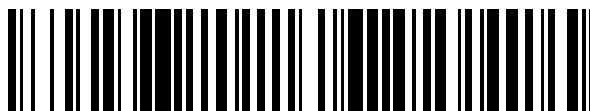


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 502 745**

51 Int. Cl.:

F24J 2/07 (2006.01)

F24J 2/30 (2006.01)

F24J 2/04 (2006.01)

F28D 20/00 (2006.01)

F24J 2/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.04.2012** **E 12164759 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.06.2014** **EP 2653801**

54 Título: **Sistema de energía solar y método de funcionamiento**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.10.2014

73 Titular/es:

ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH

72 Inventor/es:

SIMIANO, MARCO

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 502 745 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 solar y método de funcionamiento

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a sistemas de energía solar y a métodos de funcionamiento de los mismos. Más particularmente, la presente invención se refiere a sistemas de energía solar que utilizan un fluido de trabajo para transferir energía térmica desde un receptor solar hasta un intercambiador de calor.

Antecedentes técnicos

10 En un método conocido de generación de energía solar concentrada (CSP), ver, por ejemplo, el documento EP-A-1 982 954, la radiación desde el sol es enfocada, por medios tales como espejos parabólicos o heliostatos, sobre uno o más receptores de radiación solar, que pueden estar montados, por ejemplo, sobre la parte superior de una torre, una llamada disposición de "torre solar". El o cada receptor solar absorbe la radiación solar como energía térmica y se utiliza un fluido de trabajo con una alta capacidad de calor, tal como sal fundida, para transferir calor desde el receptor solar hasta un intercambiador de calor para generar otro fluido de trabajo adecuado para accionar un motor primario. Típicamente, el motor primario es una turbina de vapor que funciona en el Ciclo de Rankine, aunque se pueden utilizar fluidos de turbina distintos al calor. Normalmente, la turbina u otro motor primario accionan un generador eléctrico para alimentar potencia a una rejilla de servicio.

15 Para transferir calor desde el receptor solar hasta el intercambiador de calor, se pasa el fluido de trabajo a través de canales que están en comunicación térmica íntima con los elementos que absorben radiación del o de cada receptor, y el fluido es circulado entonces hasta el intercambiador de calor a través de conductos fuertemente aislados para evitar la pérdida excesiva de calor desde ellos.

20 La eficiencia de la conversión de la radiación solar en potencia útil tiene una mucha importancia. Se necesita alta eficiencia para permitir que la CSP pueda competir, en términos de coste por unidad de energía, con otras formas de generación de energía, tales como las estaciones de energía quemadas con combustible fósil. Un aspecto de los sistemas CSP mencionados anteriormente que tiene un efecto pronunciado sobre la eficiencia general del sistema es el de la temperatura y la presión a las que el fluido de la turbina es elevado en el intercambiador de calor antes de pasar a la turbina. Termodinámicamente, es deseable calentar el fluido a una temperatura y una presión lo más altas posible, para incrementar al máximo la diferencia de la temperatura y de la presión a través de la turbina. La temperatura y la presión alcanzables para el fluido de a turbina están limitadas, sin embargo, por las características el fluido de trabajo utilizado para transferir energía térmica desde el receptor solar hasta el intercambiador de calor.

25 Un ejemplo de fluido de trabajo típico para sistemas CSP es una sal fundida: una combinación de 60% de nitrato de sodio y 40% en nitrato de potasio. Esta combinación de nitrato de sodio y de potasio tiene una temperatura máxima de trabajo de aproximadamente 565°C, cuya temperatura no es suficiente para generar vapor super-crítico en el intercambiador de calor para uso como el fluido de la turbina. Los límites de la temperatura deseada de las mezclas de sal fundida son causados por cristalización a un umbral de temperatura más bajo y por descomposición de la al a una umbral de temperatura más alto. Aunque se conocen sales con temperaturas de descomposición que permiten que la temperatura en el intercambiador de calor se eleve más allá de 565°C, las sales que tienen temperaturas de descomposición más altas tienen también temperaturas de cristalización incrementadas. Un incremento en la temperatura de cristalización da como resultado un rango incrementado de temperatura, en el que el sistema CSP no funcionará debido a que el fluido de trabajo no fluirá alrededor del sistema y, por lo tanto, no será capaz de transferir energía desde el receptor solar hasta el intercambiador de calor.

30

35

40

Por lo tanto, existe una necesidad de un medio para transferir energía desde un receptor solar hasta un intercambiador de calor, sobre un rango más amplio de temperatura que el que se puede conseguir actualmente utilizando disposiciones conocidas de sistemas CSP.

Sumario de la invención

45 Un primer aspecto de la presente invención proporciona un sistema de energía solar que comprende un receptor solar para absorber radiación solar y una pluralidad de trayectorias de flujo de fluido separadas que pasan a través del receptor solar en paralelo entre sí, en el que cada trayectoria de flujo de fluido contiene un fluido de trabajo que puede fluir al menos a una temperatura mínima de funcionamiento a través de la trayectoria de flujo de fluido para absorber energía térmica desde el receptor solar hasta una temperatura máxima de funcionamiento, siendo diferentes las temperaturas máxima y mínima de funcionamiento para cada fluido de trabajo, siendo la disposición tal que la energía térmica absorbida en el receptor solar por un fluido de trabajo que tiene temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más baja es transferido a un fluido de trabajo que tiene temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más altas en una trayectoria de flujo de fluido adyacente, ocurriendo dicha transferencia de energía térmica antes de que el fluido de trabajo con las temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más altas absorba energía térmica desde el receptor solar.

