

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 939**

51 Int. Cl.:

F24S 23/74 (2008.01)

F24S 10/30 (2008.01)

F24S 60/00 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.01.2014 PCT/IB2014/058458**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14147491**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.01.2014 E 14767720 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019 EP 2976579**

54 Título: **Aparato de intercambio de calor y método para almacenamiento de energía**

30 Prioridad:

20.03.2013 US 201361803518 P

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

21.02.2020

73 Titular/es:

**BREMILLER ENERGY LTD. (100.0%)
13/4 Amal Street, P.O.Box 11391, Afek Industrial
Park
Rosh HaAyin, IL**

72 Inventor/es:

**BREMILLER, AVI y
EZER, RAMI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 743 939 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

Aparato de intercambio de calor y método para almacenamiento de energía

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere en general a la generación de energía térmica, tal como en sistemas de energía solar térmica, y particularmente a métodos y aparatos para el almacenamiento de energía térmica.

Antecedentes

En los sistemas de energía solar térmica, los rayos del sol se concentran para calentar un fluido a alta temperatura (generalmente en el intervalo de 300-550°C). Por lo general, el fluido calentado se canaliza desde el concentrador solar para accionar una turbina con el fin de generar electricidad.

10 Sin embargo, al igual que otros tipos de sistemas de energía solar, los sistemas de energía solar térmica sufren el problema inherente de que recolectan energía solo mientras el sol brilla a una elevación suficientemente alta, es decir, sustancialmente menos del 50% del tiempo de media. Además, las horas de recolección de energía generalmente no se superponen con las horas de consumo máximo de energía eléctrica. Por lo tanto, se han propuesto y puesto en práctica varias soluciones para almacenar la energía térmica recolectada para su uso en el accionamiento de turbinas fuera de horario. La mayor parte del interés a este respecto se ha centrado en materiales que tienen una alta capacidad térmica y también son buenos conductores térmicos, tales como las sales fundidas.

15 También se han propuesto y probado otros tipos de materiales para el almacenamiento de calor. Por ejemplo, Robert H. Turner describe la evaluación experimental de varios materiales para tales fines en "Almacenamiento de energía térmica a alta temperatura en acero y arena", Publicación JPL 80-35 (Laboratorio de Propulsión a Chorro, Pasadena, California, 1979) Este estudio evaluó lingotes de acero huecos, tuberías incrustadas en concreto y tuberías enterradas en arena. Concluyó que para las unidades de almacenamiento térmico a gran escala, el planteamiento de tubería de arena ofrece posibilidades atractivas.

Compendio

25 Las realizaciones de la presente invención que se describen a continuación proporcionan métodos y aparatos mejorados para el almacenamiento de energía térmica, así como sistemas de energía solar térmica que incorporan tales medios de almacenamiento.

Por lo tanto, se proporciona, según una realización de la presente invención, un aparato de intercambio de calor con las características según la reivindicación 1.

30 En algunas realizaciones, el recinto incluye una zanja excavada. El medio de almacenamiento de calor puede incluir tierra, posiblemente tierra excavada de la zanja y rellenada a continuación en la zanja después de la instalación de los tubos de transferencia de calor en la misma.

35 De manera adicional o alternativa, al menos el 50% en volumen del medio de almacenamiento de calor puede consistir en rocas ígneas. En una realización, el medio de almacenamiento de calor incluye una capa aislante externa que incluye roca tufácea. Además adicional o alternativamente, el medio de almacenamiento de calor puede incluir un material en partículas que llene espacios entre las rocas ígneas, en donde el material en partículas puede incluir rocas ígneas pulverizadas y/o fragmentos metálicos.

En una realización descrita, el aparato incluye aletas acopladas externamente a los tubos de transferencia de calor dentro del recinto.

40 En una realización, los primeros tubos de transferencia de calor están acoplados de manera que el primer fluido refrigerado vuelve desde el segundo extremo para ser recalentado por la fuente de energía, y los segundos tubos de transferencia de calor están acoplados para recibir en el segundo extremo el segundo fluido que se ha refrigerado al accionar el equipo objetivo.

45 El aparato puede incluir un colector de conexión al que se acoplan un primer y segundo extremos de los primer y segundo tubos de transferencia de calor, en donde los caminos respectivos son caminos lineales, que van desde el colector de conexión a lo largo de una longitud del recinto y están doblados para volver a lo largo del recinto hasta el colector de conexión. Alternativamente, los caminos respectivos son caminos serpentinos, que incluyen múltiples curvas entre el primer y el segundo extremo. El colector de conexión puede estar contenido dentro del medio de almacenamiento de calor en el recinto.

50 En una realización descrita, el medio de almacenamiento de calor está configurado para recibir simultáneamente el calor del primer fluido transportado por los primeros tubos de transferencia de calor y para liberar al menos una parte del calor al segundo fluido a través de los segundos tubos de transferencia de calor para accionar el equipo objetivo.

Típicamente, la fuente de energía incluye una fuente diurna, que calienta el primer fluido durante las horas del día, y el medio de almacenamiento de calor está configurado para recibir y almacenar el calor del primer fluido durante las horas del día y para liberar el calor al segundo fluido durante las horas nocturnas

5 En algunas realizaciones, el primer fluido es gaseoso a temperatura y presión estándar (STP), mientras que el segundo fluido es líquido a STP. En una de tales realizaciones, el primer fluido incluye dióxido de carbono, y el segundo fluido incluye agua. El primer fluido puede incluir un gas raro seleccionado de un grupo de gases raros que consiste en argón, criptón y xenón.

10 También se proporciona, según una realización de la presente invención, un sistema para la generación de energía, que incluye uno o más colectores solares, que están configurados para concentrar energía solar para calentar un primer fluido, y una turbina, que está acoplada para ser accionada por un segundo fluido calentado para generar electricidad. El aparato de almacenamiento de calor en el sistema incluye las características de la reivindicación 1.

En algunas realizaciones, los colectores solares se despliegan sobre un campo, y al menos una parte del aparato de almacenamiento de calor está enterrada debajo del campo. Típicamente, el recinto incluye una zanja excavada en el campo.

15 El aparato de almacenamiento de calor puede estar configurado para recibir simultáneamente el calor del primer fluido y liberar al menos una parte del calor al segundo fluido para accionar la turbina. En una realización descrita, el aparato de almacenamiento de calor está configurado para controlar una velocidad de descarga del calor desde el aparato mediante la regulación de un flujo del segundo fluido a través de los segundos tubos de transferencia de calor.

20 En algunas realizaciones, el sistema incluye una fuente de energía de respaldo, que está configurada para calentar el primer fluido por combustión de un combustible, y está acoplada para transportar el primer fluido calentado a los primeros tubos de transferencia de calor para complementar el calor proporcionado por los colectores solares. La fuente de energía de respaldo puede configurarse para calentar el primer fluido simultáneamente con el calentamiento del primer fluido por los colectores solares.

25 Se proporciona adicionalmente, de conformidad con una realización de la presente invención, un sistema para la generación de energía, que incluye una serie de colectores solares, que tienen un primer y segundo extremos respectivos y ejes de colector respectivos, que se extienden entre el primer y el segundo extremo, que son mutuamente paralelos a lo largo de una primera dirección y están configurados para concentrar energía solar para calentar un fluido. El aparato de almacenamiento de calor en el sistema incluye tubos de transferencia de calor, contenidos dentro de un recinto, y un medio de almacenamiento de calor, que llena el recinto. El aparato tiene un eje longitudinal que se ejecuta en una segunda dirección, perpendicular a la primera dirección, y se coloca adyacente a los primeros extremos de los colectores solares. Las tuberías de transferencia en caliente se acoplan para transportar el fluido calentado desde cada uno de los colectores solares a los tubos de transferencia de calor en el aparato de almacenamiento de calor, cada una de las tuberías de transferencia en caliente entra en el recinto en un punto adyacente al primer extremo de un colector solar respectivo.

35 En una realización descrita, el aparato de almacenamiento de calor incluye un colector de conexión, que está configurado para recibir el fluido calentado desde los colectores solares y para distribuir el fluido calentado a los tubos de transferencia de calor, en donde el colector de conexión está contenido dentro del medio de almacenamiento de calor en el recinto.

