más baja puede estar en un intervalo de presión ambiente de hasta aproximadamente 5 bar, aproximadamente 4 bar, aproximadamente 3 bar o aproximadamente 2 bar. La presión más alta puede variar en un intervalo de aproximadamente 10 bar hasta aproximadamente 400 bar, aproximadamente 15 bar hasta aproximadamente 350 bar o aproximadamente 20 bar hasta aproximadamente 300 bar. Se entiende, sin embargo, que los términos "superior" e "inferior" se entienden relativos entre sí, y la presión superior puede ser cualquier presión que sea superior a la presión inferior, y la presión inferior puede ser cualquier presión que sea inferior a la presión superior.

La turbina generadora de potencia 10 se conecta para transmisión de fluidos al circuito de fluido de trabajo 100 para recibir fluido de trabajo a la presión más alta, expandir el fluido de trabajo y sacar el fluido de trabajo desde una salida 10b de la misma a la presión más baja. El fluido de trabajo a presión más alta en particular puede entrar a la turbina generadora de potencia 10 a través de una entrada 10a. Un primer componente de compresión (por ejemplo, el compresor 30) se posiciona aguas abajo de la turbina generadora de potencia 10 y en conexión de fluidos con la misma de modo que el fluido de trabajo entra al compresor 30 y se comprime a una presión más alta en relación con la presión del fluido de trabajo en la salida 10b de la turbina 10. El primer componente de compresión puede ser, por ejemplo, un compresor de una sola etapa o un compresor de múltiples etapas. Cuando se utiliza un compresor de múltiples etapas, puede ser beneficioso utilizar enfriamiento entre las etapas de compresión. Un segundo componente de compresión (por ejemplo, la bomba 20) se posiciona aguas abajo del primer componente de compresión y en conexión de fluidos con el mismo. Como se describe más adelante, puede ser útil, en algunas realizaciones, que el segundo componente de compresión sea una bomba, como una bomba de velocidad variable. Esto puede ser útil para proporcionar cambios controlados en la velocidad de la bomba para tener en cuenta los cambios en el inventario de fluido de trabajo aguas arriba de la bomba.

Un enfriador 32 se posiciona entre la turbina 10 y el compresor 30, y un enfriador 22 se posiciona entre el compresor 30 y la bomba 20. Dichos enfriadores pueden ser opcionales pero pueden ser útiles para mantener las presiones y/o densidades deseadas del fluido de trabajo en diversos puntos en el circuito de fluido de trabajo 100. Como se describe más adelante, un tanque de almacenamiento 40 puede incluirse preferiblemente y posicionarse de manera que esté en comunicación de fluidos con el circuito de fluido de trabajo 100. Un controlador 41 puede configurarse para transferir fluido de trabajo entre el tanque 40 y una o más posiciones en el circuito de fluido de trabajo 100. Dicha transferencia puede automatizarse y puede depender de la entrada de una o más señales al controlador 41.

El ciclo ilustrado en la FIG. 1 ilustra particularmente el uso de una fuente de calor controlable 12, es decir, una fuente de calor donde la entrada puede variar en un intervalo relativamente amplio. El uso de una fuente de calor controlable introduciría típicamente complejidades que pueden hacer que el control de inventario sea inalcanzable de otra manera. La presente divulgación, sin embargo, puede lograr los controles de inventario necesarios cuando se utiliza una fuente de calor controlable o una fuente de calor que proporciona una entrada de calor fija. Como se ilustra, la fuente de calor 12 es una fuente de calor controlable, pero se entiende que se puede utilizar una fuente de calor fija. La fuente de calor 12, por ejemplo, puede ser una cámara de combustión, incluyendo una cámara de combustión de combustible flexible como se describe en la solicitud de patente de EE. UU. N.º de publicación 2018/0259183.

También se pueden utilizar otros tipos de fuentes de calor, como un calentador solar, una caldera o similares.