50

55

Por ejemplo, en una forma de realización preferida, la primera y la segunda trayectorias de flujo de fluido pasan a través el receptor solar, un primer fluido de trabajo puede fluir a través de la primera trayectoria de flujo de fluido para absorber energía térmica desde el receptor solar hasta una primera temperatura máxima; y un segundo fluido de trabajo puede fluir a través de la segunda trayectoria de flujo de fluido para absorber energía térmica desde el receptor solar hasta una segunda temperatura máxima más alta que la primera temperatura máxima.

Como otro ejemplo, el sistema de energía solar puede comprender, además, al menos una tercera trayectoria de flujo de fluido que pasa a través del receptor solar y un tercer fluido de trabajo que puede pasar a través de la tercera trayectoria de flujo de fluido para absorber energía térmica desde el receptor hasta una tercera temperatura máxima más alta que la primera y la segunda temperaturas máximas.

Con preferencia, cada trayectoria de fluido incluye un depósito de almacenamiento delante del receptor solar y un depósito de almacenamiento detrás del receptor solar, de manera que cada fluido de trabajo es almacenado en un depósito antes y después del calentamiento en el receptor solar.

En general, diferentes fluidos de trabajo pueden ocupar primero y segundo compartimientos de al menos uno de los depósitos de almacenamiento, estando localizado el primer compartimiento en una trayectoria de flujo de fluido para almacenar fluido de trabajo con temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más bajas después de que ha sido tratado en el receptor solar y estando localizado el segundo compartimiento en una trayectoria de fluido para almacenar fluido de trabajo con temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más altas después de que ha sido calentado en el receptor solar, estando dispuestos el primero y el segundo compartimientos del depósito de almacenamiento de tal manera que durante el funcionamiento del sistema el fluido de trabajo con la temperatura de funcionamiento mínima más alta se mantiene en una condición fluida por energía térmica desde el fluido de trabajo con la temperatura de funcionamiento mínima más baja.

Con el fin de extraer energía útil desde el sistema, cada trayectoria de flujo de fluido puede incluir un intercambiador de calor a través del cual el fluido de trabajo calentado en el funcionamiento en esa trayectoria de flujo pasa a impartir energía térmica a un fluido de la turbina, estando dispuestos los intercambiadores de calor en serie con respecto al flujo del fluido de la turbina, de tal manera que un intercambiador de calor posterior en la serie imparte más energía térmica al fluido de la turbina después de que ha pasado a través de un intercambiador de calor precedente. Con vapor de agua como el fluido de la turbina, esto permite al vapor alcanzar un estado supercrítico para eficiencia incrementada de la generación de energía. Tal generación de energía se puede conseguir pasando el fluido caliente a través de una turbina que funciona en el ciclo Rankine, estando dispuesta la turbina para accionar un generador eléctrico.

Con el fin de controlar la temperatura máxima que cada fluido de trabajo alcanza a través de absorción de energía térmica desde el receptor solar, el sistema puede incluir bombas que funcionan para bombear el fluido de trabajo alrededor de las trayectorias de fluido de trabajo a diferentes caudales de flujo.

Un segundo aspecto de la presente descripción proporciona un método de funcionamiento de un sistema de energía solar, en el que energía térmica es transferida desde un receptor solar hasta una pluralidad de fluidos de trabajo diferentes, de manera que los fluidos de trabajo pueden fluir a través de una pluralidad correspondiente de trayectorias de flujo de fluido y que tienen diferentes temperaturas de funcionamiento mínima y máxima entre sí, comprendiendo el método las etapas de:

- a) hacer fluir los fluidos de trabajo al menos a sus temperaturas mínimas de funcionamiento a través de sus trayectorias de flujo de fluido respectivas para absorber energía térmica desde el receptor solar hasta sus temperaturas máximas de funcionamiento; y
- b) transferir energía térmica absorbida en el receptor solar por un fluido de trabajo que tiene temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más bajas hasta un fluido de trabajo que tiene temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más altas en una trayectoria de flujo de fluido adyacente, ocurriendo dicha transferencia de energía térmica antes de que el fluido de trabajo con las temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más altas absorba energía térmica desde el receptor solar.

Otros aspectos de la presente invención serán evidentes a partir de una revisión de la siguiente descripción y de las reivindicaciones anexas.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán formas de realización ejemplares con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

La figura 1 es una vista esquemática de un sistema de generación de energía solar de acuerdo con un aspecto del

presente concepto; y

La figura 2 es un grafo que representa la entalpía con respecto a la temperatura del vapor desde 200°C hasta 700°C, para un rango de presiones.

Descripción detallada de formas de realización ejemplares

5 Aquí se presentan descripciones detalladas de formas de realización específicas de un sistema de generación de energía solar. Se comprenderá que las formas de realización en esta invención son meramente ejemplos de la manera en que se puede implementar el presente concepto y no representan un recuento exhaustivo de todos los modos en que se puede incorporar el concepto. En efecto, se comprenderá que el sistema de generación de energía solar descrito aquí se puede incorporar en varias formas alternativas. Las figuras no están a escala y los componentes, materiales o métodos bien conocidos no se describen exhaustivamente con el fin de evitar oscurecer el presente concepto con detalle innecesario. Los detalles estructurales y funcionales específicos descritos aquí no deben interpretarse como limitativos, sino meramente como una base para las reivindicaciones y como una base representativa para enseñar a un técnico en la materia a emplear de forma variable la invención.