40 El sistema puede incluir también una tubería de transferencia fría, que está acoplada para transportar el fluido desde los tubos de transferencia de calor, después de la transferencia de calor desde el fluido al medio de almacenamiento de calor, fuera del aparato de almacenamiento de calor a los segundos extremos de los colectores solares.

Se proporciona además, según una realización de la presente invención, un método para el almacenamiento de energía, con las características de la reivindicación 14.

45 Además, se proporciona un método para el almacenamiento de energía, que incluye el suministro de un recinto y el intercalado de un primer y segundo tubos de transferencia de calor dentro del recinto. Los primeros tubos de transferencia de calor están acoplados para recibir un primer fluido calentado por una fuente de energía. Los segundos tubos de transferencia de calor están acoplados para recibir y calentar un segundo fluido mediante transferencia de calor desde el primer fluido, y para emitir el segundo fluido calentado para accionar el equipo objetivo. El recinto que contiene los primer y segundo tubos de transferencia de calor intercalados se llena con un medio de almacenamiento de calor.

50 En una realización, el medio de almacenamiento de calor incluye tierra, y el llenado del recinto incluye compactar y, a continuación, humedecer la tierra.

55 En algunas realizaciones, el método incluye el acoplamiento de uno o más colectores solares para calentar el primer fluido para su introducción en los primeros tubos de transferencia de calor, y el suministro de una fuente de energía de respaldo para calentar el primer fluido mediante la combustión de un combustible. La fuente de energía de respaldo está acoplada para transportar el primer fluido calentado a los primeros tubos de transferencia de calor para

complementar el calor proporcionado por los colectores solares. El acoplamiento de la fuente de energía de respaldo puede incluir el calentamiento del primer fluido mediante el uso de la fuente de energía de respaldo simultáneamente con el calentamiento del primer fluido por los colectores solares.

5 En algunas realizaciones, el método incluye el control de un flujo del segundo fluido para recibir simultáneamente el calor del primer fluido y liberar al menos una parte del calor para accionar el equipo objetivo. El control del flujo incluye típicamente el control de una velocidad de descarga del calor del medio de almacenamiento de calor mediante la regulación del flujo del segundo fluido a través de los segundos tubos de transferencia de calor. La descarga puede ser regulada sin el ajuste de válvulas que no sean para el control de un caudal total.

10 La presente invención se comprenderá más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones de la misma, tomada junto con los dibujos en donde:

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra esquemáticamente un sistema de energía térmica, según una realización de la presente invención;

15 La figura 2 es una ilustración gráfica esquemática de un campo solar con almacenamiento de energía térmica, según una realización de la presente invención;

La figura 3 es una ilustración gráfica esquemática de un tubo usado en un aparato de almacenamiento de energía térmica, según una realización de la presente invención;

La figura 4 es una vista esquemática detallada de aletas de distribución de calor que están asociadas con tubos en aparatos de almacenamiento de energía térmica, según una realización de la presente invención;

20 Las figuras 5A y 5B son diagramas esquemáticos de gradientes de temperatura de gas y agua, respectivamente, a lo largo de la longitud del tubo de almacenamiento de energía, según una realización de la presente invención;

La figura 6 es una ilustración gráfica esquemática de un tubo utilizado en un aparato de almacenamiento de energía térmica, según una realización alternativa de la presente invención;

25 La figura 7A es una vista superior esquemática del aparato de almacenamiento y transferencia de calor, según una realización de la presente invención; y

La figura 7B es una vista esquemática en sección del aparato de la figura 7A, tomada a lo largo de la línea marcada VIIB-VIIB en la figura 7A.

Descripción detallada de las realizaciones

30 Debido a que las fuentes de energía solar son inherentemente diurnas, el almacenamiento de energía es una parte necesaria y crucial de los sistemas de energía solar. Sin embargo, las soluciones existentes para el almacenamiento del calor generado por los sistemas solares térmicos tienden a ser costosas, voluminosas y difíciles de mantener.

35 Las realizaciones de la presente invención que se describen en esta memoria proporcionan aparatos y métodos innovadores para el almacenamiento de calor, que están optimizados para hacer un uso eficiente y rentable de la energía solar térmica. Las realizaciones descritas proporcionan un aparato de almacenamiento de calor que integra varias funciones que normalmente se implementan mediante componentes separados en instalaciones conocidas en la técnica: el aparato no solo almacena el calor generado por los colectores solares, sino que también sirve como un intercambiador de calor para transferir el calor al fluido que utiliza el equipo objetivo, tal como accionar una turbina. Además, el aparato es capaz de recibir calor suplementario, desde una fuente de energía de respaldo (tal como un quemador de combustible fósil), para calentar el fluido a la temperatura deseada en todas las condiciones. Además, 40 en algunas realizaciones, el aparato contiene un nuevo sistema de tuberías, en donde el fluido calentado entra en el aparato directamente desde cada uno de los colectores solares, lo que evita la necesidad de un cabezal de tubería separado.

45 En las realizaciones descritas, los tubos de transferencia de calor se despliegan en un recinto, que se llena con tierra u otros medios de almacenamiento de calor después del despliegue de los tubos. Los tubos de transferencia de calor reciben fluido que es calentado por la fuente de energía (tal como una matriz de colectores solares), y el medio que cubre y rodea los tubos almacena al menos una parte del calor del fluido hasta que se descarga, para ejecutar una turbina, por ejemplo.

50 "Tierra", en el contexto de la presente descripción y en las reivindicaciones, significa materia sólida que se excava del suelo, tal como arena, grava y/o rocas. Aunque es más baja en capacidad de calor y conductancia que algunos otros medios de almacenamiento, la tierra tiene las ventajas de ser de bajo coste y de fácil disponibilidad. En algunas realizaciones, el recinto para los tubos de transferencia de calor se crea excavando una zanja en el suelo. Por lo tanto, el aparato de almacenamiento de calor se puede instalar bajo tierra en la ubicación en donde se generará el calor, tal como debajo del suelo en un campo donde se desplegarán uno o más colectores solares sobre el suelo.

Opcionalmente, al menos una parte de la tierra que fue excavada puede usarse para rellenar la zanja y cubrir los tubos. Este tipo de almacenamiento de energía basado en tierra ahorra espacio y costes, además de reducir el impacto ambiental de la instalación. Alternativamente, los principios de la presente invención también pueden implementarse ventajosamente utilizando recintos sobre el suelo.

5 En algunas realizaciones, dos conjuntos de tubos de transferencia de calor se entrelazan dentro del recinto: un primer conjunto de tubos que reciben el fluido calentado de la fuente de energía, y un segundo conjunto de tubos que contienen otro fluido, que se calienta por transferencia de calor desde los primeros tubos. Estos segundos tubos se acoplan para emitir el fluido calentado cuando es necesario, para accionar la turbina de un generador eléctrico, por ejemplo. Los dos conjuntos de tubos de transferencia de calor pueden estar dispuestos para atravesar el recinto a lo largo de caminos paralelos, pero en direcciones opuestas. En otras palabras, el primer y segundo tubos de transferencia de calor están acoplados respectivamente a la fuente de energía y la turbina de modo que el primer fluido calentado entre en los primeros tubos de transferencia de calor en un primer extremo y libere calor a lo largo del camino respectivo, mientras que el segundo fluido frío entra en los segundos tubos de calor en el segundo extremo y salen del primer extremo a alta temperatura después de recibir calor del primer fluido y la tierra circundante a lo largo del camino. (Los términos "primer extremo" y "segundo extremo" se usan arbitrariamente en la presente descripción y en las reivindicaciones, simplemente para denotar extremos opuestos del conjunto de tubos de transferencia de calor).

La figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra esquemáticamente un sistema de energía térmica 20, según una realización de la presente invención. Un campo solar 22 (como se muestra en la figura 2, por ejemplo) recolecta energía solar en un fluido de transferencia de calor, y transporta el fluido calentado a través de tuberías de transferencia de calor adecuadas 26 al aparato de almacenamiento de calor 24. El calor se transfiere desde el aparato de almacenamiento a través de una tubería de salida 34 al equipo objetivo, típicamente (aunque no necesariamente) un generador eléctrico 30, tal como una turbina de vapor. En las realizaciones descritas a continuación, la tubería 34 contiene un segundo fluido de transferencia de calor, que es independiente del utilizado para transferir calor al aparato de almacenamiento 24 del campo solar 22 y que extrae el calor almacenado por intercambio de calor en el aparato de almacenamiento. Sin embargo, en realizaciones alternativas, se puede usar el mismo fluido para ambos propósitos. El fluido que se ha refrigerado haciendo funcionar la turbina se devuelve desde el generador 30 al aparato de almacenamiento 24 a través de una tubería de entrada 32, mientras que el fluido refrigerado por intercambio de calor en el aparato de almacenamiento se devuelve a través de tuberías de transferencia de frío 28 para ser recalentado por el campo solar 22.

