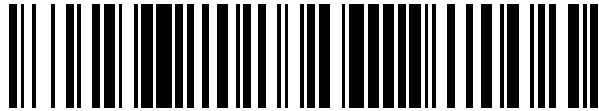


19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 540 427**

21 Número de solicitud: 201490046

51 Int. Cl.:

F01D 1/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

16.10.2012

30 Prioridad:

10.11.2011 US 61/558275

43 Fecha de publicación de la solicitud:

09.07.2015

71 Solicitantes:

**ABENGOA SOLAR LLC (100.0%)
1250 Simms St
80401 80401 Lakewood CO Colorado US**

72 Inventor/es:

**GAVILAN, Antonio;
ERICKSON, Luke y
MUREN, Russell**

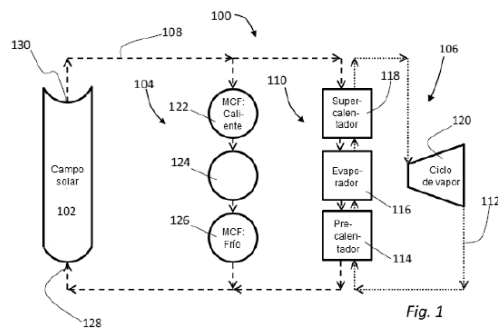
74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

54 Título: **Procedimientos y aparato para la optimización del control del almacenamiento de energía térmica**

57 Resumen:

Se describen sistemas y procedimientos de concentración de energía solar (CSP) que hacen uso de un material de transferencia de calor de cambio de fase sólida-líquida (MTC). Los sistemas y procedimientos incluyen un receptor solar configurado para recibir un flujo solar concentrado para calentar una cantidad del MTC sólido y hacer que una parte del MTC sólido se funda en un MTC líquido. Los sistemas y procedimientos incluyen también un intercambiador de calor en comunicación de fluido con el receptor solar. El intercambiador de calor está configurado para recibir el MTC líquido y permitir el intercambio de calor entre el MTC líquido y el fluido de trabajo de un bloque de generación de energía. El intercambiador de calor permite además la solidificación del MTC líquido. Los sistemas y procedimientos incluyen también un sistema de transporte de material que permite el transporte del MTC solidificado desde el intercambiador de calor al receptor solar.



DESCRIPCIÓN

Procedimientos y aparato para la optimización del control del almacenamiento de energía térmica

Solicitudes relacionadas

- 5 La presente solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de patente provisional US N° 61/558.275, presentada el 10 de Noviembre del 2011, cuya solicitud se incorpora a la presente memoria, por referencia, en su totalidad.

Campo técnico

- 10 Las realizaciones descritas en la presente memoria están dirigidas a procedimientos y aparatos de optimización de control para el almacenamiento de energía térmica. Más particularmente, las realizaciones descritas están dirigidas a la optimización del control para el almacenamiento de energía térmica en un sistema de almacenamiento de energía térmica, con un material de cambio de fase en cascada, asociado con un sistema de generación de energía solar por concentración.

15 Antecedentes

- Muchos proveedores de energía eléctrica están incorporando instalaciones de generación de energía solar por concentración en su combinación de fuentes de electricidad. En estas instalaciones, la energía solar por concentración proporciona el calor necesario para impulsar turbinas de vapor convencionales para la generación de energía. La mayoría de las instalaciones de generación de energía solar por concentración existentes funcionan sólo cuando el sol no está oculto por una cobertura nubosa y está posicionado suficientemente por encima del horizonte para proporcionar luz adecuada para el funcionamiento de la planta. De esta manera, muchas instalaciones de generación de energía solar por concentración existentes no pueden funcionar durante el anochecer o en períodos de coberturas nubosas intermitentes.

- 20 La modificación del funcionamiento de una planta de manera que no tenga una estricta dependencia solar tiene muchos beneficios económicos, incluyendo un período de funcionamiento potencialmente extendido para cada día. Para que funcione apropiadamente durante períodos de cobertura nubosa o al anochecer, una planta debe tener la capacidad de almacenar energía en alguna forma, a un bajo costo. El almacenamiento de energía térmica es la forma más económicamente factible para que

una planta lleve a cabo el almacenamiento de energía requerido. Hasta la fecha, se han investigado muchas formas de almacenamiento de energía térmica, incluyendo: el almacenamiento en dos tanques, en termoclina, químico, en medio sólido y en un material de cambio de fase. En la actualidad, no ha surgido ninguna tecnología como una estrategia de almacenamiento dominante. Por el contrario, cada tecnología ha reconocido ventajas y desventajas. Los sistemas de almacenamiento de energía térmica basados en materiales de cambio de fase (MCF) son de gran interés para aplicaciones de energía solar por concentración, de alta temperatura, debido al potencial de un rendimiento mejorado con costo de material relativamente bajo.

El concepto de almacenamiento de energía térmica con un material bifásico de cambio de fase hace uso de un material con una temperatura de fusión entre las temperaturas de los lados caliente y frío de un campo solar como un medio de almacenamiento de energía térmica. Cuando el sistema se hace funcionar en un modo de "carga", el fluido de transferencia de calor desde el campo solar es enfriado mediante la fusión del material de cambio de fase. En un modo de "descarga", el fluido de transferencia de calor relativamente frío es calentado haciéndolo pasar en sentido inverso a través del sistema de almacenamiento de energía térmica solidificando, de esta manera, el material de cambio de fase. El beneficio de un sistema basado en un material de cambio de fase es la alta densidad de energía conseguida aprovechando el calor latente de un material adecuado además de utilizar el calor sensible. La densidad de almacenamiento de energía de un material de almacenamiento de energía adecuado puede ser duplicada, típicamente, mediante la adición de almacenamiento de calor latente sobre un intervalo de temperaturas de 100°C.

Los sistemas de almacenamiento de energía térmica basados en material de cambio de fase deben incluir múltiples tipos de sales con diferentes temperaturas de fusión para almacenar y descargar eficazmente energía en un intervalo de temperaturas de 100°C o más. En un diseño con múltiples materiales, la cantidad total de energía que puede ser almacenada para una masa de almacenamiento determinada a un diferencial de temperatura de 100°C puede aumentarse en gran medida. La disposición anterior de grupos de materiales de cambio de fase dispuestos linealmente, (en el que cada grupo o contenedor de un determinado material de cambio de fase se conoce como un "cubo") se denomina una cascada y puede ser considerada como una cascada de agua, con la temperatura de fusión más alta en la parte superior, seguido de temperaturas de fusión progresivamente más bajas hasta el cubo en la parte inferior.

Un sistema de almacenamiento de energía térmica con material de cambio de fase que tiene un número suficiente de cubos permite el almacenamiento de energía a la temperatura más alta posible. El teóricamente mejor sistema con material de cambio de fase tendría un número excepcionalmente elevado de cubos con materiales de cambio de fase con diferentes temperaturas de fusión repartidas uniformemente a lo largo del intervalo de temperaturas esperadas del fluido de transferencia de calor. La implementación de un número excepcionalmente elevado de cubos con materiales de cambio de fase distintos no es práctica, sin embargo, en parte debido a que hay un número limitado de opciones adecuadas de materiales de cambio de fase. Generalmente, es más factible utilizar 3-5 materiales de cambio de fase con temperaturas de fusión repartidas tan uniformemente como sea posible en todo el intervalo diseñado de temperaturas de almacenamiento.

Casi todos los sistemas de almacenamiento de energía térmica pueden ser descritos como pertenecientes a una de dos categorías: activos y pasivos. Un sistema activo se clasifica como un sistema que acopla activamente su material de almacenamiento con fluido de transferencia de calor del sistema, típicamente, mediante interacciones mecánicas. Por ejemplo, un sistema de sales fundidas de dos tanques se clasifica como un sistema activo debido a que la sal fundida es bombeada activamente. Los sistemas pasivos no tienen interacción mecánica. Un ejemplo común de un sistema pasivo es el almacenamiento con hormigón, en el que el material de almacenamiento incluye tuberías de fluidos de transferencia de calor y acepta y suministra, de manera pasiva, energía térmica al fluido de trabajo. Un sistema de almacenamiento de energía térmica con material de cambio de fase tal como se ha descrito anteriormente es un tipo de sistema de almacenamiento pasivo.