10 La presente invención se refiere al uso de dos o más fluidos de trabajo diferentes en un sistema de generación CSP para permitir un rango de temperaturas de trabajo mayor que el que puede proporcionar cada fluido de trabajo individualmente. El sistema descrito proporciona la generación de una temperatura suficiente en el intercambiador de calor para crear vapor supercrítico para uso en una turbina de vapor, permitiendo de esta manera eficiencia incrementada de generación de potencia.

15 Para explicación adicional, el técnico en la materia, comprenderá que a media que se incrementa la presión, se incrementa la temperatura de ebullición del agua y se reduce su calor latente de evaporación. Si la presión y la temperatura se incrementan suficientemente, el calor latente de la vaporización llega a ser cero, es decir, que el agua pasa directamente a vapor sin ebullición, que es la presión y la temperatura críticas. Esto ocurre a 374°C y 220,6 bares. Tradicionalmente, las plantas de energía de vapor funcionan a presiones del vapor en el orden de 170 bares, cuando el vapor está en un estado subcrítico. Si embargo, se pueden conseguir eficiencias térmicas mayores, si las plantas de energía funcionan a presiones más altas que la presión crítica. Tales plantas se conocen como plantas de energía supercrítica.

20 En el sistema CSP de la figura 1, principalmente, aunque no sólo para uso en una planta de energía supercrítica, los espejos 2 configurados de forma adecuada están dimensionados y dispuestos para enfocar radiación solar sobre un receptor solar 1 montado en la parte superior de una torre solar 3. El receptor solar 1 comprende elementos de captura de radiación solar que absorben radiación solar incidente. El fluido de trabajo de CSP fluye a través de pasos en el receptor solar, absorbiendo de esta manera energía térmica desde los elementos de captura de radiación solar y transportándola a otros componentes del sistema.

25 En la figura 1 existen tres trayectorias de flujo de fluido o bucles L1, L2 y L3 de circuito cerrado, que contienen primero, segundo y tercero fluidos de trabajo CSP, respectivamente.

30 En la primera trayectoria de flujo de fluido L1, un primer receptor 9 contiene el primer fluido de trabajo y un conducto 10 acopla el depósito 9 al receptor solar 1; un conducto 11 acopla el receptor solar 1 a un primer compartimiento 20a en un segundo depósito 4; un conducto 5 acopla el primer compartimiento 20a en el segundo depósito 4 a un primer intercambiador de calor 6; y un conducto 27 acopla el primer intercambiador de calor 6 al primer depósito 9, completando de esta manera el circuito cerrado de la primera trayectoria de flujo L1.

35 En la segunda trayectoria de flujo L2, un segundo compartimiento 20b del segundo depósito 4 contiene el segundo fluido de trabajo y un conducto 12 acopla el segundo compartimiento 20b del segundo depósito 4 al receptor solar 1; un conducto 13 acopla el receptor solar 1 a un primer compartimiento 25a en el tercer depósito 16; un conducto 17 acopla el primer compartimiento 25a en el tercer depósito 16 a un segundo intercambiador de calor 18; y un conducto 19 acopla el segundo intercambiador de calor 18 al segundo compartimiento 20b del segundo depósito 4, completando de esta manera el circuito cerrado de la segunda trayectoria de flujo L2.

40 En la tercera trayectoria de flujo L3, un segundo compartimiento 25b del tercer depósito 16 contiene el tercer fluido de trabajo y un conducto 14 acopla el segundo compartimiento 25b del tercer depósito 16 al receptor solar 1; un conducto 15 acopla el receptor solar 1 a un cuarto depósito 21, un conducto 22 acopla el cuarto depósito 22 a un tercer intercambiador de calor 23; y un conducto 24 acopla el tercer intercambiador de calor 23 al segundo compartimiento 25b del tercer depósito 16; completando de esta manera el circuito cerrado de la tercera trayectoria de flujo L3.

45 Volviendo ahora a una consideración más detallada de las trayectorias de flujo de fluido de trabajo CSP, el conducto 10 en la trayectoria de flujo de fluido L1 conecta el receptor solar 1 al primer depósito 9 que contiene el primer fluido de trabajo CSP, por ejemplo una combinación de 60% de nitrato de sodio y 40% de nitrato de potasio, que se mantiene a una temperatura relativamente baja (pero por encima de su temperatura de cristalización), preparada

para bombearla a través de una bomba P hasta un receptor solar 1. Una temperatura de mantenimiento adecuada para la sal fundida en un depósito 9 es, por ejemplo, 290°C. Cuando el primer fluido de trabajo CSP pasa a través el receptor 1, absorbe energía térmica a través del primer conjunto de pasos en comunicación térmica con los elementos de captura de radiación y se calienta a una temperatura de, por ejemplo, 565°C antes de ser bombeado fuera del receptor 1 a través del conducto 11 hasta el compartimiento primario 20a del segundo depósito 4, donde es almacenado a esa temperatura. Un conducto 5 transporta el primer fluido de trabajo CSP desde el compartimiento primario 20a del segundo depósito hasta el primer intercambiador de calor 6, donde cede una gran proporción de energía térmica a un fluido de trabajo de la turbina en el circuito de fluido de la turbina 8. El fluido de trabajo de la turbina que entra en el intercambiador de calor 6 puede ser agua o vapor de grado bajo, que se eleva de esta manera en temperatura y presión. El conducto 27 dirige el primer fluido de trabajo desde el primer intercambiador de calor 6 de retorno al primer depósito 9 a una temperatura apropiada, por ejemplo 290°C, a la que se almacena hasta que es bombeado de retorno al receptor 1.

