

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 544 467**

51 Int. Cl.:

F03G 6/00 (2006.01)

F03G 6/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.02.2011** **E 11704059 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2015** **EP 2521861**

54 Título: **Central térmica solar con evaporación indirecta y procedimiento para operar una tal central térmica solar**

30 Prioridad:

30.03.2010 DE 102010013363

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

31.08.2015

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**BIRNBAUM, JÜRGEN y
FICHTNER, MARKUS**

74 Agente/Representante:

PÉREZ BARQUÍN, Eliana

ES 2 544 467 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).

CENTRAL TÉRMICA SOLAR CON EVAPORACIÓN INDIRECTA Y PROCEDIMIENTO PARA OPERAR UNA TAL CENTRAL TÉRMICA SOLAR

DESCRIPCIÓN

- 5 La invención se refiere a una central térmica solar con evaporación indirecta, que incluye un circuito primario con un sistema de tuberías de un medio portador de calor y al menos un módulo térmico solar para calentar el medio portador de calor mediante energía solar, un circuito secundario de vapor de agua con un sistema de turbinas de vapor y un generador acoplado con el sistema de turbinas de vapor.
- 10 Además se refiere la invención a un procedimiento para operar una tal central térmica solar con evaporación indirecta.
- 15 Las centrales térmicas solares representan una alternativa a la generación eléctrica tradicional procedente de la fuerza del agua, la fuerza del viento, la fuerza nuclear o combustibles fósiles. Las mismas utilizan energía de radiación solar para generar energía eléctrica y se realizan por ejemplo con colectores de canal parabólico, colectores Fresnel o receptores de torre solar como módulo térmico solar.
- 20 Tales centrales están compuestas usualmente bien por un sistema singular de circuito del fluido de trabajo, en el que un fluido de trabajo se evapora directamente en este circuito, o bien por una primera parte solar de la central para absorber la energía del sol y una segunda parte de la central más convencional con un sistema de turbinas de vapor accionado mediante un fluido de trabajo. En el segundo tipo de centrales con los sistemas de circuito separados se habla de central térmica solar con evaporación indirecta, ya que la energía solar se utiliza aquí sólo indirectamente para evaporar el fluido de trabajo.
- 25 Una central térmica solar tradicional con evaporación indirecta está compuesta básicamente por un módulo térmico solar, como por ejemplo un panel solar formado por colectores de canal parabólico, colectores Fresnel o un receptor de torre, en el que se calienta un medio portador de calor, un grupo intercambiador de calor, en el que se transmite la energía térmica del medio portador de calor a un fluido de trabajo en el circuito de vapor, como por ejemplo un circuito de vapor de agua y opcionalmente desde un acumulador térmico. En el grupo intercambiador de calor se cede la energía térmica del circuito primario usualmente en tres etapas desde el precalentador, evaporador y sobrecalentador al fluido de trabajo en el circuito de vapor. En centrales térmicas solares con evaporación indirecta se utilizan hasta ahora como medio portador de calor en el circuito primario aceites térmicos, agua, aire o sal fundida (molten salt), utilizándose como fluido de trabajo del circuito secundario, el circuito de vapor, la mayoría
- 30 de las veces agua.
- 35 Actualmente se utilizan sobre todo centrales de canal parabólico con aceite térmico como medio portador de calor, paneles de colector solar Fresnel con agua como medio portador de calor y centrales de receptor de torre con sal fundida, aire o agua como medio portador de calor. En instalaciones térmicas pueden manejarse razonablemente temperaturas de hasta 390 °C y con sal fundida de hasta 550 °C, pudiendo manejarse no obstante precisamente en receptores de torre y aire como medio portador de calor también temperaturas de hasta 1100 °C.
- 40 El sobrecalentamiento del fluido de trabajo en el circuito de vapor sirve en las centrales térmicas solares para aumentar el rendimiento de la instalación y se utiliza en el funcionamiento de turbinas de vapor para evitar que se dañen los alabes de la turbina debido a gotas de líquido condensadas que quedan en el vapor tras la etapa de generación de vapor. Actualmente, para un mejor aprovechamiento de la energía del medio portador de calor caliente en centrales térmicas solares, se trabaja con un sistema de turbinas de vapor que incluye varias turbinas de vapor. Al respecto se incluyen, en particular en centrales de canal parabólico con aceite térmico como medio portador de calor, dos o varios procesos de recalentamiento intermedio en el sistema de tuberías de vapor entre las turbinas de vapor. En este proceso de recalentamientos intermedios se conduce vapor vivo generado en la etapa de sobrecalentamiento a través de una turbina de alta presión. Antes de la entrada en la unidad de trabajo posconectada en la dirección del vapor, como por ejemplo una turbina de media presión o de baja presión, se conduce el vapor a un recalentador intermedio con uno, dos o varios intercambiadores de calor, donde de nuevo se sobrecalienta mediante medio portador de calor caliente, derivado de antes de la etapa de sobrecalentamiento.
- 45 50 55 60 65 La forma más común de circuito de los medios transmisores de calor en una central térmica solar con evaporación indirecta y recalentamiento intermedio simple se representa en la figura 1. Aquí se conduce en el grupo intercambiador de calor el aceite utilizado como medio portador de calor desde la salida del panel solar primeramente a través del sobrecalentador, a continuación a través del evaporador y al final a través del precalentador del circuito secundario. Antes del sobrecalentador se deriva adicionalmente una parte del aceite caliente y se conduce a través de una etapa de recalentamiento intermedio.
- Otra posibilidad de conexión es realizar la primera etapa de recalentamiento intermedio en dos aparatos o bien recalentar el vapor una segunda vez en una segunda etapa de recalentamiento intermedio. Variantes posibles de conexión para centrales térmicas solares con evaporación indirecta y recalentamiento intermedio simple o doble se representan por ejemplo en las solicitudes de patentes de Siemens WO

2009034577 A2 y WO 2010054911 A1. Todas las variantes de conexión allí descritas se incluyen a la vez con referencia a esos documentos de patente como variantes de conexión básicas para la presente invención.

5 El documento US 2008/0320828 da a conocer las características del preámbulo de la reivindicación 1.

Es objetivo de la presente invención mejorar el rendimiento total de una central térmica solar con evaporación indirecta, así como un procedimiento para operar una central térmica solar del tipo citado al principio.

10

Este objetivo se logra por un lado mediante una central térmica solar con evaporación indirecta según la reivindicación 1 y por otro lado mediante un procedimiento para operar una central térmica solar con evaporación indirecta según la reivindicación 10.

15

Una central térmica solar con evaporación indirecta, tal como se describe al principio, presenta para ello al menos un circuito primario con un sistema de tuberías del medio portador de calor, un circuito secundario de vapor de agua con una etapa del precalentamiento, una etapa de generación de vapor, una etapa de sobrecalentamiento del vapor y un sistema de turbinas de vapor y un generador acoplado directa o indirectamente con el sistema de turbinas de vapor, para generar potencia eléctrica. En el circuito primario se necesita además al menos un módulo térmico solar, que durante el funcionamiento sirve para calentar el medio portador de calor que se conduce por el circuito primario mediante energía solar.

20

25

La central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta presenta en el circuito primario un grupo intercambiador de calor con un sistema de tuberías del medio portador de calor para transmitir energía térmica desde el medio portador de calor del circuito primario a la etapa de sobrecalentamiento del vapor, la etapa de generación de vapor y la etapa de precalentamiento del circuito secundario de vapor de agua. Para aumentar el rendimiento total de la central incluye la misma una transmisión optimizada de la energía térmica del circuito primario (circuito del campo solar) al circuito secundario (circuito del vapor de agua), presentando el sistema de tuberías del medio portador de calor del grupo intercambiador de calor al menos una tubería de bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y/o la etapa de generación de vapor del circuito secundario. Bajo bypass ha de entenderse según la invención un sistema de tuberías en el que una parte del flujo del medio portador de calor se toma antes o después de la etapa de sobrecalentamiento del vapor del flujo másico principal del medio portador de calor, se conduce alrededor de un componente o bien un módulo o bien una etapa constructiva y se lleva antes de la etapa del precalentamiento de nuevo al flujo másico principal del medio portador de calor. El componente rodeado por el flujo o bien el módulo o etapa constructiva rodeado/a por el flujo es aquí la etapa de sobrecalentamiento del vapor (o bien el sobrecalentador de vapor) y/o la etapa de generación de vapor (o bien el generador de vapor). Bajo la definición de bypass se incluye también cuando un componente o bien un módulo o bien una etapa constructiva está dispuesto/a en ese bypass, siempre que el bypass después del correspondiente componente rodeado por el flujo o bien después del correspondiente módulo o bien etapa constructiva recorrido/a por el flujo, pero en cualquier caso antes de la etapa del precalentamiento, se conduzca de nuevo al flujo principal del medio portador de calor.

30

35

40

45

50

55

60

Esta conexión posibilita precisamente a elevadas temperaturas de proceso en el circuito primario (circuito de paneles solares) o bien circuito secundario (circuito de vapor de agua) un claro potencial de optimización del rendimiento total. En particular se piensa en el futuro y en los tipos de central aquí descritos en la utilización de sal fundida (molten salt) u otros medios portadores de calor como CO₂ supercrítico, medios portadores de calor basados en compuestos del azufre o aceites térmicos de alto punto de ebullición como medio portador de calor en el circuito primario de una central térmica solar, en particular de una que tiene colectores de canal parabólico o colectores Fresnel. Estos medios portadores de calor posibilitan entre otros altas temperaturas de proceso, pero pueden también exigir elevadas temperaturas de retorno al módulo térmico solar (panel solar) en el circuito primario, ya que en caso contrario los mismos podrían cristalizar o formar grumos. Un punto bastante crítico en el intercambiador de calor es aquí la etapa de precalentamiento en la que con sal fundida se ha llegado en las variantes de circuitos realizadas hasta ahora, como por ejemplo en la variante de circuito conocida mostrada en la figura 1, regularmente a la formación de grumos, al cristalizar los medios portadores de calor. Con la conexión correspondiente a la invención del circuito primario en el grupo intercambiador de calor puede elevarse la temperatura de retorno por encima de la temperatura crítica (temperatura de cristalización, temperatura de formación de grumos) o ajustarse tal que ahora también pueda manejarse sal fundida en tales tipos de centrales. Además son posibles temperaturas de proceso más elevadas y se llega a una optimización del rendimiento total.

65

El circuito secundario de vapor de agua incluye para generar vapor sobrecalentado al menos una etapa de precalentamiento para precalentar agua de alimentación, una etapa de generación de vapor postconectada a la etapa de precalentamiento para generar vapor y una etapa de sobrecalentamiento del vapor postconectada a la etapa de generación de vapor, para sobrecalentar el vapor. Estas tres etapas están por lo general conectadas en serie, pudiendo estar conectadas también varias de tales unidades para generar vapor sobrecalentado en paralelo en el circuito secundario. Esto significa que cada etapa individual representada en las figuras puede contener no sólo uno, sino también dos o varios

precalentadores o unidades precalentadoras, generadores de vapor o unidades generadoras de vapor y sobrecalentadores de vapor o unidades sobrecalentadoras de vapor conducidos en paralelo.

Además incluye el circuito secundario de vapor de agua un sistema de turbinas de vapor que está conectado a través de un sistema de tuberías de vapor con la etapa de sobrecalentamiento del vapor y que en funcionamiento se alimenta con el vapor sobrecalentado allí generado. El sistema de turbinas de vapor puede estar constituido por una única turbina de vapor, utilizándose para un mejor aprovechamiento de la energía y para aumentar el rendimiento usualmente varios módulos de turbina. Pueden conectarse en serie entonces una, dos o varias turbinas de media presión y/o turbinas de baja presión a la(s) turbina(s) de alta presión. Esta(s) turbina(s) de media presión y/o de baja presión postconectadas en la dirección del vapor a la(s) turbina(s) de alta presión se alimentan con el vapor de la(s) turbina(s) de alta presión, que se ha sometido a recalentamiento intermedio en un recalentador intermedio con uno, dos o varios intercambiadores de calor. También es conveniente una cascada de turbinas de alta presión, media presión y baja presión para aumentar el rendimiento y/o la potencia total de la central.

En el circuito secundario está postconectado además al sistema de turbinas de vapor por el lado del vapor de salida un condensador o bien un sistema de condensadores, para condensar de nuevo el vapor. El sistema correspondiente a la invención puede incluir también una o varias derivaciones para vapor de toma. Este vapor de toma puede utilizarse por ejemplo para precalentar el agua de alimentación en un sistema precalentador de agua de alimentación, etc. Además incluye el circuito secundario un sistema de tuberías de agua con un tanque de agua de alimentación dispuesto entre el sistema condensador y la etapa de precalentamiento, que sirve para almacenar el agua de alimentación. Igualmente incluye el sistema de tuberías de agua las válvulas, bombas y unidades de control usuales, que durante el funcionamiento y en estado de reposo de la central controlan el sistema de tuberías de agua y/o el sistema de tuberías de vapor y regulan la generación de vapor.

Como agua de alimentación se utiliza en el sistema correspondiente a la invención usualmente agua, pero pueden utilizarse también otros fluidos de trabajo vaporizables con valores de entalpia convenientes. Las expresiones "agua", "vapor de agua" o bien "agua de alimentación" no deben considerarse limitativos y pueden en general sustituirse por otros fluidos de trabajo.

En el procedimiento operativo correspondiente a la invención se calienta durante el funcionamiento en un circuito primario un medio portador de calor mediante un módulo solar térmico por medio de energía solar y el medio portador de calor calentado se conduce a un grupo intercambiador de calor para transmitir la energía térmica desde el medio portador de calor a un circuito secundario antes de que una vez enfriado sea introducido alimentando el módulo solar térmico. En el circuito secundario de vapor de agua se precalienta en el grupo de intercambiadores de calor agua de alimentación de un tanque de agua de alimentación en una etapa de precalentamiento, en una etapa de generación de vapor postconectada a la etapa de precalentamiento se genera vapor y en una etapa de sobrecalentamiento del vapor postconectada a la etapa de generación de vapor se sobrecalienta el vapor. A continuación se alimenta con el vapor sobrecalentado, a través de un sistema de tuberías de vapor, un sistema de turbinas de vapor acoplado directa o indirectamente con un generador. A continuación se condensa el vapor que sale del sistema de turbinas de vapor en un sistema condensador, transformándose en agua y se conduce de retorno al tanque de agua de alimentación.

En el marco de la invención se conduce una parte del flujo del medio portador de calor del circuito primario en el grupo intercambiador de calor a través de al menos una tubería de bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y/o la etapa de generación de vapor del circuito secundario. Así puede transmitirse con más flexibilidad la energía térmica absorbida por el medio portador de calor y con ello puede funcionar selectivamente con temperaturas de proceso más elevadas en el circuito primario y/o secundario.