Ciertas limitaciones físicas causan dificultades para controlar un sistema pasivo de almacenamiento con material de cambio de fase para un rendimiento transitorio óptimo. En primer lugar, las sales usadas como materiales de cambio de fase tienen tasas de transferencia de calor muy bajas en comparación con el fluido de transferencia de calor. La menor tasa de transferencia de calor de un material de cambio de fase es debida, en parte, a que el material está estacionario y también a que los materiales de cambio de fase adecuados son malos conductores de calor. Las bajas tasas de transferencia de calor causan que la energía de salida del sistema de almacenamiento sea menor, incluso si el almacenamiento de energía total es grande. En segundo lugar, los materiales de cambio de fase aceptan y liberan calor isotérmicamente sobre la región de fusión, mientras que el fluido de transferencia de calor acepta y libera calor sobre un intervalo de temperaturas.

Por lo tanto, en un sistema manejable de tres a cinco cubos de material de cambio de fase en una cascada, el cubo con la temperatura más alta tendrá una temperatura sustancialmente inferior a la temperatura máxima del fluido de transferencia de calor.

Además, la repetibilidad día a día presenta una dificultad significativa en el funcionamiento de un sistema pasivo de almacenamiento de energía térmica. Los problemas surgen por las diferencias de temperatura durante la carga y la descarga en combinación con la temperatura de salida variable del campo solar y la variación en los caudales del fluido de transferencia de calor. Por ejemplo, en un sistema con material de cambio de fase en cascada con cuatro cubos de material de cambio de fase, un tercer cubo puede tener una diferencia de temperatura de accionamiento de casi 30°C durante la carga en comparación con sólo una diferencia de temperatura de 10°C durante la descarga. Estas diferencias de temperatura están limitadas por la disponibilidad de materiales con temperaturas de fusión deseadas. Además, un cubo ve un caudal de fluido de transferencia de calor de masa variable que puede fluctuar entre 0 kg/s y un caudal máximo durante la operación de carga en comparación con un caudal de masa constante en o cerca del máximo durante la descarga. Además, las características de transferencia de calor para una sal de material de cambio de fase determinada son diferentes para la carga y la descarga. Estos y potencialmente otros factores se combinan para hacer que la respuesta transitoria de carga de cualquier sistema sea bastante diferente de la de la respuesta transitoria de descarga.

Las consideraciones anteriores se convierten en un problema cuando se intenta diseñar un sistema de almacenamiento de energía térmica que aprovechará apropiadamente las características de energía beneficiosas de cambio de fase en casi el 100% del material de cambio de fase proporcionado. Por ejemplo, un sistema que es capaz de fundir el 100% del material de cambio de fase durante la carga puede ser capaz de solidificar sólo el 50% del material de cambio de fase durante la descarga. Al día siguiente, este sistema podría fundir el 50% sólido restante durante la carga y continuar sobrecalentando sensiblemente el material de cambio de fase durante el resto de la carga. Ahora, durante la descarga, el sistema sólo será capaz de solidificar el 25% del material de cambio de fase. Este procedimiento continuará hasta que sólo una pequeña parte del material de cambio de fase pase por un cambio de fase cada día. De esta manera, el sistema de almacenamiento ha perdido una parte importante de su densidad de almacenamiento de energía.

Las realizaciones descritas en la presente memoria van dirigidas a superar uno o más de los problemas descritos anteriormente.

Sumario de las realizaciones

Una realización es un sistema de generación de energía solar que incluye un circuito de fluido de transferencia de calor, un concentrador de energía solar y un sistema de almacenamiento de energía térmica. El sistema de almacenamiento de energía térmica comprende una serie en cascada de múltiples cubos de material de cambio de fase, todos ellos en comunicación térmica con el circuito de fluido de transferencia de calor. En esta realización, una salida desde uno de los cubos del sistema de almacenamiento de energía térmica está en comunicación directa a través de una rama secundaria del circuito de fluido de transferencia de calor con una entrada a un componente del tren de vapor del bloque de potencia. La rama secundaria permite el direccionamiento de parte o la totalidad del fluido de transferencia de calor fluyente desde el campo solar al bloque de potencia a través de un cubo de almacenamiento durante la producción activa de energía.

En esta realización, el cubo en comunicación térmica directa con el bloque de potencia puede ser un cubo de alta temperatura que contiene un material de cambio de fase que tiene una temperatura de fusión más alta que los materiales de cambio de fase contenidos en otros cubos de la serie en cascada.

Una realización relacionada es un sistema de almacenamiento de energía térmica en cascada que tiene múltiples cubos de material de cambio de fase conectados en serie por un circuito de fluido de transferencia de calor. Esta realización incluye además una rama secundaria del circuito de fluido de transferencia de calor que conecta una salida de uno o más cubos directamente a una entrada del bloque de potencia. La conexión anterior se realiza a través de la rama secundaria, mientras se produce energía en el interior del bloque de potencia.

Otra realización relacionada es un procedimiento de utilización de energía solar que comprende las etapas siguientes; proporcionar un circuito de fluido de transferencia de calor, un concentrador de energía solar, un sistema de almacenamiento de energía térmica en cascada y un bloque de potencia, todos ellos conectados por un circuito de fluido de transferencia de calor primario. El procedimiento incluye además hacer fluir el fluido de transferencia de calor desde la salida del concentrador de energía solar a través de un cubo de material de cambio de fase y, a continuación, hacer fluir el fluido de transferencia de calor desde el cubo a través de una rama secundaria del circuito de fluido de transferencia de calor al bloque de potencia, mientras se produce energía con el bloque de potencia. En la realización anterior, el cubo puede ser un cubo de alta temperatura que

contiene material un material de cambio de fase que tiene una temperatura de fusión más alta que los materiales de cambio de fase contenidos en otros cubos de la serie en cascada.

5 Otra realización es un sistema de generación de energía solar tal como se ha descrito en general anteriormente, pero que comprende además una entrada a uno o más cubos seleccionados del sistema de almacenamiento de energía térmica en comunicación directa a través de una rama secundaria del circuito de fluido de transferencia de calor con una salida desde un componente del bloque de potencia. Además, una salida desde el uno o más cubos seleccionados está en comunicación directa a través del circuito de fluido de 10 transferencia de calor con el concentrador de energía solar o el bloque de potencia. Esta configuración permite que el flujo de fluido de transferencia de calor sea precalentado después de que al menos un cubo del sistema de almacenamiento de energía térmica ha sido descargado sustancialmente pero antes de que el sistema de energía térmica sea recargado. En esta realización, los cubos del sistema de almacenamiento de energía 15 térmica en comunicación con la salida del bloque de potencia pueden ser cubos con una temperatura más fría que contienen un material de cambio de fase que tiene una temperatura de fusión más baja que los materiales de cambio de fase contenidos en al menos otro cubo de la serie en cascada.

20 Una realización relacionada incluye un sistema de almacenamiento de energía térmica en cascada tal como se ha descrito en general anteriormente, pero que comprende además al menos una rama secundaria del circuito de fluido de transferencia de calor que conecta una salida desde el bloque de potencia a la entrada a uno o más cubos del sistema de almacenamiento de energía térmica en cascada.

25 Una realización relacionada incluye un procedimiento de precalentamiento de un sistema de energía solar que comprende la etapa de hacer fluir el fluido de transferencia de calor desde una salida del bloque de potencia a través de uno o más cubos parcialmente descargados del sistema de almacenamiento de energía térmica antes de cargar el sistema de almacenamiento de energía térmica. De esta manera, el procedimiento permite precalentar el fluido de transferencia de calor, el cual puede hacerse fluir, a continuación, al 30 concentrador de energía solar y al bloque de potencia antes de que comience la generación activa de energía.

Una realización alternativa incluye sistema de generación de energía solar según se ha descrito en general anteriormente, pero que comprende además múltiples ramas

secundarias de circuito de fluido de transferencia de calor que conectan directamente al menos dos cubos del sistema de almacenamiento de energía térmica a al menos dos componentes correspondientes del tren de vapor. Las ramas secundarias de fluido de transferencia de calor permiten la inyección directa de fluido de transferencia de calor entre los cubos individuales de material cambio de fase y los componentes correspondientes del tren de vapor durante la fase de descarga de la generación de energía. En esta realización, la temperatura de fusión del material de cambio de fase en cada cubo puede corresponder a la temperatura de funcionamiento diseñada del componente correspondiente del tren de vapor.

Una realización relacionada incluye un sistema de almacenamiento de energía térmica en cascada tal como se ha descrito en general anteriormente, pero que comprende además múltiples ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor que conectan las salidas desde al menos dos cubos a las entradas a al menos dos componentes del tren de vapor durante la descarga del sistema de almacenamiento de energía térmica. En esta realización, la temperatura de fusión del material de cambio de fase en cada cubo puede corresponder a la temperatura de funcionamiento diseñada del componente correspondiente del tren de vapor.