El conducto 12 conecta el receptor 1 al compartimiento secundario 20b del segundo depósito 4. Este compartimiento secundario 20b está aislado del primer compartimiento 20a y almacena el segundo fluido de trabajo CSP. Ejemplos de materiales adecuados para uso como este segundo fluido de trabajo son uno cualquiera de: mezclas de fluoruro de litio / fluoruro de berilio, (LiF-BeF₂), mezclas de tetrafluoroborato de sodio / fluoruro de sodio (NaBF₄-NaF) y mezclas de fluoruro de sodio / fluoruro de circonio (NaF-ZrF₄), cada una de las cuales posee umbrales de temperaturas superiores e inferiores (es decir, descomposición y cristalización) comparados con el primer fluido de trabajo. Con preferencia, el segundo depósito 4 es isotérmico, de manera que los componentes primarios y secundarios 20a y 20b tienen temperaturas similares o idénticas, evitando de esta manera la necesidad de aislarlos térmicamente uno del otro. Por lo tanto, el volumen del segundo fluido de trabajo almacenado en el compartimiento secundario 20b se mantiene sustancialmente a la temperatura del primer fluido de trabajo en el compartimiento primario 20a, manteniendo de esta manera el segundo fluido de trabajo en el compartimiento 20b a una temperatura por encima de su punto de cristalización. Por consiguiente, el segundo fluido de trabajo se mantiene en un estado útil para bombeo por una bomba P desde el compartimiento secundario 20b del segundo depósito 4 hasta el receptor 1, donde absorbe energía térmica para elevar su temperatura hasta, por ejemplo, 700°C. Después de pasar a través de un segundo conjunto de pasos en comunicación térmica con elementos de captura de radiación del receptor solar 1 (el segundo conjunto de pasos es distinto del primer conjunto a través del cual pasa el primer fluido de trabajo), el segundo fluido de trabajo es bombeado a través del conducto 13 hasta el compartimiento primario 25a el tercer depósito 16, en el que es almacenado a la temperatura a la que ha sido tratado en el receptor 1. El compartimiento primario 25a del tercer depósito 16 se comunica con un segundo intercambiador de calor 18, al que se bombea el segundo fluido de trabajo a través del conducto 17. En el segundo intercambiador de calor 18, la energía térmica es transferida desde el segundo fluido de trabajo hasta el fluido de la turbina que ya ha pasado a través del primer intercambiador de calor 6, elevando de esta manera adicionalmente la temperatura del fluido de la turbina hacia la temperatura el segundo fluido de trabajo. El segundo fluido de trabajo es retornado entonces al compartimiento secundario 20b el segundo depósito 4 a través del conducto 19, preparado para recirculación a través del receptor solar 1.

Comparado con la técnica anterior, es ventajoso tener un sistema con dos fluidos de trabajo CSP diferentes, en el que el primer fluido de trabajo pasa a través de una primera trayectoria de flujo de fluido para absorber energía térmica desde el receptor 1 hasta una primera temperatura máxima y un segundo fluido de trabajo pasa a través de una segunda trayectoria de flujo de fluido para absorber energía térmica desde el receptor hasta una segunda temperatura máxima que es sustancialmente más alta que la temperatura máxima alcanzada por el primer fluido de trabajo. De esta manera, se puede transferir energía térmica suficiente al fluido de la turbina en el circuito 8 a través de los intercambiadores de calor 6 y 18 para elevar el fluido de la turbina (normalmente vapor) hasta un estado supercrítico. A pesar de todo, contemplamos que puede merecer la pena incrementar adicionalmente la capacidad de alta temperatura del sistema introduciendo al menos un fluido de trabajo CSP más capaz de ser elevado hasta una temperatura todavía más alta que el segundo fluido de trabajo CSP.

Con referencia de nuevo a la figura 1, se verá que un conducto 14 conecta el receptor 1 al compartimiento secundario 25b del tercer depósito de fluido 16. Este compartimiento secundario 25b está aislado físicamente (pero con preferencia no térmicamente) del compartimiento primario 25a del tercer depósito 16 y almacena un tercer fluido de trabajo que tiene umbrales superiores e inferiores de temperatura más altos comparados con el segundo fluido de trabajo. Ejemplos de materiales adecuados para proporcionar el tercer fluido de trabajo son metales líquidos, tales como aleación de sodio o sodio potasio, o una sal que es diferente de las sales seleccionadas como el primero y segundo fluidos de trabajo. Por lo tanto, el tercer fluido de trabajo almacenado en el compartimiento secundario 25b del tercer depósito se mantiene sustancialmente a la temperatura del segundo fluido de trabajo almacenado en el compartimiento primario 25a, es decir, que el tercer fluido de trabajo se mantiene a una temperatura por encima de su punto de cristalización, manteniéndolo en un estado útil para bombeo por una bomba P hasta el receptor 1. El tercer fluido de trabajo es bombeado, por lo tanto, desde el compartimiento secundario 25b del tercer depósito 16 hasta el receptor 1 y absorbe energía térmica para elevar su temperatura, por ejemplo, hasta 750°C. Después de pasar a través de un tercer conjunto de pasos en elementos de captura de radiación del receptor 1 (siendo el tercer conjunto de pasos distinto del primero y segundo conjuntos de pasos a través de los cuales pasan, respectivamente, el primero y el segundo fluidos de trabajo), el tercer fluido de trabajo es bombeado a través de un conducto 15 hasta

