

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 018 461**

51 Int. Cl.:

F28D 20/00	(2006.01) C25B 1/00	(2011.01)
B63H 11/00	(2006.01) F24S 20/20	(2008.01)
F01K 3/02	(2006.01) B01D 53/34	(2006.01)
F01K 11/02	(2006.01)	
F01K 15/00	(2006.01)	
F01K 19/04	(2006.01)	
F03D 9/18	(2006.01)	
H02J 1/00	(2006.01)	
B01D 53/00	(2006.01)	
G05B 19/418	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.11.2021** **PCT/US2021/061041**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.06.2022** **WO22115721**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2021** **E 21843808 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2025** **EP 4150282**

54 Título: **Sistema de almacenamiento de energía y aplicaciones**

30 Prioridad:

30.11.2020 US 202063119443 P
01.03.2021 US 202163155261 P
24.03.2021 US 202163165632 P
02.04.2021 US 202163170370 P
09.08.2021 US 202163231155 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.05.2025

73 Titular/es:

RONDO ENERGY, INC. (100.00%)
1960 North Loop Road
Alameda, California 94502, US

72 Inventor/es:

O'DONNELL, JOHN SETEL;
VON BEHRENS, PETER EMERY;
TREYNOR, CHIAKI;
KELLER, JEREMY QUENTIN;
JONEMANN, MATTHIEU;
RATZ, ROBERT y
FERHANI, YUSEF DESJARDINS

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 3 018 461 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 energía y aplicaciones

5 ANTECEDENTES

Campo técnico

10 [0001] La presente divulgación se refiere a sistemas de almacenamiento y utilización de energía térmica. Más concretamente, la presente divulgación se refiere a un sistema de almacenamiento de energía que almacena energía eléctrica en forma de energía térmica, que puede utilizarse para el suministro continuo de aire caliente, dióxido de carbono (CO₂), vapor u otros fluidos calentados, para diversas aplicaciones, incluyendo el suministro de calor a procesos industriales y/o la generación de energía eléctrica.

15 [0002] El documento WO 2020/068758 A1 se refiere a sistemas y métodos de almacenamiento de energía térmica basados en partículas para el almacenamiento de energía, con ejemplos específicos que incluyen la energía eléctrica y/o la energía solar. El excedente de electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables, tal como la eólica y la solar, puede almacenarse en forma de energía térmica.

20 [0003] El documento WO 2019/224538 A1 se refiere a un sistema de almacenamiento de energía térmica, que comprende al menos dos masas de almacenamiento térmico, en el que una masa de almacenamiento térmico interior está contenida dentro de una masa de almacenamiento térmico exterior. Una bomba o compresor impulsa un fluido compresible por el sistema. Un primer intercambiador de calor de masa de almacenamiento tiene un primer lado en comunicación fluida con la bomba o el compresor, y un segundo lado en contacto con la masa de almacenamiento térmico exterior.

25 [0004] El documento WO 2012/127178 A1 se refiere a un aparato de almacenamiento térmico que comprende al menos un almacén térmico que comprende una cámara con una entrada de gas, una salida de gas, y un medio de almacenamiento térmico permeable al gas dispuesto entre los mismos.

30

Técnica relacionada

I. Descripción de la técnica

35 A. Electricidad renovable variable

[0005] La combustión de combustibles fósiles se ha utilizado como fuente de calor en la generación de energía termoeléctrica para proporcionar calor y vapor para usos como el calor de procesos industriales. Sin embargo, el uso de combustibles fósiles tiene varios problemas y desventajas, incluyendo el calentamiento global y la contaminación. En consecuencia, es necesario pasar de los combustibles fósiles a las energías limpias y sostenibles.

40

[0006] Las fuentes de electricidad renovable variable (VRE), tal como la energía solar y la energía eólica, han crecido rápidamente al reducirse sus costes a medida que el mundo avanza hacia la reducción de las emisiones de carbono para mitigar el cambio climático. Pero un reto importante relacionado con el uso de VRE es, como su nombre indica, su variabilidad. La naturaleza variable e intermitente de la energía eólica y solar no hace de este tipo de fuentes de energía candidatas naturales para abastecer las demandas continuas de energía de las redes eléctricas, los procesos industriales, etc. En consecuencia, existe una necesidad insatisfecha de almacenar la VRE para poder suministrar energía de forma eficiente y flexible en diferentes momentos. Además, la Agencia Internacional de la Energía ha informado de que el uso de energía por parte de la industria constituye la mayor parte del consumo energético mundial, y que tres cuartas partes de la energía industrial se utilizan en forma de calor, en lugar de electricidad. Así pues, existe una necesidad insatisfecha de sistemas y tecnologías de almacenamiento de energía de menor coste que utilicen la VRE para suministrar energía de procesos industriales, lo que puede ampliar la VRE y reducir la combustión de combustibles fósiles.

50

B. Sistemas electroquímicos de almacenamiento de energía

55

[0007] Los sistemas electroquímicos de almacenamiento de energía, tal como las baterías de iones de litio y otras formas de electroquímica, se utilizan habitualmente para almacenar electricidad y suministrarla bajo demanda, o "despacho". El almacenamiento electroquímico de energía puede responder ventajosamente con rapidez a los cambios en la oferta y la demanda. Sin embargo, el elevado coste de esta forma de energía ha limitado su adopción generalizada. Estos obstáculos financieros dificultan el uso generalizado del almacenamiento electroquímico de energía.

60

C. Almacenamiento de energía en forma de calor

[0008] En las aplicaciones industriales, comerciales y residenciales, la energía térmica puede recogerse durante un periodo de tiempo, almacenarse en un dispositivo de almacenamiento y liberarse para el uso previsto durante otro periodo. Algunos ejemplos son el almacenamiento de energía en forma de calor sensible en depósitos de líquido, tal como agua,

65

aceites y sales fundidas; calor sensible en medios sólidos, tal como roca, arena, hormigón y materiales refractarios; calor latente en el cambio de fase entre las fases gaseosa, líquida y sólida de metales, ceras, sales y agua; y calor termoquímico en reacciones químicas reversibles que pueden absorber y liberar calor a lo largo de muchos ciclos repetidos; y medios que pueden combinar estos efectos, tal como materiales que cambian de fase incrustados o integrados con materiales que almacenan energía en forma de calor sensible. La energía térmica puede almacenarse a granel en el subsuelo, en forma de cambios de temperatura o de fase de los materiales del subsuelo, en medios contenidos tales como líquidos o sólidos particulados, o en materiales sólidos autoportantes.

[0009] Los dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica, tal como las baterías, suelen transferir energía a través de una corriente eléctrica. Algunos dispositivos de almacenamiento de energía térmica transfieren energía hacia y desde el almacenamiento utilizando un único método de transferencia de calor, tal como la transferencia convectiva a través de un medio de transferencia de calor líquido o gaseoso. Entre los dispositivos de almacenamiento de energía térmica destacan los de recuperación de calor, como las estufas Cowper de los altos hornos siderúrgicos y los "regeneradores" de los hornos de fusión de vidrio, que absorben el calor de los gases de salida y lo devuelven precalentando los gases de entrada. Estos dispositivos utilizan materiales "refractarios", resistentes a las altas temperaturas, como medio de almacenamiento de energía. Ejemplos de estos materiales incluyen ladrillos refractarios y ladrillos de damero. Estos materiales pueden disponerse en configuraciones que permitan el paso del aire y los gases de combustión a través de grandes cantidades de material.

[0010] Algunos sistemas de energía térmica pueden, en el límite de su sistema, absorber energía en una forma, tal como la radiación solar entrante o la energía eléctrica entrante, y entregar energía de salida en una forma diferente, tal como el calor transportado por un líquido o un gas. Pero los sistemas de almacenamiento de energía térmica también deben ser capaces de proporcionar almacenamiento de forma económica. En el caso del almacenamiento térmico sensible, el intervalo de temperaturas a las que puede calentarse y enfriarse el material de almacenamiento a granel, el "medio de almacenamiento", es un factor determinante de la cantidad de energía que puede almacenarse por unidad de material. La temperatura de uso de los materiales de almacenamiento térmico está limitada por factores tales como la congelación, la ebullición o la descomposición o el deterioro térmicos, incluyendo los efectos químicos y mecánicos.

[0011] Además, los distintos usos de la energía térmica - diferentes procesos de calefacción o industriales - requieren energía a distintas temperaturas. Los dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica, por ejemplo, pueden almacenar y devolver energía eléctrica a cualquier tensión conveniente y convertir eficientemente esa tensión al alza o a la baja con dispositivos activos. Por otra parte, la conversión del calor de baja temperatura a temperaturas más altas es intrínsecamente costosa e ineficiente. En consecuencia, un reto en los dispositivos de almacenamiento de energía térmica es el suministro rentable de energía térmica con contenido de calor y a una temperatura suficiente para satisfacer una aplicación determinada.

[0012] Algunos sistemas de almacenamiento de energía térmica almacenan el calor en un líquido que fluye desde un "tanque frío" a través de un dispositivo de intercambio de calor a un "tanque caliente" durante la carga, y luego desde el tanque caliente al tanque frío durante la descarga, proporcionando condiciones relativamente isotérmicas en la salida del sistema durante la descarga. Se necesitan sistemas y métodos para mantener una temperatura de salida suficiente utilizando medios sólidos de menor coste.

[0013] Los sistemas de almacenamiento de energía térmica suelen tener unos costes que están relacionados principalmente con su capacidad total de almacenamiento de energía (cuántos MWh de energía contiene el sistema) y con sus tasas de transferencia de energía (los MW de potencia instantánea que entran o salen de la unidad de almacenamiento de energía en un momento dado). Dentro de una unidad de almacenamiento de energía, la energía se transfiere desde una entrada a un medio de almacenamiento y, en otro momento, desde el medio de almacenamiento a una salida. La velocidad de transferencia de calor hacia y desde el medio de almacenamiento está limitada por factores como la conductividad térmica y la capacidad del medio, la superficie a través de la cual se transfiere el calor y la diferencia de temperatura a través de esa superficie. Las elevadas velocidades de carga son posibles gracias a las grandes diferencias de temperatura entre la fuente de calor y el medio de almacenamiento, a las grandes superficies y a los medios de almacenamiento con gran capacidad calorífica o conductividad térmica.

[0014] Pero cada uno de estos factores puede añadir un coste significativo a un dispositivo de almacenamiento de energía. Por ejemplo, las superficies de intercambio de calor más grandes suelen requerir 1) mayores volúmenes de fluidos de transferencia de calor y 2) mayores superficies en los intercambiadores de calor, y ambas cosas suelen ser costosas. Las diferencias de temperatura más elevadas requieren fuentes de calor que funcionen a temperaturas relativamente más altas, lo que puede provocar pérdidas de eficiencia (por ejemplo, refrigeración por radiación o conducción hacia el entorno, o un menor coeficiente de rendimiento en las bombas de calor) y aumentos de costes (tal como la selección y el uso de materiales que sean duraderos a temperaturas más elevadas). Un medio con mayor conductividad térmica y capacidad calorífica también puede requerir la selección de materiales o agregados costosos de mayor rendimiento.

[0015] Otro reto de los sistemas que almacenan energía de fuentes de VRE está relacionado con las velocidades de carga. Una fuente de VRE, en un día determinado, puede proporcionar sólo un pequeño porcentaje de su capacidad total, debido a las condiciones imperantes. Para un sistema de almacenamiento de energía acoplado a una fuente de VRE y

diseñado para suministrar una producción continua, toda la energía suministrada debe absorberse durante el periodo en que la VRE entrante esté disponible. Como resultado, la tasa de carga máxima puede ser algún múltiplo de las tasas de descarga (por ejemplo, 3-5x), por ejemplo, en el caso de un sistema de energía solar, si el periodo de descarga (durante la noche) es significativamente más largo que el periodo de carga (durante la luz del día). En este sentido, el reto del almacenamiento de VRE es diferente, por ejemplo, del de los dispositivos de recuperación de calor, que suelen absorber y liberar calor a ritmos similares. Para los sistemas de almacenamiento de VRE, es importante el diseño de unidades que puedan cargar eficazmente a altas velocidades, y puede ser un factor más determinante del coste total del sistema que la velocidad de descarga.

1. Estufas Cowper

[0016] Entre los ejemplos de diseños de almacenamiento en medios sólidos que logran condiciones isotérmicas relativamente más altas durante la descarga se incluyen las estufas Cowper, que disponen una larga trayectoria de gas a través de porciones sucesivas de material de almacenamiento térmico, y que invierten el flujo de gases de transferencia de calor entre la carga y la descarga.

2. Almacenamiento de energía térmica eléctrica (ETES) de Siemens

[0017] Este sistema almacena la energía en forma de calor en un medio sólido como rocas o escombros que forman conductos de aire. El material se calienta de forma convectiva mediante un fluido de transferencia de calor que se calienta externamente al sistema de almacenamiento. La patente europea 3 245 388 76 divulga este enfoque en las figuras 1 y 3. Sin embargo, en este enfoque, el flujo de fluido de transferencia de calor, las temperaturas relativas, las áreas de superficie de los materiales y los calentadores de fluido de transferencia de calor deben ser suficientes para absorber la energía entrante pico, lo que aumenta los costos en comparación con componentes que no requieren tanta capacidad. La necesidad de un sistema de calefacción por convección, incluyendo un sistema de soplado (por ejemplo, un sistema de turbo soplado) o similar, añade un coste adicional. Además, el medio sólido no puede ser calentado y enfriado de manera uniforme en un termoclina, ya que tanto el material como los caminos internos del fluido están dispuestos de forma aleatoria o no uniforme, y los efectos de flotabilidad provocan gradientes de temperatura transversales al gradiente deseado. Esto hace que las temperaturas de salida aumenten relativamente pronto durante la carga, necesitando conductos de aire y ventiladores más caros que puedan manejar fluidos a alta temperatura; y además hace que las temperaturas de salida caigan relativamente pronto en la descarga, limitando la temperatura de entrega prácticamente alcanzable a niveles significativamente inferiores a la temperatura pico del medio de almacenamiento (por ejemplo, roca). Dado que la conversión de la energía eléctrica se produce principalmente por radiación de un calentador de resistencia a superficies adyacentes o cercanas, seguida de transferencia de calor por convección de las superficies al aire, seguida de transferencia de calor por convección del aire a los medios sólidos; y dado que cada uno de estos pasos de transferencia de calor requiere una diferencia de temperatura que provoca el flujo de calor, la temperatura máxima práctica del medio de almacenamiento es significativamente inferior (más de 100 °C) a la temperatura máxima de las superficies del calentador eléctrico. Dado que la aplicabilidad del calor almacenado varía significativamente con la temperatura - muchos procesos industriales tienen una temperatura mínima requerida para impulsar el proceso igual o superior a 1000° - y dado que el coste y la vida útil de los calentadores de resistencia eléctrica varían bruscamente con la temperatura, cualquier sistema de almacenamiento térmico que emplee la carga convectiva tiene desventajas significativas tanto en su coste como en su campo de uso. Por último, cabe señalar que el diseño divulgado en esta referencia utiliza la transferencia de calor por convección, en lugar de la radiación de calor (y la rerradiación de calor de ladrillo a ladrillo), como método principal de calentamiento, que es más lento y menos eficaz para lograr un calentamiento uniforme.

[0018] Además, durante el funcionamiento de un sistema según Siemens/ETES, como cualquier sistema que emplee lechos empaquetados de sólidos sueltos/no estructurados (ya sean rocas, grava, esferas manufacturadas u otras formas y métodos), cabe esperar que los medios de almacenamiento se expandan y contraigan repetidamente, y que ejerzan repetidamente grandes fuerzas durante la expansión sobre el contenedor exterior que contiene los medios, y que se asienten durante el enfriamiento y la contracción, haciendo que los medios y los escombros se asienten y potencialmente se aplasten en pequeños fragmentos o polvo, disminuyendo su capacidad calorífica. Además, cabe esperar que la expansión debida al calentamiento del material a granel no estructurado, como en Siemens, ejerza tensión sobre el contenedor para el material a granel y, por tanto, requiera el uso de costosos aislamientos y paredes de contenedor.

3. Conlon

[0019] Otros enfoques han descrito posibles sistemas de almacenamiento de energía térmica en abstracto, sin diseños habilitados descritos o referidos. La solicitud de patente estadounidense US2018/0245485A ilustra el uso de energía térmica solar para calentar un medio de almacenamiento líquido (es decir, sal fundida) y hace referencia a las posibilidades de almacenar calor en sólidos en [0038] y [0039] Sin embargo, este enfoque no reconoce ni resuelve los problemas y desventajas, ni proporciona una divulgación habilitadora de las soluciones necesarias para permitir dicho almacenamiento de VRE en medios sólidos.

4. Stack

[0020] Otros enfoques han descrito sistemas de almacenamiento de VRE con carga rápida. Por ejemplo, Stack, en "Performance of firebrick resistance-heated energy storage for industrial heat applications and round-trip electricity storage", describe conceptos de diseño que utilizan la energía eléctrica como fuente para calentar y almacenar energía en sólidos refractarios (ladrillos) (<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.100>). Stack divulga un método de calentamiento primario que incluye elementos de calentamiento resistivos metálicos incrustados dentro de una matriz de materiales refractarios que se calientan (cargan) por transferencia de calor radiativo desde dichos elementos de calentamiento resistivos a superficies inmediatamente adyacentes a los elementos de calentamiento, y se enfrían (descargan) principalmente por descarga de calor convectiva utilizando aire fluyente como fluido de transferencia de calor, y divulga el uso opcional de calentamiento resistivo de materiales refractarios conductores y calentamiento mediante el paso de corrientes eléctricas a través de dichos materiales refractarios conductores. Como se expone más adelante, la divulgación del método de calentamiento primario de Stack presenta desventajas significativas frente a las presentes invenciones, ya que los diseños propuestos tienen una alta vulnerabilidad incluso a pequeñas no uniformidades en las propiedades de los calentadores y los ladrillos; altos gradientes térmicos debido a la dependencia de la transferencia de calor por conducción y el calentamiento no uniforme de las superficies; y altas consecuencias de ocurrencia de fallos en los ladrillos, incluyendo los conocidos modos de agrietamiento y desconchado. Dado que los alambres del calentador están expuestos a una pequeña superficie de ladrillo y que la transferencia de calor es por conducción, puede producirse una falta de uniformidad en el calentamiento del material refractario y una posible tensión térmica en dicho material, que se agravaría en caso de fallo de elementos individuales del calentador, y dado que las grietas internas modifican la transferencia de calor por conducción, cualquier zona agrietada da lugar a temperaturas superficiales sustancialmente más altas cerca de dichas grietas, lo que puede dar lugar a temperaturas locales significativamente más altas de los elementos del calentador, provocando temperaturas tempranas del calentador o límites significativos en las temperaturas prácticas de funcionamiento de dichos calentadores, o ambas cosas. Las innovaciones actuales superan estos retos con características tanto estructurales como operativas que permiten el funcionamiento fiable de los medios de almacenamiento y los calentadores a altas temperaturas y una larga vida útil al asegurar intrínsecamente una mayor uniformidad de las temperaturas en todo el medio de almacenamiento, incluso en presencia de no uniformidades de los calentadores y los ladrillos y de agrietamiento y desconchado de los ladrillos.

5. Otros

[0021] La solicitud de patente de los Estados Unidos US20180179955A1 está dirigida a termoclinas deflectadas en sistemas de ciclos termodinámicos. Las termoclinas de estado sólido se utilizan en lugar de intercambiadores de calor en un sistema de almacenamiento de energía. Sin embargo, esto enseña a limitar la transferencia conductiva y/o radiativa de calor dentro de las diferentes zonas definidas por la estructura deflectora.

[0022] La patente de los Estados Unidos US9370044B2 (McDonald) está dirigida a un controlador de dispositivo de almacenamiento térmico que equilibra las necesidades de carga de un usuario para gestionar la calefacción, y describe el uso de ladrillos con elementos de calentamiento dispuestos en los ladrillos. Los controladores se divulgan que pueden tener modos de funcionamiento plurales, cada modo de funcionamiento que se asocia a una temperatura de base del defecto, tal como un primer modo de funcionamiento y un modo de funcionamiento espera. Los modos de funcionamiento pueden ajustarse en función de una estación del año. El diseño de McDonald también puede incluir un controlador que reciba información asociada a las condiciones climáticas previstas y establezca temperaturas operativas basadas en las condiciones climáticas previstas. Sin embargo, este enfoque no resuelve los problemas y desventajas anteriores con respecto a la carga y descarga del ladrillo.

II. Problemas y desventajas

[0023] Los enfoques descritos anteriormente presentan diversos problemas e inconvenientes. Los sistemas anteriores no tienen en cuenta varios fenómenos críticos en el diseño, la construcción y el funcionamiento de los sistemas de almacenamiento de energía térmica, por lo que no facilitan la construcción y el funcionamiento eficiente de dichos sistemas. Más concretamente, los diseños actuales no tienen en cuenta el "desbordamiento térmico" y el fallo de los elementos debido a la falta de uniformidad en la carga y descarga de energía térmica a través de una matriz de materiales sólidos, incluido el diseño de los controles de carga, descarga y unidad para alcanzar y restablecer los equilibrios de temperatura a través de grandes conjuntos de material de almacenamiento térmico.

[0024] Los sistemas de almacenamiento de energía térmica con carga radiativa y descarga convectiva incorporadas son, en principio, vulnerables a los efectos de "fuga térmica" o "fuga de calor". El fenómeno puede deberse a desequilibrios, incluso pequeños desequilibrios, en el calentamiento local por elementos de calentamiento y en el enfriamiento por flujo de fluido de transferencia de calor. Las variaciones en la velocidad de calentamiento y enfriamiento, a menos que se gestionen y mitiguen, pueden provocar temperaturas de fuga que provoquen fallos en los calentadores y/o el deterioro de los materiales refractarios. El sobrecalentamiento provoca fallos prematuros de los elementos de calentamiento y acorta la vida útil del sistema. En Stack, por ejemplo, los ladrillos más cercanos al alambre de calentamiento se calientan más que los ladrillos que están más alejados del alambre calefactor. Como resultado, es probable que aumente la tasa de fallos del alambre, lo que reducirá la vida útil del calentador.

[0025] Un efecto que agrava aún más el desbordamiento térmico es la expansión térmica del aire que circula por los conductos de aire. El aire más caliente se expande más, provocando una mayor velocidad de salida para un caudal de

entrada dado y, por lo tanto, una mayor caída de presión hidráulica a través del conducto, lo que puede contribuir a una mayor reducción del caudal y a una menor refrigeración durante la descarga. Así, en sucesivos ciclos de calentamiento y enfriamiento, puede producirse progresivamente menos enfriamiento local, lo que provoca un sobrecalentamiento local aún mayor.

[0026] El funcionamiento eficaz del suministro de calor a partir del almacenamiento de energía térmica depende de la descarga continua, lo que supone un reto particular en los sistemas que dependen de fuentes de VRE para cargar el sistema. Se necesitan soluciones que puedan capturar y almacenar esa energía de VRE de manera eficiente y suministrar la energía almacenada según sea necesario a una variedad de usos, incluyendo una serie de aplicaciones industriales, de forma fiable y sin interrupción.

[0027] Los sistemas anteriores no abordan adecuadamente los problemas asociados a las fuentes de energía de VRE, incluidas las variaciones derivadas de patrones climáticos desafiantes, como las tormentas, y las variaciones de suministro a más largo plazo derivadas de las variaciones estacionales en la generación de VRE. En este sentido, existe una necesidad no satisfecha en la técnica de proporcionar un control eficiente de la carga y descarga del sistema de almacenamiento de energía en la gestión inteligente del almacenamiento. Los diseños actuales no proporcionan adecuadamente una gestión del almacenamiento que tenga en cuenta una serie de factores, incluidas las previsiones meteorológicas a medio y corto plazo, las previsiones de generación de VRE y la demanda variable en el tiempo de energía, que puede estar determinada en su totalidad o en parte por consideraciones tales como la demanda de procesos industriales, la demanda de energía de la red, los precios de la electricidad en tiempo real, los precios de la capacidad del mercado mayorista de electricidad, el valor de adecuación de los recursos de la empresa eléctrica y la intensidad de carbono de los suministros de energía desplazados. Se necesita un sistema que pueda proporcionar energía almacenada a diversas demandas que priorice teniendo en cuenta estos factores, maximizando la utilidad práctica y la eficiencia económica.

III. Necesidades insatisfechas

[0028] Existen diversas necesidades insatisfechas relacionadas en general con la energía y, más concretamente, con la energía térmica. En general, es necesario cambiar los combustibles fósiles por energías limpias y sostenibles. También existe la necesidad de almacenar la VRE para suministrar energía en diferentes momentos con el fin de ayudar a satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad. También se necesitan sistemas y tecnologías de almacenamiento de energía de menor coste que permitan a la VRE suministrar energía a los procesos industriales, lo que puede ampliar el uso de la VRE y reducir así la combustión de combustibles fósiles. También es necesario mantener una temperatura de salida suficiente al tiempo que se utilizan medios sólidos de menor coste.

[0029] Además, es necesario diseñar unidades de VRE que puedan cargarse rápidamente a bajo coste, suministrar energía continua y despachable según las necesidades de diversas aplicaciones industriales a pesar de las variaciones en el suministro de VRE, y que faciliten un control eficaz de la carga y descarga del sistema de almacenamiento de energía.

SUMARIO

[0030] La invención se define en las reivindicaciones independientes. Realizaciones de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

[0031] Esta combinación de calentamiento radiativo a través de las cavidades de radiación y la rerradiación a las superficies de los ladrillos adyacentes a las cavidades de radiación, así como la conducción interna dentro de los bloques, distribuye el calor de manera más uniforme a través del conjunto de bloques que en las disposiciones de la técnica anterior.

[0032] Al menos algunos de los bloques de almacenamiento pueden colocarse de forma que los elementos de calentamiento adyacentes a algunas de las cavidades de radiación emitan calor principalmente en una dirección de radiación diferente a la dirección del flujo de fluido a través de las trayectorias de fluido correspondientes. La transferencia de energía radiativa se produce principalmente en dirección horizontal, lo que es controlable (por ejemplo, reduciendo la radiación vertical que rebota en el recinto o interfiriendo en la termoclina prevista). Por ejemplo, la dirección de radiación puede ser sustancialmente ortogonal a la dirección de flujo del fluido. La dirección del flujo de fluido a través de las trayectorias de fluido puede ser sustancialmente vertical y al menos algunos de los elementos del calentador pueden estar horizontalmente adyacentes a algunas de las cavidades de radiación. (El término "fluido", tal como se utiliza aquí, puede significar aire y/o uno o más gases adecuados; por lo tanto, el uso de cualquiera de los términos fluido, aire o gas debe considerarse que engloba a los otros dos). Esta disposición es ventajosa porque aprovecha el hecho de que el aire caliente asciende.

[0033] Los elementos de calentamiento, los bloques de almacenamiento y las cavidades de radiación pueden estar configurados para proporcionar una termoclina sustancialmente vertical en la que una porción superior del conjunto de almacenamiento térmico puede estar a una temperatura más alta que una porción inferior del conjunto de almacenamiento térmico.

[0034] Al menos una de las trayectorias de fluido puede incluir múltiples ranuras de flujo de fluido que se abren a una cavidad de radiación particular y la corriente de fluido pasa a través de las múltiples ranuras de flujo de fluido de la cavidad de radiación particular. Tener múltiples ranuras de flujo de fluido por cavidad de radiación puede aumentar la turbulencia o mejorar de otro modo el calentamiento uniforme. Además, múltiples ranuras más pequeñas pueden proporcionar más estabilidad estructural que una sola ranura de tamaño similar.

[0035] Una trayectoria de fluido puede incluir múltiples cavidades y múltiples ranuras de flujo de fluido, puede estar orientada para un flujo de fluido sustancialmente vertical, y puede incluir cavidades de radiación alternas y conjuntos de una o más ranuras de flujo de fluido en la dirección vertical. Las ranuras de flujo de fluido pueden estar posicionadas de tal manera que cualquier energía radiante de los elementos de calentamiento llegue a las ranuras de flujo de fluido solo de forma indirecta a través de una o más cavidades de radiación.

[0036] Las ranuras de flujo de fluido pueden ser alargadas con una dimensión más larga y otra más corta. Esta forma de las aberturas reduce la cantidad de flujo laminar, lo que puede mantener el fluido dentro de las aberturas a una temperatura más uniforme.

[0037] Las ranuras de flujo de fluido de al menos un bloque de almacenamiento térmico pueden estar orientadas con su dimensión más larga en múltiples direcciones diferentes. Esta dirección de las aberturas puede evitar el bloqueo de la transferencia conductiva a través de los ladrillos que resulta de la absorción de la radiación en las cavidades.

[0038] Los bloques de almacenamiento térmico pueden colocarse en varios niveles, en los que la altura de las cavidades de radiación y las ranuras de flujo de fluido de un primer nivel puede ser mayor que la altura de las cavidades de radiación y las ranuras de flujo de fluido de un segundo nivel inferior al primer nivel. La parte superior de la pila está más caliente, por lo que los ladrillos más grandes pueden soportar mejor el calor. Los ladrillos más pequeños en la parte inferior también pueden proporcionar más estabilidad estructural.

[0039] El sistema puede comprender además:

circuitos de control configurados para suministrar energía a los elementos de calentamiento; en el que los bloques de almacenamiento térmico pueden colocarse en varios niveles; y en el que los circuitos de control pueden estar configurados para proporcionar diferentes cantidades de energía para controlar los elementos de calentamiento en diferentes niveles.

[0040] La energía óptima del elemento de calentamiento puede variar en función de la temperatura, y el tope de la pila suele estar más caliente que la parte inferior. Por lo tanto, esto puede aumentar la eficacia de la retención térmica.

[0041] La unidad de almacenamiento térmico (TSU) puede incluir además:

múltiples pilas de bloques de almacenamiento térmico, incluyendo un primer conjunto de pilas que está aislado de un segundo conjunto de pilas; y Aberturas controladas de forma independiente ubicadas debajo del primer conjunto de pilas y del segundo conjunto de pilas y configuradas para controlar el flujo desde la corriente de fluido hacia el primer conjunto de pilas y el segundo conjunto de pilas.

[0042] Esto puede facilitar la carga/descarga por separado de las celdas en una TSU.

[0043] El volumen de una cavidad de radiación particular puede ser mayor que un conjunto vecino de una o más ranuras de flujo de fluido de una trayectoria de fluido dada. Las cavidades de radiación más grandes que forman porciones de las trayectorias del flujo de aire pueden facilitar un calentamiento radiativo uniforme. Al menos uno de los bloques de almacenamiento térmico puede cubrir múltiples cavidades de radiación y múltiples aberturas que están al menos parcialmente definidas por otro u otros bloques de almacenamiento térmico. Los bloques más grandes pueden reducir los costes de construcción de bloques y reducir los daños por fricción entre los bloques de una pila. Algunas formas también pueden aportar seguridad estructural, por ejemplo, en caso de terremotos. Un bloque de almacenamiento térmico puede incluir cavidades de radiación y ranuras de flujo de fluido en múltiples elevaciones verticales.

[0044] Al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico pueden incluir ranuras de flujo de fluido en una porción del bloque situada por encima de al menos uno de los elementos de calentamiento. Ranuras adicionales situadas encima de los elementos de calentamiento pueden mejorar el flujo global del fluido y la distribución uniforme del calor.

[0045] La TSU puede incluir:

un recinto; en el que el recinto puede incluir una primera ventilación con un primer cierre de ventilación, formando la primera ventilación un paso entre un interior del recinto y un exterior, en el que el aparato puede estar configurado para mantener el primer cierre de ventilación en una posición cerrada durante una condición de funcionamiento del sistema de movimiento de fluidos; y

un mecanismo a prueba de fallos configurado para abrir el primer cierre de ventilación en respuesta a una condición de no funcionamiento del sistema de movimiento de fluidos.

[0046] La TSU puede incluir:

un primer recinto que tiene una superficie interior;
un segundo recinto con una superficie exterior, estando el segundo recinto situado dentro del primer recinto, en el que los bloques de almacenamiento térmico pueden estar situados en el segundo recinto; y
un paso de fluido delimitado por la superficie exterior y la superficie interior y en comunicación con las trayectorias de fluido, en el que el sistema de movimiento de fluido puede estar configurado para dirigir la corriente de fluido a través del paso de fluido y luego a través de las trayectorias de fluido.

[0047] El aislamiento dinámico puede permitir el uso de un aislamiento menos costoso, mejorar la vida útil del equipo y proteger el recinto y los cimientos de la TSU contra el sobrecalentamiento.

[0048] Los bloques de almacenamiento térmico pueden incluir porciones de estante que se entrelazan cuando los bloques de almacenamiento térmico se colocan en una pila. Esto puede mejorar la estabilidad estructural y reducir los daños por fricción.

[0049] Las cavidades de radiación y las ranuras de flujo de fluido en una elevación vertical dada en la pila pueden tener la misma altura. El sistema puede comprender además una salida configurada para dar salida al gas calentado por la TSU. Los elementos de calentamiento pueden conectarse para recibir energía de una o más fuentes de energía de la siguiente lista de fuentes de energía: solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica. Los elementos de calentamiento resistivos también pueden estar configurados para calentar los bloques de almacenamiento térmico por radiación. El fluido puede incluir uno o más gases, por ejemplo, aire. El sistema de movimiento de fluido puede incluir un soplador configurado para dirigir la corriente de fluido. La descripción que sigue también proporciona sistemas, aparatos y métodos útiles para comprender y complementar la invención. No obstante, se señala que la invención está definida por las reivindicaciones. Cualquier divulgación en esta descripción de sistemas, aparatos o métodos no comprendidos en el objeto de las reivindicaciones debe entenderse como explicativa para comprender y enmarcar mejor la invención tal como se define en las reivindicaciones.

[0050] También se proporciona una unidad de almacenamiento térmico, que incluye:

un primer recinto;
un conjunto de almacenamiento térmico que comprende una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico dentro del primer recinto;
una pluralidad de elementos de calentamiento situados dentro del conjunto y configurados para calentar la pluralidad de bloques de almacenamiento térmico;
un sistema de movimiento de fluido configurado para dirigir una corriente de fluido a través de trayectorias de fluido en la pluralidad de bloques de almacenamiento térmico;
en donde el primer recinto define un interior y un exterior e incluye una primera ventilación con un primer cierre de ventilación, la primera ventilación formando un primer paso entre el interior y el exterior; y
un mecanismo a prueba de fallos configurado para mantener el primer cierre de ventilación en una posición cerrada durante una condición operativa del sistema de movimiento de fluidos y para abrir el primer cierre de ventilación en respuesta a una condición no operativa del sistema de movimiento de fluidos.

[0051] El primer cerramiento puede incluir una segunda ventilación que tenga un segundo cierre de ventilación y forme un segundo paso entre el interior y el exterior; y
el mecanismo a prueba de fallos puede estar configurado para abrir el segundo cierre de ventilación en respuesta a la condición de no funcionamiento del sistema de movimiento de fluidos para permitir el paso de fluido interno calentado fuera del primer recinto a través de la primera ventilación y de fluido externo a través de la segunda ventilación hacia el interior a través del segundo paso. Esta configuración de ventilación permite la refrigeración pasiva mediante el efecto chimenea que hace que el fluido ascienda por la pila, lo que a su vez atrae fluido más frío del exterior hacia la parte inferior de la pila, y evita el sobrecalentamiento. El paso del fluido interno calentado fuera del primer recinto a través de la primera ventilación y del fluido externo a través de la segunda ventilación hacia el interior a través de la segunda ventilación se ve así favorecido por la flotabilidad del fluido calentado en las trayectorias de fluido.

[0052] El primer cierre de ventilación y el segundo cierre de ventilación pueden ser diferentes porciones de una puerta de ventilación, en la que la unidad de almacenamiento térmico puede estar configurada para girar la puerta de ventilación para cerrar la primera y la segunda ventilación durante la condición de funcionamiento del sistema de movimiento de fluidos.

[0053] La unidad de almacenamiento térmico puede comprender además:

un generador de vapor configurado para generar vapor utilizando fluido calentado por los bloques de almacenamiento térmico y pasado a una entrada del generador de vapor a través de un conducto;

en el que el mecanismo a prueba de fallos está configurado para cerrar el conducto en respuesta a la condición de no funcionamiento del sistema de movimiento de fluidos.

[0054] Esto puede evitar daños en los componentes del generador de vapor, como los tubos de agua.

[0055] El primer cierre de ventilación puede colocarse para cerrar el conducto cuando está abierto para la primera ventilación. La segunda ventilación puede formar un paso desde el exterior hacia la entrada del generador de vapor.

[0056] La unidad de almacenamiento térmico [ZZZ-MattR recoger aquí] puede comprender además:

un segundo recinto que tiene una superficie interior, donde el primer recinto está posicionado dentro del segundo recinto;
un paso de fluido delimitado por una superficie exterior del primer recinto y la superficie interior y en comunicación con las trayectorias de fluido;
en el que el sistema de movimiento de fluido, durante la condición de funcionamiento, está configurado para dirigir la corriente de fluido a través del paso de fluido antes de dirigir la corriente de fluido a través de las trayectorias de fluido;
en el que el primer cierre de ventilación define una porción del paso de fluido en la posición cerrada; y
en el que la posición abierta de los cierres de ventilación primero y segundo en la condición no operativa del sistema de movimiento de fluido extrae fluido del exterior a través del paso de fluido.

[0057] La posición abierta de los cierres de ventilación primero y segundo en la condición no operativa del sistema de movimiento de fluido puede extraer fluido del exterior a través del paso de fluido del sistema de movimiento de fluido. La unidad de almacenamiento térmico puede comprender además una tercera ventilación con un tercer cierre de ventilación, en el que la tercera ventilación está incluida en el segundo recinto y forma un paso entre el interior del segundo recinto y su exterior, en el que el mecanismo a prueba de fallos está configurado para abrir el tercer cierre de ventilación en respuesta a la condición de no funcionamiento del sistema de movimiento de fluidos. Al menos una parte del generador de vapor que recibe fluido calentado a través del conducto puede estar incluida en el segundo recinto. Esto puede reducir el impacto de las fugas en el generador de vapor. El mecanismo a prueba de fallos puede estar configurado para mantener la primera cubierta de ventilación en una posición cerrada utilizando energía eléctrica durante la condición de funcionamiento.

[0058] El mecanismo a prueba de fallos puede incluir un engranaje de transmisión helicoidal configurado para cerrar la primera cubierta de ventilación y un embrague eléctrico configurado para mantener la primera cubierta de ventilación en la posición cerrada, en la que la primera cubierta de ventilación puede estar configurada para abrirse debido a la fuerza gravitacional cuando el embrague eléctrico no está accionado. Alternativa o adicionalmente, el mecanismo de seguridad puede incluir un interruptor eléctrico y un motor.

[0059] También se proporciona una unidad de almacenamiento térmico, que incluye:

un primer recinto que tiene una superficie interior;
un conjunto de almacenamiento térmico que comprende una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico colocados en un segundo recinto que tiene una superficie exterior, el segundo recinto colocado dentro del primer recinto, los bloques de almacenamiento térmico que incluyen trayectorias de fluido;
una pluralidad de elementos de calentamiento situados dentro del conjunto y configurados para calentar los bloques de almacenamiento térmico; y
un paso de fluido delimitado por la superficie exterior y la superficie interior y en comunicación con las trayectorias de fluido; y
un sistema de movimiento de fluido configurado para dirigir una corriente de fluido a través del paso de fluido y las trayectorias de fluido.

[0060] El sistema de movimiento de fluidos puede estar configurado para dirigir la corriente de fluido hacia arriba a lo largo de una pared del segundo recinto, a través de un techo del segundo recinto, hacia abajo a lo largo de una o más paredes del segundo recinto, y luego hacia las aberturas inferiores de las trayectorias de fluido de los bloques de almacenamiento térmico. La unidad de almacenamiento térmico puede incluir además persianas configuradas para controlar de forma independiente el flujo de fluido desde el paso de fluido hacia diferentes conjuntos de trayectorias de fluido.

[0061] El segundo recinto puede incluir:

una primera ventilación con un primer cierre de ventilación, formando la primera ventilación un paso entre un interior del primer recinto y un exterior, en el que la unidad de almacenamiento térmico está configurada para mantener el primer cierre de ventilación en una posición cerrada durante una condición de funcionamiento del sistema de movimiento de fluidos; y una segunda ventilación con un segundo cierre de ventilación y formando otro paso entre el interior y el exterior;

en el que la unidad de almacenamiento térmico incluye un mecanismo a prueba de fallos configurado para abrir los cierres de ventilación primero y segundo en respuesta a una condición de no funcionamiento del sistema de movimiento de fluidos; y

en el que la posición abierta de los cierres de ventilación primero y segundo en la condición no operativa del sistema de movimiento de fluido extrae fluido del exterior a través del paso de fluido y las trayectorias de fluido.

[0062] El uso del paso de aislamiento dinámico para la ventilación a prueba de fallos mejora la seguridad del sistema sin necesidad de configuraciones de paso independientes.

[0063] Los cierres de ventilación primero y segundo pueden formar una parte del paso de fluido cuando están en posición cerrada.

[0064] La unidad de almacenamiento térmico puede estar configurada para funcionar en uno o más estados en los que la presión del fluido en el paso de fluido es mayor que la presión del fluido dentro del segundo recinto. Esto puede reducir el impacto de las fugas internas. La corriente de fluido puede incluir fluido reciclado desde un generador de vapor que genera vapor utilizando fluido calentado de los bloques de almacenamiento térmico.

[0065] También se proporciona un método, que comprende:

calentar una pila de bloques de almacenamiento térmico en una unidad de almacenamiento térmico (TSU) que incluye una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico, en la que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen múltiples cavidades de radiación y múltiples ranuras de flujo de fluido, en la que algunas de las cavidades de radiación y algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico;

en el que el calentamiento es realizado por una pluralidad de elementos de calentamiento (3607) situados dentro de al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico y adyacentes a algunas de las cavidades de radiación, mediante energía irradiada a múltiples de las cavidades de radiación y sobre superficies que limitan las respectivas cavidades de radiación dentro del al menos un bloque de almacenamiento térmico; y

dirigir el fluido a través de la TSU de forma que una corriente de fluido pase a través de la TSU, incluso a través de las trayectorias de fluido.

[0066] Al menos tres superficies de una cavidad de radiación pueden recibir energía radiada desde un elemento de calentamiento. Esto mejora la distribución del calor en relación con las implementaciones sin cavidades de radiación (por ejemplo, que podrían recibir radiación a lo largo de una pared de un ladrillo de almacenamiento térmico). Las ranuras de flujo de fluido pueden recibir energía radiativa del elemento de calentamiento sólo indirectamente a través de una o más cavidades que se abren al elemento de calentamiento.

[0067] Una o más de la pluralidad de aberturas pueden ser alargadas y conformadas para introducir un movimiento no lineal en el fluido dirigido a través de la una o más de la pluralidad de aberturas.

[0068] También se proporciona un aparato, que comprende:

una unidad de almacenamiento térmico (TSU) que incluye una pluralidad de medios de almacenamiento térmico, en la que al menos algunos de los medios de almacenamiento térmico incluyen múltiples cavidades de radiación y múltiples ranuras de flujo de fluido, en la que algunas de las cavidades de radiación y algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los medios de almacenamiento térmico;

medios de calentamiento colocados dentro de por lo menos algunos de los medios de almacenamiento térmico y adyacentes a algunas de las cavidades de radiación, en donde el calentador para calentar por lo menos uno de los medios de almacenamiento térmico a través de la energía irradiada en múltiples de las cavidades de radiación y sobre las superficies que limitan las cavidades respectivas de radiación dentro del por lo menos unos medios de almacenamiento térmico;

medios de movimiento de fluido para dirigir una corriente de fluido a través de la TSU, incluso a través de las trayectorias de fluido.

[0069] También se proporciona un aparato, que comprende:

uno o más bloques de almacenamiento térmico que definen:

una cámara de radiación; y

una ranura de flujo de fluido situada por encima de la cámara de radiación para definir una trayectoria de fluido en una primera dirección;

un elemento de calentamiento situado junto a la cámara de radiación en una segunda dirección diferente, en la que la cámara de radiación está abierta al menos por un lado al elemento de calentamiento; y

un sistema de movimiento de fluido configurado para dirigir una corriente de fluido a través de la trayectoria de fluido en la primera dirección.

[0070] También se proporciona un sistema de almacenamiento y suministro de energía térmica, que incluye:

una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico colocados para definir:

un primer nivel que incluye un patrón alterno de porciones de bloque, con cavidades de radiación entre porciones de bloque vecinas;

un segundo nivel que incluye un patrón alterno de porciones de bloque, con cavidades de radiación entre porciones de bloque vecinas, en el que las porciones de bloque del segundo nivel se colocan adyacentes a las cavidades de radiación del primer nivel, y las cavidades de radiación del segundo nivel se colocan adyacentes a las porciones de bloque del primer nivel;

ranuras de flujo de fluido formadas en algunas de las porciones de bloque de los bloques de almacenamiento térmico, las ranuras de flujo de fluido y las cavidades de radiación posicionadas para formar múltiples trayectorias de flujo de fluido a través del sistema;

una pluralidad de elementos de calentamiento situados junto a varias de las cavidades de radiación en los niveles primero y segundo y configurados para calentar la pluralidad de bloques de almacenamiento térmico mediante la energía irradiada a varias de las cavidades y a las superficies que limitan las cavidades de radiación respectivas dentro de los bloques de almacenamiento térmico; y

un soplador configurado para dirigir una corriente de fluido a través de las múltiples trayectorias de flujo de fluido.

[0071] La alternancia de porciones de bloque y cavidades de radiación en un nivel determinado facilita una distribución rápida y uniforme del calor.

[0072] Los elementos de calentamiento, los bloques de almacenamiento y las cavidades de radiación pueden estar configurados para proporcionar una termoclina sustancialmente vertical en la que una porción superior del conjunto de almacenamiento térmico esté a una temperatura más alta que una porción inferior del conjunto de almacenamiento térmico.

[0073] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica configurado para producir un flujo de fluido de salida, comprendiendo el sistema de almacenamiento de energía térmica:

un primer conjunto de primeros bloques de almacenamiento térmico y un segundo conjunto de segundos bloques de almacenamiento térmico, estando los primeros y segundos bloques de almacenamiento térmico configurados para almacenar energía térmica; y

un sistema de control configurado para:

dirigir los flujos de fluido durante un primer periodo de descarga de tal forma que el primer conjunto, pero no el segundo, se descargue dentro de una región de temperatura de descarga profunda; y

dirigir los flujos de fluido durante un segundo periodo de descarga de forma que el segundo conjunto, pero no el primero, se descargue dentro de la región de temperatura de descarga profunda.

[0074] El sistema de control puede estar configurado, durante periodos de descarga sucesivos, para alternar entre:

dirigir los flujos de fluido para descargar el primer conjunto, pero no el segundo, dentro de la región de temperatura de descarga profunda; y

dirigir los flujos de fluido para descargar el segundo conjunto, pero no el primero, dentro de la región de temperatura de descarga profunda.

[0075] El sistema de control puede estar configurado para:

mantener el flujo de fluido de salida a un perfil de temperatura especificado; y

en periodos de descarga sucesivos, alternar entre:

descargar el primer conjunto dentro de la región de temperatura de descarga profunda mientras se descarga el segundo conjunto a un valor actual del perfil de temperatura especificado; y

descargar el segundo conjunto dentro de la región de temperatura de descarga profunda mientras se descarga el primer conjunto al valor actual del perfil de temperatura especificado; y

[0076] El sistema de control puede estar configurado para:

mantener el flujo de fluido de salida a un perfil de temperatura especificado; y

en periodos de descarga sucesivos, alternar entre:

descargar el primer conjunto dentro de la región de temperatura de descarga profunda mientras se descarga el segundo conjunto a una primera temperatura intermedia por encima del perfil de temperatura especificado; y

descargar el segundo conjunto dentro de la región de temperatura de descarga profunda mientras se descarga el primer conjunto a una segunda temperatura intermedia por encima del perfil de temperatura especificado.

[0077] El sistema de control puede estar configurado para:

mantener el flujo de fluido de salida a un perfil de temperatura especificado; y

en periodos de descarga sucesivos, alternar entre:

descargar el primer conjunto dentro de la región de temperatura de descarga profunda mientras 1) se descarga el segundo conjunto a la primera temperatura de amortiguación y 2) se mantiene el flujo de fluido al primer conjunto en un modo de goteo; y

descargar el segundo conjunto dentro de la región de temperatura de descarga profunda mientras 1) se descarga el primer conjunto a la segunda temperatura de amortiguación y 2) se mantiene el flujo de fluido al segundo conjunto en el modo de goteo.

[0078] En el modo de goteo, el flujo de fluido a un conjunto dado que se descarga en profundidad puede ser superior al 0 % e inferior al 10 % de un flujo máximo posible al conjunto dado.

[0079] El sistema de control puede estar configurado para:

utilizar un primer conjunto de parámetros de flujo durante un primer período de descarga para mantener el flujo de fluido de salida a una primera temperatura especificada por un perfil de temperatura no constante;

utilizar un segundo conjunto diferente de parámetros de flujo durante el primer período de descarga para mantener el flujo de fluido de salida a una segunda temperatura diferente especificada por el perfil de temperatura no constante; y

mantener el flujo de fluido de salida a una segunda temperatura diferente durante un primer período de carga, manteniendo un primer flujo de fluido para el primer conjunto en una proporción relativamente constante con respecto a un segundo flujo de fluido para el segundo conjunto.

[0080] El sistema de almacenamiento de energía térmica puede comprender además:

una válvula de entrada configurada para admitir un flujo de fluido de derivación que evita los conjuntos primero y segundo durante los periodos de descarga, teniendo el flujo de fluido de derivación una temperatura de derivación inferior a una temperatura de suministro del flujo de fluido de salida; y

en el que el sistema de control está configurado para utilizar el caudal de fluido de derivación para producir el caudal de fluido de salida durante los periodos de descarga.

[0081] La descarga de uno de los primeros o segundos conjuntos dentro de la región de temperatura de descarga profunda puede incluir el enfriamiento del conjunto dado a una temperatura de descarga aproximadamente igual a la temperatura de derivación.

[0082] Una temperatura final superior de la región de temperatura de descarga profunda puede ser sustancialmente inferior a una temperatura de suministro del flujo de fluido de salida; y

una temperatura final inferior de la región de temperatura de descarga profunda puede estar por debajo de la temperatura final superior y es igual a la temperatura de derivación.

[0083] Una temperatura final superior de la región de temperatura de descarga profunda puede estar más cerca de la temperatura de derivación que de la temperatura de suministro; y

una temperatura final inferior de la región de temperatura de descarga profunda puede estar por debajo de la temperatura final superior y es igual a la temperatura de derivación.

[0084] Una temperatura de punto medio puede estar a medio camino entre la temperatura de derivación y la temperatura de suministro;

una temperatura final superior de la región de temperatura de descarga profunda puede estar más cerca de la temperatura de derivación que de la temperatura del punto medio; y

una temperatura final inferior de la región de temperatura de descarga profunda puede estar por debajo de la temperatura final superior y es igual a la temperatura de derivación.

[0085] El sistema de control puede estar configurado para monitorizar la información de descarga térmica de los conjuntos primero y segundo a fin de determinar los límites de la región de temperatura de descarga profunda. El sistema de control puede estar configurado para determinar los límites de la región de temperatura de descarga profunda basándose en un programa informático que modela el comportamiento de los conjuntos primero y segundo.