Un punto clave de la idea es por lo tanto conducir una parte del flujo del medio portador de calor caliente en el circuito primario por una tubería de bypass, alrededor de al menos la etapa de sobrecalentamiento del vapor. Esto posibilita mantener la temperatura de retorno del medio portador de calor en el circuito primario en puntos críticos en los que en función del medio portador de calor utilizado puede llegarse a cristalizaciones o formación de grumos, como la etapa del precalentamiento o el sistema de tuberías de retorno al módulo solar térmico, por encima de la temperatura crítica, es decir, en particular por encima de la temperatura de cristalización.

Además, mediante el bypass puede mejorarse la gestión del calor en la transmisión del calor desde el circuito primario al circuito secundario y con ello el rendimiento total del procedimiento. Esto se logra sobre todo mediante la conexión optimizada del grupo intercambiador de calor (o bien de los transmisores de calor o bien grupos transmisores de calor en el grupo intercambiador de calor) en el procedimiento, así como mediante el aumento que así resulta posible de la temperatura general del proceso.

Los circuitos posibles aquí representados se refieren entre otros a centrales térmicas solares que operan con sal fundida como medio portador del calor en el circuito primario, ya que existe un mejor potencial de

optimización sobre todo debido a que se pueden alcanzar temperaturas de proceso más altas en estas centrales y en estos procesos operativos. Pero los circuitos pueden aplicarse básicamente también para todos los demás medios portadores de calor que se utilizan o deben utilizarse como medio en el circuito primario de una central térmica solar (en particular basada en la tecnología de canal parabólico, tecnología de colectores Fresnel o tecnología de torre solar). Como medios portadores de calor convenientes pueden utilizarse en este procedimiento operativo por ejemplo CO₂ supercrítico, portadores de calor basados en compuestos del azufre, aceites térmicos, etc.

En la variante más sencilla de la central y del procedimiento correspondiente a la invención pueden realizarse los sistemas intercambiadores de calor con un solo ramal (1 grupo intercambiador de calor). En variantes alternativas pueden realizarse también los sistemas intercambiadores de calor con varios ramales (al menos un grupo intercambiador de calor conectado en paralelo). Además, en otras formas de ejecución pueden realizarse aparatos o unidades constructivas individuales en los grupos intercambiadores de calor con un solo ramal o con varios ramales. La preferencia por una ejecución de los grupos intercambiadores de calor o de los aparatos o unidades constructivas individuales con un solo ramal o con varios ramales, depende sobre todo del tamaño de la central y del tipo de central. Una ejecución en varios ramales de los intercambiadores de calor o grupos intercambiadores de calor es conveniente cuando las potencias térmicas a transmitir son muy grandes. Las reivindicaciones dependientes, así como la siguiente descripción, incluyen configuraciones y perfeccionamientos especialmente ventajosos de la invención, señalando explícitamente que el procedimiento correspondiente a la invención, también en función de las reivindicaciones dependientes, puede estar perfeccionado respecto a la central térmica solar y a la inversa.

En una forma de ejecución de una central térmica solar según la presente invención puede estar dispuesta en la tubería de bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor, por ejemplo una etapa de recalentamiento intermedio para un nuevo sobrecalentamiento del vapor de salida derivado de la turbina de alta presión. Este vapor sobrecalentado de nuevo puede utilizarse a continuación de nuevo en una etapa de turbina de media presión o de baja presión. Alternativa o adicionalmente a una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor, puede estar dispuesta en la tubería de bypass también la etapa de generación de vapor. Esto significa que en esta variante de ejecución en el grupo de intercambiadores de calor la etapa de sobrecalentamiento del vapor y la etapa de generación de vapor del circuito secundario se someten en paralelo a un medio portador de calor en caliente procedente del circuito primario. Así pueden ajustarse selectivamente parámetros de proceso como un pinch point (punto de enganche) en diversos parámetros de proceso. Esto origina un aumento del rendimiento respecto a una conexión serie usual de etapa de sobrecalentamiento del vapor y etapa de generación del vapor, en la que estas condiciones marginales para los parámetros de proceso (por ejemplo el pinch point) sólo pueden mantenerse con pérdidas de rendimiento.

En otra variante de ejecución alternativa de la central térmica solar correspondiente a la invención puede estar dispuesta en la tubería de bypass alrededor de la etapa de generación del vapor una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor, como por ejemplo un recalentamiento intermedio para el vapor de salida de las etapas de turbina de alta presión o de media presión. Este circuito del recalentamiento intermedio aporta la ventaja de que para precalentar el vapor primeramente puede utilizarse medio portador de calor más frío en función del nivel de temperatura y el sobrecalentamiento puede realizarse a la temperatura final deseada con medio portador del calor caliente. Esta conexión del recalentamiento intermedio puede realizarse en un aparato o en dos aparatos. La ventaja de dos aparatos es que se presentan tensiones térmicas menores.

Otras variantes de conexión para aumentar el rendimiento total de una central térmica solar correspondiente a la invención pueden presentar en el sistema de tuberías del medio portador de calor una tubería alrededor de la etapa de precalentamiento. Esta tubería alrededor de la etapa de precalentamiento no es una tubería de bypass en el sentido de la presente invención, ya que no retorna de nuevo antes de la etapa de precalentamiento al flujo másico principal. Opcionalmente pueden estar dispuestos en esta tubería uno o varios sobrecalentadores de vapor adicionales o bien una etapa de sobrecalentamiento del vapor, por ejemplo para un primer o un segundo recalentamiento intermedio. Este circuito está adaptado para utilizar un medio portador del calor más frío correspondiente al nivel de temperatura primeramente para precalentar el vapor en la etapa del recalentamiento intermedio, antes de realizarse el sobrecalentamiento hasta la temperatura final deseada con medio portador del calor caliente. En función de la temperatura necesaria, puede derivarse el medio portador de calor caliente directamente antes de la etapa de sobrecalentamiento del vapor o entre la etapa de sobrecalentamiento del vapor y la etapa de generación del vapor.

En un recalentamiento intermedio usual, se deriva el medio portador del calor antes de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y sólo después de la etapa de precalentamiento se acopla de nuevo al flujo principal. Esto no significa en el sentido de la presente invención ningún bypass alrededor de una etapa de sobrecalentamiento del vapor o de una etapa de generación de vapor, ya que el mismo no se devuelve de nuevo al flujo principal antes de la etapa de precalentamiento. No obstante, en el marco de la invención puede incluir la central térmica solar también un sistema de tuberías para el medio portador de

calor que presente una tubería adicional que corre alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y de la etapa de generación del vapor. Opcionalmente puede correr también esta tubería alrededor de la etapa de precalentamiento, no hablándose entonces de un bypass en el sentido de la invención. En este caso puede estar dispuesta opcionalmente una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor con por ejemplo uno o varios recalentadores intermedios.

Tal como ya se ha indicado en las variantes de ejecución anteriores, puede ser en las centrales térmicas solares correspondientes a la invención la etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor una etapa de recalentamiento intermedio. Las etapas de recalentamiento intermedio usuales pueden dividirse en primeras y segundas etapas de recalentamiento intermedio. El primer recalentamiento intermedio sirve usualmente para el recalentamiento intermedio del vapor derivado de la turbina de alta presión, que se utiliza a continuación en una turbina de media presión o de baja presión. El segundo recalentamiento intermedio sirve usualmente para sobrecalentar el vapor derivado de la turbina de media presión, que a continuación se utiliza en la turbina de baja presión. Una configuración preferente correspondiente a la invención consiste en que la etapa de recalentamiento intermedio incluya al menos dos etapas de recalentamiento intermedio, que pueden incluir en cada caso opcionalmente varios equipos de recalentamiento intermedio. En función de las exigencias de temperatura para el recalentamiento intermedio, se deriva de aquí por ejemplo un bypass antes o después de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y en función del nivel de temperatura alcanzado tras la primera y/o segunda etapa de recalentamiento intermedio se devuelve de nuevo o reacopla al sistema de tuberías del medio portador de calor (o bien al flujo másico principal). Una combinación con las variantes de circuito anteriores, por ejemplo con un bypass, con o sin la unidad de generación de vapor, alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor o con un bypass alrededor de la etapa de generación del vapor, aumenta la flexibilidad al ajustar los parámetros de proceso necesarios y sirve a la vez para optimizar la gestión del calor. Así puede contribuir la misma a aumentar el rendimiento total.

Los acumuladores térmicos intermedios utilizados en centrales térmicas solares pueden estar dispuestos según la invención adicionalmente en el circuito primario y/o en el circuito secundario. Los mismos sirven entre otros para acumular la energía térmica en el modo de funcionamiento con acumulador o bien para la toma de medio portador del calor caliente o bien vapor sobrecalentado en el modo de funcionamiento con tomas.

Para almacenar medio portador de calor caliente o frío, en particular en fase líquida, pueden estar dispuestos adicionalmente en una central térmica solar correspondiente a la invención uno o varios tanques de almacenamiento para el medio portador de calor flujo arriba y/o flujo abajo del módulo solar térmico en el circuito primario.

Adicionalmente puede incluir el módulo térmico solar en una central solar térmica como la indicada uno o varios colectores solares conectados entre sí o un campo completo de colectores solares. Al respecto procede utilizar como colectores solares todos los tipos de colectores que usualmente se usan, como por ejemplo colectores de canal o colectores Fresnel. Los mismos pueden estar dispuestos, en función de la incidencia de la radiación solar y de las necesidades de espacio, en conexión serie y/o alineados. Alternativamente a ello puede estar constituido el módulo térmico solar también por varios espejos y un receptor de torre para acumular la energía solar.

La invención se describirá a continuación más en detalle en base a ejemplos de ejecución con referencia a los dibujos adjuntos. Se muestra en:

figura 1 un diagrama de bloques esquemático simplificado de un concepto básico de una variante de conexión según el estado de la técnica, que se utiliza tradicionalmente para centrales térmicas solares con aceite térmico como medio portador de calor en el circuito primario y que incluye a la vez un recalentamiento intermedio,

figura 2 un diagrama de bloques esquemático de una variante de conexión sencilla imaginable para centrales térmicas solares, que incluye dos tanques acumuladores para medios portadores de calor en el circuito primario,

figura 3 un diagrama de bloques esquemático de un primer ejemplo de ejecución de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta y recalentamiento intermedio sencillo, en la que está dispuesto un bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor.

figura 4 un diagrama de bloques esquemático de un segundo ejemplo de ejecución alternativo de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta y recalentamiento intermedio simple, en la que en el bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor está dispuesta la etapa de generación de vapor,

figura 5 un diagrama de bloques esquemático de un tercer ejemplo de ejecución alternativo de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta y recalentamiento intermedio simple, en la que está dispuesto un bypass alrededor de la etapa de generación del vapor,

figura 6 un diagrama de bloques esquemático de otro ejemplo de ejecución alternativo de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta y recalentamiento

- intermedio simple, en la que está dispuesto un bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y también alrededor de la etapa de generación del vapor,
- figura 7 un diagrama de bloques esquemático de otro ejemplo de ejecución de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta, que incluye una toma doble del medio portador de calor desde el sistema generador de vapor con bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor hacia el recalentamiento intermedio,
- figura 8 un diagrama de bloques esquemático de otro ejemplo de ejecución de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta, que incluye una toma triple del medio portador de calor desde el sistema generador de vapor con respectivos bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y la etapa de generación del vapor hacia el recalentamiento intermedio,
- figura 9 un diagrama de bloques esquemático de otro ejemplo de ejecución de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta, que incluye una toma doble del medio portador de calor y un recalentamiento intermedio a una temperatura del vapor inferior a la temperatura del vapor vivo,
- figura 10 un diagrama de bloques esquemático de otro ejemplo de ejecución de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta, que incluye un segundo recalentamiento intermedio mediante toma del medio portador de calor tras el bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y retorno tras la etapa de generación de vapor,
- figura 11 un diagrama de bloques esquemático de otro ejemplo de ejecución de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta, que incluye un primer recalentamiento intermedio en un bypass alrededor de la etapa del sobrecalentamiento del vapor y un segundo recalentamiento intermedio mediante toma del medio portador de calor tras el bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y retorno tras la etapa del precalentamiento,
- figura 12 un diagrama de bloques esquemático de otro ejemplo de ejecución de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta, que incluye un bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y un segundo recalentamiento intermedio utilizando el medio portador de calor que ha cedido el calor tras el primer recalentamiento intermedio,
- figura 13 un diagrama de bloques esquemático de otro ejemplo de ejecución de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta, que incluye un bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y un segundo recalentamiento intermedio utilizando el medio portador del calor que ha cedido el calor tras el primer recalentamiento intermedio y medio portador de calor caliente,
- figura 14 un diagrama de bloques esquemático de otro ejemplo de ejecución de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta, que incluye un bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y un segundo recalentamiento intermedio mediante toma doble al correspondiente nivel de temperatura,
- figura 15 un diagrama de bloques esquemático de otro ejemplo de ejecución de una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta, que incluye un bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor y un segundo recalentamiento intermedio mediante toma doble al correspondiente nivel de temperatura y utilización del medio portador de calor que ha cedido el calor tras el primer recalentamiento intermedio.

En la figura 1 se muestra una variante de conexión básica que sirve de base a la mayoría de ejemplos de ejecución aquí descritos más en detalle para centrales térmicas solares con aceite térmico como medio portador de calor en el circuito primario 1. Aquí está compuesto el sistema generador de vapor del circuito secundario en el grupo intercambiador de calor de manera tradicional por una conexión serie de la etapa de precalentamiento 11 (denominada también precalentador), de la etapa de generación de vapor 12 (denominada también vaporizador) y de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 (también denominada sobrecalentador). Además se incluye por lo general un recalentamiento intermedio 15, para aumentar el rendimiento de la central.

Además incluye el circuito secundario de vapor de agua 2 un sistema de turbinas de vapor 21, 22, 23 que está conectado mediante un sistema de tuberías de vapor 18 con la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 y que durante el funcionamiento se alimenta con el vapor sobrecalentado allí generado. El sistema de turbinas de vapor 21, 22, 23 puede estar constituido por una única turbina de vapor, operándose para un mejor aprovechamiento de la energía y para aumentar el rendimiento usualmente dos o varias turbinas de alta presión 21 en paralelo o como turbinas dobles. En serie pueden conectarse entonces una, dos o varias turbinas de media presión 22 y/o turbinas de baja presión 23 a la(s) turbina(s) de alta presión 21. Esta(s) turbina(s) de media presión 22 y/o turbina(s) de baja presión 23 posconectadas a la(s) turbina(s) de alta presión 21, se alimenta(n) con el vapor procedente de la(s) turbina(s) de alta presión 21 que se ha recalentado en un recalentador intermedio con uno, dos o varios intercambiadores de calor. También es conveniente una cascada de turbinas de alta presión, media presión y baja presión para aumentar el rendimiento y/o la potencia total de la central.

