(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 791 493**

(51) Int. Cl.:

F28D 20/02	(2006.01)
F03G 6/06	(2006.01)
F03D 9/18	(2006.01)
F24S 20/20	(2008.01)
F03D 9/10	(2006.01)
F24S 60/00	(2008.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.06.2013** **E 18184638 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020** **EP 3425319**

(54) Título: **Sistema de almacenamiento de calor térmico**

(30) Prioridad:

14.06.2012 US 201261659953 P
28.02.2013 US 201313781690

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.11.2020

(73) Titular/es:

SUNLIGHT POWER INC. (50.0%)
630 Camino Ynez
Solana Beach, CA 92075, US y
BALDWIN, DAVID (50.0%)

(72) Inventor/es:

BALDWIN, DAVID

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 791 493 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de almacenamiento de calor térmico

Antecedentes

Proporcionar potencia continuamente desde una fuente de energía primaria renovable requiere almacenamiento de energía. Idealmente, el almacenamiento debería suministrar el mismo nivel de potencia que la fuente primaria, así como estar disponible bajo demanda de una manera despachable. Muchas tecnologías de almacenamiento de energía se conocen en la industria tal como baterías, maquinaria rotativa, hidrobombeo, aire comprimido, producción de hidrógeno y fluidos de almacenamiento, tal como sal fundida.

Los diseños de sistemas de almacenamiento de sal fundida normalmente tienen una disposición de tanque de almacenamiento doble, un “tanque caliente” para sal recientemente calentada y un “tanque frío” para sal que espera calentamiento. Las temperaturas de los dos tanques normalmente difieren en 100 ºC o más para una densidad de energía almacenada aceptable y una eficacia del intercambiador de calor. Se conoce en la técnica, por ejemplo, que los sistemas de almacenamiento de calor térmico que emplean fluido de transporte a altas temperaturas pueden lograr temperaturas de tanque caliente de hasta 500-600 ºC o más. Lograr esto usando un fluido de transferencia, sin embargo, implica el uso de tuberías, bombas, etc., lo que puede incrementar la complejidad operativa. El fluido de almacenamiento de sal fundida por sí mismo es normalmente usado como el fluido de transferencia bombeado entre la fuente de potencia primaria, los tanques de almacenamiento y el intercambiador de calor para equipo de generación eléctrica. Así como la complejidad operativa, existe el riesgo de congelación de la sal en las tuberías de transferencia que conectan los diversos componentes que implican envoltura de calor, drenaje durante la noche o similares.

La energía solar y eólica se incluye entre las fuentes de energía renovables. Las plantas de energía solar que usan sistemas de concentración de radiación solar junto con dispositivos de almacenamiento de calor térmico se conocen en la técnica. El uso de otros fluidos de transferencia de líquidos tal como agua, sal de fluoruro y otros materiales que contienen metal en dispositivos de almacenamiento de calor térmico también se conocen en la técnica.

El documento 4088183 A divulga un tanque de almacenamiento de energía térmica.

El documento US 2011/083436 A1 divulga sistemas, aparatos y métodos para almacenamiento, acoplamento y transferencia de energia térmica.

Sumario

Los aspectos particulares de la invención se exponen en las reivindicaciones adjuntas.

Se proporciona un sistema de almacenamiento de calor latente, que comprende: un tanque de almacenamiento cerrado, que tiene un subsuelo en la base del tanque de almacenamiento cerrado; un material de almacenamiento térmico en el tanque de almacenamiento; un fluido de transferencia de calor en el tanque de almacenamiento cerrado; y un único tubo que se extiende a través de una parte central del tanque de almacenamiento cerrado, desde un lado opuesto al subsuelo hasta el subsuelo y que se abre a una cámara bajo el subsuelo del tanque de almacenamiento cerrado, estando el tubo y la cámara separados de manera fluida del tanque de almacenamiento cerrado.

La presente invención se entiende mejor tras considerar la descripción detallada a continuación junto con los dibujos adjuntos y reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

la Figura 1 es un diagrama de flujo para un método de transferencia de calor;
la Figura 2 ilustra un diagrama de flujo de energía general para realizaciones del sistema de almacenamiento de calor térmico;
la Figura 3 representa un ejemplo de un subsistema de turbina Brayton de la presente invención;
la Figura 4 representa una realización de un tanque de almacenamiento de calor de la presente invención;
la Figura 5 muestra un ejemplo de un subsistema de inyección de energía térmica del sistema de almacenamiento de calor térmico;
la Figura 6 ilustra un intercambiador de calor montado en la parte superior del tanque de almacenamiento de la presente invención;
la Figura 7 muestra otra realización del intercambiador de calor montado en la parte superior de un tanque de almacenamiento de la presente invención;
la Figura 8 representa una realización del sistema de almacenamiento de calor térmico usando potencia solar;
la Figura 9 ilustra la concentración de intensidad solar para calentar un receptor pequeño; y

la Figura 10 ilustra otra realización del sistema de almacenamiento de calor térmico usando energía eólica como la fuente primaria de potencia.

Descripción detallada

La presente invención usa transporte de vapor en condiciones evacuadas o de baja presión, similar al principio de tubería de calor, que se aplica tanto a la entrada de potencia como a los subsistemas de extracción de potencia. Divulgado en este documento se encuentra un sistema de almacenamiento de calor térmico, que incluye un tanque de almacenamiento, un sistema de inyección de calor y un sistema de recuperación de calor. El tanque de almacenamiento contiene un material para el almacenamiento térmico. El sistema de inyección de calor se acopla a una entrada en el tanque de almacenamiento. El sistema de recuperación de calor se acopla a una salida en el tanque de almacenamiento y también usa vapor en condiciones despresurizadas para la transferencia de calor.

Como una implementación de ejemplo, el tanque de almacenamiento tiene una temperatura en su interior que se mantiene aproximadamente a 800 ºC; sin embargo, ese valor de temperatura puede diferir con un almacenamiento diferente o material de transporte de vapor. La desviación de temperatura general que surge como resultado del sistema de almacenamiento de calor térmico es menor de 80 ºC. En otra realización, con una selección de material y diseño de intercambio de calor diferentes, la desviación de temperatura general del sistema de almacenamiento de calor térmico es menor de 50 ºC.

En una realización, el tanque de almacenamiento contiene sal NaCl. La sal incluye porciones de tanto sal fundida como sólida que se separan naturalmente sin bombeo. El sistema de entrada se acopla a una entrada del sistema de inyección de calor y proporciona (i) calor o energía desde potencia solar, (ii) energía desde potencia eólica o (iii) calor o energía desde otra fuente de energía, tal como otra fuente de energía renovable o fuente de energía no renovable.

El aire comprimido de un sistema de generador de turbina de ciclo Brayton se calienta usando una fuente externa. La corriente de aire de escape se expulsa a la atmósfera con una temperatura en el intervalo de 175-225 ºC y las emisiones de corriente de aire de escape producidas no son perjudiciales para el medio ambiente.

En una realización, el sistema de inyección de calor usa vapor en condiciones despresurizadas para transferencia de calor. El sistema de inyección de calor se compone de un receptor, un tubo descendente y un subsuelo. Para el sistema de recuperación de calor, el vapor de transferencia de calor se crea mediante el hervimiento de Na que flota en una sal en condiciones despresurizadas.

El almacenamiento de calor térmico proporciona una capacidad despachable de 24 horas para proporcionar potencia eléctrica y el sistema de conversión de potencia, o turbina de ciclo Brayton, reduce o elimina la necesidad de enfriamiento por agua. En una realización, cuando la energía desde la potencia eólica se usa, el almacenamiento de calor térmico elimina la necesidad de equipamiento de acondicionamiento de potencia que se requiere normalmente para este tipo de fuente de generación de potencia de energía renovable intermitente.

