

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 955 854**

51 Int. Cl.:

**F01K 23/10** (2006.01)

**F01K 25/10** (2006.01)

**F04B 13/00** (2006.01)

**F04B 15/08** (2006.01)

**F04B 53/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.06.2016 PCT/EP2016/064554**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2016 WO16207289**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.06.2016 E 16731602 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2023 EP 3314096**

54 Título: **Sistema de energía y método para producir energía útil a partir de calor proporcionado por una fuente de calor**

30 Prioridad:

**25.06.2015 IT UB20151681**

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

**07.12.2023**

73 Titular/es:

**NUOVO PIGNONE TECNOLOGIE SRL (100.0%)  
Via Felice Matteucci 2  
50127 Florence, IT**

72 Inventor/es:

**AUCIELLO, JURY;  
DEL TURCO, PAOLO y  
AMIDEI, SIMONE**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 955 854 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Sistema de energía y método para producir energía útil a partir de calor proporcionado por una fuente de calor

### 5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un sistema de alimentación y a un método para generar energía útil a partir del calor proporcionado por una fuente de calor. Algunas realizaciones descritas en la presente memoria se refieren a sistemas de alimentación que usan un ciclo termodinámico a baja temperatura, tal como un ciclo Rankine de baja temperatura, para recuperar el calor residual de un ciclo termodinámico superior a alta temperatura.

### **Antecedentes**

El calor residual a menudo se produce como subproducto de procesos industriales, donde se debe retirar el calor de las corrientes de flujo de fluidos de alta temperatura.

El documento US 3 971 211 A describe un motor térmico que comprende las características de los preámbulos de las reivindicaciones independientes adjuntas. El documento US-2014/102098 A1 describe válvulas para un circuito de fluido de trabajo. El documento DE 10 2011 108970 A1 describe una central eléctrica de baja temperatura. El documento JP S58 143106 a describe una central eléctrica de turbina de vapor con una línea de derivación de alta presión hacia un expansor de turbina de accionamiento de bomba. El vapor de derivación y el vapor de baja presión son admitidos en el expansor de turbina de accionamiento de bomba mediante válvulas de control de entrada separadas.

Procesos industriales típicos que producen calor residual son turbinas de gas para accionamiento mecánico así como aplicaciones de generación de energía, motores de gas y cámaras de combustión. Estos procesos liberan típicamente gases de combustión de escape en la atmósfera a temperaturas considerablemente mayores que la temperatura ambiente. El gas de escape contiene calor residual que puede explotarse de forma útil, por ejemplo, para producir energía mecánica adicional en un ciclo termodinámico inferior a baja temperatura. El calor residual del gas de escape proporciona energía térmica al ciclo termodinámico inferior a baja temperatura, en donde un fluido realiza transformaciones termodinámicas cíclicas, intercambiando calor a una temperatura más baja con el medio ambiente.

El calor residual puede convertirse en energía útil mediante una variedad de sistemas de motor térmico que emplean ciclos termodinámicos, tales como ciclos de Rankine de vapor, ciclos de Rankine o Brayton orgánicos, ciclos de CO<sub>2</sub> u otros ciclos de energía. Rankine, Brayton y ciclos termodinámicos similares son típicamente procesos basados en vapor que se recupera y utilizan calor residual para generar vapor para accionar una turbina, un turboexpansor o similar. La presión y la energía térmica del vapor se convierten parcialmente en energía mecánica en el turboexpansor, la turbina u otra máquina de conversión de energía y finalmente se usan para accionar la carga, tal como un generador eléctrico, una bomba, un compresor u otro dispositivo o maquinaria accionado.

La conversión de calor residual en energía mecánica útil puede mejorar sustancialmente la eficiencia general del sistema de conversión de energía, contribuyendo a la reducción del consumo de combustible y reduciendo el impacto ambiental del proceso de conversión de energía.

Por lo tanto, son deseables métodos y sistemas de alta eficiencia para transformar la energía térmica en energía mecánica o eléctrica útil.

### **Resumen de la invención**

La invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

El sistema de alimentación según la presente invención se define en la reivindicación independiente adjunta 1. Las realizaciones de la invención proporcionan un sistema de alimentación, que comprende, entre otros, un circuito de fluido de trabajo que tiene un lado de alta presión y un lado de baja presión y configurado para hacer fluir un fluido de trabajo a través del mismo. El sistema de alimentación comprende además un calentador configurado para hacer circular el fluido de trabajo en relación de intercambio de calor con un fluido caliente para vaporizar el fluido de trabajo. El sistema de alimentación también comprende un primer expansor y un segundo expansor dispuestos en serie acoplados de manera fluida al circuito del fluido de trabajo y dispuestos entre el lado de alta presión y el lado de baja presión del mismo, configurados para expandir el fluido de trabajo que fluye a través del mismo y generar energía mecánica con el mismo. Un árbol de accionamiento está acoplado de manera accionada a uno del primer expansor y del segundo expansor, y configurado para accionar una carga, tal como una turbomáquina o un generador eléctrico, con energía mecánica producida por dicho expansor.

