

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 757 548**

51 Int. Cl.:

| | |
|-------------------|-----------|
| F01K 7/32 | (2006.01) |
| F02C 3/04 | (2006.01) |
| F01K 3/02 | (2006.01) |
| F01K 3/06 | (2006.01) |
| F01K 3/12 | (2006.01) |
| F01K 3/18 | (2006.01) |
| F01K 7/16 | (2006.01) |
| F01K 25/10 | (2006.01) |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.02.2016 PCT/US2016/019275**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **29.09.2016 WO16153692**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.02.2016 E 16769259 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2019 EP 3274566**

54 Título: **Sistema de generación de energía con dióxido de carbono supercrítico**

30 Prioridad:

25.03.2015 US 201562137848 P

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

29.04.2020

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.0%)
1000 Westinghouse Drive, Suite 141
Cranberry Township, PA 16066, US**

72 Inventor/es:

PETROSKY, LYMAN J.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 757 548 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 generación de energía con dióxido de carbono supercrítico.

Antecedentes

1. Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere, en general, a sistemas de generación de energía que emplean el ciclo de Brayton, y más particularmente, al uso de dióxido de carbono supercrítico (sCO₂) como un fluido de trabajo.

2. Técnica relacionada

10 La generación de energía mediante el uso del ciclo de Brayton con CO₂ supercrítico como el fluido de trabajo está siendo explorado actualmente. El dióxido de carbono supercrítico es un estado fluido de dióxido de carbono en el que se mantiene en o por encima de su temperatura y presión críticas. El dióxido de carbono generalmente se comporta como un gas en el aire a temperatura y presión estándar, o como un sólido llamado hielo seco cuando se congela. Si la temperatura y la presión aumentan desde la temperatura y la presión estándar para estar en o por encima del punto crítico para el dióxido de carbono, éste puede adoptar propiedades intermedias entre un gas y un líquido. Más específicamente, el dióxido de carbono supercrítico se comporta como un fluido supercrítico por encima de su temperatura crítica (304,25 °K) y presión crítica (72,9 atm), expandiéndose para llenar su contenedor como un gas, pero con una densidad como la de un líquido.

15 El ciclo de Brayton es un ciclo termodinámico que usa presión constante, adición y rechazo de calor. El combustible y el compresor se usan para calentar y aumentar la presión de un gas, es decir, el fluido de trabajo; el gas se expande y hace girar las aspas de una turbina que, cuando se conectan a un generador, generan electricidad. La generación de energía mediante el uso del ciclo de Brayton con CO₂ supercrítico requiere un recuperador para transferir calor de una corriente de baja presión a una corriente de alta presión. Típicamente, un recuperador es un intercambiador de calor de recuperación de energía de contraflujo de propósito especial ubicado dentro de las corrientes de aire de suministro o escape de un sistema de manejo de gas, o en los gases de escape de un proceso industrial, para recuperar el calor residual. La recuperación simple en forma de un intercambiador de calor de contraflujo no puede realizar esta función de manera eficiente en una aplicación de ciclo de Brayton mediante el uso de sCO₂, debido a las propiedades térmicas variables de sCO₂ en las dos corrientes, es decir, la corriente que regresa de la turbina al compresor y la corriente que regresa del compresor a la fuente de calor. La capacidad calorífica de las dos corrientes varía con la temperatura de manera que existe un desajuste que crea una gran diferencia de temperatura en el recuperador. Esto provoca una pérdida de eficiencia térmica.

20 Existen varios recursos para dividir el flujo de la corriente fría, mediante el uso de múltiples recuperadores y múltiples compresores, pero todos estos aumentan la complejidad del sistema y sufren alguna pérdida en la eficiencia térmica.