El campo solar 22 con el aparato de almacenamiento 24 puede desplegarse como una unidad integral, que recoge y almacena calor durante las horas del día y libera el calor al generador 30 cuando sea necesario, durante el día o la noche. En algunos casos (como en invierno y períodos de mal tiempo, por ejemplo), el campo solar puede no generar suficiente calor para satisfacer las necesidades de energía del generador. Para hacer frente a tales situaciones, el sistema 20 puede comprender una fuente de energía de respaldo 36, que es capaz, cuando es necesario, de calentar el fluido para la entrada al aparato de almacenamiento 24 de una manera que no depende de la energía solar, complementando así el calor proporcionado por el campo solar. La fuente 36 puede generar calor mediante la combustión de un combustible, como un combustible fósil, por ejemplo.

Las tuberías 26 y 28 acoplan típicamente la fuente de energía de respaldo 36 al mismo conjunto de tubos de transferencia de calor en el aparato de almacenamiento 24 que son alimentados por el campo solar 22. Las tuberías 26 y 28 pueden enrutarse de modo que el campo solar y la fuente de energía de respaldo estén conectados al mismo circuito de fluido, alimentando el mismo intercambiador de calor en el aparato 24, como se describe a continuación. Como resultado, el aparato de almacenamiento puede proporcionar el fluido calentado requerido al generador 30 independientemente de la estación, el clima y la hora del día. La modularidad del sistema 20 también se mantiene, de modo que el generador 30 reciba en todo momento el fluido calentado de este sistema, sin necesidad de conectar otras fuentes de fluido caliente. La fuente de energía de respaldo 36 puede funcionar también para extraer energía (tal como gas natural) durante las horas en donde la tarifa es baja, mientras que el aparato 24 se opera para liberar energía al generador 30 en horas de tarifa alta.

En algunos casos, la fuente de energía de respaldo puede calentar el fluido de transferencia de calor simultáneamente con el calentamiento por los colectores solares. Este modo de operación es útil particularmente cuando el generador 30 requiere al menos un cierto nivel de temperatura umbral del segundo fluido para su operación. En este caso, una pequeña inversión de energía en el funcionamiento de la fuente de energía de respaldo 36, para elevar la temperatura en el aparato de almacenamiento 24, puede hacer que la cantidad total de calor recolectada por el aparato del campo solar 22 esté disponible para la generación de energía eléctrica.

La nueva configuración del sistema descrita anteriormente y el diseño del aparato de almacenamiento 24 que se muestra y describe más adelante a continuación hacen posibles varios modos de funcionamiento del sistema 20. Por ejemplo, el aparato 24 puede recibir simultáneamente calor del primer fluido y liberar al menos una parte del calor al segundo fluido para accionar el generador 30. La velocidad de descarga del calor del aparato puede controlarse simplemente regulando la velocidad de salida del segundo fluido calentado a través de las tuberías 34. De esta manera, es posible transferir todo el calor introducido a través de las tuberías 26, o solo una parte de este calor, o almacenar todo el calor recibido para su uso posterior. Esta funcionalidad se logra sin usar algoritmos o sistemas de

válvulas complejos, y la tasa de descarga de calor se regula sin la necesidad de ajustar ninguna válvula que no sea para controlar la tasa de flujo total.

La figura 2 es una ilustración gráfica esquemática del campo solar 22 con el aparato de almacenamiento de energía térmica 24, según una realización de la presente invención. En la realización representada, el campo 22 comprende colectores solares 40 en forma de canales parabólicos, que concentran los rayos del sol para calentar un fluido de transferencia de calor en los tubos 42. Esta configuración de los colectores solares y los tubos asociados se muestra únicamente a modo de ejemplo, sin embargo, y el aparato de almacenamiento 24 puede usarse de manera similar junto con colectores solares térmicos de sustancialmente cualquier otro tipo conocido en la técnica, así como con otras fuentes de energía térmica, no solo solar.

El campo 22 puede funcionar con principios similares al sistema de energía solar térmica que se describe en la solicitud de patente de Israel 225.456, titulada "Campo solar modular", presentada el 24 de marzo de 2013, cuya descripción se incorpora en esta memoria como referencia. En este sistema, cada canal solar está formado por módulos, en donde cada módulo comprende un marco compuesto por segmentos finales y otros elementos estructurales. El marco tiene un borde exterior con un perfil circular y un borde interior de perfil parabólico, que contiene múltiples segmentos de espejo. Un accionamiento motorizado gira el borde exterior del marco alrededor de la línea central del marco, que también es la línea focal del perfil parabólico, para seguir el movimiento del sol. El fluido de transferencia de calor fluye a través del tubo de transferencia de calor 42, que se mantiene estacionario a lo largo de esta línea central y absorbe el calor del sol que se concentra por los segmentos de espejo parabólico.

El aparato de transferencia de calor 24 está contenido en una zanja 43, que se excava debajo del suelo en el campo 22 y sirve como el recinto para una matriz 46 de tubos de transferencia de calor (que se muestra en detalle en las siguientes figuras). Algunos de estos tubos están conectados por un colector 44 a las tuberías 26 y 28, que transfieren respectivamente fluido caliente desde los tubos 42 a la matriz 46 y devuelven después el fluido refrigerado a los tubos 42. Otros tubos en la matriz 46 están conectados por el colector 44 a las tuberías 32 y 34, que transfieren fluido desde y hacia el generador 30.

En este tipo de sistema, un fluido que es gaseoso a temperatura y presión estándar (STP – 273 °K y 1 atm), tal como el dióxido de carbono, puede usarse ventajosamente como fluido de transferencia de calor en los tubos 42 (que se transporta también a través de tuberías 26 y 28 hacia y desde el aparato 24). Las propiedades de transferencia de calor del gas pueden mejorarse mediante la adición de un gas raro pesado, tal como argón, criptón o xenón. Se puede usar un fluido que sea líquido en STP, como el agua (que normalmente se vaporiza durante el funcionamiento del sistema 20) como fluido de transferencia de calor transportado desde y hacia el generador 30 en las tuberías 32 y 34. Alternativamente, sin embargo, prácticamente cualquier tipo adecuado de gases o líquidos (incluidos metales fundidos o sales) pueden usarse para estos fines, dependiendo del diseño de los componentes relevantes del sistema.

Después de instalar la matriz 46 en la zanja 43, la zanja se llena con tierra 48. En algunas instalaciones, al menos una parte del relleno de tierra se excavó previamente del suelo del campo 22 en el curso de la creación de la zanja. Esta tierra rellena de nuevo cubre la matriz 46 y llena los espacios entre los tubos en la matriz, sirviendo así como medio de almacenamiento de calor del aparato 24. Aunque la zanja 43 se muestra en esta realización como un agujero largo y estrecho en el suelo, prácticamente cualquier agujero de forma adecuada se puede utilizar para los propósitos del aparato 24, y el término "zanja" debe entenderse en la presente descripción y en las reivindicaciones para abarcar agujeros de todas esas formas.

Los inventores han descubierto que la roca ígnea, como el granito o el basalto, es particularmente útil como medio de almacenamiento de calor, ya que es económica y tiene una alta capacidad de calor. (La roca puede excavar localmente, desde el área del campo solar, si está disponible, o transportarse al sitio). En algunas realizaciones, al menos el 50% en volumen del medio de almacenamiento de calor en la zanja 43 (o en cualquier recinto utilizado por el aparato 24) consiste en rocas ígneas. Se puede desplegar una capa aislante externa que comprende roca tufácea (que también es ígnea) alrededor del perímetro interno del recinto.