[0086] El sistema de control puede estar configurado para producir el flujo de fluido de salida provocando:

mezclar, durante una porción inicial del primer período de descarga, de un primer flujo de fluido procedente del primer conjunto con el flujo de fluido de derivación;

mezclar, durante una porción posterior del primer período de descarga, del primer flujo de fluido con un segundo flujo de fluido procedente del segundo conjunto;

mezclar, durante una porción inicial del segundo período de descarga, del segundo fluido con el flujo de fluido de derivación; y
mezclar, durante una porción posterior del segundo período de descarga, del segundo flujo de fluido con el primer flujo de fluido.

[0087] El sistema de control puede estar configurado para:

iniciar la porción posterior del primer período de descarga basándose en que la temperatura actual del primer flujo de fluido sea inferior a la temperatura de suministro; e
iniciar la porción posterior del segundo período de descarga basándose en que la temperatura actual del segundo flujo de fluido sea inferior a la temperatura de suministro.

[0088] El sistema de control puede estar configurado para mantener el flujo de fluido de salida a una temperatura constante, incluso durante los períodos de descarga primero y segundo. El sistema de control puede estar configurado para mantener el flujo de fluido de salida de acuerdo con un perfil de temperatura especificado y no constante. El sistema de control puede estar configurado para utilizar el flujo de fluido de derivación para enfriar los conjuntos primero y segundo durante un período de carga.

[0089] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica configurado para producir un flujo de fluido de salida, comprendiendo el sistema de almacenamiento de energía térmica:

un primer conjunto de primeros bloques de almacenamiento térmico y un segundo conjunto de segundos bloques de almacenamiento térmico, estando los primeros y segundos bloques de almacenamiento térmico configurados para almacenar energía térmica; y

un sistema de control configurado para:

dirigir los flujos de fluido durante un primer período de descarga para realizar una primera operación de descarga en la que el primer conjunto, pero no el segundo conjunto, se descarga por debajo de una temperatura de entrega del flujo de fluido de salida; y

dirigir los flujos de fluido durante un segundo período de descarga sucesivo para realizar una segunda operación de descarga en la que el segundo conjunto, pero no el primero, se descarga por debajo de la temperatura de suministro.

[0090] El sistema de control puede estar configurado para controlar una válvula de entrada configurada para admitir un flujo de fluido de derivación que pasa por alto los conjuntos primero y segundo durante los períodos de descarga, teniendo el flujo de fluido de derivación una temperatura de derivación que es menor que la temperatura de entrega.

[0091] El sistema de control puede estar configurado para:

realizar la primera operación de descarga de forma que el primer conjunto se descargue a una primera temperatura de descarga que esté más próxima a la temperatura de derivación que a la temperatura de entrega; y
realizar la segunda operación de descarga de forma que el segundo conjunto se descargue a una segunda temperatura de descarga más próxima a la temperatura de derivación que a la temperatura de suministro.

[0092] El sistema de control puede estar configurado para:

realizar la primera operación de descarga de forma que el primer conjunto se descargue a una primera temperatura de descarga que esté más próxima a la temperatura de derivación que a una temperatura de punto medio a medio camino entre la temperatura de entrega y la temperatura de derivación; y

realizar la segunda operación de descarga de manera que el segundo conjunto se descargue a una segunda temperatura de descarga que esté más cerca de la temperatura de derivación que de la temperatura del punto medio.

[0093] El sistema de control puede estar configurado para:

realizar el primer período de descarga de forma que el primer conjunto se descargue a una primera temperatura de descarga que sea aproximadamente igual a la temperatura de derivación; y
realizar el segundo período de descarga de manera que el segundo conjunto se descargue a una segunda temperatura de descarga que sea aproximadamente igual a la temperatura de derivación.

[0094] El sistema de control puede estar configurado para hacer que las operaciones de descarga primera y segunda se realicen alternativamente en períodos de descarga sucesivos. El sistema de almacenamiento de energía térmica puede estar configurado para producir el flujo de fluido de salida de acuerdo con un perfil de temperatura no constante.

[0095] El sistema de control puede estar configurado para:

realizar la primera operación de descarga descargando el primer conjunto por debajo de la temperatura de suministro, e iniciando a continuación el flujo de fluido hacia el primer conjunto en modo de goteo; y realizar la segunda operación de descarga descargando el segundo conjunto por debajo de la temperatura de suministro, e iniciando a continuación el flujo de fluido hacia el segundo conjunto en el modo de goteo.

[0096] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica, que comprende:

un primer conjunto de primeros bloques de almacenamiento térmico y un segundo conjunto de segundos bloques de almacenamiento térmico, estando los primeros y segundos bloques de almacenamiento térmico configurados para almacenar energía térmica; y
un sistema de control configurado para:
dirigir flujos de fluido a los conjuntos primero y segundo para producir un flujo de fluido de salida;
durante un primer período de descarga, realizar una primera operación de descarga descargando el primer conjunto lo suficiente para evitar el desbordamiento térmico mientras se descarga el segundo conjunto a una temperatura igual o superior a la temperatura de entrega del flujo de fluido de salida; y
durante un segundo período de descarga sucesiva, realizar una segunda operación de descarga descargando el segundo conjunto lo suficiente para evitar el desbordamiento térmico mientras se descarga el primer conjunto a una temperatura igual o superior a la temperatura de suministro.

[0097] El sistema de control puede estar configurado para:

realizar la primera operación de descarga iniciando la descarga del primer conjunto al comienzo del primer período de descarga e iniciando la descarga del segundo conjunto después de que una primera temperatura de descarga de un primer flujo de fluido producido por el primer conjunto descienda por debajo de la temperatura de suministro; y
realizar la segunda operación de descarga iniciando la descarga del segundo conjunto al comienzo del segundo período de descarga e iniciando la descarga del primer conjunto después de que una segunda temperatura de descarga de un segundo flujo de fluido producido por el segundo conjunto descienda por debajo de la temperatura de suministro.

[0098] El sistema de control puede estar configurado para hacer que las operaciones de descarga primera y segunda se realicen alternativamente en periodos de descarga sucesivos. El sistema de control puede estar configurado para realizar las operaciones de descarga primera y segunda iniciando un flujo de fluido a un conjunto dado en un modo de goteo después de descargar el conjunto dado para evitar el desbordamiento térmico.

[0099] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica configurado para producir un flujo de fluido de salida, comprendiendo el sistema de almacenamiento de energía térmica:

un primer conjunto de primeros bloques de almacenamiento térmico y un segundo conjunto de segundos bloques de almacenamiento térmico, estando los primeros y segundos bloques de almacenamiento térmico configurados para almacenar energía térmica; y
un sistema de control configurado para:
hacer que, durante una primera porción de un primer período de descarga, un primer flujo de fluido producido a partir del primer conjunto se mezcle con un flujo de fluido de derivación que pasa por alto los conjuntos primero y segundo;
hacer que, durante una segunda porción posterior del primer período de descarga, el primer flujo de fluido se mezcle con un segundo flujo de fluido producido a partir del segundo conjunto, de modo que el primer conjunto, pero no el segundo, se descargue en profundidad durante el primer período de descarga;
hacer que, durante una primera porción de un segundo período de descarga, el segundo flujo de fluido se mezcle con el flujo de fluido de derivación; y
hacer que, durante una segunda porción posterior del segundo período de descarga, el segundo flujo de fluido se mezcle con el primer flujo de fluido de manera que el segundo conjunto, pero no el primer conjunto, se descargue en profundidad durante el segundo período de descarga.

[0100] El sistema de control puede estar configurado para alternar, en periodos de descarga sucesivos, entre:

descargar profundamente el primer conjunto, pero no el segundo conjunto; y
descargar profundamente el segundo conjunto, pero no el primero.

[0101] El sistema de control puede estar configurado para iniciar un flujo de fluido a uno dado del primer y segundo conjunto en un modo de goteo después de descargar profundamente el conjunto dado.

[0102] También se proporciona un método, que comprende:

recibir, mediante un sistema de almacenamiento de energía térmica que incluye un primer conjunto de primeros bloques de almacenamiento térmico y un segundo conjunto de segundos bloques de almacenamiento térmico, energía de entrada procedente de una fuente de energía renovable;
 utilizar, mediante el sistema de almacenamiento de energía térmica, la energía de entrada para crear energía térmica que se almacena en los bloques de almacenamiento térmico primero y segundo;
 dirigir, mediante el sistema de almacenamiento de energía térmica, flujos de fluido para crear un flujo de fluido de salida que sea continuo durante uno o más periodos de indisponibilidad de la fuente de energía renovable mediante:
 realizar, en un primer período de descarga, una primera operación de descarga que descargue profundamente el primer conjunto, pero no el segundo conjunto; y
 realizar, en un segundo período de descarga, una segunda operación de descarga que descargue en profundidad el segundo conjunto, pero no el primer conjunto.

[0103] Los flujos de fluido pueden incluir un primer flujo producido a partir del primer conjunto, un segundo flujo producido a partir del segundo conjunto, y un flujo de derivación producido que evita el primer y segundo conjuntos durante los periodos de descarga, el flujo de derivación que tiene una temperatura de derivación que es inferior a una temperatura de entrega del flujo de fluido de salida. La descarga profunda de uno de los conjuntos primero y segundo puede incluir la descarga a una temperatura de descarga más cercana a la temperatura de derivación que a la temperatura de suministro. La descarga profunda de uno de los conjuntos primero y segundo puede incluir la descarga a una temperatura de descarga más cercana a la temperatura de derivación que a una temperatura de punto medio a medio camino entre la temperatura de suministro y la temperatura de derivación. La descarga profunda de uno de los conjuntos primero y segundo puede incluir la descarga a una temperatura de descarga que sea aproximadamente igual a la temperatura de derivación. La descarga profunda de uno de los conjuntos primero y segundo durante un período de descarga determinado puede incluir:

iniciar la descarga del conjunto dado al principio del período de descarga dado; e
 iniciar la descarga del otro de los conjuntos primero y segundo después de que una temperatura de descarga de un determinado flujo de fluido producido por el conjunto dado descienda por debajo de la temperatura de suministro; y
 continuar la descarga del conjunto dado después de iniciar la descarga del otro conjunto.

[0104] La descarga profunda de uno de los conjuntos primero y segundo puede comprender la descarga del conjunto dado a una temperatura de descarga que no sea superior en más de 25 °C a la temperatura de derivación. La descarga profunda de uno de los conjuntos primero y segundo puede comprender la descarga del conjunto dado a una temperatura de descarga no superior a 50 °C por encima de la temperatura de derivación. La descarga profunda de uno de los conjuntos primero y segundo puede comprender la descarga del conjunto dado a una temperatura de descarga que no sea superior en más de 75 °C a la temperatura de derivación. La descarga profunda de uno de los conjuntos primero y segundo puede comprender la descarga del conjunto dado a una temperatura de descarga que no sea superior en más de 100 °C a la temperatura de derivación. La descarga profunda de uno de los conjuntos primero y segundo puede comprender la descarga del conjunto dado a una temperatura de descarga que no sea superior en más de 150 °C a la temperatura de derivación. La descarga profunda de uno de los conjuntos primero y segundo puede comprender la descarga del conjunto dado a una temperatura de descarga que no sea superior en más de 200 °C a la temperatura de derivación.

[0105] La realización de la primera operación de descarga puede incluir la descarga del segundo conjunto a la temperatura de suministro, y la realización de la segunda operación de descarga puede incluir la descarga del primer conjunto a la temperatura de suministro. La realización de la primera operación de descarga puede incluir la descarga del segundo conjunto a una primera temperatura intermedia superior a la temperatura de suministro, y en la que la realización de la segunda operación de descarga incluye la descarga del primer conjunto a una segunda temperatura intermedia superior a la temperatura de suministro. Realizar la primera operación de descarga puede incluir iniciar el flujo de fluido al primer conjunto en un modo de goteo después de descargar profundamente el primer conjunto, y realizar la segunda operación de descarga puede incluir iniciar el flujo de fluido al segundo conjunto en el modo de goteo después de descargar profundamente el segundo conjunto. El caudal de fluido en el modo de goteo para un conjunto dado puede ser superior al 0 % y no superior al 10 % de un caudal de fluido máximo para el conjunto dado.

[0106] El método puede comprender además el cambio de los caudales del primer caudal, del segundo caudal y del caudal de derivación para tener en cuenta un cambio en la temperatura de suministro. El método puede comprender el uso del flujo de derivación para enfriar los conjuntos primero y segundo en una última porción de un período de carga. El método puede comprender la alternancia, en periodos de descarga sucesivos, entre la realización de la primera operación de descarga y la segunda operación de descarga.

[0107] También se proporciona un método, que comprende:

recibir, mediante un sistema de almacenamiento de energía térmica que incluye un primer conjunto de primeros bloques de almacenamiento térmico y un segundo conjunto de segundos bloques de almacenamiento térmico, energía de entrada procedente de una fuente de energía renovable;

utilizar, mediante el sistema de almacenamiento de energía térmica, la energía de entrada para crear energía térmica que se almacena en los bloques de almacenamiento térmico primero y segundo;
 dirigir, mediante el sistema de almacenamiento de energía térmica, flujos de fluido para crear un flujo de fluido de salida, los flujos de fluido incluyen un primer flujo de fluido producido a partir del primer conjunto, un segundo flujo de fluido producido a partir del segundo conjunto, y un flujo de fluido de derivación que evita los conjuntos primero y segundo durante los períodos de descarga, el flujo de fluido de derivación que tiene una temperatura de derivación que es inferior a una temperatura de entrega del flujo de fluido de salida;
 descargar, durante un primer período de descarga, el primer conjunto, pero no el segundo, a una primera temperatura de descarga que esté más cerca de la temperatura de derivación que de la temperatura de entrega;
 y
 descargar, durante un segundo período de descarga, el segundo conjunto, pero no el primer conjunto, a una segunda temperatura de descarga más próxima a la temperatura de derivación que a la temperatura de suministro.

[0108] Las temperaturas de descarga primera y segunda pueden estar más cerca de la temperatura de derivación que de un punto medio de temperatura que esté a medio camino entre la temperatura de derivación y la temperatura de suministro. Las temperaturas de descarga primera y segunda pueden ser aproximadamente iguales a la temperatura de derivación.

[0109] Descargar el primer conjunto durante el primer período de descarga puede incluir iniciar el flujo de fluido al primer conjunto en un modo de goteo después de descargar el primer conjunto a la primera temperatura de descarga; y

descargar el segundo conjunto durante el segundo período de descarga puede incluir iniciar el flujo de fluido al segundo conjunto en el modo de goteo después de descargar el segundo conjunto a la segunda temperatura de descarga.

[0110] También se proporciona un método, que comprende:

recibir, mediante un sistema de almacenamiento de energía térmica que incluye un primer conjunto de primeros bloques de almacenamiento térmico y un segundo conjunto de segundos bloques de almacenamiento térmico, energía de entrada procedente de una fuente de energía renovable;
 utilizar, mediante el sistema de almacenamiento de energía térmica, la energía de entrada para crear energía térmica que se almacena en los bloques de almacenamiento térmico primero y segundo;
 controlar los flujos de fluido hacia el primer y segundo conjuntos para producir un flujo de fluido de salida que tenga un perfil de temperatura especificado, en el que el control cause:
 durante un primer período de descarga, descargar el primer conjunto de manera suficiente para reducir el desbordamiento térmico en los primeros bloques de almacenamiento térmico, descargando al mismo tiempo el segundo conjunto a una temperatura igual o superior al perfil de temperatura especificado; y
 durante un segundo período de descarga sucesiva, descargar el segundo conjunto de manera suficiente para reducir el desbordamiento térmico en los segundos bloques de almacenamiento térmico, descargando al mismo tiempo el primer conjunto a una temperatura igual o superior al perfil de temperatura especificado.

[0111] La descarga del primer conjunto durante el primer período de descarga puede incluir la iniciación del flujo de fluido al primer conjunto en un modo de goteo después de descargar profundamente el primer conjunto, y la descarga del segundo conjunto durante el segundo período de descarga puede incluir la iniciación del flujo de fluido al segundo conjunto en el modo de goteo después de descargar profundamente el segundo conjunto. La descarga de los conjuntos primero y segundo para reducir el desbordamiento térmico puede realizarse basándose en los datos térmicos medidos para los conjuntos primero y segundo. La descarga de los conjuntos primero y segundo para reducir el desbordamiento térmico puede realizarse basándose en un modelado de datos térmicos para los conjuntos primero y segundo.

[0112] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica configurado para producir un flujo de fluido de salida con una temperatura de suministro, comprendiendo el sistema de almacenamiento de energía térmica:

un primer conjunto de primeros bloques de almacenamiento térmico y un segundo conjunto de segundos bloques de almacenamiento térmico, estando los primeros y segundos bloques de almacenamiento térmico configurados para almacenar energía térmica; y
 una válvula de entrada;
 un sistema de control configurado para:
 hacer que la válvula de entrada admita un flujo de fluido de derivación que desvíe los conjuntos primero y segundo durante los períodos de descarga, teniendo el flujo de fluido de derivación una temperatura de derivación inferior a la temperatura de suministro;
 durante un primer período de descarga, realizar una primera operación de descarga en la que el primer conjunto se descarga a una primera temperatura de descarga que 1) está más cerca de la temperatura de derivación que de la temperatura de entrega y 2) es inferior a una segunda temperatura de descarga del segundo conjunto; y
 durante un segundo período de descarga sucesivo, realizar una segunda operación de descarga en la que el segundo conjunto se descarga a una tercera temperatura de descarga que 1) está más cerca de la temperatura

de derivación que de la temperatura de suministro y 2) es inferior a una cuarta temperatura de descarga del primer conjunto.

[0113] El sistema de control puede estar configurado para alternar entre la realización de la primera operación de descarga y la segunda operación de descarga en periodos de descarga sucesivos. Las temperaturas de descarga segunda y cuarta de los periodos de descarga primero y segundo, respectivamente, pueden corresponder a la temperatura de suministro. La segunda temperatura de descarga puede corresponder a una primera temperatura intermedia por encima de la temperatura de suministro especificada, y la cuarta temperatura de descarga puede corresponder a una segunda temperatura intermedia por encima de la temperatura de suministro especificada.

[0114] La primera operación de descarga puede incluir además mantener un primer flujo de fluido de goteo hacia el primer conjunto después de descargar el primer conjunto a la primera temperatura de descarga, y la segunda operación de descarga puede incluir además mantener un segundo flujo de fluido de goteo hacia el segundo conjunto después de descargar el segundo conjunto a la segunda temperatura de descarga.

[0115] El primer flujo de fluido de goteo puede ser inferior al 10 % de un flujo de fluido máximo para el primer conjunto, y el segundo flujo de fluido de goteo puede ser inferior al 10 % de un flujo de fluido máximo para el segundo conjunto.

[0116] La primera temperatura de descarga y la segunda temperatura de descarga pueden estar más cerca de la temperatura de derivación que de un punto medio de temperatura que esté a medio camino entre la temperatura de derivación y la temperatura de suministro.

[0117] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica, que comprende:

uno o más conjuntos de bloques de almacenamiento térmico, en los que cada conjunto está configurado para almacenar el calor generado a partir de la energía eléctrica recibida como energía térmica; y
un sistema de control configurado para:
dirigir flujos de fluido a uno o más conjuntos para producir un flujo de fluido de salida; y
hacer que cada uno de los uno o más conjuntos se descargue periódicamente en profundidad para reducir las desuniformidades de temperatura dentro de los uno o más conjuntos.

[0118] El uno o más conjuntos pueden estar formados por un único conjunto, y el sistema de control puede estar configurado para hacer que el conjunto único se descargue en profundidad periódicamente según sea necesario. El uno o más conjuntos pueden estar formados por un único conjunto, y el sistema de control puede estar configurado para hacer que el conjunto único se descargue en profundidad periódicamente a intervalos regulares. El uno o más conjuntos pueden ser una pluralidad de N conjuntos, y el sistema de control puede estar configurado para hacer que cada uno de los N conjuntos se descargue en profundidad una vez cada N periodos de descarga. El flujo de fluido de salida puede tener un perfil de temperatura especificado, en el que el uno o más conjuntos pueden ser una pluralidad de N conjuntos, y en el que el sistema de control puede estar configurado para hacer que cada uno de los N conjuntos se descargue en profundidad al menos una vez cada N periodos de descarga y se descargue parcialmente a un valor actual del perfil de temperatura especificado al menos una vez cada N periodos de descarga.

[0119] El uno o más conjuntos pueden incluir un primer conjunto y un segundo conjunto, y el sistema de control puede estar configurado para alternar, en periodos de descarga sucesivos, entre:

descargar profundamente el primer conjunto y descargar parcialmente el segundo conjunto hasta un valor actual del perfil de temperatura especificado; y
descargar profundamente el segundo conjunto y descargando parcialmente el primer conjunto hasta el valor actual del perfil de temperatura especificado.

[0120] El sistema de control puede estar configurado para abrir una válvula de entrada para admitir un flujo de fluido de derivación que se mezcla con otros flujos de fluido para producir el flujo de fluido de salida, el flujo de fluido de salida tiene una temperatura de suministro y el flujo de fluido de derivación tiene una temperatura de derivación, y en el que el uno o más conjuntos se descargan profundamente para estar más cerca de la temperatura de derivación que de la temperatura de suministro. El sistema de control puede estar configurado para suministrar un flujo de fluido de goteo a un conjunto dado después de que el conjunto dado haya sido descargado profundamente.

[0121] También se proporciona un método, que comprende:

recibir, en una estructura de almacenamiento térmico, energía eléctrica de entrada procedente de una fuente de energía renovable;
utilizar, mediante la estructura de almacenamiento térmico, la energía eléctrica de entrada recibida para calentar elementos de calentamiento dentro de uno o más conjuntos de bloques de almacenamiento térmico;
dirigir flujos de fluido a uno o más conjuntos para producir un flujo de fluido de salida que tenga una temperatura de entrega; y

descargar profundamente cada uno de los uno o más conjuntos periódicamente para reducir las no uniformidades de temperatura.

[0122] El uno o más conjuntos puede ser una pluralidad de N conjuntos, y cada uno de los N conjuntos puede ser profundamente descargado una vez cada N períodos de descarga.

[0123] Cada uno de los N conjuntos puede descargarse en profundidad al menos una vez cada N períodos de descarga y parcialmente al menos una vez cada N períodos de descarga. El uno o más conjuntos pueden incluir un primer conjunto y un segundo conjunto, y el método puede comprender además alternar, en períodos de descarga sucesivos, entre:

descargar profundamente el primer conjunto y descargar parcialmente el segundo conjunto; y
descargar profundamente el segundo conjunto y descargar parcialmente el primer conjunto.

[0124] La descarga parcial puede comprender la descarga a la temperatura de suministro del flujo de fluido de salida. Los flujos de fluido pueden incluir flujos procedentes de cada uno de los uno o más conjuntos y un flujo de fluido de derivación procedente de una válvula de entrada que desvía el uno o más conjuntos durante los periodos de descarga, teniendo el flujo de fluido de derivación una temperatura de derivación inferior a la temperatura de suministro. Uno o más conjuntos pueden descargarse en profundidad a temperaturas de descarga más próximas a la temperatura de derivación que a la temperatura de suministro. El uno o más conjuntos pueden descargarse en profundidad a temperaturas de descarga que estén más próximas a la temperatura de derivación que a un punto medio de temperatura que esté a medio camino entre la temperatura de derivación y la temperatura de suministro.

[0125] El método puede comprender además hacer que se proporcione un flujo de fluido de goteo a un conjunto dado durante un período de descarga después de que el conjunto dado se haya descargado profundamente. La descarga profunda de un conjunto dado puede comprender la descarga a temperaturas que no superen en más de 25 °C la temperatura de derivación. La descarga profunda de un conjunto dado puede comprender la descarga a temperaturas que no superen en más de 50 °C la temperatura de derivación. La descarga profunda de un conjunto dado puede comprender la descarga a temperaturas que no superen en más de 75 °C la temperatura de derivación. La descarga profunda de un conjunto dado puede comprender la descarga a temperaturas que no superen en más de 100 °C la temperatura de derivación. La descarga profunda de un conjunto dado puede comprender la descarga a temperaturas que no superen en más de 150 °C la temperatura de derivación. La descarga profunda de un conjunto dado puede comprender la descarga a temperaturas que no superen en más de 200 °C la temperatura de derivación.

[0126] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica, que comprende:

un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica obtenida mediante un suministro de energía de entrada procedente de una fuente de energía;
un dispositivo de movimiento de fluido configurado para mover fluido a través del medio de almacenamiento y descargar la energía térmica almacenada del medio de almacenamiento en el fluido;
un generador de vapor configurado para recibir el fluido (20) del medio de almacenamiento e intercambiar calor del fluido con agua de una fuente de agua para producir vapor; y
un sistema de control configurado para medir un valor que indique la calidad del vapor; y
en función del valor medido, controlar un caudal del fluido recibido por el generador de vapor.

[0127] El sistema de almacenamiento de energía térmica permite controlar la temperatura y el caudal del fluido calentado y, por tanto, la cantidad de calor suministrada al generador de vapor, lo que permite controlar con precisión la calidad del vapor mediante retroalimentación.

[0128] El sistema de almacenamiento de energía térmica puede comprender además uno o más instrumentos configurados para detectar el valor que indica la calidad del vapor, y en el que el sistema de control está configurado para medir el valor mediante una interfaz con los instrumentos. El uno o más instrumentos pueden estar configurados para detectar una velocidad de flujo de entrada de agua en una entrada del generador de vapor y una velocidad de flujo de salida de vapor en una salida del generador de vapor. El sistema puede comprender además un separador de vapor-líquido configurado para separar el vapor en un componente líquido y un componente vapor, y el uno o más instrumentos pueden estar configurados para detectar un valor térmico del componente líquido y un valor térmico del componente vapor. El sistema de control puede estar configurado para medir una velocidad de flujo de entrada de agua en una entrada del generador de vapor y una velocidad de flujo de salida de vapor en una salida del generador de vapor.

[0129] El sistema puede comprender además un separador de vapor-líquido configurado para separar el vapor en un componente líquido y un componente vapor, y en el que el sistema de control está configurado para medir un valor térmico del componente líquido y un valor térmico del componente vapor. El sistema puede comprender además un dispositivo ajustable de restricción de fluido, y el sistema de control puede estar configurado para enviar señales de control al dispositivo ajustable de restricción de fluido basándose en el valor medido.

[0130] El dispositivo de restricción de fluido ajustable comprende una rejilla y/o una válvula.

[0131] Si el valor medido de la calidad del vapor indica una disminución de la calidad del vapor, el sistema de control puede estar configurado para aumentar un caudal del fluido.

[0132] El sistema de control puede estar configurado para:

antes de medir el valor que indica la calidad del vapor, recibir un parámetro de vapor objetivo;
obtener una temperatura del agua de entrada en una entrada del generador de vapor; y
en función del parámetro de vapor objetivo y de la temperatura de entrada, determinar un caudal inicial para el fluido recibido por el generador de vapor. El control del caudal y la temperatura proporcionado por el sistema de almacenamiento de energía térmica permite controlar los parámetros del vapor de salida en función de la alimentación.

[0133] El parámetro de vapor objetivo puede incluir una calidad de vapor objetivo y/o una tasa de suministro de vapor objetivo. El controlador puede estar configurado para obtener la temperatura del agua de entrada midiendo la temperatura del agua de entrada.

[0134] El generador de vapor puede ser de un solo paso. Los generadores de vapor de un solo paso son especialmente difíciles de controlar, por lo que resulta ventajoso controlar la calidad del vapor utilizando el caudal del almacenamiento térmico.

[0135] La fuente de energía puede ser una fuente de disponibilidad intermitente, por ejemplo una fuente de energía solar y/o una fuente de energía eólica.

[0136] También se proporciona un método de almacenamiento y suministro de energía térmica, que comprende:

recibir energía de entrada de una fuente de energía;
almacenar la energía térmica obtenida mediante la energía de entrada en un medio de almacenamiento;
mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido;
suministrar el fluido calentado al generador de vapor configurado para generar vapor mediante el intercambio de calor del fluido con agua procedente de una fuente de agua;
obtener un valor de calidad del vapor; y
basándose en el valor de la calidad del vapor, proporcionar una señal de retroalimentación para ajustar la velocidad de suministro del fluido calentado al generador de vapor. El sistema de almacenamiento de energía térmica permite controlar la temperatura y el caudal del fluido calentado y, por tanto, la cantidad de calor suministrada al generador de vapor, lo que permite controlar con precisión la calidad del vapor mediante retroalimentación.

[0137] La obtención del valor de calidad del vapor puede comprender:

separar el vapor en componentes de fase líquida y de fase vapor; y
controlar de forma independiente el calor de los componentes en fase líquida y en fase vapor.

[0138] La obtención del valor de calidad del vapor puede comprender:

medir una velocidad de flujo de salida del vapor en una salida del generador de vapor; y
medir una velocidad de flujo de entrada del agua en una entrada del generador de vapor.

[0139] Proporcionar una señal de retroalimentación puede comprender proporcionar la señal a un elemento controlable está configurado para ajustar un caudal del fluido a través del medio de almacenamiento, en el que el elemento controlable puede comprender una persiana y/o una válvula.

[0140] Antes de obtener el valor de la calidad del vapor, pueden darse las siguientes etapas:

recibir un parámetro objetivo para el vapor;
obtener una temperatura del agua de entrada en una entrada del generador de vapor; y
basándose en el parámetro de vapor objetivo y la temperatura de entrada, determinar una tasa inicial para suministrar el fluido calentado al generador de vapor. El control del caudal y la temperatura proporcionado por el sistema de almacenamiento de energía térmica permite controlar los parámetros del vapor de salida en función de la alimentación.

[0141] La recepción de un parámetro objetivo puede comprender la recepción de una calidad de vapor objetivo, y/o una tasa de suministro de vapor objetivo. La obtención de una temperatura del agua de entrada puede comprender la medición de la temperatura del agua de entrada. El generador de vapor puede ser de un solo paso. Los generadores de vapor de un solo paso son especialmente difíciles de controlar, por lo que resulta ventajoso controlar la calidad del vapor utilizando el caudal del almacenamiento térmico.

[0142] La fuente de energía puede ser una fuente de disponibilidad intermitente, tal como una fuente de energía solar, y/o una fuente de energía eólica.

[0143] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica, que comprende:

un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica obtenida mediante un suministro de energía de entrada procedente de una fuente de energía;
un dispositivo de movimiento de fluido configurado para mover fluido a través del medio de almacenamiento y descargar la energía térmica almacenada del medio de almacenamiento en el fluido;
un generador de vapor configurado para recibir el fluido del medio de almacenamiento e intercambiar calor del fluido con agua de una fuente de agua para producir vapor; y
un sistema de control configurado para recibir un parámetro de vapor objetivo, obtener una temperatura del agua de entrada en una entrada del generador de vapor; y en función del parámetro de vapor objetivo y de la temperatura de entrada, determinar un caudal inicial para el fluido recibido por el generador de vapor.

[0144] El control del caudal y la temperatura proporcionado por el sistema de almacenamiento de energía térmica permite controlar los parámetros del vapor de salida en función de la alimentación.

[0145] El parámetro de vapor objetivo puede incluir una calidad de vapor objetivo y/o una tasa de suministro de vapor objetivo. El controlador puede estar configurado para obtener la temperatura del agua de entrada midiendo la temperatura del agua de entrada. El sistema de control puede estar configurado para:

medir un valor que indique la calidad del vapor; y en función del valor medido, controlar un caudal continuo del fluido recibido por el generador de vapor. El sistema de almacenamiento de energía térmica permite controlar la temperatura y el caudal del fluido calentado y, por tanto, la cantidad de calor suministrada al generador de vapor, lo que permite controlar con precisión la calidad del vapor mediante retroalimentación.

[0146] El sistema puede comprender además uno o más instrumentos configurados para detectar el valor que indica la calidad del vapor, y en el que el sistema de control está configurado para medir el valor mediante una interfaz con los instrumentos. El uno o más instrumentos pueden estar configurados para detectar una velocidad de flujo de entrada de agua en una entrada del generador de vapor y una velocidad de flujo de salida de vapor en una salida del generador de vapor.

[0147] El sistema puede comprender además un separador de vapor-líquido configurado para separar el vapor en un componente líquido y un componente vapor, y en el que el sistema de control está configurado para medir un valor térmico del componente líquido y un valor térmico del componente vapor. El sistema puede comprender además un dispositivo ajustable de restricción de fluido, y en el que el sistema de control está configurado para enviar una señal de control al dispositivo ajustable de restricción de fluido (por ejemplo, que comprende una persiana y/o una válvula) basándose en el valor medido.

[0148] El generador de vapor puede ser de un solo paso. Los generadores de vapor de un solo paso son especialmente difíciles de controlar, por lo que resulta ventajoso controlar la calidad del vapor utilizando el caudal del almacenamiento térmico.

[0149] La fuente de energía puede ser una fuente de disponibilidad intermitente, por ejemplo una fuente de energía solar y/o una fuente de energía eólica.

[0150] También se proporciona un método de almacenamiento y suministro de energía térmica, que comprende:

recibir energía de entrada de una fuente de energía;
almacenar la energía térmica obtenida mediante la energía de entrada en un medio de almacenamiento;
mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido;
suministrar el fluido calentado al generador de vapor configurado para generar vapor mediante el intercambio de calor del fluido con agua procedente de una fuente de agua;
recibir un parámetro objetivo para el vapor;
obtener una temperatura del agua de entrada en una entrada del generador de vapor; y basándose en el parámetro de vapor objetivo y la temperatura de entrada, determinar una tasa inicial para suministrar el fluido calentado al generador de vapor.

[0151] El control del caudal y la temperatura proporcionado por el sistema de almacenamiento de energía térmica permite controlar los parámetros de vapor de salida en una base de alimentación...

[0152] La recepción de un parámetro objetivo puede comprender la recepción de una calidad de vapor objetivo, y/o una tasa de suministro de vapor objetivo. La recepción de un parámetro objetivo puede comprender la recepción de una tasa objetivo de suministro de vapor. La obtención de la temperatura del agua de entrada puede comprender la medición de la temperatura del agua de entrada.

[0153] Posteriormente a la determinación de la tasa inicial, pueden darse los pasos de:

obtener un valor de calidad del vapor; y
basándose en el valor de la calidad del vapor, proporcionar una señal de retroalimentación para ajustar una velocidad continua de suministro del fluido calentado al generador de vapor. El sistema de almacenamiento de energía térmica permite controlar la temperatura y el caudal del fluido calentado y, por tanto, la cantidad de calor suministrada al generador de vapor, lo que permite controlar con precisión la calidad del vapor mediante retroalimentación.

[0154] La obtención de un valor de calidad del vapor puede comprender:

separar el vapor en componentes de fase líquida y de fase vapor; y
controlar de forma independiente el calor de los componentes en fase líquida y en fase vapor.

[0155] La obtención de un valor de calidad del vapor puede comprender:

medir una velocidad de flujo de salida del vapor en una salida del generador de vapor; y
medir una velocidad de flujo de entrada del agua en una entrada del generador de vapor.

[0156] Proporcionar una señal de retroalimentación puede comprender proporcionar la señal a un elemento controlable configurado para ajustar un caudal del fluido a través del medio de almacenamiento. El elemento controlable puede ser una rejilla y/o una válvula.

[0157] El generador de vapor puede ser de un solo paso. Los generadores de vapor de un solo paso son especialmente difíciles de controlar, por lo que resulta ventajoso controlar la calidad del vapor utilizando el caudal del almacenamiento térmico.

[0158] La fuente de energía puede ser una fuente de disponibilidad intermitente, por ejemplo una fuente de energía solar y/o una fuente de energía eólica.

[0159] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica, que comprende:

un primer medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica obtenida mediante un suministro de energía de entrada procedente de una fuente de energía;
un segundo medio de almacenamiento configurado para almacenar la energía térmica obtenida mediante el suministro de energía de entrada;
un dispositivo de movimiento de fluido configurado para mover fluido a través del primer y segundo medios de almacenamiento para calentar el fluido y proporcionar el fluido calentado a un sistema de carga; y
un sistema de control configurado para controlar por separado el movimiento del fluido a través del primer y segundo medios de almacenamiento para mantener una propiedad especificada del fluido calentado. La combinación de las salidas de dos medios de almacenamiento térmico mientras se controla por separado el flujo a través de ellos permite mantener una propiedad de salida especificada del fluido suministrado.

[0160] La propiedad especificada puede comprender una temperatura del fluido calentado, y/o una energía térmica del fluido calentado, y/o un caudal del fluido calentado.

[0161] El sistema de almacenamiento de energía térmica puede comprender además:

un primer dispositivo ajustable de restricción de fluido configurado para ajustar una velocidad de flujo de fluido a través del primer medio de almacenamiento; y
un segundo dispositivo ajustable de restricción de fluido configurado para ajustar una velocidad de flujo de fluido a través del segundo medio de almacenamiento.

[0162] El sistema de control puede estar configurado para enviar por separado señales de control al primer y segundo dispositivos regulables de restricción de fluido. El primer y segundo dispositivos regulables de restricción de fluido comprenden rejillas, y/o válvulas. El sistema de carga puede comprender un generador de vapor. El generador de vapor puede ser de un solo paso. El sistema de carga puede comprender un reactor de electrólisis y/o un sistema de activación de materiales.

[0163] El sistema de activación del material puede comprender un calcinador.

[0164] La fuente de energía puede ser una fuente de disponibilidad intermitente, como una fuente de energía solar y/o una fuente de energía eólica.

[0165] También se proporciona un método de almacenamiento y suministro de energía térmica, que comprende

recibir energía de entrada de una fuente de energía;
almacenar la energía térmica obtenida mediante la energía de entrada en un primer medio de almacenamiento y en un segundo medio de almacenamiento;
mover fluido a través de los medios de almacenamiento primero y segundo para calentar el fluido;
suministrar el fluido calentado a un sistema de carga; y
controlar por separado los caudales del fluido a través de los medios de almacenamiento primero y segundo para mantener una propiedad especificada del fluido calentado.

[0166] La combinación de las salidas de dos medios de almacenamiento térmico mientras se controla por separado el flujo a través de ellos permite mantener una propiedad de salida especificada del fluido suministrado.

[0167] La propiedad especificada puede comprender una temperatura del fluido calentado, y/o una energía térmica del fluido calentado, y/o un caudal del fluido calentado.

[0168] El control separado de los caudales del fluido a través del primer y segundo medios de almacenamiento puede comprender el envío de señales de control separadas al primer y segundo dispositivos ajustables de restricción de fluido (por ejemplo, rejillas y/o válvulas) asociados con el primer y segundo medios de almacenamiento, respectivamente.

[0169] El sistema de carga puede comprender un generador de vapor, por ejemplo un generador de vapor de un solo paso. El sistema de carga puede comprender un sistema de electrólisis, y/o un sistema de activación del material (por ejemplo, un calcinador).

[0170] La fuente de energía puede ser una fuente de disponibilidad intermitente, como una fuente de energía solar y/o una fuente de energía eólica.

[0171] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica, que comprende:

un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica obtenida utilizando energía de entrada procedente de una fuente de energía;
un dispositivo de movimiento de fluido configurado para mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido y proporcionar el fluido calentado a un sistema de carga; y
un sistema de control configurado para:
recibir información de previsión sobre la disponibilidad de la fuente de energía; y
basándose en la información de previsión, modificar una cantidad de energía de entrada recibida de la fuente de energía. El uso de la información prevista sobre la disponibilidad de las fuentes de energía permite al sistema ajustar la energía recibida, lo que ayuda a mantener un funcionamiento constante.

[0172] El sistema de control puede estar configurado para comunicarse con un sistema de control de la fuente de energía.

[0173] El sistema de control puede estar configurado para enviar al sistema de control de la fuente de energía una solicitud o instrucción para reducir una cantidad de energía de entrada suministrada por la fuente cuando la información de previsión indique un aumento de la disponibilidad de la fuente de energía. El sistema de control puede estar configurado para enviar al sistema de control de la fuente de energía una solicitud o instrucción para transferir el exceso de energía a una red eléctrica disponible cuando la información de previsión indique un aumento de la disponibilidad de la fuente de energía. El sistema de control puede estar configurado para enviar al sistema de control de la fuente de energía una solicitud o instrucción para reducir una parte de la producción de la fuente de energía cuando la información de previsión indique un aumento de la disponibilidad de la fuente de energía. El sistema de control puede estar configurado para conectarse a una red eléctrica disponible para obtener energía de entrada adicional cuando la información de previsión indique una disminución de la disponibilidad de la fuente de energía. El sistema de control puede estar configurado para conectarse a una fuente de energía alternativa cuando la información de previsión indique una disminución de la disponibilidad de la fuente de energía. El sistema de control puede estar configurado para recibir la información de previsión de un sistema de control de la fuente de energía. El sistema de control puede estar configurado para recibir la información de previsión de un sistema de análisis externo al sistema de control.

[0174] La fuente de energía puede ser una fuente de disponibilidad intermitente, por ejemplo una fuente de energía solar y/o una fuente de energía eólica.

[0175] También se proporciona un método de almacenamiento y suministro de energía térmica, que comprende:

recibir energía de entrada de una fuente de energía;

almacenar en un medio de almacenamiento la energía térmica obtenida utilizando la energía de entrada;
mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido para su entrega a un sistema de carga;
recibir información de previsión sobre la disponibilidad de la fuente de energía; y
basándose en la información de previsión, modificar una cantidad de energía de entrada recibida de la fuente de
energía. El uso de la información prevista sobre la disponibilidad de las fuentes de energía permite al sistema
ajustar la energía recibida, lo que ayuda a mantener un funcionamiento constante.

[0176] La modificación de la cantidad de energía de entrada puede comprender la comunicación con un sistema de control de la fuente de energía. La comunicación con el sistema de control de la fuente de energía puede comprender el envío de una solicitud o instrucción para reducir una cantidad de energía de entrada suministrada por la fuente cuando la información de previsión indique un aumento de la disponibilidad de la fuente de energía. La comunicación con el sistema de control de la fuente de energía puede comprender el envío de una solicitud o instrucción para transferir el exceso de energía a una red eléctrica disponible cuando la información de previsión indique un aumento de la disponibilidad de la fuente de energía. La comunicación con el sistema de control de la fuente de energía puede incluir el envío de una solicitud o instrucción para reducir una parte de la producción de la fuente de energía cuando la información de previsión indique un aumento de la disponibilidad de la fuente de energía. La modificación de la cantidad de energía de entrada puede comprender la conexión a una red eléctrica disponible para obtener energía de entrada adicional cuando la información de previsión indique una disminución de la disponibilidad de la fuente de energía. La modificación de la cantidad de energía de entrada puede comprender la conexión a una fuente de energía alternativa cuando la información de previsión indique una disminución de la disponibilidad de la fuente de energía. La recepción de información de previsión puede comprender la recepción de información de un sistema de control de la fuente de energía. La recepción de información de previsión puede comprender la recepción de información de un sistema de análisis.

[0177] La fuente de energía puede ser una fuente de disponibilidad intermitente, por ejemplo una fuente de energía solar y/o una fuente de energía eólica.

[0178] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica, que comprende:

un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica obtenida utilizando energía de entrada procedente de una fuente de energía;
un dispositivo de movimiento de fluido configurado para mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido y proporcionar el fluido calentado a un sistema de carga; y
un sistema de control configurado para recibir información de previsión sobre la disponibilidad de la fuente de energía, y basándose en la información de previsión, ajustar un parámetro de funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía térmica. El uso de la información de previsión relativa a la disponibilidad de la fuente de energía permite al sistema ajustar un parámetro de funcionamiento, lo que puede ayudar a mantener un funcionamiento constante y, en algunos casos, mejorar la fiabilidad del sistema y la vida útil de los componentes (por ejemplo, cuando se dispone de un exceso de energía que permite reducir la temperatura de los elementos de calentamiento).

[0179] La energía de entrada puede ser energía eléctrica, y además comprende un elemento de calentamiento configurado para convertir una parte de la energía de entrada en una parte de la energía térmica.

[0180] El sistema de control puede estar configurado para hacer funcionar el elemento de calentamiento a un nivel de potencia eléctrica mayor durante un período de disponibilidad de la fuente de energía, cuando la información de previsión indica una próxima reducción de la disponibilidad de la fuente de energía. Esta "sobrecarga" del medio de almacenamiento térmico puede permitir mantener la temperatura de salida o la energía especificada del sistema durante un periodo de menor disponibilidad de la fuente de energía.

[0181] El sistema de control puede estar configurado para hacer funcionar el elemento de calentamiento a un nivel de potencia eléctrica reducido durante un período de disponibilidad de la fuente de energía, cuando la información de previsión indica un próximo aumento de la disponibilidad de la fuente de energía. Esta reducción del nivel de potencia del calefactor cuando se prevé que se dispondrá de energía durante más tiempo de lo normal, por ejemplo, permite mantener la misma potencia reduciendo al mismo tiempo la tensión en el elemento de calentamiento y el medio de almacenamiento.

[0182] El sistema puede comprender además un sistema de calentamiento auxiliar configurado para calentar al menos una porción del fluido en una ubicación fuera del medio de almacenamiento, en el que el sistema de control está configurado para dirigir el exceso de energía de entrada al sistema de calentamiento auxiliar durante un período de disponibilidad de energía.

[0183] La información de previsión puede indicar un próximo aumento de la disponibilidad de la fuente de energía y el sistema de control está configurado para reducir una cantidad de energía térmica almacenada en el medio de almacenamiento de forma proporcional a un aumento de la energía térmica proporcionada por el sistema de calentamiento auxiliar. Cuando hay mucha energía en la previsión, utilizar el exceso de energía para calentar el fluido mediante un calentador auxiliar, reduciendo al mismo tiempo la energía térmica en el medio de almacenamiento, puede reducir el desgaste del medio de almacenamiento y de sus elementos de calentamiento. La información de previsión puede indicar

una próxima disminución de la disponibilidad de la fuente de energía y el sistema de control está configurado para mantener o aumentar una cantidad de energía térmica almacenada en el medio de almacenamiento durante el período de disponibilidad de energía. Cuando la previsión indica que la energía va a escasear, el uso del calentador auxiliar puede permitir retrasar el momento en que será necesario descargar el acumulador térmico, lo que puede ayudar a superar el próximo periodo de potencia reducida. El sistema de calentamiento auxiliar puede comprender un calentador colocado a lo largo de una línea de derivación configurada para transportar una porción del fluido al sistema de carga sin pasar la porción a través del medio de almacenamiento. El sistema de calentamiento auxiliar puede comprender un calentador situado a lo largo de una línea de salida entre una salida del medio de almacenamiento y una entrada del sistema de carga. El sistema de control puede estar configurado para ajustar un caudal del fluido a través del medio de almacenamiento basándose en la información de previsión. El sistema de control puede estar configurado para reducir un caudal del fluido a través del medio de almacenamiento cuando la información de previsión indica una próxima disminución de la disponibilidad de la fuente de energía. El sistema de control puede estar configurado para recibir la información de previsión de un sistema de control de la fuente de energía. El sistema de control puede estar configurado para recibir la información de previsión de un sistema de análisis externo al sistema de control. La información de previsión puede referirse a periodos de tiempo relativos de disponibilidad e indisponibilidad de la fuente de energía, y/o a una magnitud relativa de energía disponible de la fuente de energía. La fuente de energía puede ser una fuente de disponibilidad intermitente, por ejemplo una fuente de energía solar y/o una fuente de energía eólica.

[0184] También se proporciona un método de almacenamiento y suministro de energía térmica, que comprende:

recibir energía de entrada de una fuente de energía;
almacenar en un medio de almacenamiento la energía térmica obtenida utilizando la energía de entrada;
mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido para su entrega a un sistema de carga;
recibir información de previsión sobre la disponibilidad de la fuente de energía; y
basándose en la información de previsión, ajustar un parámetro de funcionamiento asociado con el movimiento del fluido a través del medio de almacenamiento. El uso de la información de previsión relativa a la disponibilidad de la fuente de energía permite al sistema ajustar un parámetro de funcionamiento, lo que puede ayudar a mantener un funcionamiento constante y, en algunos casos, mejorar la fiabilidad del sistema y la vida útil de los componentes (por ejemplo, cuando se dispone de un exceso de energía que permite reducir la temperatura de los elementos de calentamiento).

[0185] El ajuste de un parámetro de funcionamiento puede comprender, durante un período de disponibilidad de la fuente de energía cuando la información de previsión indica una próxima reducción de la disponibilidad de la fuente de energía, el funcionamiento a un nivel de potencia eléctrica mayor de un elemento de calentamiento asociado al medio de almacenamiento. Esta "sobrecarga" del medio de almacenamiento térmico puede permitir mantener la temperatura de salida o la energía especificada del sistema durante un periodo de menor disponibilidad de la fuente de energía.

[0186] El ajuste de un parámetro de funcionamiento puede comprender, durante un período de disponibilidad de la fuente de energía cuando la información de previsión indica un próximo aumento de la disponibilidad de la fuente de energía, el funcionamiento a un nivel de potencia eléctrica disminuido de un elemento de calentamiento asociado al medio de almacenamiento. Esta reducción del nivel de potencia del calefactor cuando se prevé que se dispondrá de energía durante más tiempo de lo normal, por ejemplo, permite mantener la misma potencia reduciendo al mismo tiempo la tensión en el elemento de calentamiento y el medio de almacenamiento.

[0187] El ajuste de un parámetro de funcionamiento puede comprender, durante un período de disponibilidad de la fuente de energía, dirigir el exceso de energía a un sistema de calentamiento auxiliar configurado para calentar al menos una porción del fluido en una ubicación fuera del medio de almacenamiento.

[0188] El ajuste de un parámetro de funcionamiento puede comprender, cuando la previsión indica un próximo aumento de la disponibilidad de la fuente de energía, la reducción de una cantidad de energía térmica almacenada en el medio de almacenamiento de forma proporcional a un aumento de la energía térmica proporcionada por el sistema de calentamiento auxiliar. Cuando hay mucha energía en la previsión, utilizar el exceso de energía para calentar el fluido mediante un calentador auxiliar, reduciendo al mismo tiempo la energía térmica en el medio de almacenamiento, puede reducir el desgaste del medio de almacenamiento y de sus elementos de calentamiento.

[0189] El ajuste de un parámetro de funcionamiento puede comprender, cuando la previsión indica una próxima disminución de la disponibilidad de la fuente de energía, el mantenimiento o el aumento de una cantidad de energía térmica almacenada en el medio de almacenamiento durante el período de disponibilidad de energía. Cuando la previsión indica que la energía será escasa, el uso del calentador auxiliar puede permitir retrasar el momento en que será necesario descargar el almacenamiento térmico, lo que puede ayudar a mantener una producción específica durante el próximo periodo de potencia reducida.

[0190] El sistema de calentamiento auxiliar puede comprender un calentador colocado a lo largo de una línea de derivación configurada para transportar una porción del fluido al sistema de carga sin pasar la porción a través del medio de almacenamiento.

[0191] El sistema de calentamiento auxiliar puede comprender un calentador situado a lo largo de una línea de salida entre una salida del medio de almacenamiento y una entrada del sistema de carga.

[0192] El ajuste del parámetro de funcionamiento puede comprender el ajuste de un caudal del fluido a través del medio de almacenamiento basado en la información de previsión.