Una realización relacionada incluye un procedimiento de utilización de energía solar que comprende la etapa de hacer fluir el fluido de transferencia de calor desde al menos dos cubos de material de cambio de fase seleccionados a la entrada de al menos dos componentes correspondientes del tren de vapor mientras se descarga el sistema de almacenamiento de energía térmica. Este procedimiento permite una inyección directa de fluido de transferencia de calor entre los cubos individuales de material de cambio de fase y los componentes correspondientes del tren de vapor durante la fase de descarga de la generación de energía.

Otra realización incluye un sistema de generación de energía solar tal como se ha descrito en general anteriormente, pero que comprende además ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor que conectan uno o más cubos del sistema de almacenamiento de energía térmica con una salida desde el bloque de potencia y que conectan, además, el uno o más cubos con el concentrador de energía solar. Esta realización permite que el fluido de transferencia de calor que fluye en el circuito de fluido de transferencia de calor sea calentado mediante una descarga parcial del sistema de almacenamiento de energía térmica durante los períodos de insolación insuficiente para

cargar el sistema de almacenamiento de energía térmica.

En la realización anterior, el uno o más cubos del sistema de almacenamiento de energía térmica en comunicación con la salida del bloque de potencia pueden ser cubos con una temperatura más fría que contienen un material de cambio de fase que tiene una temperatura de fusión más baja que los materiales de cambio de fase contenidos en otros cubos de la serie en cascada.

Una realización relacionada incluye un sistema de almacenamiento de energía térmica en cascada tal como se ha descrito en general anteriormente, pero que comprende además una o múltiples ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor que conectan el bloque de potencia a una entrada a uno o más cubos durante los períodos de insolación insuficiente para cargar el sistema de almacenamiento de energía térmica.

Una realización relacionada es un procedimiento de utilización de energía solar que comprende la etapa de descargar parcialmente el sistema de almacenamiento de energía térmica durante los períodos de insolación demasiado baja para cargar el sistema de almacenamiento de energía térmica haciendo fluir el fluido de transferencia de calor desde la salida del bloque de potencia a través de uno o más cubos del sistema de almacenamiento de energía térmica.

Otra realización incluye un sistema de generación de energía solar como el descrito en general en la presente memoria, que comprende cualquier combinación de ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor que se extienden entre los cubos de material de cambio de fase seleccionados y/o cualquier combinación de ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor que se extienden entre los cubos de material de cambio de fase seleccionados y el campo solar.

Una realización relacionada es un sistema de almacenamiento de energía térmica en cascada tal como se ha descrito en general anteriormente, que comprende además cualquier combinación de ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor que se extienden entre los cubos de material de cambio de fase seleccionados y los componentes del tren de vapor seleccionados y/o cualquier combinación de ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor que se extienden entre los cubos de material de cambio de fase seleccionados y el campo solar.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es una representación esquemática de un sistema de generación de energía solar

por concentración de la técnica anterior que funciona en modo de carga.

La Fig. 2 es una representación esquemática de un sistema de generación de energía solar por concentración de la técnica anterior que funciona en modo de descarga.

5 La Fig. 3 es una representación esquemática de un sistema mejorado de generación de energía solar por concentración que funciona para producir energía.

La Fig. 4 es una representación esquemática de un sistema mejorado de generación de energía solar por concentración durante las operaciones de calentamiento antes de la carga y después de la descarga.

10 La Fig. 5 es una representación esquemática de un sistema mejorado de generación de energía solar por concentración que funciona en un modo de descarga.

La Fig. 6 es una representación esquemática de un sistema mejorado de generación de energía solar por concentración que funciona en un modo de descarga parcial.

La Fig. 7 es una representación esquemática de un sistema de generación de energía solar por concentración que presenta una combinación de mejoras.

15 **Descripción detallada**

A menos que se indique lo contrario, debe considerarse que todos los números que expresan cantidades de ingredientes, dimensiones, condiciones de reacción, etc., usados en la memoria descriptiva y las reivindicaciones, están modificados en todos los casos por el término "aproximadamente".

20 En la presente solicitud y en las reivindicaciones, el uso del singular incluye el plural, a menos que se indique específicamente lo contrario. Además, el uso de "o" significa "y/o", a menos que se indique lo contrario. Además, el uso de la expresión "que incluye", así como otras formas, tales como "incluye" e "incluido", no es limitativo. Además, los términos tales como "elemento" o "componente" abarcan tanto los elementos como los componentes que
25 constituyen una unidad y los elementos y los componentes que comprenden más de una unidad, a menos que se indique específicamente lo contrario.

Un sistema 100 de generación de energía solar por concentración convencional se ilustra esquemáticamente en las Figs. 1 y 2. Diversas realizaciones de sistemas de generación alimentados por energía solar, que tienen procedimientos y aparatos mejorados de control
30 de almacenamiento de energía térmica, se describen en la presente memoria y se ilustran

en las Figs. 3-7. Las realizaciones mejoradas de almacenamiento de energía térmica descritas en la presente memoria son mejoras del diseño básico de las Figs. 1 y 2.

5 Puede considerarse que el sistema 100 de generación de energía solar de las Figs. 1 y 2 tiene múltiples bloques funcionales que incluyen; uno o más concentradores 102 de energía solar, uno o más sistemas 104 de almacenamiento de energía térmica y uno o más bloques 106 de potencia. Un sistema 100 de generación de energía solar implementado comercialmente tendrá generalmente muchos concentradores 102 de energía solar en un campo solar para cada sistema 104 de almacenamiento de energía térmica o bloque 106 de potencia.

10 Los elementos 102 concentradores de energía solar pueden ser de cualquier tipo conocido, incluyendo pero sin limitarse a, reflectores cilindro-parabólicos, torres de energía solar basadas en helióstatos o aparatos similares. En todos los casos, el elemento 102 concentrador solar concentra la luz solar reflejada sobre la superficie de un tubo u otra estructura receptora dentro del cual se hace circular el fluido de transferencia de calor. El fluido de transferencia de calor es calentado, de esta manera, por la luz solar concentrada a una temperatura suficiente para accionar un generador de turbina de vapor, tal como se describe más adelante.

20 En las diversas realizaciones descritas en la presente memoria, cada uno de entre el concentrador 102 de energía solar, el sistema 104 de almacenamiento de energía térmica y el bloque 106 de potencia es mantenido en comunicación térmica a través de un circuito 108 de fluido de transferencia de calor. El circuito 108 de fluido de transferencia de calor, tal como se muestra en las Figs. 1 y 2, se denomina en la presente memoria circuito primario de fluido de transferencia de calor. El circuito 108 de fluido de transferencia de calor tiene fluido de transferencia de calor que fluye en el interior de los tubos, válvulas, bombas, elementos de intercambio de calor y otras estructuras del circuito 108. Típicamente, el fluido de transferencia de calor que fluye en el circuito 108 es aceite u otro líquido de transferencia de calor que tiene cualidades químicas, térmicas y físicas apropiadas.

30 El bloque 106 de potencia incluye varios componentes 110 del tren de vapor que permiten el intercambio de calor entre el fluido de transferencia de calor que fluye en el circuito 108 de fluido de transferencia de calor y el agua que fluye en un circuito 112 de vapor. Típicamente, el bloque 106 de potencia incluye al menos los siguientes componentes de tren de vapor; un precalentador 114, un evaporador 116 y un súper-calentador 118,

dispuestos en orden de menor a mayor temperatura de funcionamiento. En los distintos componentes 110 del tren de vapor, el calor es intercambiado entre el circuito 108 de fluido de transferencia de calor y el circuito 112 de vapor, resultando en la producción de vapor sobrecalentado que puede ser usado para accionar una turbina 120 de vapor para la generación de energía. Es importante tener en cuenta que un bloque de potencia implementado comercialmente es sustancialmente más complejo que el ilustrado esquemáticamente en la Fig. 1.

El sistema 104 de almacenamiento de energía térmica incluye una serie de múltiples cubos, cada uno de los cuales contiene un material de cambio de fase que tiene una temperatura de fusión seleccionada. En las ilustraciones esquemáticas de las Figs. 1-7, los cubos 122, 124 y 126 de material de cambio de fase respectivamente se ilustran en una serie en cascada. Es importante señalar, sin embargo, que un sistema de almacenamiento de energía térmica implementado comercialmente puede tener más o menos de 3 cubos. Además, un sistema implementado comercialmente puede tener múltiples contenedores de cualquier forma o tamaño que contienen un tipo específico de material de cambio de fase. En este caso, cada colección de recipientes interconectados que contienen el mismo material de fase constituye un cubo funcional.