Una bomba está acoplada de manera fluida al circuito del fluido de trabajo entre el lado de baja presión y el lado de alta presión del mismo, configurada para elevar la presión del fluido de trabajo en el circuito del fluido de trabajo, y está acoplada de manera accionada al otro de dicho primer expansor y segundo expansor, es decir, aquel no

conectado de manera accionada a la carga, y es alimentado por lo tanto. Por lo tanto, los expansores primero y segundo dispuestos en serie se usan para accionar selectivamente una bomba o compresor, para aumentar la presión del fluido de trabajo y una carga. Parte de la energía desarrollada al expandir el fluido de trabajo en un expansor acciona la bomba, y parte de la energía, desarrollada expandiendo el fluido de trabajo en el otro expansor, produce energía útil.

El sistema de alimentación comprende además un refrigerador acoplado de manera fluida a y en comunicación térmica con el lado de baja presión del circuito del fluido de trabajo y dispuesto y configurado para retirar el calor del fluido de trabajo en el lado de baja presión del circuito del fluido de trabajo.

El sistema comprende además una válvula de regulación dispuesta en el circuito del fluido de trabajo, entre el primer expansor y el segundo expansor. La válvula de regulación está configurada para ajustar una contrapresión del primer expansor, es decir, para establecer el valor de una presión intermedia entre el primer expansor y el segundo expansor, para ajustar la caída de presión del fluido de trabajo a través de los expansores primero y segundo.

Una válvula de derivación está dispuesta en paralelo a uno del primer expansor y del segundo expansor. Según la invención, una válvula de derivación está dispuesta en paralelo al expansor que está conectado de manera accionada a la carga. Si no se dispone de calor residual suficiente, el expansor se puede eludir por lo tanto y la caída de presión disponible entre el lado de alta presión y el lado de baja presión del circuito se usa para accionar la bomba o el compresor.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, como se define en la reivindicación independiente adjunta 8, se describe en la presente descripción un método para producir energía útil a partir del calor proporcionado por una fuente de calor, en particular, por ejemplo, una fuente de calor residual, que comprende, entre otras, las siguientes etapas:

hacer circular un flujo de fluido de trabajo por medio de una bomba a través de un circuito de fluido de trabajo que tiene un lado de alta presión y un lado de baja presión, en donde el lado de alta presión está en relación de intercambio de calor con la fuente de calor y el lado de baja presión está en relación de intercambio de calor con un refrigerador;

transferir energía térmica desde la fuente de calor al fluido de trabajo;

expandir el flujo de fluido de trabajo a través de un primer expansor de una presión alta a una presión intermedia, convertir una primera caída de presión en energía mecánica, y expandir el flujo del fluido de trabajo a través de un segundo expansor de la presión intermedia a una presión baja, convertir una segunda caída de presión en energía mecánica; en donde el primer expansor y el segundo expansor están dispuestos en serie entre sí y acoplados de forma fluida al circuito del fluido de trabajo, entre el lado de alta presión y el lado de baja presión;

retirar el calor residual y de baja temperatura del flujo del fluido de trabajo a través del refrigerador;

accionar un dispositivo accionado con energía mecánica generada por uno del primer expansor y el segundo expansor acoplado a un árbol de accionamiento, y accionar la bomba con energía mecánica generada por el otro de dicho primer expansor y segundo expansor. El método de la invención también comprende las etapas del método adicionales comprendidas en la reivindicación independiente adjunta 8.

La presente invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

Como tal, los expertos en la técnica apreciarán que la concepción en la que se basa la descripción puede utilizarse fácilmente como base para diseñar otras estructuras, métodos y/o sistemas que se incluyen en la presente invención si comprenden al menos todas las características de al menos una de las reivindicaciones independientes adjuntas.

### Breve descripción de los dibujos

Una apreciación más completa de las realizaciones descritas de la invención y muchas de sus ventajas relacionadas se obtendrá fácilmente a medida que la misma se entienda mejor por referencia a la siguiente descripción detallada al considerarse en relación con los dibujos adjuntos, en donde:

La Figura 1 ilustra un esquema de una realización de un sistema de recuperación de calor residual de acuerdo con la presente invención;

La Figura 2 ilustra un esquema de otra realización de un sistema de recuperación de calor residual de acuerdo con la presente invención.

### Descripción detallada

La siguiente descripción detallada de las realizaciones ilustrativas se refiere a los dibujos adjuntos. Los mismos números de referencia en diferentes dibujos identifican elementos idénticos o similares. De manera adicional, los

dibujos no están necesariamente dibujados a escala. Además, la siguiente descripción detallada no limita la invención. En lugar de ello, el alcance de la invención queda definido por las reivindicaciones adjuntas.