[0193] El ajuste del parámetro de funcionamiento puede comprender la reducción de un caudal del fluido a través del medio de almacenamiento cuando la información de previsión indica una próxima disminución de la disponibilidad de la fuente de energía.

[0194] La recepción de la información de previsión puede comprender la recepción de la información de previsión de un sistema de control de la fuente de energía, y/o un sistema de análisis. La información de previsión puede referirse a periodos de tiempo relativos de disponibilidad e indisponibilidad de la fuente de energía, y/o a una magnitud relativa de energía disponible de la fuente de energía.

[0195] La fuente de energía puede ser una fuente de disponibilidad intermitente, por ejemplo, una fuente de energía solar, y/o una fuente de energía eólica.

[0196] También se proporciona un sistema de almacenamiento térmico, que incluye:

- un medio de almacenamiento térmico;
- un elemento de calentamiento colocado para calentar el medio de almacenamiento térmico; y
- un sistema de transferencia de potencia, que comprende:
 - una pluralidad de circuitos generadores configurados para generar una pluralidad de tensiones de corriente continua (CC) variables en el tiempo;
 - un primer circuito convertidor que incluye una pluralidad de primeros circuitos convertidores, cada primer circuito convertidor incluye:
 - un primer circuito de entrada configurado para recibir una de las tensiones continuas variables en el tiempo, y un primer circuito de salida galvánicamente aislado del circuito de entrada y configurado para generar una primera tensión continua correspondiente derivada de la tensión continua variable en el tiempo recibida por el primer circuito de entrada, en el que el primer circuito convertidor está configurado para combinar las primeras tensiones continuas correspondientes de los primeros circuitos de salida para generar una tensión de transmisión y accionar una línea de transmisión; y
 - un segundo circuito convertidor que incluye una pluralidad de segundos circuitos convertidores, incluyendo cada segundo circuito convertidor:
 - un segundo circuito de entrada configurado para recibir una parte de la tensión de transmisión, y un segundo circuito de salida aislado galvánicamente del segundo circuito de entrada y configurado para generar una segunda tensión continua correspondiente derivada de la parte de la tensión de transmisión recibida por el segundo circuito de entrada; y
 - un bus de alimentación común acoplado a los segundos circuitos de salida y al elemento de calentamiento; en el que el segundo circuito convertidor está configurado para suministrar las segundas tensiones continuas correspondientes de los segundos circuitos de salida al elemento de calentamiento a través del bus de alimentación común.

[0197] Esta disposición permite un método de transmisión de potencia con menos pérdidas que la transferencia de potencia de CA convencional debido a las menores corrientes parásitas y las menores resistencias del sistema, ya que la potencia generada por los circuitos del generador varía en el tiempo. También evita que el sistema de transferencia de potencia extraiga una corriente excesiva de los circuitos del generador.

[0198] También se proporciona un sistema de transferencia de potencia, que comprende:

- una pluralidad de circuitos generadores configurados para generar una pluralidad de tensiones de corriente continua (CC) variables en el tiempo;
- un primer circuito convertidor que incluye una pluralidad de primeros circuitos convertidores, cada primer circuito convertidor incluye:
 - un primer circuito de entrada configurado para recibir una de las tensiones continuas variables en el tiempo, y un primer circuito de salida galvánicamente aislado del circuito de entrada y configurado para generar una primera tensión continua correspondiente derivada de la tensión continua variable en el tiempo recibida por el primer circuito de entrada, en el que el primer circuito convertidor está configurado para combinar las primeras tensiones continuas correspondientes de los primeros circuitos de salida para generar una tensión de transmisión y accionar una línea de transmisión; y
 - un segundo circuito convertidor que incluye una pluralidad de segundos circuitos convertidores, incluyendo cada segundo circuito convertidor:
 - un segundo circuito de entrada configurado para recibir una parte de la tensión de transmisión, y un segundo circuito de salida galvánicamente aislado del segundo circuito de entrada y configurado para generar una segunda tensión continua correspondiente derivada de la parte de la tensión de transmisión recibida por el segundo circuito

de entrada, en el que el segundo circuito convertidor está configurado para suministrar las segundas tensiones continuas correspondientes de los segundos circuitos de salida en un bus de alimentación común; y una carga acoplada al bus de alimentación común.

5 **[0199]** Esta disposición evita que el sistema de transferencia de potencia extraiga una corriente excesiva de los circuitos del generador. También permite crear una tensión de transmisión mayor sin utilizar un transformador elevador tradicional, que podría generar pérdidas adicionales en la transferencia de energía. También reduce la tensión en cualquiera de los circuitos del convertidor, lo que permite utilizar componentes más pequeños y menos costosos.

10 **[0200]** También se proporciona un aparato, que comprende:

una primera pluralidad de circuitos convertidores, incluyendo cada circuito convertidor:
un circuito de entrada configurado para recibir una tensión de entrada de corriente continua (CC) procedente de una fuente de energía renovable; y
15 un circuito de salida aislado galvánicamente del circuito de entrada y configurado para generar una tensión continua de salida derivada de la tensión continua de entrada;
en el que los circuitos de salida de la primera pluralidad de circuitos convertidores están acoplados en serie para combinar las tensiones de salida de CC respectivas y producir una tensión de transmisión; y
una unidad de almacenamiento térmico que incluye un elemento de calentamiento configurado para recibir la
20 tensión de transmisión para calentar un medio de almacenamiento térmico. Esta disposición evita que el sistema de transferencia de potencia extraiga una corriente excesiva de los circuitos del generador. También permite crear una tensión de transmisión mayor sin utilizar un transformador elevador tradicional, que podría generar pérdidas adicionales en la transferencia de energía.

25 **[0201]** También se proporciona un método, que comprende:

recibir, mediante un circuito de entrada de un circuito convertidor dado de una pluralidad de circuitos convertidores, de una tensión de entrada de corriente continua (CC) procedente de una fuente de energía renovable;
generar, mediante un circuito de salida del circuito dado que está galvánicamente aislado del circuito de entrada,
30 una tensión continua de salida derivada de la tensión continua de entrada;
combinar las tensiones de salida de CC respectivas acoplando en serie los circuitos de salida de la primera pluralidad de circuitos convertidores para producir una tensión de transmisión; y
calentar un medio de almacenamiento térmico mediante un elemento de calentamiento utilizando la tensión de transmisión. Esta disposición evita que el sistema de transferencia de potencia extraiga una corriente excesiva de
35 los circuitos del generador. También permite crear una tensión de transmisión mayor sin utilizar un transformador elevador tradicional, que podría generar pérdidas adicionales en la transferencia de energía.

[0202] También se proporciona un aparato, que comprende:

40 una pluralidad de primeros circuitos convertidores, incluyendo cada primer circuito convertidor:
un primer circuito de entrada configurado para recibir una tensión de entrada de corriente continua (CC) procedente de una fuente de energía renovable; y
un primer circuito de salida galvánicamente aislado del primer circuito de entrada y configurado para generar una
45 tensión de salida de CC derivada de la tensión de entrada de CC, en el que los circuitos de salida de la primera pluralidad de circuitos convertidores están acoplados en serie para combinar las respectivas tensiones de salida de CC para producir una tensión de transmisión;
una pluralidad de segundos circuitos convertidores acoplados en serie a través de la tensión de transmisión para generar una pluralidad de porciones de tensión, en el que cada segundo circuito convertidor incluye:
50 un segundo circuito de entrada configurado para recibir una porción correspondiente de la pluralidad de porciones de tensión; y
un segundo circuito de salida galvánicamente aislado del segundo circuito de entrada y configurado para generar, utilizando la porción correspondiente, una tensión de carga de CC; y
una unidad de almacenamiento térmico configurada para calentar un medio de almacenamiento térmico utilizando
55 tensiones de carga de CC respectivas de la segunda pluralidad de circuitos convertidores. Esta disposición evita que el sistema de transferencia de potencia extraiga una corriente excesiva de los circuitos del generador. También permite crear una tensión de transmisión mayor sin utilizar un transformador elevador tradicional, que podría generar pérdidas adicionales en la transferencia de energía. También reduce la tensión en cualquiera de los circuitos del convertidor, lo que permite utilizar componentes más pequeños y menos costosos.

60 **[0203]** También se proporciona un aparato, que comprende:

una primera pluralidad de circuitos convertidores, incluyendo cada circuito convertidor:
un primer circuito de entrada configurado para recibir una tensión de entrada de corriente continua (CC) procedente de una fuente de tensión de CC; y
65 un primer circuito de salida galvánicamente aislado del primer circuito de entrada y configurado para generar una tensión continua de salida basada en la tensión continua de entrada; y

en el que la primera pluralidad de circuitos convertidores están acoplados en serie de tal manera que las tensiones de salida de CC se combinan para producir una tensión de transmisión. Esta disposición evita que el sistema de transferencia de potencia extraiga una corriente excesiva de los circuitos del generador. También permite crear una tensión de transmisión mayor sin utilizar un transformador elevador tradicional, que podría generar pérdidas adicionales en la transferencia de energía.

[0204] También se proporciona un sistema de calcinación, que comprende:

un sistema de almacenamiento de energía térmica (TES) configurado para almacenar energía térmica derivada de una fuente de energía renovable, en el que el sistema de TES incluye:
un elemento de calentamiento configurado para calentar un medio de almacenamiento utilizando electricidad procedente de la fuente de energía renovable; y
un ventilador configurado para calentar un fluido no combustible haciendo circular el fluido no combustible a través del medio de almacenamiento calentado;
el sistema de calcinación comprende además un calcinador configurado para eliminar dióxido de carbono de un suministro de carbonato cálcico dentro del calcinador, mediante:
recibir la energía térmica obtenida del fluido incombustible calentado; y
aplicar la energía térmica recibida al carbonato cálcico.

[0205] También se proporciona un sistema de activación de material, que comprende:

un sistema de almacenamiento de energía térmica (TES) configurado para almacenar energía térmica derivada de una fuente de energía, mediante:
calentar un medio de almacenamiento utilizando la energía de la fuente de energía renovable; y
hacer circular un fluido no combustible a través del medio de almacenamiento calentado; y
un sistema de calentamiento del material configurado para:
recibir energía térmica derivada del fluido incombustible circulado; y
aplicar la energía térmica recibida a una materia prima para producir un material activado.

[0206] También se proporciona un método para la activación de material, que comprende:

recibir, mediante un sistema de almacenamiento de energía térmica (TES) de un sistema de activación de materiales, la energía suministrada por una fuente de energía;
almacenar, mediante el sistema de TES, la energía recibida como energía térmica calentando un medio de almacenamiento con la energía recibida;
proporcionar, mediante el sistema de TES a un sistema de calentamiento de material del sistema de activación de material, la energía térmica almacenada haciendo circular un fluido no combustible a través del medio de almacenamiento calentado; e
implementar, mediante el sistema de calentamiento de material, un proceso de activación de material que incluya la aplicación de la energía térmica proporcionada a una materia prima para producir un material activado.

[0207] También se proporciona un sistema de activación de material, que comprende:

un medio no combustible para calentar un medio de almacenamiento utilizando energía procedente de una fuente de energía variable;
un medio para transferir energía térmica del medio de almacenamiento a un fluido; y
un medio para aplicar la energía térmica transferida desde el fluido a una materia prima para producir un material activado.

[0208] También se proporciona un sistema de calcinación, que comprende:

un sistema de almacenamiento de energía térmica (TES) configurado para almacenar energía térmica derivada de una fuente de energía, en el que el sistema de TES incluye:
un elemento de calentamiento configurado para calentar un medio de almacenamiento utilizando la electricidad de la fuente de energía; y
un ventilador configurado para calentar un fluido no combustible haciendo circular el fluido no combustible a través del medio de almacenamiento calentado;
el sistema de calcinación comprende además un calcinador configurado para eliminar dióxido de carbono de un suministro de carbonato cálcico dentro del calcinador, mediante:
recibir la energía térmica obtenida del fluido incombustible calentado; y
aplicar la energía térmica recibida al carbonato cálcico.

[0209] También se proporciona un sistema, que comprende:

un sistema de almacenamiento de energía térmica (TES) configurado para almacenar energía térmica derivada de una fuente de energía renovable, en el que el sistema de TES incluye:

un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica; y
 un elemento de calentamiento configurado para calentar el medio de almacenamiento utilizando electricidad
 procedente de la fuente de energía renovable; y
 un sistema de movimiento de fluido configurado para mover un fluido a través del medio de almacenamiento para
 calentar el fluido a una temperatura en un intervalo de temperatura especificado; y
 un sistema de electrólisis, en el que el sistema de electrólisis incluye:
 una pluralidad de celdas de óxido sólido configuradas para electrolizar agua para producir hidrógeno cuando se
 proporciona un potencial eléctrico a las celdas de óxido sólido; y
 una trayectoria de barrido a través de las celdas de óxido sólido, en la que la trayectoria de barrido está configurada
 para hacer circular el fluido desde el sistema de movimiento de fluidos para transferir calor a las celdas de óxido
 sólido.

[0210] La invención proporciona un sistema para la combinación de calentar un fluido (por ejemplo, aire caliente)
 utilizando una unidad descrita en el presente documento y luego usando el fluido calentado en un sistema de electrólisis
 de óxido sólido para convertir agua en hidrógeno. Una ventaja de este sistema es que el calor para la electrólisis se
 obtiene de un sistema de alta eficiencia y el uso de este calor también aumenta la eficiencia de la reacción de electrólisis.
 También se proporciona un método, que comprende:

calentar un medio de almacenamiento mediante elementos de calentamiento que convierten la electricidad de una
 fuente de energía renovable en calor;
 hacer circular un fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura dentro de
 un intervalo de temperatura especificado;
 hacer circular el fluido a través de una pluralidad de celdas de óxido sólido;
 suministrar agua a las celdas de óxido sólido; y
 proporcionar un potencial eléctrico a las celdas de óxido sólido para electrolizar el agua y generar hidrógeno.

[0211] La invención proporciona un método para calentar un fluido (por ejemplo, aire caliente) utilizando una unidad
 descrita en el presente documento y, a continuación, utilizar el fluido calentado en un sistema de electrólisis de óxido
 sólido para convertir agua en hidrógeno. Una ventaja de este método es que el calor para la electrólisis se obtiene de un
 sistema de alta eficiencia y el uso de este calor también aumenta la eficiencia de la reacción de electrólisis.
 También se proporciona un sistema, que comprende:

un sistema de almacenamiento de energía térmica (TES) configurado para almacenar energía térmica derivada de
 una fuente de energía renovable, en el que el sistema de TES incluye:
 un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica; y
 un elemento de calentamiento configurado para calentar el medio de almacenamiento utilizando electricidad
 procedente de la fuente de energía renovable; y
 un sistema de movimiento de fluido configurado para mover un fluido a través del medio de almacenamiento para
 calentar el fluido a una temperatura en un intervalo de temperatura especificado; y
 un sistema de pila de combustible, en el que el sistema de pila de combustible incluye:
 una pluralidad de celdas de óxido sólido configuradas para generar electricidad y agua cuando se suministra
 hidrógeno a las celdas de óxido sólido; y
 una trayectoria de barrido a través de las celdas de óxido sólido, en la que la trayectoria de barrido está configurada
 para hacer circular el fluido desde el sistema de movimiento de fluidos para eliminar el calor de las celdas de óxido
 sólido.

[0212] La invención proporciona un sistema para calentar un fluido (por ejemplo, aire caliente) utilizando una unidad
 descrita en el presente documento y, a continuación, utilizar el fluido calentado en un sistema de pila de combustible de
 óxido sólido para convertir el hidrógeno en electricidad y agua. Una ventaja de este sistema es que hay menos pérdida
 de calor y la eficiencia se incrementa mediante el uso de una unidad descrita en el presente documento para tomar el
 calor de la pila de combustible.

[0213] También se describe un método, que comprende:

calentar un medio de almacenamiento mediante elementos de calentamiento que convierten la electricidad de una
 fuente de energía renovable en calor;
 hacer circular un fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura dentro de
 un intervalo de temperatura especificado;
 hacer circular el fluido a través de una pluralidad de celdas de óxido sólido;
 proporcionar hidrógeno a las celdas de óxido sólido; y
 generar electricidad y agua a partir de las celdas de óxido sólido.

[0214] La invención proporciona un método para calentar un fluido (por ejemplo, aire caliente) utilizando una unidad
 descrita en el presente documento y, a continuación, utilizar el fluido calentado en un sistema de pila de combustible de
 óxido sólido para convertir hidrógeno en electricidad y agua. Una ventaja de este método es que hay menos pérdida de

calor y la eficiencia se incrementa mediante el uso de una unidad descrita en el presente documento para tomar el calor de la pila de combustible.

[0215] También se proporciona un sistema, que comprende:

un sistema de almacenamiento de energía térmica (TES) configurado para almacenar energía térmica derivada de una fuente de energía renovable, en el que el sistema de TES incluye:
un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica; y
un elemento de calentamiento configurado para calentar el medio de almacenamiento utilizando electricidad procedente de la fuente de energía renovable; y
un sistema de movimiento de fluido configurado para mover un fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura en un intervalo de temperatura especificado; y
una pluralidad de celdas de óxido sólido, en el que las celdas de óxido sólido están configuradas para:
electrolizar agua para producir hidrógeno cuando se proporciona un potencial eléctrico a las celdas de óxido sólido; generar electricidad y agua cuando se suministra hidrógeno a las pilas de óxido sólido; y
una trayectoria de barrido a través de las celdas de óxido sólido, en el que la trayectoria de barrido está configurada para hacer circular el fluido desde el sistema de movimiento de fluidos para transferir calor entre el fluido y las celdas de óxido sólido.

[0216] La invención proporciona un sistema en el que las celdas de óxido sólido son reversibles para ser utilizadas tanto para operaciones de electrólisis como de pila de combustible. La ventaja de este sistema frente a la electrólisis o la pila de combustible es que el fluido de las pilas se puede suministrar constantemente a las mismas para mantenerlas a temperaturas elevadas mientras se cambia de un modo de funcionamiento a otro.

[0217] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica (TES), que comprende:

un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica; y
un elemento de calentamiento configurado para calentar el medio de almacenamiento utilizando electricidad procedente de una fuente de energía renovable; y
un sistema de movimiento de fluido configurado para mover un fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura en un intervalo de temperatura especificado y proporcionar el fluido a un sistema de electrólisis de óxido sólido que convierte el agua en hidrógeno.

[0218] La invención proporciona un sistema que proporciona fluido calentado para electrólisis (como se reivindica en la reivindicación FA1) desde la perspectiva de la unidad descrita en el presente documento. Una ventaja de este sistema es que el calor para la electrólisis proviene de un sistema de alta eficiencia y el uso de este calor también aumenta la eficiencia de la reacción de electrólisis.

[0219] También se proporciona un método, que comprende:

calentar un medio de almacenamiento mediante elementos de calentamiento que convierten la electricidad de una fuente de energía renovable en calor;
hacer circular un fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura dentro de un intervalo de temperatura especificado; y
suministrar el fluido a un sistema de electrólisis de óxido sólido que convierte el agua en hidrógeno.

[0220] La invención proporciona un método que proporciona el líquido calentado para electrólisis (según lo reivindicado en el presente documento) de la perspectiva de la unidad descrita en el presente documento. Una ventaja de este método es que el calor para la electrólisis se obtiene de un sistema de alta eficiencia y el uso de este calor también aumenta la eficiencia de la reacción de electrólisis.

[0221] También se proporciona un sistema de almacenamiento de energía térmica (TES), que comprende:

un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica; y
un elemento de calentamiento configurado para calentar el medio de almacenamiento utilizando electricidad procedente de una fuente de energía renovable; y
un sistema de movimiento de fluido configurado para mover un fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura en un intervalo de temperatura especificado y proporcionar el fluido a un sistema de pila de combustible de óxido sólido que genera electricidad y agua a partir de hidrógeno.

[0222] La invención proporciona un sistema que suministra fluido caliente para la pila de combustible (según se reivindica en el presente documento) desde la perspectiva de la unidad descrita en el presente documento. Una ventaja de este sistema es que el calor para la electrólisis proviene de un sistema de alta eficiencia y el uso de este calor también aumenta la eficiencia de la reacción de electrólisis.

[0223] También se proporciona un método, que comprende:

calentar un medio de almacenamiento mediante elementos de calentamiento que convierten la electricidad de una fuente de energía renovable en calor;
hacer circular un fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura dentro de un intervalo de temperatura especificado; y
suministrar el fluido a un sistema de pila de combustible de óxido sólido que genera electricidad y agua a partir del hidrógeno.

[0224] La invención proporciona un método que proporciona el líquido calentado para la celda de combustible (según lo demandado adjunto) de la perspectiva de la unidad adjunto-descrita. Una ventaja de este método es que el calor para la electrólisis se obtiene de un sistema de alta eficiencia y el uso de este calor también aumenta la eficiencia de la reacción de electrólisis.

[0225] También se proporciona un sistema de electrólisis, que comprende:

una pluralidad de celdas de óxido sólido configuradas para electrolizar agua para producir hidrógeno cuando se proporciona un potencial eléctrico a las celdas de óxido sólido; y
una trayectoria de barrido a través de las celdas de óxido sólido, en el que la trayectoria de barrido está configurado para hacer circular un fluido recibido de un sistema de almacenamiento de energía térmica, en el que el fluido se calienta haciendo circular el fluido a través de un medio de almacenamiento que almacena energía térmica generada por la conversión de la electricidad de entrada procedente de una fuente de energía renovable, y en el que el fluido se calienta a una temperatura en un intervalo de temperaturas especificado.

[0226] La invención proporciona un sistema que proporciona fluido calentado para electrólisis (como se reivindica en el presente documento) desde la perspectiva de la unidad de electrólisis. Una ventaja de este sistema es que el calor para la electrólisis proviene de un sistema de alta eficiencia y el uso de este calor también aumenta la eficiencia de la reacción de electrólisis.

[0227] También se proporciona un método, que comprende:

hacer circular un fluido a través de una pluralidad de celdas de óxido sólido, en el que el fluido ha sido calentado por un medio de almacenamiento que almacena energía térmica generada por la conversión de la electricidad de entrada procedente de una fuente de energía renovable;
suministrar agua a las celdas de óxido sólido; y
proporcionar un potencial eléctrico a las celdas de óxido sólido para electrolizar el agua y generar hidrógeno.

[0228] La invención proporciona un método que proporciona fluido calentado para electrólisis (como se reivindica en el presente documento) desde la perspectiva de la unidad de electrólisis. Una ventaja de este método es que el calor para la electrólisis se obtiene de un sistema de alta eficiencia y el uso de este calor también aumenta la eficiencia de la reacción de electrólisis.

[0229] También se proporciona un sistema de pila de combustible, que comprende:

una pluralidad de celdas de óxido sólido configuradas para generar electricidad e hidrógeno a partir del agua; y
una trayectoria de barrido a través de las celdas de óxido sólido, en el que la trayectoria de barrido está configurado para hacer circular un fluido recibido de un sistema de almacenamiento de energía térmica, en el que el fluido se calienta haciendo circular el fluido a través de un medio de almacenamiento que almacena energía térmica generada por la conversión de la electricidad de entrada procedente de una fuente de energía renovable, y en el que el fluido se calienta a una temperatura en un intervalo de temperaturas especificado.

[0230] La invención proporciona un sistema dirigido a proporcionar fluido calentado para electrólisis (como se reivindica en el presente documento) desde la perspectiva de la unidad de pila de combustible. La ventaja de este sistema es que hay menos pérdidas de calor y la eficiencia se incrementa mediante el uso de una unidad descrita en el presente documento para tomar el calor de la pila de combustible.

[0231] También se proporciona un método, que comprende:

hacer circular un fluido a través de una pluralidad de celdas de óxido sólido, en el que el fluido ha sido calentado por un medio de almacenamiento que almacena energía térmica generada por la conversión de la electricidad de entrada procedente de una fuente de energía renovable;
proporcionar hidrógeno a las celdas de óxido sólido; y
generar electricidad y agua a partir de las celdas de óxido sólido.

[0232] La invención proporciona un método dirigido a proporcionar fluido calentado para electrólisis (como se reivindica en el presente documento) desde la perspectiva de la unidad de pila de combustible. Una ventaja de este método es que

hay menos pérdida de calor y la eficiencia se incrementa mediante el uso de una unidad descrita en el presente documento para tomar el calor de la pila de combustible.

[0233] También se proporciona un aparato que comprende:

un conjunto de almacenamiento térmico que incluye una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico, en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen múltiples ranuras de flujo de fluido, en el que algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico;
una pluralidad de elementos de calentamiento situados dentro del conjunto de almacenamiento térmico, en el que cada uno de los elementos de calentamiento está configurado para calentar al menos uno de los bloques de almacenamiento térmico;
un sistema de movimiento de fluido configurado para dirigir una corriente de fluido a través de las trayectorias de fluido para calentar el fluido a un intervalo de temperatura especificado, en el que el dispositivo de movimiento de fluido está configurado para proporcionar el fluido calentado en el intervalo de temperatura especificado a un sistema de electrólisis de óxido sólido configurado para extraer hidrógeno del agua y dar salida al fluido calentado a una temperatura inferior; y
un generador de vapor configurado para recibir el fluido a baja temperatura del sistema de electrólisis convertir el agua de alimentación de entrada en vapor.

[0234] El exceso de calor producido por el electrolizador es lo suficientemente caliente como para generar vapor, por lo que se aprovecha para el mismo en lugar de desperdiciarse.

[0235] También se proporciona un aparato que comprende:

un conjunto de almacenamiento térmico que incluye una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico, en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen múltiples ranuras de flujo de fluido, en el que algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico;
una pluralidad de elementos de calentamiento colocados dentro del conjunto de almacenamiento térmico y adyacentes a al menos algunas de las cavidades de radiación, en el que cada uno de la pluralidad de elementos de calentamiento está configurado para calentar al menos uno de los bloques de almacenamiento térmico;
un sistema de movimiento de fluido configurado para dirigir una corriente de fluido a través de las trayectorias de fluido para calentar el fluido a un intervalo de temperatura especificado;
un generador de vapor configurado para recibir el fluido a fin de convertir el agua de alimentación de entrada en vapor de entrada que tenga una primera presión;
una turbina de vapor configurada para recibir el vapor de entrada y proporcionar vapor de salida a una segunda presión inferior a la primera; y
un segundo dispositivo de movimiento de fluidos configurado para mover el vapor de salida a una planta industrial para su uso en un proceso industrial.

[0236] La turbina de vapor puede utilizarse para generar electricidad, entre otros usos, utilizando vapor suministrado a una primera presión. La energía gastada para hacer funcionar la turbina de vapor se refleja en la diferencia entre la primera y la segunda presión. El vapor de la turbina, a la segunda presión más baja, sigue siendo útil y, por lo tanto, puede utilizarse en un proceso industrial.

[0237] También se proporciona un aparato que comprende:

un conjunto de almacenamiento térmico que incluye una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico, en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen múltiples ranuras de flujo de fluido, en el que algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico;
una pluralidad de elementos de calentamiento situados dentro del conjunto de almacenamiento térmico y adyacentes a al menos algunas de las cavidades de radiación, en el que cada uno de la pluralidad de elementos de calentamiento está configurado para calentar al menos uno de los bloques de almacenamiento térmico;
un sistema de movimiento de fluido configurado para dirigir una corriente de un primer fluido a través de las trayectorias de fluido para calentar el primer fluido a un intervalo de temperatura especificado;
un primer generador de vapor configurado para, utilizando el primer fluido, convertir el agua de alimentación de entrada en vapor;
una turbina de vapor configurada para provocar la generación de electricidad utilizando el vapor; y
un precalentador configurado para, utilizando el calor residual de la turbina de vapor, precalentar el agua de alimentación suministrada a un segundo generador de vapor.

[0238] El calor sobrante del primer generador de vapor puede reutilizarse para precalentar el agua de alimentación de otro generador de vapor (necesitando así menos transferencia de calor para generar vapor utilizando el segundo generador de vapor).

[0239] También se proporciona un aparato que comprende:

un conjunto de almacenamiento térmico que incluye una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico, en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen múltiples ranuras de flujo de fluido, en el que algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico;
una pluralidad de elementos de calentamiento colocados dentro del conjunto de almacenamiento térmico y adyacentes a al menos algunas de las cavidades de radiación, en el que cada uno de la pluralidad de elementos de calentamiento está configurado para calentar al menos uno de los bloques de almacenamiento térmico;
un sistema de movimiento de fluido configurado para dirigir una corriente de fluido a través de las trayectorias de fluido para calentar el fluido a un intervalo de temperatura especificado;
un generador de vapor configurado para recibir el fluido para convertir el agua de alimentación de entrada en vapor de entrada;
una unidad de medida configurada para determinar un valor medido de calidad del vapor de salida del generador de vapor; y
un controlador configurado para hacer que el sistema de movimiento de fluido dirija la corriente de fluido, y configurado además para utilizar la calidad de vapor medida como retroalimentación para ajustar un caudal de fluido para mantener la calidad de vapor medida dentro de un intervalo de calidad de vapor especificado.

[0240] Utilizando la retroalimentación generada por la unidad de medición, el sistema forma efectivamente un sistema de control de bucle cerrado cuya salida es una calidad de vapor particular (este es un término que entendería fácilmente el experto, y que puede significar la relación entre vapor y vapor de agua).

[0241] También se proporciona un sistema que comprende:

un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica generada por una conversión de electricidad de entrada procedente de un suministro de energía de entrada, teniendo el suministro de energía de entrada una disponibilidad intermitente;
un dispositivo de movimiento de fluido configurado para mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura especificada, el fluido comprende oxígeno y nitrógeno, en el que el dispositivo de movimiento de fluido está configurado para proporcionar el fluido a la temperatura especificada a un sistema de electrólisis de celda de óxido sólido que convierte el agua en hidrógeno y enriquece el fluido con oxígeno; y
un generador de vapor de un solo paso configurado para, utilizando el fluido recibido del sistema de electrólisis, convertir el agua de alimentación de entrada en vapor.

De este modo, el calor sobrante del proceso de electrólisis se reutiliza ventajosamente para generar vapor en lugar de desperdiciarse.

[0242] También se proporciona un sistema que comprende:

un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica generada por una conversión de electricidad de entrada procedente de un suministro de energía de entrada, teniendo el primer suministro de energía de entrada una disponibilidad intermitente;
un primer dispositivo de movimiento de fluido configurado para mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura especificada;
un generador de vapor de un solo paso configurado para, utilizando el fluido, convertir el agua de alimentación de entrada en un vapor de entrada que tenga una primera presión;
una turbina de vapor configurada para proporcionar un vapor de salida a una segunda presión que es inferior a la primera presión; y
un segundo dispositivo de movimiento de fluidos configurado para mover el vapor de salida a una planta industrial para su uso en un proceso industrial.

[0243] Esto permite reutilizar el vapor que ya ha sido utilizado por la turbina de vapor (por ejemplo, para generar electricidad).

[0244] También se proporciona un sistema que comprende:

un primer medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica generada por una conversión de electricidad de entrada procedente de un suministro de energía de entrada, teniendo el suministro de energía de entrada una disponibilidad intermitente;
un dispositivo de movimiento de fluido configurado para mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura especificada;
un primer generador de vapor configurado para, utilizando el fluido, convertir la primera agua de alimentación de entrada en vapor;
una turbina de vapor configurada para, utilizando el vapor, hacer que un generador eléctrico genere electricidad; y

un precalentador configurado para, utilizando el calor residual de la turbina de vapor, precalentar la segunda agua de alimentación suministrada a un segundo generador de vapor.

[0245] De este modo, el calor residual de la turbina se reutiliza ventajosamente para precalentar el agua de alimentación de un segundo generador de vapor (necesitando así menos calor de otras fuentes).

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0246] Los dibujos adjuntos se incluyen para proporcionar una mayor comprensión de la presente divulgación y se incorporan y constituyen parte de esta memoria descriptiva. Los dibujos ilustran ejemplos de aplicación de la presente divulgación y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la presente divulgación.

[0247] En los dibujos, componentes y/o características similares pueden tener la misma etiqueta de referencia. Además, varios componentes del mismo tipo pueden distinguirse siguiendo la etiqueta de referencia con una segunda etiqueta que distinga entre los componentes similares. Si en la memoria descriptiva solo se utiliza la primera etiqueta de referencia, la descripción es aplicable a cualquiera de los componentes similares que tengan la misma primera etiqueta de referencia, independientemente de la segunda etiqueta de referencia.

La figura 1 ilustra un diagrama esquemático de la arquitectura del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;

La figura 2 ilustra un diagrama esquemático de un sistema según las implementaciones de ejemplo;

La figura 3 ilustra un diagrama esquemático de un sistema según las implementaciones de ejemplo;

La figura 4 ilustra un diagrama esquemático de un generador de vapor de un solo paso (OTSG) alimentado por almacenamiento según las implementaciones de ejemplo;

La figura 5 ilustra un diagrama esquemático de la tubería del OTSG según las implementaciones de ejemplo;

La figura 6 ilustra una vista de ejemplo de un sistema que se utiliza como sistema de cogeneración integrado según las implementaciones de ejemplo;

La figura 7 ilustra una vista exterior del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;

La figura 8 ilustra una vista isométrica de la cubierta interior y la estructura de almacenamiento del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;

La figura 9 ilustra una vista superior del techo interior de una estructura de almacenamiento térmico según una implementación de ejemplo.

La figura 10 ilustra una vista de una plataforma en una porción inferior del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;

La figura 11 ilustra una vista de la estructura de refuerzo sísmico del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;

La figura 12 ilustra una vista de la estructura de soporte para los ladrillos del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;

La figura 13 ilustra los sopladores y las rejillas del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;

La figura 14 ilustra el aislamiento dinámico según las implementaciones de ejemplo;

La figura 15 es un diagrama de bloques que ilustra una implementación de varios sistemas de control;

La figura 16 es un diagrama de bloques que ilustra una implementación de un sistema de control de almacenamiento térmico;

La figura 17 es un diagrama de bloques que ilustra una implementación de un sistema de análisis externo;

La figura 18 ilustra un calentador de derivación de aire según las implementaciones de ejemplo;

Las figuras 19A-19D, 20A-20C y 21 ilustran la carga y descarga del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;

Las figuras 20A-20C ilustran la carga y descarga del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;

La figura 21 ilustra además la carga y descarga del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;

La figura 22 ilustra el sistema durante los estados de carga y descarga según las implementaciones de ejemplo;

La figura 23 ilustra una vista esquemática del desbordamiento térmico según las implementaciones de ejemplo;

Las figuras 24A y 24-29 ilustran las vistas esquemáticas de adelanto y retraso según las implementaciones de ejemplo;

La figura 30 es un diagrama de bloques que ilustra la definición de una temperatura de descarga profunda basada en su proximidad relativa a dos temperaturas de referencia.

La figura 31 es un diagrama de bloques que ilustra la definición de una temperatura de descarga profunda basada en una diferencia con respecto a la temperatura de derivación.

La figura 32 es una tabla que ilustra un ejemplo en el que cada una de las N matrices de almacenamiento (N=3) se descarga en profundidad una vez durante cada N periodos de descarga.

La figura 33 es una tabla que ilustra un ejemplo en el que cada una de las N matrices de almacenamiento se descarga en profundidad varias veces y se descarga parcialmente una vez durante cada N periodos de descarga.

Las figuras 34(A)-(C) ilustran perfiles de potencia según las implementaciones de ejemplo;

- Las figuras 35(A)-(B) ilustran un diagrama de flujo asociado con el arranque y el apagado según las implementaciones de ejemplo;
- Las figuras 36 y 37 ilustran la estructura de la cavidad de radiación y la propagación de la radiación térmica y las características de temperatura, y la ranura de fluido correspondiente, según algunas implementaciones.
- 5 La figura 38 ilustra una vista de un ladrillo según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 39 ilustra una vista de un ladrillo según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 40 ilustra una vista de un ladrillo según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 41 ilustra ladrillos entrelazados según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 42 ilustra una pila refractaria de ejemplo según las implementaciones de ejemplo;
- 10 La figura 43 ilustra una vista en perspectiva de ejemplo del apilamiento de los ladrillos según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 44 ilustra una vista lateral de ejemplo del apilamiento de los ladrillos según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 45 ilustra una vista en perspectiva superior de ejemplo de pilas de ladrillos dispuestas en filas según las implementaciones de ejemplo;
- 15 La figura 46 es un diagrama que muestra una vista isométrica de un conjunto de bloques de almacenamiento térmico;
- La figura 47 es un diagrama que muestra una vista en perspectiva en despiece de los bloques de la figura 46;
- La figura 48 es un diagrama que muestra una vista de arriba hacia abajo de los bloques de la figura 46, según algunas implementaciones;
- La figura 49 es un diagrama que muestra una vista de arriba hacia abajo de uno o más bloques de almacenamiento térmico, según algunas implementaciones;
- 20 La figura 50 es una vista isométrica del bloque(s) de la figura 49 según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 51 es una vista lateral del bloque(s) de la figura 49 según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 52 ilustra un ejemplo de pila de ladrillos con columnas plurales según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 53 ilustra una vista lateral de las pilas de ladrillos y HRSG en el sistema de almacenamiento de energía térmica a las implementaciones de ejemplo;
- 25 La figura 54 ilustra una vista isométrica de la estructura que incluye las pilas de ladrillos y el HRSG en el sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 55 ilustra una vista isométrica del bastidor y la región de salida de las pilas de ladrillos en el sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;
- 30 La figura 56 ilustra una vista isométrica desde abajo del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 57 ilustra una vista isométrica del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 58 proporciona una vista isométrica de otro ejemplo de unidad de almacenamiento térmico que incluye un panel de ventilación a prueba de fallos, según algunas implementaciones.
- 35 La figura 59 proporciona una vista isométrica de la unidad de almacenamiento térmico con múltiples cierres de ventilación abiertos, según algunas implementaciones.
- La figura 60 proporciona una vista isométrica de la unidad de almacenamiento térmico con múltiples cierres de ventilación cerrados y cortes en la carcasa exterior, según algunas implementaciones.
- 40 La figura 61 proporciona una vista en perspectiva más detallada del cierre de ventilación primario, según algunas implementaciones.
- La figura 62 proporciona una vista en perspectiva aún más detallada de una bisagra para el cierre de ventilación primario, según algunas implementaciones.
- 45 La figura 63 ilustra una composición de un ladrillo según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 64 muestra un sinfín estacionario y desviadores según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 65 muestra los desviadores con los aspectos anteriores de mezcla de flujo según las implementaciones de ejemplo;
- Las figuras 66(A)-(C) ilustran diversas configuraciones de los elementos de calentamiento resistivos según las implementaciones de ejemplo;
- 50 Las figuras 67, 68 y 69 ilustran diversas configuraciones del elemento de calentamiento resistivo según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 70 ilustra configuraciones del elemento de calentamiento resistivo según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 71 es un diagrama de bloques de una implementación de un sistema de transmisión de energía para una fuente de energía renovable;
- 55 La figura 72 es un diagrama de bloques de un sistema de transmisión de energía para una fuente de energía renovable;
- La figura 73 es un diagrama de bloques de una implementación de sistema receptor de potencia para una tensión de corriente continua transmitida;
- La figura 74 es un diagrama de bloques de una implementación de un circuito de conversión;
- La figura 75 es un diagrama de flujo que representa una implementación de un método para operar un sistema de transferencia de potencia de CC;
- 60 La figura 76 ilustra un sistema de activación de material según una implementación de ejemplo;
- La figura 77 ilustra un calcinador con el sistema de almacenamiento de energía térmica según una implementación de ejemplo;
- La figura 78 ilustra un calcinador con el sistema de almacenamiento de energía térmica según una implementación de ejemplo;
- 65

- La figura 79 ilustra un sistema integrado de generación de calor y electricidad a partir de combustibles y energías renovables que alimenta una calcinadora con el sistema de almacenamiento de energía térmica según una implementación de ejemplo;
- La figura 80 ilustra un electrolizador de óxido sólido que coelectroliza CO_2 y agua, conectado a un aparato Sabatier y/o Fischer-Tropsch integrado con un calcinador y con un sistema de almacenamiento de energía térmica según una implementación de ejemplo;
- La figura 81 ilustra diagramas esquemáticos de un proceso de activación de materiales;
- La figura 82 ilustra diagramas esquemáticos de varias implementaciones de un proceso de activación de material con un sistema de almacenamiento de energía térmica según una implementación de ejemplo;
- La figura 83 ilustra diagramas esquemáticos de varias implementaciones de un calcinador para el proceso Bayer, incluyendo la etapa de calcinación, con el sistema de almacenamiento de energía térmica según una implementación de ejemplo;
- La figura 84 proporciona una ilustración de una unidad de óxido sólido como pila de combustible y como electrolizador según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 85 ilustra el modo de electrólisis según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 86 ilustra el modo de pila de combustible según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 87 ilustra un ejemplo de sistema utilizado para alimentar la producción de hidrógeno y/o combustibles de hidrocarburos suministrando tanto calor como energía para accionar un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura, según las implementaciones del ejemplo;
- La figura 88 ilustra un sistema de electrólisis de óxido sólido reversible 4800 según las implementaciones de ejemplo.
- La figura 89 ilustra un sistema 550 integrado con una central eléctrica de ciclo combinado para proporcionar un almacenamiento térmico para el funcionamiento de una central eléctrica de vapor que incluye cogeneración opcional según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 90 ilustra un sistema de cogeneración integrado capaz de suministrar vapor a alta presión, así como energía eléctrica, de acuerdo con las implementaciones de ejemplo;
- La figura 91 ilustra una planta de proceso industrial integrada con un sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 92 ilustra un proceso para repartir la electricidad renovable variable entre múltiples usos en un día típico;
- La figura 93 ilustra un refuerzo eléctrico según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 94 ilustra un sistema integrado de cogeneración asociado a la captura de carbono, según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 95 es un diagrama de flujo que representa la implementación de un método para operar un sistema de almacenamiento de energía térmica;
- La figura 96 es un diagrama de flujo que representa una implementación de un método para operar un sistema de captura de dióxido de carbono;
- La figura 97 divulga un sistema que tiene un calentador de combustible 9905 y una unidad de almacenamiento térmico de acuerdo con las implementaciones de ejemplo;
- La figura 98 ilustra el proceso según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 99 ilustra una primera previsión de disponibilidad de energía segunda previsión de disponibilidad de energía de varios días según las implementaciones de ejemplo;
- La figura 100 ilustra un enfoque de captura directa de aire según las implementaciones de ejemplo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- [0248] Aspectos de las implementaciones de ejemplo, como se divulga en el presente documento, se refieren a sistemas, métodos, materiales, composiciones, artículos y mejoras para un sistema de almacenamiento de energía térmica para la generación de energía para diversas aplicaciones industriales.

I. Sistema general

Problemas a resolver

- [0249] La presente divulgación está dirigida al almacenamiento efectivo de VRE como energía térmica en medios de almacenamiento sólidos.

- [0250] Mientras que sistemas como las estufas Cowper almacenan la energía de alta temperatura en medios sólidos, estas unidades se cargan y descargan a velocidades similares, y se calientan y enfrían principalmente por convección, mediante el flujo de gases de transferencia de calor. Las diferencias de presión causadas por cualquier combinación de tiro mediado por la flotabilidad (el "efecto pila") y el flujo inducido o forzado (es decir, el flujo causado por un sistema de movimiento de fluidos que puede incluir ventiladores o soplantes) mueve los fluidos de transferencia de calor a través de los medios sólidos. Este tipo de enfoques utilizan la convección para la carga y descarga, con el fluido de transferencia de calor que se calienta externamente a la matriz de medios de almacenamiento. Pero aplicar este enfoque al almacenamiento de VRE es desventajoso, requiere una gran superficie y, por lo tanto, es costoso, ya que estos sistemas de transferencia de calor por convección deben funcionar a las velocidades mucho más altas asociadas con la carga de VRE que con la entrega de calor.

[0251] Los sistemas de almacenamiento térmico incluyen diversos calentadores de elementos, medios de almacenamiento, estructuras envolventes y subsistemas de transferencia de calor, todos los cuales pueden verse afectados por las temperaturas del sistema de almacenamiento y por la velocidad de cambio de dichas temperaturas. Las temperaturas excesivas y/o la excesiva velocidad de cambio de temperatura pueden inducir fallos debidos a diversos efectos. Algunos de estos efectos son el reblandecimiento del material, la separación de óxidos, la recristalización del metal, la oxidación y el agrietamiento y fallo inducidos por la tensión térmica.

[0252] El aumento de la temperatura dentro de una unidad de almacenamiento térmico provoca la dilatación térmica de los materiales que se utilizan para almacenar la energía térmica. La falta de uniformidad de estas temperaturas puede provocar tensiones en los sólidos. Esta falta de uniformidad de la temperatura puede producirse tanto durante los periodos de descarga (debido al flujo de fluidos de transferencia de calor que enfrían los medios de almacenamiento) como durante los periodos de carga (debido a la elevada tasa de transferencia de calor). En general, un flujo de calor en una superficie provoca temperaturas no uniformes dentro del medio sólido; esta falta de uniformidad de la temperatura hace que el calor fluya por conducción hacia zonas más frías, a una velocidad determinada por la conductividad térmica del material y la magnitud de la falta de uniformidad de la temperatura.

[0253] La falta de uniformidad de la temperatura también puede deberse al calentamiento y enfriamiento repetidos de una matriz de almacenamiento térmico que incluye elementos de calentamiento y canales por los que circula el fluido de transferencia de calor. Estas irregularidades pueden amplificarse en ciclos sucesivos de calentamiento y enfriamiento, lo que a su vez provoca que zonas localizadas de un sistema de almacenamiento se calienten o enfríen excesivamente durante el funcionamiento. Este fenómeno se conoce como "fuga térmica" y puede provocar el fallo prematuro de las matrices de almacenamiento térmico. La falta de uniformidad en la temperatura puede agravarse cuando fallan elementos de calentamiento individuales, lo que provoca que la zona de una unidad de almacenamiento que tiene los elementos de calentamiento averiados no se caliente, mientras que otra zona de la unidad de almacenamiento sigue teniendo elementos de calentamiento activos y altas temperaturas.

[0254] Por último, los sistemas de almacenamiento de energía renovable deben cumplir una serie de normas muy estrictas. Deben poder cargarse completamente durante los periodos en que la energía variable esté disponible (por ejemplo, durante las horas diurnas en el caso de la energía solar, tal como se define por un ciclo diurno solar que comienza con la hora de salida del sol y termina con la hora de puesta del sol; se entiende que la hora de salida y puesta del sol puede variar en función de la ubicación física en términos de latitud y longitud, la geografía en términos de terreno, la fecha y la estación). Deben suministrar energía de forma constante, aunque la fuente de energía de entrada no siempre esté disponible de forma predecible. Esto significa que, en ocasiones, estos sistemas deben ser capaces de suministrar energía de salida durante periodos más largos que los periodos de disponibilidad de la energía de entrada. Los sistemas de almacenamiento de VRE tienen que poder funcionar en estas condiciones a diario durante décadas de uso.

Visión general de la solución

[0255] La presente divulgación se refiere al campo de los sistemas de almacenamiento y utilización de energía térmica, y aborda los problemas mencionados. Se divulga un sistema de almacenamiento de energía térmica que almacena energía eléctrica en forma de energía térmica en un modo de carga, y entrega la energía almacenada en un modo de descarga. La descarga puede producirse al mismo tiempo que la carga; es decir, el sistema puede calentarse mediante energía eléctrica al mismo tiempo que proporciona un flujo de aire calentado por convección. La energía descargada se presenta en forma de aire caliente, fluidos calientes en general, vapor, CO₂ calentado, CO₂ supercrítico calentado, y/o generación de energía eléctrica, y puede suministrarse a diversas aplicaciones, incluyendo usos industriales. Las implementaciones divulgadas incluyen sistemas de almacenamiento de energía térmica de larga vida útil y construcción eficiente que tienen materiales, fabricación, forma física y otras propiedades que mitigan el daño y el deterioro de los ciclos de temperatura repetidos.

[0256] Opcionalmente, se puede optimizar el calentamiento de los elementos de la unidad de almacenamiento, de forma que se almacene la máxima cantidad de calor durante el ciclo de carga. Alternativamente, el calentamiento de los elementos puede optimizarse para maximizar la vida útil del elemento de calentamiento, por medios que incluyen minimizar el tiempo a determinadas temperaturas del calefactor, y/o ajustando las velocidades de carga máximas y/o las temperaturas máximas del elemento de calentamiento. Hay otras alternativas que pueden equilibrar estos intereses contrapuestos. Las operaciones específicas para lograr estas optimizaciones se discuten más adelante.

[0257] Ejemplos de aplicación emplean un aislamiento térmico eficaz y económico. Concretamente, un diseño de aislamiento dinámico puede utilizarse por sí solo o en combinación con un aislamiento térmico primario estático. Las técnicas de aislamiento dinámico divulgadas proporcionan un flujo controlado de aire en el interior del sistema para restringir la disipación de energía térmica al entorno exterior, lo que se traduce en una mayor eficiencia del almacenamiento de energía.

Visión general del sistema

[0258] La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema 1 que incluye un sistema de almacenamiento de energía térmica 10, según una implementación. En la implementación mostrada, el sistema de almacenamiento de energía térmica

10 está acoplado entre una fuente de energía de entrada 2 y un proceso de consumo de energía posterior 22. Para facilitar la referencia, los componentes de los lados de entrada y salida del sistema 1 pueden describirse como "aguas arriba" y "aguas abajo" en relación con el sistema 10.

[0259] En la implementación representada, el sistema de almacenamiento de energía térmica 10 está acoplado a la fuente de energía de entrada 2, que puede incluir una o más fuentes de energía eléctrica. La fuente 2 puede ser renovable, tal como las celdas fotovoltaicas (FV) o la energía solar, eólica, geotérmica, etc. La fuente 2 también puede ser otra fuente, tal como la nuclear, el gas natural, el carbón, la biomasa u otras. La fuente 2 también puede incluir una combinación de fuentes renovables y de otro tipo. En esta implementación, la fuente 2 se suministra al sistema de almacenamiento de energía térmica 10 a través de la infraestructura 4, que puede incluir uno o más conductores eléctricos, equipos de conmutación, etc. En algunas implementaciones, la infraestructura 4 puede incluir circuitos configurados para transportar electricidad a través de largas distancias; alternatively, en implementaciones en las que la fuente de energía de entrada 2 se encuentra en las inmediaciones del sistema de almacenamiento de energía térmica 10, la infraestructura 4 puede simplificarse en gran medida. En última instancia, la infraestructura 4 suministra energía a la entrada 5 del sistema de almacenamiento de energía térmica 10 en forma de electricidad.

[0260] La energía eléctrica suministrada por la infraestructura 4 se introduce en la estructura de almacenamiento térmico 12 dentro del sistema 10 a través de interruptores, aparatos de protección e interruptores activos controlados por el sistema de control 15. La estructura de almacenamiento térmico 12 incluye el almacenamiento térmico 14, que a su vez incluye uno más conjuntos (por ejemplo, 14A, 14B) de medios de almacenamiento sólidos (por ejemplo, 13A, 13B) configurados para almacenar energía térmica.