Para una buena transferencia y almacenamiento de calor, es importante que se llenen los espacios entre las rocas ígneas. Para este propósito, un material en partículas, tal como roca ígnea pulverizada, se puede verter sobre las rocas para llenar los espacios. Opcionalmente, el material en partículas puede contener fragmentos metálicos para mejorar su conductividad térmica. Después de que el material en partículas se haya vertido en el recinto, la masa entera de roca y partículas puede compactarse, por vibración, por ejemplo, y humedecerse entonces con agua u otro fluido. Estas últimas etapas hacen que las partículas llenen todos los espacios entre las rocas y se endurezcan a continuación alrededor de los tubos de transferencia de calor, proporcionando así un medio de almacenamiento de calor sólido y estable.

El resultado de las características anteriores es un medio de almacenamiento de bajo costo y, al mismo tiempo, bien aislado con una pérdida de calor mínima para el medio ambiente.

La figura 3 es una ilustración gráfica esquemática que muestra detalles del colector 44 y la matriz 46 en el aparato 24, según una realización de la presente invención. Las tuberías 26 y 28, que llevan el fluido de transferencia de calor desde y hacia los colectores solares, están conectadas a través del colector 44 a los primeros tubos de transferencia

de calor 50 en la matriz 46. Los segundos tubos de transferencia de calor 52, intercalados con los tubos 50 en la matriz, están conectados a través del colector a las tuberías 32 y 34. Como se ha señalado anteriormente, los tubos 50 pueden contener dióxido de carbono, por ejemplo, mientras que los tubos 52 contienen agua, pero alternativamente se pueden usar otros tipos de fluidos. Las aletas 56 están acopladas externamente a los tubos 50 y 52 para facilitar la transferencia de calor entre los tubos y la zanja de llenado de tierra 43.

Los tubos de transferencia de calor 50 y 52 atraviesan la zanja 43 a lo largo de caminos paralelos respectivos entre los extremos de los tubos intercalados en el colector 44. Por lo tanto, el fluido calentado de la tubería 26 entra en los tubos 50 en un primer extremo de la matriz 46 (correspondiente al lado izquierdo del colector 44 en la figura 3) y se refrigera a lo largo de la trayectoria respectiva de los tubos 50. El fluido refrigerado sale entonces del segundo extremo a través de la tubería 28, desde la cual se devuelve al campo solar 22 para su recalentamiento. El fluido refrigerado que vuelve del generador 30 entra en los tubos 52 a través de la tubería 32 en el segundo extremo de la matriz 46 (en el lado derecho del colector 44), recibe calor del fluido en los tubos 50 y de la tierra a lo largo del camino a través de la zanja 43, y sale entonces a alta temperatura a través de la tubería 34 en el primer extremo de la matriz. Cada tubería 52 se puede acoplar estrechamente a un tubo correspondiente 50, posiblemente con las superficies externas de los tubos en contacto mutuo, para facilitar la transferencia de calor. Los tubos 50 y 52 en esta realización pasan a lo largo de caminos lineales, desde el colector 44 a lo largo de la longitud de la zanja 43 hasta una sección doblada 47, desde la cual los tubos vuelven a lo largo de la longitud de la zanja al colector.

La figura 4 es una vista esquemática detallada de la matriz 46, que muestra aletas de distribución de calor 56 y 58 que están asociadas con los tubos 50 y 52, según una realización de la presente invención. Las aletas 56 y 58 comprenden típicamente una hoja de metal adecuada, tal como acero o aluminio, y pueden estar dispuestas transversalmente a los tubos 50 y 52 (aletas 56) o longitudinalmente a lo largo de las (aletas 58), o en ambas direcciones como se muestra en la figura. Aunque las aletas se muestran en las figuras 3 y 4, en aras de la simplicidad, a lo largo de solo una parte de la matriz 46, en la práctica, las aletas se despliegan generalmente a lo largo de toda la matriz. Los espacios entre las aletas 56 y 58 están llenos de tierra y, por lo tanto, las aletas son útiles para transferir energía térmica hacia y desde la tierra, que en sí misma es típicamente un mal conductor del calor.

Las figuras 5A y 5B son gráficos esquemáticos de gradientes de temperatura a lo largo de los tubos 50 y 52, respectivamente, en la matriz 46, según una realización de la presente invención. La longitud total de la matriz 46, incluida la sección doblada 47, es de 200 m en este ejemplo. Los ejes horizontales en las dos figuras se ejecutan a lo largo de los tubos respectivos en la dirección del flujo, lo que significa que los ejes corresponden a direcciones opuestas a lo largo de la matriz 46. Los gráficos se basan en un modelo de simulación calculado del aparato 24, suponiendo que el gas de dióxido de carbono fluye a través de los tubos 50, mientras que el vapor de agua fluye a través de los tubos 52.

El gas que ha sido calentado por los colectores solares 40 a una temperatura de 550°C entra en los tubos 50 a través de la tubería 26 y transfiere calor a la tierra circundante y a los tubos 52. Como resultado, el gas se refrigera a lo largo de los tubos 50 y sale a través de la tubería 28 a una temperatura de aproximadamente 300°C. Al mismo tiempo o más tarde, el vapor de agua entra en los tubos 52 a través de la tubería 32 a una temperatura de 200°C y recibe calor de los tubos 50 y la tierra circundante a lo largo de los tubos. En consecuencia, el vapor de agua se calienta a lo largo de la matriz 46 y sale de los tubos 52 a través de la tubería 34 a una temperatura de aproximadamente 480°C. Los gradientes de temperatura paralelos en los tubos 50 y 52 facilitan así la transferencia de calor eficiente entre los respectivos fluidos de transferencia de calor y habilitar el sistema 20 para proporcionar fluido a alta temperatura para accionar el generador 30.

La figura 6 es una ilustración gráfica esquemática de una matriz 70 de tubos 50 y 52, que puede usarse en el aparato de almacenamiento de energía térmica 24 en lugar de la matriz 46, según una realización alternativa de la presente invención. Mientras que los tubos 50 y 52 en la matriz 46 son en gran medida lineales, los tubos en la matriz 70 siguen caminos serpentinos, a lo largo de los cuales cada tubo sufre múltiples pliegues 72. Las aletas 56 y 58 se acoplan a los tubos de una manera similar a la descrita anteriormente. La configuración del tubo serpentino de la figura 6 puede ser ventajosa para facilitar una transferencia de calor más completa y efectiva, pero es probable que sea más difícil y costoso de ensamblar en el campo que la configuración lineal simple de la matriz 46.

Las figuras 7A y 7B ilustran esquemáticamente el aparato 80 de almacenamiento y transferencia de calor, según una realización de la presente invención. La figura 7A es una vista superior, mientras que la figura 7B es una vista en sección tomada a lo largo de la línea marcada VIII-VIIB en la figura 7A. El aparato 80 puede usarse en lugar del aparato de almacenamiento 24 en el sistema 20, de manera similar a la mostrada en el campo solar 22 en la figura 2, excepto que en la presente realización, los colectores solares 40 son perpendiculares al eje longitudinal del aparato 80, en lugar de ser paralelo al aparato 24 como en la figura 2.

En otras palabras, los colectores solares 40 en la configuración del sistema de las figuras 7A y 7B están dispuestos en una matriz con sus ejes paralelos entre sí (generalmente en dirección norte-sur), mientras que el eje longitudinal del aparato 80, es decir, el eje largo, a lo largo del cual se ejecutan los tubos de transferencia de calor, es perpendicular. Esta configuración hace posible que el aparato se coloque adyacente a los extremos de los colectores solares. Esta disposición perpendicular de los colectores y el aparato de almacenamiento de calor es ventajosa para reducir la longitud y la complicación de las tuberías de transferencia de calor 26 entre los colectores 40 y el aparato 80, y elimina

efectivamente la necesidad de un colector de cabezal externo que se conecte al aparato 80. Este planteamiento reduce los costes de tuberías, aislamientos y cimientos de cabezal, así como reduce la pérdida de calor entre los colectores 40 y el aparato 80.