25 El documento US 2014/0 216 034 A1 divulga un sistema de generación de energía térmica que incluye una cámara de combustión que quema oxígeno y combustible con CO₂ supercrítico, una turbina impulsada por el CO₂ supercrítico y vapor de agua alimentado desde la cámara de combustión, un almacenamiento de CO₂ supercrítico de baja presión que almacena CO₂ supercrítico a baja presión de la turbina, un compresor que comprime el CO₂ supercrítico de baja presión, un almacenamiento de CO₂ supercrítico de alta presión que almacena CO₂ supercrítico de alta presión del compresor, y un alimentador de CO₂ supercrítico de alta presión que suministra entre el almacenamiento de CO₂ supercrítico de alta presión y la cámara de combustión, en el que el alimentador de CO₂ supercrítico de alta presión suministra el CO₂ supercrítico de alta presión a la cámara de combustión a una presión constante.

Breve descripción de los dibujos

30 Se puede obtener una mejor comprensión de la invención a partir de la siguiente descripción de las realizaciones preferentes cuando se leen junto con el dibujo adjunto en el que:

La Figura 1 es una vista esquemática de una realización de un ciclo de Brayton de generación de energía que emplea sCO₂ como el fluido de trabajo y una realización de la presente invención para el recuperador.

Descripción de la realización preferente

35 La presente invención de acuerdo con el sistema de la reivindicación 1 y el procedimiento de la reivindicación 8 proporciona un procedimiento alternativo de recuperación de calor y un aparato que usa bancos conmutados de tanques llenos de perlas para acumular y recuperar la energía térmica de las dos corrientes de fluido de trabajo de tal manera que las propiedades térmicas variables del sCO₂ pueden acomodarse sin pérdida significativa de eficiencia térmica. Una realización preferente se ilustra en la Figura 1, que muestra esquemáticamente el ciclo de Brayton 10 que emplea CO₂ supercrítico como un fluido de trabajo. Una fuente de calor 12, tal como un reactor nuclear, calienta un fluido de transferencia de calor, tal como sodio líquido, que es bombeado por la bomba 14 a través de un circuito cerrado 16 que se extiende a través de un intercambiador de calor convencional 18 que está en relación de intercambio de calor con un fluido de trabajo, es decir, sCO₂, que circula a través de un segundo circuito cerrado 20. El fluido de

trabajo caliente se encamina hacia una turbina 22 y hace girar la turbina para crear un trabajo útil. Luego, el fluido de trabajo se transporta desde la turbina 22 a través de uno o el otro de los tanques 24, 26 a una porción inferior del circuito cerrado 20 a través del disipador de calor 30 y el compresor 28. El disipador de calor disminuye la temperatura del fluido de trabajo antes de que el fluido de trabajo ingrese al compresor. El intercambiador de calor 30 proporciona el rechazo de calor del lado de baja temperatura del ciclo de Brayton cerrado a un disipador de calor, por ejemplo, la atmósfera. El fluido de trabajo sale del compresor 28 y se dirige a través del otro de los tanques 24, 26 de regreso al intercambiador de calor 18 para completar el circuito.