Los cubos 122, 124, 126 están dispuestos en una cascada. Según se define en la presente memoria, un sistema de almacenamiento de energía térmica con material de cambio de fase "de cascada" o "en cascada", es uno en el que los diversos cubos de material de cambio de fase están dispuestos en una serie térmicamente decreciente. Por ejemplo, tal como se muestra en la Fig. 1, el cubo 122 de material de cambio de fase más próximo a la salida desde el campo solar se denomina cubo de material de cambio de fase "caliente". Este cubo contiene un material de cambio de fase que tiene una temperatura de punto de fusión más alta que los materiales de cambio de fase contenidos en otros cubos en la serie. Una salida del circuito de fluido de transferencia de calor desde el cubo 122 de material de cambio de fase caliente conduce a una entrada a un cubo 124 de material de cambio de fase intermedio. Una salida desde el cubo 124 de material de cambio de fase intermedio conduce a un cubo 126 frío y así sucesivamente hasta que se completa una cascada completa desde el cubo de temperatura más alta al cubo de temperatura más baja. En cada cubo, un aparato de intercambio de calor relativamente simple o más complejo permite el intercambio de calor entre el fluido de transferencia de calor que fluye en el circuito 108 de fluido de transferencia de calor y el material de cambio de fase contenido en el interior de cada cubo.

El sistema 100 de generación de energía solar puede hacerse funcionar en dos modos con respecto al sistema 104 de almacenamiento de energía térmica; un modo de carga y un modo de descarga. El funcionamiento en el modo de carga se representa esquemáticamente en la Fig. 1. En el modo de carga, la radiación solar incidente sobre un concentrador 102 de energía solar es concentrada por reflexión sobre una parte del circuito 108 de fluido de transferencia de calor que fluye a través o cerca del concentrador. De esta manera, en el modo de carga, el fluido de transferencia de calor relativamente más frío entra a una entrada 128 del campo solar en el circuito 108 de fluido de transferencia de calor y fluye a una salida 130 del campo solar en el lado opuesto de un concentrador 102 de energía solar mientras es calentado por la luz solar concentrada. Tras salir del concentrador 102 de energía solar, el fluido de transferencia de calor calentado es dirigido al bloque 106 de potencia y/o el sistema 104 de almacenamiento de energía térmica. En el bloque 106 de potencia, el fluido de transferencia de calor fluye a través de diversos componentes del tren de vapor para crear vapor súper calentado para la generación de energía, tal como se ha descrito anteriormente. A continuación, el fluido de transferencia de calor refrigerado es devuelto en el circuito 108 de fluido de transferencia de calor al campo solar para un calentamiento adicional.

De manera simultánea, o de manera alternativa, una parte del fluido de transferencia de calor en el circuito 108 de fluido de transferencia de calor puede ser dirigida a través del sistema 104 de almacenamiento de energía térmica. En el modo de carga, el fluido de transferencia de calor fluye primero al interior del cubo 122 de material de cambio de fase caliente, a continuación, al interior del cubo 123 de temperatura intermedia y, finalmente, al interior del cubo 126 de temperatura más fría. En cada cubo, el intercambio de calor con el material de cambio de fase hace que la energía térmica sea transferida al material de cambio de fase. Idealmente, el calor es transferido al material de cambio de fase hasta que el material de cambio de fase se funde completamente. Debido a que el punto de fusión del material en el cubo 122 "caliente" es más alto que el punto de fusión en el cubo 124 "intermedio", el fluido de transferencia de calor algo enfriado que sale del cubo 122 todavía está suficientemente caliente para fundir el material en el cubo 124 y así sucesivamente. Tal como se ha indicado anteriormente, típicamente, no es deseable añadir una cantidad significativa de calor sensible adicional a un cubo determinado de material de cambio de fase después de que el material de cambio de fase contenido en el mismo se ha fundido completamente. De esta manera, cuando todos los materiales de cambio de fase en todos los cubos se han fundido, el sistema de almacenamiento de energía térmica puede ser

descrito como "cargado" o completamente cargado. Tras salir del cubo 125 de material cambio de fase más frío, el entonces fluido de transferencia de calor refrigerado puede ser direccionado de vuelta al concentrador 102 de energía solar para ser recalentado por la energía solar.

- 5 Un sistema 100 de generación de energía alimentado por energía solar puede hacerse funcionar en modo de carga a la discreción del operario del sistema, siempre que haya disponible suficiente insolación para calentar el fluido de transferencia de calor que fluye a través de los concentradores 102 de energía solar a una temperatura suficientemente alta para fundir el material de cambio de fase en cada cubo.
- 10 El sistema 104 de almacenamiento de energía térmica proporciona al sistema 100 la capacidad de generar energía durante un período de tiempo después de que se haya puesto el sol, o cuando el sol está oculto por una cubierta nubosa. En la presente memoria, cuando el sistema 100 de generación de energía solar se hace funcionar sin entrada solar, se dice que el sistema está funcionando en un modo de "descarga". El funcionamiento del sistema básico en el modo de descarga se ilustra esquemáticamente en la Fig. 2. Tal como se muestra en la Fig. 2, el fluido de transferencia de calor que fluye en el circuito 108 de fluido de transferencia de calor fluye a través de los componentes 110 del tren de vapor en la misma dirección para conseguir el mismo vapor y etapas de producción de energía descritos anteriormente. Sin embargo, en el modo de descarga, el fluido de transferencia de calor de alta temperatura se obtiene haciendo fluir el flujo de fluido de transferencia de calor refrigerado en orden inverso a través de los cubos en cascada de material de cambio de fase. En particular, el fluido de transferencia de calor refrigerado se hace fluir a través del cubo 126 de material de cambio de fase frío, el cubo 124 de material de cambio de fase de temperatura intermedia y el cubo 122 de material de cambio de fase caliente, en ese orden. A medida que el material de cambio de fase en cada cubo se solidifica, se transfiere calor al fluido de transferencia de calor. Cuando todos los materiales de cambio de fase en todos los cubos se han solidificado, el sistema de almacenamiento de energía térmica puede describirse como totalmente "descargado" y, típicamente, es poco eficiente o imposible extraer más calor sensible desde el sistema para la generación de energía adicional.
- 20
- 25
- 30

Tal como se ha descrito anteriormente, la repetibilidad día a día presenta una dificultad significativa en el funcionamiento de un sistema de almacenamiento de energía térmica, tal como se muestra en las Figs. 1 y 2. En particular, la respuesta transitoria de carga del

sistema es bastante diferente de la respuesta transitoria de descarga. Esto se convierte en un problema cuando se intenta diseñar un sistema tal como el ilustrado en la Fig. 1 y la Fig. 2 que aprovechará apropiadamente las características energéticas beneficiosas del cambio de fase en casi el 100% del material de cambio de fase proporcionado.

5 La Fig. 3 ilustra esquemáticamente un procedimiento y un aparato mejorados para optimizar el control de un sistema 104 de almacenamiento de energía térmica para mejorar el rendimiento transitorio. El procedimiento mejorado ilustrado en la Fig. 3 incluye el direccionamiento de parte o la totalidad del flujo de fluido de transferencia de calor desde el campo solar a través de un cubo de material de cambio de fase antes de que el fluido de transferencia de calor sea dirigido al bloque 106 de potencia. Este re-direccionamiento se produce durante la producción activa de energía. En particular, parte o la totalidad del fluido de transferencia de calor extraído de la salida 130 del campo solar durante un período de tiempo seleccionado puede ser direccionado a través del cubo 122 de material de cambio de fase caliente antes de enviarlo al bloque de potencia. Cuando se emplea esta estrategia, el cubo 122 caliente puede cargarse completamente, incluso cuando la diferencia de temperatura que acciona la carga es mucho menor que la diferencia de temperatura que acciona la descarga. La implementación de la estrategia de mejora de control ilustrada en la Fig. 1 requiere al menos una rama secundaria al circuito de fluido de transferencia de calor, por ejemplo, un tubo 132 u otro conducto adicional y válvulas asociadas al circuito de fluido de transferencia de calor entre una salida desde un cubo, por ejemplo, el cubo 122 caliente, y la entrada del tren 110 de vapor, por ejemplo, antes del elemento 118 súper-calentador.