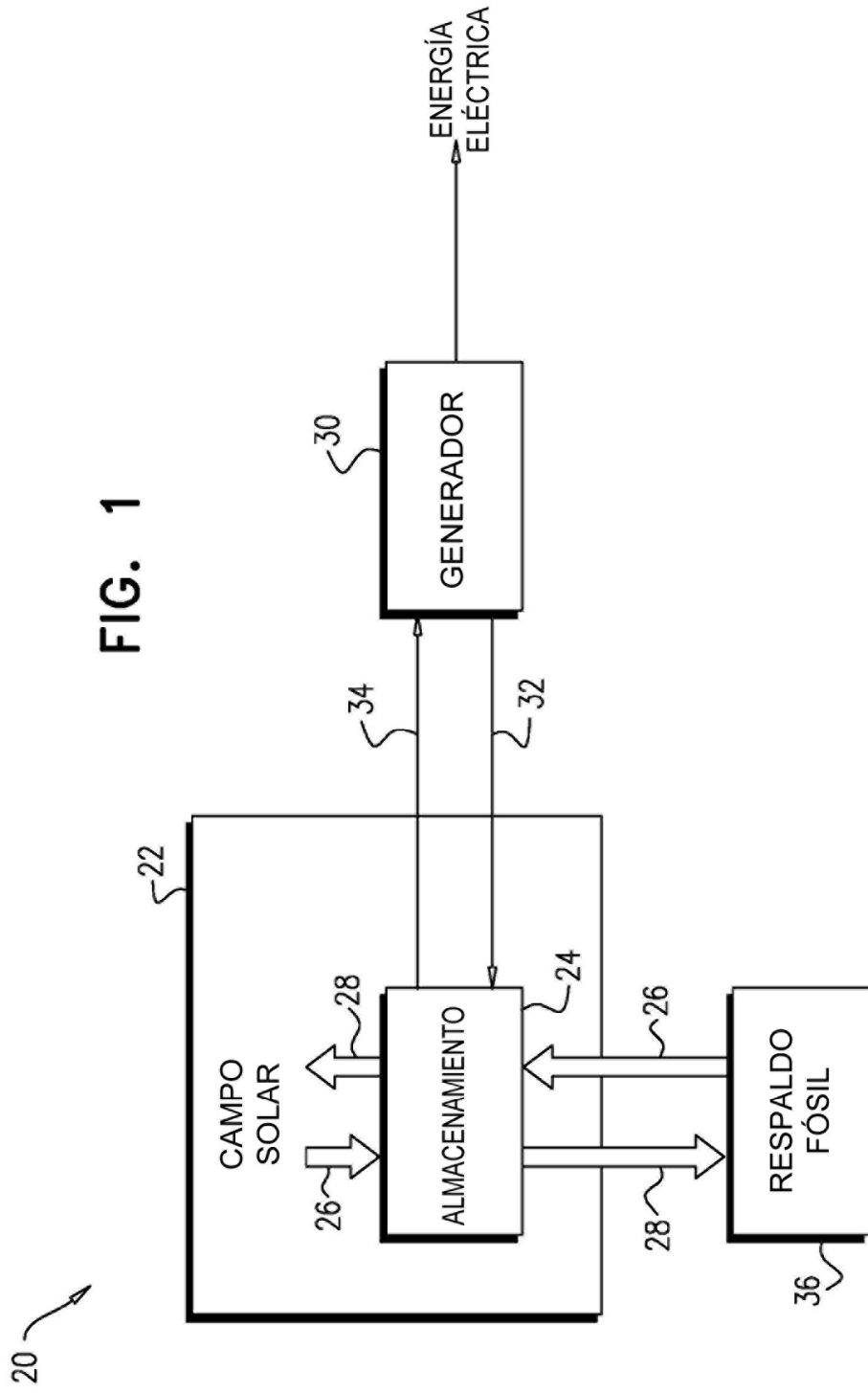
- 5 El aparato 80 en esta realización está contenido en una zanja 43, con paredes de soporte 82 que comprenden típicamente un material aislante. Los tubos de transferencia en caliente 26, que transportan el fluido calentado desde cada uno de los colectores solares al aparato 80, conducen directamente al aparato 80 desde los colectores solares 40 en ambos lados, de modo que cada uno de los tubos de transferencia en caliente entre en el recinto 43 en un punto adyacente al final del colector solar respectivo. Estas tuberías 26 se encuentran en las uniones 84 por encima de la
- 10 zanja 43, desde las cuales las tuberías verticales 88 transportan el fluido caliente a las respectivas tuberías de cabezal 86, contenidas dentro del medio de almacenamiento de calor en la zanja. Un colector de conexión de entrada 90, también contenido dentro de la zanja, distribuye el fluido caliente a los tubos de transferencia de calor 50. (Por razones de simplicidad, los tubos de transferencia de calor 52, que reciben el calor transferido desde los tubos 50, se omiten de las figuras 7A y 7B). Como resultado de esta disposición, esencialmente no se pierde calor al ambiente circundante de las tuberías 86 y 88 y el colector 90.
- 15 El fluido caliente en el tubo 50 transfiere calor al medio de almacenamiento y a los tubos 52, y así se refrigera a medida que se mueve a través de la zanja 43 a un colector de salida 92. Los tubos 50 pueden conectarse al colector 92 por medio de acoplamientos flexibles. El colector 92 termina en una unión de salida 96, que se conecta a la tubería de transferencia de refrigeración 28, que transporta el fluido de refrigeración de vuelta a los extremos lejanos de los colectores 40 (no se muestra en esta figura).
- 20 Las configuraciones alternativas de tubos que pueden usarse en el aparato 24 y el aparato 80, como se ha descrito anteriormente, serán evidentes para los expertos en la técnica después de leer la descripción anterior y también se consideran dentro del alcance de la presente invención.

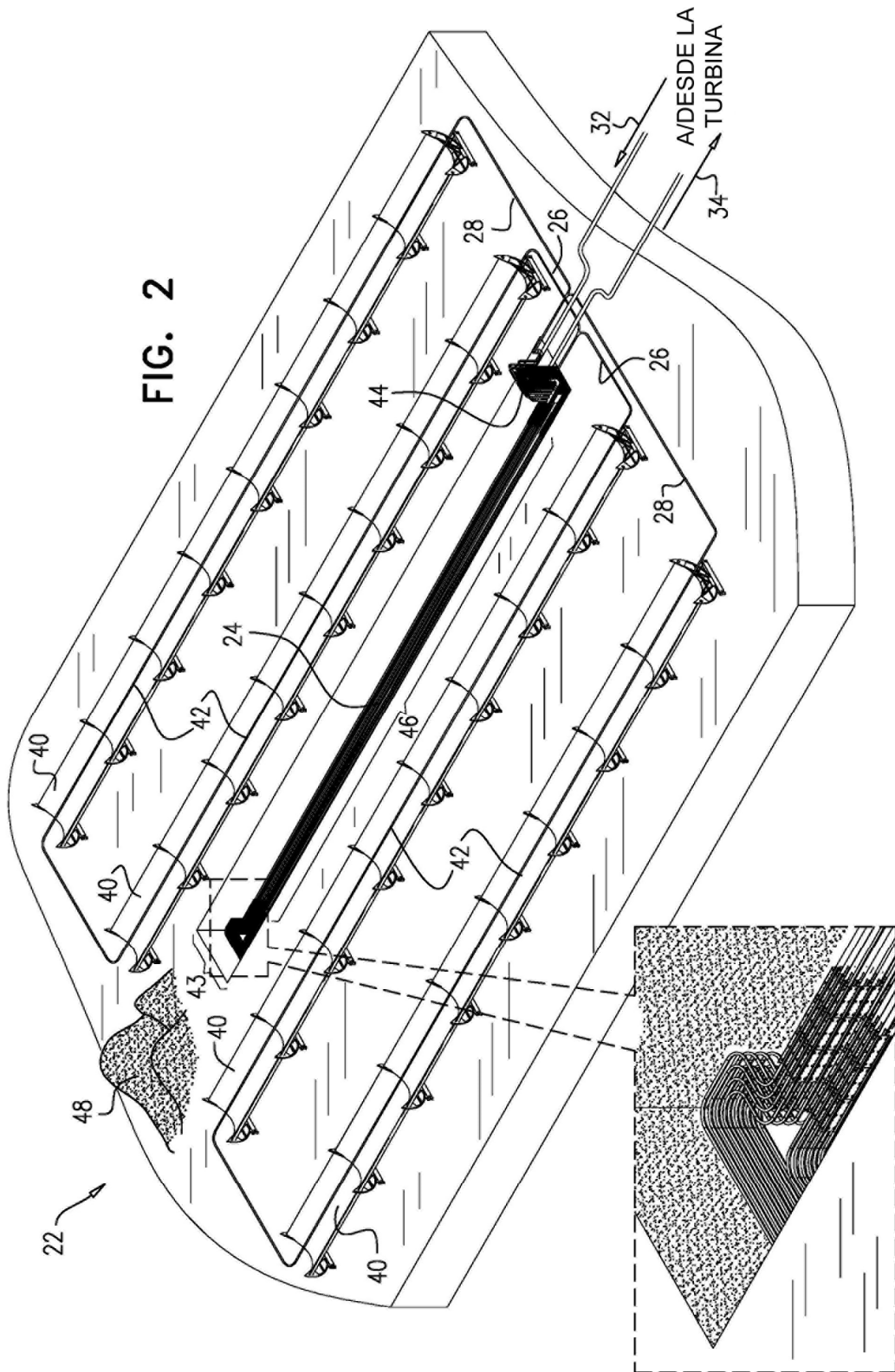
- Aunque las realizaciones descritas anteriormente se refieren específicamente al uso de energía solar térmica en el accionamiento de una turbina eléctrica, los principios de generación y almacenamiento de energía térmica que se describen anteriormente se pueden aplicar alternativamente al accionamiento de otros tipos de equipos de destino, como los trabajos industriales y químicos accionados por calor. Por lo tanto, se apreciará que las realizaciones descritas anteriormente se citan a modo de ejemplo, y que la presente invención no se limita a lo que se ha mostrado y descrito particularmente anteriormente. Más bien, el alcance de la presente invención incluye tanto combinaciones como sub-combinaciones de las diversas características descritas anteriormente, así como variaciones y
- 25 modificaciones de las mismas que se producirían a los expertos en la técnica al leer la descripción anterior y que no se describen en la técnica anterior.
- 30