un cuarto depósito 21, en el que es almacenado a la temperatura a la que ha sido calentado en el receptor 1. El cuarto receptor 21 se comunica con un tercer intercambiador de calor 23, al que es bombeado el tercer fluido de trabajo a través de un conducto 22. En el tercer intercambiador de calor 23, el tercer fluido de trabajo transfiere energía térmica al fluido de la turbina que ya ha pasado a través del primero y el segundo intercambiadores de calor 6, 18, elevando de esta manera adicionalmente la temperatura del fluido de la turbina. El tercer fluido de trabajo CSP es retornado entonces a través de un conducto 24 hasta el compartimiento secundario 25b del tercer depósito 16.

El fluido de la turbina, que ha circulado a través de los circuitos de intercambio de calor de cada uno del primero, segundo y tercero intercambiadores de calor 6, 18 y 23 secuencialmente, está con preferencia en un estado supercrítico y es conducido desde el tercer intercambiador de calor 23 hasta una entrada de una turbina 26, para accionar un generador.

Se contempla que los depósitos propiamente dichos estén altamente aislados de sus entornos para prevenir pérdidas de energía térmica al ambiente que reducirían la eficiencia general del sistema. Los materiales a partir de los cuales se forma cada compartimiento de los depósitos debe ser al menos capaz de resistir las temperaturas y reactividades de los fluidos de trabajo respectivos después de que han sido calentados en el receptor 1.

Una manera en la que la temperatura máxima de los fluidos de trabajo individuales puede ser controlada, a medida que pasan desde sus depósitos respectivos, a través de sus pasos respectivos en el receptor 1 y alrededor de las trayectorias de circulación de fluido L1, L2, L3 de retorno a sus depósitos respectivo, es controlando sus caudales de flujo. Esto es posible debido a que las tres trayectorias de circulación de fluido diferente son independientes unas de las otras y, por lo tanto, tienen bombas y caudales de flujo separados. Por lo tanto, el primer fluido de trabajo puede ser bombeado alrededor del depósito 1 a un caudal de flujo que le permite absorber energía térmica hasta, pero no más allá de su umbral de temperatura superior. El segundo fluido de trabajo puede ser bombeado alrededor del depósito en un segundo caudal de flujo más bajo, permitiendo alcanzar de esta manera una temperatura más elevada. El tercer fluido de trabajo puede ser bombeado entonces a un caudal más lento todavía alrededor del receptor 1, para elevarlo a temperaturas más altas que el segundo fluido de trabajo.

Para arrancar el sistema, se contempla que, si es necesario, el primer fluido de trabajo CSP en el depósito 9 sea calentado hasta una temperatura de trabajo desde una fuente de calor externa. Entonces el primer fluido de trabajo debería circular alrededor de la trayectoria de fluido L1 hasta el instante en el que el segundo depósito 4 esté suficientemente caliente para llevar el segundo fluido de trabajo, almacenado en el compartimiento secundario 20b del mismo, hasta una temperatura suficiente para permitir que circule. De manera similar, el segundo fluido de trabajo calentará el tercer fluido de trabajo almacenado en el compartimiento secundario 25b del tercer depósito 16, y una vez que éste esté suficientemente caliente para permitir el flujo, se puede emplear también el tercer fluido de trabajo. De esta manera, proporcionamos una metodología operativa en la que cada uno de los múltiples fluidos de trabajo es empleado solamente dentro de sus rangos de temperaturas nominales. Esto proporciona un sistema que es adaptable al grado de aislamiento que se está experimentando, por ejemplo el segundo y tercero fluidos de trabajo solamente tienen que emplearse donde lo garantizan las condiciones meteorológicas. Por lo tanto, con luz solar tenue, solamente se puede utilizar el primer fluido de trabajo. Además, se pueden implementar ciclos individuales de recalentamiento o ciclos múltiples de recalentamiento, como se desee.

Aunque se contempla que con aislamiento suficiente del receptor, el segundo fluido de trabajo en el sistema descrito anteriormente se elevará hasta una temperatura capaz de calentar agua hasta un estado supercrítico, el técnico en la material comprenderá que el sistema de conducción que transporta los fluidos de trabajo calientes no está presurizado, por lo que solamente están presentes tensiones térmicas, que conducen a una expectación de que la conducción será más económica de fabricar comparada con calderas supercríticas conocidas.