En el circuito secundario está postconectado además un condensador o bien un sistema condensador 20 al sistema de turbinas de vapor 21, 22, 23 por el lado del vapor de salida, para condensar de nuevo el vapor. El sistema correspondiente a la invención puede incluir también una o varias derivaciones para vapor de toma. Este vapor de toma puede utilizarse por ejemplo para precalentar el agua de alimentación

en un sistema de precalentamiento del agua de alimentación, etc. Además incluye el circuito secundario un sistema de tuberías de agua 19 con al menos un tanque de agua de alimentación 40 situado entre el sistema condensador 20 y la etapa del precalentamiento, que sirve para almacenar el agua de alimentación. Igualmente incluye el sistema de tuberías de agua las válvulas, bombas y unidades de control usuales, que durante el funcionamiento y en estado de reposo de la central controlan el sistema de tuberías de agua 19 y/o el sistema de tuberías de vapor 18 y regulan la generación de vapor.

Para utilizar medios portadores de calor alternativos a los aceites térmicos, que exigen una temperatura de proceso mayor, como por ejemplo sal fundida, es ventajoso modificar esta variante de circuito básica. Un tal sistema modificado, que en particular está adaptado a sal fundida como medio portador de calor alternativo, se muestra en la figura 2. En el circuito primario se incluyen en el sistema dos tanques de acumuladores 8, 9 para el medio portador de calor. El primer tanque acumulador 8 se encuentra inmediatamente antes del módulo térmico solar 5 y sirve para almacenar medio portador de calor frío. El segundo tanque acumulador 9 está situado después del módulo térmico solar 5 y sirve para el almacenamiento intermedio de medio portador de calor caliente. Ambos tanques acumuladores llevan postconectadas respectivas bombas 10 para transportar la correspondiente cantidad de medio portador de calor en el modo correspondiente a la operación.

La utilización de una tal central térmica solar tradicional modificada con evaporación indirecta mostraba no obstante limitaciones en cuanto al rendimiento debido a temperaturas de retorno desfavorables en el flujo másico principal del circuito primario. Además cuando se utilizaba sal fundida se presentaban por ejemplo problemas de cristalización, como por ejemplo en el tanque acumulador de medio portador de calor 8 o en la bomba del portador de calor 10 postconectada a este tanque acumulador 8. Por ello se han mejorado aún más este sistema adaptándolo a las condiciones de proceso modificadas para temperaturas elevadas. Estas mejoras y modificaciones se describirán detalladamente en los siguientes ejemplos de ejecución sin modificar a fondo la estructura básica del sistema para la evaporación indirecta.

Un primer ejemplo de ejecución para mejorar el rendimiento total y para solucionar adicionalmente el problema de cristalización antes explicado se muestra en la figura 3. El circuito primario y el secundario están constituidos básicamente de forma análoga al sistema de conexión imaginable mostrado en la figura 2. Pero en este primer ejemplo de ejecución se conduce una parte del medio portador de calor caliente alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 (o bien del sobrecalentador) y se acopla de nuevo tras la etapa del sobrecalentamiento del vapor 13 al flujo másico principal. Es decir, que una parte del flujo del medio portador de calor se conduce por un bypass B alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13.

Se sabe que cuando se utilizan en toda la zona de temperaturas de operación medios portadores de calor monofásicos en el circuito primario 1, debido a la evaporación de agua en el circuito secundario 2, que tiene lugar a temperatura constante (dependiente de la presión de evaporación) deben mantenerse. Un pinchpoint de más de 3K en la etapa de generación de vapor 12 (o bien el evaporador). Debido a esta condición marginal es usual que en los sistemas tradicionales se realice la transmisión del calor con parámetros de proceso correspondientemente peores, lo cual origina una pérdida de rendimiento del sistema completo. No obstante, al rodearse mediante bypass la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 puede garantizarse una evaporación del fluido de trabajo en la etapa de generación de vapor 12 del circuito secundario con el pinchpoint deseado. A la vez y mediante esta conducción en bypass (bypass B) pueden mantenerse los parámetros de proceso adaptados al correspondiente medio portador de calor, con lo que mediante la correspondiente regulación del flujo parcial necesario en el medio portador de calor puede evitarse una formación de grumos o bien cristalización en la etapa del precalentamiento 11 o en las unidades de trabajo postconectadas. Es decir, que mediante el bypass B puede conducirse más energía térmica por delante de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 y acoplarse de nuevo a la etapa de generación de vapor 12, con lo que la temperatura en los puntos críticos del circuito primario puede ajustarse a las temperaturas exigidas, por ejemplo por encima de la temperatura de cristalización.

La figura 4 muestra un segundo ejemplo de ejecución alternativo del sistema correspondiente a la invención. Mediante la inclusión de un bypass B alrededor de la etapa del sobrecalentamiento del vapor 13 (o bien alrededor del sobrecalentador) e inclusión simultánea de la etapa de generación de vapor 12 (o bien del evaporador) en este bypass pueden mejorar igualmente los parámetros de proceso. Dicho con otras palabras, esta conducción en bypass (bypass B) es un circuito paralelo a la etapa del sobrecalentamiento del vapor 13 y de la etapa de generación del vapor 12. En la conexión en paralelo de la etapa de generación de vapor 12 y de la etapa del sobrecalentamiento del vapor 13 se someten ambas etapas al medio portador de calor caliente. En particular mediante el aumento de la temperatura que así se logra en la etapa de generación del vapor 12, puede mantenerse el pinchpoint más fácilmente manteniendo por lo demás los mismos parámetros de proceso. Además de ello, puede adaptarse la gestión del calor de todo el sistema individualmente al medio portador de calor utilizado. Mediante esta conexión en paralelo de la etapa del sobrecalentamiento del vapor 13 y la etapa de generación de vapor 12, puede mejorarse claramente la gestión del calor, en particular cuando se utilizan medios portadores de calor alternativos, como sal fundida o aceites térmicos de alto punto de ebullición, de lo cual resulta un aumento del rendimiento del sistema completo.

En un tercer ejemplo de ejecución alternativo del circuito de una central térmica solar correspondiente a la invención se dota, con un circuito básico análogo (correspondiente a la figura 2), la etapa de generación de vapor 12 de una tubería de bypass o bien de un bypass B. Esta variante se muestra en la figura 5.

- 5 Junto a la mejora del rendimiento puede asegurarse mediante esta excelente variante de conexión adicionalmente la estabilización del proceso de intercambio de calor o bien la estabilización de la generación del vapor. Aquí se conduce una parte del flujo másico del medio portador de calor alrededor de la etapa de generación del vapor 12 (o bien del evaporador), para lograr con condiciones de funcionamiento extremas, por ejemplo temperaturas muy altas de la sal fundida o bien temperaturas de formación de grumos del medio portador de calor, una producción de vapor estable. Con ese circuito pueden evitarse en particular estados de servicio críticos, como por ejemplo la congelación del medio portador de calor, que puede presentarse en medios portadores de calor con altas temperaturas de fusión.
- 10
- 15 Esta variante de circuito puede combinarse con ambas variantes de circuito básicas del primer y segundo ejemplo de ejecución. Es decir, que puede estar incluido en el sistema intercambiador de calor tanto un primer bypass B1 alrededor de la etapa del sobrecalentamiento del vapor 13 como también un segundo bypass B2 alrededor de la etapa de generación de vapor 12. Una tal combinación de ambos bypass B1, B2 se muestra en la figura 6. Aquí se muestra a modo de ejemplo la combinación de un primer bypass B1
- 20 alrededor de la etapa del sobrecalentamiento del vapor 13 (o bien de un bypass del sobrecalentador) y un segundo bypass B2 alrededor de la etapa de generación de vapor 12 (o bien de un bypass del evaporador) en una central térmica solar correspondiente a la invención.

- 25 Adicionalmente a los ejemplos de ejecución antes expuestos puede utilizarse en el marco de la invención el bypass alrededor de la etapa del sobrecalentamiento del vapor 13 y/o la etapa de generación de vapor 12 no sólo para optimizar la gestión del calor, sino además de ello para el recalentamiento intermedio del vapor derivado de la turbina de alta presión. Puede pensarse aquí en diversas variantes de conexión y un par de ellas se describirán a modo de ejemplo para mostrar de forma patente la invención a continuación en base a otros ejemplos de ejecución. Todas las variantes de conexión pueden realizarse también en combinación con las variantes de circuitos básicas antes descritas en los ejemplos de ejecución primero hasta tercero.
- 30

- 35 En una primera forma de ejecución alternativa de una tal central térmica solar con un bypass para el recalentamiento intermedio, posibilita una toma del medio portador de calor procedente del sistema generador de vapor al nivel de temperatura correspondiente, un recalentamiento intermedio optimizado del vapor. Un ejemplo de ejecución preferente de ello se muestra en la figura 7. En esta variante se realiza en la etapa de recalentamiento intermedio 15 en un primer equipo de recalentamiento intermedio 31 un primer sobrecalentamiento con un medio portador de calor tomado detrás de la etapa de generación de vapor 12. A continuación se realiza en un segundo equipo de recalentamiento intermedio 32 un segundo recalentamiento con medio portador de calor derivado antes de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13. La ventaja de de un tal circuito es que mediante la toma al correspondiente nivel de temperatura sólo se utiliza medio portador de calor valioso (caliente) para el sobrecalentamiento hasta la temperatura final deseada.
- 40

- 45 En función del nivel de temperatura del medio portador de calor calentado, tras el recalentamiento del vapor en la etapa de recalentamiento intermedio 15 se devuelve el mismo al flujo másico principal del medio portador de calor. De esta manera puede utilizarse el calor restante del medio portador de calor que ha cedido el calor aún óptimamente para calentar el agua de alimentación, por ejemplo en la etapa del precalentamiento 11 o en la etapa de generación de vapor 12. En el ejemplo de ejecución mostrado en la figura 7 se conduce el medio portador de calor al flujo másico principal en función del nivel de temperatura tras la retirada del calor en el equipo de recalentamiento intermedio 32 detrás de la etapa del sobrecalentamiento del vapor 13 o bien tras la retirada del calor en el equipo de recalentamiento intermedio 31 después de la etapa del precalentamiento 11.
- 50

- 55 La primera derivación de recalentamiento intermedio se conduce por lo tanto, tal como se muestra en la figura 7, en un bypass B correspondiente a la invención, alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13. El acoplamiento del medio portador de calor que ha cedido el calor correspondiente al nivel de temperatura mejora entonces la gestión del calor más aún, ya que la energía que queda en el medio portador de calor que ha cedido el calor puede introducirse aún en otra etapa de intercambiador de calor. De esta manera puede incrementarse el rendimiento de la instalación. En la fase de planificación debe tenerse en cuenta que el sistema de tuberías adicional y las unidades de intercambiador de calor (intercambiadores de vapor) adicionales implican elevados costes de inversión. No obstante usualmente se rentabilizan muy rápidamente estos costes que se producen una sola vez debido al incremento del rendimiento total de la instalación. Esta variante de conexión puede realizarse igualmente en combinación con las tres variantes de bypass básicas de los ejemplos de ejecución primero hasta tercero, aún cuando aquí no se han descrito explícitamente.
- 60
- 65

Similarmente al ejemplo de ejecución antes descrito, puede incrementarse aún más el rendimiento total en el siguiente ejemplo de ejecución alternativo, en el que se incluye una toma triple y/o múltiple del

medio portador de calor al correspondiente nivel de temperatura (ver figura 8). Básicamente está constituida esta variante de conexión como la anterior y significa una descripción de detalle adicional. Con otra toma adicional al nivel de temperatura correspondiente y una tubería de retorno correspondientemente adaptada para devolver el medio portador de calor que ha cedido el calor al flujo másico principal, tal como se muestra en la figura 8, se puede aumentar aún más el rendimiento de la instalación. Dicho con más precisión, se toma en la primera etapa de recalentamiento intermedio 15 para un primer recalentamiento del vapor en el equipo de recalentamiento intermedio 31 el medio portador de calor tras la etapa de generación de vapor 12 y se acopla de nuevo al flujo másico principal tras el calentamiento, después de la etapa del precalentamiento 11. Para el segundo recalentamiento en el equipo de recalentamiento intermedio 32 se toma el medio portador de calor antes que la etapa de generación de vapor 12 y tras ceder el calor se conduce después de la etapa de generación de vapor 12 de nuevo al flujo másico principal (primer bypass B1). El recalentamiento hasta la temperatura final deseada (tercer recalentamiento) en el equipo de recalentamiento intermedio 33 se realiza a continuación de nuevo con medio portador de calor caliente, que tras ceder el calor se acopla de nuevo antes de la etapa de generación de vapor 12 al flujo másico principal (segundo bypass B2).

Mediante esta colocación en cascada de equipos de recalentamiento intermedio 31, 32, 33 puede aumentarse aún más el rendimiento de la instalación, pero también pueden aumentar el coste constructivo y con ello los costes de inversión. Esta colocación en cascada puede igualmente realizarse correspondientemente con las tres variantes de circuito básicas antes descritas en los ejemplos de ejecución primero a tercero, es decir, la conducción directa del bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 y/o alrededor de la etapa de generación de vapor 12. Igualmente es posible un aumento adicional del número de tomas y correspondientes acoplamientos.

Otras posibilidades alternativas de conexión en una central térmica solar correspondiente a la invención con evaporación indirecta resultan de que la temperatura del vapor en la etapa de recalentamiento intermedio 15 ya no se lleva a un sobrecalentamiento al nivel de la temperatura del vapor vivo, sino a una temperatura inferior. Para ello puede tomarse el medio portador de calor tras la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 y el bypass B1 (ver figura 9) alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor (o bien del bypass del sobrecalentador) del flujo másico principal y utilizarse para el recalentamiento intermedio del vapor en el equipo de recalentamiento intermedio 32. Tras ceder el calor puede acoplarse el medio portador de calor de nuevo en función del nivel de temperatura en el punto correcto al flujo másico principal.

En la figura 9 se muestra un ejemplo de ejecución preferente de una tal variante de conexión en la etapa de recalentamiento intermedio 15. En esta variante representada en la figura 9 se toma una parte del flujo del medio portador de calor tras la etapa de generación del vapor 12 para un primer recalentamiento en el equipo de recalentamiento intermedio 31 (es decir, en el primer sistema intercambiador de calor de la etapa de recalentamiento intermedio). Además se toma una parte del flujo del medio portador de calor tras la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 con el bypass del sobrecalentador B1, que se utiliza para el recalentamiento hasta la temperatura deseada para el vapor en un segundo equipo de recalentamiento intermedio 32 (es decir, un segundo sistema intercambiador de calor de la etapa de recalentamiento intermedio 15). Ambos flujos másicos que han cedido el calor se devuelven en función de su nivel de temperatura de nuevo al flujo másico principal, según la variante mostrada a modo de ejemplo en la figura 9, tras la etapa de recalentamiento 11 o bien tras la etapa de generación de vapor 12. Aquí está situado el segundo equipo de recalentamiento intermedio en una segunda tubería de bypass (bypass B2).