Un procedimiento y un aparato de mejora de control alternativos se ilustran esquemáticamente en la Fig. 4. Esta realización incluye el precalentamiento del sistema 100 por la mañana o cuando el sistema está frío mediante una descarga más completa de uno o más cubos de temperatura relativamente más fría, por ejemplo, el cubo 126. Debido a que las temperaturas de fusión del uno o más cubos fríos son demasiado bajas para calentar suficientemente el fluido de transferencia de calor para hacer funcionar el bloque de potencia después de que se ha descargado completamente el cubo 122 caliente, típicamente, el sistema 104 de almacenamiento de energía térmica y el bloque 106 de potencia deben apagarse cuando todavía hay un poco de energía latente disponible en los cubos más fríos. Esta energía puede ser usada para mejorar el rendimiento global de la planta descargándola para precalentar el campo solar y el bloque 106 de potencia antes del inicio de las operaciones de generación de energía.

Tradicionalmente, el período de puesta en marcha para una planta de energía solar por concentración es largo, del orden de una hora. Este periodo es necesario para calentar las turbinas y el fluido de transferencia de calor en los tubos del circuito de fluido de transferencia de calor. El uso de los cubos fríos para realizar parte o la totalidad del precalentamiento necesario permitirá que el sistema 100 comience la producción de energía más temprano en el día, aumentando, de esta manera, la salida total de energía. Además, este procedimiento y este aparato hacen que los cubos fríos se descarguen completamente, de manera que el sistema 104 de almacenamiento de energía térmica pueda ser cargado de manera más eficiente durante el día. La implementación del procedimiento de pre-calentamiento de los cubos más fríos requiere la adición de una o más ramas secundarias al circuito de fluido de transferencia de calor, por ejemplo, el tubo 134 que conduce desde el bloque de potencia al cubo 126 y, a continuación, a la entrada 128 del campo solar o de vuelta al bloque de potencia. Aunque en la Fig. 4 sólo se muestra un tubo 134 adicional, esta realización podría ser implementada con cualquier combinación de tubos que salen de los cubos de temperatura más frías y circunvalan el cubo 122 caliente.

Un procedimiento y un aparato de mejora de control alternativos se ilustran esquemáticamente en la Fig. 5. Esta realización incluye la inyección directa de fluido de transferencia de calor entre los cubos individuales de material de cambio de fase y los componentes correspondientes del tren de vapor durante la fase de descarga de la generación de energía. Se requiere que la temperatura del fluido de transferencia de calor en la salida de la cascada de material de cambio de fase durante la descarga sea ligeramente menor que la temperatura máxima diseñada de entrada del bloque de potencia; de lo contrario, el fluido de transferencia de calor a la temperatura máxima de entrada del bloque de potencia no podría cargar eficazmente el cubo 122 caliente. Por lo tanto, el tren 110 de vapor no puede recibir la entrada de calor máxima diseñada durante la operación de descarga. En este estado fuera del diseño, puede ser favorable sobrecargar algunos intercambiadores de calor del tren de vapor en el lado del fluido de transferencia de calor para aumentar el flujo de calor al tren de vapor y, además, para equilibrar con mayor precisión las tasas de descarga de material de cambio de fase.

Aunque los diversos cubos en el sistema de almacenamiento de energía térmica pueden estar unidos a través de tubos de entrada y salida del circuito de transferencia de calor con cualquiera de los componentes del tren de vapor, es deseable que la temperatura de descarga de un cubo seleccionado coincida con la temperatura óptima de funcionamiento

del componente correspondiente del tren de vapor. Por ejemplo, la temperatura de fusión del material de cambio de fase en un cubo determinado puede ser aproximadamente igual a la temperatura de funcionamiento diseñada del componente correspondiente del tren de vapor.

- 5 Tal como se ilustra en la Fig. 5, esta realización puede ser implementada con una o más ramas secundarias al circuito de fluido de transferencia de calor, por ejemplo, tubos 136 y 138 que conducen desde los cubos intermedios a los componentes correspondientes del tren de vapor. Además, pueden necesitarse tubos 140 y 142 secundarios de fluido de transferencia de calor que conducen desde el tren de vapor al siguiente cubo más caliente.
- 10 Un procedimiento y un aparato de mejora de control alternativos se ilustran esquemáticamente en la Fig. 6. Esta realización realiza una descarga parcial del sistema 104 de almacenamiento de energía térmica durante los períodos de baja insolación. De esta manera, conforme se pone el sol pero todavía proporciona un poco de luz a los concentradores solares o conforme las nubes oscurecen parcialmente el sol, el flujo de
- 15 fluido de transferencia de calor desde el campo solar al bloque 106 de potencia es complementado con el flujo de fluido de transferencia de calor desde el sistema 104 de almacenamiento de energía térmica para mantener el caudal óptimo de entrada del bloque de potencia. Debido a que, típicamente, los cubos más fríos en un sistema 104 de almacenamiento de energía térmica (por ejemplo los cubos 124 y 126) tienen exceso de
- 20 energía almacenada en comparación con el cubo 122 caliente, es posible descargar los cubos 124, 126 más fríos primero, mientras se mantiene la carga completa en el cubo caliente. De esta manera, esta realización realiza un direccionamiento del flujo de fluido de transferencia de calor desde la salida del tren de vapor a través de uno o dos cubos fríos para precalentarlo antes de enviarlo al campo solar para el calentamiento solar final a una
- 25 temperatura operativa. La implementación de esta mejora requiere una o más ramas secundarias al circuito de fluido de transferencia de calor, por ejemplo, los tubos 144 y 146, tal como se muestra en la Fig. 6. El tubo 144 conduce desde la salida del cubo 124 a la entrada 128 del campo solar y el tubo 146 conduce desde la salida del cubo 126 a la entrada 128 del campo solar.
- 30 Cada una de las realizaciones para un control mejorado del sistema de almacenamiento térmico descrito anteriormente podrían ser implementadas individualmente, o en combinación con otras realizaciones alternativas. Por ejemplo, la Fig. 7 ilustra esquemáticamente un sistema 100 que presenta cada una de las mejoras de control

descritas en la presente memoria en combinación. La realización de la Fig. 7 incluye, pero no se limita a, un sistema de generación de energía solar o un sistema de almacenamiento de energía térmica, que comprende el circuito de fluido de transferencia de calor primario de las Figs. 1 y 2, en particular, el elemento 108 del circuito de fluido de transferencia de calor y diversas ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor. Las ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor pueden ser implementadas en cualquier combinación e incluyen, pero no se limitan a, los tubos 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144 y 146. La implementación de cada mejora descrita en la presente memoria en cualquier combinación proporciona a un operario de un sistema de generación de energía solar por concentración una gran flexibilidad sobre la gestión de la carga y la descarga de un sistema de almacenamiento de energía térmica con material de cambio de fase en cascada.

Diversas realizaciones de la descripción podrían incluir también permutaciones de los diversos elementos indicados en las reivindicaciones, como si cada reivindicación dependiente anterior fuera una reivindicación dependiente múltiple que incorpora las limitaciones de cada una de las reivindicaciones dependientes anteriores, así como las reivindicaciones independientes. Dichas permutaciones están incluidas expresamente dentro del alcance de la presente descripción.

Aunque las realizaciones descritas en la presente memoria se han mostrado y descrito particularmente con referencia a una serie de alternativas, las personas con conocimientos en la materia entenderán que pueden realizarse cambios en la forma y los detalles a las diversas configuraciones descritas en la presente memoria sin apartarse del espíritu y el alcance de la descripción. Las diversas realizaciones descritas en la presente memoria no pretenden actuar como limitaciones del alcance de las reivindicaciones. Todas las referencias indicadas en la presente memoria se incorporan en su totalidad, por referencia.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de utilización de energía solar que comprende:

proporcionar un circuito de fluido de transferencia de calor que tiene un fluido de transferencia de calor que fluye en su interior, en el que el circuito de fluido de transferencia de calor está en comunicación térmica con:

un concentrador de energía solar,

un sistema de almacenamiento de energía térmica que comprende una serie en cascada de múltiples cubos de material de cambio de fase, y

un bloque de potencia;

hacer fluir un fluido de transferencia de calor desde una entrada del concentrador de energía solar a una salida del concentrador de energía solar, haciendo que el fluido de transferencia de calor sea calentado con energía solar concentrada;

mientras se produce energía activamente con el bloque de potencia, direccionando parte o la totalidad del fluido de transferencia de calor desde la salida del concentrador de energía solar a través de un cubo de material de cambio de fase causando un intercambio de calor entre el fluido de transferencia de calor y el material de cambio de fase; y

hacer fluir el fluido de transferencia de calor direccionado al cubo de material de cambio de fase desde el cubo de fluido de transferencia de calor a través del bloque de potencia causando el intercambio de calor entre el fluido de transferencia de calor y el agua en un circuito de vapor asociado con el bloque de potencia antes de hacer fluir el fluido de transferencia de calor de nuevo al concentrador de energía solar.