[0261] Estos conjuntos se denominan de diferentes maneras a lo largo de esta divulgación como "pilas", "matrices" y similares. Estos términos pretenden ser genéricos y no connotar ninguna orientación particular en el espacio, etc. En general, una matriz puede incluir cualquier material adecuado para almacenar energía térmica y puede orientarse en cualquier dirección (por ejemplo, vertical, horizontal, etc.). Asimismo, los medios de almacenamiento sólido dentro de los conjuntos pueden denominarse bloques de almacenamiento térmico, ladrillos, etc. En implementaciones con múltiples conjuntos, las matrices pueden estar aisladas térmicamente entre sí y son controlables por separado, lo que significa que son capaces de cargarse o descargarse independientemente unos de otros. Esta disposición ofrece la máxima flexibilidad, ya que permite cargar varias matrices al mismo tiempo, cargar varias matrices en distintos momentos o a distintos ritmos, descargar una matriz mientras la otra permanece cargada, etc.

[0262] El almacenamiento térmico 14 está configurado para recibir energía eléctrica como una entrada. Como se explicará con más detalle a continuación, la energía eléctrica recibida puede suministrarse al almacenamiento térmico 14 a través de elementos de calentamiento resistivos que se calientan con energía eléctrica y emiten calor, principalmente como radiación electromagnética en el espectro infrarrojo y visible. Durante un modo de carga del almacenamiento térmico 14, la energía eléctrica se libera en forma de calor de los elementos de calentamiento resistivos, se transfiere principalmente por radiación emitida tanto por los elementos de calentamiento como por medios de almacenamiento sólidos más calientes, y se absorbe y almacena en medios sólidos dentro del almacenamiento 14. Cuando una matriz dentro del almacenamiento térmico 14 está en un modo de descarga, el calor se descarga de la estructura de almacenamiento térmico 12 como salida 20. Como se describirá, la salida 20 puede adoptar diversas formas, incluyendo un fluido tal como aire caliente. (Las referencias al uso de "aire" y "gases" dentro de la presente divulgación pueden entenderse como referencias más generales a un "fluido"). El aire caliente puede suministrarse directamente a un proceso 22 posterior que consuma energía (por ejemplo, una aplicación industrial), o puede pasarse a través de un generador de vapor (no mostrado) para generar vapor para el proceso 22. Más adelante, en esta misma sección, se ofrece información más detallada sobre la generación de vapor y, en la sección IV, sobre los distintos procesos posteriores posibles.

[0263] Además, el sistema de almacenamiento de energía térmica 10 incluye un sistema de control 15. El sistema de control 15, en diversas implementaciones, está configurado para controlar el almacenamiento térmico 14, incluso mediante el establecimiento de parámetros operativos (por ejemplo, la tasa de descarga), el control de los flujos de fluidos, el control del accionamiento de dispositivos de conmutación electromecánicos o semiconductores eléctricos, etc. La interfaz 16 entre el sistema de control 15 y la estructura de almacenamiento térmico 12 (y, en particular, el almacenamiento térmico 14) se indica en la figura 1. El sistema de control 15 puede implementarse como una combinación de hardware y software en varias realizaciones. Más detalles sobre posibles implementaciones del sistema de control 15 se proporcionan a continuación con respecto a las figuras 15 a 17.

[0264] El sistema de control 15 también puede interactuar con diversas entidades externas al sistema de almacenamiento de energía térmica 10. Por ejemplo, el sistema de control 15 puede comunicarse con la fuente de energía de entrada 2 a través de una interfaz de comunicación de entrada 17B. Por ejemplo, la interfaz 17B puede permitir al sistema de control 15 recibir información relativa a las condiciones de generación de energía en la fuente de energía de entrada 2. En la implementación en la que la fuente de energía de entrada 2 es una matriz fotovoltaica, esta información puede incluir, por ejemplo, las condiciones meteorológicas actuales en el emplazamiento de la fuente 2, así como otra información disponible para cualquier sistema de control aguas arriba, sensores, etc. La interfaz 17B también puede utilizarse para enviar información a componentes o equipos asociados a la fuente 2.

[0265] Del mismo modo, el sistema de control 15 puede comunicarse con la infraestructura 4 a través de una interfaz de comunicación con la infraestructura 17 A. De manera similar a lo explicado anteriormente, la interfaz 17 A puede utilizarse para proporcionar información sobre la infraestructura al sistema de control 15, como la disponibilidad actual o prevista de VRE, la demanda de la red, las condiciones de la infraestructura, el mantenimiento, la información de emergencia, etc. A la inversa, la interfaz de comunicación 17A también puede ser utilizada por el sistema de control 15 para enviar información a componentes o equipos dentro de la infraestructura 4. Por ejemplo, la información puede incluir señales de control transmitidas desde el sistema de control 15, que controla válvulas u otras estructuras en la estructura de almacenamiento térmico 12 para que se muevan entre una posición abierta y una posición cerrada, o para controlar interruptores eléctricos o electrónicos conectados a calentadores en el almacenamiento térmico 14. El sistema de control 15 utiliza la información de la interfaz de comunicación 17A para determinar las acciones de control, y las acciones de control pueden ajustar el cierre o disparo de los interruptores de manera que se optimice el uso de la energía eléctrica disponible en ese momento y se mantengan los flujos de tensión y corriente dentro de la infraestructura 4 dentro de los límites elegidos.

[0266] El sistema de control 15 también puede comunicarse aguas abajo mediante las interfaces 18A y/o 18B. La interfaz 18A puede utilizarse para comunicar información a cualquier estructura de transmisión de salida (por ejemplo, una línea de transmisión de vapor), mientras que la interfaz 18B puede utilizarse para comunicarse con el proceso aguas abajo 22. Por ejemplo, la información proporcionada a través de las interfaces 18A y 18B puede incluir la temperatura, la demanda de la aplicación industrial, las condiciones actuales o futuras esperadas de la salida o de las aplicaciones industriales, etc. Como se explicará con más detalle a continuación, el sistema de control 15 puede controlar la entrada, el almacenamiento térmico y la salida de la estructura de almacenamiento térmico basándose en una variedad de información. Al igual que con las interfaces 17A y 17B, la comunicación a través de las interfaces 18A y 18B puede ser bidireccional - por ejemplo, el sistema 10 puede indicar la capacidad disponible al proceso 22 aguas abajo.

[0267] Además, el sistema de control 15 también puede comunicarse con otras fuentes de datos relevantes (indicadas por el número de referencia 21 en la figura 1) a través de la interfaz de comunicación adicional 19. Las fuentes de datos adicionales 21 engloban cualquier otra fuente de datos no mantenida por los sitios anteriores o posteriores. Por ejemplo, las fuentes 21 podrían incluir información de previsión de terceros, datos almacenados en un sistema de datos en la nube, etc.

[0268] Como se describirá en detalle más adelante, el sistema de almacenamiento de energía térmica 10 está configurado para almacenar eficientemente la energía térmica generada a partir de la fuente de energía de entrada 2, y entregar energía de salida en diversas formas a un proceso posterior 22. En diversas realizaciones, la fuente de energía de entrada 2 puede proceder de energías renovables y el proceso posterior 22 puede ser una aplicación industrial que requiera una entrada como vapor o aire caliente. A través de diversas técnicas, incluyendo matrices de bloques de almacenamiento térmico que utilizan la transferencia de calor radiante para almacenar energía de manera eficiente y un paradigma de descarga con adelanto y retraso que conduce a propiedades térmicas deseables, tales como la reducción de las no uniformidades de temperatura dentro del almacenamiento térmico 14, el sistema 10 puede proporcionar ventajosamente un flujo continuo (o casi continuo) de energía de salida basado en una fuente disponible de forma intermitente. El uso de un sistema de este tipo puede reducir la dependencia de las aplicaciones industriales de los combustibles fósiles.

[0269] La figura 2 proporciona una vista esquemática de una implementación de un sistema 200 para almacenar energía térmica, e ilustra además componentes y conceptos que se acaban de describir con respecto a la figura 1. Como se muestra, una o más fuentes de energía 201 proporcionan electricidad de entrada. Por ejemplo, y como se ha señalado anteriormente, las fuentes renovables como la energía eólica de las turbinas eólicas 201a, la energía solar de las celdas fotovoltaicas 201b u otras fuentes de energía pueden proporcionar electricidad variable en disponibilidad o precio porque las condiciones de generación de la electricidad son variadas. Por ejemplo, en el caso de la turbina eólica 201a, la fuerza, duración y variación del viento, así como otras condiciones meteorológicas hacen que la cantidad de energía que se produce varíe con el tiempo. Del mismo modo, la cantidad de energía generada por las celdas fotovoltaicas 201b también varía con el tiempo, dependiendo de factores como la hora del día, la duración del día debido a la época del año, el nivel de nubosidad debido a las condiciones meteorológicas, la temperatura, otras condiciones ambientales, etc. Además, la electricidad de entrada puede recibirse de la red eléctrica existente 201c, que a su vez puede variar en función de factores como los precios, la demanda de los clientes, el mantenimiento y las necesidades de emergencia.

[0270] La electricidad generada por la fuente 201 se suministra a la estructura de almacenamiento térmico dentro del sistema de almacenamiento de energía térmica. En la figura 2, el paso de la electricidad a la estructura de almacenamiento térmico está representado por la pared 203. (A continuación se ofrecen más detalles sobre la estructura de almacenamiento térmico en relación con las figuras 7 a 12). La energía eléctrica de entrada se convierte en calor dentro del almacenamiento térmico 205 a través de elementos de calentamiento resistivos 207 controlados por interruptores (no mostrados). Los elementos de calentamiento 207 proporcionan calor a los medios de almacenamiento sólidos 209. Como se explicará con más detalle en la Sección II, los componentes de almacenamiento térmico (a veces llamados "ladrillos") dentro del almacenamiento térmico 205 están dispuestos para formar cámaras radiativas incrustadas. La figura 2 ilustra que múltiples matrices de almacenamiento térmico 209 pueden estar presentes dentro del sistema 200. Estas matrices pueden estar aisladas térmicamente entre sí y ser controlables por separado. La figura 2 sólo pretende ofrecer una

representación conceptual de cómo podría implementarse el almacenamiento térmico 205; una implementación de este tipo podría, por ejemplo, incluir sólo dos matrices, o podría incluir seis matrices, o diez matrices, o más.

[0271] En la implementación representada, un soplador 213 impulsa aire u otro fluido hacia el almacenamiento térmico 205 de tal forma que el aire se recibe finalmente en una porción inferior de cada una de las matrices 209. El aire fluye hacia arriba a través de los canales y cámaras formados por ladrillos en cada una de las matrices 209, con el flujo controlado por rejillas (como se muestra 1611 en la figura 18). Mediante la liberación de energía térmica de los elementos de calentamiento resistivos 207, el calor se transfiere radiativamente a las matrices 209 de ladrillos durante un modo de carga. Las superficies de ladrillo relativamente más calientes irradian de nuevo la energía absorbida (lo que puede denominarse "eco" radiativo) y participan en el calentamiento de las superficies más frías. Durante un modo de descarga, el calor almacenado en las matrices 209 sale, como se indica en 215.

[0272] Una vez que el calor se ha emitido en forma de un fluido como el aire caliente, el fluido se puede suministrar para una o más aplicaciones posteriores. Por ejemplo, el aire caliente puede ser utilizado directamente en un proceso industrial que está configurado para recibir el aire caliente, como se muestra en 217. Además, el aire caliente puede ser suministrado como una corriente 219 a un intercambiador de calor 218 de un generador de vapor 222, y por lo tanto calienta un fluido presurizado tal como aire, agua, CO₂ u otro gas. En el ejemplo mostrado, a medida que la corriente de aire caliente 219 pasa sobre una línea 221 que proporciona el agua de la bomba 223 como entrada, el agua se calienta y se genera vapor como salida 225, que puede proporcionarse a una aplicación industrial como se muestra en 227.

[0273] La figura 3 proporciona una vista esquemática de un sistema de control distribuido 300 que resalta ciertos aspectos de control que pueden estar presentes en implementaciones particulares de las enseñanzas de la presente divulgación. Como se ha descrito anteriormente, las entradas de energía al sistema 300 pueden incluir fuentes de VRE (tal como celdas fotovoltaicas 310 y/o turbinas eólicas 320), así como otras fuentes 340. El sistema de control 300, que puede denominarse "controlador de energía inteligente", está configurado para intercambiar información con diversos componentes del sistema 300, incluido el sistema de control de almacenamiento de energía térmica 399 (también denominado sistema de control 399 por comodidad) para gestionar automáticamente el funcionamiento de carga, descarga y mantenimiento del almacenamiento de energía térmica de forma inteligente.

[0274] El sistema de control 399 puede incluir una variedad de sensores/dispositivos, incluyendo uno o más sensores de tensión y corriente integrados con el equipo de acondicionamiento de energía 311 y el equipo de conmutación 303, un sensor de viento 301, una cámara celeste 302 que detecta el paso de nubes, y/o un sensor de radiación solar 303. El sistema de control 399 también puede recibir datos a través de una conexión de red desde varias fuentes de datos remotas, como la fuente de datos en la nube 304. En consecuencia, el sistema de control 399 puede acceder a muchas formas diferentes de información, incluyendo, por ejemplo, las previsiones meteorológicas y las condiciones del mercado, tales como la disponibilidad de electricidad, el coste de la electricidad, la presencia de otras fuentes de energía, etc.

[0275] El sistema de control 399 también está configurado para comunicarse con las fuentes de energía de entrada a través de dispositivos de conversión y control de potencia como 303, 311, 321 y 341. Estos controladores pueden estar configurados no sólo para pasar datos al sistema de control 399, sino también para recibir órdenes del sistema de control 399. El sistema de control 399 puede configurarse en algunos casos para cambiar entre las fuentes de alimentación de entrada en algunos casos mediante la comunicación con estos controladores. En consecuencia, en una implementación, el sistema de control 399 podría analizar numerosas fuentes de datos externas diferentes para determinar cuál de varias fuentes de energía de entrada disponibles se debe utilizar, y luego comunicarse con controladores como 311 y 321 para seleccionar una fuente de entrada. De manera similar, el sistema de control 399 también puede comunicarse con dispositivos o sistemas aguas abajo, como un generador de vapor 334, una salida de aire caliente 335 y una aplicación industrial 336. El sistema de control 399 puede utilizar la información de dichos sensores de entrada para determinar acciones como la activación selectiva de los interruptores 303-1 a 303-N, controlando los calentadores dentro de la matriz 330. Dichas acciones de control pueden incluir la activación de secuencia rápida de los interruptores 303-1 a 303-N en patrones para presentar cargas resistivas totales variables en respuesta a la potencia disponible variable, a fin de gestionar los niveles de tensión y corriente en los controladores 311, 321 y 341 dentro de intervalos predeterminados.

[0276] La información dentro de la propia estructura de almacenamiento térmico también puede ser utilizada por el sistema de control 399. Por ejemplo, una variedad de sensores y dispositivos de comunicación pueden ser posicionados dentro de los ladrillos, matrices, unidades de almacenamiento y otras ubicaciones dentro de la estructura de almacenamiento térmico, representados como interruptores eléctricos, incluyendo interruptores semiconductores, por 303-1 a 303-N. La información puede incluir el estado de carga, la temperatura, la posición de la válvula y otros numerosos parámetros de funcionamiento, y los interruptores pueden controlar el funcionamiento del sistema de almacenamiento térmico 330, basándose en una señal recibida del sistema de control 399, por ejemplo. Tales acciones de control pueden incluir la activación de los interruptores 303-1 a 303-N con el fin de gestionar las temperaturas y el estado de carga dentro de la matriz dentro de intervalos predeterminados.

[0277] El sistema de control 399 puede comunicarse con dispositivos como el 303 para realizar operaciones basadas en los datos recibidos que pueden ser internos y/o externos a la estructura de almacenamiento térmico. Por ejemplo, el sistema de control 399 puede proporcionar órdenes a los controles de los elementos de calentamiento, las fuentes de alimentación, las bombas de los sopladores de descarga y otros componentes para realizar operaciones como la carga y

la descarga. El sistema de control 399 puede recibir específicamente datos del sistema de almacenamiento térmico 330, incluyendo subsecciones tales como 350, y ladrillos individuales o elementos de calentamiento como 305-1 a 305-N.

[0278] La capacidad de recibir datos de numerosas ubicaciones dentro y fuera de la estructura de almacenamiento térmico permite que el sistema 300 pueda funcionar de forma flexible y eficiente, lo que resulta ventajoso dados los retos que surgen al intentar suministrar un suministro continuo de energía de salida a partir de una fuente variable.

[0279] Una estructura de almacenamiento térmico como la representada en las figuras 1-3 también puede incluir un equipo de salida configurado para producir vapor para su uso en una aplicación posterior. La figura 4, por ejemplo, representa un diagrama de bloques de una implementación de una estructura de almacenamiento térmico 400 que incluye un generador de vapor de un solo paso (OTSG) alimentado por almacenamiento. Un OTSG es un tipo de generador de corriente de recuperación de calor (HRSG), que es un intercambiador de calor que acepta aire caliente desde una unidad de almacenamiento, devuelve aire más frío y calienta un fluido de proceso externo. El OTSG representado está configurado para utilizar la energía térmica almacenada en la estructura 400 para generar vapor en la salida 411.

[0280] Como se ha descrito, la estructura de almacenamiento térmico 400 incluye la estructura exterior 401, como paredes, un techo, así como el almacenamiento térmico 403 en una primera sección de la estructura. El OTSG está situado en una segunda sección de la estructura, que está separada de la primera sección por la barrera térmica 425. Durante un modo de carga, la energía térmica se almacena en el acumulador térmico 403. Durante un modo de descarga, la energía térmica almacenada en el acumulador térmico 403 recibe un flujo de fluido (por ejemplo, aire) por medio de un soplador 405. Estos flujos de fluido pueden generarse a partir del fluido que entra en la estructura 400 a través de una válvula de entrada 419, e incluyen un primer flujo de fluido 412A (que puede dirigirse a una primera pila dentro del almacenamiento térmico 403) y un segundo flujo de fluido 412B (que puede dirigirse a una segunda pila dentro del almacenamiento térmico 403).

[0281] A medida que el aire u otro fluido dirigido por el soplador 405 fluye a través del almacenamiento térmico 403 desde la porción inferior hacia la porción superior, se calienta y finalmente sale por la porción superior del almacenamiento térmico 403. El aire calentado, que puede mezclarse en algunos momentos con un flujo de fluido de derivación 412C que no ha pasado por el almacenamiento térmico 402, pasa por un conducto 409 a través del cual fluye agua u otro fluido bombeado por la bomba de agua 407. En una implementación, el conducto forma un largo camino con múltiples vueltas, como se discute más adelante en relación con la figura 5 abajo. A medida que el aire caliente calienta el agua del conducto, se genera vapor a 411. El aire enfriado que ha atravesado el conducto (y transferido calor al agua que fluye por él) vuelve a introducirse en el acumulador de calor de ladrillo 403 mediante el soplador 405. Como se explica más adelante, el sistema de control puede configurarse para controlar los atributos del vapor, incluida la calidad del vapor, o la fracción de vapor en fase vapor, y el caudal.

[0282] Como se muestra en la figura 4, una OTSG no incluye una caldera de tambor de recirculación. Las propiedades del vapor producido por un OTSG suelen ser más difíciles de controlar que las del vapor producido por un HRSG más tradicional con un tambor, o depósito. El tambor de vapor de una HRSG de este tipo actúa como separador de fases para el vapor que se produce en uno o varios tubos calentados que recirculan el agua; el agua se acumula en el fondo del depósito mientras que el vapor sube a la parte superior. El vapor saturado (con una calidad de vapor del 100 %) puede recogerse de la parte superior del tambor y pasar por una estructura adicional de tubos calentados para sobrecalentarlo y garantizar aún más la alta calidad del vapor. Los HRSG de tipo tambor se utilizan ampliamente en centrales eléctricas y otras aplicaciones en las que el agua que circula por el generador de vapor está muy purificada y permanece limpia en un sistema cerrado. Sin embargo, para aplicaciones en las que el agua tiene un contenido mineral significativo, se forman depósitos minerales en el tambor y los tubos que tienden a obstruir el sistema, lo que hace inviable el diseño de tambor de recirculación.

[0283] Para aplicaciones que utilizan agua con un mayor contenido mineral, un OTSG puede ser una mejor opción. Una de estas aplicaciones es la extracción de petróleo, en la que el agua de alimentación de un generador de vapor puede recuperarse de una mezcla de agua y petróleo producida por un pozo. Incluso después de filtrarla y ablandarla, esa agua puede tener concentraciones de sólidos condensados del orden de 10.000 ppm o superiores. La falta de recirculación en un OTSG permite la operación en un modo para reducir la formación de depósitos minerales; sin embargo, un OTSG necesita ser operado cuidadosamente en algunas implementaciones para evitar depósitos minerales en el conducto de agua del OTSG. Por ejemplo, puede ser necesario tener alguna fracción de gotas de agua presentes en el vapor a medida que viaja a través del conducto de OTSG para evitar los depósitos minerales mediante la retención de los minerales en solución en las gotas de agua. Esta consideración sugiere que la calidad del vapor (fracción de vapor) dentro del conducto debe mantenerse por debajo de un nivel especificado. Por otro lado, una alta calidad del vapor a la salida del OTSG puede ser importante para el proceso que emplea el vapor. Por lo tanto, es ventajoso para un generador de vapor alimentado por VRE a través de TES mantener estrechas tolerancias en la calidad del vapor de salida. Existe una interacción sensible entre variables como la temperatura del agua de entrada, el caudal de agua de entrada y el aporte de calor, que deben gestionarse para conseguir una calidad específica del vapor de salida, evitando al mismo tiempo dañar el OTSG.

[0284] Las implementaciones del sistema de almacenamiento de energía térmica aquí divulgado proporcionan una fuente de calor controlada y especificada a un OTSG. La temperatura controlada y el caudal disponible del sistema de almacenamiento de energía térmica permiten un control eficaz de la calidad del vapor de salida del OTSG. En una

implementación, el control de avance incluye el uso de un valor objetivo de tasa de suministro de vapor y de calidad del vapor, junto con la temperatura del agua medida en la entrada al conducto de agua del OTSG, para determinar una tasa de suministro de calor requerida por el sistema de almacenamiento de energía térmica para alcanzar los valores objetivo. En esta implementación, el sistema de control puede proporcionar una señal de control para ordenar a la estructura de almacenamiento térmico que suministre el gas que fluye a través del OTSG a la velocidad determinada. En una implementación, un sistema de almacenamiento de energía térmica integrado con un OTSG incluye instrumentación para medir la temperatura del agua de entrada al OTSG.

[0285] En una implementación, el control de retroalimentación incluye la medición de un valor de calidad del vapor producido a la salida del OTSG, y un controlador que utiliza ese valor para ajustar el funcionamiento del sistema para devolver la calidad del vapor a un valor deseado. La obtención del valor de calidad del vapor de salida puede incluir la separación del vapor en sus fases líquida y vapor y la monitorización independiente del calor de las fases para determinar la fracción de fase vapor. Alternativamente, la obtención del valor de la calidad del vapor de salida puede incluir la medición de la presión y la velocidad del flujo de vapor de salida y la presión y la velocidad del flujo de agua de entrada, y el uso de la relación entre los valores para calcular una aproximación de la calidad del vapor. En función del valor de la calidad del vapor, puede ajustarse un caudal del fluido de salida suministrado por el almacenamiento térmico al OTSG para alcanzar o mantener la calidad del vapor objetivo. En una implementación, el caudal del fluido de salida se ajusta proporcionando una señal de retroalimentación a un elemento controlable del sistema de almacenamiento térmico. El elemento controlable puede ser un elemento utilizado para mover fluido a través del medio de almacenamiento, como un soplador u otro dispositivo de movimiento de fluido, una persiana o una válvula.

[0286] La medición de la calidad del vapor de la salida tomada en tiempo real puede ser utilizada como retroalimentación por el sistema de control para determinar la tasa deseada de entrega de calor al OTSG. Para lograrlo, una implementación de un sistema de almacenamiento de energía térmica integrado con un OTSG puede incluir instrumentos para medir la velocidad del agua de entrada y la velocidad del flujo de vapor de salida y, opcionalmente, un separador junto con instrumentos para proporcionar mediciones separadas de los valores térmicos del líquido y del vapor. En algunas implementaciones, la tubería en un OTSG está dispuesta de tal manera que la tubería más cercana a la entrada de agua se coloca en la porción de temperatura más baja del flujo de aire, y que la tubería más cercana a la salida de vapor se coloca en la porción de temperatura más alta del flujo de aire. En algunas implementaciones de las presentes innovaciones, el OTSG puede configurarse de modo que los tubos de mayor calidad de vapor (más próximos a la salida de vapor) se sitúen en algún punto intermedio de la disposición de tubos, a fin de permitir temperaturas de fluido de entrada más elevadas desde la TSU al OTSG, mitigando al mismo tiempo la formación de incrustaciones dentro de los tubos y el sobrecalentamiento de los mismos, y manteniendo al mismo tiempo una calidad de vapor adecuada. Los parámetros de flujo especificados del fluido calentado producido por los sistemas de almacenamiento de energía térmica descritos en el presente documento pueden, en algunas implementaciones, permitir un modelado preciso de la transferencia de calor en función de la posición a lo largo del conducto. Dicha modelización puede permitir un diseño específico de las geometrías de los conductos para lograr un perfil de calidad del vapor especificado a lo largo del conducto.

[0287] La figura 5 ilustra una sección transversal de la tubería de un OTSG 490. La tubería serpentina continua 495 está provista de múltiples curvas y desvíos al final de cada fila de tuberías. Como se muestra, el flujo dentro de la tubería 495 pasa a través del OTSG y da la vuelta, lateralmente a través de una fila, y luego se mueve hacia arriba una fila a la vez. La tubería 495 tiene un diámetro menor cerca de la entrada y un diámetro mayor y mayor en las secciones más cercanas a la salida. El aumento del diámetro tiene por objeto permitir una velocidad de flujo lineal adecuada del fluido de entrada más frío, de menor volumen y mayor viscosidad, para permitir una transferencia de calor eficaz, y compensar la expansión del vapor sin velocidades de flujo excesivas en las secciones posteriores de la tubería. En una implementación, el diámetro se cambia de forma discreta, y en otra, el diámetro de la tubería puede estrecharse desde un diámetro menor en la entrada hasta un diámetro mayor en la salida, o alguna combinación de estos dos diseños, como una porción cónica de diámetro menor acoplada a una porción mayor de diámetro fijo de la tubería 495. En la entrada y la salida de la tubería serpentina puede haber puertos que se puedan abrir para permitir la introducción, el paso y la retirada eficaces de herramientas de limpieza, o "raspadores", que se conducen periódicamente a través de la tubería para eliminar cualquier depósito interno. Resulta beneficioso para este tipo de limpieza o "raspado" que la sección de tubería que se está limpiando tenga un diámetro interior aproximadamente constante. En consecuencia, los puertos de apertura pueden colocarse en los puntos en los que cambia el diámetro de la tubería para permitir la introducción y extracción efectivas de cerdos de tamaños apropiados para cada sección de diámetro de la tubería durante las operaciones de raspado.

[0288] Como se muestra en la figura 6, la producción del sistema de almacenamiento de energía térmica puede utilizarse para un sistema integrado de cogeneración 500. Como se ha explicado anteriormente, una fuente de energía 501 proporciona energía eléctrica que se almacena en forma de calor en el acumulador de calor 503 de la TSU. Durante la descarga, el aire calentado sale a 505. Como se muestra en la figura 6, las tuberías que contienen un fluido, en este caso agua, se bombean a un tambor 506 de un HRSG 509 a través de una sección de precalentamiento de la tubería 522. En esta implementación, el HRSG 509 es un generador de vapor tipo tambor de recirculación, que incluye un tambor o caldera 506 y una sección de evaporador de recirculación 508. El vapor de salida pasa a través de la línea 507 a un serpentín de sobrecalentamiento y, a continuación, se suministra a una turbina en 515, que genera electricidad en 517. Como salida, el vapor restante 521 puede ser expulsado para ser utilizado como fuente de calor para un proceso, o condensado en 519

y opcionalmente pasado a través de una unidad de desaireación 513y entregado a la bomba 511 con el fin de realizar una posterior generación de vapor.

[0289] Ciertas aplicaciones industriales pueden ser especialmente adecuadas para la cogeneración. Por ejemplo, algunas aplicaciones utilizan calor de temperatura más alta en un primer sistema, como para convertir el calor en movimiento mecánico como en el caso de una turbina, y calor de temperatura más baja descargado por el primer sistema para un segundo propósito, de forma en cascada; o puede emplearse una cascada de temperatura inversa. Un ejemplo es un generador de vapor que produce vapor a alta presión para accionar una turbina de vapor que extrae energía del vapor, y vapor a baja presión que se utiliza en un proceso, como una refinería de etanol, para accionar la destilación y la energía eléctrica para hacer funcionar las bombas. Otro ejemplo se refiere a un sistema de almacenamiento de energía térmica en el que el gas caliente se envía a una turbina y el calor del gas de salida de la turbina se utiliza para precalentar el agua de entrada a una caldera para procesar el calor en otro generador de vapor (por ejemplo, para su uso en una aplicación industrial de yacimientos petrolíferos). En una aplicación, la cogeneración implica el uso de gas caliente a, por ejemplo, 840 °C para alimentar o coalimentar la electrólisis de hidrógeno, y el gas de salida a menor temperatura del electrolizador de hidrógeno, que puede estar a unos 640 °C, se suministra solo o en combinación con calor a mayor temperatura procedente de una TSU a un generador de vapor o una turbina para un segundo uso. En otra aplicación, la cogeneración implica el suministro de gas calentado a una primera temperatura, por ejemplo 640 °C, para permitir el funcionamiento de una pila de combustible, y el calor residual de la pila de combustible, que puede estar por encima de 800 °C, se entrega a un generador de vapor o a una turbina para un segundo uso, solo o en combinación con otro calor suministrado por una TSU.

[0290] Un sistema de cogeneración puede incluir un aparato de intercambio de calor que recibe la salida descargada de la unidad de almacenamiento térmico y genera vapor. Alternativamente, el sistema puede calentar otro fluido, como dióxido de carbono supercrítico, haciendo circular aire a alta temperatura desde el sistema a través de una serie de tuberías que transportan un fluido, tal como agua o CO₂, (que transfiere calor desde el aire a alta temperatura a las tuberías y al fluido), y luego recirculando el aire enfriado de vuelta como entrada a la estructura de almacenamiento térmico. Este aparato de intercambio de calor es un HRSG, y en una implementación está integrado en una sección de la carcasa que está separada del almacenamiento térmico.

[0291] El HRSG puede estar físicamente contenido dentro de la estructura de almacenamiento térmico, o puede estar empaquetado en una estructura separada con conductos que transportan aire hacia y desde el HRSG. El HRSG puede incluir un conducto al menos parcialmente dispuesto dentro de la segunda sección de la carcasa en una implementación, el conducto puede estar hecho de material térmicamente conductor y estar dispuesto de modo que el fluido fluya en una configuración de "una vez a través" en una secuencia de tubos, entrando como fluido de baja temperatura y saliendo como flujo de dos fases de mayor temperatura, posiblemente parcialmente evaporado. Como se ha indicado anteriormente, el flujo de un solo paso es beneficioso, por ejemplo, en el tratamiento de agua de alimentación con importantes contaminantes minerales disueltos para evitar la acumulación y precipitación dentro de los conductos.

[0292] En una implementación de OTSG, un primer extremo del conducto puede estar acoplado fluidicamente a una fuente de agua. El sistema puede permitir la entrada de los fluidos de la fuente de agua en un primer extremo del conducto, y permitir la salida del fluido o vapor recibido desde un segundo extremo del conducto. El sistema puede incluir una o más bombas configuradas para facilitar la entrada y salida del fluido a través del conducto. El sistema puede incluir un conjunto de válvulas configuradas para facilitar la salida controlada de vapor desde el segundo extremo del conducto a una segunda ubicación para una o más aplicaciones industriales o de generación de energía eléctrica. Como se muestra en la figura 6, una HRSG también puede organizarse como una caldera de tipo tambor de recirculación con un economizador y un sobrecalentador opcional, para el suministro de vapor saturado o sobrecalentado.

[0293] La salida del generador de vapor puede destinarse a uno o varios usos industriales. Por ejemplo, el vapor puede suministrarse a un generador de turbina que produce electricidad para su uso como energía local minorista. El sistema de control puede recibir información asociada a las demandas locales de energía y determinar la cantidad de vapor que debe suministrarse a la turbina, de modo que puedan satisfacerse las demandas locales de energía.

[0294] En algunas implementaciones, el suministro "híbrido" o conjunto de vapor o calor de proceso desde una unidad de almacenamiento térmico alimentada por VRE y un horno o caldera convencional alimentado por combustible fósil es beneficioso. La figura 97 describe un sistema 9900 en el que un calentador alimentado por combustible 9905 (horno, caldera o HRSG) suministra calor en forma de un primer flujo de gas caliente o vapor a un uso 9909 (por ejemplo, una turbina, un yacimiento petrolífero, una fábrica), y una unidad de almacenamiento térmico 9901 alimentada por VRE o energía de red intermitente suministra calor en forma de un segundo flujo de gas caliente o vapor al uso. Las dos fuentes - la alimentada por combustible (9905) y la alimentada por VRE (9907) - pueden estar conectadas fluidicamente a una entrada de suministro común 9907 de aire, CO₂, sal, aceite o agua a calentar, y conectadas fluidicamente a una salida o uso común de fluido calentado o vapor.

[0295] Un controlador 9903 puede controlar o controlar parcialmente el funcionamiento del calentador de combustible 9905 y el calentador de almacenamiento de VRE 9901, con entradas al controlador que incluyen información derivada de las previsiones meteorológicas 9910, el precio y la disponibilidad de la electricidad 9911, el precio y la disponibilidad del combustible 9911, el estado de carga de la TSU 9915, la preparación y el estado del equipo 9913, y los requisitos

energéticos actuales y previstos de la carga conectada 9914. El controlador puede programar y controlar el funcionamiento de la carga de la TSU, la combustión del combustible y la salida de la TSU de forma que se satisfagan las necesidades de uso con las emisiones de CO₂ más bajas posibles y/o el coste total de funcionamiento más bajo.

[0296] Además de la generación de electricidad, la producción de la estructura de almacenamiento térmico puede utilizarse para aplicaciones industriales, como se explica a continuación. Algunas de estas aplicaciones pueden incluir, entre otras, electrolizadores, pilas de combustible, unidades de generación de gases como el hidrógeno, captura de carbono, fabricación de materiales como el cemento, aplicaciones de calcinación, así como otras. A continuación se ofrecen más detalles sobre estas aplicaciones industriales.

Estructura de almacenamiento térmico

[0297] La figura 7 ilustra una vista isométrica 700 de una implementación de una estructura de almacenamiento térmico 701, que es una implementación de la estructura de almacenamiento térmico 12 representada en la figura 1. Más concretamente, la estructura 701 incluye un techo 703, paredes laterales 705 y unos cimientos 707. Como se muestra en 709, se proporciona un soplador que puede aspirar aire dentro y fuera para la regulación de la temperatura y la seguridad. En 711, se muestra una carcasa que puede alojar el soplador, la unidad de generación de vapor y/u otros equipos asociados con una entrada o una salida a la estructura 701.

[0298] Además, en la estructura de almacenamiento térmico 701 pueden instalarse conmutadores u otros equipos eléctricos y electrónicos. Esto es posible gracias al aislamiento dinámico, que reduce el calor que se transfiere a la superficie exterior de la estructura 701, lo que a su vez permite colocar en ella equipos con un intervalo operativo de temperatura limitado. Estos equipos pueden incluir sensores, dispositivos de telecomunicación, controladores u otros equipos necesarios para el funcionamiento de la estructura 701.

[0299] La figura 8 ilustra una vista en perspectiva 800 de una estructura de almacenamiento térmico 801. Como se muestra anteriormente, el pleno cerca de 803 y las paredes laterales 805 se muestran. El interior del techo incluye aislamiento 807. En 809, la carcasa puede contener el extractor o soplador como se ha explicado anteriormente. Como se muestra en 811, los pasos entre las pilas de la estructura 801 y la superficie exterior de las paredes laterales 805 pueden proporcionarse como una cámara ranurada verticalmente. Sin embargo, estas ranuras verticales son opcionales y pueden utilizarse otras configuraciones, incluida una configuración que no tenga ranuras y forme una cámara. Como se explicó anteriormente, el aire frío es suministrado por el soplador a un espacio entre los ladrillos y el aislamiento 807, y posteriormente fluye hacia abajo por las paredes de la estructura 801 al pleno cerca de 803, donde el aire frío se calienta por el calor de las pilas de ladrillos a medida que pasa entre las pilas de ladrillos y el aislamiento 807, y sale a un generador de vapor 813, por ejemplo. El aire, algo calentado, circula por las trayectorias de flujo de aire de las pilas de ladrillos, desde abajo. Además, el elemento 809 también puede incluir el soplador. Por último, el sistema puede ser una configuración de bucle abierto, en lugar de cerrado. Esto significa, por ejemplo, que puede utilizarse aire ambiente de admisión en lugar de aire de recirculación procedente de la aplicación industrial.

[0300] La figura 9 ilustra una vista superior 900 de la cubierta interior de una estructura de almacenamiento térmico 901 según un ejemplo de implementación. Como se explicó anteriormente, una capa aislante 903 rodea los ladrillos calientes, y proporciona una barrera térmica entre la salida de las pilas de ladrillos y la estructura exterior de la estructura de almacenamiento térmico 901. El aire entrante, que puede ser impulsado por un ventilador (como uno en el dispositivo de intercambio de aire 905), fluye a través de las paredes laterales hacia el pleno en la base de la cimentación 911. También se muestra la porción ranurada 907 y el generador de vapor 909, como se explicó anteriormente. Tal y como se utiliza en la presente divulgación, el aire "frío" se refiere al aire que está más frío que el aire de descarga cuando la TSU está cargada, aunque de hecho puede estar bastante caliente, por ejemplo, alrededor de 200 °C o más, en el caso del aire de retorno de un proceso, o puede ser aire exterior más frío, a temperatura ambiente, en el caso del aire suministrado desde el entorno que rodea a la unidad de almacenamiento térmico; o a alguna temperatura entre estos intervalos, dependiendo de la fuente del aire "frío".

[0301] La figura 10 ilustra una porción inferior 1000 bajo la pila de ladrillos. Una vez que el fluido llega a la parte inferior de la estructura de almacenamiento térmico descrita anteriormente con respecto a la figura 9, fluye desde los bordes 1003 longitudinalmente a través de canales hasta una región 1001 situada debajo de la pila de ladrillos. Este fluido, que es significativamente más frío que la temperatura de la parte superior de la pila cuando ésta está cargada, enfría los cimientos y el exterior y proporciona una capa aislante entre la pila y la estructura circundante, incluidos los cimientos, y reduce así las pérdidas de calor y permite el uso de materiales aislantes corrientes y baratos. De este modo se evitan daños por calor en la estructura y los cimientos circundantes.

[0302] La figura 11 ilustra una vista isométrica 1100 de una estructura de almacenamiento térmico. Como se muestra, una estructura de refuerzo sísmico 1101 se proporciona en el exterior de una superficie exterior de toda la estructura. La estructura 1103, que puede albergar un dispositivo de intercambio de aire u otro equipo como se ha explicado anteriormente, se forma en la parte superior de la estructura de refuerzo sísmico 1101. Como se muestra en 1105, se forma una capa aislante por encima de las pilas de ladrillos, dejando una cámara de aire para el aislamiento dinámico del aire frío. También se incluyen las paredes laterales 1107, los cimientos 1109, la porción ranurada 1113 y el generador de vapor 1111.

[0303] Adicionalmente, uno o más aislantes de base 1115 (que pueden incluir materiales elásticos y/o de deformación plástica que pueden actuar respectivamente como resortes y como absorbedores de energía) pueden ser provistos debajo de los cimientos que reducen las fuerzas pico experimentadas durante eventos sísmicos. En algunas implementaciones, el aislante de base puede reducir la fuerza máxima en un terremoto de tal manera que el 10 % o menos de la fuerza del terremoto se transfiere a las estructuras por encima del aislante de base. Los porcentajes anteriores pueden variar en función del movimiento relativo entre el suelo y la base aislante. A modo de ejemplo, la estructura de almacenamiento de energía térmica puede incluir un espacio de 45 cm a 60 cm entre el suelo y la losa para reducir en un 90 % las fuerzas transmitidas a la pila. Al proporcionar la estructura de refuerzo sísmico 1101, la estructura de almacenamiento térmico puede funcionar de forma más segura en regiones propensas a terremotos.

[0304] La figura 12 ilustra una vista isométrica 1200 de una estructura de soporte para ladrillos en una estructura de almacenamiento térmico según un ejemplo de implementación. Una cimentación 1201, mostrada como vigas unidas entre sí, forma una base sobre la que se pueden colocar pilas de ladrillos. Las estructuras 1203a, 1203b forman un soporte para los ladrillos. Un soporte vertical 1207, que puede interactuar directamente con los ladrillos, y una viga de soporte 1205 proporcionan soporte adicional.

[0305] La figura 13 ilustra vistas 1300 de estructuras adicionales que pueden estar asociadas a una estructura de almacenamiento térmico. Por ejemplo, un soplador 1301 recibe aire y lo insufla en la estructura. Como se ha explicado anteriormente, el aire puede ser, en algunos casos, aire enfriado que ha pasado por el generador de vapor. En 1303, se ilustran las rejillas, que pueden controlar el aire de entrada que fluye hacia los elementos de almacenamiento térmico. Dichas rejillas pueden colocarse de modo que ajusten selectivamente el flujo de aire a través de regiones de la TSU para ajustar la descarga de aire a alta temperatura mientras se colocan en flujos de aire a baja temperatura. Dichas rejillas pueden incorporar controles a prueba de fallos que las sitúan en una posición predeterminada en caso de fallo de un sistema de control, un accionador o un suministro de energía eléctrica, por medios de accionamiento que pueden incluir muelles, pesos, aire comprimido, materiales que cambian de dimensiones con la temperatura y/u otros medios.

Aislamiento dinámico

[0306] Por lo general, es beneficioso para una estructura de almacenamiento térmico minimizar sus pérdidas totales de energía mediante un aislamiento eficaz, y minimizar su coste de aislamiento. Algunos materiales aislantes toleran temperaturas más altas que otros. Los materiales más resistentes a la temperatura suelen ser más caros.

[0307] La figura 14 proporciona una ilustración esquemática en sección 1400 de una implementación del aislamiento dinámico. Debe tenerse en cuenta que, aunque la siguiente discusión de la figura 14 ofrece una introducción a las técnicas de aislamiento dinámico y refrigeración pasiva, a continuación se ofrecen ejemplos más detallados con referencia a las figuras 57 a 62.

[0308] El contenedor exterior incluye un techo 1401, unas paredes 1403, 1407 y una base 1409. Dentro del contenedor exterior, se proporciona una capa de aislamiento 1411 entre el contenedor exterior y las columnas de ladrillos de la pila 1413, representándose las columnas como 1413a, 1413b, 1413c, 1413d y 1413e. El fluido calentado que se descarga desde la parte superior de las columnas de ladrillos 1413a, 1413b, 1413c, 1413d y 1413e sale por una salida 1415, que está conectada a un conducto 1417. El conducto 1417 proporciona el fluido calentado como entrada a un generador de vapor 1419. Una vez que el fluido calentado ha pasado por el generador de vapor 1419, parte de su calor se transfiere al agua del generador de vapor y la corriente de fluido está más fría que al salir del generador de vapor. El fluido reciclado del enfriador sale por una porción inferior 1421 del generador de vapor 1419. Un soplador de aire 1423 recibe el fluido refrigerante, y proporciona el fluido refrigerante, a través de un paso 1425 definido entre las paredes 1403 y el aislamiento 1427 posicionado adyacente a la pila 1413, a través de un paso de aire superior 1429 definido entre el aislamiento 1411 y el techo 1401, hacia abajo a través de pasos laterales 1431 definidos en uno o más lados de la pila 1413 y el aislamiento 1411, y de ahí hacia abajo a un paso 1433 directamente debajo de la pila 1413.

[0309] El aire de los conductos 1425, 1429, 1431 y 1433 actúa como una capa aislante entre (a) los aislamientos 1411 y 1427 que rodean la pila 1413, y (b) el techo 1401, las paredes 1403, 1407 y los cimientos 1409. De este modo, se evita que el calor de la pila 1413 sobrecaliente el techo 1401, las paredes 1403, 1407 y los cimientos 1409. Al mismo tiempo, el aire que fluye a través de dichos pasos 1425, 1429, 1431 y 1433 transporta por convección calor que puede penetrar en los aislamientos 1411 y/o 1417 hacia los pasos de flujo de aire 1435 de la pila 1413, precalentando así el aire, que se calienta entonces por paso a través de los pasos de flujo de aire 1435.

[0310] Las columnas de ladrillos 1413a, 1413b, 1413c, 1413d y 1413e y los pasos de aire 1435 se muestran esquemáticamente en la figura 14. La estructura física de las pilas y los conductos de flujo de aire que las atraviesan en las realizaciones descritas en el presente documento es más compleja, lo que conlleva las ventajas que se describen a continuación.

[0311] En algunas implementaciones, para reducir o minimizar la pérdida total de energía, la capa de aislamiento 1411 es un aislamiento primario de alta temperatura que rodea las columnas 1413a, 1413b, 1413c, 1413d y 1413e dentro de la carcasa. También puede haber capas exteriores de aislamiento de menor coste. El aislamiento primario puede estar

hecho de materiales aislantes térmicos seleccionados entre cualquier combinación de ladrillos refractarios, fibra de alúmina, fibra cerámica y fibra de vidrio o cualquier otro material que pueda resultar evidente para una persona con conocimientos ordinarios en la materia. La cantidad de aislamiento necesaria para conseguir bajas pérdidas puede ser grande, dadas las grandes diferencias de temperatura entre los medios de almacenamiento y el entorno. Para reducir las pérdidas de energía y los costes de aislamiento, se han dispuesto conductos para dirigir el fluido de retorno, más frío, desde el HRSG a lo largo del exterior de una capa de aislamiento primario antes de que fluya hacia el núcleo de almacenamiento para su recalentamiento.

[0312] El pleno del enfriador, incluyendo los pasos 1425, 1429, 1431 y 1433, está aislado del ambiente exterior, pero las diferencias totales de temperatura entre el pleno del enfriador y el ambiente exterior se reducen, lo que a su vez reduce las pérdidas térmicas. Esta técnica, conocida como "aislamiento dinámico", utiliza el fluido de retorno más frío, como se ha descrito anteriormente, para recapturar el calor que pasa a través del aislamiento primario, precalentando el aire más frío antes de que fluya hacia las pilas de la unidad de almacenamiento. Este enfoque sirve además para mantener las temperaturas de diseño dentro de los cimientos y los soportes de la estructura de almacenamiento térmico. Los requisitos para la refrigeración de la base en los diseños existentes (por ejemplo, para sales fundidas) implican costosos sopladores y generadores dedicados, requisitos que se evitan con las implementaciones de acuerdo con las presentes enseñanzas.

[0313] Los materiales de construcción y el suelo bajo la unidad de almacenamiento pueden no ser capaces de tolerar altas temperaturas, y en el sistema actual la refrigeración activa -ayudada por el fluido de intercambio de calor que fluye sin asistencia en caso de fallo de la alimentación- puede mantener las temperaturas dentro de los límites de diseño.

[0314] Una parte del fluido que retorna del HRSG puede dirigirse a través de conductos como el elemento 1421 situado dentro de los soportes y elementos de cimentación, enfriándolos y devolviendo el calor capturado a la entrada de las pilas de la unidad de almacenamiento como fluido precalentado. El aislamiento dinámico puede proporcionarse disponiendo los ladrillos 1413a, 1413b, 1413c, 1413d y 1413e dentro de la carcasa de modo que los ladrillos 1413a, 1413b, 1413c, 1413d y 1413e no estén en contacto con la superficie exterior 1401, 1403, 1407 de la carcasa, y queden así aislados térmicamente de la carcasa por el aislamiento primario formado por la capa de fluido frío. Los ladrillos 1413a, 1413b, 1413c, 1413d y 1413e pueden colocarse a una altura elevada desde la parte inferior de la carcasa, utilizando una plataforma hecha de material térmicamente aislante.

[0315] Durante la operación de la unidad, un flujo controlado de fluido relativamente frío es proporcionado por las unidades de soplado de fluido 1423, a una región (incluyendo pasos 1425, 1429, 1431 y 1433) entre la carcasa y el aislamiento primario (que puede estar situado en un interior o exterior de un recinto interior para uno o más conjuntos de almacenamiento térmico), para crear el aislamiento térmico dinámico entre la carcasa y los ladrillos, que restringe la disipación de energía térmica que está siendo generada por los elementos de calefacción y/o almacenada por los ladrillos en el ambiente exterior o la carcasa, y precalienta el fluido. Como resultado, el flujo controlado de fluido frío por las unidades de soplado de fluido del sistema puede facilitar la transferencia controlada de energía térmica de los ladrillos al conducto, y también facilita el aislamiento térmico dinámico, haciendo así que el sistema sea eficiente y económico.

[0316] En otro ejemplo de implementación, la flotabilidad del fluido puede permitir un flujo no asistido del fluido frío alrededor de los ladrillos entre la carcasa y el aislante primario 1411 de tal manera que el fluido frío puede proporcionar aislamiento dinámico de forma pasiva, incluso cuando las unidades de soplado de fluido 1423 dejan de funcionar en caso de fallo eléctrico o mecánico, manteniendo así la temperatura del sistema dentro de los límites de seguridad predefinidos, para lograr la seguridad intrínseca. La apertura de ventilaciones, puertos o rejillas (no mostrados) puede establecer un flujo pasivo impulsado por la flotabilidad para mantener dicho flujo, incluida la refrigeración de los soportes y la refrigeración de los cimientos, durante dichos cortes de energía o fallos de la unidad, sin necesidad de equipos activos. Estas características se describen con más detalle a continuación en relación con las figuras 58-62.

[0317] En el flujo de fluido descrito anteriormente, el fluido fluye hacia una parte superior de la unidad, baja por las paredes y llega a la entrada del apilamiento, dependiendo de la relación global entre la superficie y el volumen, que a su vez depende del tamaño global de la unidad, puede modificarse la trayectoria del flujo del aislamiento dinámico. Por ejemplo, en el caso de unidades más pequeñas que tienen una mayor superficie en comparación con el volumen, la cantidad de fluido que fluye a través de la pila en relación con el área puede utilizar un patrón de flujo que incluye una serie de canales serpenteantes, de tal manera que el fluido fluye en el exterior, se mueve hacia abajo de la pared, hacia arriba de la pared, y hacia abajo de la pared de nuevo antes de fluir en la entrada. También pueden utilizarse otros patrones de canalización.

[0318] Además, la diferencia de presión entre el fluido de retorno en la capa aislante y el fluido en las pilas puede mantenerse de forma que la capa aislante dinámica tenga una presión sustancialmente mayor que la presión en las propias pilas. Así, si hay una fuga entre las pilas y el aislamiento, el fluido de retorno a mayor presión puede ser forzado hacia la fuga o las grietas, en lugar de que el fluido dentro de las pilas se filtre hacia la capa de aislamiento dinámico. Por consiguiente, en caso de fuga en las pilas, es posible que el fluido muy caliente de las pilas no escape al exterior de la unidad, sino que el fluido de retorno empuje hacia el interior de las pilas, hasta que se iguale la presión entre la capa de aislamiento dinámico de las pilas. Los sensores de presión pueden estar situados a ambos lados del soplador y proporcionan información sobre la presión relativa y absoluta. Con una configuración de este tipo, puede detectarse una caída de presión dentro del sistema, que puede utilizarse para localizar la fuga.