La Figura 1 es un diagrama de flujo para un método para transferencia de calor 100 que recurre repetidamente a propiedades bien conocidas de cambio de fase de material. El método se inicia en la etapa 112 recibiendo energía de una fuente. Esta fuente puede ser una fuente de energía renovable tal como solar o eólica o similar, o una fuente de energía no renovable. La energía se transmite a un sistema de inyección de calor en la etapa 114. En la etapa 116, el sistema de inyección de calor se acopla a una entrada en un tanque de almacenamiento. En una realización, la fuente primaria es solar u otra fuente de energía de alta temperatura, y la energía receptora se usa para vaporizar un fluido volátil en condiciones despresurizadas con transporte de calor que surge de la condensación posterior de vapor en el tanque de almacenamiento de cierta forma refrigerador. En la etapa 120, un sistema de recuperación de calor se proporciona y en la etapa 122 se acopla a una salida del tanque de almacenamiento. La energía almacenada en el tanque de almacenamiento se extrae cuando se requiere usando una técnica que evita la formación de hielo en la superficie de retirada de calor, y el calor extraído se usa entonces para proporcionar calor de alta temperatura para la generación de potencia eléctrica. En la etapa 124, el vapor en el sistema de recuperación de calor en condiciones despresurizadas se usa para la transferencia de calor. La técnica de extracción, o sistema de recuperación de calor, implica el hervimiento despresurizado de un fluido volátil desde la superficie de la sal, sin acumulación de sólidos en la superficie, ya que los sólidos más pesados se hunden hasta el fondo del tanque, y después con la condensación del vapor resultante en un intercambiador de calor.

En otra realización, el viento es la fuente de energía primaria, y la potencia eléctrica generada por el viento puede usarse directamente para calentar la sal en el tanque de almacenamiento con electrodos de calentamiento resistentes, con una posterior extracción usando las mismas etapas que 120, 122 y 124. En esta realización, la potencia eléctrica generada por viento es parte del sistema de inyección de calor, que se acopla a una entrada en un tanque de almacenamiento.

La Figura 2 ilustra un diagrama de flujo de energía general para dos realizaciones del sistema de almacenamiento de calor térmico. En ambas realizaciones, el sistema de almacenamiento de calor térmico 200 adquiere potencia

desde una fuente de energía renovable tal como tecnología solar 202 o tecnología eólica 204, la transfiere a través de un dispositivo de almacenamiento de calor latente 206 y después, bajo demanda, a una turbina de gas de ciclo Brayton 208 u otro generador de electricidad de alta eficacia. La turbina de gas de ciclo Brayton 208 tiene una eficacia inherente y poco o ningún requisito de fluido de enfriamiento. El sistema de almacenamiento de calor térmico 200 permite la capacidad de 24 horas despachable para proporcionar potencia eléctrica o energía térmica para otros fines.

El diseño usa evaporación-condensación de vapor en condiciones evacuadas para lograr unos altos índices de transferencia de calor a través de flujos generados por pequeñas diferencias de presión que ocurren naturalmente. La evaporación de un material volátil, por ejemplo una superficie de sodio (Na) cuando se usa NaCl como la sal dentro del tanque de almacenamiento, permite la extracción de calor desde una interfaz líquido-líquido que no soporta adherencia de material sólido. Un sólido denso de sal se forma y se hunde, por lo que el recalentamiento se localiza en la parte inferior del tanque de almacenamiento. Un fluido volátil diferente puede usarse con sales diferentes de NaCl, por ejemplo, cloruro potásico KCl. La entrada de potencia y la extracción de potencia ocurren en subsistemas evacuados separados, donde el sistema de inyección de calor y el sistema de recuperación de calor, respectivamente, teniendo cada uno una zona caliente, donde un fluido de trabajo, por ejemplo, Na se vaporiza, y una zona de refrigerador, donde el vapor se condensa. El proceso de vaporización-condensación constituye un mecanismo de transporte de calor eficaz cuando funciona en un entorno evacuado sin inhibir los efectos de un gas de no condensación, como el aire.

Si un volumen se ha despresurizado suficientemente, la temperatura de vapor Na y la presión serán esencialmente constantes a través del volumen, con el valor de temperatura ajustado por la sal fundida. La transferencia de potencia resultante se determinará por las propiedades de conducción de las paredes del tanque de almacenamiento de las zonas caliente y fría. La diferencia de temperatura por cada pared de zona será necesaria para conducir el flujo de potencia del sistema a través de la pared; como consecuencia, la caída de temperatura total ocurre solo en las paredes terminales de la zona. Por tanto, esas paredes deberían ser finas teniendo así una alta conductividad térmica. Unas diferencias de presión significativamente pequeñas entre las zonas caliente y fría son suficientes para la convención del vapor Na. El flujo de potencia puede ser extremadamente alto, aproximadamente la densidad de energía de vapor (como se representa por el calor de vaporización Na) por una fracción de la velocidad del sonido de limitación. Por ejemplo, al 5 % de la velocidad del sonido local, el vapor Na a 800 ºC tiene un flujo de potencia de 28 MW/m^2.

Para la extracción de calor, cuando la zona caliente se ubica por debajo de la zona fría, el retorno del fluido de trabajo condensado a la zona caliente ocurre naturalmente por flujo forzado de gravedad. Cuando la zona caliente está por encima de la zona fría, el fluido de trabajo condensado se devuelve usando un bombeo mecánico. Para el proceso de entrada ilustrado en la figura 4 y analizado a continuación, donde la zona de calor puede estar considerablemente por encima de la zona fría, el Na fundido se devuelve por la bomba auxiliar. En cualquier caso, las cantidades de Na bombeado son pequeñas, por ejemplo, aproximadamente 0,3 litros/MJ de energía transferida; y existe un pequeño riesgo de solidificación de Na, ya que el punto de congelación de Na es aproximadamente 100 ºC.

Un aspecto de este tipo de sistema de almacenamiento de calor térmico es que su temperatura permite una generación de electricidad relativamente de alta eficacia, por ejemplo, un generador de turbina de gas de ciclo Brayton. Además, la corriente de aire calentado resultante desde el sistema de almacenamiento de calor térmico a la turbina tiene sustancialmente una temperatura constante. Al adoptar una turbina de ciclo Brayton en este sistema, la cámara de combustión usual se sustituye por la desviación de la corriente de aire a través del intercambiador de calor montado en el tanque de almacenamiento, permitiendo el calentamiento del aire comprimido por una fuente externa a una temperatura de casi 800 ºC. En otras realizaciones, con la incorporación de otras tecnologías de generación con otros materiales de almacenamiento, diferentes temperaturas de fusión puede usarse. En esta realización, la desviación de temperatura general que surge como resultado del sistema de almacenamiento de calor térmico es menor de 80 ºC. En otra realización, con diferente selección de material, y diseño de intercambio de calor, la desviación de temperatura general del sistema de almacenamiento de calor térmico es menor de 50 ºC.

Una turbina de gas de ciclo Brayton, actualmente disponible en el mercado, puede usarse en el sistema de almacenamiento de calor térmico. La turbina de gas de ciclo Brayton necesita ser capaz de tener calentamiento externo en el que la cámara de compresión normal se sustituye por un intercambiador de calor conectado a la salida del tanque de almacenamiento. Para fines de la presente invención, la turbina de gas de ciclo Brayton se diseña para operar en un modo abierto de paso a través una vez. Una corriente de aire de escape se deja escapar últimamente a la atmósfera con una temperatura en el intervalo de 175-225 ºC después de que mucha de su energía se haya recuperado. Las emisiones de corriente de aire de escape producidas no son perjudiciales para el medio ambiente, lo que puede ser aconsejable por consideraciones medioambientales. La energía térmica desde las emisiones de corriente de aire de escape producidas puede usarse junto con sistemas auxiliares tal como la desalinización o enfriamiento por absorción.