Debido a que la fuente de calor 12 es controlable (o variable), la presente divulgación incluye elementos de control para gestionar el calor que entra en el sistema. Como se ilustra, un controlador 1 mide la salida de potencia de un generador 11, sin embargo, varios elementos posibles pueden ser controlados por el controlador 1. Más particularmente, el controlador 1 ordena la entrada de calor en la fuente de calor 12 para generar la potencia requerida. Si la fuente de calor no es controlable, o se controla de otra manera fuera del bucle de potencia, el controlador 1 es

opcional y no es necesario y el sistema simplemente extraerá la cantidad máxima de potencia del calor añadido en la fuente de calor 12. En una o más realizaciones, se puede utilizar uno o más intercambiadores de calor recuperativos, y el calentamiento recuperable puede ser beneficioso en diversas condiciones. Si hay un intercambiador de calor recuperativo, también puede ser beneficioso incluir una o más fuentes de calor adicionales para agregar calor al ciclo a través del intercambiador de calor recuperativo. De manera similar, se puede usar uno o más intercambiadores de calor para eliminar calor del ciclo. Esto se ilustra en la FIG. 1 mediante el intercambiador de calor 14, que es opcional, y se puede usar al menos para el calentamiento recuperativo del fluido de trabajo que entra al calentador 12 recuperando calor de la corriente de fluido de trabajo que sale de la turbina 10.

A medida que se añade calor al sistema a través de la fuente de calor 12 (o de otra fuente de calor), la temperatura en diversos puntos del ciclo aguas abajo de la fuente de calor aumentará en consecuencia. Por ejemplo, la adición de calor en la fuente de calor 12 aumentará la temperatura en una entrada de la turbina 10 y, después de la expansión a través de la turbina 10, la temperatura en el punto 13 (después de salir por una salida de la turbina) cambiará de la misma manera. El controlador 2 puede configurarse para medir la temperatura en uno o más puntos del sistema y, en consecuencia, ordenar que la potencia o la velocidad de la bomba 20 cambien para mantener una temperatura constante en uno o más puntos. Como se ilustra en la FIG. 1, el controlador 2 se acopla a la medición de temperatura en el punto 13 de modo que se pueda gestionar el control de la bomba 20 para lograr una temperatura constante en el punto 13. Sin embargo, se entiende que el controlador 2 puede acoplarse a puntos adicionales en el sistema o a un único punto diferente en el sistema. Asimismo, se pueden añadir controladores adicionales de modo que el control de la bomba 20 se pueda acoplar individualmente a mediciones de temperatura en una pluralidad de puntos diferentes en el sistema de neumáticos. Por ejemplo, el control de la bomba 20 se puede acoplar mediante uno o más controladores a mediciones de temperatura en una o más de las entradas de la turbina 10, la salida de la turbina 10 (es decir, el punto 13), la entrada para la fuente de calor 12, o puntos adicionales en el sistema. Además, el uso del controlador 2 para gestionar la bomba 20 se puede implementar como una función de un parámetro distinto de la temperatura (o además de la temperatura). En general, cualquier parámetro del sistema que se pueda gestionar en función de la salida en la bomba 20 se puede controlar automáticamente a través del controlador 2 mediante el acoplamiento del controlador a un sitio de entrada de parámetro adecuado en el sistema. De esta manera, independientemente del parámetro que se esté controlando, el controlador se puede configurar para mantener el parámetro sustancialmente constante y/o se puede configurar para realizar ajustes automáticos al parámetro según sea necesario. La bomba 20 en particular puede ser una bomba de velocidad variable. De este modo, el caudal y la presión de salida de la bomba 20 pueden ser variables y se puede permitir que cambien para satisfacer los requisitos de entrada de la turbina 10 en función del aporte de calor de la turbina y/o en función del parámetro específico que se va a gestionar mediante el controlador 2. Por ejemplo, como se ilustra en la FIG. 1, es posible mantener condiciones fijas de salida de la turbina en el punto 13 en función de que el controlador 2 gestione el funcionamiento de la bomba 20.