Las figuras 10 a 15 muestran otras variantes de conexión alternativas, que tienen todas como base un doble recalentamiento intermedio. Éstas se basan en las variantes de conexión básicas antes descritas y en las variantes de conexión para el recalentamiento intermedio simple y son desarrollos ulteriores y mejoras del doble recalentamiento intermedio tradicional. Las variantes presentadas a continuación pueden combinarse con los tres circuitos básicos de los ejemplos de ejecución primero a tercero, así como todos los circuitos antes descritos para el recalentamiento intermedio simple. A modo de ejemplo se incluyen a continuación algunas variantes de conexión preferentes para clarificar el concepto correspondiente a la invención, sin limitar a la vez la invención a los ejemplos que aquí se describen explícitamente.

La figura 10 muestra un ejemplo de ejecución con un recalentamiento intermedio doble a un nivel de temperatura inferior en la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17 a la temperatura del vapor vivo. Es decir, que el segundo recalentamiento intermedio se realiza a un nivel de temperatura que se encuentra por debajo de la temperatura del vapor vivo. En este ejemplo de ejecución se toma del flujo másico principal una parte del flujo de medio portador de calor tras la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 y el primer bypass B1 alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 y se lleva a la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17 dispuesta tras la turbina de media presión 22 y se acopla en función del nivel de temperatura de nuevo al flujo másico principal. Mediante la toma tras la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 ya no pueden recalentarse el vapor en la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17 a la temperatura del vapor vivo, sino sólo a un nivel de temperatura inferior.

La conexión de la primera etapa de recalentamiento intermedio 16 puede realizarse análogamente a los ejemplos de ejecución precedentes, por ejemplo con un segundo bypass B2. Además puede realizarse la variante de conexión mostrada a modo de ejemplo en la figura 10 en combinación con las tres variantes básicas de los ejemplos de ejecución primero al tercero, así como también con las diversas variantes para el recalentamiento intermedio simple.

Otro ejemplo de ejecución se muestra en la figura 11. A diferencia de la figura 10, en la que el medio portador de calor se acopla de nuevo tras el segundo equipo de recalentamiento intermedio 32 en la primera etapa de recalentamiento intermedio 16 con el flujo másico principal de nuevo después de la etapa de generación de vapor 12 (es decir, en el que el equipo de recalentamiento intermedio 32 está situado en el bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 y la etapa de generación de vapor 12), se devuelve en la figura 11 el medio portador de calor antes de la etapa de generación de vapor 12 de nuevo al flujo másico principal (bypass B2). Por lo tanto en el ejemplo de ejecución mostrado en la figura 11 se encuentra el equipo de recalentamiento intermedio 32 de la primera etapa de recalentamiento intermedio 16 en un bypass B2 alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13.

La figura 12 muestra otro ejemplo de ejecución de una variante de conexión con doble etapa de recalentamiento intermedio y un bypass B alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13, en la que el vapor se calienta en el segundo recalentamiento intermedio hasta un nivel de temperatura inferior a la temperatura de vapor vivo. Esto significa que el segundo recalentamiento intermedio se realiza hasta un nivel de temperatura que se encuentra por debajo de la temperatura del vapor vivo. Esto se logra mediante la utilización del medio portador de calor que ha cedido el calor tras la primera etapa de recalentamiento intermedio 16 para la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17. Tras la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17 se realiza de nuevo el acoplamiento al flujo másico principal tras la etapa de precalentamiento 11. Mediante esta conexión puede lograrse sólo una temperatura del vapor claramente inferior a la temperatura del vapor vivo en el segundo recalentamiento intermedio. También esta variante puede combinarse a su vez con todas las variantes básicas antes descritas para la conexión del sistema de generación de vapor y para el primer recalentamiento intermedio.

En la figura 13 se muestra otro ejemplo de ejecución de doble recalentamiento intermedio. En este ejemplo de ejecución puede lograrse utilizando el medio portador de calor caliente para otro recalentamiento en la segunda etapa de recalentamiento intermedio la temperatura final deseada (por ejemplo la misma temperatura que la del vapor vivo). Para ello se amplía la variante mostrada en la figura 12 en otro equipo de recalentamiento intermedio 35 en la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17. Este equipo de recalentamiento intermedio 35 se somete a medio portador de calor caliente, tomado antes de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 del flujo másico principal. El medio portador de calor que ha cedido el calor se acopla de nuevo en función de su nivel de temperatura al flujo másico principal tras la etapa de generación de vapor 12 (ver bypass B2). Esta variante puede acoplarse a su vez con todas las variantes antes descritas para el sistema de generación de vapor, así como para el primer recalentamiento intermedio.

En otra forma de ejecución alternativa se logra en la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17, mediante una toma doble o múltiple del medio portador de calor a diversos niveles de temperatura y un doble recalentamiento intermedio, el mismo nivel de temperatura que la temperatura de vapor vivo. Mediante la utilización del medio portador de calor a diferentes niveles de temperatura para el segundo recalentamiento intermedio, puede configurarse más efectivo el intercambio de calor. Como en la variante mostrada en la figura 8 (colocación en cascada de la transmisión del calor mediante toma triple o bien múltiple del medio portador de calor al correspondiente nivel de temperatura), puede también optimizarse correspondientemente en el segundo recalentamiento intermedio el intercambio de calor mediante toma triple o múltiple al nivel de temperatura necesario.

Por ejemplo se muestra en el ejemplo de ejecución representado a modo de ejemplo en la figura 14 la toma doble del medio portador de calor desde el flujo másico principal para la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17. En la toma doble se toma el medio portador de calor para un primer recalentamiento en el primer equipo de recalentamiento intermedio 34 en la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17 por ejemplo tras el bypass de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 y tras ceder el calor se acopla al flujo másico principal en función del nivel de temperatura. El recalentamiento definitivo hasta el nivel de temperatura deseado en el segundo equipo de recalentamiento intermedio 35 de la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17 se realiza entonces mediante una toma de vapor vivo antes de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13. También aquí se encuentra el segundo equipo de recalentamiento intermedio 35 de la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17 en un bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor 13 y la etapa de generación de vapor 12.

Puede pensarse en otras tomas al correspondiente nivel de temperatura (como por ejemplo toma triple) y con ello en intercambiadores de calor adicionales para el segundo recalentamiento intermedio al igual que para el primer recalentamiento intermedio. La toma múltiple para optimizar el segundo recalentamiento

intermedio puede combinarse con todas las variantes de conexión antes descritas del sistema generador de vapor y todas las variantes de conexión del primer recalentamiento intermedio.

En la figura 15 se representa una modificación del circuito en el doble recalentamiento intermedio. Aquí se realiza mediante toma múltiple del medio portador de calor a distintos niveles de temperatura y utilización del medio portador de calor que ha cedido el calor de la primera etapa de recalentamiento intermedio 16 en la segunda etapa de recalentamiento intermedio 35, un recalentamiento intermedio al mismo nivel de temperatura (ver bypass B2) que la temperatura de vapor vivo. El medio portador de calor que ha cedido el calor tras la primera etapa de recalentamiento intermedio 16 (análogamente a la variante mostrada en la figura 12 ó 13) puede combinarse con una toma múltiple del medio portador de calor a diversos niveles de temperatura y con ello mejorarse aún más la gestión del calor. Puede pensarse tanto en la utilización de varios flujos portadores de calor que han cedido el calor tras el primer calentamiento como también en varias tomas del flujo másico principal al correspondiente nivel de temperatura.

Como ejemplo preferente se representa en la figura 15 la utilización de un flujo másico de fluido portador que ha cedido calor en el primer recalentamiento intermedio y la utilización de dos partes de flujo del portador de calor con distintos niveles de temperatura en los equipos de recalentamiento intermedio 34, 35, 36 de la segunda etapa de recalentamiento intermedio 17. Como en todas las variantes, puede pensarse en todas las combinaciones antes descritas de circuitos de generación de vapor y conexión del primer recalentamiento intermedio.

Señalemos finalmente de nuevo que las variantes de conexión antes descritas detalladamente para centrales térmicas solares y procedimientos de funcionamiento para las mismas son solamente ejemplos de ejecución preferentes, que puede modificar el especialista de las formas más diversas sin abandonar el ámbito de la invención, siempre que ello esté predeterminado por las reivindicaciones. En particular pueden combinarse entre sí las distintas variantes presentadas.

Puede pensarse por ejemplo en variantes de conexión en las que pueden estar dispuestas distintas etapas de intercambiador de calor del circuito secundario en un componente de un sistema intercambiador de calor del circuito primario, con lo que resulta una tubería de bypass lógica en el sentido de la invención. Por ejemplo pueden calentarse la etapa de sobrecalentamiento del vapor y una etapa de recalentamiento intermedio en paralelo mediante medio portador de calor caliente en un tal sistema intercambiador de calor, al ser ambas rodeadas en paralelo por un flujo de medio portador de calor caliente o desbordadas aún cuando el flujo de medio portador de calor no se conduzca en dos sistemas de tuberías separadamente. En este caso resulta una clase de bypass lógico, en el que una primera parte del flujo de medio portador de calor se utiliza para la transmisión del calor a la etapa de generación de vapor y una segunda parte para la transmisión del calor a la etapa de recalentamiento intermedio. Opcionalmente pueden estar dispuestas etapas intercambiadoras de calor con una temperatura inferior en el mismo componente subordinadas a ese flujo.

Además puede estar alojado adicionalmente en el circuito primario y/o circuito secundario un acumulador térmico intermedio 7, que cuando se funciona con exceso de potencia acumula transitoriamente energía térmica, que puede introducirse de nuevo en el circuito secundario cuando se funciona con potencia inferior a la nominal. También puede realizarse solamente un acumulador 8 o bien 9 para el medio portador de calor antes o después del módulo térmico solar 5 o bien pueden quitarse por completo los mismos.

REIVINDICACIONES

1. Central térmica solar con evaporación indirecta, que incluye al menos los siguientes componentes:
 - un circuito primario (1) con un sistema de tuberías de un medio portador de calor, que incluye al menos un módulo térmico solar (5) para calentar el medio portador de calor mediante energía solar,
 - un circuito secundario de vapor de agua (2) con al menos:
 - una etapa de precalentamiento (11) para precalentar agua de alimentación,
 - una etapa de generación de vapor (12) postconectada a la etapa de precalentamiento (11) para generar vapor,
 - una etapa de sobrecalentamiento del vapor (13) postconectada a la etapa de generación de vapor (12), para sobrecalentar el vapor,
 - un sistema de turbinas de vapor (21, 22, 23) conectado a través de un sistema de tuberías de vapor (18) con una salida de la etapa de sobrecalentamiento del vapor (13) y que en funcionamiento se alimenta con el vapor sobrecalentado,
 - un sistema condensador (20) postconectado por el lado de salida del vapor al sistema de turbinas de vapor (21, 22, 23) para condensar el vapor y
 - un sistema de tuberías de agua (19) con un tanque de agua de alimentación (40) colocado entre el sistema condensador (20) y la etapa de precalentamiento (11), y
 - un generador (3) acoplado directa o indirectamente con el sistema de turbinas de vapor (21, 22, 23),

en el que el circuito primario (1) incluye un grupo intercambiador de calor con un sistema de tuberías de medio portador de calor para transmitir la energía térmica del medio portador de calor del circuito primario (1) a la etapa de sobrecalentamiento del vapor (13), la etapa de generación de vapor (12) y la etapa de precalentamiento (11) del circuito secundario de vapor de agua (2),

caracterizado porque el sistema de tuberías del medio portador de calor presenta al menos una tubería de bypass (B1, B2, B3) alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor (13) y/o la etapa de generación de vapor (12), que antes de la etapa de precalentamiento (11) se conduce de nuevo al flujo másico principal del sistema de tuberías del medio portador de calor.
2. Central térmica solar según la reivindicación 1,

caracterizada porque en la tubería de bypass, alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor (13), está dispuesta una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor (15) y/o la etapa de generación de vapor (12).
3. Central térmica solar según la reivindicación 1 ó 2,

caracterizada porque en la tubería de bypass alrededor de la etapa de generación de vapor (12) está dispuesta una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor (15).
4. Central térmica solar según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque el sistema de tuberías del medio portador de calor presenta una tubería alrededor de la etapa de precalentamiento (11), en la que opcionalmente está dispuesta una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor (15).
5. Central térmica solar según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque el sistema de tuberías del medio portador de calor presenta una tubería adicional, que discurre alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor (13) y la etapa de generación de vapor (12), en la que opcionalmente está dispuesta una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor (15).
6. Central térmica solar según una de las reivindicaciones 2 a 5,

caracterizada porque la etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor incluye al menos dos etapas de recalentamiento intermedio (16, 17), que incluyen en cada caso opcionalmente varios equipos de recalentamiento intermedio (31, 32, 33, 34, 35, 36).
7. Central térmica solar según una de las reivindicaciones precedentes,

que presenta un acumulador térmico intermedio (7) en el circuito primario (1) y/o circuito secundario (2).
8. Central térmica solar según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque en el circuito primario (1) están dispuestos uno o varios tanques de almacenamiento (8, 9) para el medio portador de calor flujo arriba y/o flujo abajo del módulo solar térmico (5).
9. Central térmica solar según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque el módulo térmico solar (5) incluye uno o varios colectores solares o un campo de los mismos.

10. Procedimiento para operar una central térmica solar con evaporación indirecta, en el que:

- en un circuito primario (1) se calienta un medio portador de calor mediante un módulo solar térmico (5) por medio de energía solar y el medio portador de calor calentado se conduce a un grupo intercambiador de calor para transmitir la energía térmica desde el medio portador de calor a un circuito secundario (2) antes de que una vez enfriado sea introducido de nuevo alimentando el módulo solar térmico (5),
- en un circuito secundario de vapor de agua (2) se precalienta en el grupo de intercambiadores de calor agua de alimentación de un tanque de agua de alimentación (40) primeramente en una etapa de precalentamiento (11), en una etapa de generación de vapor (12) postconectada a la etapa de precalentamiento (11) se genera vapor y en una etapa de sobrecalentamiento del vapor (13) postconectada a la etapa de generación de vapor (12) se sobrecalienta el vapor, antes de que se alimente con el vapor sobrecalentado, a través de un sistema de tuberías de vapor (18), un sistema de turbinas de vapor (21, 22, 23) acoplado directa o indirectamente con un generador (3), condensándose a continuación el vapor que sale del sistema de turbinas de vapor (21, 22, 23) en un sistema condensador (20) transformándose en agua y conduciéndose de retorno al tanque de agua de alimentación (40),

caracterizado porque una parte del flujo del medio portador de calor del circuito primario (1) se conduce en el grupo intercambiador de calor a través de al menos una tubería de bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento de vapor (13) y/o la etapa de generación de vapor (12) del circuito secundario (2) y se introduce de nuevo en el flujo másico principal antes de la etapa de precalentamiento (11).