5 En la memoria descriptiva, las referencias a "una realización" o "algunas realizaciones" significan que un elemento, estructura o característica particular descrito en relación con una realización está incluido en al menos una realización del objeto descrito. Por lo tanto, la utilización de la expresión "en una realización" o "en algunas realizaciones" en varias partes de la memoria descriptiva no se refiere necesariamente a la misma realización o realizaciones.

10 En la siguiente descripción de realizaciones ilustrativas se hace referencia a un ciclo termodinámico híbrido combinado, que incluye un ciclo termodinámico superior a alta temperatura, la fuente de baja temperatura donde proporciona calor residual a un ciclo termodinámico inferior a baja temperatura. Sin embargo, se entenderá que, de acuerdo con otras realizaciones, el sistema de conversión de energía descrito en la presente descripción puede usarse para explotar la energía de calor a temperaturas relativamente bajas de otras fuentes de calor, por ejemplo, calor residual de otros procesos industriales, tales como procesos geotérmicos.

15 El sistema de conversión está configurado de tal manera que la energía mecánica generada por dos expansores dispuestos en serie entre el lado de alta presión y el lado de baja presión de un circuito del fluido de trabajo generan energía mecánica para accionar directamente una bomba para aumentar la presión del fluido de trabajo desde la baja presión hasta la alta presión del ciclo termodinámico. Uno de los expansores genera energía mecánica para la bomba, mientras que el otro genera energía mecánica adicional para accionar una carga, tal como una máquina operativa, por ejemplo, un compresor de gas, o un generador eléctrico para convertir la energía mecánica en energía eléctrica. En condiciones de estado estacionario, el fluido de trabajo fluye a través del primer expansor y el segundo expansor dispuestos en serie. Se proporciona una válvula entre el primer expansor y el segundo expansor para controlar el equilibrio de energía entre el primer expansor y el segundo expansor, como se describirá con mayor detalle en la presente descripción después.

20 La Figura 1 ilustra esquemáticamente un sistema combinado de conversión de energía que incluye un sistema termodinámico superior a alta temperatura 1 y un sistema termodinámico inferior a baja temperatura 2. El sistema termodinámico superior a alta temperatura puede comprender un motor de turbina de gas 3 y un generador eléctrico 5 accionado por energía mecánica generada por el motor de turbina de gas 3 y disponible en el árbol de accionamiento de salida 3A de este último. El motor de turbina de gas 3 puede comprender una sección de compresor 3, una sección de cámara de combustión 6 y una sección de turbina 8.

25 El sistema termodinámico inferior a baja temperatura 2 comprende un circuito del fluido de trabajo con un lado de alta presión 2A y un lado de baja presión 2B. El lado de alta presión incluye un intercambiador de recuperación de calor residual 7, que está en relación de intercambio de calor con el flujo de gas de combustión de escape del motor de turbina de gas 1. El calor puede intercambiarse directamente en el intercambiador de calor de recuperación de calor residual 7, desde el gas de combustión de escape hasta el fluido de trabajo que circula en el circuito del sistema termodinámico inferior a baja temperatura 2. En otras realizaciones, se puede proporcionar un lazo de transferencia de calor intermedio, en donde un fluido de transferencia de calor, tal como aceite diatérmico o similar, circula para transferir calor desde un primer intercambiador de calor, en relación de intercambio de calor con el flujo de gas de combustión de escape, al intercambiador de recuperación de calor residual.

30 En algunas realizaciones, el fluido de trabajo que circula en el sistema inferior termodinámico a baja temperatura 2 puede ser dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El ciclo termodinámico realizado por el fluido de trabajo puede ser un ciclo supercrítico, es decir, el fluido de trabajo puede estar en un estado supercrítico en al menos una parte del sistema termodinámico.

35 Según la invención, entre el lado de alta presión 2A y el lado de baja presión 2B del circuito del sistema termodinámico a baja temperatura 2, se disponen un primer expansor 9 y un segundo expansor 11. Uno, el otro o ambos expansores 9, 11 pueden ser un expansor de una sola etapa o de múltiples etapas. Por ejemplo, los expansores 9, 11 pueden ser expansores de múltiples etapas con engranaje integral.

40 El primer expansor 9 y el segundo expansor 11 están dispuestos en serie, de modo que el fluido de trabajo fluye desde el intercambiador de recuperación de calor residual 7 a través del primer expansor 9 y se expande desde una primera presión hasta una presión intermedia, y al menos parte del fluido de trabajo a la presión intermedia desde el primer expansor 9 fluye a través del segundo expansor 11 y se expande en el mismo desde la presión intermedia hasta una segunda presión.