El controlador 3 controla la válvula antirretorno 31, que también puede denominarse válvula de reciclado. El controlador 3 permite que el flujo desde el lado de alta presión del compresor 30 regrese al lado de succión en el punto 33, aguas arriba del enfriador 32, para no sobrecalentar el sistema. Al hacer esto, el controlador 3 mantiene la presión de succión del compresor 30 en un valor controlado, que a su vez es la presión de escape de la turbina 10 en el punto 13, mientras que tiene en cuenta las pérdidas del sistema. Al fijar la temperatura y la presión de escape de la turbina 10, las condiciones de entrada a la turbina están dictadas por la cantidad de potencia generada en el generador 11, y estas condiciones de entrada estarán determinadas naturalmente por el funcionamiento fundamental de la turbina, el mapa de la turbina y la ubicación del escape en el mapa de la turbina según lo dicten los controladores 2 y 3. Asimismo, la temperatura o un parámetro diferente se pueden fijar de manera similar en un punto diferente en el sistema en función de las salidas proporcionadas por uno o ambos controladores 2 y 3.

Se puede observar que a medida que cambia la cantidad de calor que entra al sistema en la fuente de calor 12, cambia el flujo a través del sistema. Dado que el ciclo de potencia ilustrado es un bucle cerrado (y por lo tanto tiene un volumen fijo), es posible que sea necesario cambiar el inventario en el sistema. El "inventario" puede hacer referencia a una variedad de fluidos diferentes que pueden estar en diferentes estados (por ejemplo, gas, líquido, supercrítico). El inventario en particular puede ser un fluido que contenga CO₂, preferiblemente un fluido que sea mayoritariamente CO₂ o que sea CO₂ sustancialmente puro. Por ejemplo, el inventario (es decir, el fluido de trabajo) puede comprender más del 50 % molar de dióxido de carbono. El CO₂ sustancialmente puro puede significar al menos el 98 %, al menos el 99 %, al menos el 99,5 % o al menos el 99,9 % molar de dióxido de carbono.

El sistema de producción de potencia puede comprender además al menos una línea configurada para el paso de fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento 40 y el circuito de fluido de trabajo 100. En la FIG. 1, la línea 44a se configura para el paso de fluido de trabajo desde el circuito de fluido de trabajo 100 al tanque de almacenamiento 40, y la línea 44b se configura para el paso de fluido de trabajo desde el tanque de almacenamiento al circuito de fluido de trabajo. Se entiende, sin embargo, que se puede utilizar una sola línea o se puede utilizar una pluralidad de líneas de entrada y/o salida (siendo la entrada y la salida relativas al tanque). Cualquier línea de entrada y/o salida puede incluir al menos una válvula configurada para controlar el flujo de fluido a través de la al menos una línea configurada para el paso de fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento 40 y el circuito de fluido de trabajo 100. En la FIG. 1, la línea 44a incluye la válvula 42, y la línea 44b incluye la válvula 43. Se entiende que la(s) válvula(s) puede(n) incluir un componente de bombeo para mejorar la transferencia activa de fluido hacia y desde el tanque de almacenamiento 40. Como se describe con más detalle en esta memoria, el controlador 41 puede configurarse para abrir y cerrar la al menos una válvula (por ejemplo, la válvula 42 y/o la válvula 43) en función de al menos una entrada

condicional recibida por el controlador.