11. Procedimiento para operar una central térmica solar según la reivindicación 10,

caracterizado porque una parte del flujo del medio portador de calor se conduce por la tubería de bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor (13) a través de una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor (15) y/o la etapa de generación del vapor (12).

12. Procedimiento para operar una central térmica solar según la reivindicación 10 u 11,

caracterizado porque una parte del flujo del medio portador de calor se conduce por la tubería de bypass alrededor de la etapa de generación de vapor (12) a través de una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor (15).

13. Procedimiento para operar una central térmica solar según una de las reivindicaciones 10 a 12,

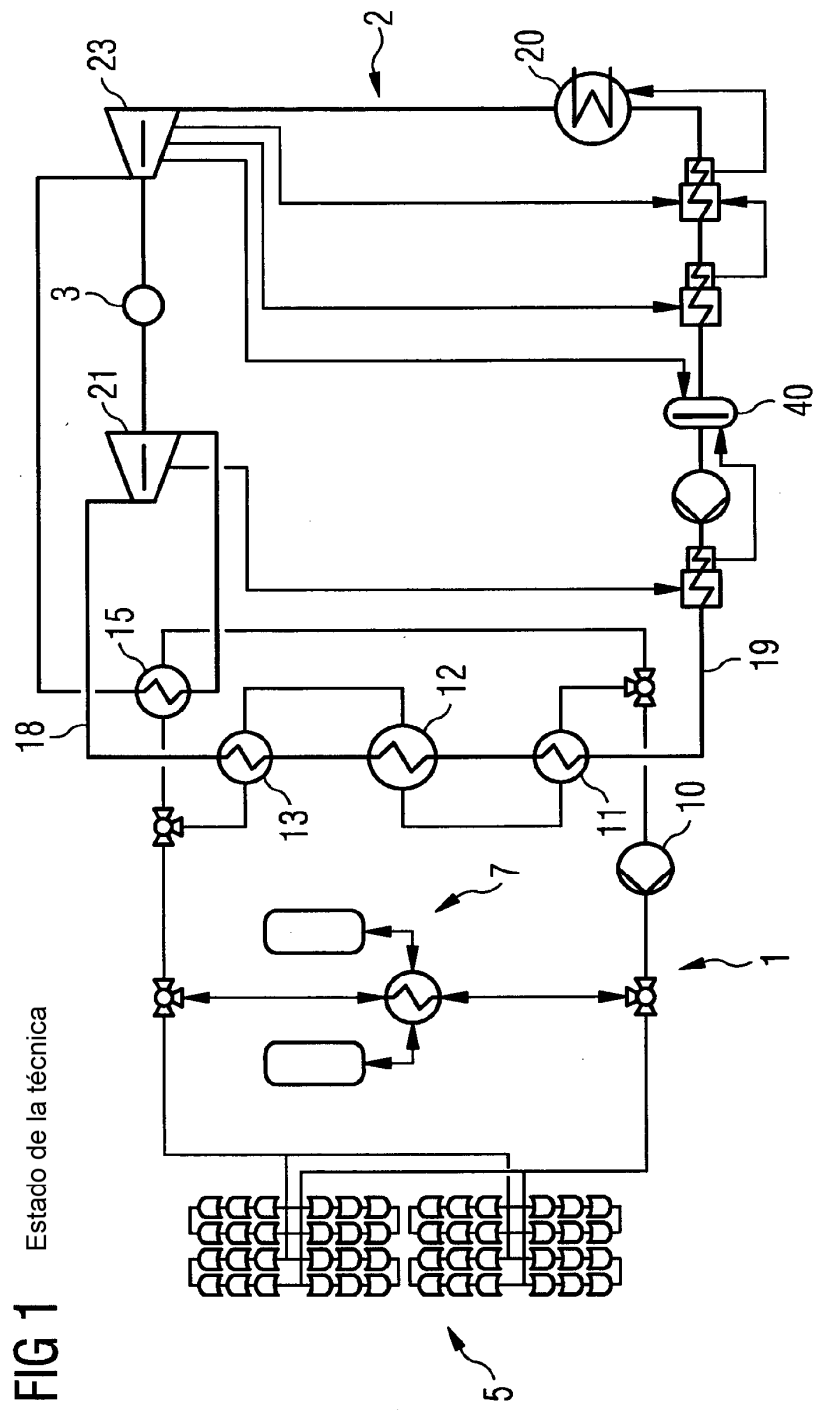
caracterizado porque una parte del flujo del medio portador de calor se conduce por una tubería alrededor de la etapa de precalentamiento (11), en la que opcionalmente está dispuesta una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor (15).

14. Procedimiento para operar una central térmica solar según una de las reivindicaciones 10 a 13,

caracterizado porque adicionalmente una parte del flujo del medio portador de calor se conduce por una tubería de bypass alrededor de la etapa de sobrecalentamiento del vapor (13) y la etapa de generación de vapor (12) y se introduce de nuevo antes de la etapa de precalentamiento en el flujo másico principal, donde opcionalmente está dispuesta una etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor (15).

15. Procedimiento para operar una central térmica solar según una de las reivindicaciones 11 a 14,

caracterizado porque la etapa adicional de sobrecalentamiento del vapor (15) se utiliza para el recalentamiento intermedio del vapor que sale de una turbina de vapor del sistema de turbinas de vapor (21, 22, 23) en una primera o segunda etapa de recalentamiento intermedio (16, 17), antes de conducirlo a otra turbina de vapor.