45 En la Figura 1, el primer expansor 9 está conectado a la salida del intercambiador de recuperación de calor residual 7 a través de una línea 13 y una primera válvula 15. Una línea 17 conecta el primer expansor 9 al segundo expansor 11 aguas abajo. Una válvula de ajuste de contrapresión 19 está situada en la línea 17, entre el primer expansor 9 y el segundo expansor 11. La válvula de ajuste de contrapresión 19 se puede usar para ajustar la presión intermedia entre el primer expansor 9 y el segundo expansor 11, para modificar la caída de presión a través de los dos expansores 9 y 11.

Una línea de derivación 21 está dispuesta en paralelo al segundo expansor 11. Una válvula de derivación 23 está dispuesta a lo largo de la línea de derivación 21. Como se describirá con más detalle en la presente descripción más abajo, parte o todo el flujo del fluido de trabajo del primer expansor puede desviarse a lo largo de la línea de derivación 21, en lugar de expandirse en el segundo expansor 11.

El segundo expansor 11 está en comunicación fluida con el lado caliente de un recuperador de calor 25, cuya salida está en comunicación fluida con un refrigerador o condensador 29. El refrigerador 29 está en relación de intercambio de calor con un fluido refrigerante, por ejemplo aire o agua, como se muestra esquemáticamente en 31, para retirar el calor del fluido de trabajo que fluye a través del refrigerador 29.

El fluido de trabajo que circula en el sistema termodinámico inferior a baja temperatura 2 se bombea desde el lado de baja presión 2B hasta el lado de alta presión 2A por medio de un dispositivo de refuerzo de presión 33. El dispositivo 33 es una bomba, por ejemplo, una turbo-bomba. La bomba 33 está conectada de manera accionada a un árbol de salida 9A del primer expansor 9, de modo que la energía mecánica generada por la expansión del fluido de trabajo en el primer expansor 9 se utiliza para girar la bomba 33.

En la realización ilustrativa ilustrada en los dibujos, el lado de baja presión 2B del sistema termodinámico a baja temperatura es la parte del circuito situada entre el lado de descarga del segundo expansor 11 y el lado de succión de la bomba o compresor 33. El lado de alta presión 2A del sistema termodinámico a baja temperatura 2 es la porción del circuito situada entre el lado de suministro de la bomba 33 y la entrada del primer expansor 9.

Según algunas realizaciones, una carga 35 puede conectarse de manera accionada a un árbol de accionamiento de salida 11A del segundo expansor 11 y accionado en rotación por la energía mecánica generada por la expansión del fluido de trabajo en el segundo expansor 11. En algunas realizaciones, la carga puede comprender un generador eléctrico 37. El generador eléctrico 37 puede conectarse eléctricamente a una máquina, dispositivo o aparato para ser alimentado eléctricamente, o a una red de distribución de energía eléctrica G, como se muestra esquemáticamente en la Figura 1. En algunas realizaciones, puede disponerse un controlador de frecuencia variable 39 entre el generador eléctrico 37 y la red de distribución de energía eléctrica G o una máquina alimentada por el generador eléctrico 37.

Puede disponerse una caja de engranajes 41, un acoplamiento mecánico de velocidad variable o cualquier otro dispositivo de manipulación de velocidad entre el árbol de accionamiento de salida 11A del segundo expansor 11 y el generador eléctrico 37.

El sistema de la Figura 1 funciona de la siguiente manera. El calor residual del sistema termodinámico superior, a alta temperatura 1 se transfiere, a través del intercambiador de recuperación de calor residual 7, al fluido de trabajo presurizado que fluye a través del mismo, por ejemplo, dióxido de carbono. El fluido de trabajo caliente y presurizado fluye a través de la línea 13 y la válvula 15 y se expande parcialmente en el primer expansor 9. La válvula 19 en la línea 17 se puede ajustar para establecer la contrapresión requerida en el exterior del primer expansor 9, es decir, la presión intermedia entre el primer expansor 9 y el segundo expansor 11. La caída de presión del fluido de trabajo a través del primer expansor 9 desde la primera presión en el lado de alta presión del sistema 2 hasta la presión intermedia genera energía mecánica que acciona la bomba 33.

El fluido de trabajo parcialmente expandido que sale del primer expansor 9 fluye a través del segundo expansor 11 y se expande desde la presión intermedia hasta la baja presión del lado de baja presión del sistema de alimentación 2. La caída de presión genera energía mecánica que se convierte en energía eléctrica por el generador 37.