En la realización ilustrativa ilustrada en la Figura 1, el fluido de transferencia de calor que sale de la fuente de calor 12 en el circuito de transferencia de calor 16 está a una temperatura de aproximadamente (831 °K, 1.036 grados Fahrenheit) y a una presión de aproximadamente 1 MPa (145 psia) y es transportado a través del lado primario del intercambiador de calor 18. El fluido de transferencia de calor sale del lado primario del intercambiador de calor 18 a una temperatura de aproximadamente (773 °K, 932 grados Fahrenheit) y a una presión de 1 MPa (145 psia) y es devuelto a la fuente de calor 12 por la bomba de circulación 14. El fluido de trabajo sale del lado secundario del intercambiador de calor 18 a una temperatura de aproximadamente (823 °K, 1.022 grados Fahrenheit) y a una presión de aproximadamente 20 MPa (2.900 psia) y entra en la turbina 22 en la que la temperatura se reduce a aproximadamente (708 °K, 815 grados Fahrenheit) y la presión se reduce a aproximadamente 8 MPa (1.115 psia). Después de atravesar uno o el otro de los tanques 24, 26 a la entrada del disipador de calor, la temperatura del fluido de trabajo se reduce aún más a aproximadamente (373 °K, 212 grados Fahrenheit) y la presión se mantiene a 8 MPa (1.115 psia). Después de atravesar el disipador de calor 30, la temperatura se reduce aún más a aproximadamente (305 °K, 90 grados Fahrenheit) y la presión se mantiene a aproximadamente 8 MPa (1.115 psia). Después de atravesar el compresor 28 y el otro de los tanques 24, 26, el fluido de trabajo se devuelve al lado secundario del intercambiador de calor 18 a una temperatura de aproximadamente (672 °K, 750 grados Fahrenheit) y a una presión de aproximadamente 20 MPa (2.900 psia). Lo anterior suponía un flujo de masa del fluido de transferencia de calor a través del circuito de transferencia de calor 16 de aproximadamente 2.268 kg/s (5.000 lb/s) y un flujo de masa del fluido de trabajo aguas arriba de los tanques y entre el compresor y el intercambiador de calor 18 de aproximadamente 2.400 kg/s (5.290 lb/s) y entre los tanques y la entrada del compresor de aproximadamente 2.400 kg/s (5.290 lb/s). Estos valores son solo ilustrativos y pueden variar sin apartarse del alcance de las reivindicaciones expuestas a continuación.

La realización preferente emplea múltiples tanques y preferiblemente alargados, es decir, dos o más, rellenos con un medio de almacenamiento térmico 48, que puede tomar la forma de arena, perlas o cualquier otro medio poroso con una gran área superficial y capacidad calorífica, tal como un material cerámico. El material de relleno sólido 48 con una gran área superficial absorberá, retendrá y transmitirá calor desde y hacia el fluido de trabajo. Preferiblemente, cada tanque usa el mismo material de relleno. Los tanques están conectados junto con las válvulas 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44 y 46 de manera que cada tanque puede conectarse individualmente a la corriente que sale del compresor 28 para calentarse o la corriente que sale de la turbina para enfriarse. Una corriente a enfriarse puede dirigirse a uno de los tanques 24 o 26 que contiene material de relleno en su mayoría frío, mientras que, simultáneamente, la corriente a calentarse se dirigirá al otro de los tanques 24, 26 que contiene material en su mayoría material caliente. Las corrientes transferirán progresivamente energía térmica hacia o desde el material de relleno del tanque. Antes de que el material de relleno del tanque alcance el equilibrio térmico y justo antes de que la temperatura de escape del tanque comience a cambiar significativamente, la corriente de flujo original se corta y la corriente opuesta se dirige a ese tanque con la entrada en la dirección de flujo opuesta a la que había fluido previamente a través de ese tanque. Lo mismo se repite para el otro tanque. La energía térmica almacenada por la primera corriente luego se transfiere desde el material de relleno a la segunda corriente.

Periódicamente, a medida que el contenido de cada tanque alcanza su capacidad de almacenamiento térmico, el flujo cambia, alternando entre las dos corrientes de flujo según sea necesario para un rendimiento óptimo. Por supuesto, se pueden emplear más de dos tanques con aproximadamente la mitad de los tanques conectados a cada corriente en cualquier momento dado. Alternativamente, también se puede emplear un número impar de tanques con las corrientes rotadas entre los tanques. El intercambiador de calor 30 es un disipador de calor para extraer calor del fluido de trabajo antes de entrar al compresor 28. En otra realización que usa una fuente de calor no nuclear, el circuito de fluido de transferencia térmica 16 puede eliminarse por completo y la fuente de calor, por ejemplo, una llama de gas natural, puede encaminarse directamente a través del intercambiador de calor 18 para proporcionar energía térmica al ciclo de Brayton con CO₂.