La figura 3 representa un subsistema de turbina Brayton 300 que resume una simulación auto-consistente del rendimiento de turbina. El aire ambiental 301 entra en un compresor 302 donde se comprime aproximadamente a

1013,25 kPa (10 atmósferas). Para reducir el trabajo de compresión, la compresión se lleva a cabo en dos fases con inter-enfriamiento entre medias. El calor retirado se incluye en la eficacia calculada final pero requiere enfriamiento que puede lograrse por un número de medios tal como agua, aire o adaptación/utilización de otros procesos beneficiosos incluyendo enfriadores de absorción, procesos de desalinización o similar. La corriente de aire surge del compresor 302 a una temperatura de aproximadamente 180 ºC y entra en un recuperador 304 donde se calienta por calor de escape reciclado desde el escape de turbina 312. La corriente de aire pasa entonces a un intercambiador de calor 308 que se monta en el tanque de almacenamiento, donde se calienta aproximadamente a 800 ºC, emergiendo a aproximadamente 770 ºC. La corriente de aire comprimida y calentada entra entonces en un generador de turbina 310 para generación de electricidad. La corriente de escape desde la turbina, que está entonces cerca de la presión atmosférica y aproximadamente a 407 ºC, se recicla a un recuperador 304 donde una porción de la energía de escape se captura parcialmente. La temperatura de escape final en este modelo es de aproximadamente 200 ºC, con aproximadamente 5,0 MW(e) de potencia generada. La eficacia para este proceso es de aproximadamente 43,5 %. Con la entrada de aire ambiental y escape después de la recuperación, la necesidad de agua de enfriamiento se ha reducido o eliminado en gran medida. Además, una cámara de combustión típica se elimina porque el aire comprimido se calienta en el intercambiador de calor.

El sistema de almacenamiento de calor térmico comprende un único tanque de almacenamiento. Un ejemplo de una realización de un tanque de almacenamiento de calor de la presente invención se representa en la figura 4. En este ejemplo, un tanque de almacenamiento 400 se realiza de acero con una capa aislante 402 y puede colocarse por debajo o por encima del suelo. El tanque de almacenamiento 400 puede realizarse de otros materiales, por ejemplo, ladrillos de cerámica reforzados con acero. La capa aislante 402 debería ser suficiente para limitar la pérdida de calor a unos cuantos porcentajes al día. En esta realización, el tanque de almacenamiento 400 contiene un material para almacenamiento térmico. El fluido de trabajo en el tanque de almacenamiento es sal NaCl y se ilustra como líquido NaCl 404 que descansa sobre NaCl sólido 406, el sólido pesado habiéndose hundido al fondo del tanque. El tanque de almacenamiento 400 tiene una temperatura en su interior que se mantiene a aproximadamente 800 ºC, con fracciones variables de líquido y sólido cuando el calor se añade y retira. La temperatura de diseño operativo del sistema de 800 ºC permite una generación eficaz de electricidad de ciclo Brayton. La sal NaCl tiene un alto calor latente de 482 kJ/kg. Por ejemplo, con el almacenamiento de calor latente en NaCl, 1000 m^3 de sal tienen una capacidad de aproximadamente 120 MW_t-h, asumiendo un 50-70 % de la sal que se ha fundido/congelado a través del ciclo. NaCl está fácilmente disponible y tiene un bajo coste de material. En otras realizaciones, otros fluidos de trabajo o volúmenes pueden usarse.

La sal en el tanque de almacenamiento es 400 incluye porciones tanto de sal fundida como sólida que se separan naturalmente sin bombeo. El sodio fundido (Na) que flota en la superficie superior de la sal fundida puede extraer calor de la sal sin tener una superficie de material para la adhesión de la sal sólida así formada. Ya que la densidad de sal congelada es mayor que la de la sal fundida, la forma congelada se hunde, manteniendo por tanto la interfaz despejada. La temperatura de fusión de NaCl es 801 ºC, la densidad de fluido NaCl a esta temperatura es de aproximadamente 1500 kg/m^3; la densidad de NaCl sólido es de aproximadamente 2000 kg/m^3; y la densidad de Na es 780 kg/m^3. Así, en NaCl fundido, la sal sólida se hunde y el Na flota. Además, la solubilidad de moles de Na en NaCl es aproximadamente 4 %, y así permanece separado.

En condiciones evacuadas, la capa Na hervirá al vapor de Na a 800 ºC, aproximadamente 40,53 kPa (0,4 atmósferas). El vapor así creado se condensa en las superficies de refrigeración del intercambiador de calor, provocando una transferencia de calor eficaz. Esta retirada de calor solidifica/congela partículas de sal que se hunden al fondo debido a su mayor densidad. El recalentamiento del tanque, por tanto, se localiza en el fondo del tanque. Al explotar la diferencia de masa de NaCl fundido y sólido, la separación de los componentes activados y desactivados del sistema de almacenamiento de calor térmico se logra de manera natural sin necesidad de bombeo de sal fundida.

Un ejemplo de un subsistema de inyección del sistema de almacenamiento de calor térmico se muestra en la figura 5. Un sistema de inyección de calor 500 usa vapor en condiciones despresurizadas para transferencia de calor y se compone de un receptor, un tubo descendente y un subsuelo. El calor se transfiere por un tubo descendente 502 desde un receptor 504 (descrito a continuación) al subsuelo del tanque de almacenamiento 506 usando vapor Na formado en el receptor. El receptor, el tubo descendente y subsuelo combinados forman el subsistema de inyección que se despresuriza. La rápida generación de vapor en el receptor crea una presión de vapor creciente, forzando naturalmente el flujo hacia abajo del tubo descendente a una cámara 508 por debajo del subsuelo 506. La cámara 508 es el área entre un suelo de tanque de almacenamiento 510 y subsuelo 506. Allí, con la condensación de vapor debido al contacto con el subsuelo de otra manera refrigerante 506, el flujo se mantiene por una ligera disminución de presión. La pequeña cantidad de Na condensado se devuelve al receptor por la bomba. Debido a la constancia cercana de la temperatura, la temperatura de salida del receptor necesita mantenerse solo ligeramente por encima de lo requerido por un equipo de generación de electricidad posterior. En otras realizaciones, la cámara 508 puede sustituirse por una red de tuberías en el suelo de tanque de almacenamiento 510 que está abierta al tubo descendente de vapor Na.

La condensación de Na en 508 se bombea de vuelta al receptor. Ya que el calor de vaporización de Na es 4,25 MJ/kg y la densidad es aproximadamente 0,8 kg/l, la transferencia de 12 MW(t), por ejemplo, requiere el

bombeo de aproximadamente 3-4 litros/s. En un estado estacionario, la diferencia de presión de arriba abajo es pequeña, lo que significa suficiente para superar el arrastre viscoso en el flujo. El calor se transporta internamente por pequeñas diferencias de presión que surgen naturalmente de la generación de calentamiento/vapor. Como consecuencia, la mayoría (si no todas) las pérdidas son aquellas debidas a la conducción al exterior que pueden minimizarse en el diseño.

La temperatura del vapor depende de la potencia transferida y las propiedades relativas de la superficie de material a través del que debe pasar. Por ejemplo, la introducción del parámetro de suelo k/d, donde k es la conductividad térmica del material de suelo en W/m^2-ºK y d es el espesor del suelo en m, la diferencia en temperatura entre el vapor y la sal es potencia/(área x (k/d)). La relación k/d puede ser 2000 para un suelo lo suficientemente sustancial para soportar el peso de la sal, en cuyo caso la elevación de temperatura para un flujo de potencia de 12 MW a través de un suelo de 100 m² sería 60 ºK. Esto puede ser más pequeño con un área de transferencia de calor mayor, por ejemplo usando canalización, o un mayor valor k/d.

En el receptor, el mismo valor de k/d sería inferior a lo deseable, ya que el área 8 veces menor tendría como resultado un incremento en la temperatura de la superficie exterior, donde la radiación debería minimizarse. La cubierta del receptor no es de soporte de carga, sin embargo, como lo es el suelo del tanque; por lo que puede realizarse mucho más fina, con el objetivo de 10 000 para la relación de k/d.