El tanque de control de inventario 40 se utiliza para almacenar fluido que se puede agregar y/o quitar del ciclo. A medida que la bomba 20 cambia la velocidad y cambia el flujo, la presión en el sistema alrededor del punto 400 cambiará. Para que la bomba 20 funcione de manera eficiente, existe un requisito mínimo para la combinación de la presión de succión en el punto 400 y la temperatura de la corriente que sale del enfriador 22. El controlador 41 utiliza la válvula 43 para agregar fluido en el punto 402 con el fin de mantener la presión por encima de una presión mínima P1, que puede elegirse en función de los parámetros operativos deseados. Además, a medida que cambian las condiciones del ciclo, la presión en el punto 400 puede aumentar y comenzar a acercarse a una presión máxima, P2. La presión máxima puede elegirse para cumplir con cualquier intervalo operativo deseado. En realizaciones particulares, P2 puede elegirse como una presión que causaría daños a las tuberías y otros equipos, o excedería las capacidades del compresor 30. El controlador 41 utiliza la válvula 42 para eliminar fluido del ciclo en el punto 401, y agregarlo al tanque de almacenamiento 40, con el fin de mantener la presión en el punto 400 por debajo de la presión máxima, P2. De esta manera, la presión en el tanque 40 estará en un punto intermedio, entre P1 y P2, al igual que el punto 400, aunque las presiones en el tanque y en el punto 400 serán diferentes. De esta manera, pequeños cambios en el funcionamiento de la turbina 10 no impactan en la masa dentro del sistema ya que el control alrededor del tanque 40 y el punto 400 actúa como un acumulador y mantiene la masa en el sistema constante mientras permite que la presión en esta área esté entre P1 y P2. Si el cambio en las condiciones es significativamente grande, la presión en 400 puede ir por encima o por debajo de los límites de P1 y P2. En tal caso, el controlador 41 reaccionará para mantener la presión dentro de los límites.

Las ubicaciones de los puntos 400, 401 y 402 entre sí y con respecto al enfriador 22 pueden variar de lo que se ilustra en la FIG. 1. Es decir, el orden no está determinado por cómo se han mostrado. Por ejemplo, el punto 401 puede posicionarse opcionalmente entre el enfriador 32 y el compresor 30 de modo que la redirección del fluido fuera del ciclo y hacia el tanque de almacenamiento 40 pueda llevarse a cabo aguas arriba del compresor 30 en lugar de aguas abajo del compresor. Como otro ejemplo, el punto 402 puede posicionarse opcionalmente entre la bomba 20 y el calentador 12 de modo que la introducción de fluido nuevamente en el ciclo pueda llevarse a cabo aguas abajo de la bomba 20 en lugar de aguas arriba de la bomba. Además, no es un requisito que se deban usar dos válvulas (42 y 43), y en su lugar puede utilizarse una sola válvula. Además, las funciones del controlador 41 pueden implementarse utilizando una pluralidad de controladores diferentes. Por ejemplo, la válvula 42 y la válvula 43 pueden ser controladas por un primer controlador de válvula y un segundo controlador de válvula diferente, respectivamente. Además, se entiende que la bomba 20 también puede denominarse compresor, ya que la diferencia es puramente de nomenclatura y es simplemente por conveniencia. En algunas realizaciones, el controlador 41 puede tomar entradas de una o más de las condiciones de succión, funcionamiento o escape de la bomba 20 y permitir el cálculo de P2 para la protección del equipo con el fin de mantener el funcionamiento de la bomba dentro de un intervalo operativo deseado.

Opcionalmente, la temperatura en el tanque 40 se puede controlar con un componente de calentamiento/enfriamiento 45. El componente de calentamiento/enfriamiento 45 puede estar específicamente en una conexión de calentamiento/enfriamiento con el tanque de almacenamiento 40 y puede configurarse para uno o ambos fluidos de trabajo de calentamiento y enfriamiento que estén presentes en el tanque de almacenamiento. El calentamiento y el enfriamiento se pueden lograr mediante el mismo componente, o se pueden asociar componentes de calentamiento y enfriamiento separados con el tanque de almacenamiento 40.