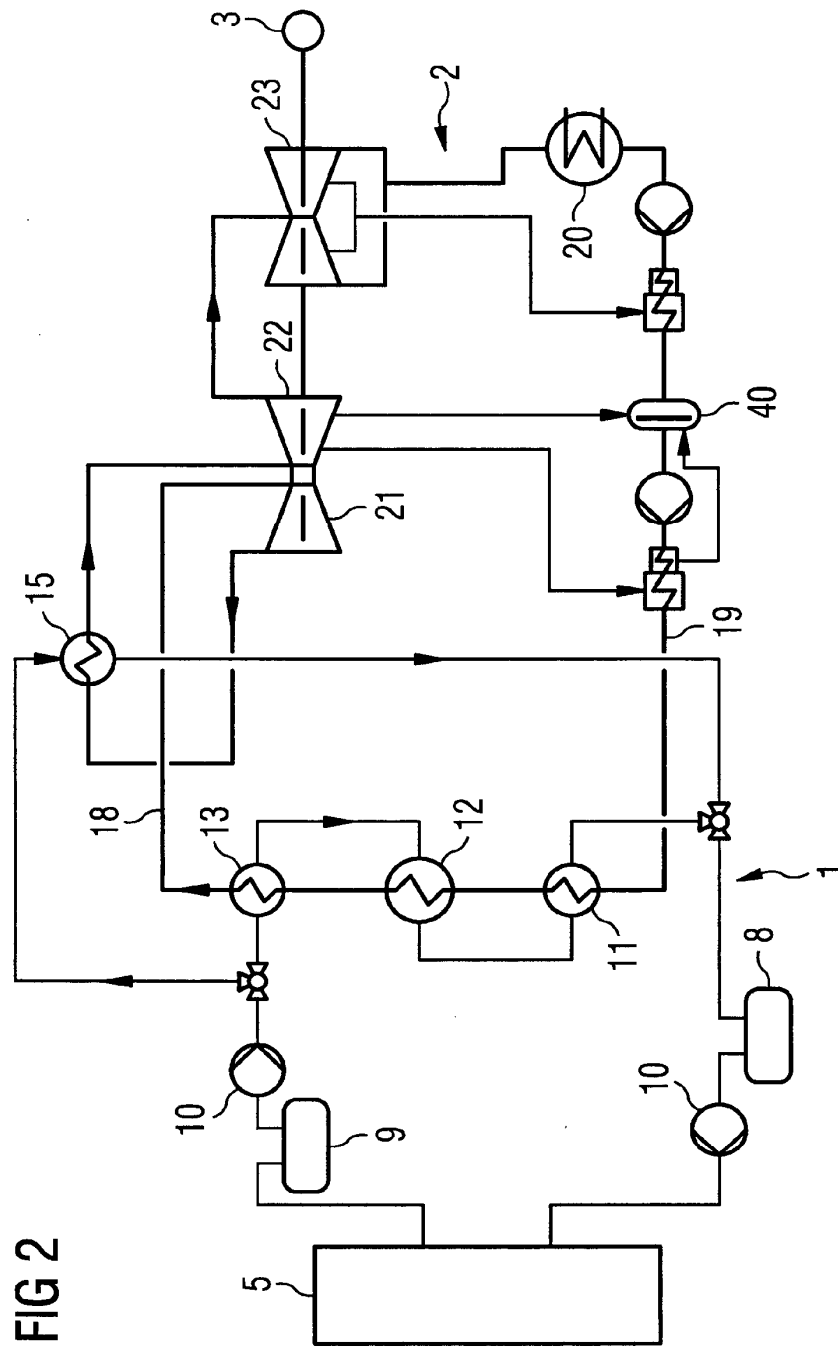


FIG 2

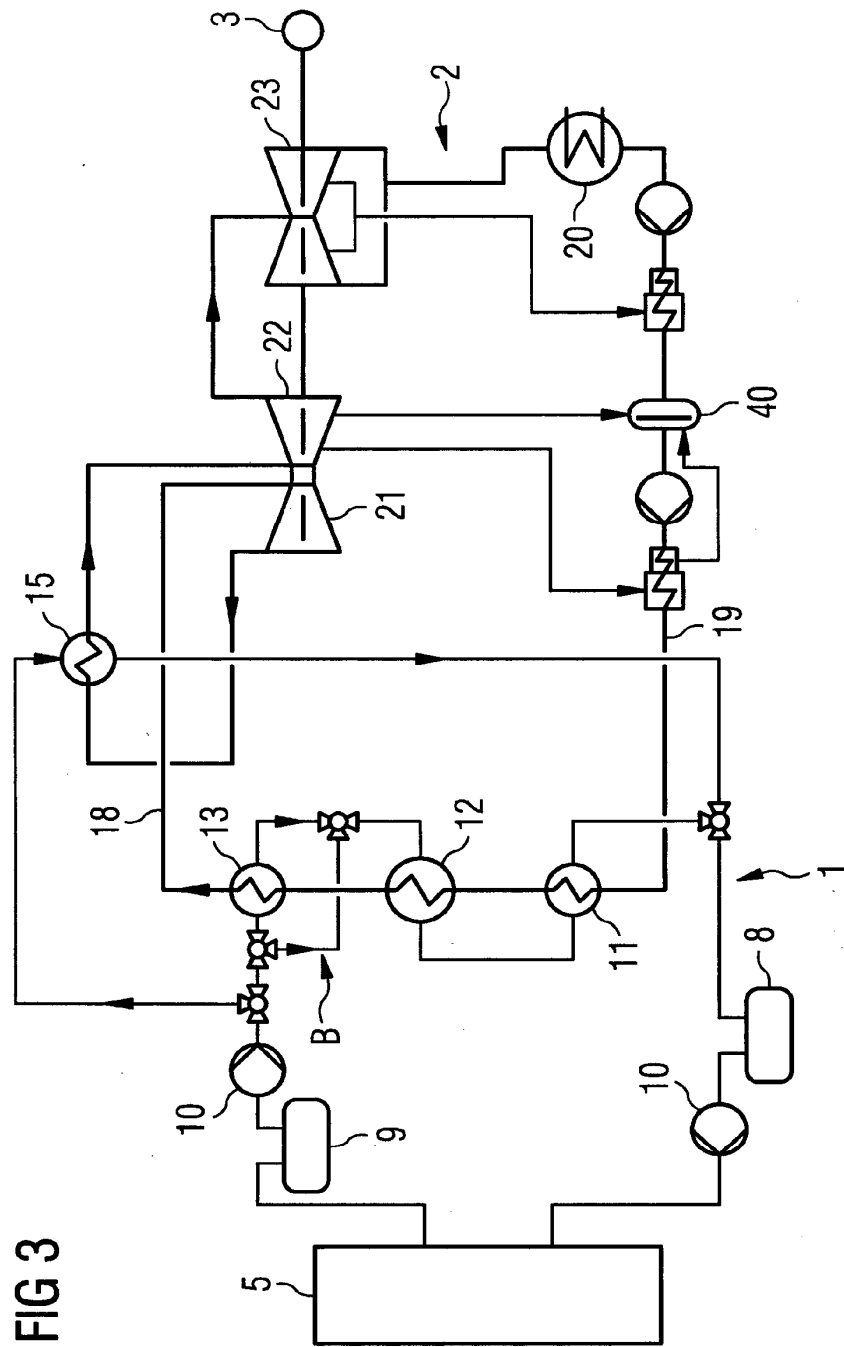


FIG 3

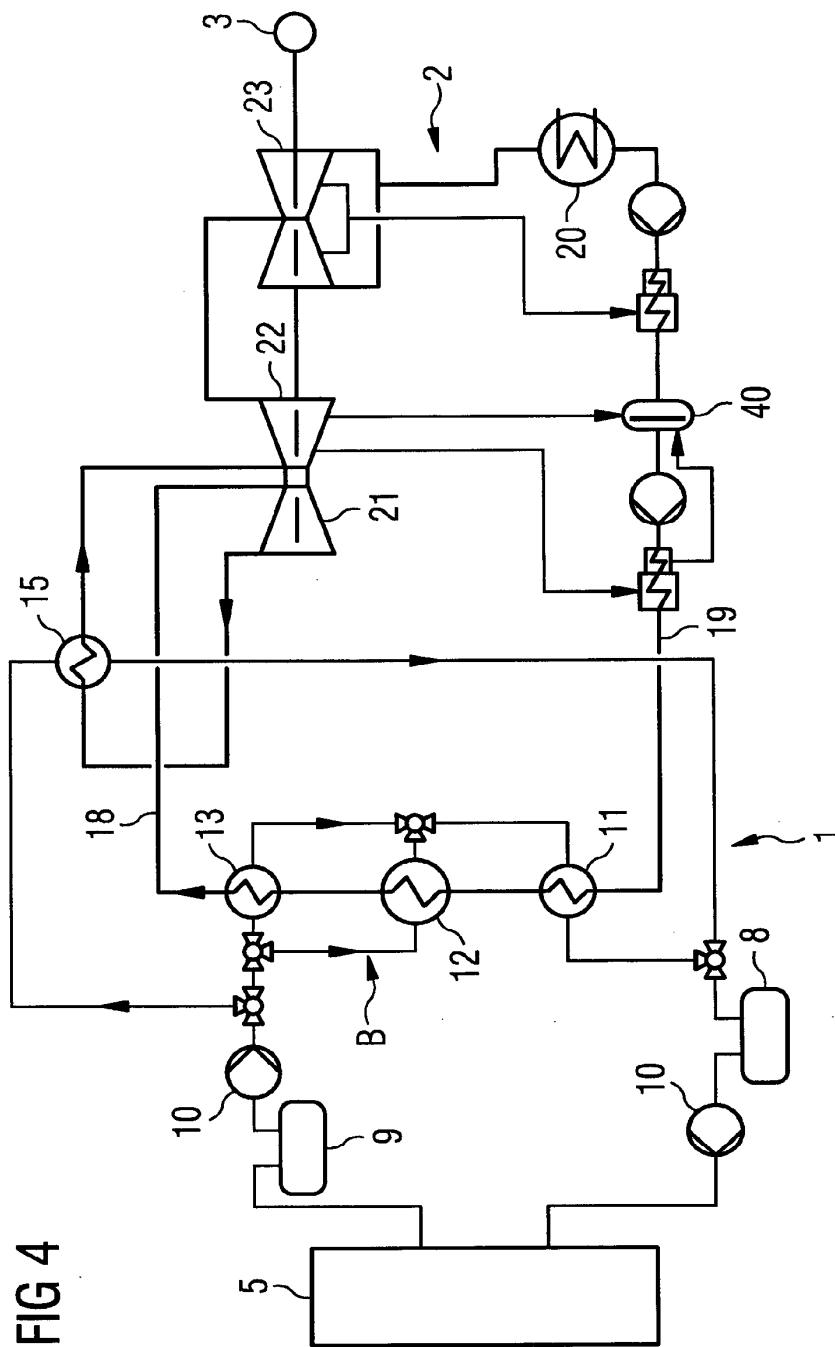


FIG 4

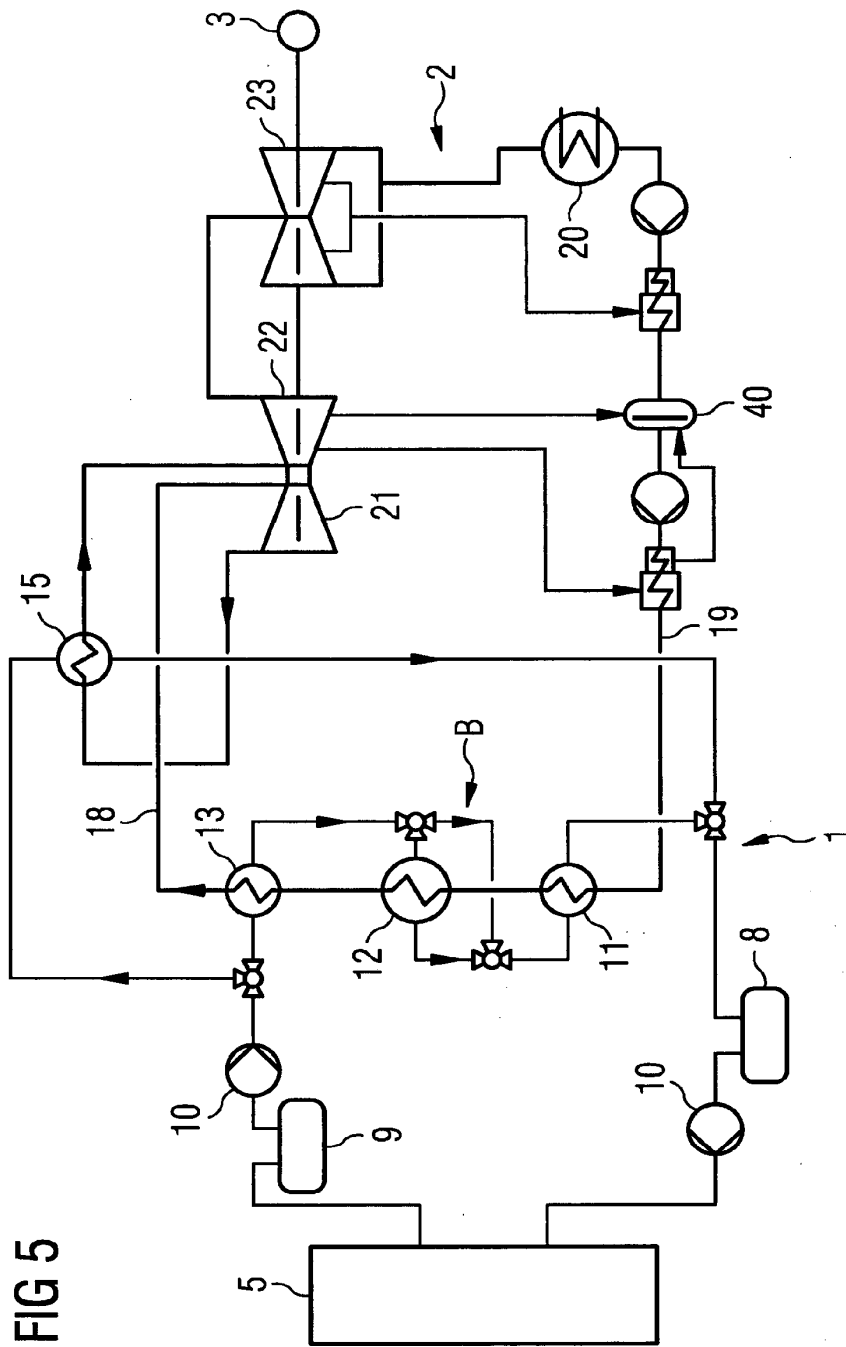
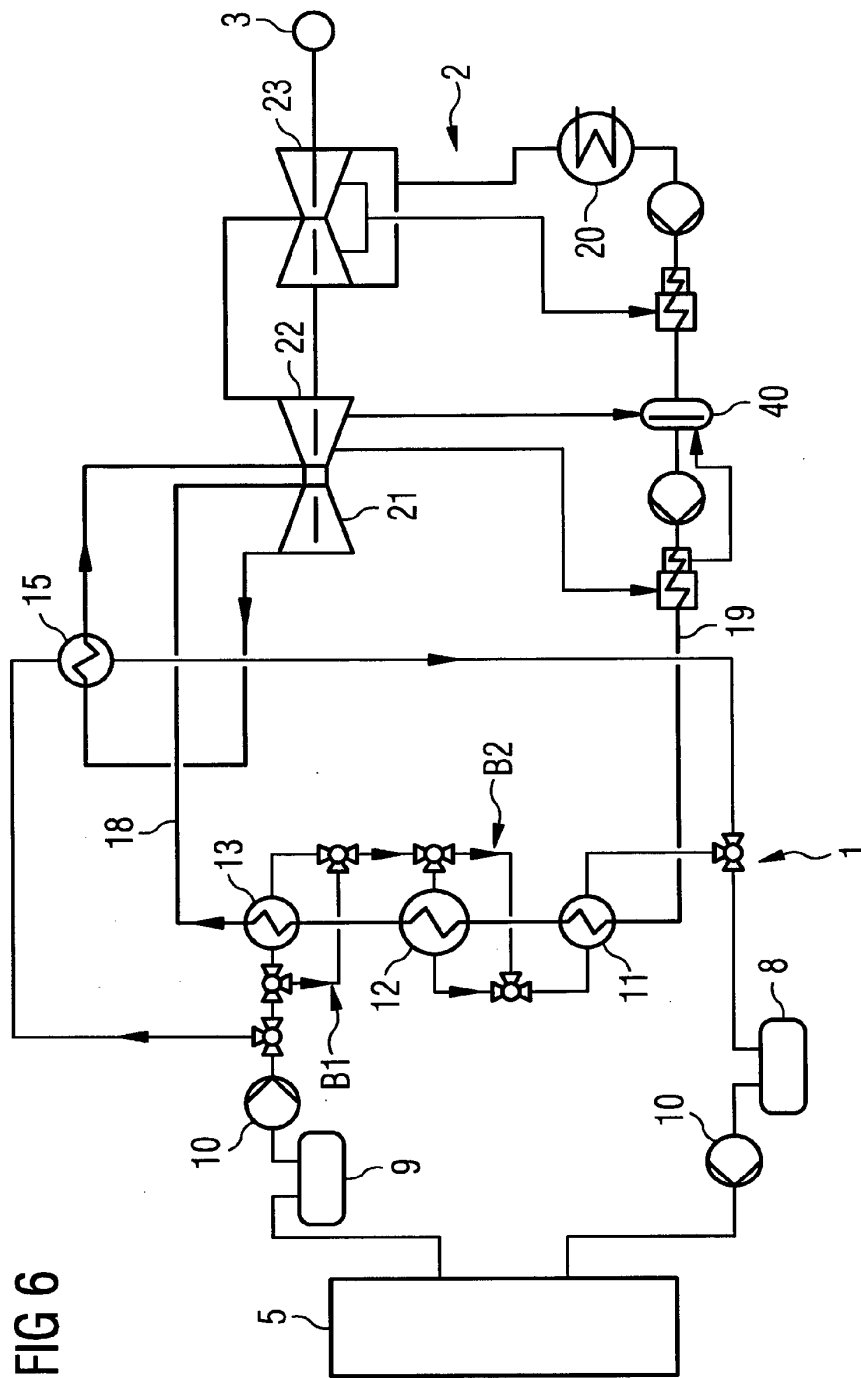


FIG 5

FIG 6



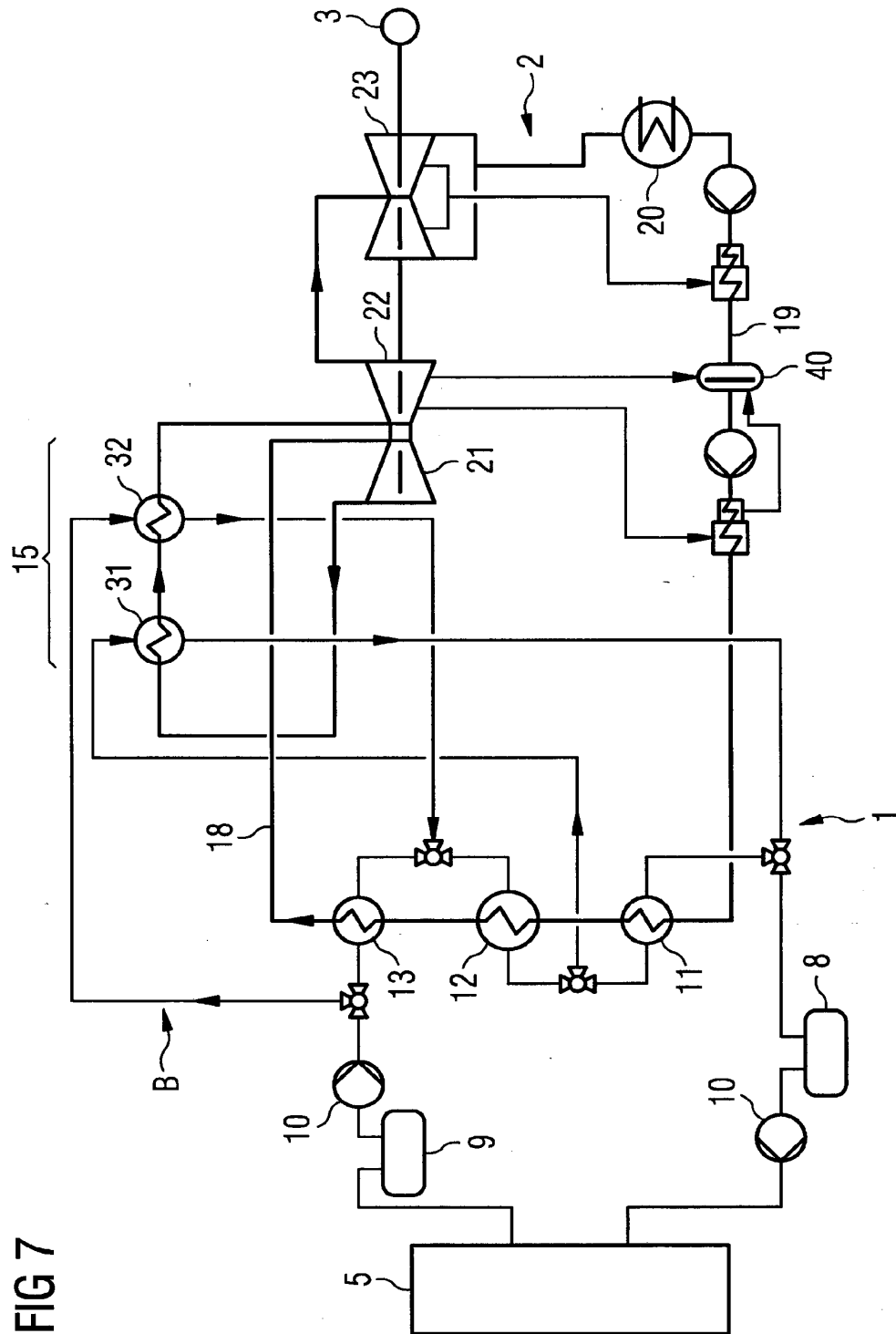
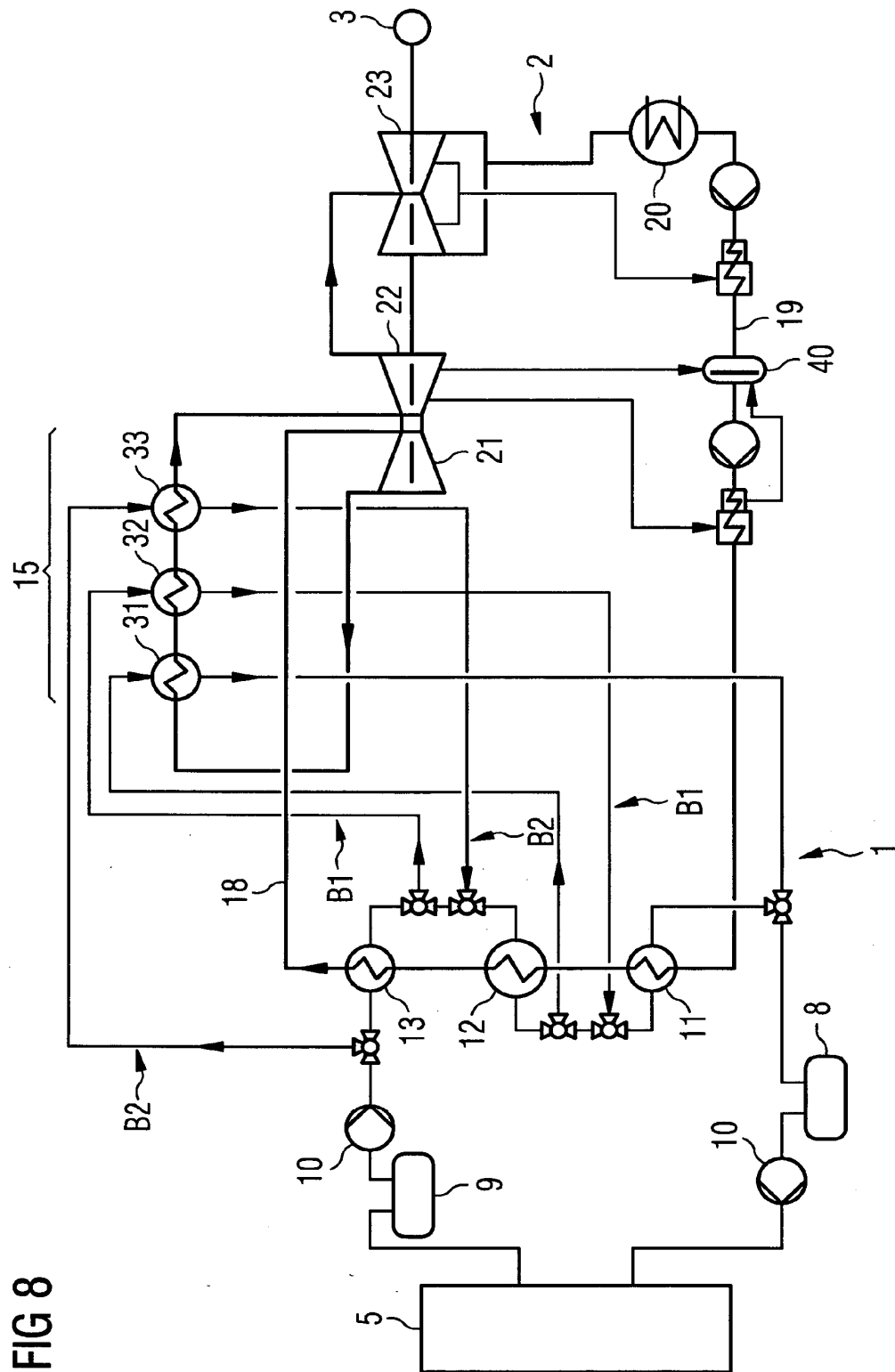