En consecuencia, la presente invención usa un medio de almacenamiento de calor intermedio para aliviar los problemas asociados con el punto de mínima diferencia de temperaturas del intercambiador de calor, es decir, el punto en el que la diferencia de temperatura es mínima. La invención usa direcciones de flujo de corriente alterna para mantener un gradiente térmico empinado en el medio de almacenamiento térmico y usa bancos de tanques conmutados para proporcionar una operación pseudo-continua. La construcción del intercambiador de calor empleada es muy económica, compacta y resistente a la obstrucción, en comparación con las soluciones convencionales. El CO₂ supercrítico es un ciclo de energía muy prometedor, pero las propiedades térmicas del fluido de trabajo, es decir, la capacidad calorífica y la transferencia de calor, en el lado de baja temperatura del ciclo de Brayton, han impedido la adopción de este diseño. La presente invención ofrece una solución simple y económica a estos problemas.

Si bien las realizaciones específicas de la invención se han descrito en detalle, los expertos en la técnica apreciarán que podrían desarrollarse diversas modificaciones y alternativas a esos detalles a la luz de las enseñanzas generales de la divulgación.

5 En consecuencia, las realizaciones particulares divulgadas están destinadas a ser solo ilustrativas y no limitativas en cuanto al alcance de la invención que se proporciona por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema del ciclo de Brayton de generación de energía con dióxido de carbono supercrítico (10) que comprende:
 una fuente de calor (18) para calentar un fluido de trabajo;
 una turbina (22) en comunicación de fluido con el fluido de trabajo que sale de la fuente de calor (18) y que tiene una entrada para el fluido de trabajo que sale de la fuente de calor y una salida para el fluido de trabajo que sale de la turbina;
 un compresor (28) en comunicación de fluido con la salida de la turbina (22) que tiene una entrada para el fluido de trabajo que sale de la turbina y una salida en comunicación de fluido con la fuente de calor (18) para comunicar el fluido de trabajo de regreso a la fuente de calor; y
- 5
- 10 **caracterizado por**
- un recuperador versátil para evitar puntos de de mínima diferencia de temperaturas que comprende una pluralidad de tanques (24, 26) cada uno que aloja perlas de un material de relleno sólido (48, 50), con las perlas construidas de un material de alta superficie que absorberá, retendrá y transmitirá calor, con los tanques conectados en paralelo entre el compresor (28) y la turbina (22) con una disposición de válvulas que conecta una entrada en al menos algunos de los tanques a la salida de la turbina y una salida en algunos de los tanques a la entrada del compresor y conecta una salida en alguno de los otros tanques a una entrada de la fuente de calor y una entrada en otro de los tanques a la salida del compresor de forma que un flujo a través de algunos de los tanques estén en relación de contraflujo con el flujo a través de algún otro de los tanques con el sistema de válvulas operable para revertir alternativamente ese flujo mientras se mantiene una relación de contraflujo entre algunos de los tanques y algunos de los otros tanques.
- 15
- 20
2. El sistema del ciclo de Brayton de generación de energía con dióxido de carbono supercrítico (10) de la Reivindicación 1, en el que el material de relleno sólido comprende arena (48).
3. El sistema del ciclo de Brayton de generación de energía con dióxido de carbono supercrítico (10) de la Reivindicación 1, en el que el material de relleno sólido comprende una cerámica (50).
- 25
4. El sistema del ciclo de Brayton de generación de energía con dióxido de carbono supercrítico (10) de la Reivindicación 1, en el que el compresor (28) comprime el fluido de trabajo a una presión igual o mayor que 7,39 MPa.
5. El sistema del ciclo de Brayton de generación de energía con dióxido de carbono supercrítico (10) de la Reivindicación 1, en el que la fuente de calor (18) calienta el fluido de trabajo a una temperatura igual o mayor que 304,25 K.
- 30
6. El sistema del ciclo Brayton de generación de energía con dióxido de carbono supercrítico (10) de la Reivindicación 1 que incluye un dissipador de calor (30) en comunicación de fluido con al menos algunos de los tanques (24) o algunos de los otros tanques (26) que sacan el fluido de trabajo hacia el compresor (28), en el que el fluido de trabajo pasa a través del dissipador de calor antes de entrar al compresor.
- 35
7. El sistema del ciclo Brayton de generación de energía con dióxido de carbono supercrítico (10) de la Reivindicación 6, en el que el dissipador de calor (30) reduce la temperatura del fluido de trabajo que entra al compresor entre 38 y 60 °C .
8. Un procedimiento para emplear dióxido de carbono supercrítico como un fluido de trabajo en un sistema del ciclo Brayton de generación de energía (10) que comprende: calentar un fluido de trabajo mediante una fuente de calor (18);
- 40
- hacer pasar el fluido de trabajo a través de la entrada de una turbina (22) en comunicación de fluido con el fluido de trabajo que sale de la fuente de calor (18) y que tiene una entrada para el fluido de trabajo que sale de la fuente de calor y una salida para el fluido de trabajo que sale de la turbina;
- expandir el fluido de trabajo en la turbina (22);
- 45
- comprimir el fluido de trabajo en un compresor (28) en comunicación de fluido con la salida de la turbina (22) que tiene una entrada para el fluido de trabajo que sale de la turbina y una salida en comunicación de fluido con la fuente de calor (18) para comunicar el fluido de trabajo de regreso a la fuente de calor; y
- 50
- caracterizado por** el uso de un recuperador versátil para evitar puntos de de mínima diferencia de temperaturas que comprende una pluralidad de tanques (24, 26) cada uno de los cuales aloja perlas de un material de relleno sólido, donde las perlas se construyen de un material de gran área superficial que absorberá, retendrá y transmitirá calor, los tanques se conectan en paralelo entre el compresor (28) y la turbina (22) con una disposición de válvulas que conecta una entrada en al menos algunos de los tanques a la salida de la turbina y una salida en algunos de los tanques a la entrada del compresor y conecta una salida en alguno de los otros tanques a una entrada de la