2. Procedimiento de utilización de energía solar según la reivindicación 1, incluyendo un cubo de alta temperatura, con un material de cambio de fase que tiene una temperatura de fusión más alta que los materiales de cambio de fase incluidos en otros cubos de la serie en cascada.

3. Un sistema de generación de energía solar que comprende:

un circuito de fluido de transferencia de calor que permite el flujo de un fluido de transferencia de calor en su interior;

un concentrador de energía solar en comunicación térmica con el circuito de fluido de transferencia de calor;

un sistema de almacenamiento de energía térmica que comprende una serie, en cascada, de múltiples cubos de material de cambio de fase en comunicación térmica con el circuito de fluido de transferencia de calor; en el que una entrada a un primer cubo del sistema de almacenamiento de energía térmica está en comunicación directa a través del circuito de fluido de transferencia de calor con una salida del concentrador de energía solar; y

un bloque de potencia en el que una entrada al bloque de potencia está en comunicación directa a través del circuito de fluido de transferencia de calor con una salida del primer cubo del sistema de almacenamiento de energía térmica causando que el calor sea transferido desde el fluido de transferencia de calor que fluye al interior del primer cubo del sistema de almacenamiento de energía térmica y al bloque de potencia y en el que la salida desde el primer cubo está también en comunicación directa a través del circuito de fluido de transferencia de calor con una entrada a otro cubo del sistema de almacenamiento de energía térmica.

4. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 3, en el que el primer cubo es un cubo de alta temperatura que incluye un material de cambio de fase que tiene una temperatura de fusión mayor que los materiales de cambio de fase incluidos en otros cubos de la serie en cascada.

5. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 3, donde cada cubo incluye una cantidad de un material de cambio de fase y que comprende además:

un intercambiador de calor asociado con cada cubo y el circuito de fluido de transferencia de calor de manera que puede intercambiarse calor entre el fluido de transferencia de calor y el material de cambio de fase en cada cubo; y

una rama secundaria del circuito de fluido de transferencia de calor que conecta una salida de uno de los cubos directamente a una entrada del bloque de potencia, mientras se almacena energía, de manera activa, en el sistema de almacenamiento de energía térmica y se produce energía con el bloque de potencia.

6. Procedimiento de utilización de energía solar según la reivindicación 1; donde el procedimiento comprende además:

hacer fluir el fluido de transferencia de calor desde una salida del bloque de potencia a través de al menos uno de los cubos incompletamente descargados del sistema de almacenamiento de energía térmica causando un intercambio de calor entre los materiales de cambio de fase en al menos uno de los cubos y el fluido de transferencia de calor,

después de la descarga completa de al menos un cubo del sistema de almacenamiento de energía térmica, pero antes de cargar el sistema de almacenamiento de energía térmica; y hacer fluir el fluido de transferencia de calor precalentado desde al menos uno de los cubos a al menos uno de entre el concentrador de energía solar y el bloque de potencia.

5 7. Procedimiento de utilización de energía solar según la reivindicación 6, donde el procedimiento además comprende; recibir, en al menos uno de los cubos del sistema de almacenamiento de energía térmica, fluido de transferencia de calor desde el bloque de potencia; teniendo el cubo una temperatura más fría e incluyendo un material de cambio de fase que tiene una temperatura de fusión más baja que los materiales de cambio de fase
10 contenidos en al menos otro cubo de la serie en cascada.

8. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 3, donde:
una entrada de al menos uno de los cubos del sistema de almacenamiento de energía térmica está en comunicación directa a través del circuito de fluido de transferencia de calor con una salida desde un bloque de potencia; y una salida desde al menos uno de los cubos
15 del sistema de almacenamiento de energía térmica está en comunicación directa a través del circuito de fluido de transferencia de calor con el concentrador de energía solar, causando que el fluido de transferencia de calor que fluye en el circuito de fluido de transferencia de calor sea calentado después de que al menos un cubo del sistema de almacenamiento de energía térmica haya sido descargado, pero antes de que el sistema de
20 energía térmica sea cargado o calentado por descarga parcial del sistema de almacenamiento de energía térmica durante los períodos de insolación insuficiente para cargar el sistema de almacenamiento de energía térmica.

9. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 3; donde cada cubo incluye una cantidad de un material de cambio de fase y comprende:

25 un intercambiador de calor asociado con cada cubo y el circuito de fluido de transferencia de calor de manera que puede intercambiarse calor entre el fluido de transferencia de calor y el material de cambio de fase en cada cubo; y

una rama secundaria del circuito de fluido de transferencia de calor que conecta una salida desde un bloque de potencia a una entrada a al menos uno de los cubos del sistema de
30 almacenamiento de energía térmica después de la descarga del sistema de almacenamiento de energía térmica, pero antes de cargar el sistema de almacenamiento de energía térmica o durante los períodos de insolación insuficiente para cargar el sistema de

almacenamiento de energía térmica.

10. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 8 o 9, en el que al menos uno de los cubos del sistema de almacenamiento de energía térmica en comunicación con la salida del bloque de potencia; es un cubo con una temperatura más
5 fría que incluye un material de cambio de fase que tiene una temperatura de fusión más baja que los materiales de cambio de fase incluidos en al menos otro cubo de la serie en cascada.

11. Procedimiento de utilización de energía solar según la reivindicación 1; en el que cada cubo incluye un material de cambio de fase que tiene una temperatura de fusión
10 seleccionada y donde el

bloque de potencia está compuesto por múltiples componentes de un tren de vapor en el que cada componente del tren de vapor tiene una temperatura de funcionamiento de diseño; y

mientras se descarga el sistema de almacenamiento de energía térmica, hacer fluir el fluido
15 de transferencia de calor desde un primer cubo seleccionado de material de cambio de fase a la entrada de un primer componente del tren de vapor correspondiente y hacer fluir el fluido de transferencia de calor desde un segundo cubo seleccionado de material de cambio de fase a la entrada de un segundo componente correspondiente del tren de vapor,
causando un intercambio de calor entre el fluido de transferencia de calor y el agua en un
20 circuito de vapor asociado con cada uno de los componentes seleccionados del tren de vapor.

12. Procedimiento de utilización de energía solar según la reivindicación 11, en el que la temperatura de fusión del material de cambio de fase en el primer cubo corresponde a la temperatura de funcionamiento diseñada del primer componente del tren de vapor y la
25 temperatura de fusión del material de cambio de fase en el segundo cubo corresponde a la temperatura de funcionamiento diseñada del segundo componente del tren de vapor.

13. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 3; en el que el bloque de potencia está compuesto por múltiples componentes de un tren de vapor unidos por un circuito de vapor, en el que una salida del circuito de fluido de transferencia de calor desde al menos el primer cubo y el segundo cubo del sistema de almacenamiento de
30 energía térmica están en comunicación directa con una entrada del circuito de fluido de transferencia de calor a, al menos, el primer componente correspondiente y el segundo

componente correspondiente del tren de vapor.

14. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 13; donde cada cubo incluye una cantidad de un material de cambio de fase y el sistema además comprende:

múltiples ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor que conectan una salida desde al menos un primer cubo y un segundo cubo a una entrada de al menos un primer componente y un segundo componente del tren de vapor durante la descarga del sistema de almacenamiento de energía térmica.

15. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 13 o 14, en el que la temperatura de fusión del material de cambio de fase en el primer cubo corresponde a la temperatura de funcionamiento diseñada del primer componente del tren de vapor y la temperatura de fusión del material de cambio de fase en el segundo cubo corresponde a una temperatura de funcionamiento diseñada del segundo componente del tren de vapor.

16. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 13 o 14, en el que la temperatura de fusión del material de cambio de fase en el primer cubo es aproximadamente igual a la temperatura de funcionamiento diseñada del primer componente del tren de vapor y la temperatura de fusión del material de cambio de fase en el segundo cubo es aproximadamente igual a una temperatura de funcionamiento diseñada del segundo componente del tren de vapor.

17. Procedimiento de utilización de energía solar según la reivindicación 1; donde el procedimiento comprende además:

durante los períodos de insolación demasiado baja para cargar el sistema de almacenamiento de energía térmica, descargar parcialmente el sistema de almacenamiento de energía térmica haciendo fluir un fluido de transferencia de calor desde una salida del bloque de potencia a través de al menos uno de los cubos del sistema de almacenamiento de energía térmica causando el intercambio de calor entre los materiales de cambio de fase en el uno o más cubos y el fluido de transferencia de calor; y

hacer fluir el fluido de transferencia de calor precalentado desde al menos uno de los cubos a través del concentrador de energía solar al bloque de potencia causando el intercambio de calor entre el fluido de transferencia de calor y el agua en un circuito de vapor asociado con el bloque de potencia.