El fluido de trabajo extraído del segundo expansor 11 fluye a través de la línea 24, el recuperador 25 y el refrigerador 29. En el recuperador 25 el fluido de trabajo extraído está en relación de intercambio térmico con el fluido presurizado y frío suministrado por la bomba 33, de manera que puede recuperarse calor residual contenido en el fluido de trabajo extraído. El fluido de trabajo expulsado que sale del recuperador 25 se enfría y/o condensa adicionalmente en el refrigerador 29 mediante intercambio de calor con el medio de enfriamiento 31 y se aspira a lo largo de la línea 30 por la bomba 33. El fluido de trabajo presurizado, frío suministrado por la bomba 33 fluye a través de la línea 34, el lado frío del recuperador 25 y vuelve a través de la línea 36 al intercambiador de recuperación de calor residual 7, donde el fluido de trabajo se calienta y vaporiza por el calor residual recuperado.

Al menos parte del fluido de trabajo en el circuito termodinámico inferior de baja temperatura puede estar en condiciones supercríticas. En particular, CO<sub>2</sub> supercrítico puede estar presente en el lado de alta presión del circuito.

Bajo condiciones normales de estado estacionario, la válvula de derivación 23 puede cerrarse, de manera que todo el flujo del fluido de trabajo se expande secuencialmente a través del primer expansor 9 y el segundo expansor 11. Si es así necesario, en algunas condiciones de funcionamiento, parte o todo el flujo de fluido de trabajo puede desviarse a través de la línea de derivación 21 y la válvula de derivación 23. Este puede ser el caso, por ejemplo, cuando el sistema de alimentación 2 se inicia primero y no hay energía disponible para accionar la carga 35, de manera que toda la caída de presión se explota para iniciar el bombeo o la compresión del fluido de trabajo a través de la bomba o el compresor 33.

La válvula de ajuste de contrapresión 19 se puede usar para modificar la presión intermedia entre el primer expansor 9 y el segundo expansor 11, para modular la cantidad de energía mecánica disponible en el árbol de salida 9A del primer expansor 9 y en el árbol de accionamiento de salida 11A del segundo expansor 11.

- 5 Cuando se realiza un método de acuerdo con la presente invención como se define en la reivindicación independiente adjunta 8, se llevan a cabo todas las etapas del método definidas en la reivindicación independiente adjunta 8.

La Figura 2 ilustra una realización ilustrativa adicional de un sistema que no es según la presente invención,

- 10 Se utilizan los mismos números de referencia para indicar partes o componentes iguales o similares a lo mostrado en la Figura 1. El sistema combinado de conversión de energía de la Figura 2 incluye nuevamente un sistema termodinámico superior a alta temperatura 1 y un sistema termodinámico inferior a baja temperatura 2. El sistema termodinámico superior a alta temperatura puede comprender un motor de turbina de gas 3 y un generador eléctrico 5 accionado por energía mecánica generada por el motor de turbina de gas 3 y disponible en el árbol de accionamiento de salida 3A de este último.

- 15 El sistema termodinámico inferior a baja temperatura 2 comprende un circuito de fluido de trabajo con un lado de alta presión 2A y un lado de baja presión 2B, un intercambiador de recuperación de calor residual 7, un primer expansor 9 y un segundo expansor 11, dispuestos en serie, entre el lado de alta presión 2A y el lado de baja presión 2B.

- 20 En la Figura 2, el primer expansor 9 está conectado a la salida del intercambiador de recuperación de calor residual 7 a través de una línea 13 y una primera válvula 15. Una línea 17 conecta el primer expansor 9 al segundo expansor 11 aguas abajo. Una válvula de ajuste de contrapresión 19 está situada en la línea 17, entre el primer expansor 9 y el segundo expansor 11. Una línea de derivación 21 está dispuesta en paralelo al primer expansor 9. Una válvula de derivación 23 está dispuesta a lo largo de la línea de derivación 21.

- 25 El segundo expansor 11 está en comunicación fluida con el lado caliente de un recuperador de calor 25, cuya salida está en comunicación fluida con un refrigerador o condensador 29. El refrigerador 29 está en relación de intercambio de calor con un fluido refrigerante, por ejemplo aire o agua, como se muestra esquemáticamente en 31, para retirar el calor del fluido de trabajo que fluye a través del refrigerador 29.

- 30 El fluido de trabajo que circula en la parte inferior del circuito, el sistema termodinámico a baja temperatura 2, por ejemplo, dióxido de carbono, se bombea o comprime desde el lado de baja presión 2B hasta el lado de alta presión 2A por medio de una bomba 33. En la realización de la Figura 2, de forma diferente a la realización de la Figura 1, la bomba 33 está conectada de manera accionada a un árbol de salida 11A del segundo expansor 11, de manera que la energía mecánica generada por la expansión del fluido de trabajo en el segundo expansor 11 se utiliza para girar la bomba 33.

- 35 Una carga 35 puede conectarse de manera accionada a un árbol de accionamiento de salida 9A del primer expansor 9 y rotar mediante energía mecánica generada por la expansión del fluido de trabajo en el primer expansor 9. En la realización mostrada en la Figura 2, la carga 35 comprende un generador eléctrico 37 conectado a través de un controlador de frecuencia variable 39 a una red de distribución de energía eléctrica G. Se puede disponer una caja de engranajes 41 entre el árbol de accionamiento de salida 9A del primer expansor 9 y el generador eléctrico 37.