La efectividad de un sistema de transferencia y almacenamiento de calor, tal como éste, que utiliza calor sensible, es proporcional a la diferencia de temperatura entre los ramales frío y caliente de cada trayectoria de fluido (Energía Almacenada = masa x capacidad térmica x diferencia de temperatura). En el ejemplo dado en la presente descripción, el primer fluido de trabajo trabajará desde 290°C hasta aproximadamente 550°C (por lo tanto, el cambio en la temperatura, $DT = 260^{\circ}C$), mientras que el segundo fluido de trabajo trabajará solamente desde 550°C hasta aproximadamente 700°C (por lo tanto $DT = 150^{\circ}C$). Por consiguiente, para el segundo fluido de trabajo, la misma cantidad de almacenamiento de energía requerirá 1,7 veces más volumen (suponiendo que el segundo fluido de trabajo tiene masa y capacidad térmica idénticas al primer fluido de trabajo). No obstante, como se ilustra en la figura 2, cuando se consideran los requerimientos de entalpía para calentar agua presurizada desde 290°C hasta 700°C en los intercambiadores de calor 6 y 18 solamente de la figura 1, se puede ver que la cantidad de energía requerida no está distribuida de una manera uniforme sobre el rango de temperatura. La mayor parte de la energía requerida para elevar la temperatura del agua se requerirá en el rango de 290°C a 550°C, que es proporcionada por el primero, y más eficiente fluido de trabajo. Por lo tanto, el segundo fluido de trabajo se utiliza para elevar la presión del agua/vapor hasta el estado supercrítico.

En formas de realización alternativas, se contempla que solamente se pueden emplear dos o más de tres fluidos de trabajo. Según se requiera, deberían añadirse o retirarse depósitos adicionales, divididos en compartimientos, tales

como los que se han descrito anteriormente, e intercambiadores de calor respectivos, de las formas de realización descritas anteriormente para alojar números añadidos o reducidos de fluidos de trabajo.

También se pueden utilizar fluidos de trabajo alternativos, tales como otras formas de sales fundidas, metales líquidos o gases, tales como, entre otros, dióxido de carbono o helio.

- 5 También se contempla que se puedan incorporar más de un receptor solar en el sistema, siendo pasados los fluidos de trabajo a los receptores en paralelo o en serie.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un sistema de energía solar que comprende un receptor solar (1) para absorber radiación solar y una pluralidad de trayectorias de flujo de fluido (L1, L2, L3) separadas que pasan a través del receptor solar en paralelo entre sí, en el que cada trayectoria de flujo de fluido contiene un fluido de trabajo que puede fluir al menos a una temperatura mínima de funcionamiento a través de la trayectoria de flujo de fluido para absorber energía térmica desde el receptor solar (1) hasta una temperatura máxima de funcionamiento, siendo diferentes las temperaturas máxima y mínima de funcionamiento para cada fluido de trabajo, siendo la disposición tal que la energía térmica absorbida en el receptor solar (1) por un fluido de trabajo que tiene temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más baja es transferido a un fluido de trabajo que tiene temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más altas en una trayectoria de flujo de fluido (L2, L3) adyacente, ocurriendo dicha transferencia de energía térmica antes de que el fluido de trabajo con las temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más altas absorba energía térmica desde el receptor solar (1).
- 2.- El sistema de energía solar de la reivindicación 1, en el que la primera y la segunda trayectorias de flujo de fluido (L1, L2) pasan a través el receptor solar (1), un primer fluido de trabajo puede fluir a través de la primera trayectoria de flujo de fluido (L1) para absorber energía térmica desde el receptor solar hasta una primera temperatura máxima; y un segundo fluido de trabajo puede fluir a través de la segunda trayectoria de flujo de fluido (L2) para absorber energía térmica desde el receptor solar hasta una segunda temperatura máxima más alta que la primera temperatura máxima.
- 3.- El sistema de energía solar de la reivindicación 2, que comprende, además, al menos una tercera trayectoria de flujo de fluido (L3) que pasa a través del receptor solar (1) y un tercer fluido de trabajo que puede pasar a través de la tercera trayectoria de flujo de fluido (L3) para absorber energía térmica desde el receptor hasta una tercera temperatura máxima más alta que la primera y la segunda temperaturas máximas.
- 4.- El sistema de energía solar de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada trayectoria de fluido (L1, L2, L3) incluye un depósito de almacenamiento (9, 4, 16) delante del receptor solar (1) y un depósito de almacenamiento (4, 16, 21) detrás del receptor solar, de manera que cada fluido de trabajo es almacenado en un depósito antes y después del calentamiento en el receptor solar.
- 5.- El sistema de energía solar de la reivindicación 4, en el que diferentes fluidos de trabajo ocupan primero y segundo compartimientos (20a, 20b) de al menos uno de los depósitos de almacenamiento (4), estando localizado el primer compartimiento (20a) en una trayectoria de flujo de fluido (L1) para almacenar fluido de trabajo con temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más bajas después de que ha sido tratado en el receptor solar (1) y estando localizado el segundo compartimiento (20b) en una trayectoria de fluido (L2) para almacenar fluido de trabajo con temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más altas después de que ha sido calentado en el receptor solar, estando dispuestos el primero y el segundo compartimientos (20a, 20b) del depósito de almacenamiento (4) de tal manera que durante el funcionamiento del sistema el fluido de trabajo con la temperatura de funcionamiento mínima más alta se mantiene en una condición fluida por energía térmica desde el fluido de trabajo con la temperatura de funcionamiento mínima más baja.
- 6.- El sistema de energía solar de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada trayectoria de flujo de fluido (L1, L2, L3) incluye un intercambiador de calor (6, 18, 23) a través del cual el fluido de trabajo calentado en el funcionamiento en esa trayectoria de flujo pasa a impartir energía térmica a un fluido de la turbina, estando dispuestos los intercambiadores de calor en serie con respecto al flujo (8) del fluido de la turbina, de tal manera que un intercambiador de calor posterior en la serie imparte más energía térmica al fluido de la turbina después de que ha pasado a través de un intercambiador de calor precedente.
- 7.- El sistema de energía solar de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende bombas (P) que pueden funcionar para bombear el fluido de trabajo alrededor de las trayectorias de fluido de trabajo (L1, L2, L3) a diferentes caudales de flujo, para controlar de esta manera la temperatura máxima que cada fluido de trabajo alcanza a través de absorción de energía térmica desde el receptor solar.
- 8.- Un método de funcionamiento de un sistema de energía solar, en el que energía térmica es transferida desde un receptor solar hasta una pluralidad de fluidos de trabajo diferentes, de manera que los fluidos de trabajo pueden fluir a través de una pluralidad correspondiente de trayectorias de flujo de fluido y que tienen diferentes temperaturas de funcionamiento mínima y máxima entre sí, comprendiendo el método las etapas de:
 - a) hacer fluir los fluidos de trabajo al menos a sus temperaturas mínimas de funcionamiento a través de sus trayectorias de flujo de fluido respectivas para absorber energía térmica desde el receptor solar hasta sus temperaturas máximas de funcionamiento; y
 - b) transferir energía térmica absorbida en el receptor solar por un fluido de trabajo que tiene temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más bajas hasta un fluido de trabajo que tiene temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más altas en una trayectoria de flujo de