fuentes de calor y una entrada en el otro de los tanques a la salida del compresor de manera que el flujo a través de algunos de los tanques esté en relación de contraflujo con el flujo a través de algún otro de los tanques con el sistema de válvulas operable para revertir alternativamente ese flujo mientras se mantiene una relación de contraflujo entre algunos de los tanques y algunos de los otros tanques;

5 transportar el fluido de trabajo que sale de la salida de la turbina (22) hacia una entrada en algunos de los tanques (24, 26) del recuperador versátil para evitar puntos de mínima diferencia de temperaturas;

encaminar el fluido de trabajo que sale de una salida en algunos de los tanques (24, 26) del recuperador versátil para evitar puntos de mínima diferencia de temperaturas hacia la entrada del compresor (28);

10 dirigir el fluido de trabajo que sale de la salida del compresor (28) hacia una entrada en alguno de los otros tanques (26, 24) del recuperador versátil para evitar del punto de mínima diferencia de temperaturas;

y devolver el fluido de trabajo que sale de una salida en alguno de los otros tanques (26, 24) del recuperador versátil para evitar puntos de mínima diferencia de temperaturas a la fuente de calor (16).

15 9. El procedimiento de la Reivindicación 8 que incluye un disipador de calor (30) en comunicación de fluido con al menos algunos de los tanques (24, 26) o algunos de los otros tanques (26, 24) que sacan el fluido de trabajo hacia el compresor (28), que incluye además enfriar el fluido de trabajo en el disipador de calor (30) antes de que el fluido de trabajo entre en la entrada del compresor (28).

20 10. El procedimiento de la Reivindicación 8, que incluye la etapa de reconfigurar la disposición de válvulas (32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46) después de un período de tiempo preseleccionado, en el que la relación de contraflujo del flujo a través de algunos de los tanques (24, 26) y el flujo a través de alguno de los otros tanques (26, 24) se invierte después del tiempo periódico.

11. El procedimiento de la Reivindicación 10, en el que el período de tiempo preseleccionado es antes de que un material de relleno del tanque alcance el equilibrio térmico con el fluido de trabajo que lo atraviesa.