Un intercambiador de calor montado en la parte superior de un tanque de almacenamiento se ilustra en la figura 6. El calor se extrae desde el tanque de almacenamiento de manera similar a la técnica de inyección. En una realización, un intercambiador de calor de flujo cruzado (HX) 600 se instala en la parte superior del tanque del almacenamiento y transporta aire comprimido desde una turbina Brayton externa mientras permite suficiente calentamiento con una caída pequeña en presión. La condensación del vapor Na 602 en los conductos 604, que se abren al vapor Na por debajo, calentará el aire de flujo, extrayendo por tanto calor latente del tanque. El Na condensado gotea de vuelta a la superficie de la sal. El sistema de recuperación de calor para extracción de calor se acopla a una salida del tanque de almacenamiento y usa vapor de transferencia de calor creado mediante hervimiento en condiciones despresurizadas del Na 606 que flota en la sal fundida 608 de manera similar a la técnica de inyección.

La transferencia de potencia mediante el vapor Na es potencialmente muy alta; sin embargo, la demanda de potencia por aire de flujo laminar es suficientemente débil para requerir que el flujo sea turbulento. La vaporización congela pequeñas partículas de la sal 610 que se hunden al fondo del tanque de almacenamiento debido a su mayor densidad. Esta técnica de extracción elimina por tanto o mitiga en gran medida el problema de la formación de hielo.

La configuración para intercambio de calor desde el vapor a la corriente de aire comprimido que acciona la turbina Brayton puede adoptar varias formas, cuya selección depende de varios factores. Todas las configuraciones tienen varias características en común. La parte superior del tanque de almacenamiento, junto con el intercambiador de calor, forma una región aislada y puede despresurizarse por separado; una capa de Na que flota en la superficie de sal hervirá hasta que la presión alcance la presión de vapor de Na a 800 ºC a aproximadamente 40,53 kPa (0,4 atm); el vapor de sodio creado en la superficie de sal se condensa en tuberías o conductos que contienen aire presurizado. Otras configuraciones de intercambiador de calor, por encima o por debajo o junto al tanque, pero basándose en los mismos principios representarían diferentes realizaciones de esos principios.
Por ejemplo, la figura 7 es otra realización del intercambiador de calor montado en la parte superior del tanque de almacenamiento. Esta configuración de flujo cruzado 700 contiene tuberías 704 abiertas al vapor Na, que tienen una altura de aproximadamente 0,5 m de alto, diámetro de aproximadamente 0,15 m y una separación aproximadamente de 0,25-0,3 m. El Na condensado 702 gotea de vuelta a la superficie de sal 706. La sal fundida 708 y la sal congelada 710 también se detallan en la figura 7.

Los principios de transferencia de calor de inyección de potencia en el tanque de almacenamiento se aplican a cualquier fuente a alta temperatura, y por ejemplo, fuentes de energía renovables. En una realización, el sistema de entrada se acopla a una entrada del sistema de inyección de calor que proporciona calor desde la potencia solar. La figura 8 representa un sistema de almacenamiento de calor térmico usando potencia solar. La Potencia Solar Concentrada (CSP) recoge luz desde múltiples heliostatos 802, por ejemplo, 440 en número, cada helióstato 802 de 7 m x 7 m en una disposición de 22 acres, y concentra la luz en un receptor 804, por ejemplo, un dispositivo cilíndrico o cónico de cubierta fina y ennegrecido montado en la parte superior de la torre 806, por ejemplo, torre 806 de 45 m de alto. La altura y el diámetro del receptor 804 puede ser 2 m, y la potencia de luz incidente total es 12-14 MW. Un tanque de almacenamiento 808 se monta en o por debajo del suelo con una turbina Brayton 810 conectada como se describe anteriormente.

La figura 9 ilustra la concentración de intensidad solar para calentar un pequeño receptor usando heliostatos fácilmente adaptados a partir de diseños disponibles actualmente. En esta realización, el heliostato 902 refleja luz al receptor 904 montado sobre la torre 906 en un área dentro de 2 m x 2 m interceptada por el receptor. Esta huella óptica pequeña se logra usando heliostatos 902 que tienen un montaje alineado por objetivo y colocación de espejo elíptico que reduce en gran medida la aberración.

El interior del receptor 904 se evacúa. Aproximadamente 1-2 MW/m^2 de flujo de luz se absorbe en la superficie 904 del receptor, aproximadamente menos del 10 % se vuelve a irradiar, y el resto se conduce a través de la cubierta de pared fina que se pulveriza para enfriarse en la superficie interior con líquido Na. El alto nivel de potencia vaporiza inmediatamente la pulverización Na, y el receptor 904 se convierte en la “zona caliente” del sistema de transporte de vapor. El receptor 904 se monta en una torre 906.

La re-irradiación puede mantenerse a un nivel menor al 10 % diseñando el receptor para que sea pequeño y también asegurando que la temperatura de superficie exterior del receptor no supera 1400 ºK. La transferencia de potencia se logra por el método de transferencia de vapor antes descrito. La alta temperatura del receptor vaporiza el fluido de transferencia de sodio y el incremento en la presión fuerza naturalmente su flujo al tanque de almacenamiento.

En otra realización, la figura 10 ilustra el sistema de almacenamiento de calor térmico usando energía eólica como la fuente de potencia primaria. El sistema de entrada acoplado a la entrada del sistema de inyección de calor proporciona energía desde potencia eólica. Un parque eólico 1002 puede estar compuesto de un número variable de molinos, dependiendo de su tamaño y condiciones de viento local. La potencia total del parque eólico y el almacenamiento necesarios determinarán el número y capacidad de los módulos de turbina de almacenamiento individuales, recurriendo a los 120 MW(t)-h/día necesarios para calentar el tanque de almacenamiento para una generación de 50 MW(e)-h/día.

En esta realización, la entrada de calor no surge de una fuente de alta temperatura; la salida desde los molinos es eléctrica con una mezcla de tensiones, fases, etc. Por tanto, el tanque de almacenamiento puede calentarse de manera resistiva usando electrodos internos colocados cerca del fondo del tanque de almacenamiento. En un modo de operación, el exceso de potencia producido durante periodos de baja demanda se desviaría al calentamiento del tanque de almacenamiento y disponible cuando se incrementa la demanda. En otro modo de funcionamiento, toda la potencia generada por el viento pasa a través del sistema de almacenamiento de calor térmico. Normalmente, los parques eólicos se equipan con equipo de acondicionamiento de potencia que trata los problemas de calidad de potencia, incluyendo las variaciones en tensión, frecuencia y fase provocadas por cambios en condiciones del viento. Al pasar toda la potencia producida a través del sistema de almacenamiento de calor térmico y generar electricidad desde la energía térmica almacenada desde allí, el equipo de acondicionamiento de potencia puede reducirse o eliminarse.

El sistema de almacenamiento de calor térmico permite la potencia distribuible bajo demanda. Esto permite una operación nocturna y/u operaciones posteriores a la carga. Además, ya que el tanque de almacenamiento tiene una temperatura en su interior que se mantiene sobre 750 ºC, por ejemplo, 800 ºC, permitiendo la generación de electricidad de ciclo Brayton, la eficacia de generación se incrementa desde aproximadamente 33 % para turbinas de vapor a aproximadamente 44 % para turbinas de gas. La corriente de aire de único paso abierta reduce/elimina la necesidad de enfriamiento por agua, lo que puede ser un factor importante en áreas con una baja disponibilidad de agua.

El sistema de almacenamiento de calor térmico tiene un número menor de partes del sistema que el estado típico de la técnica debido a la eliminación de un segundo tanque, bombas y conductos. Esto reduce los requisitos de equipo del sistema y se asocia con unos costes menores en las áreas de capital, mantenimiento y funcionamiento. Además, este sistema utiliza un diseño modular que tiene flexibilidad en las dimensiones, colocación, programación y similar, lo que cumple una gran variedad de necesidades del cliente y/o mercado. En otras realizaciones, más de un tanque de almacenamiento puede usarse junto con otros tanques de almacenamiento. La técnica de extracción de entrada puede escalarse con el área de suelo del tanque de almacenamiento tal como para múltiples decenas de MW_t-hrs o más.