En algunas realizaciones, el componente de calentamiento/enfriamiento 45 puede ser una corriente de fluido que puede agregar y/o retirar fluido del tanque 40 para modificar las condiciones de temperatura dentro del tanque. Dado que el volumen del tanque 40 es fijo, esto permitiría que se agregue fluido adicional al tanque 40 sin aumentar o disminuir la presión más allá de los límites P1 y P2 manipulando la densidad dentro del tanque. Alternativamente, de manera similar, para un volumen dado del tanque 40 con una masa dada de fluido, la presión en el tanque 40 puede manipularse cambiando la densidad del fluido y/o cambiando la temperatura del fluido de modo que P1 y P2 puedan elevarse o disminuirse para casos y operaciones en estado no estacionario, como el arranque, el seguimiento de carga, la reducción de presión, etc. Por lo tanto, el componente de calentamiento/enfriamiento 45 puede ser alternativamente un calentador que aplica calor al tanque (o directamente al contenido del tanque) o puede ser un enfriador que elimina calor del tanque (o directamente del contenido del tanque). Por ejemplo, el componente 45 puede ser una camisa alrededor del tanque 40 configurada para calentar y/o enfriar el tanque. Como otro ejemplo, el componente 45 puede ser una línea de intercambio de calor interna al tanque 40 a través de la que se puede pasar un fluido de calentamiento y/o enfriamiento para calentar/enfriar el contenido del tanque sin mezclarlo directamente con el fluido contenido en el tanque. El punto de llenado del tanque y los dispositivos de seguridad de alivio de presión en el tanque 40 no se muestran.

Como se puede ver a partir de lo anterior, un sistema de producción de potencia como el descrito en esta memoria puede ser particularmente útil para llevar a cabo un método para controlar el inventario de un fluido de trabajo en un sistema de producción de potencia que utiliza un circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado. Por ejemplo, un método puede comprender la expansión de un fluido de trabajo en un circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado a través de una turbina generadora de potencia 10 desde una presión más alta a una presión más baja para generar potencia, como por ejemplo electricidad. El fluido de trabajo que sale de la turbina generadora de potencia 10 puede comprimirse en una pluralidad de componentes de compresión, como por ejemplo un primer componente de compresión y un segundo componente de compresión descritos anteriormente. Además, el

método puede incluir la transferencia de fluido de trabajo entre una o más posiciones del circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado 100 y un tanque de almacenamiento 40.

Como se ha descrito anteriormente, la transferencia del fluido de trabajo entre una o más posiciones del circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado 100 y el tanque de almacenamiento 40 puede basarse en al menos una entrada condicional a al menos un controlador en una disposición de trabajo con el circuito de fluido de trabajo. El controlador 41 ilustrado en la FIG. 1 puede configurarse particularmente para controlar la transferencia de fluido de trabajo entre el circuito de fluido de trabajo 100 y el tanque de almacenamiento.

Como ejemplo, cuando se utiliza una bomba de velocidad variable (por ejemplo, la bomba 20 en la FIG. 1) como el segundo componente de compresión, la al menos una entrada condicional al por lo menos un controlador puede incluir uno o más de un cambio en una velocidad de funcionamiento de la bomba de velocidad variable, una presión de succión medida entre el primer componente de compresión (por ejemplo, el compresor 30) y la bomba de velocidad variable 20, y una temperatura del fluido de trabajo en una salida 10b de la turbina de generación de potencia 10. El controlador 41, por ejemplo, puede recibir entradas relacionadas con uno o todos los anteriores y controlar automáticamente el paso del fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento 40 y el circuito de fluido de trabajo 100. Como se ha descrito anteriormente, esto se puede lograr utilizando una sola línea entre el circuito de fluido de trabajo 100 y el tanque de almacenamiento 40 en donde se pueden utilizar válvulas adecuadas (y opcionalmente componentes de bombeo) para provocar el flujo, según se requiera, desde el tanque de almacenamiento al circuito de fluido de trabajo o desde el circuito de fluido de trabajo al tanque de almacenamiento.