FIG 8



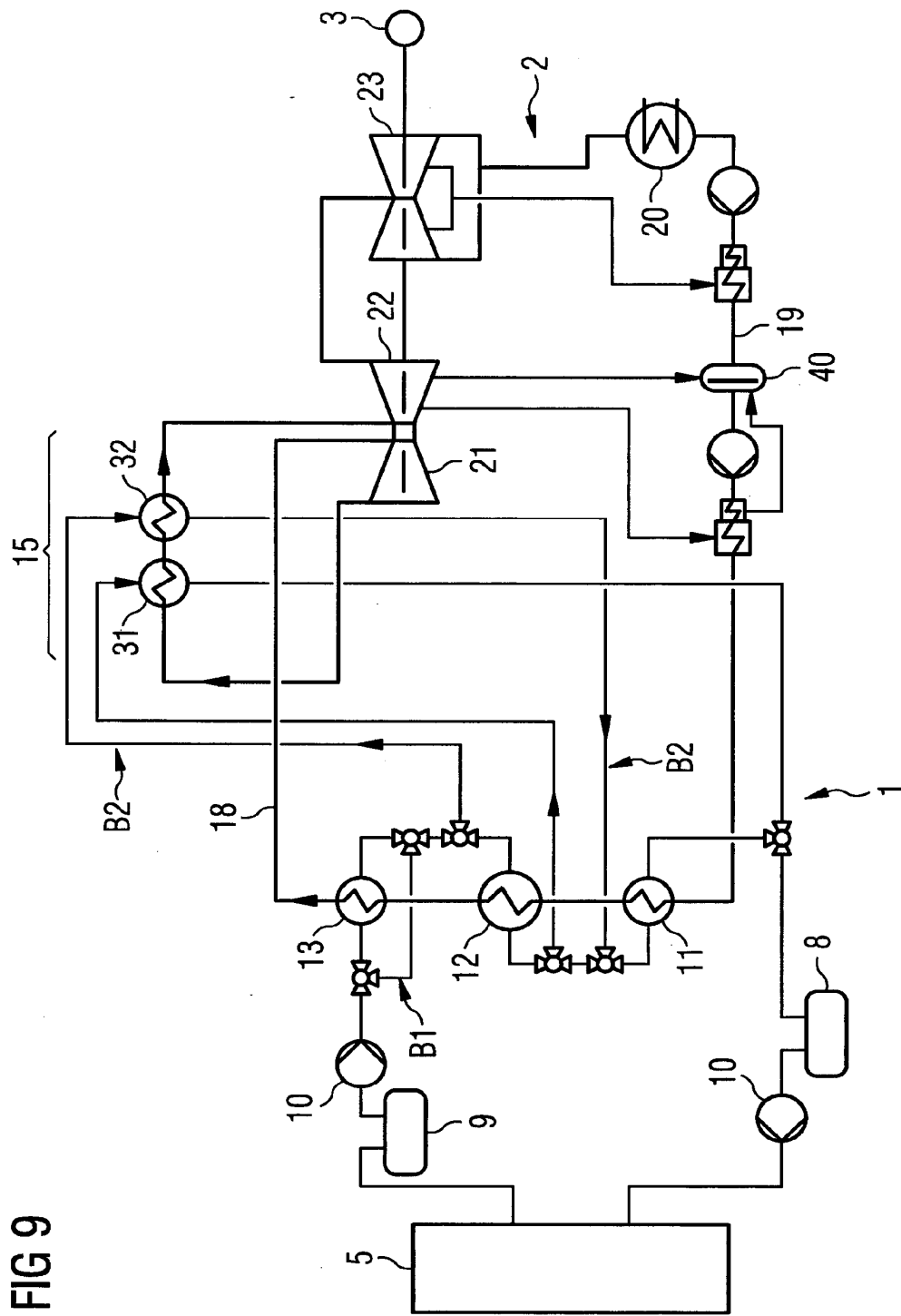


FIG 9

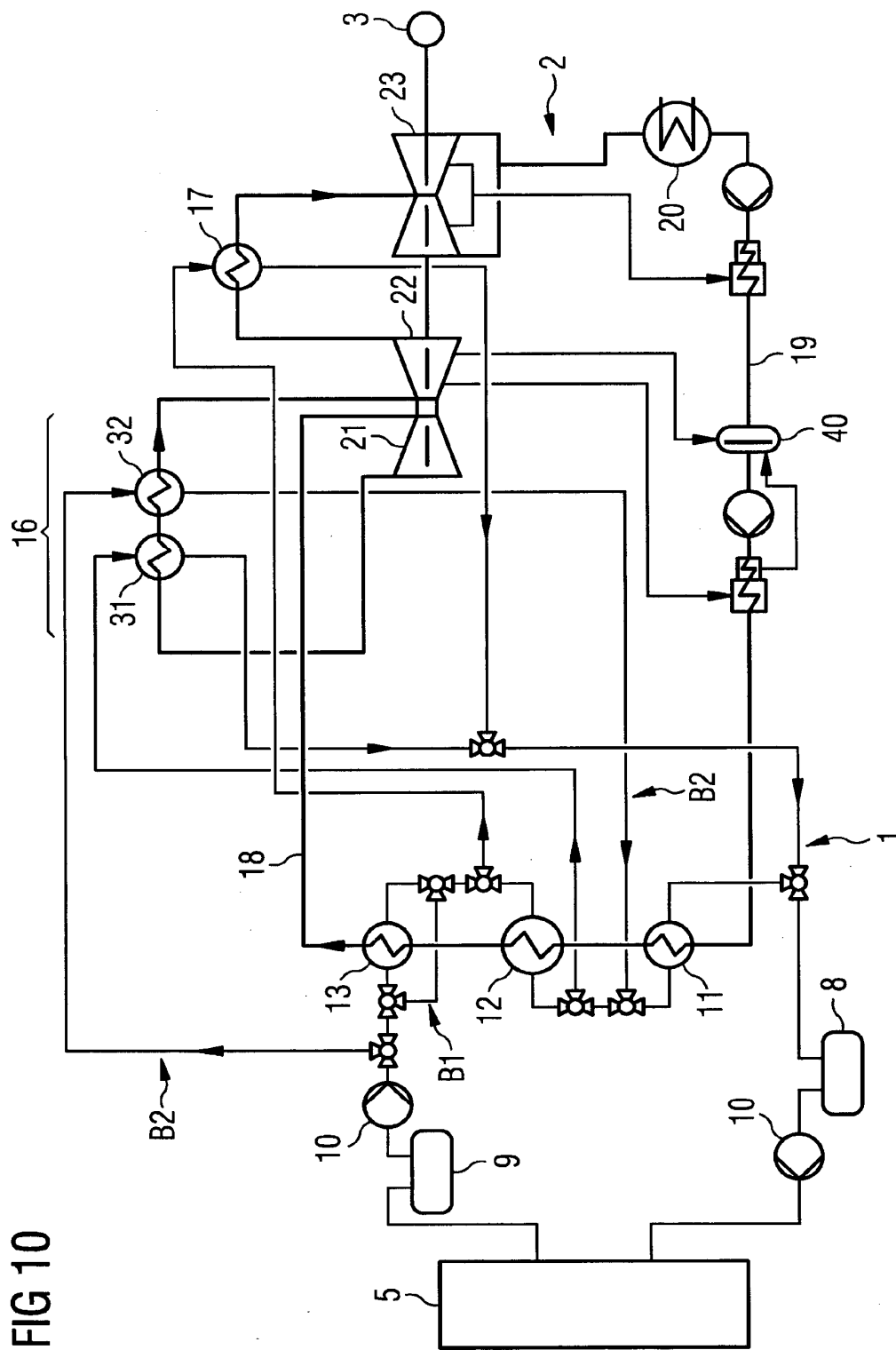
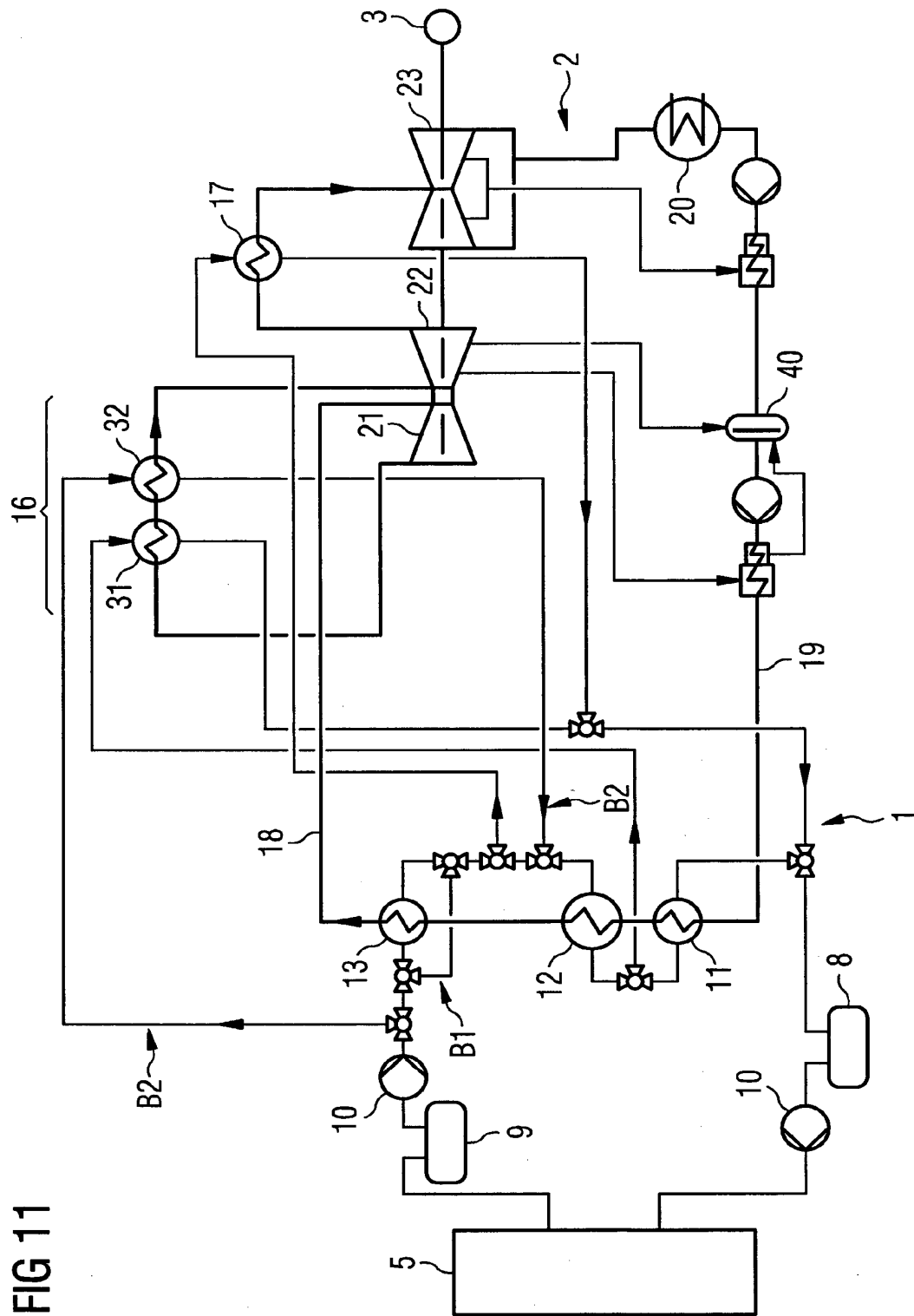