18. Procedimiento de utilización de energía solar según la reivindicación 17, en el que al

menos uno de los cubos del sistema de almacenamiento de energía térmica que reciben el fluido de transferencia de calor desde el bloque de potencia son cubos a una temperatura más fría que incluyen un material de cambio de fase que tiene una temperatura de fusión más baja que los materiales de cambio de fase incluidos en otros cubos de la serie en cascada.

5

19. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 3, donde el sistema comprende:

un bloque de potencia en comunicación térmica con el circuito de fluido de transferencia de calor del bloque de potencia que está compuesto por múltiples componentes de un tren de vapor en comunicación térmica con un circuito de vapor; y

10

una rama secundaria del circuito de fluido de transferencia de calor que se extiende entre un cubo de material de cambio de fase y un componente del tren de vapor o una rama secundaria del circuito de fluido de transferencia de calor que se extiende entre un cubo de material de cambio de fase y el campo solar.

15

20. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 19; donde el sistema comprende además:

un intercambiador de calor asociado con cada cubo y el circuito de fluido de transferencia de calor de manera que puede intercambiarse calor entre el fluido de transferencia de calor y el material de cambio de fase en cada cubo.

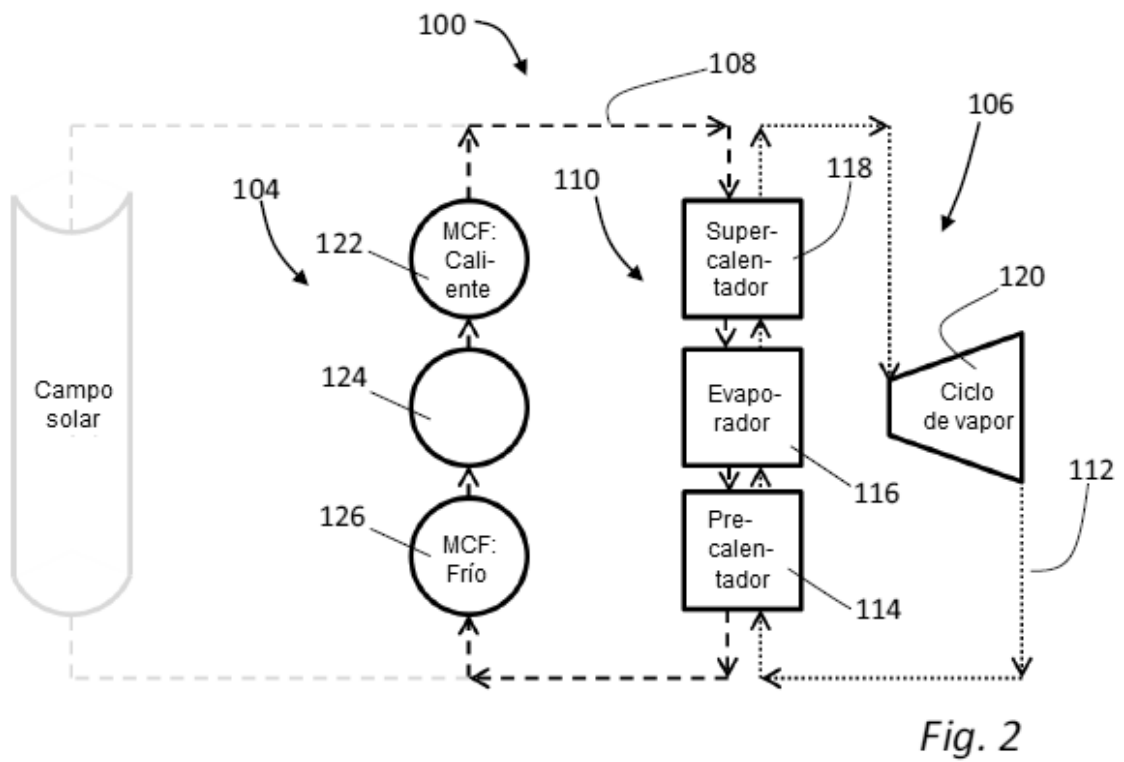
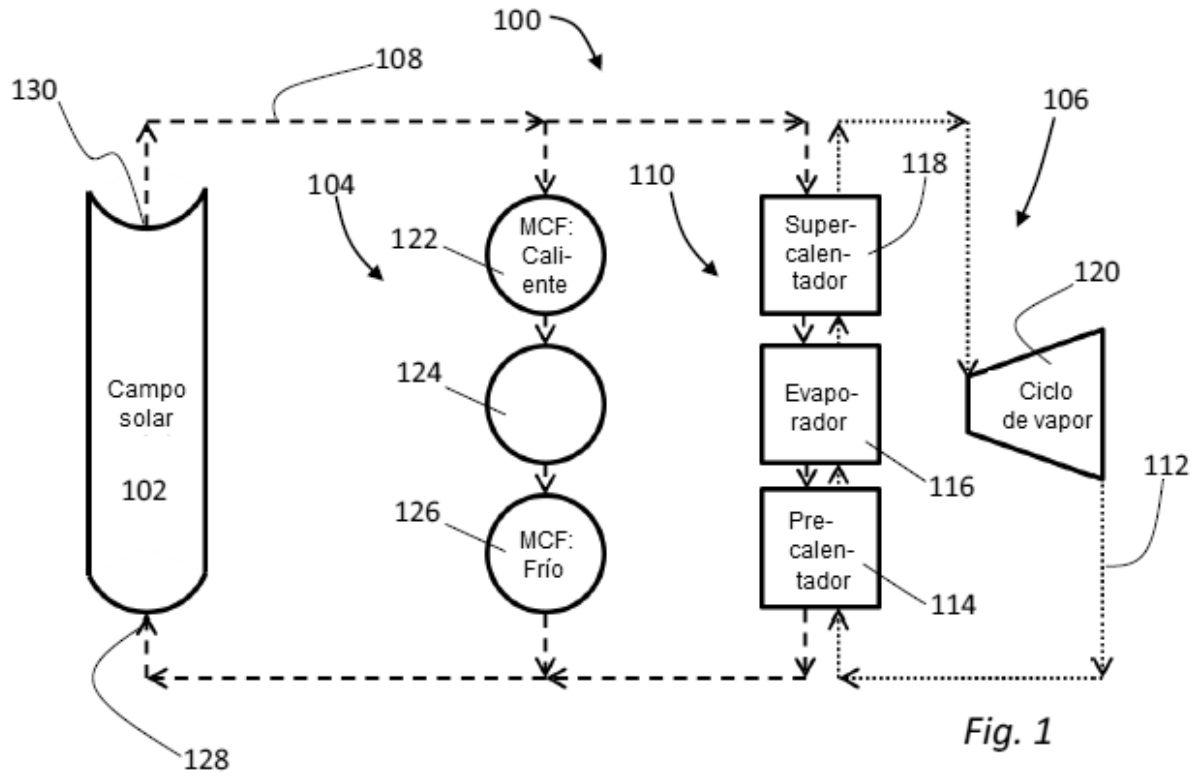
20