Aunque la memoria descriptiva se ha descrito en detalle con respecto a realizaciones específicas de la invención, se apreciará que los expertos en la materia, tras lograr un entendimiento de lo anterior, pueden concebir fácilmente alternativas a, variaciones de y equivalentes a estas realizaciones. Estas y otras modificaciones y variaciones en la presente invención pueden practicarse por parte de los expertos en la materia, sin apartarse del alcance de la presente invención. Además, los expertos en la materia apreciarán que la anterior descripción es a modo de ejemplo solo, y no pretende limitar la invención. Así, se pretende que la materia objeto presente cubra tales modificaciones y variaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de almacenamiento de calor latente (206), que comprende:
un tanque de almacenamiento cerrado (400), que tiene un subsuelo (506) en la base del tanque de almacenamiento cerrado;
un material de almacenamiento térmico en el tanque de almacenamiento;
un fluido de transferencia de calor en el tanque de almacenamiento cerrado; y
un único tubo (502) que se extiende a través de una parte central del tanque de almacenamiento cerrado, desde un lado opuesto al subsuelo hasta el subsuelo, y que se abre a una cámara (508) bajo el subsuelo del tanque de almacenamiento cerrado, estando el tubo y la cámara separados de manera fluida del tanque de almacenamiento cerrado.

2. El sistema de almacenamiento de calor latente de la reivindicación 1, en el que el tubo se configura de modo que transporte un fluido de trabajo.

3. El sistema de la reivindicación 2, en el que el fluido de trabajo funciona en un entorno sustancialmente evacuado de gas de no condensación.

4. El sistema de almacenamiento de calor latente de cualquier reivindicación anterior, en el que una pared del tanque de almacenamiento cerrado comprende un material aislante (402).

5. El sistema de cualquiera reivindicación anterior, en el que el material de almacenamiento térmico incluye una sal.

6. El sistema de la reivindicación 5, en el que la sal incluye porciones tanto de sal fundida como sólida, donde dicha sal fundida y dicha sal sólida se separan naturalmente sin bombeo.

7. El sistema de la reivindicación 5 o 6, en el que el material de almacenamiento térmico es cloruro de sodio (NaCl) y el vapor de transferencia de calor es Sodio (Na).

8. El sistema de la reivindicación 5 o 6, en el que la sal es cloruro de potasio (KCl) y el fluido de transferencia de calor es Potasio (K).

9. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el volumen cerrado del tanque de almacenamiento cerrado tiene una temperatura de operación de 800 ºC.

10. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que una desviación de temperatura del volumen cerrado es menor de 80 ºC.

11. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el fluido de transferencia de calor flota en el material de almacenamiento térmico en condiciones despresurizadas.

12. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el material de almacenamiento térmico en forma sólida tiene una densidad mayor que el material de almacenamiento térmico en forma líquida.

13. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el fluido de trabajo es un fluido de transferencia de un metal alcalino en forma de vapor, por ejemplo, Sodio (Na) o Potasio (K).

14. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el tubo es el único tubo que se extiende a través del volumen cerrado.

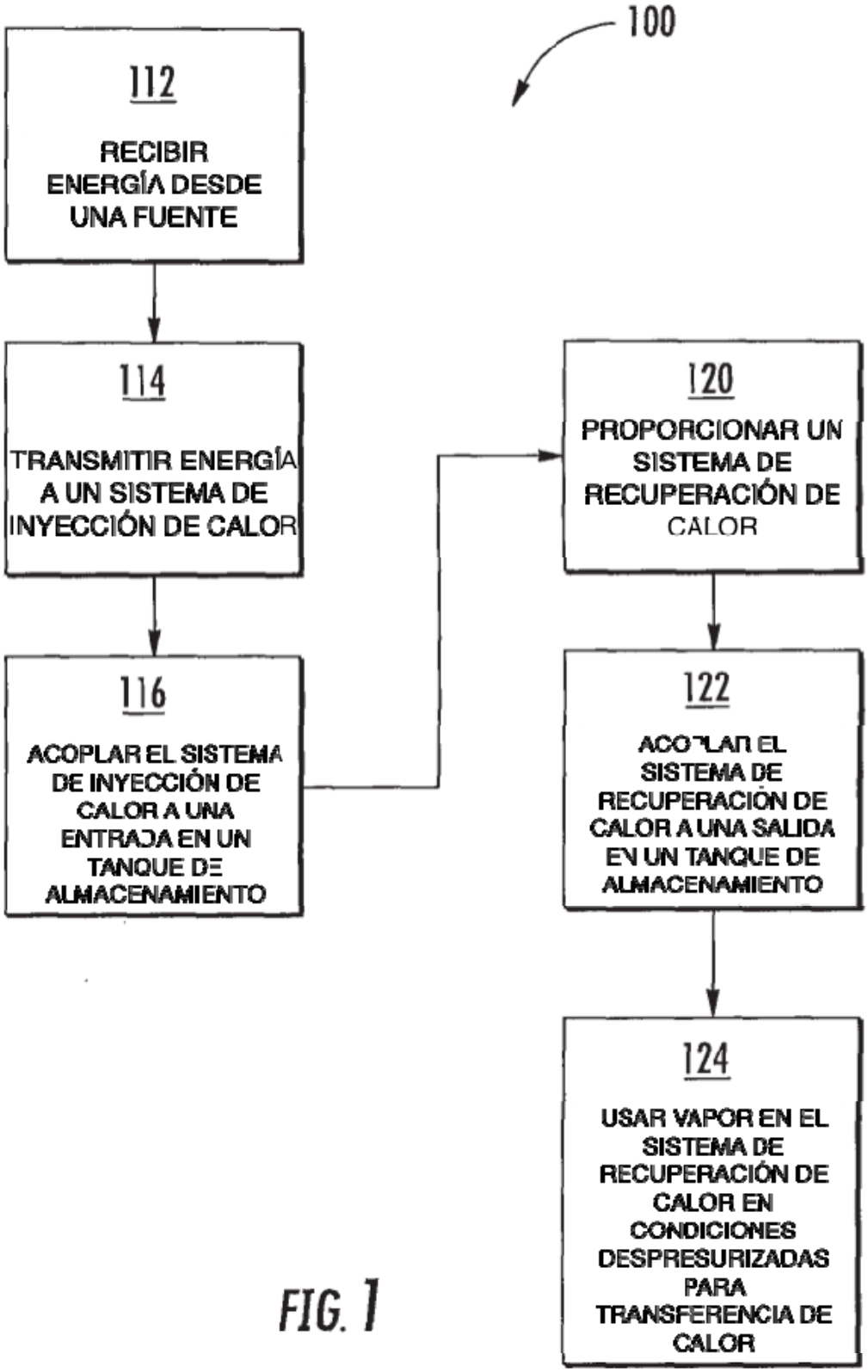
100
112
RECIBIR ENERGÍA DESDE UNA FUENTE
114
TRANSMITIR ENERGÍA A UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE CALOR
116
ACOPLAR EL SISTEMA DE INYECCIÓN DE CALOR A UNA ENTRADA EN UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO
120
PROPORCIONAR UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR
122
ACOPLAR EL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR A UNA SALIDA EN UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO
124
USAR VAPOR EN EL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR EN CONDICIONES DESPRESURIZADAS PARA TRANSFERENCIA DE CALOR