REIVINDICACIONES

1. Aparato de intercambio de calor (24), que comprende:
unos primeros tubos de transferencia de calor (50), contenidos dentro de un recinto (43) y acoplados para recibir un primer fluido calentado por una fuente de energía (22, 36); y
- 5 unos segundos tubos de transferencia de calor (52), que se entrelazan con los primeros tubos de transferencia de calor dentro del recinto para calentar un segundo fluido contenido en los segundos tubos de transferencia de calor mediante transferencia de calor desde el primer fluido, y que se acoplan para emitir el segundo fluido calentado al equipo objetivo (30); y
un medio de almacenamiento de calor sólido (48), que llena el recinto;
- 10 los primer y segundo tubos de transferencia de calor están dispuestos para atravesar el recinto a lo largo de caminos paralelos, respectivos, entre los primer y segundo extremos de los tubos intercalados, caracterizado por que se acoplan respectivamente a la fuente de energía y al equipo objetivo de modo que el primer fluido calentado entre en los primeros tubos de transferencia de calor en el primer extremo y se refrigere a lo largo del camino respectivo en una primera dirección antes de salir del segundo extremo, y el segundo fluido calentado entra en el segundo extremo
- 15 y sale del primer extremo después de recibir el calor del primer fluido a lo largo del camino respectivo en una segunda dirección, opuesta a la primera dirección.
2. El aparato según la reivindicación 1, en donde el recinto comprende una zanja excavada, en donde el medio de almacenamiento de calor comprende tierra que fue excavada de la zanja y rellenada a continuación en la zanja después de la instalación de los tubos de transferencia de calor en la misma.
- 20 3. El aparato según la reivindicación 1 o 2, en donde al menos el 50% en volumen del medio de almacenamiento de calor consiste en rocas ígneas.
4. El aparato según la reivindicación 3, en donde el medio de almacenamiento de calor comprende una capa aislante externa que comprende roca tufácea.
5. El aparato según la reivindicación 3 o 4, en donde el medio de almacenamiento de calor comprende un
- 25 material en partículas que llena los espacios entre las rocas ígneas.
6. El aparato según la reivindicación 5, en donde el material en partículas comprende al menos uno de fragmentos de metal y roca ígnea pulverizada.
7. El aparato según la reivindicación 6, en donde los primeros tubos de transferencia de calor están acoplados de manera que el primer fluido refrigerado vuelve desde el segundo extremo para ser recalentado por la fuente de
- 30 energía, y en donde los segundos tubos de transferencia de calor están acoplados para recibir en el segundo extremo el segundo fluido que se ha refrigerado al accionar el equipo objetivo.
8. El aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el primer fluido es gaseoso a temperatura y presión estándar (STP), mientras que el segundo fluido es líquido a STP.
9. Un sistema (20) para la generación de energía, que comprende:
- 35 uno o más colectores solares (40), que están configurados para concentrar energía solar para calentar el primer fluido;
una turbina, que está acoplada para ser accionada por el segundo fluido calentado para generar electricidad; y
aparato de almacenamiento de calor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
10. El sistema según la reivindicación 9, en donde el aparato de almacenamiento de calor está configurado para recibir simultáneamente el calor del primer fluido y liberar al menos una parte del calor al segundo fluido para accionar la turbina, en donde el aparato de almacenamiento de calor está configurado para controlar una velocidad de descarga del calor del aparato regulando un flujo del segundo fluido a través de los segundos tubos de transferencia de calor.
- 40 11. El sistema según la reivindicación 9 o 10, y que comprende una fuente de energía de respaldo, que está configurada para calentar el primer fluido mediante la combustión de un combustible, y está acoplada para transportar el primer fluido calentado a los primeros tubos de transferencia de calor para complementar el calor proporcionado por los colectores solares, en donde la fuente de energía de respaldo está configurada para calentar el primer fluido simultáneamente con el calentamiento del primer fluido por los colectores solares.
- 45 12. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en donde el aparato de almacenamiento de calor comprende un colector de conexión, que está configurado para recibir el primer fluido calentado desde los colectores solares y para distribuir el primer fluido calentado a los primeros tubos de transferencia de calor, en donde el colector de conexión está contenido dentro del medio de almacenamiento de calor en el recinto.
- 50

13. El sistema según la reivindicación 12, en donde el uno o más colectores solares comprenden un conjunto de múltiples colectores solares, que tienen sus respectivos primer y segundo extremos y sus respectivos ejes colectores, extendiéndose entre el primer y el segundo extremo, que son mutuamente paralelos a lo largo de una primera dirección, y
- 5 en donde el aparato de almacenamiento de calor tiene un eje longitudinal que se ejecuta en una segunda dirección, perpendicular a la primera dirección, y se coloca adyacente a los primeros extremos de los colectores solares, y
- en donde el sistema comprende tuberías de transferencia en caliente que están acopladas para transportar el primer fluido calentado desde cada uno de los colectores solares al colector de conexión, entrando cada una de las tuberías de transferencia en caliente en el recinto en un punto adyacente al primer extremo de un colector solar respectivo.
- 10 14. Un método para el almacenamiento de energía, que comprende:
- el suministro de un recinto (43);
- el intercalado de un primer y segundo tubos de transferencia de calor (50, 52) dentro del recinto;
- el acoplamiento de los primeros tubos de transferencia de calor para recibir un primer fluido calentado por una fuente de energía (22, 36);
- 15 el acoplamiento de los segundos tubos de transferencia de calor para recibir y calentar un segundo fluido por transferencia de calor desde el primer fluido, y para hacer salir el segundo fluido calentado al equipo objetivo (30); y
- el llenado del recinto que contiene los primer y segundo tubos de transferencia de calor intercalados con un medio de almacenamiento de calor sólido (48),
- 20 los primer y segundo tubos de transferencia de calor están dispuestos para atravesar el recinto a lo largo de caminos paralelos, respectivos, entre los primer y segundo extremos de los tubos intercalados caracterizado por que se acoplan respectivamente a la fuente de energía y al equipo objetivo de modo que el primer fluido calentado entre en los primeros tubos de transferencia de calor en el primer extremo y se refrigere a lo largo del camino respectivo en una primera dirección antes de salir del segundo extremo, y el segundo fluido calentado entre en el segundo extremo y salga del primer extremo después de recibir el calor del primer fluido a lo largo del camino respectivo en una segunda
- 25 dirección, opuesta a la primera dirección.