fluido adyacente, ocurriendo dicha transferencia de energía térmica antes de que el fluido de trabajo con las temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más altas absorba energía térmica desde el receptor solar.

- 5 9.- El método de la reivindicación 8, que comprende hacer fluir un primer fluido de trabajo a través de una primera trayectoria de flujo de fluido para absorber energía térmica desde el receptor solar hasta una primera temperatura; y hacer fluir un segundo fluido de trabajo a través de la segunda trayectoria de flujo de fluido para absorber energía térmica desde el receptor solar hasta una segunda temperatura máxima más alta que la primera temperatura máxima.
- 10 10.- El método de la reivindicación 9, que comprende, además, hacer fluir al menos un tercer fluido de trabajo a través de una trayectoria de flujo de fluido correspondiente para absorber energía térmica desde el receptor hasta una tercera temperatura máxima más alta que la primera y segunda temperaturas máximas.
- 11.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, que comprende, además, almacenar cada fluido de trabajo en un depósito de almacenamiento antes y después de calentarlo en el receptor solar.
- 12.- El método de la reivindicación 11, que comprende, además:
 - 15 a) almacenar un fluido de trabajo con una temperatura de funcionamiento mínima inferior en un depósito de almacenamiento ante de calentarlo en el receptor solar;
 - b) almacenar un fluido de trabajo con una temperatura de funcionamiento mínima más alta en un depósito de almacenamiento después de calentarlo en el receptor solar; y
 - 20 c) transferir energía térmica desde el fluido de trabajo con una temperatura de funcionamiento mínima más baja al fluido de trabajo con la temperatura de funcionamiento mínima más alta durante el almacenamiento, con el fin de mantener el fluido de trabajo con la temperatura de funcionamiento más alta en una condición apta para el flujo.
- 13.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, que comprende, además, transferir energía térmica desde un fluido de trabajo caliente en cada trayectoria de flujo de fluido hasta un fluido de la turbina, en el que la transferencia de energía térmica al fluido de la turbina desde un fluido de trabajo que tiene temperaturas de funcionamiento mínima y máxima más altas ocurre después de la transferencia de energía térmica al fluido de la turbina desde un fluido de trabajo que tiene temperaturas de funcionamiento mínima y máxima relativamente más bajas.
- 14.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, que comprende, además, bombear los fluidos de trabajo alrededor de las trayectorias de fluido a caudales diferentes, para controlar de esta manera la temperatura máxima que cada fluido de trabajo alcanza a través de la absorción de energía térmica desde el receptor solar.
- 30