FIG. 1

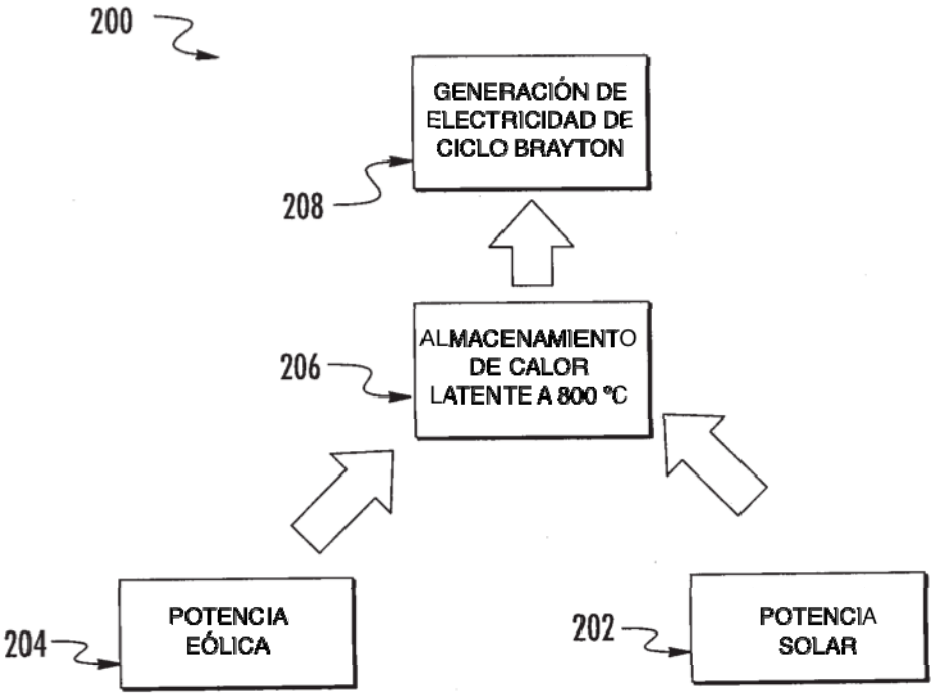
200
GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD DE CICLO BRAYTON
208
ALMACENAMIENTO DE CALOR LATENTE A 800 °C
206
POTENCIA EÓLICA
204
POTENCIA SOLAR
202

FIG. 2

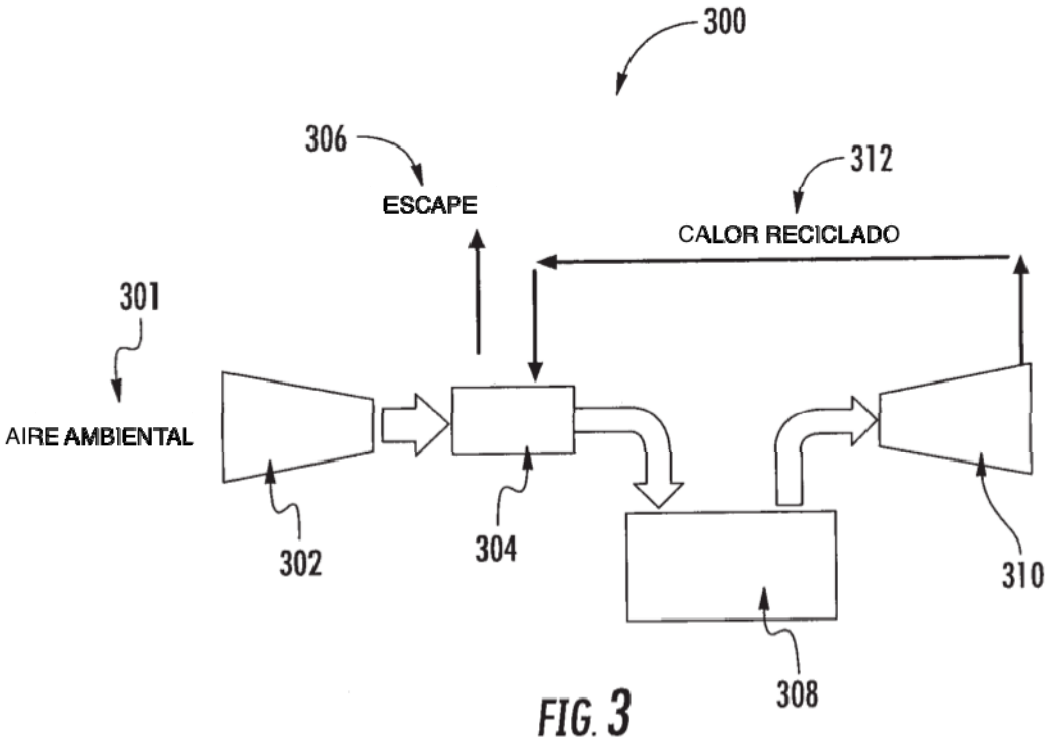
300
306
ESCAPE
312
CALOR RECICLADO
301
AIRE AMBIENTAL
302
304
310
308