- 40 El sistema de la Figura 2 funciona como sigue. El calor residual del sistema superior termodinámico a alta temperatura 1 se transfiere, a través del intercambiador de recuperación de calor residual 7, al fluido de trabajo presurizado que fluye a través del mismo, por ejemplo, dióxido de carbono en estado supercrítico. El fluido de trabajo caliente y presurizado fluye a través de la línea 13 y la válvula 15 y se expande parcialmente en el primer expansor 9. La válvula 19 en la línea 17 se puede ajustar para establecer la contrapresión requerida en la salida del primer expansor 9, es decir, la presión intermedia entre el primer expansor 9 y el segundo expansor 11. La caída de presión del fluido de trabajo a través del primer expansor 9 desde la primera presión hasta la presión intermedia genera energía mecánica que se convierte en energía eléctrica mediante el generador eléctrico 37.

- 45 El fluido de trabajo parcialmente expandido que sale del primer expansor 9 fluye a través del segundo expansor 11 y se expande desde la presión intermedia hasta la baja presión del lado de baja presión del sistema de alimentación 2. La caída de presión genera energía mecánica que acciona la bomba 33.

- 50 El fluido de trabajo extraído del segundo expansor 11 fluye a través de la línea 24, el recuperador 25 y el refrigerador 29. En el recuperador 25 el fluido de trabajo extraído está en relación de intercambio térmico con el fluido presurizado y frío suministrado por el dispositivo de bomba 33, de manera que se puede recuperar el calor residual contenido en el fluido de trabajo de baja presión descargado. El fluido de trabajo expulsado que sale del recuperador 25 se enfría y/o condensa adicionalmente en el refrigerador 29 mediante intercambio de calor con un medio de enfriamiento 31 y se aspira a lo largo de la línea 30 por la bomba 33. El fluido de trabajo presurizado, frío suministrado por la bomba 33 fluye a través de la línea 34 y el lado frío del recuperador 25 y vuelve a través de la línea 36 al intercambiador de recuperación de calor residual 7, donde se calienta y vaporiza por el calor residual recuperado.

- 55

5      Bajo condiciones normales de estado estacionario, la válvula de derivación 23 puede cerrarse, de manera que todo el flujo del fluido de trabajo se expande secuencialmente a través del primer expansor 9 y el segundo expansor 11. Si es así necesario, parte del flujo del fluido de trabajo puede desviarse a través de la línea de derivación 21 y la válvula de derivación 23. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando el sistema de alimentación 2 se inicia primero y no hay energía disponible para accionar la carga 35, de manera que toda la caída de presión se explota para iniciar el bombeo o comprimir el fluido de trabajo a través de la bomba 33.

10     La válvula de ajuste de contrapresión 19 se puede usar para ajustar la presión intermedia entre el primer expansor 9 y el segundo expansor 11, para modular la cantidad de energía mecánica disponible en el árbol de accionamiento de salida 9A del primer expansor 9 y en el árbol de accionamiento de salida 11A del segundo expansor 11.

    Cuando se realiza un método de acuerdo con la presente invención como se define en la reivindicación independiente adjunta 8, se llevan a cabo todas las etapas del método definidas en la reivindicación independiente adjunta 8.

15     Por lo tanto, se obtiene un sistema de conversión de energía particularmente simple y eficiente, que genera eficientemente energía mecánica útil del calor residual, por ejemplo. El accionamiento directo de la bomba o el compresor por medio de uno de los expansores reduce las etapas de conversión de energía y el número de máquinas eléctricas en el sistema, mejorando la eficiencia general y reduciendo los costes.