[0319] Los sistemas anteriores que almacenan calor sensible a altas temperaturas en rocas y sales fundidas han requerido medios activos continuos de refrigeración de los cimientos y, en algunas implementaciones, medios activos continuos de calentamiento de los elementos del sistema para evitar daños en el sistema de almacenamiento; por lo tanto, se requieren sistemas continuos de alimentación eléctrica activa y de reserva. Un sistema como el descrito en el presente documento no requiere un suministro de energía externo para mantener la seguridad de la unidad. En su lugar, como se describe a continuación, la presente divulgación proporciona una estructura de almacenamiento térmico que proporciona flujos inducidos térmicamente que enfrían pasivamente los elementos clave cuando el equipo, la energía o el agua fallan. Esto también reduce la necesidad de ventiladores u otros elementos de refrigeración dentro de la estructura de almacenamiento térmico.

Sistema de control

[0320] El funcionamiento de una unidad de almacenamiento térmico como la descrita en el presente documento puede optimizarse en función de factores como la vida útil de los componentes (calentadores, ladrillos, estructura, componentes electrónicos, ventiladores, etc.), la temperatura requerida y la duración del calor de salida, la disponibilidad de la fuente de energía y el coste, entre otros factores. En algunos casos, se limitan los componentes expuestos a altas temperaturas, utilizando aislamiento dinámico para reducir las temperaturas de los cimientos, las paredes, etc.).

[0321] El sistema de control puede utilizar información procedente de modelos informáticos, predicciones meteorológicas y sensores como los de temperatura y caudal de aire para optimizar el rendimiento a largo plazo. En particular, las velocidades de calentamiento y enfriamiento, así como la duración a la temperatura máxima, pueden tener un efecto perjudicial en la vida útil de los elementos de calentamiento, los ladrillos y otros componentes. Dado que las propiedades físicas de los componentes y los patrones de flujo de aire, por ejemplo, pueden cambiar a medida que envejecen, se puede utilizar la retroalimentación para informar a un sistema de inteligencia artificial (IA) para que siga ofreciendo un alto rendimiento durante años. Ejemplos de tales propiedades físicas en evolución y datos que reflejen tales cambios pueden incluir cambios en la resistencia de los elementos de calentamiento, fallos en los calefactores, cambios en el comportamiento del flujo de aire y cambios en la transferencia de calor en los ladrillos debido a grietas u otros daños.

[0322] Un modo operativo que reduzca la exposición a los picos de temperatura puede utilizar los datos de los modelos, las predicciones meteorológicas, los sensores y la información sobre la época del año y la ubicación para ajustar de forma inteligente las tasas de carga y su alcance. Por ejemplo, durante los días de máxima producción fotovoltaica (FV) del verano, los días son relativamente largos y las horas de oscuridad relativamente cortas. Si la predicción meteorológica prevé varios días soleados seguidos, no es necesario cargar mucho el acumulador térmico para que pueda satisfacer las necesidades del cliente durante las horas de oscuridad. En este caso, la reducción del alcance de la carga y de la temperatura máxima reduce la tensión del sistema, lo que aumenta su vida útil.

[0323] Ejemplos de implementación de la presente divulgación pueden incluir un sistema controlador de almacenamiento de energía inteligente 300 como se describió anteriormente con respecto a la figura 3. El sistema 300 supervisa y recibe información asociada a parámetros locales como el viento, la radiación solar y el paso de nubes. El sistema 300 también puede configurarse para recibir una o varias de las previsiones meteorológicas horarias y multidurias proporcionadas por la red, la previsión y la disponibilidad y el coste actuales de VRE y/u otras fuentes de energía disponibles, la previsión y la demanda energética actual de la carga. Esto incluye información sobre los requisitos de los procesos industriales, los precios actuales y previstos de la energía, los requisitos contractuales o reglamentarios para mantener un estado mínimo de carga para participar en transacciones y mercados de capacidad o de adecuación de recursos. El sistema 300 incluye además el estado de carga y la temperatura de las subsecciones de los medios de almacenamiento.

[0324] La figura 15 es un diagrama de bloques que ilustra una implementación de varios sistemas de control que pueden estar ubicados a lo largo del sistema 300. Como se muestra, el sistema 1500 incluye varios sistemas de control constituyentes configurados para controlar diferentes porciones del sistema de control distribuido 300. Estos sistemas de control incluyen el sistema de control de almacenamiento térmico 1502, el sistema de control de aplicación 1504, el sistema de control de fuente de energía 1506 y el sistema de análisis externo 1508. Los sistemas de control constituyentes del sistema 1500 están interconectados mediante enlaces de comunicación tales como 1501, 1503 y 1505. Los enlaces 1501, 1503 y 1505 pueden ser cableados, inalámbricos o combinaciones de los mismos. Otras implementaciones de un sistema de control para el almacenamiento y la distribución de energía térmica pueden incluir diferentes combinaciones y tipos de sistemas de control constituyentes.

[0325] El sistema de control de almacenamiento térmico 1502 está configurado para controlar un sistema de almacenamiento de energía térmica como los que se han divulgado en el presente documento, y puede ser una implementación del sistema de control 15 representado en la figura 1. Los elementos controlados por el sistema 1502 pueden incluir, sin limitación, interruptores, válvulas, persianas, elementos de calentamiento y sopladores asociados a los conjuntos de almacenamiento térmico, incluidos los interruptores para conectar la energía de entrada procedente de fuentes de energía como un campo solar o un parque eólico. El sistema de control 1502 está configurado para recibir información de varios sensores y dispositivos de comunicación dentro del sistema de almacenamiento de energía térmica, proporcionando información sobre parámetros que pueden incluir el estado de la carga de energía térmica, la temperatura,

la posición de la válvula o persiana, el caudal de fluido, información sobre la vida útil restante de los componentes, etc. El sistema de control 1502 puede entonces controlar el funcionamiento del sistema basándose en estos parámetros. En una implementación, el sistema de control 1502 puede estar configurado para controlar aspectos de la fuente de energía aguas arriba y/o del sistema de aplicación aguas abajo.

[0326] El sistema de control de la fuente de energía 1506 está configurado para controlar aspectos de la fuente de energía para el sistema de almacenamiento térmico. En una implementación, la fuente de energía es una fuente de electricidad renovable variable, como un campo de paneles fotovoltaicos ("campo solar") o un parque de turbinas eólicas. Los sistemas 1502 y 1506 están configurados para comunicarse entre sí para intercambiar información y datos de control, incluidos datos relativos al estado operativo del sistema de almacenamiento de energía térmica o la fuente de energía, los requisitos de energía de entrada del sistema de almacenamiento de energía térmica, la salida futura prevista de la fuente de energía, etc. En una implementación, el sistema de control 1506 puede estar configurado para controlar uno o más aspectos del sistema de almacenamiento de energía térmica relevantes para el funcionamiento de la fuente de energía.

[0327] El sistema de control de aplicaciones 1504 está configurado para controlar aspectos de un sistema que recibe energía de salida del sistema de almacenamiento de energía térmica controlado por el sistema 1502. Los sistemas 1502 y 1504 están configurados para comunicarse entre sí a fin de intercambiar información y datos de control, incluidos datos relativos al estado operativo del sistema de almacenamiento de energía térmica o del sistema de aplicación, la cantidad de salida de energía del sistema de almacenamiento de energía térmica que necesita el sistema de aplicación, la salida de energía futura prevista del sistema de almacenamiento de energía térmica, etc. En una implementación, el sistema de control 1504 puede estar configurado para controlar uno o más aspectos del sistema de almacenamiento de energía térmica relevantes para el funcionamiento del sistema de aplicación.

[0328] El sistema de análisis externo 1508 está configurado, en una implementación, para obtener y analizar datos relevantes para la operación de uno o más de los sistemas 1502, 1504 y 1506. En una implementación, el sistema 1508 está configurado para analizar información de previsión, como información meteorológica o información del mercado energético, y generar predicciones relativas a la disponibilidad o el coste de la energía de entrada al sistema de control de almacenamiento térmico 1502. A continuación, el sistema 1508 puede comunicarse con el sistema de control de almacenamiento térmico 1502 a través del enlace 1503 para transmitir información y/o comandos, que pueden ser implementados por el sistema 1502 y/o los sistemas 1506 y 1504.

[0329] La figura 16 es un diagrama de bloques que ilustra una implementación del sistema de control de almacenamiento térmico 1502. Como se muestra, el sistema 1502 incluye un procesador 1510, memoria 1512, almacenamiento de datos 1514 e interfaz de comunicaciones 1516. El procesador 1510 es un procesador configurado para ejecutar programas almacenados en la memoria 1512, tales como programas de control 1518 para gestionar el funcionamiento de una o más matrices de almacenamiento térmico similares a las descritas en el presente documento. En la figura 16, la memoria 1512 se muestra como ubicada dentro del procesador 1510, pero en otras implementaciones es posible una memoria externa o una combinación de memoria interna y externa. Los programas de control 1518 pueden incluir una variedad de programas, incluyendo aquellos para enviar señales a diversos elementos asociados con una estructura de almacenamiento térmico, tales como interruptores para elementos de calentamiento, persianas, sopladores, válvulas para dirigir y ajustar los flujos de gas, etc. La ejecución de los programas de control 1518 puede así efectuar varios modos de funcionamiento del sistema de almacenamiento térmico, incluyendo la carga y descarga, así como el funcionamiento coordinado de múltiples matrices de almacenamiento térmico para mantener un perfil de temperatura especificado (por ejemplo, una temperatura constante o un programa de temperatura predefinido no constante).

[0330] Dos posibles tipos de control son el basado en sensores y el basado en modelos. En un paradigma de control basado en sensores, las lecturas de los sensores colocados en todo el sistema 1500 pueden utilizarse para determinar valores en tiempo real que correspondan a mediciones reales. Las estructuras de almacenamiento térmico según esta divulgación pueden diseñarse para limitar la exposición de ciertos componentes a altas, mejorando así la fiabilidad. Pero el uso de sensores, aunque potencialmente represente el estado más exacto posible del sistema 1500, puede ser caro, y también puede ser propenso al mal funcionamiento si los sensores fallan. Por otra parte, un paradigma de control basado en modelos permite controlar un gran sistema complejo con menos gastos que los asociados al despliegue de multitud de sensores, y minimizar los riesgos de seguridad que podrían asociarse a un fallo no detectado de los sensores. Un programa de modelado 1520 dentro de la memoria 1512 se puede utilizar para modelar y predecir el comportamiento del sistema de almacenamiento de energía térmica en un intervalo de parámetros de entrada y modos operativos. El sistema de control 1502 también puede configurarse para combinar el control basado en modelos y el basado en sensores del sistema de almacenamiento de energía térmica, lo que puede permitir la redundancia, así como la flexibilidad en el funcionamiento. Otros programas también pueden almacenarse en la memoria 1512 en algunas implementaciones, como un programa de interfaz de usuario que permite la administración del sistema.

[0331] El almacenamiento de datos 1514 puede adoptar cualquier forma adecuada, incluyendo memoria semiconductora, almacenamiento en disco magnético u óptico, o unidades de estado sólido. El almacenamiento de datos 1514 está configurado para almacenar datos utilizados por el sistema 1502 en el control del funcionamiento del sistema de almacenamiento térmico, incluyendo datos del sistema 1522 y datos históricos 1524. En una implementación, los datos del sistema 1522 describen la configuración o composición de los elementos de una o más matrices de almacenamiento

térmico que se controlan. Ejemplos de posibles datos del sistema incluyen la forma o composición de los ladrillos dentro de un conjunto de almacenamiento térmico, la composición de los elementos de calentamiento integrados en un conjunto y el número de conjuntos de almacenamiento térmico en el sistema de almacenamiento térmico. Los datos históricos 1524 pueden incluir datos recogidos a lo largo del tiempo a medida que se opera el sistema de almacenamiento térmico, así como datos de otras unidades en algunos casos. Los datos 1524 pueden incluir datos de registro del sistema, temperaturas pico del calentador, temperaturas pico del gas de salida, tasas de descarga de un conjunto de almacenamiento térmico, un número de ciclos de calentamiento y enfriamiento para un conjunto, etc.

[0332] La interfaz de comunicaciones 1516 está configurada para comunicarse con otros sistemas y dispositivos, como por ejemplo enviando y recibiendo datos y señales entre el sistema 1502 y los sistemas de control 1504 y 1506, o entre el sistema 1502 y el sistema de análisis externo 1508. La interfaz 1516 también está configurada para enviar señales de control a los elementos controlados del sistema de almacenamiento térmico, y recibir señales de sensores para el sistema de control, como los sensores 303-1 a 303-N de la figura 1. Aunque se muestra como una única interfaz por simplicidad, la interfaz 1516 puede incluir múltiples interfaces de comunicaciones (por ejemplo, tanto cableadas como inalámbricas). Los sistemas de control 1502, 1504 y 1506 ilustrados en las figuras 15 y 16 pueden implementarse de varias maneras, incluyendo el uso de un sistema informático de propósito general. Los sistemas 1502, 1504 y 1506 también pueden implementarse como controladores lógicos programables (PLC) o sistemas informáticos adaptados para el control de procesos industriales. En algunos casos, los sistemas 1502, 1504 y 1506 se implementan dentro de una arquitectura de sistema de control distribuido, como una arquitectura de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA).

[0333] La figura 17 es un diagrama de bloques que ilustra una implementación del sistema analítico externo 1508. El sistema 1508 está configurado para proporcionar predicciones basadas en pronósticos al sistema de control de almacenamiento térmico 1502. El sistema 1508 incluye un procesador 1530, una memoria 1532, un almacenamiento de datos 1534 y una interfaz de comunicaciones 1536. En una implementación, el sistema 1508 se implementa en un entorno informático distribuido, tal como un entorno informático en la nube. Un entorno de computación en la nube es ventajoso porque permite aumentar la potencia de cálculo y el almacenamiento de datos bajo demanda para realizar análisis intensivos de cantidades copiosas de datos con el fin de proporcionar predicciones oportunas.

[0334] El procesador 1530 es un procesador configurado para ejecutar programas almacenados en la memoria 1532, como el programa de previsión de suministro 1538, el programa de previsión de mantenimiento 1540, el programa de previsión de mercado 1542 y el programa de análisis predictivo 1520. El programa de previsión de suministro 1538 incluye instrucciones ejecutables para utilizar datos de previsión meteorológica y métodos de análisis predictivo para predecir la disponibilidad de suministro eléctrico al sistema de almacenamiento de energía térmica. El programa de previsión de mantenimiento 1540 incluye instrucciones ejecutables para utilizar datos del sistema y métodos de análisis predictivo para predecir los requisitos de mantenimiento del sistema de almacenamiento de energía térmica. El programa de previsión de mercado 1542 incluye instrucciones ejecutables para utilizar datos del mercado de la energía y métodos de análisis predictivo para predecir los valores o tendencias de los precios de la energía utilizada o producida por el sistema de almacenamiento de energía térmica. El análisis predictivo 1520 incluye instrucciones ejecutables para implementar algoritmos de análisis de datos para realizar predicciones. Los algoritmos del análisis predictivo 1520 son utilizados por los programas 1538, 1540 y 1542.

[0335] El almacenamiento de datos 1534 almacena datos que incluyen datos meteorológicos 1546, datos de mercado 1548, datos de suministro 1550, datos de almacenamiento térmico (TS) 1552 y datos de aplicación (App.) 1554. Los datos almacenados en el almacenamiento de datos 1534 pueden ser utilizados por los programas almacenados en la memoria 1532. Los datos meteorológicos 1546 pueden incluir datos recopilados en la ubicación de la fuente de energía para el sistema de almacenamiento de energía térmica junto con información meteorológica de un área más amplia obtenida de bases de datos. Los datos de mercado 1548 incluyen datos del mercado energético recibidos de proveedores de datos externos. Los datos de suministro 1550 incluyen datos asociados con la fuente de alimentación controlada por el sistema 1506, y pueden incluir, por ejemplo, datos de configuración del sistema y datos históricos de operaciones. Los datos de TS 1552 incluyen datos asociados con el sistema de almacenamiento de energía térmica, y los datos de aplicación 1554 incluyen datos asociados con el sistema de aplicación controlado por el sistema de control 1504. La interfaz de comunicaciones 1536 está configurada para enviar datos y mensajes hacia y desde el sistema 1502, así como bases de datos y fuentes de datos externas.

[0336] Los sistemas y componentes mostrados por separado en las figuras 15 a 17 pueden, en otras implementaciones, combinarse o separarse en múltiples elementos. Por ejemplo, en una implementación para la que un sistema de aplicación como un generador de vapor está estrechamente conectado con un sistema de almacenamiento de energía térmica, los aspectos de los sistemas de control 1502 y 1504 pueden combinarse en el mismo sistema. Los datos y los programas pueden almacenarse en diferentes partes del sistema en algunas implementaciones; una colección de datos o un programa que se muestra como almacenado en la memoria puede, en cambio, estar almacenado en el almacenamiento de datos, o viceversa.

[0337] En otros escenarios, los sistemas 1502 o 1508 pueden contener menos tipos de programas y datos que los mostrados en las figuras 16 y 17. Por ejemplo, una implementación del sistema de análisis 1508 puede dedicarse a la previsión del suministro energético utilizando datos meteorológicos, mientras que otra implementación se dedica a la previsión del mercado energético utilizando datos de mercado, y otra implementación se dedica a la previsión del

mantenimiento utilizando datos relacionados con el sistema. Otras implementaciones del sistema de análisis 1508 pueden incluir combinaciones de dos de los tres tipos de programas mostrados en la figura 17, junto con los correspondientes tipos de datos utilizados por esos tipos de programas, como se ha comentado anteriormente. Por ejemplo, una implementación del sistema 1508 puede configurarse tanto para la previsión del suministro de energía utilizando datos meteorológicos como para la previsión del mercado de la energía utilizando datos de mercado, pero no para la previsión del mantenimiento utilizando datos relacionados con el sistema. Otra implementación del sistema puede configurarse tanto para la previsión del mercado de la energía utilizando datos de mercado como para la previsión del mantenimiento utilizando datos relacionados con el sistema, pero no para la previsión del suministro de energía utilizando datos meteorológicos. Otra implementación del sistema 1508 puede configurarse tanto para la previsión del suministro de energía utilizando datos meteorológicos como para la previsión del mantenimiento utilizando datos relacionados con el sistema, pero no para la previsión del mercado energético utilizando datos de mercado.

Control del sistema basado en previsiones

[0338] Como se ha indicado anteriormente, un sistema de control puede utilizar información meteorológica para reducir el desgaste y la degradación de los componentes del sistema. Otro objetivo del control basado en previsiones es garantizar una producción adecuada de energía térmica desde el sistema de almacenamiento de energía térmica al sistema de carga o aplicación. Entre las acciones que pueden llevarse a cabo a la vista de la información de previsión se incluyen, por ejemplo, ajustes de los parámetros de funcionamiento del propio sistema de almacenamiento de energía térmica, ajustes de una cantidad de energía de entrada que llega al sistema de almacenamiento de energía térmica y acciones o ajustes asociados a un sistema de carga que recibe una salida del sistema de almacenamiento de energía térmica.

[0339] La información meteorológica puede proceder de una o varias fuentes. Una fuente es una estación meteorológica situada en un lugar con generación de energía eléctrica, tal como una matriz solar o fotovoltaica, o turbinas eólicas. La estación meteorológica puede estar integrada en una instalación de generación de energía, y puede utilizarse operativamente para tomar decisiones de control de dicha instalación, como por ejemplo para detectar la formación de hielo en las turbinas eólicas. Otra fuente es la información meteorológica procedente de fuentes que cubren una zona más amplia, como radares u otras estaciones meteorológicas, que pueden introducirse en bases de datos accesibles al sistema de control del sistema de almacenamiento de energía térmica. La información meteorológica que cubre una geografía más amplia puede ser ventajosa para proporcionar un aviso más avanzado de los cambios en las condiciones, en comparación con la información de fuente puntual de una estación meteorológica situada en la fuente de energía. Otra posible fuente de información meteorológica es la información meteorológica virtual o simulada. En general, se pueden utilizar métodos de aprendizaje automático para entrenar el sistema, teniendo en cuenta esos datos y modificando el comportamiento del sistema.

[0340] A modo de ejemplo, la información histórica asociada a una curva de potencia de una fuente de energía puede utilizarse como herramienta predictiva, teniendo en cuenta las condiciones reales, para proporcionar una previsión de la disponibilidad de potencia y ajustar el control del sistema de almacenamiento de energía térmica, tanto en lo que respecta a la cantidad de energía disponible para cargar las unidades como a la cantidad de calor de descarga disponible. Por ejemplo, la información de la curva de potencia puede cotejarse con datos reales para mostrar que cuando la potencia de salida de una matriz fotovoltaica está disminuyendo, puede ser indicativo de una nube que pasa sobre una o más partes de la matriz, o de tiempo nublado en general sobre la región asociada con la matriz.

[0341] La información relacionada con las previsiones se utiliza para mejorar el almacenamiento y la generación de calor en el sistema de almacenamiento de energía térmica en función de las condiciones cambiantes. Por ejemplo, una previsión puede ayudar a determinar la cantidad de calor que debe almacenarse y la velocidad a la que debe descargarse el calor para proporcionar un rendimiento deseado a una aplicación industrial; por ejemplo, en el caso de suministrar calor a un generador de vapor, para garantizar una calidad y una cantidad de vapor constantes, y para garantizar que el generador de vapor no tenga que apagarse. El controlador puede ajustar la producción actual y futura de calor en respuesta a las reducciones actuales o previstas en la disponibilidad de electricidad de carga, con el fin de garantizar a lo largo de un periodo de tiempo futuro que el estado de carga de la unidad de almacenamiento no se reduzca hasta el punto de que deba detenerse la producción de calor. Ajustando el funcionamiento continuo de un generador de vapor a una tasa inferior en respuesta a una reducción prevista de la energía de entrada disponible, la unidad puede funcionar de forma continua. Evitar paradas y posteriores reinicios es una característica ventajosa: parar y reiniciar un generador de vapor es un proceso que lleva mucho tiempo, es costoso y supone un derroche de energía, además de exponer potencialmente al personal y a las instalaciones industriales a riesgos de seguridad.

[0342] La previsión, en algunos casos, puede ser indicativa de una menor entrada de electricidad esperada o de algún otro cambio en el patrón de entrada de electricidad al sistema de almacenamiento de energía térmica. En consecuencia, el sistema de control puede determinar, basándose en la información de previsión de entrada, que la cantidad de energía que requeriría el sistema de almacenamiento de energía térmica para generar el calor necesario para satisfacer las demandas del generador de vapor u otra aplicación industrial es inferior a la cantidad de energía que se espera que esté disponible. En una implementación, hacer esta determinación implica considerar cualquier ajuste en el funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía térmica que pueda aumentar la cantidad de calor que puede producir. Por ejemplo, un ajuste que puede aumentar la cantidad de calor producida por el sistema consiste en hacer funcionar los elementos de calentamiento de un conjunto de almacenamiento térmico a una potencia superior a la habitual durante los periodos

de disponibilidad de suministro de entrada, con el fin de obtener una mayor temperatura del conjunto y una mayor cantidad de energía térmica almacenada. Esta "sobrecarga" o "sobrealimentación" de un conjunto, como se explica más adelante, puede permitir en algunas aplicaciones producir suficiente calor de salida durante un período de suministro de energía de entrada reducido. La sobrecarga puede aumentar las tensiones sobre el medio de almacenamiento térmico y los elementos de calentamiento del sistema, incrementando así la necesidad de mantenimiento y el riesgo de avería del equipo.

[0343] Como alternativa a los ajustes operativos del sistema de almacenamiento de energía térmica, o en las realizaciones en las que no se espera que dichos ajustes compensen un déficit previsto de energía de entrada, el sistema de control puede iniciar una acción en el lado de la fuente o en el lado de la carga del sistema de almacenamiento de energía térmica. En el lado de la entrada, por ejemplo, la diferencia prevista entre la potencia de entrada prevista y la necesaria puede utilizarse para proporcionar una determinación, o apoyo a la toma de decisiones, con respecto a la obtención de energía eléctrica de entrada de otras fuentes durante un próximo período de tiempo, para proporcionar la diferencia prevista. Por ejemplo, si el sistema de previsión determina que la cantidad de energía eléctrica que se suministrará a partir de una matriz fotovoltaica será el 70 % de la cantidad prevista necesaria durante un período de tiempo determinado, por ejemplo, debido a una previsión de tiempo nublado, el sistema de control puede efectuar la conexión a una fuente de entrada alternativa de energía eléctrica, como una turbina eólica, gas natural u otra fuente, de manera que el sistema de almacenamiento de energía térmica reciba el 100 % de la cantidad prevista de energía. En una implementación de un sistema de almacenamiento de energía térmica que tiene una conexión a la red eléctrica disponible como fuente de energía de entrada alternativa, el sistema de control puede efectuar la conexión a la red en respuesta a una previsión de un déficit de energía de entrada.

[0344] En una aplicación concreta, los datos de previsión pueden utilizarse para determinar los índices de producción deseados para un determinado número de horas o días, presentando a un operador señales e información relativas a los ajustes operativos previstos para alcanzar esos índices de producción, y proporcionando al operador un mecanismo para aplicar los índices de producción determinados por el sistema, o alternativamente para modificar o anular esos índices de producción. Esto puede ser tan sencillo como un "clic para aceptar" la opción de retroalimentación proporcionada al operador, un interruptor de hombre muerto que implementa automáticamente las tasas de salida determinadas a menos que se anule, y/u opciones más detalladas de los parámetros de control para el sistema.

[0345] En el lado de salida, o de carga, de una unidad de almacenamiento de energía térmica, pueden iniciarse varias acciones en respuesta a una predicción basada en previsiones de un déficit de energía de entrada que afecte al calor de salida hacia una carga. La figura 99 ilustra una primera previsión de disponibilidad de energía 9921 (una previsión de varios días de VRE disponible) y una primera decisión del controlador de la tasa de suministro de calor (mostrada como "TASA 1", y una segunda previsión 9923 más baja de disponibilidad de varios días de VRE y una segunda tasa de suministro de calor elegida más baja (mostrada como "TASA 2"). En una implementación, el controlador toma una decisión para el día actual en relación con la tasa de suministro de calor basándose en la previsión de disponibilidad de energía en el día actual y en los próximos días, con el fin de evitar una parada en un día futuro. En una implementación, un sistema de control del sistema de almacenamiento de energía térmica puede alertar a un operador de la aplicación industrial de carga del próximo déficit, de modo que se pueda tomar una decisión.

[0346] La figura 98 ilustra el proceso 9930. En 9935, se genera una previsión de disponibilidad de carga para varios días basada en un modelo de potencia de red 9933 y una previsión meteorológica 9931. La tasa de suministro de energía se selecciona en 9937 para permitir una salida continua. En 9939, La tasa de salida seleccionada por el controlador puede presentarse a un operador ya sea como una notificación por correo electrónico, mensaje de texto u otra notificación indirecta, o por un valor o icono en una pantalla local o remota que muestra y permite el ajuste del estado y el funcionamiento de la unidad de almacenamiento de energía térmica o su proceso de uso de calor asociado; y en 9941 puede recibir la respuesta del operador que acepta, rechaza o ajusta la cantidad o el momento del ajuste de la tasa. La información puede causar el ajuste manual o automático en 9943 de otra fuente de calor que suministra calor al mismo proceso, como se muestra en la figura 97, de tal manera que se logre un suministro de calor general relativamente constante deseado. Entre las acciones que pueden llevarse a cabo en el lado de carga, o salida, del sistema de almacenamiento de energía térmica se incluye el ajuste del funcionamiento del sistema de carga para que pueda funcionar con la reducción prevista de energía térmica disponible. Alternativa o adicionalmente, el controlador puede proporcionar órdenes para que se ajuste la salida, y/o ajustar el funcionamiento de la propia salida industrial para compensar el cambio en la entrada de energía disponible esperada, y por lo tanto la salida disponible esperada del sistema de almacenamiento de energía térmica.

[0347] Otra posible acción en respuesta a un déficit previsto de energía de entrada es complementar la salida del sistema de almacenamiento de energía térmica con una fuente alternativa de esa salida. En una implementación en la que la salida de fluido calentado de un sistema de almacenamiento de energía térmica se utiliza para generar vapor para un proceso industrial, por ejemplo, una fuente alternativa de vapor podría ser un generador de vapor adicional que utilice una fuente de combustible alternativa. El sistema de control puede proporcionar señales para efectuar la conexión de la fuente de salida alternativa al sistema de carga en algunas implementaciones. Alternativamente, el sistema de control puede enviar un mensaje, como una instrucción o alerta, a un operador o controlador asociado con el sistema de carga para indicar la necesidad de conexión a la fuente alternativa.

[0348] Además de garantizar una producción suficiente del sistema de almacenamiento de energía térmica para una carga, la información de previsión se utiliza para controlar automáticamente el sistema de almacenamiento de energía térmica para garantizar su funcionamiento estable continuo. Por ejemplo, cuando se predice una cantidad reducida de potencia de entrada, el controlador puede, en algunas implementaciones, ajustar la tasa de flujo de fluido a través de un conjunto de almacenamiento térmico para reducir la tasa de descarga del conjunto, de modo que el conjunto no se descargue hasta un punto en el que la unidad de almacenamiento térmico asociada se apague.

[0349] Como otro ejemplo, la potencia de los elementos de calentamiento puede ajustarse a una temperatura deseada por seguridad y eficiencia, basándose en la información de previsión. Por ejemplo, si se espera o prevé que durante un periodo futuro, la cantidad de energía procedente de la fuente de entrada será inferior a la cantidad de energía prevista, el sistema puede configurarse para "sobrecargar", es decir, calentar algunos o todos los ladrillos de una o más pilas a temperaturas superiores a las temperaturas normales de funcionamiento - por ejemplo, si la temperatura normal de la pila es de 1100 °C, en caso de un periodo previsto de menor entrada de energía, el sistema puede controlarse para calentar hasta 1300 °C o más durante un periodo de tiempo seleccionado. Esto puede lograrse reduciendo la descarga de ciertas unidades y/o aumentando las temperaturas de los elementos de calentamiento.

[0350] Si la previsión indica un periodo prolongado de aporte energético reducido, por ejemplo debido a varios días de nubosidad, la capacidad de adelanto y retraso del sistema que se explica a continuación también puede modificarse, ya que el problema de los puntos calientes y el desbordamiento térmico puede reducirse en cierta medida debido a que el sistema funcionará a una temperatura inferior a la temperatura de pico. Además, en un sistema de almacenamiento de energía térmica con múltiples unidades de almacenamiento térmico, si el sistema no puede funcionar a plena capacidad, el controlador puede reducir o desactivar la carga o apagar completamente una o más de las unidades en función de la previsión, de modo que sólo un subconjunto de unidades funcione a plena capacidad, en lugar de que ninguna de las unidades pueda funcionar a plena capacidad.

[0351] En contraste con una situación que implique una previsión de potencia reducida, la información de previsión puede mostrar que la disponibilidad de electricidad prevista alcanzará o superará la cantidad de energía prevista que se introduzca en el sistema de almacenamiento de energía térmica. En algunas implementaciones, las respuestas de un sistema de control a una previsión de exceso de energía pueden incluir una o más de ajustar el funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía térmica para mejorar la fiabilidad del sistema, reducir la cantidad de potencia de entrada al sistema de almacenamiento de energía térmica, o aumentar la potencia térmica a la carga. El ajuste del funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía térmica puede incluir la reducción de la potencia de entrada a sus elementos de calentamiento cuando la energía de entrada esté disponible durante periodos más largos, de modo que el conjunto de almacenamiento térmico correspondiente funcione a una temperatura pico más baja sin dejar de suministrar suficiente energía térmica de salida. Esta reducción de la temperatura máxima puede aumentar la fiabilidad y la vida útil del sistema. El exceso de suministro de energía de entrada puede permitir que los elementos de calentamiento permanezcan alimentados después de que un conjunto de almacenamiento térmico ya se haya cargado con energía térmica, permitiendo que los elementos de calentamiento calienten directamente el fluido que fluye a través de un conjunto de almacenamiento térmico sin descargar el conjunto, posiblemente para utilizar proporcionado dicho fluido calentado para otro uso.

[0352] Un sistema de control del sistema de almacenamiento de energía térmica puede hacer que se reduzca la cantidad de energía que se introduce en el sistema. La fuente de energía o el sistema de almacenamiento de energía térmica pueden estar acoplados a una red eléctrica mayor, en cuyo caso se puede implementar una reducción de la energía de entrada al sistema de almacenamiento de energía térmica transfiriendo el exceso de energía a la red eléctrica, por ejemplo, cuando hay una baja demanda del sistema y/o una alta demanda de la red eléctrica para satisfacer otras necesidades eléctricas. En ausencia de una conexión a la red, la reducción de la energía de entrada puede llevarse a cabo en algunas implementaciones mediante la reducción de la producción de una parte de la infraestructura de la fuente de energía, como el cierre de ciertos paneles solares en un campo solar o turbinas eólicas en un parque eólico.

[0353] Alternativa o adicionalmente al control de la fuente de alimentación de entrada o de los parámetros de funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía térmica, puede darse una respuesta a una previsión de exceso de energía de entrada en el lado de salida del sistema de almacenamiento de energía térmica. En una implementación en la que la energía eléctrica se produce a la salida del sistema (por ejemplo, alimentando fluido calentado desde una unidad de almacenamiento térmico a un generador de vapor, pasando después el vapor producido a través de una turbina), el exceso de energía puede transferirse a una red eléctrica mayor si se dispone de una conexión a la red, proporcionando así energía a la red en lugar de almacenarla como calor en el sistema. En una implementación en la que la salida a la carga es fluido calentado, puede cambiarse una propiedad del fluido de salida. Por ejemplo, se puede producir una mayor temperatura y/o caudal de fluido de salida. Para una implementación en la que el vapor se produce a la salida del sistema de almacenamiento de energía térmica, se puede proporcionar una mayor calidad de vapor del vapor durante los periodos de aumento de la energía de entrada. En algunas implementaciones, las propiedades de salida alteradas pueden proporcionar oportunidades de cogeneración mejoradas, a través de sistemas y métodos de cogeneración descritos en otras partes de esta divulgación. El control de entrada y salida descrito anteriormente puede controlarse interactivamente en combinación, para ajustar ventajosamente el funcionamiento del sistema.

[0354] De este modo, el controlador puede utilizar las entradas del sistema de previsión para tener en cuenta las variaciones en la energía de entrada debidas a factores como la nubosidad en el caso de la energía solar, la variabilidad de las condiciones del viento en el caso de la electricidad generada por el viento, u otra variabilidad de las condiciones en la fuente de energía. Por ejemplo, el controlador puede permitir el calentamiento adicional, o el calentamiento a una temperatura más alta, antes de una disminución en la disponibilidad prevista de entrada de electricidad, basándose en la información de previsión.

[0355] Además, los ciclos de mantenimiento pueden planificarse en función de las condiciones meteorológicas previstas. En situaciones en las que la disponibilidad de energía renovable es sustancialmente inferior a la energía esperada, como por ejemplo debido a la información de previsión (por ejemplo, temporada de lluvias, varios días de vientos bajos, acortamiento del día solar, etc.), los ciclos de mantenimiento pueden planificarse con antelación, para minimizar la pérdida de energía de entrada.

[0356] Basándose en la información recibida, el sistema de control determina y ordena, mediante señales, los elementos de carga, las fuentes de alimentación, los calentadores, los sopladores de descarga y las bombas para un almacenamiento, carga y descarga de energía eficaces y fiables. Por ejemplo, la orden puede darse a controladores de fuentes de energía solar, eólica y de otras fuentes. El sistema de control 399 también puede proporcionar instrucciones a los controladores que admiten energía a toda la matriz de calentadores o a agrupaciones locales de calentadores.

[0357] El sistema de control puede incluir o estar en comunicación con un sistema de previsión y análisis para supervisar los datos en tiempo real y de previsión correspondientes a uno o más parámetros meteorológicos asociados con un área de interés (AOI) en la que se están instalando las fuentes de energía eléctrica. Los parámetros meteorológicos pueden incluir, sin limitación, la radiación solar, la temperatura del aire, la velocidad del viento, la precipitación o la humedad. El sistema de control, basándose en los datos monitorizados en tiempo real y en la previsión de los parámetros meteorológicos, puede en algunas implementaciones conmutar la conexión eléctrica del sistema entre fuentes de VRE y otras fuentes de energía. Por ejemplo, cuando la previsión meteorológica predice que la disponibilidad de luz solar o viento será inferior a un límite predefinido para los próximos días, el sistema de control puede ordenar al sistema que acople eléctricamente los elementos de calentamiento del sistema a otras fuentes de energía para satisfacer las demandas de un sistema de carga para los próximos días.

[0358] En otro ejemplo de implementación, el sistema de control supervisa los datos en tiempo real y previstos relativos a la disponibilidad de VRE, y selecciona una tasa de descarga de energía y ordena al sistema que funcione a dicha tasa, para permitir que el sistema produzca energía de forma continua durante el periodo previsto de menor entrada. El suministro continuo de energía es beneficioso para determinados procesos industriales, por lo que no es deseable que una unidad de almacenamiento térmico se descargue por completo y se apague.

[0359] También es beneficioso para determinados procesos industriales que los ajustes en el suministro de energía se realicen lentamente y con poca frecuencia. Por lo tanto, en algunas implementaciones, el sistema de control selecciona una nueva tasa de descarga basándose en una previsión meteorológica de varias horas o varios días y en la correspondiente previsión de producción de VRE, para poder funcionar a una tasa fija durante (por ejemplo) un periodo de 24 horas, o un periodo de 48 horas, o un periodo de 72 horas, dada esa previsión de suministro de VRE. El sistema de control puede actualizar adicionalmente y con frecuencia la información relativa a una previsión de suministro de VRE, y puede realizar ajustes adicionales a la tasa de descarga de energía con el fin de satisfacer la demanda sin interrupciones, proporcionando opcionalmente señales y mecanismos de interfaz para la entrada, ajuste o anulación por parte del operador, como se ha descrito anteriormente. Así, el comportamiento del suministro de energía se controla en función de los parámetros explicados anteriormente, incluida la previsión.

[0360] Además de la previsión de una condición de entrada, tal como el clima, los aspectos de previsión del sistema de almacenamiento de energía térmica también pueden incluir la previsión de los mercados energéticos y las fuentes y precios disponibles de la energía, junto con la oferta y la demanda de las aplicaciones industriales a la salida del sistema de almacenamiento de energía térmica para ajustar el funcionamiento del sistema. El sistema de control puede utilizar la información de previsión para controlar uno o varios aspectos del sistema de energía térmica, incluida la entrada de energía eléctrica, la temperatura de varios elementos del sistema de almacenamiento de energía térmica, la cantidad y calidad del calor, vapor o fluido (incluido el gas) de salida, así como para mejorar el funcionamiento de los procesos industriales asociados. Por ejemplo, la electricidad de entrada puede recibirse o comprarse en un momento en el que el coste de la electricidad sea más bajo, en conjunción con la información de previsión sobre las condiciones de la fuente de electricidad, y puede salir cuando la demanda o el precio de la salida del sistema de almacenamiento de energía térmica, o de la energía producida utilizando esa salida, sea más alto.

[0361] Además, en situaciones en las que existe variabilidad a lo largo de diferentes periodos de tiempo en cuanto a las condiciones previstas, el sistema de control puede realizar los ajustes sobre una base variable correspondiente. Por ejemplo, si el coste previsto de la electricidad de entrada es mayor un primer día que un segundo día, el controlador puede controlar las diversas entradas y salidas y los parámetros del sistema de energía térmica para tener en cuenta las diferencias en las condiciones entre el primer día y el segundo día que se basan en las diferencias en la previsión inicial. Además de los aspectos anteriores, el análisis predictivo puede utilizarse para planificar de forma más eficaz el mantenimiento de los equipos y los ciclos de sustitución. Por ejemplo, el análisis predictivo puede utilizarse para predecir

cuándo será necesario el mantenimiento, basándose en datos históricos. Estos análisis pueden utilizarse junto con uno o varios de los aspectos de previsión anteriores para prever tiempos de inactividad planificados, por ejemplo, para que coincidan con momentos en los que la disponibilidad de energía de entrada o las condiciones de precios hagan menos ventajoso el funcionamiento del sistema.

[0362] Los controles anteriores pueden proporcionarse a un operador que toma decisiones basadas en la información de previsión y el funcionamiento del sistema de control. Alternativamente, el sistema de control puede incluir algunas rutinas automatizadas que proporcionen apoyo a la toma de decisiones o realicen determinaciones y generen órdenes, basándose en la información de previsión, de forma automatizada o semiautomatizada.

Modos de carga/descarga

[0363] Como se ha explicado anteriormente, el sistema puede funcionar en modo de carga para almacenar energía eléctrica en forma de energía térmica y, al mismo tiempo, generar y suministrar vapor y/o energía eléctrica para diversas aplicaciones industriales según sea necesario. Las operaciones de carga y descarga son independientes entre sí, y pueden ejecutarse al mismo tiempo o en momentos diferentes, con diferentes estados de solapamiento según sea necesario, por ejemplo, para responder a la disponibilidad real y prevista de la fuente de energía y para suministrar energía de salida a las diferentes demandas de carga. El sistema también puede funcionar en modo de descarga para suministrar la energía térmica almacenada para la generación de vapor y/o energía eléctrica, así como para otras aplicaciones industriales. Opcionalmente, el sistema puede utilizarse para suministrar gas calentado a una aplicación industrial directamente sin producir primero vapor o electricidad.

[0364] Una innovación clave de la presente divulgación es el funcionamiento de carga-descarga de la unidad de forma que se evite el desbordamiento térmico, enfriando periódicamente cada elemento del medio de almacenamiento muy por debajo de su temperatura de funcionamiento. En una implementación, este enfriamiento profundo se consigue haciendo funcionar los medios de almacenamiento a través de ciclos sucesivos de carga y descarga en los que se mantiene una temperatura de salida constante y cada elemento de almacenamiento se enfría profundamente en ciclos de descarga alternos. La narración que sigue se refiere a los diagramas de flujo de proceso 1700a-1700h de las figuras 19A a 21 para carga y descarga, según las implementaciones de ejemplo.

[0365] En la figura 19A, 1700a, se muestra un diagrama de flujo asociado a un primer patrón operativo de carga. En 1701, la energía fluye desde una fuente de entrada de energía eléctrica, como por ejemplo desde una fuente VRE y calentadores operativos dentro de las pilas 1725 y 1727. En 1703, una salida de la matriz de almacenamiento se muestra como vapor.

[0366] Como se muestra en las válvulas 1705 y 1707, el controlador 1751 proporciona una señal para que la válvula 1705 (una rejilla de control de flujo de fluido, compuerta u otro dispositivo de control) se cierre para una primera matriz de almacenamiento térmico, y también proporciona una señal a una válvula 1707 para que se abra para un segundo conjunto de almacenamiento térmico. Ambas unidades están calentando, y la unidad de flujo 1727 está suministrando flujo para entregar calor al generador de vapor.

[0367] Con respecto a la segunda unidad 1727, la segunda unidad está siendo cargada, y se proporciona flujo, como se indica por la válvula 1707 abierta. Así, el gas a la temperatura de entrada T_{baja} fluye a través del ventilador 1721, a través del aislamiento dinámico, a través de la válvula 1707 y fluye a través del almacenamiento térmico de la unidad 1727 al conducto de fluido superior. El gas es calentado por las pilas de ladrillos hasta una temperatura de salida igual o superior a la temperatura deseada de salida del fluido T_{alta} , que puede ser un valor como 800 °C.

[0368] Un sensor 1742 puede proporcionar información al controlador 1751 sobre la temperatura del gas antes de entrar en el generador de vapor. El controlador 1751 modula el ajuste de la válvula 1741 para permitir que el aire más frío se mezcle con el aire que fluye a través de la pila de ladrillos para reducir la temperatura del fluido mezclado en el punto 1742 al valor T_{alta} especificado. El aire caliente de salida continúa fluyendo, incluso a través del generador de vapor 1709, que se suministra con agua 1719 controlada por la bomba 1717, y el aire enfriado a temperatura T_{baja} es forzado por el soplador 1721 a través de las trayectorias de aislamiento dinámico y de vuelta a las entradas de las válvulas 1705, 1707 y 1741. Se pueden proporcionar sensores adicionales en todo el sistema, como en 1713 y 1715. El controlador 1751 también puede utilizar las mismas líneas de comunicación y alimentación para transmitir comandos para controlar, elementos tales como las válvulas 1705, 1707.

[0369] Cuando la carga se detiene, como ocurre por ejemplo al final de cada día solar o de cada periodo de viento, la descarga continúa. En la figura 19B, el diagrama de flujo 1700b representa un ejemplo de primer flujo de proceso para el modo de descarga sin carga concurrente. Como se muestra en el presente documento, en la primera unidad 1725, la válvula 1705 permanece cerrada, basándose en la señal del controlador 1751. De este modo, el flujo de gas hacia la primera unidad asociada a la válvula 1705 es menor o nulo. Por otro lado, la válvula 1707 está abierta con respecto a la segunda unidad 1727, basándose en la señal del controlador 1751. Así, el gas continúa fluyendo a través de la unidad 1727, y el controlador 1751 continúa modulando el ajuste de la válvula 1741 para hacer que la cantidad adecuada de aire más frío se mezcle con el aire que fluye a través de la pila de ladrillos para mantener la temperatura del fluido en el punto

1742 al valor T_{alta} especificado. El gas caliente sigue descargándose en el generador de vapor 1709, para generar la exportación de vapor 1703.

[0370] A medida que se descarga cada pila, la temperatura del gas de salida se mantiene más o menos constante hasta que se han suministrado aproximadamente 2/3 del calor utilizable. En este punto, la temperatura de salida de la pila comenzará a descender, y seguirá descendiendo a medida que continúe la descarga. La innovación actual utiliza esta característica para lograr un "enfriamiento profundo" a medida que continúa el funcionamiento. El controlador 1751 detecta una reducción de la temperatura en el punto 1742 y comienza a cerrar la válvula de derivación 1741. En el momento en que la temperatura de salida de la unidad 1727 ha alcanzado T_{alta} , la válvula 1741 alcanza la posición completamente cerrada, y a medida que la temperatura desciende más ya no es posible que la unidad 1727 suministre calor a la temperatura T_{alta} .

[0371] Como se muestra en 1700c en la figura 19C, el proceso de descarga se modifica para abrir parcialmente la válvula 1705 basándose en la señal del controlador 1751, de modo que la primera unidad 1725 comienza a descargar; su temperatura de salida más alta se mezcla ahora con el aire que fluye a través de la pila más fría 1727 para mantener la temperatura de salida T_{alta} en el punto 1742. El controlador 1751 modula ahora las válvulas 1707 y 1705 para variar el flujo a través de las pilas 1725 y 1727 con el fin de mantener T_{alta} en el punto 1742. En este punto del proceso de descarga, el flujo a través de la pila 1727 emerge a una temperatura inferior a T_{alta} y se mezcla con la descarga de la pila 1725 que está por encima de T_{alta} en proporciones para asegurar que la salida en 1742 se mantiene a T_{alta} . Así, la unidad 1727 continúa siendo enfriada por el flujo de gas, y su temperatura de salida continúa descendiendo más por debajo de T_{alta} , mientras que la temperatura en 1742 se mantiene a T_{alta} mediante la mezcla con el aire de mayor temperatura procedente de la pila 1725. A medida que avanza la descarga de la pila 1725, la temperatura del gas de salida comienza a descender, y el controlador 1751 comienza a cerrar la válvula 1707 para mantener la temperatura en 1742 a T_{alta} .

[0372] Como se muestra en 1700d en la figura 19D, las válvulas 1707 y 1741 se cierran en el momento en que la temperatura de salida de la pila 1725 ha alcanzado el muslo. Nótese que en este punto, la temperatura pico del ladrillo en la pila 1727 está muy por debajo de la temperatura pico del ladrillo en la pila 1725 - se ha "enfriado profundamente" por debajo de T_{alta} , al continuar suministrando flujo durante la descarga de la pila 1727. El sistema estaría totalmente "descargado" -incapaz de suministrar más energía a la temperatura T_{alta} - cuando la temperatura de salida de la pila 1725 cayera por debajo de T_{alta} .

[0373] En algunas implementaciones, es beneficioso para las acciones del controlador haber elegido una tasa de descarga tal que cuando comience la siguiente carga -como al comienzo del siguiente día solar, por ejemplo- el sistema aún no esté completamente descargado. 1700e en la figura 20A muestra el siguiente periodo de carga, en el que la descarga permanece constante. La energía de carga es suministrada de nuevo por VRE a ambas pilas. La pila 1727, que se ha enfriado profundamente, se carga sin flujo, y la pila 1725 se está cargando mientras proporciona flujo a la salida del sistema. A medida que la temperatura de salida de la pila 1725 aumenta, el controlador 1751 comienza de nuevo a abrir la válvula 1741 para mantener la temperatura de salida del sistema mezclado a T_{alta} .

[0374] Al final de este periodo de carga (el suministro eléctrico vuelve a estar desconectado), ambas pilas están completamente cargadas, y la descarga continúa como en 1700f, tal y como se muestra en la figura 20B. Ahora la pila 1725 está descargando mientras que la pila 1727 no tiene flujo. A medida que la descarga procede y la temperatura de salida de la pila 1725 cae, el controlador 1751 primero comienza a cerrar la válvula 1741, luego comienza a abrir la válvula 1707 como se muestra en 1700g en la figura 20C. La descarga continúa; a medida que la temperatura de salida de la pila 1727 cae, el controlador 1751 cierra progresivamente la válvula 1705, de manera que hacia el final del ciclo de descarga sustancialmente todo el flujo viene a través de la pila 1727 como se muestra en 1700h, figura 21. Al comenzar el siguiente ciclo de carga, el sistema se encuentra ahora en el estado mostrado en 1700a en la figura 19A.

[0375] Así, se entenderá que mediante acciones del controlador que responden al estado de carga medido y/o modelado de cada pila, en ciclos sucesivos de carga/descarga cada pila se enfría hasta una temperatura de salida de gas de aproximadamente T_{alta} en un primer ciclo y una temperatura de salida de gas sustancialmente inferior a T_{alta} en un segundo ciclo. Este funcionamiento alternativo de refrigeración profunda evita eficazmente el desbordamiento térmico. Los expertos en la materia reconocerán que esta técnica puede aplicarse en sistemas más grandes con más de dos pilas independientes, por ejemplo organizando el sistema en pares que funcionen como se muestra aquí en paralelo o en serie con otros pares; o disponiendo más de dos pilas en un patrón de funcionamiento de refrigeración profunda.

[0376] El flujo a través de una o ambas pilas puede variar, como se ha explicado anteriormente. Para evitar el sobrecalentamiento y controlar la temperatura de salida, todo o parte del gas puede desviarse mediante uno o más deflectores o dispositivos de control de flujo a una derivación 1741, controlada por el controlador 1751, de manera que el gas de entrada se mezcle con el gas de descarga de las pilas, para proporcionar la salida a una temperatura constante o a un perfil de temperatura especificado y no constante.

[0377] El flujo a través de una o ambas pilas puede variar, como se ha explicado anteriormente. Para evitar el sobrecalentamiento y controlar la temperatura de salida, todo o parte del gas puede desviarse mediante uno o más deflectores o dispositivos de control de flujo a una derivación 1741, controlada por el controlador 1751, de manera que el

gas de entrada se mezcle con el gas de descarga de las pilas, para proporcionar la salida a una temperatura constante o a un perfil de temperatura especificado y no constante.