FIG. 3

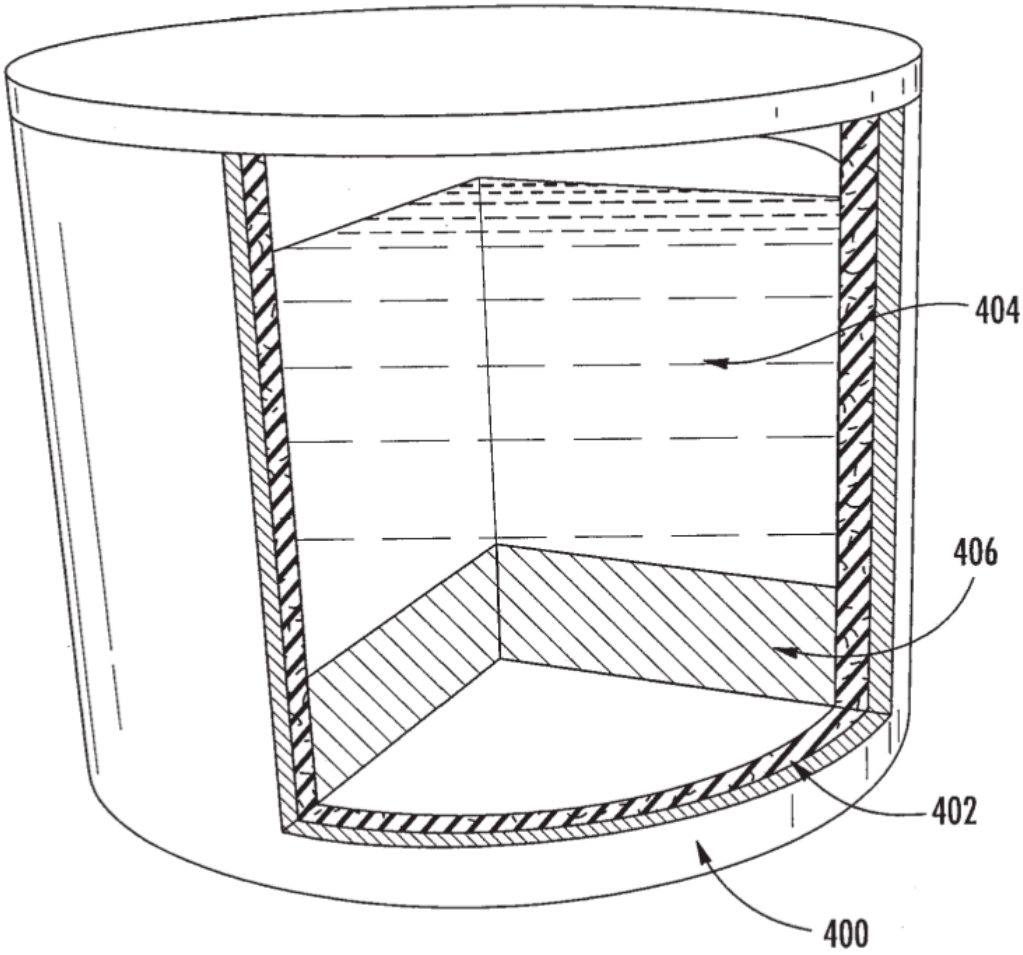

FIG. 4

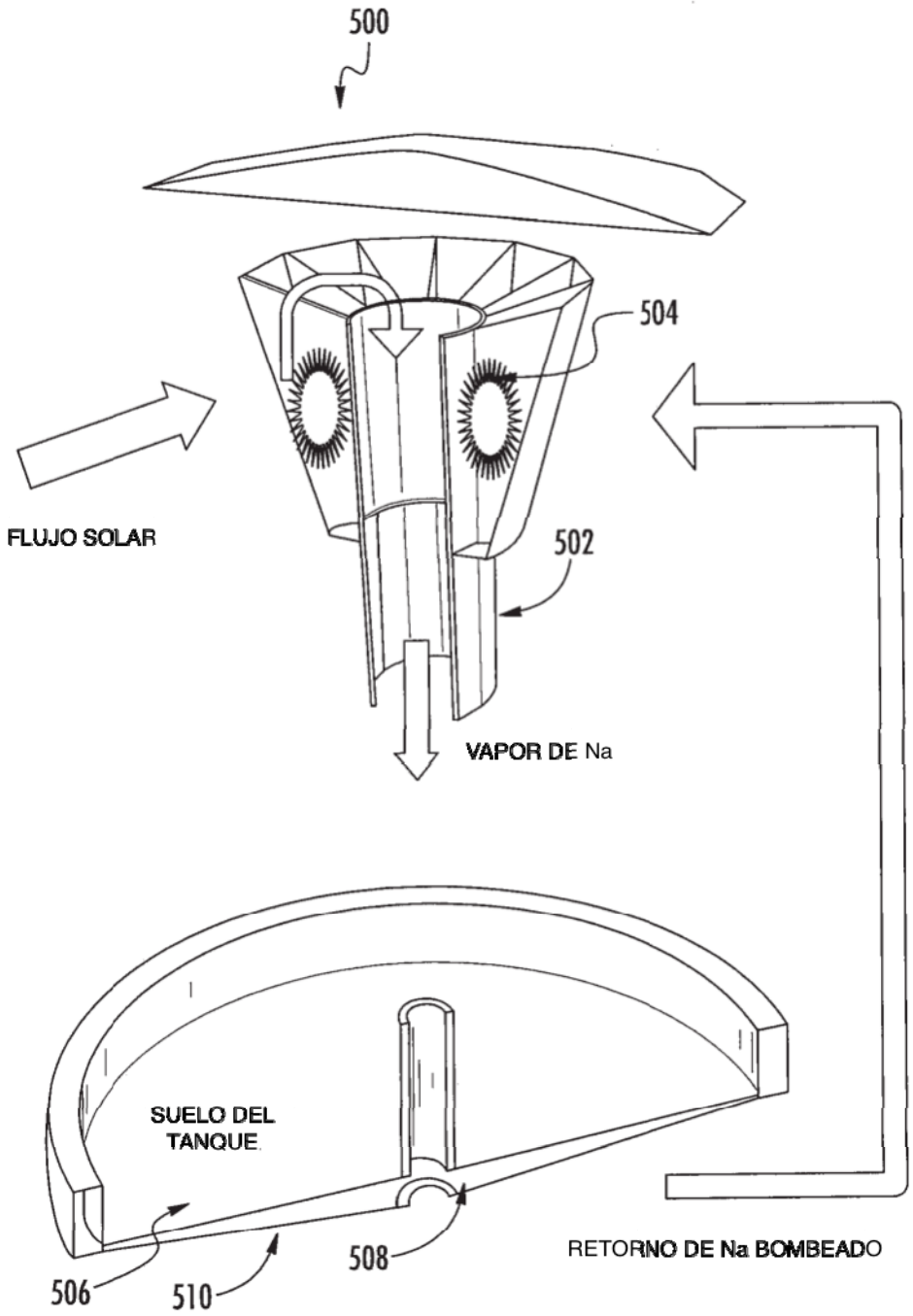
500
504
FLUJO SOLAR
502
VAPOR DE Na
SUELO DEL
TANQUE
506
510
508
RETORNO DE Na BOMBEADO