En algunas realizaciones, dicha capacidad de control puede ser beneficiosa cuando el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado 100 se configura para mantener un intervalo de presión de funcionamiento entre la primera unidad de compresión (por ejemplo, el compresor 30) y la segunda unidad de compresión (por ejemplo, la bomba 20). Como se ha indicado anteriormente, dicho intervalo de presión de funcionamiento puede definirse como entre una presión mínima P1 y una presión máxima P2. En una o más realizaciones, P1 y P2 serán ambas una presión que no sea menor que la presión más baja ni mayor que la presión más alta mencionada en esta memoria en referencia a la turbina generadora de potencia. Específicamente, P1 puede ser mayor o igual que la presión más baja del fluido de trabajo que sale de la salida 10b de la turbina 10 y menor que P2. Asimismo, P2 puede ser mayor que P1 y menor o igual que la presión más alta del fluido de trabajo que entra a la entrada 10a de la turbina. El controlador 41 puede programarse para llevar a cabo una o más funciones para mantener la presión del circuito de fluido de trabajo 100 dentro del intervalo de P1 a P2. Por ejemplo, el controlador 41 puede configurarse para provocar el paso de fluido de trabajo desde el tanque de almacenamiento 40 a al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado 100 para mantener la presión por encima de la presión mínima P1. El paso de fluido de trabajo desde el tanque de almacenamiento 40 puede ser a al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado 100 que está aguas arriba del primer componente de compresión (por ejemplo, el compresor 30) y aguas abajo de la salida 10b de la turbina de generación de potencia 10. Como alternativa, o adicionalmente, el paso de fluido de trabajo desde el tanque de almacenamiento 40 puede ser a al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado 100 que está aguas abajo del primer componente de compresión (por ejemplo, el compresor 30) y aguas arriba del segundo componente de compresión (por ejemplo, la bomba 20). De manera similar, el controlador 41 puede configurarse para provocar el paso del fluido de trabajo al tanque de almacenamiento 40 desde al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado 100 para mantener la presión por debajo de la presión máxima P2. Por ejemplo, el paso del fluido de trabajo al tanque de almacenamiento 40 puede ser desde al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado 100 que está aguas abajo del primer componente de compresión (por ejemplo, el compresor 30) y aguas arriba del segundo componente de compresión (por ejemplo, la bomba 20). De manera alternativa, o adicional, el paso del fluido de trabajo al tanque de almacenamiento 40 puede ser desde al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado que está aguas abajo del segundo componente de compresión (por ejemplo, la bomba 20) y aguas arriba de una entrada 10a de la turbina de generación de potencia 10.