20     Aunque las realizaciones reveladas de la materia objeto descritas en este documento se han mostrado en los dibujos y se han descrito en su totalidad anteriormente con particularidad y detalle en relación con diversas realizaciones ejemplares, para los expertos en la materia será evidente que son posibles numerosas modificaciones, cambios y omisiones sin apartarse del alcance de la invención definida en las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de alimentación que comprende:
- 5 un circuito de fluido de trabajo (2) que tiene un lado de alta presión (2A) y un lado de baja presión (2B) y configurado para hacer fluir un fluido de trabajo a través del mismo;  
 un calentador (7) configurado para hacer circular el fluido de trabajo en relación de intercambio de calor con un fluido caliente para vaporizar el fluido de trabajo;  
 primer expansor dispuesto en serie (9) y segundo expansor (11) acoplado de forma fluida al circuito  
 10 de fluido de trabajo y dispuesto entre el lado de alta presión y el lado de baja presión del mismo, configurado para expandir el fluido de trabajo que fluye a través del mismo y generar energía mecánica con el mismo;  
 un árbol de accionamiento (9A; 11A) acoplado de manera accionada a uno de dicho primer expansor (9) y el segundo expansor (11), y configurado para accionar un dispositivo con energía mecánica  
 15 producida por dicho expansor acoplado de manera accionada;  
 una bomba (33) acoplada de manera fluida al circuito de fluido de trabajo entre el lado de baja presión y el lado de alta presión del mismo, configurada para elevar la presión del fluido de trabajo en el circuito de fluido de trabajo, y acoplarse de manera accionada al otro de dicho primer expansor y segundo expansor y estar alimentada de esta forma;  
 20 un enfriador (29) dispuesto y configurado para retirar el calor del fluido de trabajo en el lado de baja presión del circuito de fluido de trabajo;  
**caracterizado porque** al menos uno de dicho primer expansor (9) y el segundo expansor (11) está provisto de una válvula de derivación (23), configurada y controlada para hacer que al menos parte del fluido de trabajo que circula en el sistema de fluido de trabajo pase por derivación dicho expansor,  
 25 en donde la válvula de derivación (23) se dispone en una línea de derivación (21) paralela a uno del primer expansor (9) y el segundo expansor (11), que está conectada de manera accionada al árbol de accionamiento y una válvula de regulación (19) está dispuesta en el circuito de fluido de trabajo (2), entre la salida del primer expansor (9) y el punto de conexión de la línea de derivación (21) entre el primer expansor (9) y el segundo expansor (11).
- 30 2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el dispositivo acoplado de manera accionada al árbol de accionamiento es un generador eléctrico (37), configurado para convertir la energía mecánica producida por el expansor, al que el árbol de accionamiento está conectado, en energía eléctrica.
- 35 3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, en donde la válvula de regulación (19) está configurada para controlar una contrapresión del primer expansor (9).
4. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el primer expansor (9) y el segundo expansor (11) están configurados y dispuestos de manera que un flujo másico de fluido de trabajo que fluye  
 40 a través del primer expansor también fluye a través del segundo expansor.
5. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el primer expansor (9) está dispuesto entre el intercambiador de calor y el segundo expansor (11), y el segundo expansor (11) está  
 45 dispuesto entre el primer expansor (9) y el enfriador (29); y en donde el árbol de accionamiento (11A) está acoplado de manera accionada al segundo expansor (11).
6. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el primer expansor (9) está dispuesto entre el intercambiador de calor y el segundo expansor (11), y el segundo expansor (11) está dispuesto entre  
 50 el primer expansor (9) y el enfriador (29); y en donde el árbol de accionamiento (9A) está acoplado de manera accionada al primer expansor (9).
7. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el fluido de trabajo comprende dióxido de carbono, y en donde al menos una parte del circuito de fluido de trabajo contiene dióxido de  
 55 carbono en un estado supercrítico.
8. Un método para producir energía útil a partir del calor proporcionado por una fuente de calor, que comprende las siguientes etapas:
- 60 hacer circular un flujo de fluido de trabajo por medio de una bomba (33) a través de un circuito de fluido de trabajo que tiene un lado de alta presión (2A) y un lado de baja presión (2B), en donde el lado de alta presión está en relación de intercambio de calor con la fuente de calor y el lado de baja presión está en relación de intercambio de calor con un enfriador (29);  
 transferir energía térmica desde la fuente de calor al fluido de trabajo;  
 expandir el flujo de fluido de trabajo a través de un primer expansor (9) de una presión alta a una  
 65 presión intermedia, convertir una primera caída de presión en energía mecánica, y expandir el flujo de fluido de trabajo a través de un segundo expansor (11) de la presión intermedia a una presión

- baja, convertir una segunda caída de presión en energía mecánica; en donde el primer expansor (9) y el segundo expansor (11) están dispuestos en serie entre sí y acoplados de forma fluida al circuito de fluido de trabajo, entre el lado de alta presión y el lado de baja presión;
- 5        accionar un dispositivo accionado con energía mecánica generada por uno del primer expansor (9) y el segundo expansor (11) acoplado a un eje de accionamiento (9A, 11A), y accionar la bomba (33) con energía mecánica generada por el otro de dicho primer expansor (9) y segundo expansor (11); retirar el calor residual y de baja temperatura del fluido de trabajo que fluye a través del enfriador (29);
- 10        **caracterizado por** hacer que al menos parte del fluido de trabajo que circula en el sistema de fluido de trabajo haga pasar al menos uno del primer expansor (9) y del segundo expansor (11) con una válvula de derivación (23) dispuesta en una línea de derivación (21) paralela a uno de dicho primer expansor (9) y el segundo expansor (11), que está conectado de manera accionada al árbol de accionamiento;
- 15        ajustar, a través de una válvula de regulación (19) dispuesta en el circuito de fluido de trabajo (2) entre la salida del primer expansor (9) y el punto de conexión de la línea de derivación (21) entre el primer expansor (9) y el segundo expansor (11), la presión intermedia para regular la caída de presión a través del primer expansor (9) y la caída de presión a través del segundo expansor (11).
- 20        9.        El método de la reivindicación 8, en donde el dispositivo accionado está conectado de manera accionada al primer expansor (9) y la bomba (33) está conectada de manera accionada al segundo expansor (11).
10.        El método de la reivindicación 8, en donde el dispositivo accionado está conectado al segundo expansor (11) y la bomba (33) está conectada de manera accionada al primer expansor (9).
- 25        11.        El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en donde el dispositivo accionado es un generador eléctrico, y que comprende además la etapa de convertir energía mecánica generada por el expansor conectado de manera accionada al generador eléctrico en energía eléctrica por medio de dicho generador eléctrico.