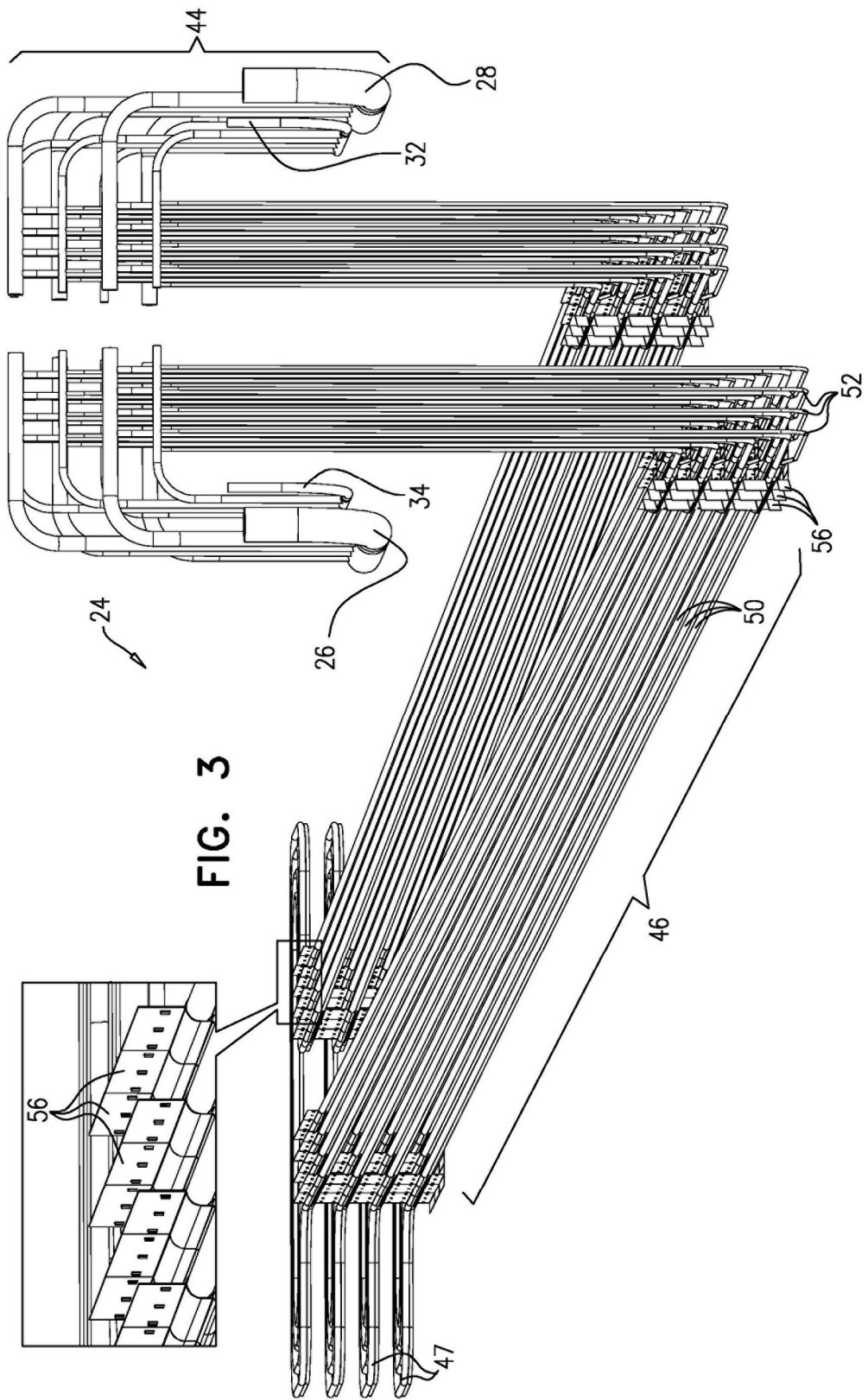


FIG. 4

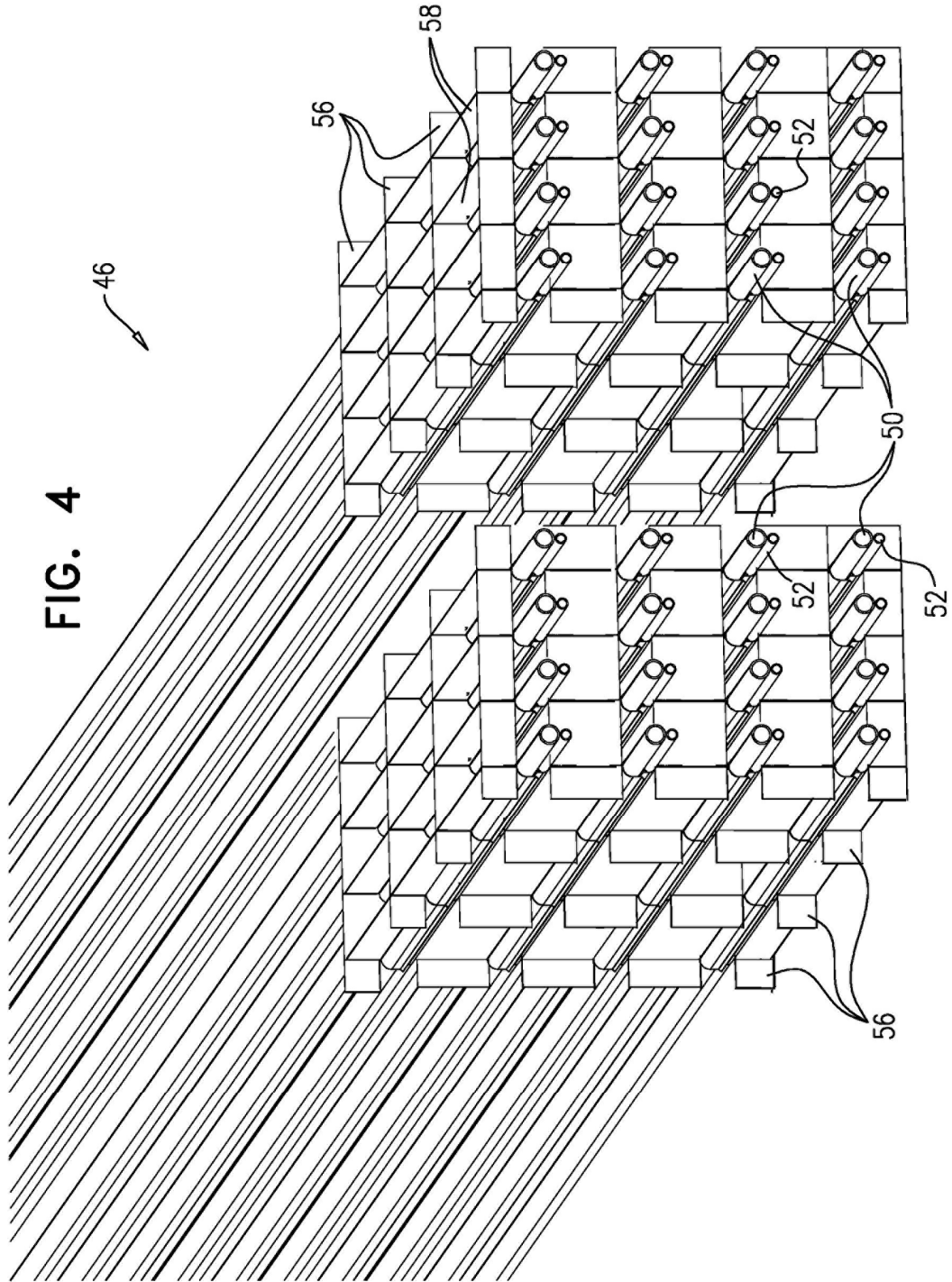


FIG. 5A

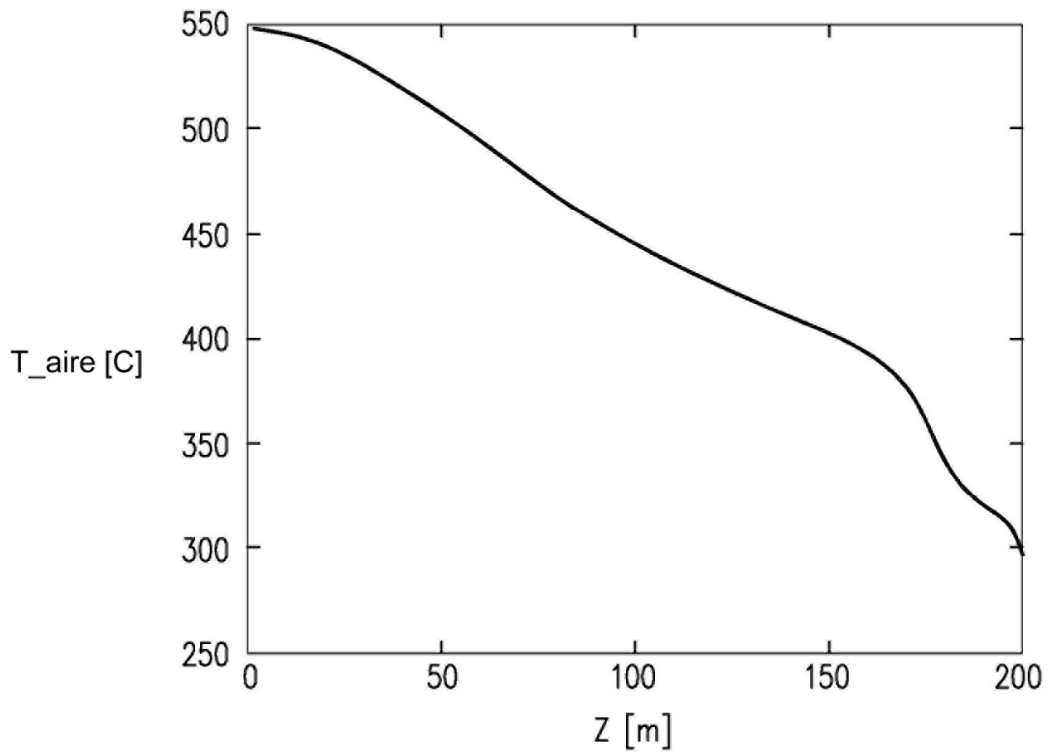