Además de lo anterior, el presente método puede incluir uno o ambos fluidos de trabajo de calentamiento y enfriamiento que se encuentran en el tanque de almacenamiento 40. Esto se puede llevar a cabo como se ha descrito anteriormente, utilizando un solo componente de calentamiento/enfriamiento 45 o utilizando un componente de calentamiento y un componente de enfriamiento separados.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de producción de potencia que comprende:
 - un circuito de fluido de trabajo (100) a través del cual un fluido de trabajo circula entre una presión más alta y una presión más baja;
 - 5 una turbina generadora de potencia (10) conectada para transmisión de fluidos al circuito de fluido de trabajo (100) para recibir fluido de trabajo a la presión más alta, expandir el fluido de trabajo y tener como salida el fluido de trabajo desde una salida de la misma a la presión más baja;
 - un primer componente de compresión (30) aguas abajo de la turbina generadora de potencia (10) y en conexión de fluidos con ella;
 - 10 un segundo componente de compresión (20) aguas abajo del primer componente de compresión y en conexión de fluidos con éste;
 - un tanque de almacenamiento (40) en comunicación de fluidos con el circuito de fluido de trabajo (100);
 - un controlador (41) configurado para transferir fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento (40) y una o más posiciones en el circuito de fluido de trabajo (100); caracterizado porque el sistema de producción de potencia comprende además
 - 15 al menos una línea (44a; 44b) configurada para el paso de fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento (40) y el circuito de fluido de trabajo, en donde la al menos una línea (44a; 44b) se configura para eliminar fluido de trabajo del circuito de fluido de trabajo aguas abajo del primer componente de compresión (30) y aguas arriba del segundo componente de compresión (20)
- 20 2. El sistema de producción de potencia según la reivindicación 1, en donde el primer componente de compresión (30) es un compresor de una sola etapa o de múltiples etapas (30).
3. El sistema de producción de potencia según la reivindicación 1, en donde el segundo componente de compresión (20) es una bomba de velocidad variable (20).
4. El sistema de producción de potencia de la reivindicación 1, en donde:
 - 25 el sistema comprende además al menos una válvula (42; 43) configurada para controlar el flujo de fluido a través de la al menos una línea (44a; 44b) configurada para el paso de fluido de trabajo entre el tanque de almacenamiento (40) y el circuito de fluido de trabajo (100); preferiblemente en donde el controlador (41) se configura para abrir y cerrar la al menos una válvula (42; 43) en función de al menos una entrada condicional recibida por el controlador (41).
- 30 5. El sistema de producción de potencia de la reivindicación 1, que comprende además un calentador (12) posicionado aguas arriba de la turbina generadora de potencia (10) y que tiene una salida en comunicación de fluidos con una entrada de la turbina generadora de potencia (10).
6. El sistema de producción de potencia según la reivindicación 1, que comprende además un componente de calentamiento/enfriamiento (45) en una conexión de calentamiento/enfriamiento con el tanque de almacenamiento (40) y configurado para uno o ambos fluidos de trabajo de calentamiento y enfriamiento que están presentes en el tanque de almacenamiento (40).
- 35 7. Un método para controlar el inventario de un fluido de trabajo en un sistema de producción de potencia que utiliza un circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado (100), comprendiendo el método:
 - expandir un fluido de trabajo en un circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado (100) a través de una turbina generadora de potencia (10) desde una presión más alta a una presión más baja;
 - 40 comprimir el fluido de trabajo expandido en un primer componente de compresión (30);
 - comprimir aún más el fluido de trabajo en un segundo componente de compresión (20); y
 - transferir el fluido de trabajo entre una o más posiciones del circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado (100) y un tanque de almacenamiento (40);
 - 45 en donde la transferencia del fluido de trabajo entre una o más posiciones del circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado y el tanque de almacenamiento (40) se basa en al menos una entrada condicional a al menos un controlador (41) en una disposición de trabajo con el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado;
 - en donde el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado se configura para mantener un

intervalo de presión de funcionamiento entre el primer componente de compresión (30) y el segundo componente de compresión (20), siendo dicho intervalo de presión de funcionamiento entre una presión mínima P1 y una presión máxima P2.

- 5 8. El método de la reivindicación 7, en donde el segundo componente de compresión (20) es una bomba de velocidad variable (20); preferiblemente en donde la al menos una entrada condicional al por lo menos un controlador (41) incluye uno o más de un cambio en una velocidad de funcionamiento de la bomba de velocidad variable (20), una presión de succión medida entre el primer componente de compresión (30) y la bomba de velocidad variable (20), y una temperatura del fluido de trabajo en una salida de la turbina de generación de potencia (10).
- 10 9. El método según la reivindicación 7, en donde el al menos un controlador (41) se configura para provocar el paso de fluido de trabajo desde el tanque de almacenamiento (40) a al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado (100) para mantener la presión por encima de la presión mínima P1; opcionalmente en donde se cumple una de las siguientes condiciones:

15 el paso del fluido de trabajo desde el tanque de almacenamiento (40) es a al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado (100) que está aguas arriba del primer componente de compresión (30) y aguas abajo de una salida de la turbina de generación de potencia (10);

el paso del fluido de trabajo desde el tanque de almacenamiento (40) es a al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado (100) que está aguas abajo del primer componente de compresión (30) y aguas arriba del segundo componente de compresión (20).
- 20 10. El método según la reivindicación 7, en donde el al menos un controlador (41) se configura para provocar el paso de fluido de trabajo al tanque de almacenamiento (40) desde al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o bucle semicerrado (100) para mantener la presión por debajo de la presión máxima P2; opcionalmente en donde se cumple una de las siguientes condiciones:

25 el paso del fluido de trabajo al tanque de almacenamiento (40) se realiza desde al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado (100) que se encuentra aguas abajo del primer componente de compresión (30) y aguas arriba del segundo componente de compresión (20);

el paso del fluido de trabajo al tanque de almacenamiento (40) se realiza desde al menos una posición en el circuito de fluido de trabajo de bucle cerrado o de bucle semicerrado (100) que se encuentra aguas abajo del segundo componente de compresión (20) y aguas arriba de una entrada de la turbina generadora de potencia (10).
- 30 11. El método de la reivindicación 7, en donde el fluido de trabajo comprende dióxido de carbono, preferiblemente en donde el fluido de trabajo tiene más del 50 % molar de dióxido de carbono.
12. El método de la reivindicación 7, que comprende además uno o ambos de fluido de trabajo de calentamiento y enfriamiento que está en el tanque de almacenamiento (40).

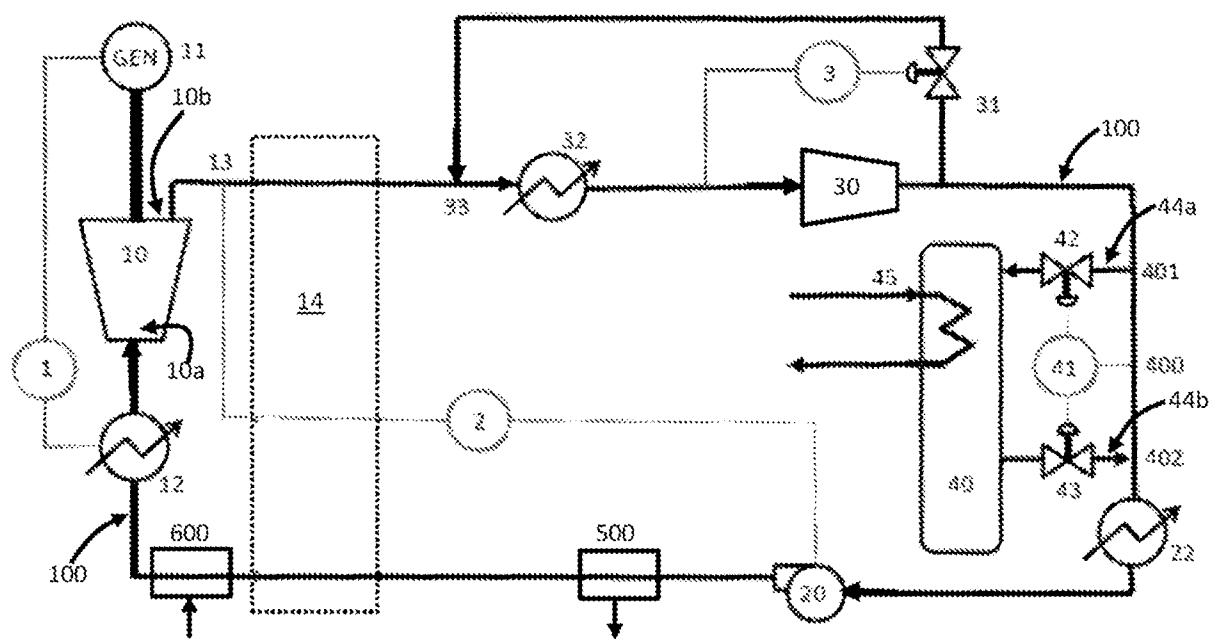


FIG. 1