[0378] La figura 22 también ilustra los modos de carga y descarga de un sistema 1800, que incluye una estructura de almacenamiento térmico 1801 que tiene una primera sección 1803 y una segunda sección 1805. Como se ha descrito, el sistema 1800 puede estar conectado eléctricamente a una fuente de energía eléctrica, y puede facilitar el suministro de esta energía eléctrica a los elementos de calentamiento 1813 asociados con al menos alguna porción del almacenamiento térmico 1807 dentro de la primera sección 1803 durante un modo de carga. Los elementos de calentamiento 1813 pueden recibir energía eléctrica a una velocidad controlada y emitir energía térmica de manera que los ladrillos puedan absorber la energía térmica emitida y calentarse correspondientemente a una temperatura deseada. Como resultado, el almacenamiento térmico 1807 puede almacenar la energía eléctrica recibida en forma de energía térmica.

[0379] Como se muestra, el sistema 1800 también puede ser necesario para generar simultáneamente alguna combinación de gas caliente, vapor de suministro y/u otro fluido calentado para diversas aplicaciones industriales. Esta salida puede facilitarse dentro de la segunda sección 1805 dentro de la estructura de almacenamiento térmico 1801, que incluye una bomba 1821 que proporciona agua a un primer extremo 1817 de un conducto 1815. En consecuencia, durante un modo de descarga, las unidades de soplado 1823 pueden ser accionadas para facilitar el flujo de un gas tal como el aire de un extremo al otro del almacenamiento térmico 1807 (por ejemplo, de abajo hacia arriba), y de allí a la segunda sección 1805 de tal manera que el gas que pasa a través de la primera sección puede ser calentado para absorber y transferir la energía térmica emitida por los elementos de calentamiento 1813 y/o el almacenamiento térmico. Este flujo de aire calentado pasa a la segunda sección 1805, que permite al conducto 1815 convertir el agua que fluye a través del conducto 1815 en vapor y facilitar la salida del vapor generado a través de un segundo extremo 1819 del conducto 1815.

[0380] Alternativamente, durante la carga y descarga simultáneas, el flujo de gas a través del almacenamiento térmico 1807 puede ser mínimo o nulo, y todo o parte del gas procedente de los sopladores 1823 puede ser desviado por uno o más deflectores o dispositivos de control de flujo, y puede ser calentado por un calentador de derivación separado (no mostrado) para suministrar gas de entrada, como aire de entrada, al generador de vapor a una temperatura adecuada. Este modo de funcionamiento en derivación puede ser beneficioso para lograr distribuciones de temperatura predefinidas en el almacenamiento térmico y para mitigar la disipación de potencia necesaria de los elementos de calentamiento.

[0381] En algunas configuraciones, la única salida requerida de la estructura de almacenamiento térmico es la salida de gas caliente (por ejemplo, aire caliente) a un proceso industrial. Por consiguiente, un generador de vapor puede no estar presente o no utilizarse. En tales configuraciones, se puede proporcionar un conducto separado que conecte con una cámara de procesamiento para facilitar el suministro del gas caliente.

[0382] En otra implementación, si la energía eléctrica disponible que recibe la estructura 1800 es baja, durante el modo de carga, un número menor del número total de elementos de calentamiento disponibles 1813 recibe la energía eléctrica disponible limitada. En consecuencia, solo una parte del almacenamiento térmico se calienta durante el modo de carga. Durante la descarga, el gas puede pasar en gran medida solo a través de la porción del almacenamiento térmico 1807 que se ha calentado. De este modo, el gas calentado continúa transfiriendo la energía térmica almacenada al conducto 1815 con el fin de mantener la temperatura del gas en el conducto 1815 lo suficientemente alta como para mantener una producción de vapor continua y controlada, evitando así cualquier daño o fallo en el sistema de producción de vapor.

Calentador alternativo de carga-descarga simultánea

[0383] Las implementaciones comentadas anteriormente han descrito el flujo de un fluido, como el aire, hacia una primera sección de una estructura de almacenamiento térmico que incluye el propio material de almacenamiento térmico, y de ahí hacia una segunda sección de la estructura de almacenamiento térmico que incluye un dispositivo de salida, como un generador de vapor.

[0384] También se contemplan otros flujos de fluidos dentro de la estructura de almacenamiento térmico. En algunas implementaciones, el sistema está configurado para hacer que un flujo de aire caliente se dirija a la segunda sección, sin haber fluido primero a través de la primera sección. En tales implementaciones, el sistema está configurado para calentar el aire de entrada utilizando un calentador que está conectado eléctricamente a las fuentes de energía eléctrica. De este modo, el aire puede calentarse a un intervalo de temperatura idéntico al que se esperaría del aire calentado que sale del acumulador térmico. Este modo puede utilizarse en modo de carga, durante el cual es probable que el suministro de energía de la fuente de energía eléctrica sea abundante y, por lo tanto, menos costoso. Un calentador alimentado por la energía eléctrica de entrada recibe aire de entrada (por ejemplo, que puede ser aire ambiente, aire recirculado, etc. que está más frío que las temperaturas máximas del aire producido por el almacenamiento térmico), calienta el aire de entrada y lo dirige a la segunda sección de la estructura de almacenamiento térmico, donde puede pasar por un conducto de un OTSG, por ejemplo. Durante esta operación, el sistema puede permitir que pase muy poco o nada de aire a través del almacenamiento térmico, de forma que la carga se realice de forma eficiente sin descargar en la segunda sección antes de que se inicie el modo de descarga.

[0385] En otro tipo de flujo de aire, la estructura de almacenamiento térmico puede configurarse para facilitar la salida pasiva del aire calentado de la carcasa debido al efecto de flotabilidad del aire calentado. Puede utilizarse para

proporcionar seguridad intrínseca a las personas que trabajan en zonas cercanas a la unidad y al propio equipo, sin necesidad de equipos activos ni fuentes de energía eléctrica de reserva para mantener las condiciones de seguridad. Por ejemplo, si fallan los motores o los accionamientos de la bomba o del ventilador, si fallan los sistemas de control o si falla el suministro de energía eléctrica, las innovaciones actuales incluyen características que hacen que el aire fluya de tal manera que proporcione temperaturas frescas continuas en las paredes exteriores, los cimientos y los puntos de los equipos conectados. Este tipo de funcionamiento puede mantener la temperatura de todas las partes del sistema dentro de los límites de seguridad y evitar cualquier daño potencial a las personas, el medio ambiente, otros equipos o los componentes del sistema de ser dañados térmicamente.

[0386] La figura 18 es un diagrama de bloques de un sistema 1600 que ilustra estos flujos de aire. Como se muestra, la estructura de almacenamiento térmico 1601 incluye una primera sección 1603 que incluye bloques de almacenamiento térmico 1607, una segunda sección 1605 que incluye un generador de vapor 1615, y una barrera térmica 1625 que separa las dos secciones. Además, como se ha descrito anteriormente, el aislamiento está provisto de una cámara de aire que permite el aislamiento dinámico del almacenamiento térmico 1607.

[0387] Un ventilador 1621 toma el aire de entrada de la rejilla 1619 y lo dirige a los bloques de almacenamiento térmico 1607. El aire que ha pasado a través de los bloques de almacenamiento térmico 1607 puede entonces pasar a la segunda sección 1605 durante un modo de descarga. Como ejemplo de otro flujo de aire, la válvula de liberación 1623 puede controlarse para permitir la liberación de aire caliente, y la válvula de entrada 1619 puede abrirse para permitir la entrada de aire ambiente, como en el caso de una necesidad de apagado rápido o emergencia. Mediante una disposición adecuada de las ubicaciones de las válvulas y las trayectorias de flujo de aire, un "efecto chimenea" o flujo de aire impulsado por la flotabilidad puede establecer un flujo de aire adecuado a través del aislamiento dinámico y las entradas del sistema para mantener temperaturas exteriores frías y aislar el generador de vapor u otro proceso de alta temperatura de las temperaturas del núcleo de almacenamiento, sin equipo activo.

[0388] El calentador auxiliar 1609 es un tipo de calentador auxiliar que puede utilizarse para calentar una parte del fluido (como el aire) que se mueve a través de la estructura de almacenamiento térmico. Como se muestra en la figura 18, el calentador auxiliar está situado en la estructura de almacenamiento térmico, pero también puede estar situado fuera de la matriz de almacenamiento térmico. En el caso de que el calentador auxiliar 1609 esté posicionado en la estructura de almacenamiento térmico, la porción del fluido puede pasar a través de la derivación descrita a continuación con respecto a las figuras 19A-19D, 20A-20C y 21-33. Otro tipo de calentador auxiliar que puede utilizarse en algunas implementaciones es un calentador situado entre la salida de fluido de un medio de almacenamiento térmico y una entrada de un sistema de carga al que se suministra el fluido. Dicho calentador puede utilizarse en algunas realizaciones para aumentar una temperatura de salida del fluido proporcionado por una estructura de almacenamiento térmico.

[0389] Estos son solo dos ejemplos de los múltiples flujos de fluidos posibles dentro del sistema 1600. Como se ha descrito, el sistema 1600 está configurado para recibir fluido de entrada en la válvula de entrada 1619. Este fluido puede dirigirse directamente al aislamiento dinámico o directamente al almacenamiento térmico 1607. Opcionalmente, el sistema puede incluir una o más rejillas 1611 colocadas en la parte inferior de las pilas dentro de la primera sección 1603, y están configuradas de tal manera que la trayectoria de flujo del fluido que fluye a través de cada una de las matrices de almacenamiento y los elementos de almacenamiento térmico sea lo más uniforme posible, de tal manera que se mantenga una presión de aire constante a través de cada elemento térmico para una carga y descarga eficientes. Además, el fluido de entrada puede dirigirse a la segunda sección 1605 a través del calentador auxiliar 1609, controlado por una rejilla 1611 situada entre el ventilador 1621 y el calentador auxiliar 1609, sin pasar a través del aislamiento dinámico o almacenamiento térmico 1607.

[0390] Además, el flujo de fluido desde la parte superior de las pilas dentro del almacenamiento térmico 1607 puede proporcionarse al generador de vapor 1615 a través de una válvula 1613 entre la primera sección 1603 y la segunda sección 1605. La válvula 1613 puede separar los flujos de fluido producidos por cada una de las pilas del almacenamiento térmico 1607. Por ejemplo, en el caso en el que se utilizan dos pilas, la válvula 1613 puede recibir un primer flujo de fluido de una primera pila y un segundo flujo de fluido de una segunda pila. La válvula 1613 también puede recibir un flujo de fluido de derivación, que corresponde al fluido (como el procedente de la rejilla 1619) que no ha pasado por la primera o la segunda pila. Como se describirá más adelante en el contexto del paradigma de adelanto y retraso, la válvula 1613 es controlable por el sistema de control para no emitir fluido, una combinación del primer flujo de fluido y el flujo de fluido de derivación, una combinación del segundo flujo de fluido y el flujo de fluido de derivación, una combinación del primer y segundo flujos de fluido, etc., con el fin de lograr un fluido de salida que tenga un perfil de temperatura especificado. La persiana 1619 también se puede utilizar para liberar fluido frío del sistema en lugar de recircularlo al almacenamiento térmico 1607, en el caso de que el soplador no esté operativo, por ejemplo.

[0391] Aunque el ejemplo anterior incluye las rejillas del calentador de derivación, tal como las rejillas de alta temperatura, estas características son opcionales. Además, el calentador de derivación puede tener una ventaja, ya que puede reducir la potencia del calentador requerida dentro de la matriz. En otras palabras, el calentador de derivación puede descargar calor durante la carga, sin pasar aire a través de la matriz durante la carga.

[0392] Obsérvese que se contemplan otras válvulas de control, incluidas las que se describen a continuación con referencia a las figuras 35(A)-(B).

[0393] Estos flujos de aire y las estructuras de control asociadas pueden proporcionar beneficios en términos de seguridad y regulación de la temperatura, además del beneficio de una carga y descarga eficientes.

[0394] La selección de los modos de carga y descarga puede ser realizada por un sistema de control en un programa automático basado, por ejemplo, en mediciones de temperatura o distribución de potencia. Del mismo modo, el sistema de control también puede controlar otras funciones, como el modo de refuerzo de aire caliente descrito anteriormente, en función de las condiciones detectadas en la estructura de almacenamiento térmico.

[0395] Dicha detección puede incluir mediciones de radiación mediante cámaras, espectrómetros u otros dispositivos, y puede incluir mediciones remotas realizadas por sistemas de guía de ondas ópticas, incluidos sistemas de fibra óptica, reflectores fijos y reflectores móviles; mediciones de temperatura basadas en mediciones de resistencia o flujo de corriente en elementos de calentamiento; detección directa de temperaturas dentro de la matriz refractaria, dentro de los canales de flujo que salen de la matriz, o mediante otros medios o ubicaciones de detección.

[0396] A continuación, se describe el uso de un tipo particular de descarga: la "descarga profunda".

Adelanto y retraso y cómo evitar el desbordamiento térmico

[0397] Los sistemas de almacenamiento de energía térmica son vulnerables a los efectos de "fuga térmica" o "fuga de calor". El fenómeno puede deberse a desequilibrios en el calentamiento local por los elementos de calentamiento y a desequilibrios en el enfriamiento local por el flujo de gas caloportador. Incluso los pequeños desequilibrios pueden ser problemáticos, ya que se amplifican a lo largo de los sucesivos ciclos de carga y descarga. Después de varios ciclos, incluso pequeños desequilibrios pueden dar lugar a grandes diferencias de temperatura que pueden ser perjudiciales para los ladrillos y/o calentadores, y/o limitar severamente el intervalo de temperatura dentro del cual el sistema puede funcionar con seguridad.

[0398] La figura 23 proporciona un ejemplo 2000 que ilustra cómo los desequilibrios de calentamiento dentro de las matrices de almacenamiento térmico pueden conducir al desbordamiento térmico. Para cada uno de los múltiples puntos en el tiempo, el ejemplo 2000 representa las temperaturas asociadas con los conductos de flujo de fluido 2010 y 2020, cada uno de los cuales pasa a través de una matriz de almacenamiento térmico diferente. (Para facilitar la referencia, las matrices a través de las cuales pasan los conductos 2010 y 2020 pueden denominarse matrices 1 y 2, respectivamente). Como se muestra, diferentes porciones o capas de los conductos son calentadas por diferentes elementos de calentamiento, indicados como pares de elementos de calentamiento 2031A-2036A y 2031B-2036B.

[0399] El punto en el tiempo 2050 corresponde a un estado inicial de carga completa de las matrices 1 y 2. En este estado, los conductos se calientan a 1000 °C en cada tramo de su longitud. En el caso de la entrada de energía solar, ese estado podría corresponder a las matrices al final de un día solar. Aunque se incluye el valor de 1000 °C, se trata solo de un ejemplo, y la temperatura puede variar en función de factores como las aplicaciones o los puntos de uso. Por ejemplo, los conductos pueden calentarse en un intervalo de 800 °C a 1600 °C, y más específicamente, de 900 °C a 1300 °C, y aún más específicamente, de 800 °C a 1100 °C. Otros factores que pueden influir en la temperatura son el impacto de la temperatura en la vida útil del calentador, la capacidad de almacenamiento, los patrones de calentamiento, las condiciones meteorológicas, la temperatura y los materiales del calentador. Por ejemplo, un calentador cerámico puede tener un intervalo de temperatura de conducto superior de 1500 °C a 1600 °C, mientras que otros calentadores pueden tener un intervalo de temperatura de conducto de 600 °C a 700 °C. El intervalo de temperaturas del conducto puede variar verticalmente dentro de la pila variando los materiales de los ladrillos.

[0400] Al comienzo del periodo de descarga 2051 (por ejemplo, al anochecer en el caso de aporte de energía solar) de las matrices, se introduce gas refrigerante de transferencia de calor en la parte inferior de las matrices y fluye hacia arriba. Durante el periodo de carga que acaba de concluir, se ha añadido calor mediante los elementos de calentamiento 2031-2036, que pueden estar orientados transversalmente a las columnas de fluido y agrupados por posición horizontal dentro de la matriz. En condiciones ideales, se habrá suministrado la misma energía de entrada a todos los elementos de calentamiento de cada grupo, pero en la práctica, los elementos de calentamiento individuales varían ligeramente en su resistencia (y, por tanto, en su suministro de energía). Del mismo modo, los caudales de refrigeración locales variarán entre los conductos, dado que los canales individuales varían en rugosidad, alineación de ladrillos, o son de otra manera desajustados en su resistencia al flujo.

[0401] En este caso, el ejemplo 2000 supone que el caudal en el conducto 2020 es inferior al caudal en 2010. En consecuencia, las porciones de la matriz 2 adyacentes al conducto 2020 exhibirán temperaturas más altas que las porciones de la matriz 1 adyacentes al conducto 2020, debido al menor flujo de refrigeración. El resultado al final del periodo de descarga 2051 se muestra en la figura 23. Las matrices 1 y 2 muestran una distribución de la temperatura en forma de "termoclina", ya que los ladrillos de las capas inferiores de las matrices 1 y 2 son más fríos que los de las capas superiores. Este fenómeno se debe a que el periodo de descarga se detiene cuando se alcanza una temperatura de salida determinada (es decir, una temperatura en la parte superior del conjunto): 600 °C en el caso de la matriz 1. Además, debido al menor flujo de refrigeración en la matriz 2, las temperaturas del material alrededor del conducto 2020 en la matriz 2 son aproximadamente 300 °C más altas que las temperaturas alrededor de las capas correspondientes del

conducto 2010 en la matriz 1. Por ejemplo, la capa superior de la matriz 1 está a 600 °C, mientras que la capa superior de la matriz 2 está a 900 °C.

[0402] Estas variaciones en las velocidades de calentamiento y enfriamiento, a menos que se gestionen y mitiguen, pueden provocar el desbordamiento de las temperaturas de los elementos de almacenamiento desajustados, y pueden dar lugar a temperaturas de desbordamiento que provoquen fallos en los calentadores y/o el deterioro de los materiales refractarios dentro de la matriz.

[0403] Al final del periodo de descarga 2051, el sistema de control determina cuánta energía debe aplicarse a cada grupo de elementos de calentamiento durante un periodo de carga (o recarga) para restablecer el estado de carga completa. Pero es posible que el sistema de control no disponga de información sobre todas las desuniformidades de temperatura en cada ubicación dentro de un conjunto de matrices de almacenamiento térmico. Por ejemplo, podría haber un número limitado de sensores disponibles y, por tanto, podrían no detectarse las no uniformidades de temperatura. Los sensores también pueden funcionar mal. En algunas implementaciones, los elementos de calentamiento pueden controlarse mediante un paradigma basado en modelos en el que no se utilizan sensores o se utilizan de forma limitada. El sistema también puede no estar configurado para variar el calentamiento a una granularidad lo suficientemente fina como para resolver cada área de no uniformidad de temperatura. En el ejemplo 2000, se determina que los elementos de calentamiento 2031 reciben suficiente energía total para elevar los materiales circundantes en 800 °C, mientras que los calentadores 2036 reciben suficiente energía para elevar sus materiales circundantes en 400 °C.

[0404] Al final de un periodo de carga 2052 que utiliza los parámetros de calentamiento mencionados anteriormente, se mantienen las diferencias de temperatura al final del periodo de descarga 2051. Esto se debe a la descarga ineficiente del conducto 2020 en relación con el conducto 2010, y a la mayor temperatura residual del conducto 2020 al final del periodo de descarga 2051. En consecuencia, la cantidad de energía de entrada recibida durante el periodo de carga 2052 sobrecalienta el conducto 2020 a lo largo de su longitud en aproximadamente 300 grados. Obsérvese que en el transcurso de un único ciclo de descarga y carga, las temperaturas a lo largo del conducto 2020 son ahora 250-300 °C más cálidas en comparación con el estado 250 totalmente cargado. Si se repitiera otro ciclo (es decir, otro periodo de descarga seguido de otro periodo de carga), el sobrecalentamiento del conducto 2020 sería aún más pronunciado. (Los valores mostrados en la figura 23 son a título de ejemplo; los desajustes de temperatura realistas podrían crecer más lentamente, pero podrían alcanzar un nivel crítico en ciclos repetidos). Este aumento de la temperatura a lo largo del tiempo debido a la falta de uniformidad de la temperatura local es un desbordamiento térmico y puede provocar el fallo prematuro de los elementos de calentamiento y acortar la vida útil del sistema.

[0405] Un efecto que agrava este desbocamiento es la dilatación térmica del fluido que circula por los conductos. El gas más caliente se expande más, lo que provoca una mayor velocidad de salida para un caudal de entrada determinado y, por tanto, una mayor caída de presión hidráulica a través de la columna. Este efecto puede contribuir a una mayor reducción del flujo.

[0406] La presente divulgación enseña varias técnicas que pueden utilizarse para mitigar el desbordamiento térmico de forma que se consiga un funcionamiento estable y a largo plazo del sistema de almacenamiento de energía térmica.

[0407] En primer lugar, la altura de la pila de material de almacenamiento y las medidas físicas de los conductos de flujo de fluido pueden elegirse de tal manera que el sistema esté "pasivamente equilibrado". Se seleccionan caudales de fluido bajos para la descarga del sistema, y los caudales y las geometrías de los conductos se diseñan con una caída de presión hidráulica asociada relativamente baja y una longitud de columna larga. En esta configuración, la menor densidad del gas más caliente creará un "efecto pila", un componente de flotabilidad relativo al caudal, que aumenta el flujo de fluido en los conductos más calientes. Este flujo de refrigeración desajustado proporciona una fuerza de equilibrio para estabilizar y limitar las diferencias de temperatura en toda la matriz de almacenamiento térmico.

[0408] En segundo lugar, se utiliza una secuenciación de "enfriamiento profundo" para reequilibrar o nivelar las diferencias de temperatura entre conductos. Este concepto también puede denominarse descarga profunda. En términos generales, la descarga profunda se refiere a la descarga continua de una o más matrices hasta que se reducen las desuniformidades de temperatura dentro de la matriz (se puede decir que dichas matrices se han "descargado profundamente", lo que equivale a un restablecimiento térmico). La cantidad de descarga de un conjunto podría medirse de varias maneras, como por ejemplo comparando la temperatura total de la matriz con la temperatura del gas de entrada procedente del aire de entrada o de derivación admitido a través de una válvula de entrada. Una descarga profunda de un conjunto puede contrastarse con una descarga parcial de la matriz, en el sentido de que durante una descarga profunda, el gas fluye a través del conjunto durante un periodo de tiempo más largo (y potencialmente con un mayor volumen de flujo) que durante una descarga parcial. En algunas aplicaciones de descarga profunda, una matriz puede descargarse completamente hasta la temperatura del aire de entrada, que también puede denominarse temperatura de derivación. La secuencia de operaciones mostrada en las figuras 19A-21 divulga un método de operación de "descarga profunda".

[0409] Considera el efecto del periodo de descarga profunda 2054. Al descargar las matrices 1 y 2 más completamente que en el periodo de descarga 2051 (por ejemplo, haciendo fluir gas sobre las matrices durante un periodo de tiempo más largo), puede observarse que las matrices 1 y 2 se descargan más uniformemente durante el periodo de descarga

profunda 2054. Las temperaturas en la matriz 1 oscilan entre 300-310 °C, mientras que las temperaturas en la matriz 2 oscilan entre 310-480 °C. Por consiguiente, el periodo de carga posterior 2055 da como resultado una distribución de la temperatura dentro de las matrices 1 y 2 que se aproxima más al punto de partida 2050 y, por lo tanto, reduce en gran medida el desbordamiento térmico dentro del almacenamiento térmico.

[0410] La descarga profunda es, por tanto, una solución eficaz al problema del desbordamiento térmico dentro de una matriz de almacenamiento térmico. Pero el desbordamiento térmico no es la única limitación de los sistemas de almacenamiento de energía térmica contemplados en esta divulgación. Como se ha señalado, es deseable que los sistemas de almacenamiento de energía térmica puedan proporcionar un suministro continuo o casi continuo de energía térmica para los procesos posteriores. Para ello es necesario que al menos algunos medios de la unidad de almacenamiento estén a temperaturas superiores a la temperatura de suministro requerida. Los presentes inventores se han dado cuenta de que, aunque la descarga profunda es deseable para las matrices de almacenamiento térmico, no es posible descargar todas las matrices de un sistema en cada ciclo de descarga, ya que se crearían periodos en los que ningún elemento del sistema tendría la temperatura suficiente para cumplir los requisitos de temperatura de salida. En consecuencia, los inventores han desarrollado un paradigma de descarga profunda sólo periódica de cada matriz de almacenamiento térmico en un conjunto de uno o más conjuntos de almacenamiento. Este enfoque cumple el doble objetivo de realizar periódicamente un reajuste térmico de cada matriz de almacenamiento térmico y mantener una temperatura suficiente dentro del almacenamiento térmico para cumplir las especificaciones de temperatura de salida.

[0411] Una implementación específica que se contempla incluye el uso de dos matrices de almacenamiento térmico, y se denomina técnica de "adelanto y retraso". En esta técnica, el sistema descarga en profundidad cada una de las dos matrices de almacenamiento térmico cada dos periodos de descarga. Por ejemplo, la matriz 1 se descargaría en los periodos de descarga 0, 2, 4, etc. y la matriz 2 se descargaría en los periodos de descarga 1, 3, 5, etc.

[0412] Los elementos del proceso para una operación de adelanto y retraso se muestran en las figuras 19A a 21, y los perfiles conceptuales de temperatura de adelanto y retraso se muestran en las figuras 24 y 25, que ilustran la temperatura de descarga de una primera pila y una segunda pila en un sistema de almacenamiento de energía térmica, así como la temperatura de un flujo de fluido mezclado que se proporciona como salida.

[0413] La figura 24A ilustra un ejemplo de configuración 24000 asociado al concepto de adelanto y retraso. Más específicamente, se proporcionan una primera pila 24001 y una segunda pila 24003 que están configuradas cada una para recibir fluido de entrada, así como una derivación 24005, que también está configurado para recibir fluido de entrada. Las respectivas válvulas 24007, 24009, y 24011 controlan el flujo de aire hacia la primera pila 24001, la segunda pila 24003 y la derivación 24005, basándose en las entradas recibidas del controlador, como se ha explicado anteriormente con respecto a las figuras 19-21. Como se explicará a continuación con respecto a las figuras 24-33, el control del flujo del

[0414] Como se muestra en el gráfico 2060Aa, la temperatura se muestra a lo largo del eje vertical, mientras que el tiempo se muestra a lo largo del eje horizontal. Se muestra una temperatura pico 2061 de la primera pila y la segunda pila, junto con la temperatura de derivación 2063, que es la temperatura del gas de entrada. Además, en 2065, se muestra una temperatura de entrega de la corriente de flujo de fluido de salida mezclado. El eje horizontal muestra el tiempo, incluidos los intervalos de 24 horas 2067 y 2067a, así como un día solar en 2069 y 2069a.

[0415] La temperatura máxima de la primera pila se indica mediante la línea 2071, mientras que la temperatura máxima de la segunda pila se indica mediante la línea 2073. Como se mostrará, la primera pila y la segunda pila operan juntas de tal manera que la primera pila está en un modo de operación de "adelanto" cuando la segunda pila está en un modo de operación de "retraso", y viceversa. Durante el primer día, la primera pila se enfría a una temperatura muy baja en relación con la temperatura pico 2061 y la temperatura de entrega 2065, mientras que la segunda pila se enfría a una temperatura mínima requerida para entregar la salida a la temperatura de entrega 2065, que se muestra aquí como una constante. El segundo día, la segunda pila se enfría a la temperatura inferior mientras que la primera pila se enfría a la temperatura de entrega.

[0416] En resumen, en el caso de que dos pilas funcionen juntas, cada pila puede descargarse profundamente hasta muy por debajo de la temperatura de entrega cada dos periodos de descarga. Del mismo modo, en los periodos de descarga en los que una pila determinada no se está descargando en profundidad, se descarga desde la temperatura de descarga máxima hasta la temperatura de entrega (o una temperatura próxima a la temperatura de entrega). El ciclo entre el modo de avance y el modo de retardo para una pila determinada se realiza mediante el sistema de control que controla el flujo de fluido en cada una de las pilas. (En el modo principal, una pila determinada se descarga en profundidad, mientras que en el modo principal, la pila determinada se descarga a una temperatura igual o superior a la temperatura de suministro). La pila que se está descargando en profundidad puede seguir calentándose, haciendo que los elementos de calentamiento resistivos reciban la energía eléctrica y emitan calor; alternativamente, los elementos de calentamiento resistivos pueden pasar a un estado apagado.

[0417] En la posición más a la izquierda del gráfico 2060Aa, la primera pila y la segunda pila están ambas a la temperatura pico 2061. Esta posición inicial puede producirse fuera del día solar, tal como a medianoche. A continuación, como se indica en la línea 2071, la primera pila comienza a descargarse. A medida que la temperatura de la primera pila

comienza a descender y continúa descendiendo por debajo de la temperatura de salida, el fluido caliente de la segunda pila se mezcla como se muestra en 2073. A medida que la temperatura de la primera pila continúa descendiendo, el flujo a través de la primera pila se reduce y se mezcla fluido calentado adicional desde la segunda pila, con el fin de mantener la temperatura de suministro 2065.

[0418] La primera pila continúa descargándose hasta que alcanza o se aproxima a una temperatura mínima, que, en este ejemplo, corresponde a la temperatura de derivación 2063 y representa un estado totalmente descargado de la primera pila. Esta temperatura mínima es, en algunos casos como en el gráfico 2060A, una temperatura que se aproxima a la temperatura de derivación. El grado en que la temperatura mínima se aproxima a la temperatura del gas de derivación/entrada puede depender de factores tales como la calidad de la transferencia de calor fuera de los ladrillos, así como una diferencia entre la temperatura de entrega 2065 y la temperatura pico 2061. Por ejemplo, si la temperatura pico 2061 fuera de 1000 °C y la temperatura de entrega 2065 fuera de 900 °Celsius, la cantidad de aire frío que puede mezclarse con el aire que está a 1000 °C es relativamente pequeña. Por lo tanto, la temperatura mínima 2063 a la que se puede enfriar la pila puede ser más alta, tal como 800 °C. Por otro lado, si la temperatura de entrega 2065 fuera más baja, tal como 650 °C, entonces la temperatura mínima 2063 a la que se puede enfriar profundamente la pila puede ser más baja, tal como alrededor de 200 °C. Por lo tanto, cuanto más baja sea la temperatura de entrega 2065 en relación con la temperatura pico 2061, más baja puede ser la temperatura mínima 2077 en relación con la temperatura de derivación 2063. Por lo tanto, no es necesario que una pila se descargue a la temperatura de derivación para conseguir una descarga profunda. Más bien, la descarga puede producirse dentro de un intervalo de temperaturas (una "región de temperatura de descarga profunda") que sea suficiente para reducir el desbocamiento térmico mediante la reducción de las no uniformidades térmicas. En algunos casos, el intervalo de una región de temperatura de descarga profunda para un caso de uso particular está delimitado en el extremo superior por la temperatura de suministro y en el extremo inferior por la temperatura del gas de entrada, los límites incluyen tanto la temperatura de suministro como la temperatura del gas de entrada (o temperatura de derivación) en la región. Como se ha señalado, los límites de esta región para una situación particular variarán, por ejemplo en función de la temperatura de pico y la temperatura de entrega, y pueden determinarse más específicamente en algunos casos mediante la monitorización del comportamiento térmico de las matrices de almacenamiento térmico. Alternativamente, se puede determinar una región de temperatura de descarga profunda mediante la ejecución de un programa informático de modelado.

[0419] Durante la descarga profunda de la primera pila, la válvula de derivación puede desactivarse, por ejemplo, comenzando a cerrar la rejilla de la parte inferior de las pilas controlada por el sistema de control, para acelerar el proceso de refrigeración. En este punto, la segunda pila está siendo utilizada como la fuente primaria de fluido calentado para proporcionar la corriente mezclada a la temperatura de entrega 2065. Además, como se explicó anteriormente, el fluido puede fluir a través de la válvula de derivación de fluido para que el fluido se proporcione a la temperatura de entrada a la corriente mezclada. La derivación de fluido puede utilizarse para derivar fluido directamente al flujo de fluido mezclado, con el fin de bajar la temperatura en un momento en que ambas pilas se calientan demasiado, como hacia el final del día solar.

[0420] A medida que la segunda pila continúa descargando, su temperatura de descarga comienza a acercarse a la temperatura de entrega 2065, como se muestra en 2081. La descarga puede ser amortiguada, de manera que la temperatura mínima de descarga de la segunda pila sea superior a la temperatura de entrega constante 2065, como se muestra en 2081z. Esta temperatura de la segunda pila es la temperatura mínima a la que se puede suministrar la corriente mezclada a la temperatura de entrega 2065. Aquí, la temperatura de la primera pila en 2079 es sustancialmente más fría que la temperatura de la segunda pila en 2081.

[0421] En este punto, que es en o alrededor del comienzo del día solar (por ejemplo, el amanecer), el flujo a la primera pila se apaga en 2079, y la primera pila comienza a cargar como se muestra por una línea discontinua 2083 en la figura 24. En este punto, los calentadores están encendidos tanto para la primera pila como para la segunda. Sin embargo, como no hay flujo de fluido a través de la primera pila, la pendiente de la línea que indica el calentamiento es mayor que la de la segunda pila, en la que sí hay flujo de fluido.

[0422] Alternativamente, como se muestra en 25, el fluido sigue goteando a través de la primera pila a medida que aumenta su temperatura de descarga. El goteo puede tener en cuenta la posibilidad de que las unidades no estén selladas de tal manera que permitan un flujo del 0 %, y que las rejillas permitan un flujo residual, como del 5 % o similar. Para más detalles sobre este enfoque, véase la figura 28.

[0423] Volviendo a la figura 24, tras un periodo de carga, tanto la primera pila como la segunda se cargan completamente en 2085, lo que, en este ejemplo, ocurre durante el día solar. En este ejemplo, la segunda pila sigue proporcionando la salida de fluido caliente a la temperatura máxima mientras que la primera pila sigue cargando entre 2085 y 2087. Por otra parte, las lamas de la primera pila están completamente cerradas en este punto, de modo que no hay esencialmente flujo de fluido a través de la primera pila.

[0424] En 2087, los papeles de la primera pila y la segunda pila se invierten, de tal manera que la segunda pila comienza a descargar a un estado de descarga profunda mientras que la primera pila continúa proporcionando el fluido para la corriente mezclada, con el fin de mantener constante la temperatura de entrega 2065. El resto de la línea de tiempo mostrada en la figura 24 es similar a la descrita para el primer intervalo de 24 horas.

[0425] Al final del primer ciclo de período de 24 horas 2067 y al comienzo del segundo ciclo de período de 24 horas 2067a (es decir, en 2087), la segunda pila y la primera pila están ambas a la temperatura pico 2061. Como puede verse en 2071a, la segunda pila comienza a descargarse. A medida que la temperatura de la segunda pila comienza a descender y continúa descendiendo por debajo de la temperatura de suministro, el fluido caliente de la primera pila se mezcla en 2073a. A medida que la temperatura de la segunda pila continúa descendiendo, se reduce el flujo a través de la segunda pila y se mezcla fluido calentado adicional de la primera pila para mantener la temperatura de suministro 2065.

[0426] La segunda pila continúa descargando, por ejemplo hasta que alcanza una temperatura mínima en 2077a u otra temperatura de descarga.

[0427] Durante la descarga profunda de la segunda pila, se puede desactivar la válvula de derivación, por ejemplo, empezando a cerrar la rejilla de la parte inferior de las pilas controlada por el sistema de control, para acelerar el proceso de refrigeración. En este punto, la primera pila se utiliza como fuente primaria de gas calentado para proporcionar la corriente mezclada a la temperatura de entrega 2065.

[0428] A medida que la primera pila continúa descargando, su temperatura de descarga comienza a acercarse a la temperatura de entrega 2065, como se muestra en 2081a. La descarga puede ser amortiguada, de manera que la temperatura mínima de descarga de la segunda pila sea superior a la temperatura de entrega constante 2065, como se muestra en 2081za. Esta temperatura de la primera pila es la temperatura mínima (o aproximadamente la temperatura mínima) a la que se puede suministrar la corriente mezclada a la temperatura de entrega 2065. Aquí, la temperatura de la segunda pila en 2079a es sustancialmente más fría que la temperatura de la primera pila en 2081a.

[0429] En 2079a, que es alrededor del inicio del día solar, el flujo a la segunda pila se apaga, y la segunda pila se carga como se muestra en la línea discontinua 2083a de la figura 24. En este punto, los calentadores están encendidos tanto para la segunda pila como para la primera.

[0430] Alternativamente, como se muestra en la figura 25, el fluido sigue goteando a través de la segunda pila a medida que aumenta su temperatura de descarga. El goteo puede tener en cuenta la posibilidad de que las unidades no estén selladas de tal manera que permitan un flujo del 0 %, y que las rejillas permitan un flujo residual, como del 5 % o similar. Para más detalles sobre este enfoque, véase la figura 28.

[0431] La primera pila sigue suministrando el fluido caliente a la temperatura de descarga máxima mientras que la segunda pila sigue cargando entre 2085a y 2087a. Por otra parte, las lamas de la segunda pila están completamente cerradas en este punto, de manera que no hay esencialmente flujo de fluido a través de la segunda pila.

[0432] Este patrón de tener una pila principal y una pila retrasada se repite (por ejemplo, cada 48 horas). En consecuencia, la primera operación de descarga en el periodo de descarga de 2067d1 y la segunda operación de descarga en el periodo de descarga sucesiva de 2067d2 pueden repetirse, de manera que el sistema de control alterna entre la realización de la primera operación de descarga (descarga profunda de la primera pila pero no de la segunda pila) y la segunda operación de descarga (descarga profunda de la segunda pila pero no de la primera pila) a lo largo del tiempo, permitiendo que el sistema proporcione continuamente un flujo de fluido de salida, y que lo haga evitando el desbordamiento térmico. Este enfoque no tiene por qué limitarse a una primera pila y una segunda pila, y puede utilizarse con más de dos pilas (por ejemplo, triples, cuádruples o similares), como se describirá más adelante.

[0433] La figura 26 proporciona una ilustración detallada de la temperatura y el flujo de gas de acuerdo con la implementación de adelanto y retraso. Las características comunes con figura 24 se indican con números de referencia comunes en el gráfico 2060B, incluyendo una temperatura pico 2061b, una temperatura de derivación 2063b y una temperatura de suministro 2065b. Además, un período de 24 horas 2067b y un día solar 2069b se muestran a lo largo del eje horizontal. El flujo de aire también se indica a lo largo del lado derecho de la figura 26. Aunque la descripción que acompaña a la figura 26 se refiere al flujo de aire caliente, también puede generalizarse para referirse al flujo de fluidos.

[0434] A la izquierda del gráfico 2060B, el inicio de la temporización mostrada se asocia a un final del día solar. En este punto, tanto la primera pila como la segunda se encuentran a la temperatura máxima, en este caso 1000 °C. En 2071b, la primera pila está descargando aire caliente a 1000 °C, mientras que la segunda pila no está descargando aire caliente, como se indica en 2070b, con un caudal de aire del 0 %. Como se ha explicado anteriormente, la temperatura de descarga puede variar entre 800 °C y 1600 °C, dependiendo de diversos factores. La temperatura de los ladrillos se aproxima a la temperatura del conducto, normalmente entre 25 °C y 50 °C. Por ejemplo, los conductos pueden calentarse dentro de un intervalo de 800 °C a 1600 °C, y más específicamente, de 900 °C a 1300 °C, y aún más específicamente, de 800 °C a 1100 °C. Otros factores que pueden influir en la temperatura son el impacto de la temperatura en la vida útil del calentador, la capacidad de almacenamiento, los patrones de calentamiento, las condiciones meteorológicas, la temperatura y los materiales del calentador. Por ejemplo, un calentador cerámico puede tener un intervalo de temperatura de conducto superior de 1500 °C a 1600 °C, mientras que otros calentadores pueden tener un intervalo de temperatura de conducto de 600 °C a 700 °C. El intervalo de temperaturas del conducto puede variar verticalmente dentro de la pila variando los materiales de los ladrillos. Ambas pilas contienen aire muy caliente al final del día solar; la unidad de derivación está introduciendo aire a la temperatura del aire de entrada como la temperatura de descarga profunda 2063b.

[0435] A medida que el flujo de la primera pila aumenta de aproximadamente el 60 % al 100 %, por ejemplo, del 60 % al 100 %, del flujo de aire total, como se indica en 2072b, la temperatura de descarga de la primera pila comienza a disminuir en 2073b. A medida que la temperatura de descarga de la primera pila comienza a disminuir, el caudal de derivación también disminuye hacia abajo desde aproximadamente el 40 %, por ejemplo, el 40 %, del caudal total de aire.

[0436] Cuando la temperatura de descarga en la primera pila cae por debajo de la temperatura de entrega 2065b, como se representa en 2075b, el flujo de la primera pila es ahora el 100 % del flujo de aire total, como se indica en 2077b, y el flujo de la derivación y la segunda pila son ambos del 0 %, como se indica en 2076b. En este punto, con el fin de mantener la temperatura de entrega del aire mezclado en 2065b, el flujo de aire se enciende a la segunda pila en 2076b.

[0437] A medida que el flujo de aire en la segunda pila aumenta y el flujo de aire en la primera pila disminuye, la primera pila continúa enfriándose, pero la velocidad de refrigeración disminuye a medida que el flujo a través de la segunda pila se reduce, como se muestra en 2078b. Por el contrario, a medida que el flujo de aire en la segunda pila aumenta, la segunda pila comienza a enfriarse, y a medida que el flujo de aire de la segunda pila se aproxima al 100 % del flujo de aire total en 2074b, la temperatura de descarga en la segunda pila comienza a disminuir rápidamente hasta que alcanza la temperatura de entrega constante como se muestra en 2079b. En este punto, el flujo de aire de la primera pila es del 0 %, como se muestra en 2080b.

[0438] Una vez que la temperatura de descarga de la segunda pila alcanza la temperatura mínima a la que se puede mantener la temperatura de entrega constante 2065B (como se indica en 2079b), el flujo de aire a través de la segunda pila disminuye, y la temperatura de descarga de la segunda pila aumenta correspondientemente en 2082b. Al mismo tiempo, como esto ocurre durante el día solar tardío, el flujo de derivación se utiliza para evitar el sobrecalentamiento en 2076b'. Además, debido a que no hay flujo a través de la primera pila, la temperatura de descarga de la primera pila aumenta rápidamente a medida que la primera pila se carga, como se indica en 2081b. En 2083b, la primera pila y la segunda pila tienen temperaturas de descarga iguales o cercanas a la temperatura pico 2061b.

[0439] A las 2083b, el ciclo de 24 horas se ha completado. La primera y la segunda pila cambian ahora sus papeles, de forma que la segunda pila "lidera" y experimenta un enfriamiento profundo, y la primera pila "se retrasa" y actúa como lo hizo la segunda pila en el primer ciclo de 24 horas. La carretera de circunvalación seguirá funcionando de forma similar. En el eje horizontal se indica un segundo período de 24 horas 2067ba y un día solar 2069ba.

[0440] Al final del primer ciclo de período de 24 horas 2067b y al comienzo del segundo ciclo de período de 24 horas 2067ba (es decir, en 2087ba), la temporización se asocia con un final del día solar. En este punto, la segunda pila y la primera se encuentran a la temperatura máxima, en este caso 1000 °C. Como se muestra en 2071ba, la segunda pila está descargando aire caliente a 1000 °C, mientras que la primera pila no está descargando aire caliente como se indica en 2070ba, con un caudal de aire del 0 %. Al igual que antes, la unidad de derivación recibe aire a la temperatura del aire de entrada (temperatura de descarga profunda 2063b).

[0441] A medida que el flujo de la segunda pila aumenta de aproximadamente el 60 % al 100 %, o del 60 % al 100 %, del flujo de aire total, como se indica en 2072ba, la temperatura de descarga de la segunda pila comienza a disminuir en 2073ba. A medida que la temperatura de descarga de la segunda pila comienza a disminuir, el caudal de derivación también disminuye hacia abajo desde aproximadamente el 40 %, o 40 %, del caudal total de aire.

[0442] Cuando la temperatura de descarga en la segunda pila cae por debajo de la temperatura de entrega constante 2065b, como se representa en 2075ba, el flujo de la segunda pila es del 100 % del flujo de aire total, como se representa en 2077ba, y el flujo de la derivación y la primera pila son ambos del 0 %, como se representa en 2076ba. En este punto, con el fin de mantener la temperatura constante de entrega del aire mezclado en 2065b, el flujo de aire se enciende a la primera pila en 2076ba.

[0443] A medida que el flujo de aire en la primera pila aumenta y el flujo de aire en la segunda pila disminuye, la segunda pila continúa enfriándose, pero la velocidad de refrigeración disminuye a medida que el flujo a través de la primera pila se reduce, como se muestra en 2078ba. Por el contrario, a medida que el flujo de aire en la primera pila aumenta, la primera pila comienza a enfriarse, y a medida que el flujo de aire de la primera pila se aproxima al 100 % del flujo de aire total en 2074ba, la temperatura de descarga en la primera pila comienza a disminuir rápidamente hasta que alcanza la temperatura de entrega constante como se muestra en 2079ba. En este punto, el flujo de aire de la segunda pila es del 0 % como se muestra en 2080ba.

[0444] Una vez que la temperatura de descarga de la primera pila alcanza la temperatura mínima a la que se puede mantener la temperatura de entrega 2065b (es decir, en 2079ba), el flujo de aire a través de la primera pila disminuye, y la temperatura de descarga de la primera pila aumenta correspondientemente en 2082ba. Al mismo tiempo, como esto ocurre durante el día solar tardío, el flujo de derivación se utiliza para evitar el sobrecalentamiento a 2076ba. Además, debido a que no hay flujo a través de la segunda pila, la temperatura de descarga de la segunda pila aumenta rápidamente a medida que la segunda pila se carga, como se indica en 2081ba. En 2083ba, la segunda pila y la primera pila tienen temperaturas de descarga iguales o cercanas a la temperatura pico 2061b.

[0445] Estructuras como válvulas, sopladores, rejillas y otros mecanismos necesarios para realizar las operaciones descritas anteriormente se accionan en respuesta a órdenes recibidas del sistema de control. El sistema de control está configurado para generar las instrucciones basándose en una variedad de información, incluida una combinación de información detectada, información prevista e información histórica, así como modelos desarrollados basándose, por ejemplo, en inteligencia artificial. Por ejemplo, se pueden proporcionar sensores para garantizar que el sistema es seguro, en combinación con un modelo físico de cómo funciona el sistema con diferentes entradas de energía - este modelo puede servir como sustituto de algunos sensores en varias realizaciones. En algunos casos, los sensores pueden ser caros y desgastarse o necesitar ser sustituidos, lo que podría causar problemas adicionales. Por ejemplo, un sensor defectuoso puede provocar un sobrecalentamiento del sistema. El modelo puede tomar datos de temperatura y permitir predicciones basadas en parámetros como el amanecer y el tiempo. El modelo puede ajustarse en función de la aplicación industrial por diversas razones, como optimizar la temperatura de salida, la producción de energía o una combinación de ellas.

[0446] Como se ha descrito con referencia a 2060B, el sistema de control está configurado para dirigir flujos de fluido (por ejemplo, un primer flujo asociado con la primera pila, un segundo flujo asociado con la segunda pila, y un flujo de derivación que evita la primera y segunda pilas) para descargar profundamente la primera pila pero no la segunda pila durante el primer período de descarga 2069bd1 y para descargar profundamente la segunda pila pero no la primera pila durante el segundo período de descarga 2069bd2. Las operaciones de los periodos de descarga primero y segundo pueden realizarse repetidamente en periodos de descarga sucesivos, alternando entre las operaciones de 2069bd1 y 2069bd2. En el primer período de descarga, la segunda pila se descarga en menor grado que la primera, hasta el valor actual del perfil de temperatura especificado. Del mismo modo, en el segundo período de descarga, la primera pila también se descarga en menor medida que la segunda, hasta el valor actual del perfil de temperatura especificado. El perfil de temperatura especificado 2065b mostrado en la figura 26 es un perfil de temperatura constante, pero dichos perfiles de temperatura pueden variar, como se describirá con respecto a la figura 29.

[0447] Se entiende que estas ilustraciones de temperatura y caudal son sólo ejemplos, y que los valores reales y las formas de las curvas pueden variar. Como ejemplo sencillo, la temperatura máxima puede reducirse durante el verano. A continuación se ofrecen algunos ejemplos de variaciones.

[0448] La figura 27 proporciona una ilustración detallada 2060C de una temperatura y un flujo de fluido de acuerdo con la implementación de adelanto y retraso, teniendo en cuenta la descarga incompleta de la segunda pila, con el fin de tener un amortiguador entre la temperatura de salida constante y la temperatura de descarga de la segunda pila en su punto más bajo del ciclo. La capacidad del sistema para descargar la segunda pila a la temperatura de salida constante depende de variables como la previsión meteorológica, la estación del año o la duración del día solar. La práctica de la descarga incompleta evita así la indeseable descarga por debajo de la temperatura de salida constante. Características comunes a las figuras 24-33 reciben números de referencia similares.

[0449] En lugar de hacer que la temperatura de la segunda pila caiga precisamente a la temperatura de salida 2065c, la temperatura puede caer a una cantidad amortiguada 2085c que es ligeramente superior a la temperatura de salida constante 2065c. En otras palabras, la segunda pila no se descarga completamente, sino solo parcialmente. Por otro lado, la primera pila sigue teniendo la misma temperatura y el mismo patrón de flujo de aire que en la figura 26 como se ha explicado anteriormente.

[0450] La descarga parcial puede realizarse ajustando el caudal 2084c de la segunda pila, de modo que sea inferior al 100 % del caudal total, por ejemplo, aproximadamente el 90 %, por ejemplo, el 90 %, del caudal total. Para compensar el 10 % del flujo total, la derivación se abre cuando se alcanza la temperatura deseada de descarga de la segunda pila (amortiguador) 2085c, como se muestra en 2086c. En 2087c, la derivación y el flujo de aire de la segunda pila siguen esencialmente el flujo de aire mostrado anteriormente en la figura 26. El valor del 10 % es solo un ejemplo, y puede variar en función de la temperatura de descarga, la temperatura del aire de retorno, el contenido calórico objetivo o la temperatura objetivo de la salida, el porcentaje de flujo a través de cada pila, así como la temperatura de las pilas.

[0451] Del mismo modo, durante un segundo ciclo de 24 horas, la temperatura de la primera pila puede descender a una cantidad 2085c que es ligeramente superior a la temperatura de salida constante 2065c. Así, la primera pila solo se descarga parcialmente. La segunda pila tiene el mismo patrón de temperatura y flujo de aire descrito en la figura 26.

[0452] Al igual que en el primer período de 24 horas, la descarga parcial puede realizarse ajustando el caudal 2084ca de la primera pila, de modo que sea inferior al 100 % del caudal total, por ejemplo, aproximadamente el 90 %, por ejemplo, el 90 %, del caudal total. Para compensar el 10 % del caudal total, la derivación se abre cuando se alcanza la temperatura deseada de descarga de la primera pila 2085ca, como se muestra en 2086ca. Como se ha explicado anteriormente, el valor del 10 % es solo un ejemplo, y puede variar en función de la temperatura de descarga, la temperatura del aire de retorno, el contenido calórico objetivo o la temperatura objetivo de la salida, el porcentaje de flujo a través de cada pila, así como la temperatura de las pilas.