FIG 10

FIG 11



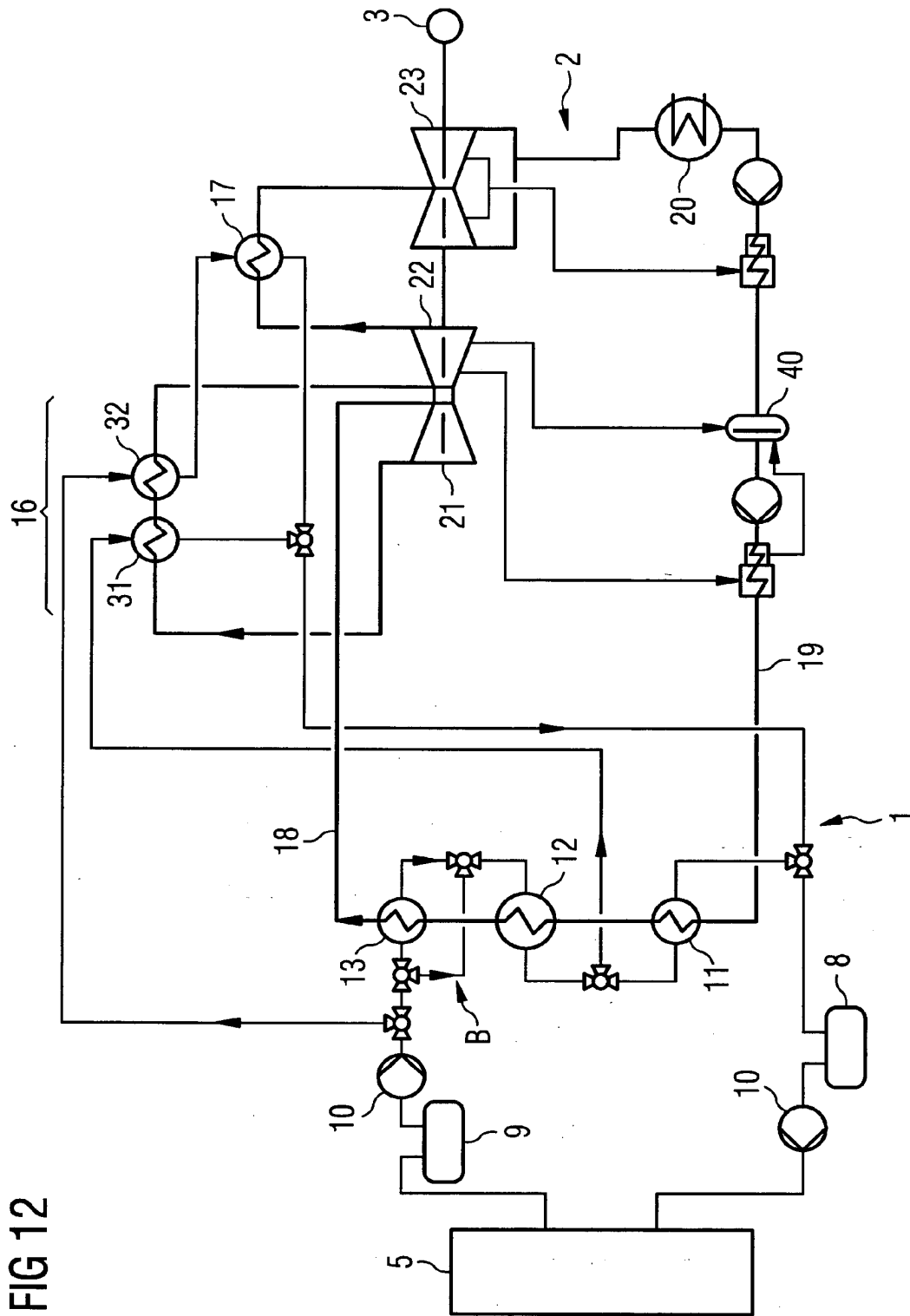


FIG 12

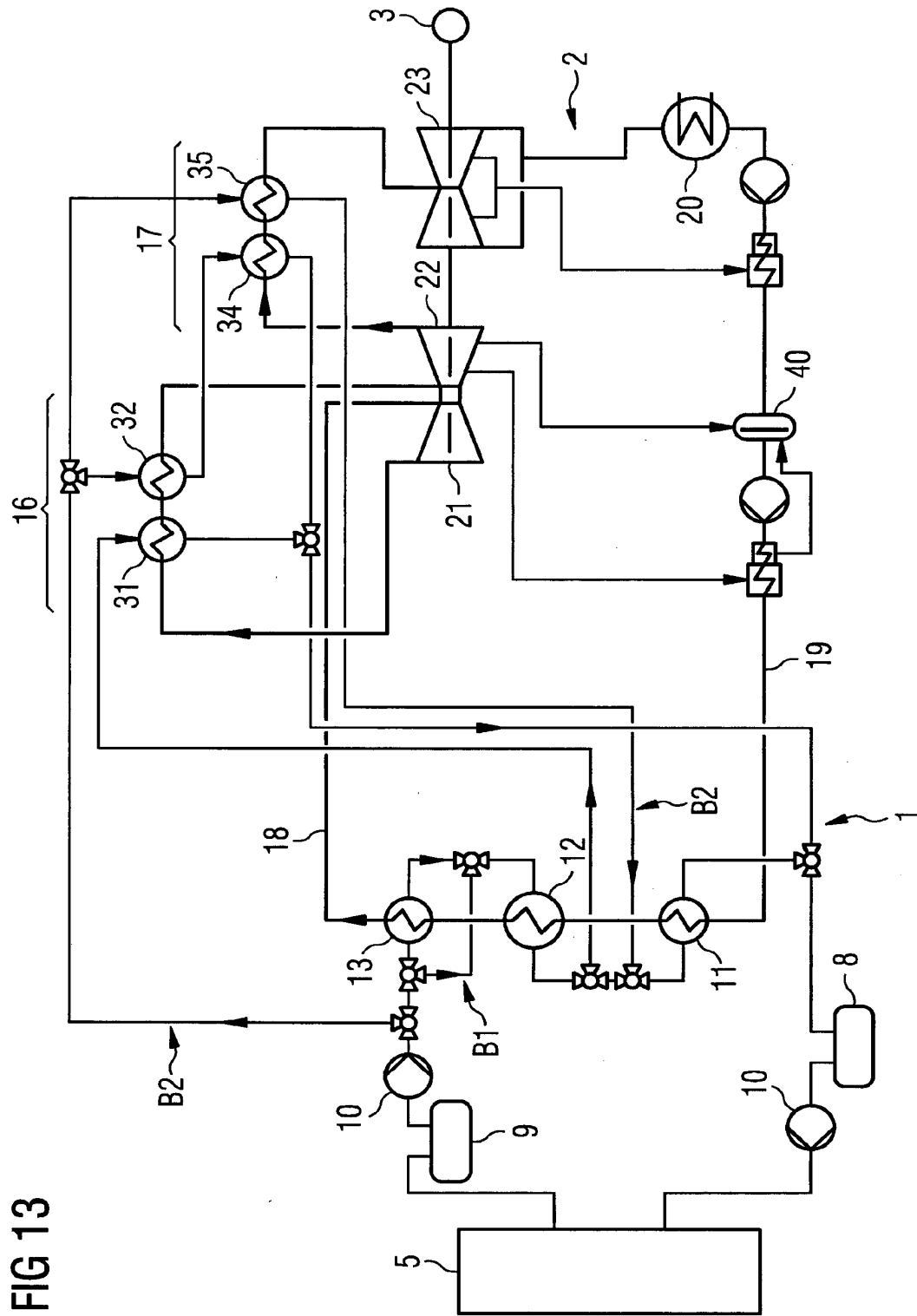


FIG 13

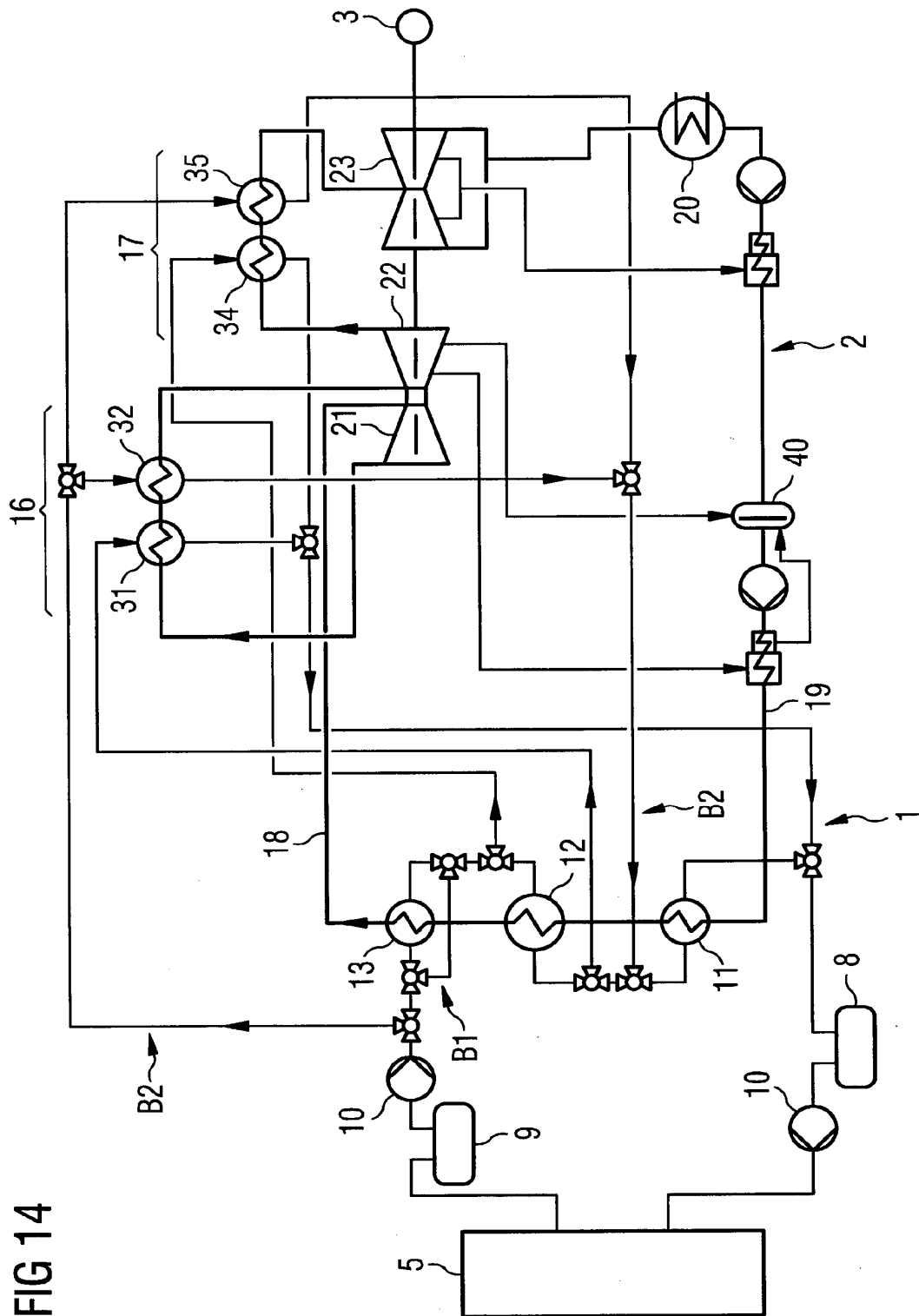


FIG 14

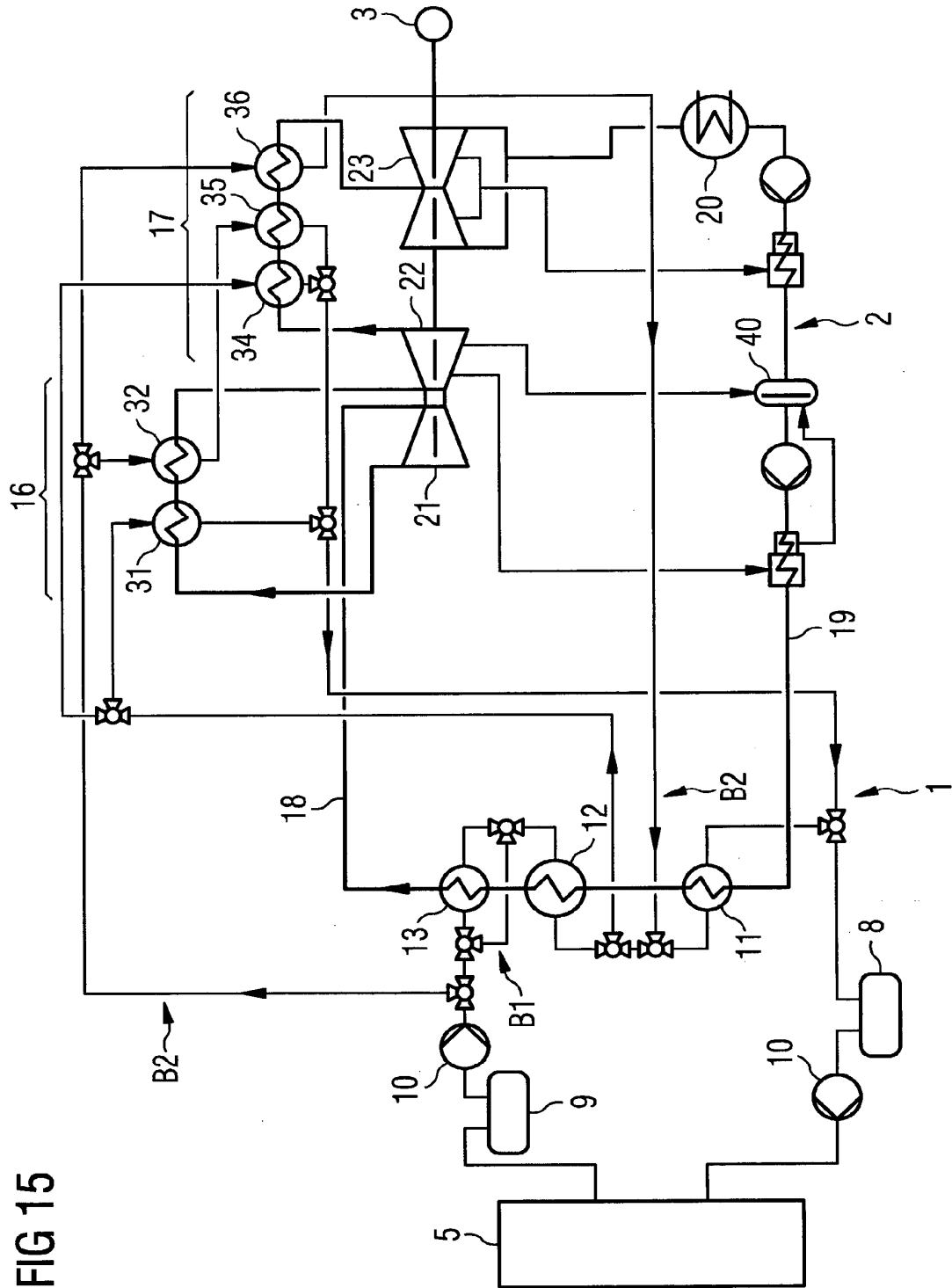


FIG 15