FIG. 5

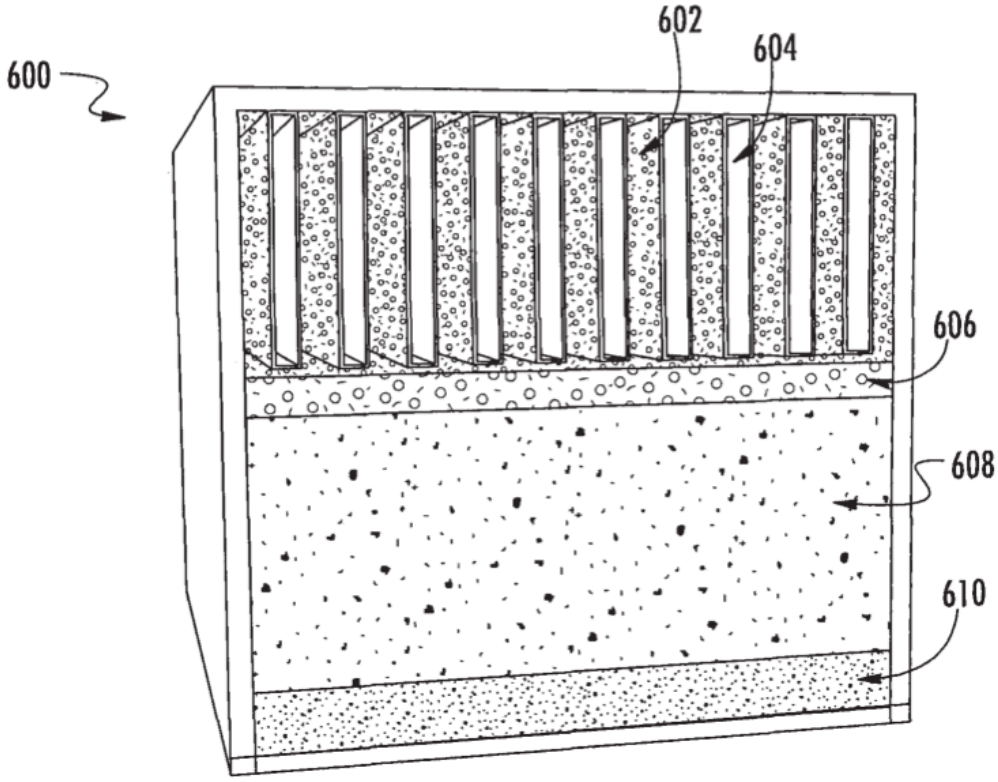

FIG. 6

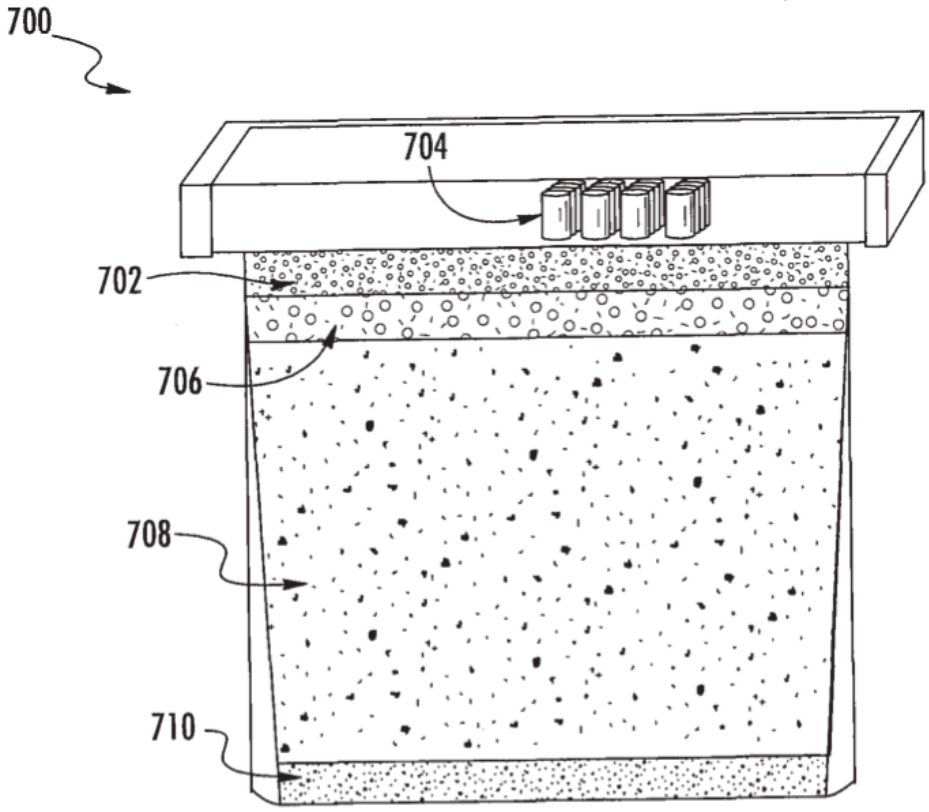

FIG. 7

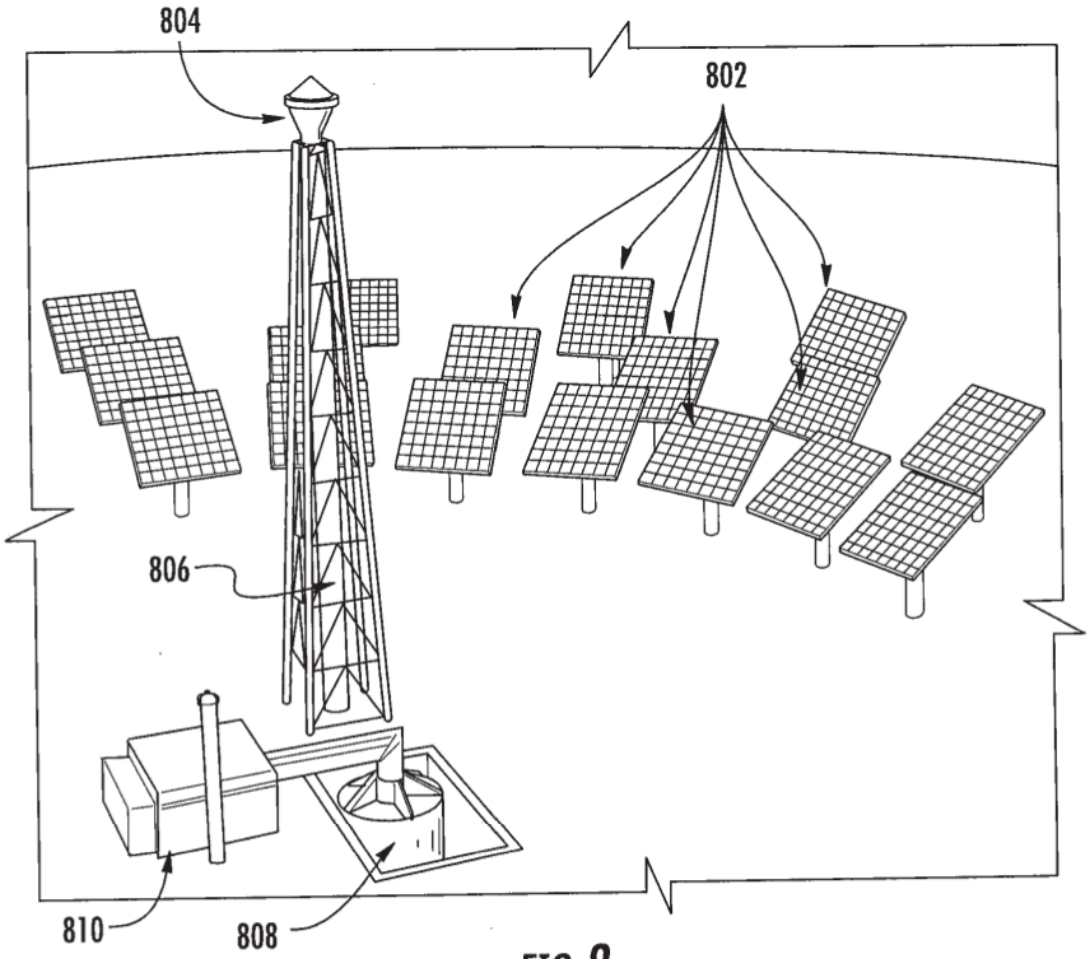

FIG. 8

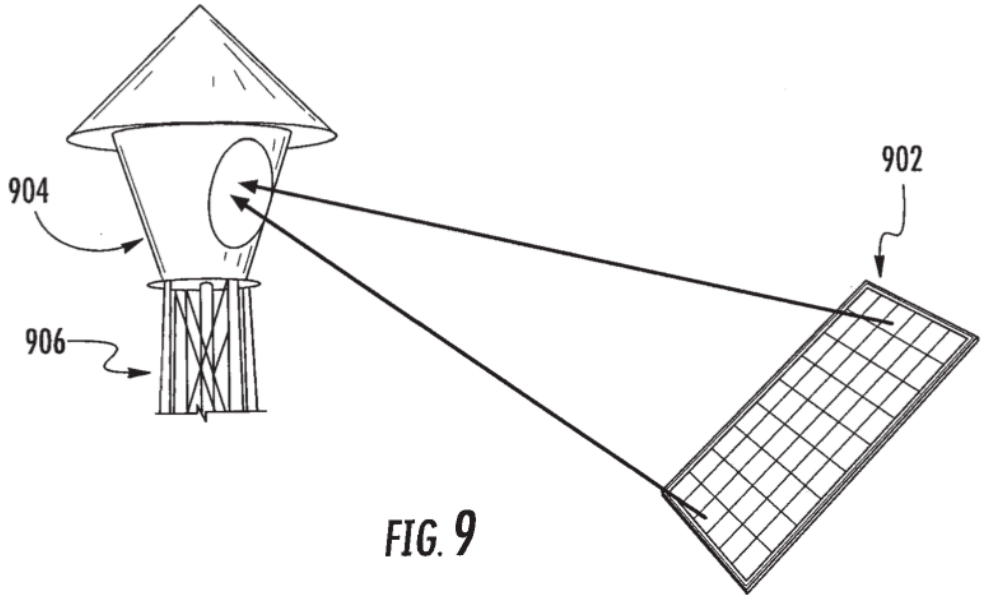

FIG. 9

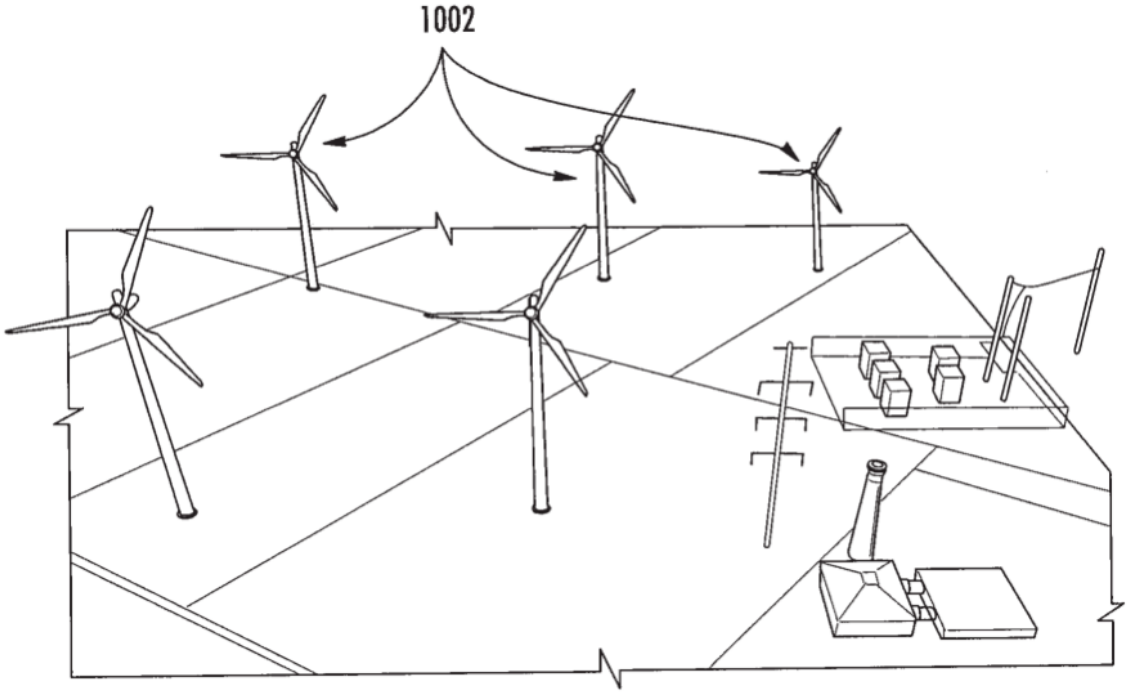

FIG. 10