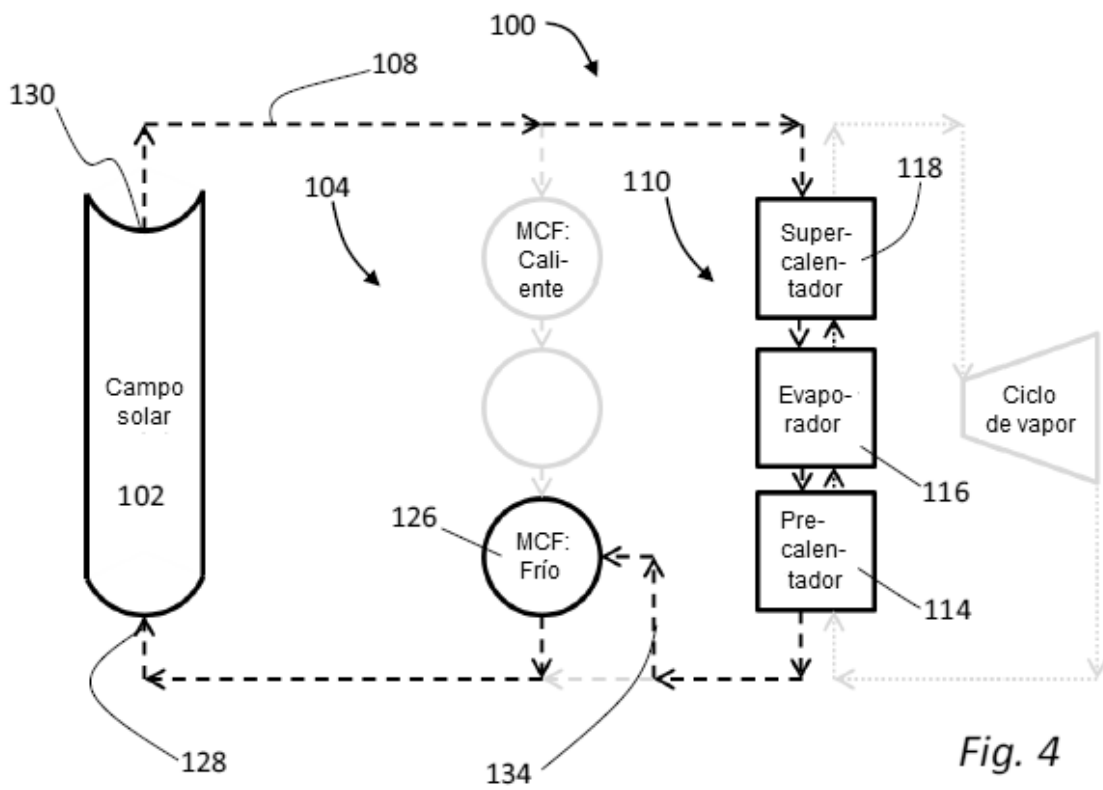
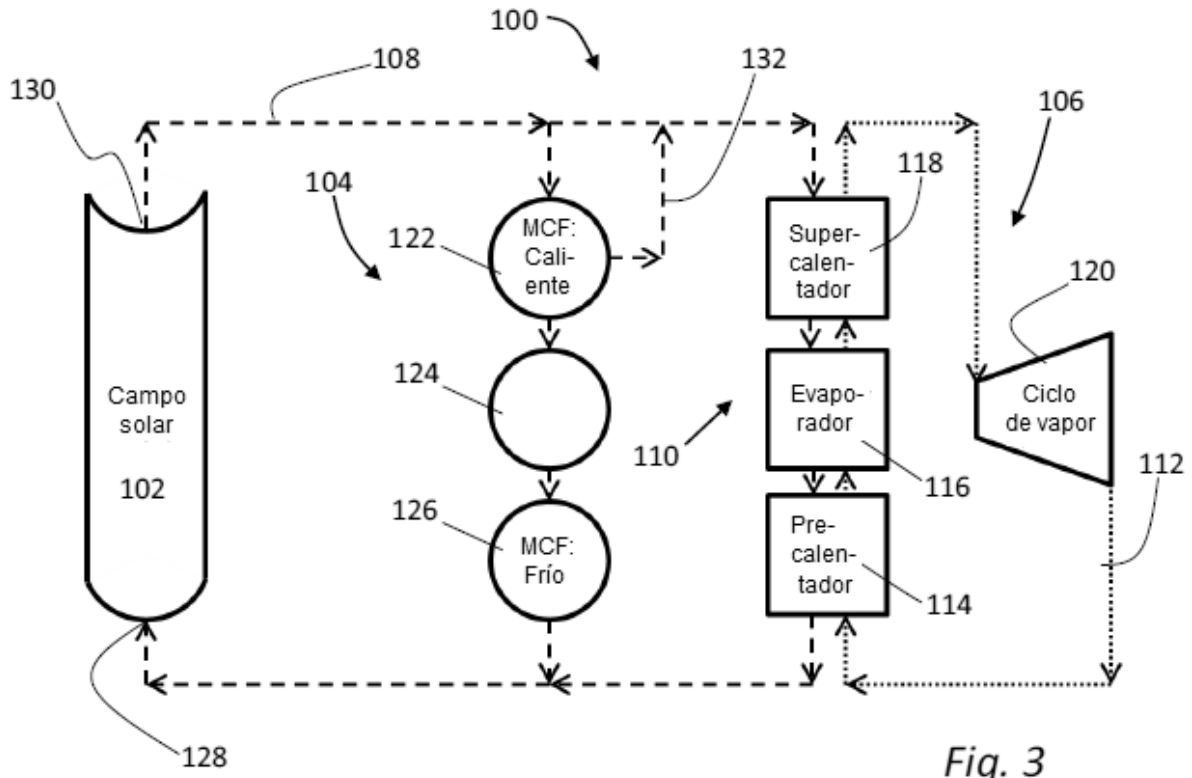
21. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 19 a 20, que comprende además una rama secundaria del circuito de fluido de transferencia de calor que se extiende entre un cubo de material de cambio de fase y un componente del tren de vapor y una rama secundaria del circuito de fluido de transferencia de calor que se extiende entre un cubo de material de cambio de fase y el campo solar.

25

22. Sistema de generación de energía solar según la reivindicación 19 a 21, que comprende además múltiples ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor que se extienden entre cubos de material de cambio de fase seleccionados y uno o más componentes del tren de vapor y múltiples ramas secundarias del circuito de fluido de transferencia de calor que se extienden entre los cubos de material de cambio de fase seleccionados y el campo solar.

30





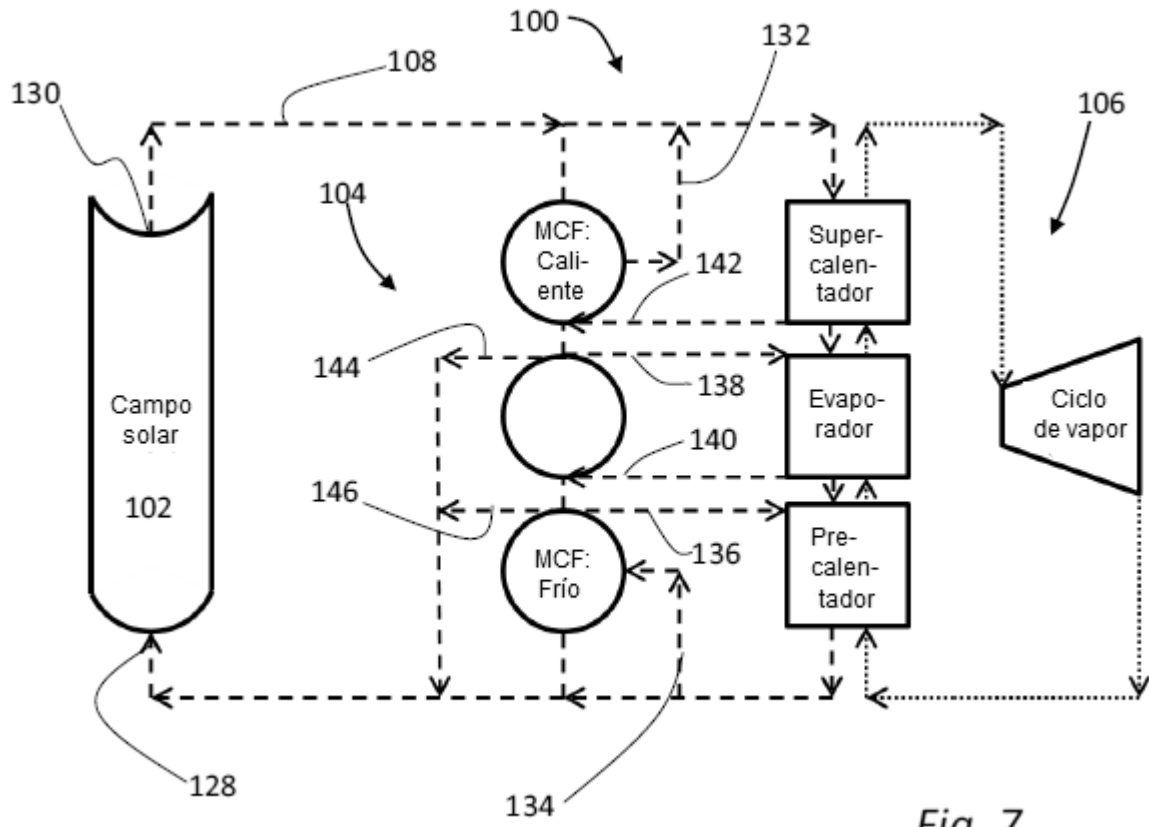


Fig. 7