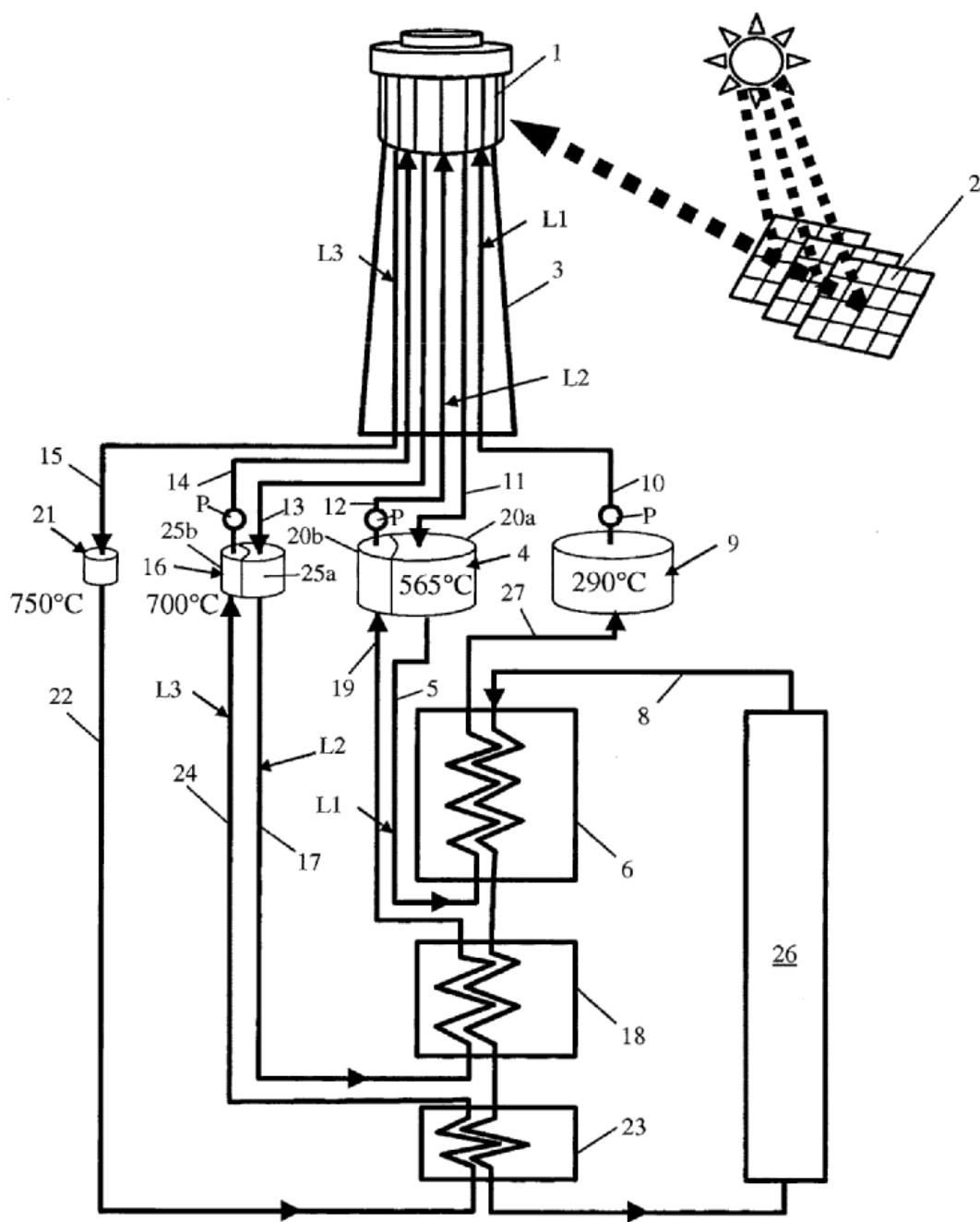


Figura 1

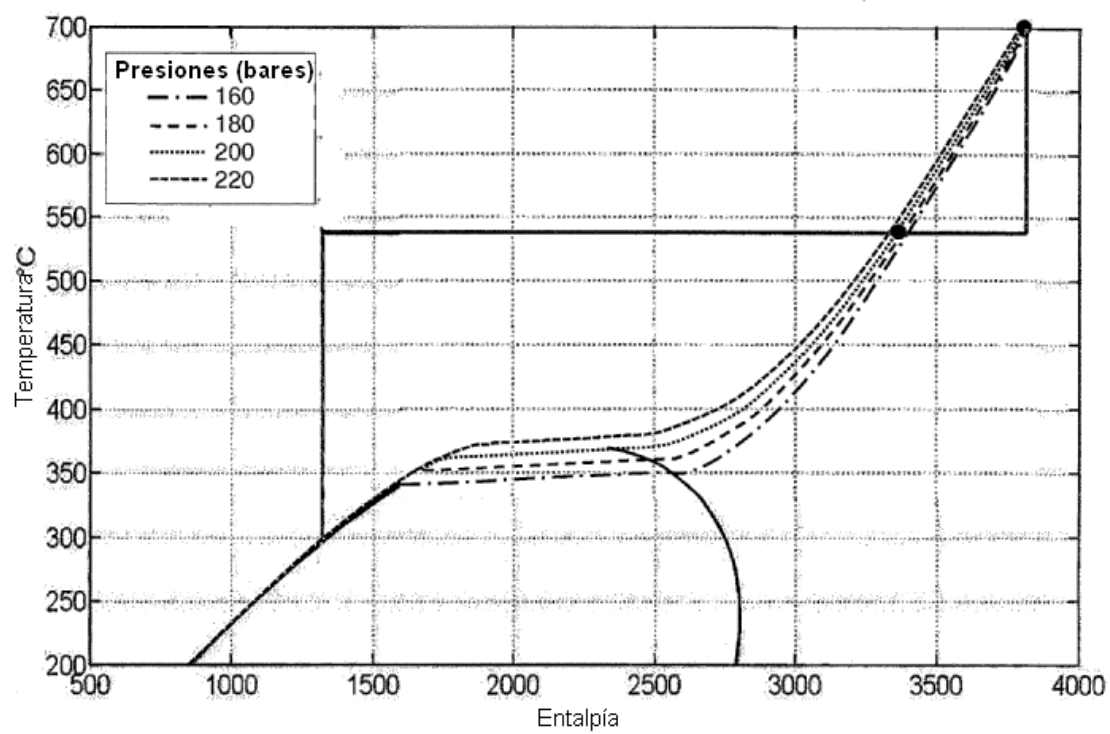


Figura 2