[0453] En consecuencia, 2060C ilustra que el sistema de control está configurado para mantener un flujo de fluido de salida a un perfil de temperatura constante especificado (2065c), mientras que, en periodos de descarga sucesivos 2069cd1 y 2069cd2, alterna entre 1) descargar profundamente la primera pila mientras descarga la segunda pila a una primera temperatura de amortiguación (2085c) por encima del perfil de temperatura especificado, y 2) descargar

profundamente la segunda pila mientras descarga la primera pila a una segunda temperatura de amortiguación (2085ca) por encima del perfil de temperatura especificado.

[0454] La figura 28 proporciona una ilustración detallada 2060D de una temperatura y flujo de fluido de acuerdo con la implementación de adelanto y retraso, teniendo en cuenta la carga de la pila de retardo de bajo flujo, en la que el aire sigue goteando a través de la primera pila a medida que aumenta su temperatura de descarga. El goteo puede tener en cuenta la posibilidad de que las unidades no estén selladas de tal manera que permitan un flujo del 0 %, y que las rejillas permitan un flujo residual, como del 5 % o similar. Aunque se proporciona el valor del 5 %, hay que tener en cuenta que, por lo general, las rejillas no pueden cerrarse al 100 %, pero pueden aproximarse a un ~99 %. Esto se debe a las tolerancias de dilatación térmica, las diferencias entre los materiales de las lamas y los ladrillos, etc. El flujo residual puede aproximarse al 5 %, y puede variar durante el periodo, como se muestra en la figura 28. La rejilla está menos abierta al principio de la carga para evitar la entrada de aire más frío. A medida que avanza la carga, aumenta el caudal residual, ya que el aire más caliente tiene un impacto menos negativo debido a la entrada del aire más frío. Con el tiempo, el caudal residual puede aumentar hasta el 5 %, o incluso el 10 %. El límite superior puede definirse basándose en el momento en que el flujo de goteo se vuelve prohibitivo y el punto caliente se calienta más, por ejemplo. Características comunes a las figuras 24-33 reciben números de referencia similares.

[0455] Al igual que en la operación descrita en la figura 27, la segunda pila sufre una descarga parcial. Pero en el punto en el que el flujo de aire de la segunda pila alcanza un máximo, aquí alrededor del 90 % como se muestra en 2088d, el flujo de aire de la primera pila no se cierra completamente, sino que se mantiene a una tasa muy baja o un goteo, tal como alrededor del 5 % o menos (o en algunos casos, 10 % o menos), como se muestra en 2089d (operando así en un "modo de goteo"). Para compensar el caudal de la primera pila, el caudal de la segunda pila disminuye, como puede verse en los dibujos. El goteo en la primera pila evita los puntos calientes, ya que debido a la flotabilidad del aire, los puntos calientes necesitarán más caudal para enfriarse a bajo caudal. Como resultado, se puede evitar o reducir la posibilidad de desbordamiento térmico.

[0456] Del mismo modo, en el segundo período de 24 horas, en el punto en el que el flujo de aire de la primera pila alcanza un máximo, aquí alrededor del 90 %, por ejemplo, 90 %, como se muestra en 2088da, el flujo de aire de la segunda pila no se cierra completamente, sino que se mantiene en una tasa muy baja o un goteo, tal como alrededor del 5 % o menos (por ejemplo, 5 %), como se muestra en 2089da. Para compensar el caudal de la segunda pila, el caudal de la primera pila disminuye, como puede verse en los dibujos. De nuevo, este modo puede evitar o reducir la posibilidad de desbordamiento térmico.

[0457] En consecuencia, 2060D ilustra que el sistema de control está configurado para mantener una temperatura 2065 d del flujo de fluido de salida de acuerdo con un perfil de temperatura especificado (aquí, constante). Esto se consigue alternando, en periodos de descarga sucesivos (2069dd1, 2069dd2), entre 1) descargar profundamente la primera pila mientras se descarga la segunda pila a una primera temperatura de amortiguación (2085d) que está por encima de la temperatura especificada, y 2) descargar profundamente la segunda pila mientras se descarga la primera pila a una primera temperatura de amortiguación (2085da) que está por encima de la temperatura especificada. Además, durante el periodo de descarga 2069dd1, el flujo de fluido se mantiene hacia la primera pila en modo de goteo, mientras que durante el periodo de descarga 2069dd2, el flujo de fluido se mantiene hacia la segunda pila en modo de goteo.

[0458] La figura 29 proporciona una ilustración detallada de una temperatura y flujo de fluido de acuerdo con la implementación de adelanto y retraso, teniendo en cuenta las variaciones en la temperatura de suministro para reducir la resistencia parásita. De nuevo, características comunes a las figuras 24-33 reciben números de referencia similares.

[0459] Como se puede ver en los dibujos, la temperatura de salida puede variar dentro de un intervalo aceptable o la aplicación industrial. (En algunos casos, un "perfil de temperatura especificado" puede ser una temperatura constante, pero como se muestra en la figura 29, el perfil de temperatura especificado no es constante). En este ejemplo, la temperatura constante inicial es de 800 °C a 2090e. Pero la temperatura se varía posteriormente a una temperatura inferior, tal como 700 °C a 2091e, ajustando el flujo como se explica a continuación.

[0460] Como se muestra, en el primer ciclo de 24 horas (2067e), en lugar de que el flujo a través de la primera pila sea el 100 % del flujo total como en las figuras 24-33, el flujo alcanza un máximo de aproximadamente el 90 %, por ejemplo, el 90 %, del flujo total, como se indica en 2094E. Además, debido a que la temperatura de operación se establece en 800 °C, la necesidad de aire de derivación se reduce desde el inicio como se muestra en 2093e (por ejemplo, el flujo de aire de derivación comienza en aproximadamente el 20 %, por ejemplo, 20 %, en la figura 29 en comparación con aproximadamente el 40 %, por ejemplo, en la figura 28). Además, en lugar de que el flujo en la primera pila comience a partir del 60 % y aumente hasta el 100 %, el flujo aquí comienza a partir de aproximadamente el 75 %, por ejemplo, el 75 %, y aumenta hasta aproximadamente el 90 %, por ejemplo, el 90 %. Para acomodar el 10 % adicional de flujo, el aire adicional comienza a fluir a través de la segunda pila antes que en los ejemplos anteriores. Esto, a su vez, provoca que la temperatura de descarga de la segunda pila se enfríe ligeramente antes de lo descrito anteriormente.

[0461] Como se indicó anteriormente, el flujo a través de la primera pila se mantiene en aproximadamente el 10 %, por ejemplo, 10 %, durante la fase de carga de la primera pila, como se indica en 2097e. Cuando se varía la temperatura de salida a aproximadamente 700 °C, por ejemplo, 700 °C, en 2091e, la temperatura de descarga de la segunda pila también

se aproxima a aproximadamente 700 °C, por ejemplo, 700 °C, en 2092e. Dado que el flujo de aire de la primera pila y de la segunda se mantiene en una proporción relativamente constante durante la fase de carga (como se indica en 2096e y 2097e, respectivamente), las temperaturas de descarga de la primera y segunda pila se comportan de manera similar a la de los ejemplos anteriores. Durante la última parte del día solar, el caudal de derivación aumenta en 2095e para enfriar la unidad; el caudal de la primera y segunda pilas disminuye en consecuencia.

[0462] En el segundo ciclo de 24 horas (2067ea), la temperatura constante de 800°C también se varía a 700 °C ajustando el flujo, como se indica en 2090ea y 2091ea. De nuevo, en lugar de hacer que el flujo a través de la segunda pila sea el 100 % del flujo total como en los ejemplos descritos anteriormente, el flujo sólo se incrementa a aproximadamente el 90 % del flujo total como se indica en 2094ea. Además, como la temperatura de funcionamiento se fija en 800 °C, la necesidad de aire de derivación comienza en una cantidad menor que en los ejemplos anteriores. Del mismo modo, en lugar de hacer que el flujo en la segunda pila comience a partir del 60 % y aumente hacia arriba hasta el 100 %, el flujo se extiende desde aproximadamente el 75 % hasta aproximadamente el 90 %. Para acomodar el 10 % adicional de flujo, el aire adicional comienza a fluir a través de la primera pila antes que en los ejemplos anteriores. De este modo, la temperatura de descarga de la primera pila se enfría un poco antes de lo descrito anteriormente.

[0463] Como se indicó anteriormente, el flujo a través de la segunda pila se mantiene en aproximadamente el 10 %, por ejemplo, 10 %, durante la fase de carga de la segunda pila, como se indica en 2097ea. Cuando la temperatura de salida se varía a aproximadamente 700 °C, por ejemplo, 700 °C, en 2091ea, la temperatura de descarga de la primera pila también se aproxima a aproximadamente 700 °C, por ejemplo, 700 °C, en 2092ea. Debido a que el flujo de aire de la segunda pila y de la primera se mantienen en proporciones relativamente constantes (como se indica en 2096ea y 2097ea, respectivamente) las temperaturas de descarga de la primera y segunda pila se comportan de manera similar a los ejemplos anteriores. Durante la última parte del día solar, el caudal de derivación aumenta en 2095ea para enfriar la unidad; el caudal de la primera y segunda pilas disminuye en consecuencia.

[0464] En consecuencia, 2060E ilustra que se pueden utilizar diferentes conjuntos de parámetros de flujo durante un período de descarga para cambiar una temperatura de un flujo de fluido de salida que tiene un perfil de temperatura no constante. Además, la temperatura del flujo de fluido de salida puede mantenerse durante una fase de carga manteniendo los flujos de fluido de la primera y segunda pila en una proporción relativamente constante.

[0465] Para recapitular, la descarga profunda es la descarga de una pila de almacenamiento térmico a un grado suficiente para reducir las no uniformidades locales de temperatura dentro de la pila y, por lo tanto, reducir, mitigar o eliminar el desbordamiento térmico dentro de la pila (y así prolongar su vida útil). En algunos casos, un período de descarga profunda puede dar lugar a que una pila se descargue hasta cierto piso de temperatura, a saber, la temperatura del flujo de fluido de derivación (la "temperatura de derivación"). Como se ha señalado, el flujo de derivación es un flujo de fluido más frío dentro de la estructura de almacenamiento térmico - puede basarse, por ejemplo, en un flujo de fluido que entra en la estructura de almacenamiento térmico a través de una válvula de entrada. En consecuencia, la descarga profunda puede en algunos casos hacer que una pila se descargue hasta la temperatura de derivación o hasta una temperatura aproximadamente igual a la temperatura de derivación (digamos, dentro del 10 % de la temperatura de derivación).

[0466] Pero como ya se ha indicado en relación con la figura 24, factores como la temperatura de pico y la temperatura de entrega afectan a la cantidad que una pila concreta puede enfriarse dentro de un periodo de descarga. Además, puede darse el caso de que cualquiera de un intervalo de temperaturas para un caso de uso particular pueda efectuar una descarga profunda - por ejemplo, la región de temperatura de descarga profunda 2063r. La figura 1F es un diagrama de bloques 2098cl que ilustra un intervalo de temperaturas que puede ser utilizado para definir diferentes regiones de temperatura de descarga profunda para diferentes situaciones.

[0467] Como se muestra, el intervalo de temperatura tiene un límite superior de temperatura de entrega 2065u (aquí 600 °C), un límite inferior de temperatura de derivación 2063lo (200 °C), y una temperatura de punto medio 2098m (400 °C), que es el punto medio entre la temperatura de entrega y la temperatura de derivación. Se muestra otra referencia de temperatura, 2098mm (300 °), que representa un punto medio entre la temperatura del punto medio y la temperatura de derivación, por lo que puede denominarse temperatura del cuartil. Se muestran nueve temperaturas posibles: 500 °C (2098t1), 450 °C (2098t2), 360° C (2098t3), 325 °C (2098t4), 275 °C (2098t5), 245 °C (2098t6), 215 °C (2098t7), 204 °C (2098t8) y 200° (2098t9).

[0468] Normalmente, el límite superior de la región de temperatura de descarga profunda será inferior a la temperatura de suministro. En el caso de que el límite superior estuviera, por ejemplo, a 550 °C, las 9 temperaturas 2098t1-9 estarían dentro de la región de temperatura de descarga profunda. Alternativamente, si el límite superior de la región de temperatura de descarga profunda se definiera para estar sustancialmente por debajo de la temperatura de entrega, esto podría excluir sólo la temperatura 2098t1 de la región de temperatura de descarga profunda. Sustancialmente por debajo significa al menos un 20 % por debajo, y en otros casos podría definirse como un 25 %, un 30 % por debajo, un 35 %, un 40 %, un 45 %, etc. La temperatura 2098t2 es, por lo tanto, un 25 % inferior a la temperatura de impulsión y podría incluirse en la región de temperatura de descarga profunda dependiendo de cómo se defina el intervalo en relación con la temperatura de impulsión. Obsérvese que el límite inferior de la región de descarga profunda puede fijarse en la temperatura de derivación o en una temperatura superior, según se desee.

[0469] Otra forma de definir la región de temperatura de descarga profunda es que el extremo superior de la región de temperatura de descarga profunda está más cerca de la temperatura de derivación que de la temperatura de suministro, y el extremo inferior de la región de temperatura de descarga profunda es la temperatura de derivación. Refiriéndose al gráfico 2098c1, esto significaría que el límite superior estaría a la temperatura del punto medio 2098m (400 °C) (y para los propósitos de este ejemplo, el límite superior podría incluir la temperatura del punto medio 2098m). Esta definición de la región de temperatura de descarga profunda incluiría las temperaturas 2098t3-2098t9, y excluiría las temperaturas 2098t1-2098t2.

[0470] Otra forma de definir la región de temperatura de descarga profunda es que el extremo superior de la región de temperatura de descarga profunda está más cerca de la temperatura de derivación que de la temperatura del punto medio, y el extremo inferior de la región de temperatura de descarga profunda es la temperatura de derivación. Refiriéndose al gráfico 2098c1, esto significaría que el límite superior estaría a la temperatura del cuartil 2098mm (300 °C) (y para los propósitos de este ejemplo, el límite superior podría incluir la temperatura del cuartil 2098mm). Esta definición incluiría las temperaturas 2098t5-2098t9, y excluiría las temperaturas 2098t1-2098t4.

[0471] Además, un límite superior de la región de temperatura de descarga profunda podría definirse como aquellas temperaturas que son aproximadamente iguales a la temperatura de derivación. Así, "aproximadamente igual" significa dentro del 10 % de la temperatura de derivación, lo que incluiría temperaturas entre 200 y 220 °C, abarcando 2098t7-2098t9.

[0472] Otra forma de definir la región de temperatura de descarga profunda consiste en definir un intervalo de temperatura absoluta medido a partir de la temperatura de derivación. Varios intervalos de este tipo se muestran en la figura 33. El intervalo 2098r1 abarca la temperatura de derivación 2063 hasta temperaturas 25 °C más cálidas. Así, si la temperatura de derivación fuera de 200 °C, el intervalo 2098r1 incluiría 200 °C, 225 °C y todas las temperaturas intermedias. Del mismo modo, el intervalo 2098r2 abarca temperaturas hasta 50 °C más cálidas que la temperatura de derivación. Los intervalos 2098r3-r6 abarcan temperaturas de hasta 75 °C, 100 °C, 150 °C y 200 °C por encima de la temperatura de derivación.

[0473] De manera similar, aunque no se muestra, el límite superior de la temperatura de descarga profunda también puede definirse estableciendo una distancia de temperatura medida hacia abajo desde la temperatura de suministro. Por ejemplo, un primer intervalo podría tener un límite superior de la temperatura de suministro menos 100 °C y un límite inferior de la temperatura de derivación. Un segundo intervalo de este tipo podría tener un límite superior de la temperatura de suministro menos 125 °C y un límite inferior de la temperatura de derivación. Un tercer intervalo de este tipo podría tener un límite superior de la temperatura de suministro menos 150 °C y un límite inferior de la temperatura de derivación. Un cuarto intervalo de este tipo podría tener un límite superior de la temperatura de suministro menos 175 °C y un límite inferior de la temperatura de derivación. Un quinto intervalo de este tipo podría tener un límite superior de la temperatura de suministro menos 200 °C y un límite inferior de la temperatura de derivación. Son posibles otros intervalos, como un sexto intervalo en el que el límite superior de la región de temperatura de descarga profunda sea los 300 °C por debajo de la temperatura de suministro.

[0474] Las figuras 24 a 33 han descrito implementaciones en las que cada una de las dos matrices de almacenamiento térmico se descargan profundamente cada dos periodos de descarga. Pero esta divulgación no se limita a la implementación de dos matrices de almacenamiento térmico. En primer lugar, la descarga profunda puede realizarse cuando se utiliza una única matriz de almacenamiento térmico. En esta configuración, se permite que la temperatura de salida de la matriz de almacenamiento térmico único descienda a una región de temperatura de descarga profunda de forma periódica o según sea necesario. En configuraciones con tres o más grupos, la descarga profunda puede realizarse con menos frecuencia.

[0475] Las figuras anteriores han descrito implementaciones en las que cada una de las dos implementaciones de almacenamiento térmico se descarga profundamente cada dos periodos de descarga. Pero esta divulgación no se limita a la implementación de dos matrices de almacenamiento térmico. En primer lugar, la descarga profunda puede realizarse cuando se utiliza una única matriz de almacenamiento térmico. En una configuración de este tipo, se permite que la temperatura de salida de la matriz de almacenamiento térmico única descienda periódicamente a una región de temperatura de descarga profunda, ya sea a intervalos regulares o en función de las necesidades. En configuraciones con tres o más grupos, la descarga profunda puede realizarse con menos frecuencia.

[0476] La figura 30 es un diagrama de bloques que ilustra la definición de una temperatura de descarga profunda basada en su proximidad relativa a dos temperaturas de referencia. La figura 31 es un diagrama de bloques que ilustra la definición de una temperatura de descarga profunda basada en una diferencia con respecto a la temperatura de derivación. La figura 32 es una tabla que ilustra un ejemplo en el que cada una de las N matrices de almacenamiento (N=3) se descarga en profundidad una vez durante cada N periodos de descarga. La figura 33 es una tabla que ilustra un ejemplo en el que cada una de las N matrices de almacenamiento se descarga en profundidad varias veces y se descarga parcialmente una vez durante cada N periodos de descarga.

[0477] Considere una configuración con N matrices de almacenamiento. La figura 30 ilustra un ejemplo 2099t1 en el que cada una de las N matrices de almacenamiento térmico 2099a se descarga en profundidad una vez durante cada N periodos de descarga (2099dp). Como se muestra, N=3 y las tres matrices se denominan matrices 1, 2 y 3. En el periodo de descarga 1, la matriz 1 actúa en modo de adelanto y la matriz 2 en modo de retraso. En consecuencia, la matriz 1 se descarga profundamente y la matriz 2 se descarga parcialmente. En un periodo de descarga 2, la matriz 2 actúa en modo de adelanto (y por lo tanto se descarga profundamente) y la matriz 3 actúa en modo de retraso (y por lo tanto se descarga parcialmente) (2099p). Por último, en el periodo de descarga 3, la matriz 3 actúa en modo de adelanto (muy descargada) y la matriz 1 actúa en modo de retraso (parcialmente descargada). Así, dos de las tres pilas pueden descargar en un día determinado, mientras que la otra pila no descarga en profundidad ese día. No obstante, esta disposición puede variar.

[0478] Así, en una generalización de un sistema de almacenamiento de energía térmica con algún número N de conjuntos de almacenamiento térmico, una posible implementación es que cada uno de los N conjuntos (2099a) se descargue profundamente una vez (2099e) cada N periodos de descarga (2099dp).

[0479] Consideremos otra realización ilustrada por la tabla 2099t2, en la que N=3 y de nuevo involucra las matrices 1, 2 y 3 (2099a). Al final de un periodo de disponibilidad de VRE (por ejemplo, el final del día para los sistemas cargados con energía solar), las matrices 1 y 2 pueden completar el día totalmente cargadas; se aplica todo el calor, adecuadamente por zona, sin que fluya una cantidad significativa de gas por sus conductos. La matriz 3, sin embargo, funciona en modo de descarga con un elevado flujo de gas en sus conductos durante la carga.

[0480] Supongamos que, una vez finalizada la carga, comienza el periodo de descarga 1, y la matriz 3 comienza a descargarse para proporcionar flujo de fluido de salida. Durante el periodo de descarga, el fluido de descarga de menor temperatura de la matriz 3 se mezcla con el fluido de mayor temperatura de la matriz 1 para suministrar el caudal de fluido de salida. La matriz 3 se descarga en profundidad enfriándose a una temperatura próxima a la del gas de retorno. Luego, cuando la temperatura del fluido de descarga de la matriz 1 comienza a disminuir, se termina el flujo significativo a través de la matriz 3, y se inicia el flujo a través de la matriz 2. La mezcla del fluido de menor temperatura de la matriz 1 con el fluido de mayor temperatura de la matriz 2 también permite que la matriz 1 se descargue en profundidad. En este ejemplo, cerca del final del periodo de descarga, se interrumpe el flujo de la matriz 1, dejando sólo la matriz 2 en funcionamiento. Así, la matriz 3 y la matriz 1 se descargan profundamente durante el periodo de descarga 1, mientras que la matriz 2 se descarga parcialmente.

[0481] Durante el siguiente ciclo de descarga y carga, el funcionamiento de las matrices se rota - así, durante el periodo de descarga 2, la matriz 2 se descarga primero, seguida de la matriz 3, y luego la matriz 1. Las matrices 2 y 3, pero no la matriz 1, se descargan profundamente como resultado. Del mismo modo, durante el periodo de descarga 3, la matriz 1 se descarga primero, mezclándose su energía de alta temperatura con las descargas de otras matrices. A medida que la matriz 1 alcanza su temperatura de salida mínima utilizable, la matriz 2 comienza a agregar gas a mayor temperatura, hasta que al final del periodo de descarga, las matrices 1 y 2 están profundamente descargadas y la matriz 3 tiene un perfil de temperatura similar al del conducto 2010 en el punto en el tiempo 2051 en la figura 23. Este enfoque permite que cada matriz de almacenamiento térmico se descargue profundamente dos de cada tres ciclos de carga.

[0482] Los procedimientos descritos tienen varias ventajas. Por ejemplo, en la implementación de dos matrices para un caso de uso solar, cada pila se descarga profundamente cada dos días mediante el control de flujo de las dos pilas y una derivación; en consecuencia, se evitan las variaciones de temperatura que, de otro modo, surgirían del calentamiento o enfriamiento no uniforme en la pila y causarían problemas de desbordamiento térmico. La descarga profunda de una pila hace que se restablezca térmicamente, de modo que se evitan o reducen las no uniformidades que, de otro modo, provocarían el desbordamiento térmico. Además, la resistencia parásita puede evitarse mediante el uso de una temperatura de salida mezclada.

[0483] Aunque los aspectos anteriores se describen en el contexto de una matriz de almacenamiento térmico con un elemento de calentamiento resistivo interno para proporcionar transferencia de calor radiante, la presente divulgación no se limita a esta configuración. Por ejemplo, el planteamiento de adelanto y retraso de tener pilas funcionando en tándem con una pila en modo de adelanto y la otra en modo de retraso también es aplicable en situaciones en las que el calor se suministra externamente mediante gas.

[0484] En varias implementaciones, el sistema de control está configurado para proporcionar una o más señales de control para controlar varios aspectos del sistema de almacenamiento de energía térmica, incluyendo las rejillas, la válvula de derivación y el ventilador o soplador asociado con la circulación de fluido a través de las matrices de almacenamiento térmico. Además, en lugar de utilizar un único ventilador para todas las matrices de almacenamiento térmico, se pueden proporcionar ventiladores independientes para cada uno de los flujos de aire, como el flujo de aire hacia la primera pila, el flujo de aire hacia la segunda pila, etc. En este caso, el sistema de control controlaría los ventiladores en lugar de las rejillas. En otras implementaciones, sin embargo, una combinación de sopladores y rejillas pueden ser utilizados juntos para controlar el flujo de aire a través de la primera pila, la segunda pila, y de derivación para implementar el paradigma de adelanto y retraso.

Operaciones asociadas al sistema

[0485] La puesta en marcha segura y eficaz de una red de OTSG y vapor implica varios retos. Todos los equipos deben llevarse a la temperatura de funcionamiento de forma segura, sin descargar fluido por debajo de la temperatura, incluyendo agua, en la salida del sistema, ya que tales descargas pueden causar daños sustanciales por "martillo de vapor" y riesgos para la seguridad. La presente innovación aborda estas cuestiones para proporcionar una puesta en marcha segura y eficiente para un OTSG cuya fuente de calor sea una unidad de almacenamiento de energía térmica. Las figuras 35(A)-(B) ilustran un ejemplo de flujo 2200 de secuencias de arranque y parada para el sistema de almacenamiento de energía térmica descrito en el presente documento. Este flujo de ejemplo muestra el arranque y la parada de la generación de vapor. Aunque las operaciones asociadas a las secuencias de arranque y parada se muestran en orden numérico, en algunos casos el orden de las operaciones puede modificarse, y algunas operaciones pueden solaparse o realizarse simultáneamente en lugar de en orden secuencial.

[0486] En 2201, la válvula de salida está en una posición cerrada, o se ajusta a una posición cerrada. Como se explicó anteriormente, los sensores y dispositivos de comunicación asociados con el sistema de control pueden detectar la posición de la válvula de salida, y si la válvula de salida no está en la posición cerrada, el sistema de control puede enviar una señal a la válvula de salida, de tal manera que la válvula de salida se transmite a la posición cerrada.

[0487] En 2203, se abre la válvula de purga. De manera similar a lo explicado anteriormente con respecto a 2201, la válvula de purga puede moverse a la posición abierta, si no está ya en la posición abierta. Una válvula de purga permite liberar agua y/o vapor cuya temperatura o calidad es inferior a la temperatura y/o calidad requerida, sin introducir el requisito de recirculación de fluido dentro del sistema OTSG.

[0488] En 2205, se pone en funcionamiento una bomba de agua y se establece un caudal de agua bajo. Los conductos del generador de vapor reciben ahora agua en estado líquido.

[0489] En 2207, se inicia el funcionamiento del ventilador asociado a la estructura de almacenamiento térmico. Por ejemplo, el ventilador puede ser el soplador como se ha explicado anteriormente. En consecuencia, se establece un flujo de aire caliente bajo. De este modo, se introduce calor en los tubos. El establecimiento previo del flujo de agua dentro de los tubos evita daños térmicos.

[0490] En 2209, a medida que fluye el aire caliente bajo, y el flujo de agua bajo se establece a través del generador de vapor, el agua se calienta, y el vapor comienza a formarse a partir del agua calentada, a medida que el agua cambia de fase de líquido a forma gaseosa.

[0491] En 2211, como el aire caliente sigue fluyendo y el calentamiento del generador de vapor continúa, la presión del vapor aumenta, y la fracción de vapor o la calidad del vapor de salida aumenta.

[0492] En 2213, una vez que la calidad del vapor está por encima de un umbral, tal como un 40 %, la salida del generador de vapor se abre y la válvula de purga se cierra. En este punto, el vapor puede salir hacia la aplicación industrial sin riesgo de introducir agua o vapor de baja calidad en la red de la aplicación.

[0493] En 2215, a medida que la salida se abre y el generador de vapor continúa proporcionando vapor, la calidad y el flujo del vapor aumentan hasta el nivel requerido para la aplicación industrial asociada con la salida. Este aumento del caudal puede realizarse a una velocidad elegida para permitir que la velocidad de cambio de otros generadores de vapor que sirven a la misma carga industrial reduzcan sus caudales proporcionalmente; o a una velocidad elegida para que coincida con la disminución de la velocidad de producción de vapor asociada con el apagado de un calentador de combustible; o a otra velocidad.

[0494] En algunas implementaciones, cuando se inicia la salida de vapor o calor de una unidad de almacenamiento térmico, un controlador reduce la salida de vapor o calor de uno o más calentadores alimentados con combustible (calderas, OTSG, HRSG, hornos) que sirven a la misma carga de proceso industrial, de tal manera que se mantenga un suministro total de vapor aproximadamente constante a la carga industrial.

[0495] Además, con respecto a la secuencia de apagado, en 2202, el ventilador pasa del estado encendido al estado apagado. Por ejemplo, el soplador de aire puede detener su funcionamiento.

[0496] En 2204, la bomba de agua ralentiza o reduce el flujo de agua líquida hacia los conductos del generador de vapor.

[0497] En 2206, al ralentizarse el flujo de calor y de agua, la calidad del vapor disminuye. Por ejemplo, la calidad del vapor puede descender a un nivel de calidad inferior, tal como el 50 % o el 60 %.

[0498] En 2208, una vez que la calidad del vapor ha descendido por debajo de un nivel prescrito, la válvula de salida vuelve a la posición cerrada. De este modo, la aplicación industrial deja de recibir vapor, ya que la calidad del vapor ha descendido por debajo del nivel necesario para la aplicación industrial.

[0499] En 2210, la bomba de agua bombea agua en el tubo de manera que el tubo o conducto de la salida se llena completamente de agua.

[0500] En 2212, la circulación natural de aire dentro de la estructura de almacenamiento térmico continúa manteniendo el enfriamiento dinámico asociado con la invalidación de la pared exterior, como se explicó anteriormente.

Ventajas

[0501] Las implementaciones de ejemplo pueden tener varias ventajas. Por ejemplo, como se ha explicado anteriormente, existe un enfoque de aislamiento dinámico, que proporciona una refrigeración pasiva de la estructura de almacenamiento térmico. El aire frío entrante absorbe el calor en la parte exterior de la capa aislante y acaba pasando a las partes inferiores de las pilas de ladrillos. Como resultado, el calor no se transfiere a la superficie exterior de la estructura de almacenamiento térmico. De este modo, la estructura de almacenamiento térmico puede albergar equipos con una mayor tolerancia a la temperatura. Además, existe un menor riesgo de daños en el equipo, desgaste, fallo del sistema, lesiones al personal u otro problema de seguridad asociado a la presencia de calor en la superficie del contenedor exterior.

[0502] Además, la presente divulgación contempla el uso de aire recirculado para proporcionar refrigeración a la estructura de almacenamiento térmico, eliminando o reduciendo así la necesidad de un sistema de refrigeración secundario. Durante los periodos de parada, el flujo inducido por la flotabilidad pasiva continúa para proporcionar la refrigeración de la base sin energía de reserva ni equipos especiales. Esto supone una ventaja con respecto a los sistemas de almacenamiento de energía térmica que utilizan sales fundidas, que requieren una refrigeración activa de los cimientos de los tanques de sales fundidas, proporcionada por soplantes que aumentan el coste y el consumo parasitario de energía eléctrica y requieren generadores diésel redundantes de reserva. Al enfriar los cimientos como se describe en esta divulgación, la energía que de otro modo se perdía en los sistemas anteriores se captura como energía útil, y se proporciona seguridad térmica en todas las condiciones.

[0503] Además, hay un beneficio medioambiental con respecto a los planteamientos anteriores. Dado que el sistema de control permite al sistema de almacenamiento de energía térmica utilizar la electricidad de la fuente en función de la oferta y la demanda diarias de energía, la electricidad de la fuente que se produce cuando la oferta supera la demanda puede utilizarse para el almacenamiento durante el modo de carga. Cuando la demanda supera a la oferta, el sistema de almacenamiento de energía térmica puede descargarse y suministrar electricidad o salidas para otras aplicaciones industriales con el fin de soportar la demanda adicional. Este paradigma reduce deseablemente la necesidad de utilizar energías no renovables. Además, varias aplicaciones industriales como la calcinación, la captura de carbono y otras pueden realizarse utilizando calor derivado de fuentes de energía renovables en lugar de fuentes no renovables. Como resultado, puede reducirse la generación de dióxido de carbono u otros gases de efecto invernadero.

[0504] En términos de eficiencia y coste, las diversas implementaciones descritas en la presente divulgación proporcionan un enfoque más eficiente para gestionar la entrada y salida de energía. Las figuras 34(A)-(C) ilustran diversas curvas de entrada y salida de energía 2100 asociadas a la generación de energía solar. En el gráfico 2101, se muestra un ejemplo de gráfico de entrada y salida de energía durante un periodo diario. La curva 2105 muestra la potencia disponible. Por ejemplo, durante el momento del día en que la energía solar está disponible, como entre las 4 AM y las 8 PM, la potencia disponible se ilustra como 2105. En 2103, se muestra la potencia de carga disponible. Como puede verse en 2107, la potencia de carga disponible puede reflejar la potencia disponible. En 2103, se muestra el suministro de vapor, que refleja la energía que sale o se produce. En 2109, se muestra la electricidad real generada al cliente por la energía solar.

[0505] Los gráficos 2111 y 2121 comparan los perfiles diarios de potencia de distintas estaciones. El gráfico 2111 ilustra un perfil de potencia durante un día de invierno, mientras que el gráfico 2121 ilustra un perfil de potencia durante un día de verano. En los puntos 2115 y 2117, se observa que en un día de invierno, la potencia disponible corresponde muy aproximadamente a la potencia de carga. En 2125 y 2127, se observa que durante una parte del día la potencia disponible corresponde a la potencia de carga, pero durante la tarde del día de verano, la potencia de carga es sustancialmente inferior a la potencia disponible. Como se ha explicado anteriormente, el "día" se define como un ciclo solar diurno que comienza con la hora de salida del sol y termina con la hora de puesta del sol; se entiende que la hora de salida y puesta del sol puede variar dependiendo de la ubicación física en términos de latitud y longitud, geografía en términos de terreno, fecha y estación. En 2119 y 2129, se muestra la electricidad real generada al cliente por la energía solar. En 2113 y 2123, se muestra el suministro de vapor, que refleja la energía que sale o se produce.

[0506] En 2131 y 2141, se proporciona una comparación, para un día de verano, de la carga no diferida en 2131, y la carga diferida en 2141, tal como se asocia con las implementaciones de ejemplo. Los elementos de 2131 corresponden aproximadamente a los elementos de 2121 y 2101. Por comparación, en 2141, con carga diferida, se puede ver que la potencia de carga 2147 puede igualar muy aproximadamente la potencia disponible en un día de verano durante los periodos de tarde. Por lo tanto, las implementaciones de ejemplo pueden utilizar la carga diferida para utilizar la energía disponible de manera más eficiente.

[0507] La vida útil de los componentes del sistema y la eficiencia del almacenamiento de energía pueden beneficiarse de mantener el núcleo de almacenamiento a una temperatura más baja; sin embargo, al hacerlo se reduce la cantidad de

capacidad de almacenamiento de energía. Un sistema de almacenamiento de energía térmica en el que los calentadores eléctricos están incrustados dentro del núcleo del medio de almacenamiento hace que los calentadores permanezcan a la temperatura del medio durante periodos prolongados; y la exposición a largo plazo de los calentadores a la temperatura es un factor clave para su vida útil. Una innovación presentada aquí contribuye a prolongar la vida útil del calentador y del equipo, al mitigar la temperatura media anual que experimentan los calentadores. En el caso de que la unidad de almacenamiento funcione para proporcionar un suministro continuo de calor a partir de una fuente variable, un controlador puede elegir diariamente un estado de carga inferior a "carga completa", basándose en la previsión de disponibilidad de energía y en la demanda de energía prevista. Por ejemplo, en un sistema alimentado por energía solar, los días de verano son más largos, por lo que se requiere un menor número de horas de energía almacenada; por lo tanto, en pleno verano la unidad de almacenamiento puede ser operada por un controlador para permanecer a una temperatura más baja (o "carga parcial") con el fin de prolongar la vida útil del sistema y reducir las pérdidas térmicas, sin ninguna reducción en la energía entregada a la salida del sistema. Y, por ejemplo, en un sistema alimentado por energía solar, los días de invierno tienen una menor energía total disponible, de modo que toda la energía producida por una instalación solar asociada puede almacenarse utilizando sólo una parte de la capacidad de almacenamiento. Un controlador puede operar el sistema de almacenamiento en estas condiciones para mantener sólo la carga parcial, de nuevo con el fin de prolongar la vida útil del sistema, sin ninguna pérdida de entrega de energía en la salida del sistema. Otras características del sistema global, incluidas las relativas a la disposición de las matrices de almacenamiento térmico, así como de los bloques de almacenamiento térmico que lo componen, aportan diversas ventajas. Estas características son el tema de la siguiente sección.

[0508] Además, las presentes implementaciones de ejemplo mitigan los efectos del estrés térmico de varias maneras. La presente divulgación mitiga el estrés térmico derivado de la expansión térmica debida al calentamiento y enfriamiento rápidos mediante la partición de los medios de almacenamiento en ladrillos de un tamaño y forma que permiten una rápida transferencia de calor radiativo, manteniendo al mismo tiempo los niveles y patrones de estrés térmico dentro de los ladrillos por debajo de los niveles que inducen fallos rápidos o graduales. Los conductos de flujo de transferencia de calor y los caudales están dispuestos de forma que el flujo turbulento de gas de transferencia de calor proporcione un enfriamiento relativamente uniforme en toda la superficie de transferencia de calor expuesta. Los ladrillos de medios de almacenamiento están dispuestos en una matriz que permite el movimiento relativo para acomodar la expansión y contracción de los elementos individuales. Además, la matriz está dispuesta de tal manera que los ciclos de expansión térmica alinean los elementos del conjunto para preservar la integridad de la estructura del conjunto, la integridad de los conductos del elemento de calentamiento y la integridad de los conductos del gas de transferencia de calor.

[0509] En algunos ejemplos de aplicación, los ladrillos individuales están diseñados de tal manera que su centro de masa está cerca de un elemento de calentamiento, y una superficie ampliada permite un alto contacto con el aire que fluye.

II. Transporte de calor en TSU: Ladrillos y elementos de calentamiento

A. Problemas resueltos por una o más de las realizaciones divulgadas

[0510] Los enfoques tradicionales para la formación de celdas de almacenamiento de energía pueden presentar diversos problemas e inconvenientes. Por ejemplo, los enfoques tradicionales pueden no proporcionar un calentamiento uniforme de las celdas de almacenamiento de energía térmica. En su lugar, pueden utilizar estructuras que crean un calentamiento desigual, como puntos calientes y puntos fríos. Un calentamiento no uniforme puede reducir la eficiencia de un sistema de almacenamiento de energía, provocar fallos más tempranos del equipo, causar problemas de seguridad, etc. Además, los enfoques tradicionales pueden sufrir el desgaste de las celdas de almacenamiento de energía térmica. Por ejemplo, tensiones como las mecánicas y térmicas pueden provocar un deterioro de las prestaciones, así como la desestabilización del material, como el agrietamiento de los ladrillos.

B. Ejemplos de soluciones divulgadas en el presente documento

[0511] En algunas implementaciones, los bloques de almacenamiento térmico (por ejemplo, ladrillos) tienen varias características que facilitan una distribución más uniforme. Por ejemplo, los bloques pueden formarse y colocarse para definir trayectorias de flujo de fluidos con cámaras abiertas a elementos de calentamiento para recibir energía radiativa. Por lo tanto, una determinada trayectoria de flujo de fluido (por ejemplo, orientada verticalmente desde la parte superior a la inferior de una pila) puede incluir dos tipos de aberturas: cámaras de radiación que están abiertas a un canal para un elemento de calentamiento y aberturas de flujo de fluido (por ejemplo, ranuras de flujo de fluido) que no están abiertas al canal. Las cámaras de radiación pueden recibir radiación infrarroja de los elementos de calentamiento, lo que, junto con el calentamiento por conducción de los elementos de calentamiento, puede proporcionar un calentamiento más uniforme de un conjunto de bloques de almacenamiento térmico, en relación con las implementaciones tradicionales. Las aberturas de flujo de fluido pueden recibir una pequeña cantidad de energía radiativa indirectamente a través de las cámaras, pero no están directamente abiertas al elemento de calentamiento. La pila de ladrillos puede utilizarse sola o en combinación con otras pilas de ladrillos para formar la unidad de almacenamiento térmico, y una o más unidades de almacenamiento térmico pueden utilizarse juntas en el sistema de almacenamiento de energía térmica. A medida que el soplador de fluido hace circular el fluido a través de la estructura durante la carga y descarga, como se ha explicado anteriormente, puede formarse una termoclina en una dirección sustancialmente vertical. Además, el sistema de movimiento de fluido puede

dirigir fluido relativamente más frío con fines de aislamiento, por ejemplo, a lo largo de las paredes y el techo aislados de la estructura. Por último, un sistema de ventilación puede permitir la refrigeración controlada para el mantenimiento o en caso de pérdida de energía, pérdida de agua, fallo del ventilador, etc., lo que puede mejorar ventajosamente la seguridad en relación con las técnicas tradicionales.

[0512] La presente enseñanza es un avance en la explotación de la física de la transferencia de calor para permitir la construcción rentable de sistemas de almacenamiento de energía térmica. En comparación con la técnica anterior que utiliza medios sólidos, los diseños según la presente divulgación reducen la dependencia y mejoran la fiabilidad de la transferencia de calor por conducción; suministran calor uniforme a alta temperatura mediante transferencia de calor por convección; y explotan principalmente la transferencia de calor por radiación directa, con calor irradiado desde un elemento de calentamiento y reirradiado desde materiales de almacenamiento calentados ("ecos de radiación") para calentar otros materiales de almacenamiento de forma rápida y uniforme.

[0513] Todos los objetos del universo emiten radiación térmica a una velocidad proporcional a su temperatura absoluta a la cuarta potencia. En concreto, según la ley de Stefan-Boltzmann, la energía total radiada por unidad de superficie de un cuerpo negro por unidad de tiempo es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura termodinámica del cuerpo negro (en kelvin). Por consiguiente, pequeñas diferencias de temperatura provocan grandes diferencias en la tasa de radiación térmica.

[0514] Todos los objetos del universo absorben también radiación térmica. Para dos superficies cualesquiera expuestas únicamente entre sí, y en ausencia de cualquier calor entrante o saliente, las diferencias de temperatura entre dichos objetos expuestos entre sí se reducen rápidamente hasta que los objetos se encuentran a la misma temperatura y, por tanto, en equilibrio de radiación.

[0515] Es deseable que un sistema basado en elementos de calentamiento eléctricos que calientan medios sólidos haga funcionar los calefactores con una carga de potencia relativamente alta, es decir, que funcione con una potencia elevada por cm cuadrados de superficie. De este modo se reduce la cantidad de material de calefacción y el coste por unidad de energía de carga (coste por kW). Sin embargo, la vida útil de los elementos de calentamiento varía inversamente con la temperatura, por lo que, para maximizar la carga de potencia y mantener al mismo tiempo las temperaturas de los elementos de calentamiento lo más bajas posible, es conveniente que los calefactores expongan radiativamente materiales con las temperaturas superficiales más bajas y uniformes posibles.

[0516] En algunos diseños existentes, por ejemplo los "calentadores de almacenamiento" residenciales y los diseños divulgados por Stack, los calentadores solo están expuestos a una superficie relativamente pequeña, por ejemplo al estar incrustados en canales. Es de esperar que el estado de la técnica basado en las enseñanzas de Stack y los diseños relacionados sufra enormemente por cualquier falta de uniformidad en el tamaño de los ladrillos, la estructura interna o la composición del material, ya que el único medio por el que se controla la temperatura de la superficie es la conducción interna del calor desde la superficie exterior hacia el material interior.

[0517] Las variaciones en el contenido de áridos dentro del propio ladrillo pueden contribuir a variar la conductividad térmica. Tales variaciones en la conducción del calor darán lugar necesariamente a variaciones en la temperatura de la superficie si la radiación entrante está calentando la superficie, y tales variaciones serán significativas si la radiación térmica es incapaz de transportar la energía de mayor temperatura a las regiones de menor temperatura. Más significativamente, cualquier grieta que se forme dentro de un ladrillo puede causar una gran reducción de la conductividad térmica a través de la grieta y, en consecuencia, si el ladrillo se está calentando por radiación, esto reducirá la conducción de calor fuera de la superficie y, por lo tanto, causará regiones de mayor temperatura en la superficie, a menos que la radiación térmica pueda llevarse dicha energía. Un diseño basado, por ejemplo, en el diseño de Stack experimentaría grandes aumentos en la temperatura de la superficie en estos dos casos, ya que sólo áreas de superficie locales relativamente pequeñas están en comunicación de radiación debido al concepto de diseño de "canal". Mitigar estos problemas conlleva costes. Dado que los ladrillos con mayor conductividad térmica son más caros que los ladrillos con menor conductividad térmica, y dado que los elementos de calentamiento eléctricos son caros, las enseñanzas anteriores han tenido serias limitaciones en cuanto a las temperaturas alcanzables en la práctica y retos en cuanto al uso de material (uso de material calefactor por kW) y por kWh (uso de material de almacenamiento por kWh), debido a que exigen que las temperaturas medias sean lo suficientemente bajas como para acomodar tales variaciones locales. Estos diseños anteriores son vulnerables a los fallos sobre el terreno debidos al agrietamiento de los ladrillos, lo que contribuye a los fallos de los calentadores. Cualquier formación de grietas de este tipo requeriría reducir o cesar la alimentación de los calentadores en la zona con grietas -ya que los calentadores de repuesto instalados en ese lugar seguirían experimentando esas temperaturas anormales- y/o desmontar la TSU y sustituir los ladrillos agrietados, ambas cosas bastante poco prácticas desde el punto de vista de los costes. En consecuencia, las unidades de este diseño serían vulnerables a la degradación de su capacidad de almacenamiento utilizable y de su velocidad de carga.

[0518] También es deseable que los sistemas que calientan medios sólidos eviten gradientes de temperatura elevados dentro de los medios sólidos, ya que la expansión diferencial basada en la temperatura da lugar a tensiones que pueden causar grietas o degradación de los medios a medida que se calientan y enfrían sucesivamente durante las operaciones de carga y descarga, con los consiguientes grandes patrones de tensión variables en el tiempo. En los diseños en los que los calentadores sólo están expuestos a una superficie relativamente pequeña, sólo una fracción relativamente pequeña

del material a granel se calienta por radiación, y una gran proporción del calentamiento se realiza por conducción del calor dentro del material. Dado que el calentamiento por conducción es proporcional al DT dentro del material, según la ley de refrigeración de Newton, el rápido calentamiento requerido en los medios de almacenamiento cargados con VRE crea un potencial significativo para que dichos sistemas experimenten degradación y agrietamiento por tensiones inducidas térmicamente. En este sentido, una propiedad deseada para los diseños de calentadores -alta potencia por unidad de superficie- está intrínsecamente en conflicto con una propiedad deseada para los diseños de ladrillos -baja potencia por superficie- cuando los calentadores se instalan en canales o pasos estrechos como los que enseña Stack y los "calentadores de almacenamiento".

[0519] Además, es deseable que los sistemas que suministran calor a alta temperatura a partir de medios sólidos logren condiciones de "termoclina" durante la descarga, en las que partes de los medios se enfrían a temperaturas mucho más bajas -liberando más energía por kg de material- que otras partes, que permanecen a altas temperaturas -permitiendo así el suministro de temperaturas de salida continuas relativamente altas a lo largo de un período prolongado de descarga, mientras que la mayor parte de los medios de almacenamiento oscila a través de un gran cambio de temperatura (ΔT). Para alcanzar este objetivo, resulta ventajosa la transferencia de calor por convección mediante el flujo de aire que se calienta eficazmente y se equilibra con la temperatura local del medio a medida que fluye a través de las sucesivas regiones del material. Un ejemplo de diseño de termoclina eficaz es la estufa Cowper, que incorpora una pluralidad de largos y estrechos pasos de aire verticales dentro de una matriz de ladrillos, lo que induce un flujo de aire turbulento dentro de los pasos y, por tanto, una transferencia de calor eficaz entre el aire y el ladrillo adyacente en cada zona a medida que el aire avanza a través del material. Son deseables disposiciones que impidan la transferencia de calor por radiación desde zonas relativamente más calientes a zonas más frías, ya que dicho flujo de calor radiativo vertical descendente disminuiría el diferencial de temperatura entre el fondo y la parte superior de la termoclina, reduciendo su eficacia y disminuyendo así la energía almacenada disponible por unidad de material. Los estrechos pasos de aire de la estufa Cowper limitan la exposición radiativa mutua de las superficies en el eje vertical (debido al $\cos \Theta$), por lo que el diseño de la estufa Cowper satisface estos dos criterios para un diseño eficaz de la termoclina.

[0520] Sin embargo, el diseño de la estufa Cowper contiene un inconveniente. Los conductos de aire de las estufas Cowper se componen de muchos ladrillos apilados verticalmente dentro de la unidad, cada uno de los cuales tiene una pluralidad de conductos que deben alinearse correctamente con sus correspondientes conductos en los ladrillos superiores e inferiores durante el montaje. Cualquier desalineación durante el montaje, o debida a la dilatación y contracción térmica cíclicas durante el funcionamiento, provoca el bloqueo del flujo a través de los pasos. Cualquier agrietamiento o desconchamiento del ladrillo, o cualquier introducción de material extraño que introduzca material dentro de un paso en cualquier punto provoca el bloqueo del flujo en todo el paso. En un diseño de estufa Cowper, en el que el sistema se calienta y se enfría convectivamente, esto provoca una pérdida parcial de la capacidad de almacenamiento térmico, ya que dicha región no se enfría ni se calienta eficazmente. Sin embargo, en una unidad de almacenamiento de energía calentada por radiación eléctrica, estos bloqueos del flujo de aire tienen mayores consecuencias, ya que provocan grandes reducciones de la refrigeración durante la descarga, pero ninguna reducción de la radiación térmica entrante procedente de los calentadores. En consecuencia, el bloqueo del paso puede causar mayores consecuencias en las unidades de almacenamiento de energía calentadas eléctricamente, ya que, como se ha comentado anteriormente, las variaciones en la temperatura de la unidad pueden contribuir a fallos prematuros del calentador o de los ladrillos y, en consecuencia, es posible que toda una unidad tenga que funcionar a una temperatura más baja para que los picos de temperatura asociados a la falta de uniformidad no superen las temperaturas de funcionamiento seguras del material.

[0521] Algunos diseños, como el ETES de Siemens, incorporan medios no estructurados con pasos de aire distribuidos aleatoriamente, lo que provoca que se mezclen zonas de aire a mayor y menor temperatura y permite que el aire a baja temperatura eluda las regiones de sólidos a alta temperatura sin calentarse, reduciendo así la eficacia de la termoclina y aumentando la cantidad de medios sólidos necesarios para suministrar una cantidad determinada de energía térmica manteniendo una temperatura de salida objetivo, lo que aumenta el uso de medios de almacenamiento por kWh.

[0522] Los diseños según la presente divulgación combinan varias innovaciones clave, que juntas abordan estos retos y permiten construir y operar un sistema de almacenamiento de energía térmica de alta temperatura rentable, seguro y fiable. Un sistema de medios sólidos cuidadosamente estructurado de acuerdo con la presente enseñanza incorpora pasos de flujo de aire estructurados que logran una descarga eficaz de la termoclina; cámaras de mezcla repetidas a lo largo de la dirección del flujo de aire que mitigan los efectos térmicos de cualquier bloqueo o falta de uniformidad de los canales de aire localizados; blindaje eficaz de la radiación térmica para que no se propague en la dirección vertical; y una estructura de cámara de radiación que calienta uniforme y rápidamente el material de ladrillo con una alta carga de potencia del calentador, una temperatura superficial expuesta baja y uniforme, y una transferencia de calor a larga distancia dentro de la matriz de medios de almacenamiento a través de la radiación térmica de múltiples pasos.