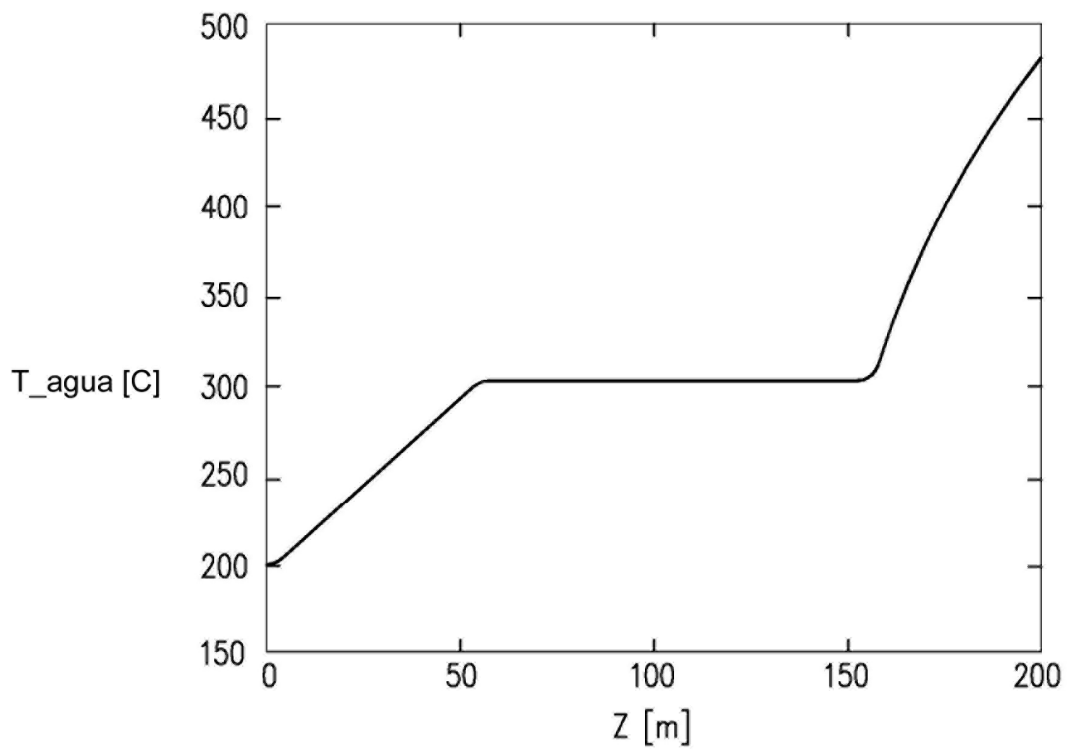


FIG. 5B



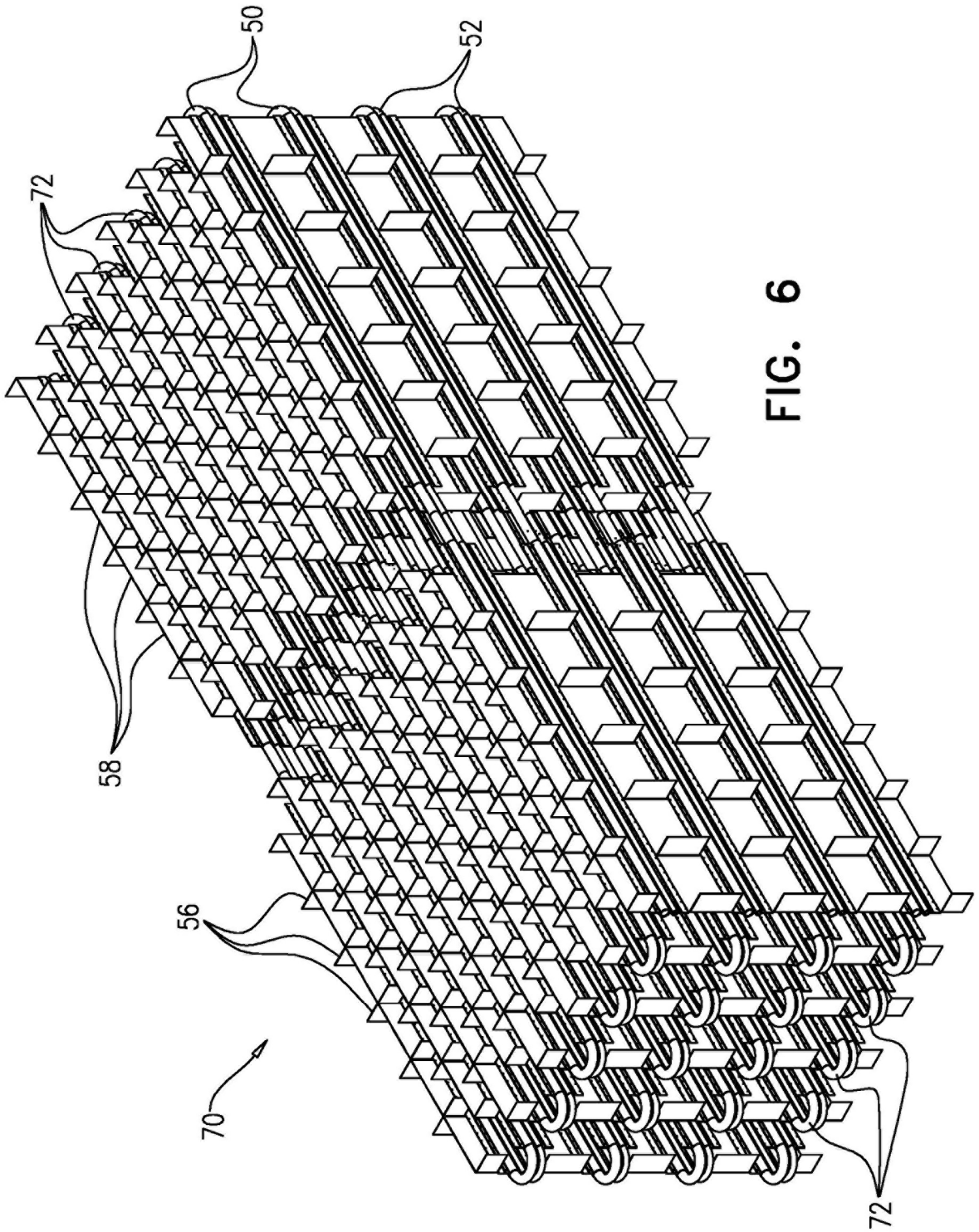


FIG. 6