Fig.1

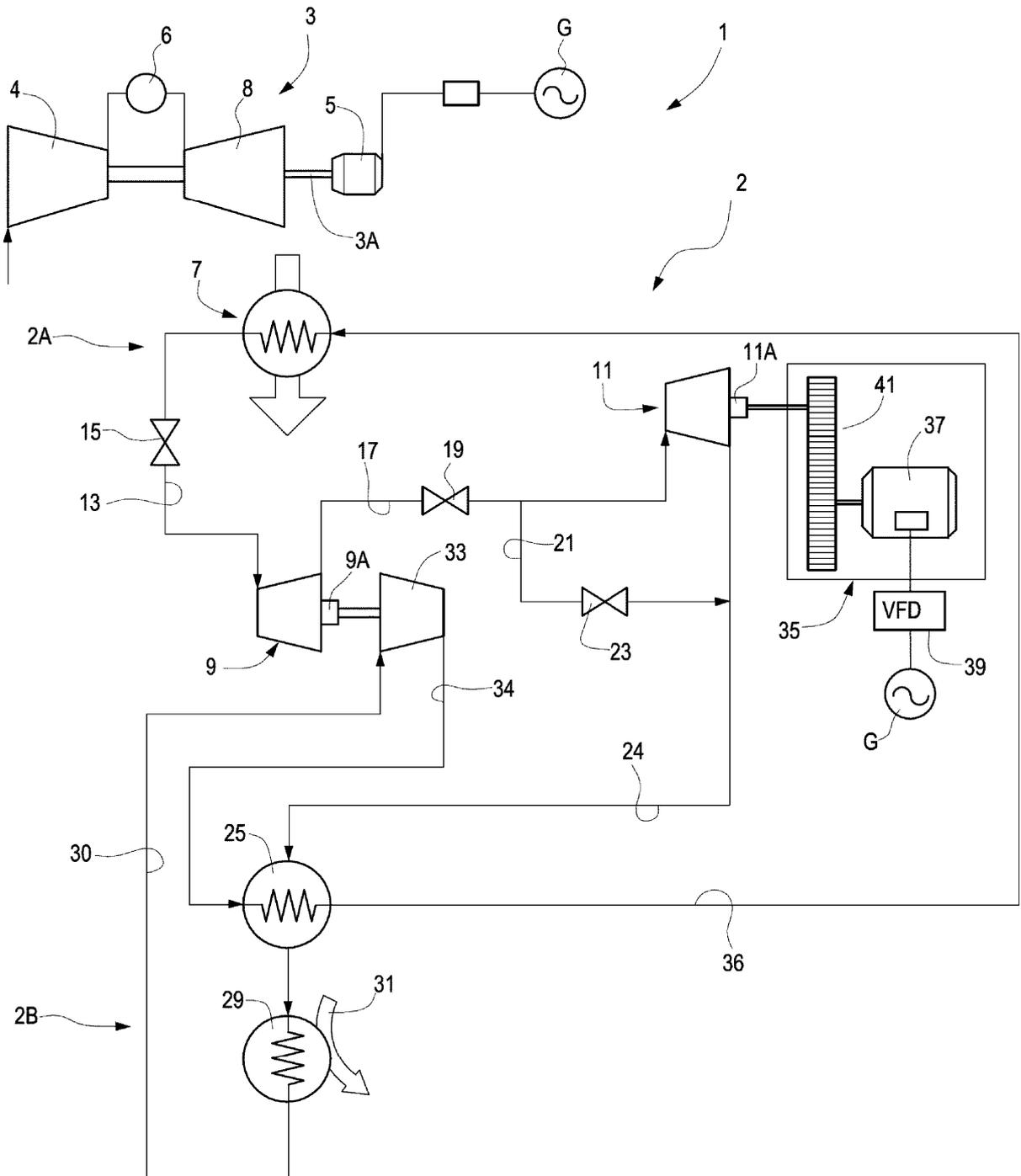


Fig.2