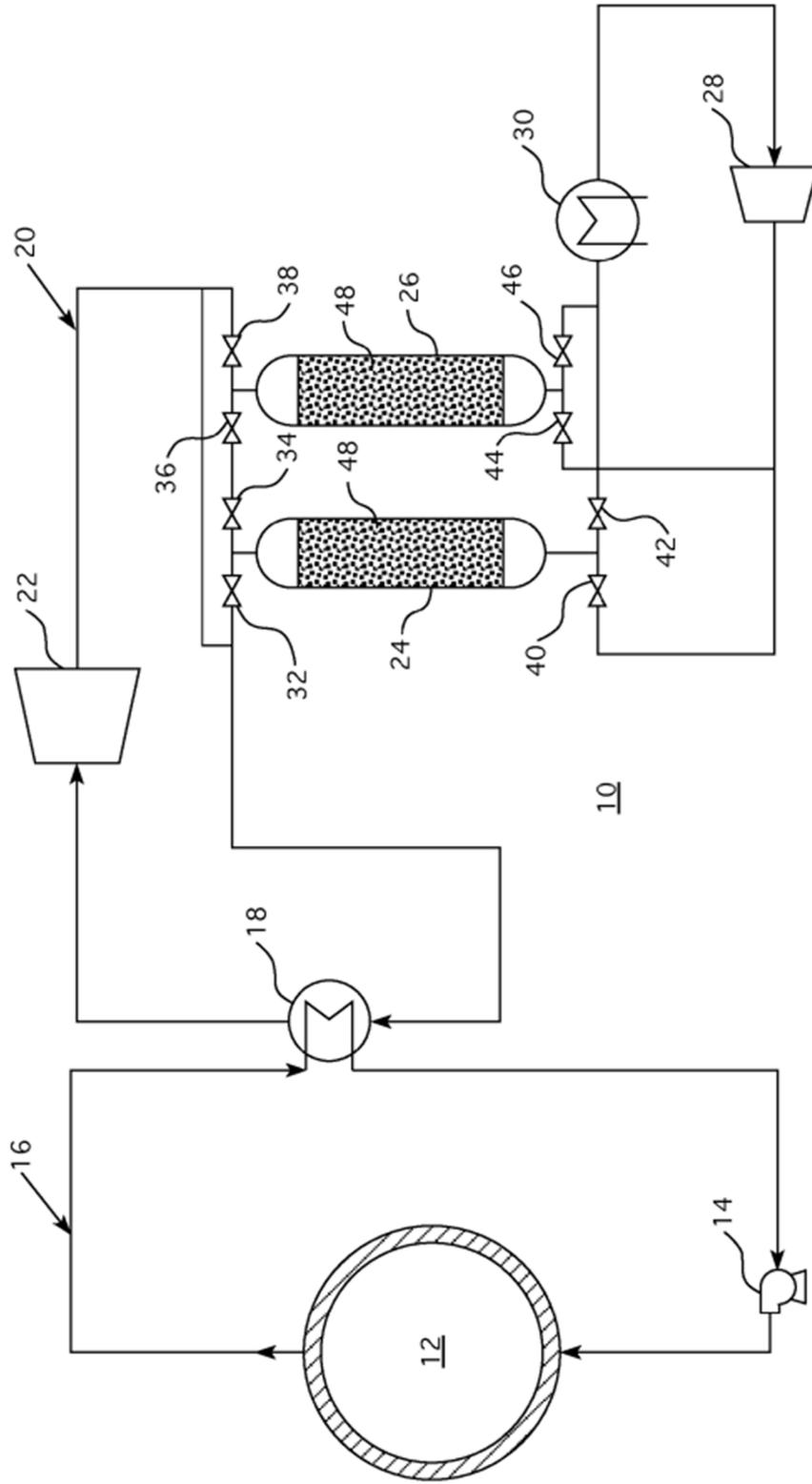


Figura 1