[0523] Las estructuras innovadoras según la presente divulgación pueden comprender una matriz de ladrillos que forman cámaras. Los ladrillos tienen pasos de aire estructurados, de modo que en la dirección vertical el aire fluye hacia arriba en una sucesión de cámaras abiertas y pequeños pasos de aire. En algunas realizaciones, la matriz de ladrillos con conductos de aire internos está organizada en una estructura tal que la superficie exterior de cada ladrillo dentro del núcleo de la TSU forma una pared de una cámara en la que está expuesta a la radiación de las superficies de otros ladrillos, así como a la radiación procedente de un calentador eléctrico.

[0524] La estructura de la cámara se crea alternando materiales de ladrillo en una paternidad de tipo damero, en la que cada ladrillo está rodeado por todos lados por cámaras abiertas, y cada cámara abierta tiene ladrillos adyacentes como paredes. Además, se proporcionan pasos paralelos horizontales que atraviesan múltiples cámaras. En estos pasos se instalan elementos de calentamiento eléctricos que se extienden horizontalmente por la matriz. Un elemento de calentamiento individual puede estar expuesto a lo largo de su longitud a los espacios interiores de múltiples cámaras. Cada ladrillo de esta estructura en damero está expuesto a cámaras abiertas por todos lados. Por consiguiente, durante la carga, la energía radiante procedente de múltiples elementos de calentamiento calienta todas las superficies exteriores de cada ladrillo, contribuyendo al calentamiento rápido y uniforme del ladrillo, y reduciendo la dependencia de la transferencia de calor por conducción dentro del ladrillo al limitar las dimensiones internas del ladrillo.

[0525] Tal estructura de cámara prevé además que una primera porción del calor que emana de un elemento de calentamiento eléctrico sea absorbida por una primera superficie de ladrillo dada y transferida además por transferencia de calor conductiva dentro del ladrillo, calentando así ese ladrillo; y otra porción del calor sea absorbida por una segunda superficie de ladrillo relativamente más cercana al calefactor que la primera superficie de ladrillo, elevando la temperatura de esa segunda superficie de ladrillo. Dado que la segunda superficie de ladrillo se calienta más que las superficies de ladrillo más alejadas del calentador, la segunda superficie de ladrillo irradia calor a esas superficies de ladrillo más alejadas debido al diferencial de temperatura. Este proceso de absorción de la radiación de los ladrillos, que conduce a un aumento de la temperatura y, por tanto, a un aumento de la radiación térmica, se denomina en el presente documento "rerradiación". La rerradiación de energía térmica a través de las pilas de ladrillos es un factor importante para el calentamiento rápido y uniforme de los ladrillos. La estructura está dispuesta de tal manera que los elementos de calentamiento están expuestos radiativamente a los pasos que se extienden en una dirección horizontal, logrando un calentamiento relativamente uniforme a través de una capa horizontal dada de ladrillos, mientras que inhibe el calentamiento radiativo de los elementos de calentamiento en una dirección vertical, logrando y permitiendo así la persistencia de una ventajosa termoclina vertical.

[0526] La estructura de la cámara de radiación supone un avance clave en el diseño y la producción de sistemas eficaces de almacenamiento de energía térmica que se cargan con energía eléctrica. La gran superficie expuesta radiativamente a los calentadores hace que la temperatura media de la gran superficie determine el balance de radiación y, por tanto, la temperatura de la superficie del calentador. Esta uniformidad intrínseca permite una alta potencia por unidad de área del calentador sin el potencial de sobrecalentamiento localizado. Además, las superficies de ladrillo expuestas son mayores por unidad de masa que en los sistemas anteriores, lo que significa que el agua entrante por unidad de superficie es menor y, en consecuencia, las tensiones térmicas debidas a las diferencias de temperatura interna de los ladrillos son menores. Y, lo que es más importante, la rerradiación de energía -la radiación por superficies de ladrillo más calientes que es absorbida por superficies de ladrillo más frías- reduce en órdenes de magnitud las variaciones de temperatura de la superficie y, en consecuencia, reduce las tensiones térmicas en los materiales de ladrillo expuestos al calor radiante. De este modo, el diseño de la cámara de radiación permite suministrar calor de manera relativamente uniforme a una gran superficie orientada horizontalmente y permite una alta potencia por unidad de superficie del calentador con una potencia relativamente baja por unidad de superficie del ladrillo.

[0527] Tenga en cuenta que, aunque esta configuración se describe en términos de "horizontal" y "vertical", no se trata de restricciones absolutas de grados o ángulos. Los factores ventajosos incluyen el mantenimiento de una termoclina y la provisión de flujo de fluido a través de la pila en una dirección que resulte en transferencia de calor por convección, saliendo de la pila en una porción relativamente más caliente de la termoclina. Otro factor ventajoso que puede incorporarse es colocar la pila de forma que el aire caliente y flotante ascienda por la pila y salga por el extremo caliente de la termoclina; en este caso, una pila en la que el extremo caliente de la termoclina esté a mayor altura que el extremo frío de la termoclina es eficaz, y una termoclina vertical maximiza esa eficacia.

[0528] Al disponer las cámaras con una relación de aspecto relativamente alta y un eje predominantemente horizontal, la energía térmica se transfiere mediante múltiples pasos de rerradiación a regiones de ladrillo que se extienden lejos del elemento de calentamiento; y a medida que aumenta la temperatura de almacenamiento en masa, el efecto de la radiación térmica $^{\circ}\text{K}^4$ (la cuarta potencia de la temperatura termodinámica) impulsa un efecto muy fuerte de "nivelación de la temperatura". Es decir, cuanto más se calienta la celda, menores son las diferencias entre las partes más calientes y más frías de la celda. Como resultado, la transferencia de calor de carga dentro de la matriz de ladrillos se hace más eficaz a medida que aumenta la temperatura, y toda la estructura del medio se calienta a una temperatura uniforme con una cantidad total de elemento de calentamiento mucho menor que la que se necesitaría en un diseño sin una estructura de transferencia de calor radiativa. Esto contrasta fuertemente con las enseñanzas anteriores, incluidos Siemens y Stack, que se puede esperar que experimenten una menor eficacia de transferencia de calor basándose en ΔT conductiva, que disminuye a medida que aumenta la temperatura del medio de almacenamiento a granel.

[0529] Una ventaja importante de este diseño es que la uniformidad de la temperatura del elemento de calentamiento mejora notablemente en los diseños según la presente divulgación. Cualquier variación en la conductividad térmica de los ladrillos, o cualquier grieta que se forme en un ladrillo que provoque un cambio en la conductividad térmica, se mitiga en gran medida mediante la transferencia de calor por radiación lejos del lugar con conductividad reducida. Es decir, una región que alcance una temperatura superior a la de las regiones cercanas debido a la menor eficacia de la conducción interna estará fuera del equilibrio de radiación con las superficies cercanas y, como resultado, se enfriará rápidamente por radiación hasta alcanzar una temperatura relativamente cercana a la de las superficies circundantes. Como resultado,

tanto las tensiones térmicas dentro de los medios sólidos como las temperaturas máximas localizadas del calentador se reducen en un gran factor en comparación con las enseñanzas anteriores.

[0530] Igualmente importante es que se minimiza en gran medida el efecto de cualquier desconchamiento, agrietamiento o introducción de materiales extraños en los conductos de aire. Un ladrillo individual que experimente el bloqueo de un paso experimentará un enfriamiento reducido durante los ciclos de descarga, y su superficie y material interno permanecerán más calientes que las zonas adyacentes, por lo que dicha zona almacenará efectivamente menos energía, ya que el almacenamiento de energía es proporcional a ΔT . Dado que la superficie del ladrillo está en comunicación radiativa con otros ladrillos a través de la cámara de radiación abierta, la radiación transferirá calor desde esa zona de paso bloqueada a otros ladrillos. Así, el ΔT final experimentado en un ciclo de calentamiento-enfriamiento para un diseño con cavidades de radiación abiertas será mayor que el ΔT para cualquier diseño, como las estufas Cowper o Stack, que no incorpore este concepto. El efecto de cualquier desprendimiento de ladrillos, agrietamiento o introducción de materiales extraños en un paso de aire se minimiza aún más debido al flujo de aire en el eje vertical durante la descarga. La presencia de las cámaras de radiación elimina cualquier efecto del bloqueo del paso en un ladrillo que afecte al flujo dentro del ladrillo situado encima o debajo, ya que el aire se mezcla libremente en las cámaras entre ladrillos. Del mismo modo, los desajustes entre ladrillos en la dirección vertical no pueden causar la obstrucción del paso de aire, ya que los estrechos pasos de aire de los ladrillos no están en contacto, sino separados por cámaras abiertas.

Vista general

[0531] Como se explica en la discusión anterior, se proporciona un sistema para el almacenamiento de energía térmica que incluye una entrada de energía eléctrica de un suministro, una o más unidades de almacenamiento térmico, y una salida de fluido (que puede ser o incluir un gas), tal como vapor y/o calor, a una aplicación. Como se ha explicado anteriormente, el suministro puede ser una fuente de energía, como una o más celdas fotovoltaicas. Pueden emplearse otras fuentes de energía en combinación o en sustitución de las celdas fotovoltaicas.

[0532] Las fuentes de energía eléctrica pueden ser cualquiera o una combinación de fuentes de energía VRE incluyendo energía eólica y solar, fuentes renovables menos variables incluyendo energía hidroeléctrica y geotérmica, u otras fuentes de energía incluyendo centrales térmicas alimentadas por carbón, petróleo, gas nuclear, o cualquier otro método de generación de energía eléctrica que pueda ser evidente para una persona con conocimientos ordinarios en la materia.

[0533] Cada una de las unidades de almacenamiento térmico puede incluir uno o más elementos de calentamiento (por ejemplo, elementos de calentamiento resistivos) controlados por interruptores que gestionan y permiten a los elementos de calentamiento recibir la energía eléctrica de entrada, y una estructura de almacenamiento de energía, como un ladrillo. Un sistema de movimiento de fluidos, (por ejemplo, uno o más sopladores que pueden estar orientados para empujar fluido hacia el sistema o extraer fluido del sistema) dirige el fluido a través de las trayectorias de flujo de fluido en las unidades de almacenamiento térmico.

[0534] La estructura de almacenamiento de energía incluye niveles de bloques de almacenamiento térmico. Por ejemplo, una primera hilera de ladrillos de almacenamiento térmico puede estar dispuesta en un patrón alterno, de manera que se forme un hueco entre ladrillos adyacentes o vecinos. Una segunda hilera de ladrillos se coloca adyacente a la primera, también en un patrón alterno con un hueco formado entre ladrillos adyacentes o vecinos. La primera hilera de ladrillos y la segunda hilera de ladrillos se colocan una con respecto a la otra de forma que los huecos de los ladrillos de la primera hilera son adyacentes a los ladrillos de la segunda hilera, y los huecos de los ladrillos de la segunda hilera son adyacentes a los ladrillos de la primera hilera.

[0535] Uno o más de los ladrillos de primer nivel en los ladrillos de segundo nivel pueden tener canales de flujo de aire formados en los mismos. Más concretamente, los canales de flujo de aire pueden estar formados por aberturas, orificios, conductos o ranuras. Por ejemplo, los canales de flujo de aire pueden estar formados como una ranura alargada, con una dimensión más larga no paralela a una superficie de cada ladrillo adyacente a un hueco. En algunas implementaciones puede ser ventajoso que los canales de aire tengan su dimensión más larga sustancialmente ortogonal a una superficie de cada ladrillo que es adyacente a un hueco. En otras implementaciones puede ser beneficioso que los canales de aire tengan su dimensión más larga sustancialmente paralela a una superficie de cada ladrillo que es adyacente a un hueco.

[0536] Dado que los canales de aire tienen un eje de dimensión corta orientado como se ha explicado anteriormente, se puede inducir un flujo turbulento, lo que contribuye a la transferencia efectiva de calor entre el aire y el ladrillo a su paso por el ladrillo. Por consiguiente, una ventaja de la disposición de las ranuras puede ser un enfriamiento más eficaz de cada ladrillo a medida que el aire pasa a través del ladrillo y, en consecuencia, una termoclina más eficaz durante la descarga.

[0537] Los canales de flujo de aire y los huecos entre ladrillos adyacentes o vecinos están formados de tal manera que crean trayectorias de flujo de aire. Más específicamente, una primera trayectoria de flujo de aire se extiende a través de los canales de flujo de aire de un ladrillo de primer nivel y un espacio de segundo nivel adyacente al ladrillo de primer nivel, y una segunda trayectoria de flujo de aire se extiende a través de los canales de flujo de aire del ladrillo de segundo nivel y un espacio de primer nivel adyacente al ladrillo de segundo nivel.

[0538] El calentador o elemento de calentamiento, que puede ser un elemento de calentamiento resistivo acoplado a la entrada de energía eléctrica procedente del suministro en un medio que incluye al menos un interruptor de control que puede ajustar la potencia de entrada a cualquier fracción de la potencia actualmente disponible, se coloca adyacente a la primera hilera de ladrillos y a la segunda hilera de ladrillos. Por ejemplo, el elemento de calentamiento puede extenderse en paralelo a una dirección longitudinal de las hileras de ladrillos de almacenamiento térmico. Según una implementación de ejemplo, el elemento de calentamiento se extiende lateralmente en un patrón curvilíneo, entre las filas de la pluralidad de bloques.

[0539] Según una implementación de ejemplo, la segunda hilera puede estar situada por encima de la primera hilera, de forma que las trayectorias del flujo de aire sean sustancialmente verticales. Sin embargo, las implementaciones de ejemplo no se limitan a ello, y otras disposiciones espaciales entre el primer nivel y el segundo nivel como puede ser entendido por los expertos en la técnica se puede utilizar en sustitución o combinación con las trayectorias de flujo de aire sustancialmente verticales.

[0540] Además, aunque el ejemplo de implementación anterior describe un primer nivel y un segundo nivel, el presente ejemplo de implementación no se limita a ellos. Por ejemplo, uno o más niveles adicionales pueden incorporarse con el primer nivel y el segundo nivel, para formar patrones alternos adicionales con huecos y canales de flujo de aire. Además, los ladrillos en cada uno de los niveles adicionales se pueden colocar para formar porciones adicionales de las trayectorias de flujo de aire primera y segunda, de tal manera que las trayectorias de flujo de aire adicionales se extienden a través de los canales de flujo de aire de un ladrillo, y a través de un espacio de un nivel adyacente, como por encima o por debajo, el ladrillo.

[0541] En los anteriores niveles múltiples de ladrillos, las dimensiones de los ladrillos pueden variar, de tal manera que los niveles en o más cerca de una parte superior de la pila pueden ser más grandes en al menos una dimensión, como la altura, en comparación con los ladrillos en o más cerca de una parte inferior de la pila. Al tener tal variación en las dimensiones de los ladrillos, el tamaño de los ladrillos puede ser optimizado para tener en cuenta mayores cargas de peso cerca de la parte inferior de la pila, y/o mayores temperaturas del aire más cerca de la parte superior de la pila. Por ejemplo, los ladrillos de las capas superiores pueden ser más altos que los de las capas inferiores. Esto se debe a que, como el gas entra constantemente por la parte inferior de la pila y enfría los niveles inferiores, se necesita más potencia calorífica por unidad de masa para calentar los ladrillos situados cerca de la parte inferior de la pila.

[0542] Más concretamente, el calor del elemento de calentamiento no sólo calienta el ladrillo en sí, sino que también calienta el gas dentro del volumen del ladrillo hasta una temperatura deseada. Moviéndose verticalmente hacia la parte superior de la plantilla, el mismo calentador puede calentar ladrillos más grandes, porque los ladrillos no tienen el mismo aire entrante que necesita ser calentado que los ladrillos cerca de la parte inferior de la pila. Por otra parte, los calentadores tienen una cierta cantidad de potencia que son capaces de emitir, de tal manera que los calentadores en las porciones superior e inferior de la pila pueden tener un calentador con una potencia de salida similar o igual. Así, las cavidades pueden ser más altas hacia la parte superior de la pila, porque el aire entrante ya ha sido calentado por los ladrillos en la parte inferior de la pila, y la energía de los elementos de calentamiento está calentando la masa del propio ladrillo, en contraposición al aire dentro del volumen de la masa del ladrillo.

[0543] En algunas implementaciones, un sistema de control de los elementos de calentamiento está configurado para alimentar los elementos de calentamiento a uno o más niveles diferentes de forma independiente, por ejemplo, para emitir más o menos energía en función de la altura (por ejemplo, nivel) de los elementos de calentamiento en el conjunto.

[0544] Pueden disponerse varias pilas de ladrillos adyacentes para formar una unidad de almacenamiento térmico. Del mismo modo, pueden disponerse múltiples unidades de almacenamiento térmico adyacentes entre sí para formar el sistema de almacenamiento de energía térmica.

[0545] Las implementaciones de ejemplo también pueden proporcionar un sistema de almacenamiento térmico eficiente y fiable que implica el uso de múltiples ladrillos térmicamente conductores y absorbentes que se apilan juntos para formar celdas de almacenamiento de energía térmica con tamaños y composiciones de materiales elegidos para mitigar las tensiones térmicas. El sistema de almacenamiento térmico también puede mantener un perfil de temperatura constante a lo largo de las celdas (ladrillos apilados) ralentizando así la rampa de temperatura, y reduciendo la generación de puntos calientes y fríos, tensiones mecánicas, tensiones térmicas y grietas en los ladrillos.

[0546] En algunas implementaciones de ejemplo, el sistema puede incluir múltiples celdas para formar una unidad térmica. El sistema puede incluir múltiples celdas, cada una de ellas formada por múltiples pilas. Durante la carga, un controlador puede proporcionar energía que fluye a diferentes velocidades en diferentes momentos de forma selectiva a los elementos de calentamiento individuales o grupos de elementos con el fin de controlar la velocidad de calentamiento de subsecciones específicas de las pilas, o pilas específicas dentro de la unidad, o secciones específicas (por ejemplo, ladrillos específicos o secciones de ladrillos dentro de una pila).

[0547] Por ejemplo, si solo se prevé el 60 % de la capacidad energética máxima durante un ciclo de carga específico, sólo podrán calentarse los elementos en el 60 % de las pilas o en el 60 % de los ladrillos del sistema. El calentamiento selectivo de elementos de calentamiento específicos puede garantizar que el 60 % de los ladrillos alcancen la temperatura

máxima durante el periodo de carga, en lugar de calentar todos los elementos provocando que el 100 % de los ladrillos se calienten al 60 % de la temperatura máxima.

[0548] Tal configuración de carga puede tener varios beneficios y ventajas. Por ejemplo, la eficiencia de descarga de energía durante una operación de descarga puede incrementarse sustancialmente.

[0549] El sistema puede incluir una o más unidades de soplado de aire, incluyendo cualquier combinación de ventiladores y, sopladores, y configurado en posiciones predefinidas en la carcasa para facilitar el flujo controlado de aire entre una combinación de la primera sección, la segunda sección, y el entorno exterior. La primera sección puede estar aislada de la segunda por una barrera térmica. Las unidades de soplado de aire pueden facilitar el flujo de aire a través de al menos uno de los canales de los ladrillos desde el extremo inferior de las celdas hasta el extremo superior de las celdas en la primera sección a la velocidad de flujo predefinida, y luego hacia la segunda sección, de manera que el aire que pasa a través de los ladrillos y/o los elementos de calentamiento de las celdas a la velocidad de flujo predefinida puede calentarse a una segunda temperatura predefinida, y puede absorber y transferir la energía térmica emitida por los elementos de calentamiento y/o almacenada por los ladrillos dentro de la segunda sección. El aire puede fluir desde la segunda sección a través de un generador de vapor u otro intercambiador de calor que contenga uno o más conductos, que transporten un fluido, y que, al recibir la energía térmica del aire que tiene la segunda temperatura predefinida, puede calentar el fluido que fluye a través del conducto a una temperatura más alta o puede convertir el fluido en vapor. Además, el sistema puede facilitar la salida del vapor generado desde el segundo extremo del conducto hasta una ubicación predefinida para una o más aplicaciones industriales. La segunda temperatura predefinida del aire puede basarse en el material utilizado en el conducto y en la temperatura y presión requeridas del vapor. En otra implementación, el aire que sale de la segunda sección puede suministrarse externamente a un proceso industrial.

[0550] Además, las implementaciones de ejemplo descritas en el presente documento divulgan un elemento de calentamiento resistivo. El elemento de calentamiento resistivo puede incluir un alambre resistivo. El alambre resistivo puede tener una sección transversal sustancialmente redonda, alargada, plana o con otra forma que admita como calor la energía recibida de la entrada de energía eléctrica.

[0551] En cuanto a la composición del elemento de calentamiento resistivo, si se trata de un alambre resistivo, puede ser metálico. Además, el elemento de calentamiento resistivo no tiene por qué limitarse a alambre metálico, y en su lugar puede estar formado de otro material, como una cerámica, incluyendo pero no limitado a carburo de silicio, siliciuro de magnesio, o puede estar formado de una combinación de estos y/u otros materiales.

Ladrillos y pilas

[0552] Ejemplos de implementación del sistema de almacenamiento de energía incluyen una carcasa que comprende al menos dos secciones (también denominadas celdas) que pueden estar acopladas entre sí mediante fluidos. Una primera sección puede incluir uno o más ladrillos térmicamente conductores de ser apilados entre sí para formar una celda de almacenamiento térmico dentro de la carcasa. Nótese que algunos bloques pueden ser relativamente grandes e incluir múltiples porciones (por ejemplo, porciones de ladrillo de forma rectangular). Así, un bloque dado puede incluir porciones en múltiples niveles y puede cubrir múltiples cámaras. Un elemento de calentamiento puede estar suspendido de un soporte dentro de un paso dentro de la matriz, o puede formar parte mecánicamente del propio conjunto (como, por ejemplo, un material cerámico conductor formado como uno o más ladrillos dentro del conjunto), o puede estar colocado adyacente al conjunto (como, por ejemplo, un elemento de calentamiento como un elemento de tungsteno o xenón encapsulado en un material que es al menos parcialmente transparente a la radiación electromagnética en el espectro infrarrojo y visible).

[0553] Uno o más de los ladrillos pueden incluir al menos un canal que se extiende longitudinalmente entre dos extremos opuestos de los ladrillos. En consecuencia, al menos uno de los canales de cada uno de los ladrillos apilados correspondientes a una de las celdas están alineados entre sí. Alternativamente, tales canales por ser dispuestos de tal manera que los canales de ladrillos adyacentes están dispuestos juntos para crear un canal. Se pueden apilar varios ladrillos para formar un conjunto de la altura requerida. La altura de las celdas puede seleccionarse teniendo en cuenta la altura de la carcasa. Además, la dimensión de los ladrillos que se apilan unos sobre otros puede ser la misma, o puede ser diferente. Por ejemplo, los ladrillos y una porción superior de la celda pueden tener una altura mayor que los ladrillos en una porción inferior de la celda.

[0554] El sistema incluye al menos un calentador o elemento de calentamiento dispuesto dentro de al menos uno de los canales correspondientes a cada uno de los ladrillos. Cada uno de los elementos de calentamiento puede estar conectado eléctricamente a una o más fuentes de generación de energía eléctrica (también denominadas fuentes de energía eléctrica), ya sea individual o colectivamente, y puede estar configurado para recibir energía eléctrica de las fuentes de generación de energía eléctrica y generar energía térmica, de forma que la temperatura de cada uno de los elementos de calentamiento alcance una temperatura.

[0555] La aplicación de energía eléctrica al elemento de calentamiento puede controlarse en función de las condiciones óptimas de calentamiento configuradas para reducir las tensiones térmicas en los ladrillos. Este control eléctrico puede realizarse mediante interruptores de varios tipos, incluyendo contactores electromecánicos y dispositivos

semiconductores, incluyendo dispositivos de tipo tiristor y transistor, incluyendo transistores bipolares de puerta aislada (IGBT). El control de la energía eléctrica al elemento de calentamiento puede determinarse por un controlador que tiene en cuenta los valores de la energía total actualmente disponible de una fuente VRE u otros parámetros para determinar una tasa de carga deseada. El controlador puede accionar un interruptor varias veces por segundo en un circuito de control mediante el cual dicho accionamiento del interruptor permite que un calentador reciba uno de muchos niveles de potencia media. El controlador puede accionar una pluralidad de tales interruptores en un patrón tal que una cantidad entrante de potencia total se distribuye de manera uniforme o no uniforme a través de un número variable de calentadores cuya demanda de potencia total (si todos funcionan a plena potencia simultáneamente) puede exceder la potencia disponible entrante. Por ejemplo, la energía eléctrica puede controlarse para mantener el elemento de calentamiento a una temperatura fija por encima de los ladrillos circundantes para reducir las tensiones térmicas. A medida que aumenta la temperatura del ladrillo, se puede aplicar más energía eléctrica al elemento de calentamiento para aumentar la temperatura del elemento de calentamiento hasta la temperatura máxima alcanzable por el elemento de calentamiento. Por lo tanto, los elementos de calentamiento situados a diferentes elevaciones verticales dentro de un conjunto de bloques de almacenamiento térmico pueden funcionar a diferentes temperaturas, ya que los bloques más altos tendrán normalmente una temperatura mayor.

[0556] Además, en algunas implementaciones de ejemplo, la potencia eléctrica aplicada al elemento de calentamiento puede aumentarse gradualmente durante la generación para prolongar la vida útil del elemento de calentamiento. Los medios de esta rampa pueden incluir un controlador que ordene a los dispositivos externos de conversión de potencia, incluidos los inversores solares, ajustar su entrega de potencia, y pueden incluir un controlador que ordene a los dispositivos semiconductores de conmutación, incluidos los tiristores y los IGBT, conmutar rápidamente en un patrón variable en el tiempo. Se pueden conseguir optimizaciones adicionales de la carga del sistema controlando la aplicación de energía eléctrica al elemento de calentamiento.

[0557] En un ejemplo de implementación, los ladrillos pueden estar hechos de materiales térmicamente conductores y absorbentes que tienen una composición y dimensiones tales que la energía térmica emitida por los elementos de calentamiento correspondientes, al recibir la energía eléctrica, puede calentar cada uno de los ladrillos y las celdas correspondientes hasta las primeras temperaturas predefinidas. Además, las celdas pueden estar configuradas dentro de la carcasa de forma que haya un espacio predefinido entre celdas adyacentes, para facilitar el flujo de fluido a través de las celdas.

Estructura y forma del ladrillo

[0558] La estructura y la forma de los ladrillos están configuradas para calentarse y enfriarse repetidamente con el fin de almacenar energía. La entrada de energía se proporciona en forma de energía eléctrica, que calienta alambres, filamentos, varillas u otros materiales conductores sólidos para emitir energía térmica radiante. La salida de energía es en forma de calor suministrado en un gas circulante introducido en una porción de la estructura, y que sale de otra porción de la estructura a una temperatura más alta. La estructura incluye materiales refractarios (por ejemplo, ladrillos), que pueden estar en forma de una o más piezas moldeadas o extruidas, y dispuestas de manera que tengan una secuencia alterna, a lo largo de ejes verticales y horizontales. La estructura incluye una pluralidad de cámaras abiertas y ladrillos, con los ladrillos incluyendo pasos de aire que tienen al menos una dimensión que es mucho más pequeña que las otras dos dimensiones. Los conductos están abiertos a las cámaras en sus superficies superior e inferior, y están expuestos internamente a una superficie radiante calentada por resistencia eléctrica. En las cámaras, el calor se transfiere por radiación térmica desde superficies relativamente más calientes a superficies relativamente más frías.

[0559] La figura 36 muestra vistas 36000 de la estructura y forma de ladrillos y pilas, una vista en corte 36001 y una vista isométrica 36003 de una cámara 36005 formada por las superficies de ladrillos adyacentes 36007 que tienen canales 36009 formados como las ranuras 36011. El calentador resistivo 36013 proporciona la energía térmica convertida a partir de la energía eléctrica. Una superficie de la cámara 36003 incluye una superficie calentada a una temperatura superior por energía eléctrica (mostrada como líneas continuas con flechas), y otras superficies de la cámara expuestas a la radiación térmica de todas las superficies internas (mostradas como líneas discontinuas con flechas).

[0560] Con más detalle, tal como se muestra en la figura 37, la estructura 37000 compuesta de materiales refractarios incluye una cámara interior que tiene una región calentada directamente por energía eléctrica que irradia calor. Una región 37001 recibe un mayor flujo radiativo del elemento de calentamiento de energía eléctrica y está a una temperatura más alta, y está irradiando energía térmica dentro de la cámara que es absorbida por las superficies de temperatura más bajas de la cámara 37002, 37003, 37004 a diferentes velocidades basadas en su ángulo y distancia de la primera superficie radiante, y que en consecuencia se calientan a diferentes temperaturas por la radiación entrante de la región 37001. La segunda superficie 37002 está a mayor temperatura que la tercera superficie 37003, que irradia energía térmica absorbida por la tercera superficie 37003, reduciendo la diferencia de temperatura entre ambas. Una cuarta superficie 37004 está situada más lejos de un elemento de calentamiento eléctrico y recibe la radiación entrante emitida por el elemento de calentamiento eléctrico, la primera región superficial 37001, y las regiones superficiales 37002 y 37003, así como otras áreas superficiales.

[0561] El sistema como el anterior, en el que los materiales de ladrillo cuyas superficies respectivas forman las paredes de la cámara tienen cada uno pasos de flujo interno 37005, que permiten el flujo de aire, que tienen al menos una

dimensión que es sustancialmente menor que otras dimensiones, lo que hace que el aire que fluye tenga al menos en parte un patrón de turbulencia. Además, el sistema incorpora una o más regiones por debajo de la primera cámara calentada, con conductos de aire que permiten el flujo ascendente hacia la cámara calentada, pero dispuestos de tal manera que bloquean la radiación térmica emitida por la cámara calentada.

[0562] Los interruptores eléctricos (no mostrados) controlan el funcionamiento de los calentadores eléctricos bajo el mando de un sistema de control (no mostrado). Además, las rejillas y/o los ventiladores de velocidad variable pueden controlar la velocidad del flujo de aire hacia arriba dentro de los conductos y cámaras de aire. La figura 38 es un diagrama 3300 que ilustra un ejemplo de ladrillo 3301 según algunas implementaciones. El ladrillo 3301 está formado en forma de zigzag, teniendo una superficie superior que incluye una región que contiene aberturas 3303 (que son ranuras en este ejemplo) que se extienden verticalmente a través del ladrillo 3301. Además, se proporciona una porción de asiento 3305, de modo que los ladrillos 3301 puedan apilarse uno encima del otro y asentarse de manera que no se desplacen lateralmente uno respecto del otro. Además, las porciones laterales 3307, 3313 en dirección longitudinal pueden disponerse con otros ladrillos de manera que se creen cámaras o cavidades dentro de los ladrillos. Estas cámaras radiativas pueden permitir la rerradiación en varias direcciones, incluida la rerradiación horizontal (por ejemplo, cargar el ladrillo con radiación a 90 grados con respecto al eje vertical, de forma que la radiación se desplace en el plano horizontal).

[0563] La estructura de los ladrillos y las pilas puede favorecer el flujo de energía en el plano horizontal al dar a la radiación una línea de visión libre, o capacidad para mover radiativamente la energía con rapidez en el plano horizontal. Este enfoque puede reducir o evitar los puntos calientes. Simultáneamente, la energía se descarga el eje vertical a la parte superior de la pila. Al permitir que la radiación se mueva libremente en el plano horizontal pero no sustancialmente en el eje vertical, se puede mantener la termoclina (y se obstruye la rerradiación vertical desde el punto de descarga hacia abajo de la pila, de forma que la energía fluye hacia la salida de la forma prevista).

[0564] La forma general del ladrillo 3301 incluye una primera sección que se extiende longitudinalmente en una primera dirección, una segunda sección que está orientada ortogonalmente a la primera sección y se extiende longitudinalmente en una segunda dirección, y una tercera sección que se extiende longitudinalmente en la primera dirección. Así, el ladrillo 3301 tiene un aspecto de zigzag. Cada una de las secciones tiene las aberturas 3303 en un patrón repetido que se extiende a lo largo de la superficie central superior, enmarcada por la porción de asiento 3305 a lo largo de la periferia. Las porciones de asiento de la segunda sección y la tercera sección se muestran como 3309 y 3311, respectivamente. En los extremos opuestos de las secciones primera y tercera del ladrillo 3301 se han previsto rebajes adicionales 3315 y 3317.

[0565] En la implementación ilustrada, las ranuras de flujo de fluido son alargadas en una dirección horizontal. Como se muestra, las ranuras de flujo de fluido pueden estar orientadas con su dirección más larga paralela a los canales del calentador y perpendicular a las cavidades de radiación en un nivel dado.

[0566] La figura 39 ilustra una vista esquemática en perspectiva 3500 de un ladrillo 3501 según otro ejemplo de implementación. Aunque el ladrillo 3301 mostrado en la figura 38 tiene un perfil vertical común en todas sus secciones, el ladrillo 3501 se ensambla de tal manera que hay secciones del ladrillo con diferentes perfiles verticales. Más específicamente, el ladrillo 3501 incluye una primera porción 3501, una segunda porción 3503 y una tercera porción 3507. Estas tres porciones 3501, 3503 y 3507 están conectadas en la unión 3511. Unos rebajes 3513 y 3515 están previstos para alojar el elemento de calentamiento. Como se ha explicado anteriormente, las aberturas 3509 se proporcionan en cada una de las porciones 3501, 3503 y 3507. Una cámara formada por la superficie inferior de la primera porción 3501, y las superficies laterales de la segunda y tercera porciones 3503 y 3507, respectivamente. También se forman porciones de asiento similares en el ladrillo 3501 como se ha explicado anteriormente. Así, los ladrillos 3501 pueden disponerse en una estructura apilada para formar un conjunto, y el conjunto múltiple puede disponerse para formar una unidad o celdas, teniendo una TSU dada una o más unidades o celdas.

[0567] La figura 40 ilustra una vista esquemática en perspectiva 3100 de un ladrillo 3101 según el ejemplo de implementación anterior. La vista en perspectiva se coloca para mostrar las características del ladrillo 3101 desde una perspectiva lateral. Como se ha explicado anteriormente, el ladrillo 3101 incluye las secciones 3103, 3105 y 3107 que están conectadas entre sí en la unión 3111. Se proporcionan ranuras 3109 y rebajes 3113, 3115. De forma similar a lo anterior, se proporciona una región de asiento adyacente a las ranuras en el perímetro de las superficies superiores de las secciones 3103, 3105 y 3107. La cámara formada por las secciones 3103, 3105 y 3107 está directamente detrás de la sección 3103, directamente debajo de la sección 3105, y directamente a la izquierda de la sección 3107 como se ilustra. Otros ladrillos 3101 pueden colocarse apilados o entrelazados con respecto al ladrillo 3101, para formar lados adicionales de la cámara.

[0568] La figura 41 ilustra una vista isométrica 3450 de ladrillos entrelazados según las implementaciones de ejemplo. Más específicamente, los ladrillos 3401, 3403, 3405 y 3407 están dispuestos de manera que las regiones de asiento de los ladrillos están dispuestas para interactuar con ladrillos adyacentes. Como ya se ha explicado, este enfoque permite apilar los ladrillos de forma que se reduzca el riesgo de desalineación o de movimientos indeseados tras la instalación. En 3409, se muestra una cámara formada por los ladrillos entrelazados. Así, los ladrillos, una vez entrelazados, forman la cámara que está sustancialmente cerrada. En algunas implementaciones, un conjunto incluye ladrillos orientados de forma diferente, por ejemplo, con bloques girados en diferentes ángulos, algunos bloques boca abajo, etc.

Ejemplo de conjunto y estructura de la TSU

[0569] La figura 42 ilustra un ejemplo de pila refractaria 3600 según algunas implementaciones. Como se muestra en 3601, los ladrillos pueden ser proporcionados de una manera de enclavamiento, como se explicó anteriormente con respecto a las figuras 40 y 41. Además, la cámara o cavidad se forma en 3603. Las ranuras o aberturas 3605 se extienden verticalmente a través de los ladrillos. Como se muestra en 307, el elemento de calentamiento resistivo se proporciona entre algunos de los ladrillos. Como se ilustra, el elemento de calentamiento resistivo 3607 aparece como un alambre que se extiende en un patrón curvilíneo repetitivo horizontalmente con respecto al flujo de fluido 3609 de la pila 3600. Pueden sustituirse otras configuraciones del alambre calefactor resistivo 3607 por la configuración ilustrada, siempre que el elemento de calentamiento resistivo 3607 reciba la energía eléctrica de la fuente como entrada y genere energía calorífica durante un modo de carga de la TSU.

[0570] En algunas implementaciones, los bloques se apilan adyacentes en hileras verticales de manera que el fluido no puede fluir entre las hileras de bloques en dirección horizontal, sino que fluye únicamente a través de las trayectorias de fluido verticales definidas por las ranuras de fluido y las cámaras de radiación. Esto puede facilitar el calentamiento controlado y uniforme en varias implementaciones.

[0571] La figura 43 muestra una vista isométrica 3700 del apilamiento de los ladrillos según un ejemplo de implementación. Como se muestra en el presente documento, los ladrillos 3701 y 3705 se apilan uno con respecto al otro para formar las cámaras radiativas 3709. Un elemento de calentamiento puede extenderse a través de un espacio 3707 (también denominado canal) entre algunos de los ladrillos adyacentes.

[0572] La figura 44 ilustra una vista en corte lateral 3800 de la pila de ladrillos según el ejemplo de implementación. Por ejemplo, los ladrillos 3801 están dispuestos de forma entrelazada unos con respecto a otros. Algunas porciones de los ladrillos tienen aberturas 3803, tales como ranuras alargadas que se extienden verticalmente a través de esas porciones de los ladrillos. Se proporciona una abertura 3805 entre algunos de los ladrillos en un patrón repetitivo, tanto horizontal como verticalmente a lo largo de la pila. El elemento de calentamiento resistivo, representado como 3807 se proporciona en las aberturas 3805. A medida que el fluido fluye verticalmente como se muestra en 3809, el fluido se calienta. Aunque no se ilustra en este dibujo, las cámaras radiativas formadas por los ladrillos entrelazados, en conjunción con las aberturas 3805, proporcionan la absorción del calor irradiado desde los elementos de calentamiento 3807, y además permiten la conducción del calor dentro de un bloque en varias direcciones y la rerradiación del calor en varias direcciones. En particular, el calor puede irradiarse en una dirección horizontal.

[0573] La figura 45 ilustra una vista isométrica 3900 de las filas de ladrillos apilados según las implementaciones de ejemplo. Más específicamente, algunos de los ladrillos 3901, 3903 están entrelazados entre sí en un primer nivel de la pila, y otras porciones de esos mismos ladrillos en 3909 y 3911 están entrelazados entre sí y en una segunda capa de la pila. Los ladrillos adyacentes 3913 pueden entrelazarse con algunos de los ladrillos de la fila adyacente. Otros ladrillos 3905 pueden no entrelazarse con algunos de los ladrillos de la fila adyacente, y en su lugar pueden estar separados por el espacio en el que se coloca el elemento de calentamiento.

[0574] Al formar un encaje entre los ladrillos, la pila puede ser soportada lateralmente en los lados. Por ejemplo, los ladrillos separados en 3909 y 3911 son atravesados por un solo ladrillo en 3901 y 3903, para formar el encaje entrelazado con los ladrillos subyacentes. Como se ha explicado anteriormente, una superficie superior del ladrillo tiene ranuras en una porción central y un labio en la porción del borde. El labio en la parte del borde soporta la carga de otro ladrillo que está por encima del ladrillo. Generalmente, los labios o porciones de estantes de los bloques de almacenamiento térmico pueden entrelazarse con otros labios/estantes o con otras porciones de bloques para evitar que los bloques se desplacen lateralmente unos respecto a otros. Por ejemplo, en caso de terremoto, es posible que los ladrillos no se muevan porque están rodeados de otros ladrillos encajados mediante la estructura de labio. El soporte lateral puede dar lugar a una estructura más estable para la pila.

[0575] Además, los ladrillos individuales pueden formarse a mayor escala, con paredes adicionales, filas, cámaras, niveles verticales, ranuras y similares utilizados en una única estructura de bloques, de tal forma que se formen múltiples cámaras dentro de la estructura de bloques única. Los bloques pueden ser todos del mismo tamaño o de tamaños diferentes. Por ejemplo, y como se ha explicado anteriormente, la altura de los ladrillos en la región inferior de la pila puede ser menor que la altura de los ladrillos en la región superior de la pila. Al tener estructuras más grandes, se necesitan menos estructuras para formar una pila. Del mismo modo, varios ladrillos pueden fundirse entre sí antes de apilarlos, para tener el mismo efecto que un ladrillo fabricado a gran tamaño y escala como un solo bloque. En cualquier caso, un beneficio potencial de tener menos estructuras para formar una pila es la facilidad de montaje, por ejemplo, al requerir el encaje de menos piezas entre sí. Además, el enfoque con bloques más grandes también puede evitar una desventaja potencial de ensamblar más ladrillos y más pequeños, en el sentido de que los ladrillos entrelazados que se apilan unos encima de otros pueden rozarse entre sí durante la expansión térmica, causando así un desgaste adicional. Los ladrillos más grandes tienen una superficie menor en contacto con otros ladrillos, lo que puede provocar un menor desgaste.

[0576] En algunas implementaciones, las ranuras que están adyacentes a los elementos de calentamiento son paralelas a los elementos de calentamiento, mientras que las ranuras que están por encima de los elementos de calentamiento son ortogonales a los elementos de calentamiento. En estas implementaciones, las ranuras pueden ser perpendiculares a una pared desde la que se recibirá radiativamente la energía. Como puede verse en el dibujo, por encima y paralelamente a la dirección de los elementos de calentamiento se forma una larga hilera de ranuras. Los ladrillos tienen ranuras ortogonales a las filas largas de ranuras, y esas ranuras están espaciadas por las cámaras radiativas.

[0577] En algunas implementaciones, los bloques de almacenamiento térmico pueden dimensionarse en función de la conductividad térmica. Por ejemplo, en algunas implementaciones, la energía térmica debe irradiarse al ladrillo con una determinada conductividad térmica, en un tiempo determinado, dada la masa térmica. Si el tamaño del ladrillo es demasiado grande, el tiempo necesario para que la energía se irradie a la porción central del ladrillo puede exceder el tiempo disponible, y la porción central del ladrillo no se calentará a tiempo para los ciclos de carga y descarga. Por otro lado, si la cámara se dimensiona por debajo de una determinada anchura, aunque la temperatura puede volverse más homogénea, la cámara puede volverse demasiado estrecha, lo que puede causar problemas de flujo o de integridad estructural.

[0578] La forma general de los bloques también puede variar. Aunque los ejemplos aquí mostrados ilustran volúmenes rectangulares con paredes relativamente planas y estructuras entrelazadas con estructuras de posición ortogonal formadas por encima o por debajo, la forma no está limitada. Por ejemplo, los ladrillos pueden estar formados de manera que la forma general es trapezoidal u ovalada en lugar de rectangular. Además, la pared no tiene por qué ser plana, y puede ser curva, serpentina o de algún otro perfil. También, como alternativa a tener ranuras en los ladrillos, los ladrillos pueden estar configurados para ser apilados con elementos sustancialmente más delgados para formar huecos entre los ladrillos, y alternando los ladrillos, para formar los huecos como el equivalente de ranuras, de tal manera que el fluido pase entre los ladrillos.

Ejemplos adicionales de bloques de almacenamiento térmico

[0579] La figura 46 es un diagrama que muestra una vista isométrica de un conjunto de bloques de almacenamiento térmico. En el ejemplo ilustrado, los bloques de almacenamiento definen canales (por ejemplo, el canal 4607) en los que se colocan los elementos de calentamiento. Los canales pueden incluir hendiduras horizontales para colgar elementos de calentamiento. Como se muestra, los bloques definen múltiples cavidades de radiación 4601 y múltiples ranuras de flujo de fluido 4603. Las cavidades y las ranuras están dispuestas de tal manera que una determinada trayectoria vertical de flujo de fluido incluye cavidades y ranuras alternas, con una cavidad situada por encima de una ranura que a su vez está situada por encima de una cavidad, y así sucesivamente, hasta llegar a la parte superior del conjunto. Así, una trayectoria de fluido dada puede incluir múltiples cavidades y múltiples ranuras de flujo de fluido, que pueden alternarse. El volumen definido por una cavidad dada es mayor que el volumen definido por una ranura de flujo de fluido dada, en este ejemplo.

[0580] En el ejemplo ilustrado, los bloques también incluyen ranuras 4605 situadas por encima de los canales para los elementos de calentamiento. El flujo de fluido también puede producirse a través de estas ranuras, por ejemplo, debido al movimiento causado por un soplador o debido a la flotabilidad del fluido calentado. Como se muestra, los canales del calentador 4607 están situados adyacentes a las cavidades de radiación y ortogonales a la dirección vertical del flujo de fluido, lo que puede promover la radiación horizontal y la transferencia de energía. Los elementos de calentamiento también pueden calentar los ladrillos por convección.

[0581] Como se muestra, en algunas implementaciones el tamaño de las cavidades de radiación es bastante grande en relación con el tamaño de las porciones de bloque que limitan las cavidades. En algunas implementaciones, el área cubierta en un plano horizontal por una cavidad de radiación dada es de al menos el 40 %, 60 %, 70 % u 80 % del área de una superficie de una porción de un bloque de almacenamiento térmico que limita la cavidad de radiación (donde el área de la superficie de la porción del bloque de almacenamiento térmico incluye el área de cualquier ranura en la porción). El tamaño considerable de las cavidades de radiación puede facilitar un calentamiento uniforme a través de la energía radiada.

[0582] La figura 47 es un diagrama que muestra una vista en perspectiva en despiece de los bloques de la figura 46. Como se muestra, los bloques pueden tener diferentes tamaños en una pila determinada. Los bloques pueden estar formados de tal manera que múltiples bloques definan una cavidad de radiación dada o una ranura de flujo de fluido. El tamaño relativamente grande de los bloques en la implementación ilustrada puede reducir el desgaste debido a las fuerzas de fricción entre los bloques causadas por ligeros movimientos o expansión/compresión de los bloques. Los bloques más grandes pueden incluir cada uno múltiples cavidades de radiación y ranuras de flujo de fluido y también pueden cubrir múltiples cavidades/ranuras en un nivel inferior. Los bloques más grandes pueden fabricarse enteros (por ejemplo, utilizando un molde del tamaño correspondiente) o en secciones y fusionarse entre sí. Como se muestra, un bloque dado puede incluir cavidades de radiación y ranuras de flujo de fluido en múltiples elevaciones verticales. Generalmente, un bloque dado puede incluir múltiples porciones que limitan cada una múltiples cavidades de radiación e incluyen una o más ranuras de flujo de fluido.

[0583] La figura 48 es un diagrama que muestra una vista de arriba hacia abajo de los bloques de la figura 46, según algunas implementaciones. Como se muestra, las trayectorias de flujo de fluido están formadas por conjuntos

correspondientes de cámaras de radiación 4601 y ranuras de fluido 4603. Esta vista también muestra las ranuras 4605 situadas por encima y por debajo de los canales de los elementos de calentamiento.

[0584] La figura 49 es un diagrama que muestra una vista de arriba hacia abajo de uno o más bloques de almacenamiento térmico, según algunas implementaciones. En el ejemplo ilustrado, el(los) bloque(s) incluye(n) canales calentadores 49007, elementos de calentamiento 49009 posicionados en los canales calentadores, ranuras calentadoras 49005, cámaras de radiación 49001, y ranuras de flujo de fluido 49003. En algunas implementaciones, los bordes redondeados de las cámaras de radiación pueden facilitar un calentamiento relativamente uniforme de los bloques.

[0585] Obsérvese que el bloque o bloques de la figura 49-figura 51 son, por lo demás, muy similares a los bloques de la figura 46, pero con múltiples ranuras de fluido 49003 posicionadas por encima de una cavidad de radiación dada 49001. En estas implementaciones, la corriente de fluido pasa a través de las múltiples ranuras de flujo de fluido desde una cavidad de radiación correspondiente (y en muchos casos, desde las múltiples ranuras de flujo de fluido hacia otra cavidad de radiación correspondiente de la trayectoria de fluido). Esto puede proporcionar estabilidad estructural adicional y densidad de almacenamiento térmico. Además, las ranuras más pequeñas pueden reducir el flujo laminar en las ranuras, lo que puede mejorar la transferencia de energía.

[0586] La figura 50 es una vista isométrica del bloque(s) de la figura 49 y la figura 51 es una vista lateral del bloque(s) de la figura 49.

Ejemplo de pilas y unidad de almacenamiento térmico

[0587] La figura 52 ilustra una vista isométrica 4000 de la pila 4001 de ladrillos (que también puede denominarse conjunto) según un ejemplo de implementación. Más concretamente, se proporcionan columnas 4009 de los ladrillos. En este caso, hay seis columnas. Sin embargo, el número de columnas no está específicamente limitado, y pueden formarse más o menos columnas en una pila. Además, la pila tiene una porción inferior 4003 y una porción superior 4005. Los ladrillos de la porción inferior 4003 pueden tener una altura menor en comparación con los ladrillos de la porción superior 4005 de la pila 4001. También se muestran como referencia las aberturas 4007 para los elementos de calentamiento resistivos.

[0588] La figura 53 ilustra una vista lateral 4100 de un sistema de ejemplo según algunas implementaciones. Una estructura exterior 4101 puede incluir un marco que proporcione protección sísmica, así como una superficie exterior de la propia TSU. No es necesario que la superficie exterior de la TSU y el bastidor estén construidos integralmente o incluso conectados entre sí, pero opcionalmente pueden tener tal disposición. Además, se proporciona una base 4103 en una superficie inferior de la TSU. Un generador de vapor 4105 se proporciona en una salida de la TSU, así como un soplador de aire que no se ilustra.

[0589] El sistema puede incluir múltiples unidades 4107, 4109 que son controladas individualmente para descarga y carga, como se explicó anteriormente. Cada una de las unidades 4107, 4109 incluye pilas de ladrillos formadas en columnas 4119. Los ladrillos 4121 pueden incluir un paso o abertura 4123, a través del cual puede pasar el elemento de calentamiento resistivo.

[0590] En la parte inferior de las unidades 4107, 4109, el flujo de fluido entrante puede ser controlado por las rejillas 4111 y 4113, respectivamente. Las rejillas pueden funcionar en conjunción con la derivación de fluido caliente, que se ha explicado anteriormente con respecto al sistema global. Como también se ha explicado anteriormente, cada unidad 4107, 4109 se controla de forma independiente, de tal manera que la rejilla 4111 está abierta mientras que la rejilla 4113 está cerrada. Del mismo modo, se pueden proporcionar presas de fluido o rejillas en las partes superiores, como se muestra en 4115 y 4117, respectivamente.

[0591] La figura 54 ilustra una vista isométrica 4200 del sistema, con cortes que muestran los elementos del sistema, según las implementaciones de ejemplo. Más específicamente, la estructura 4201 puede incluir el marco exterior que tiene características de protección sísmica, ya sea integralmente o separado de la superficie exterior de la TSU. Se ilustran una base 4203 y el generador de vapor 4205, así como el soplador de fluido 4223.

[0592] Cada una de las unidades 4207, 4209 puede estar separada por una o más estructuras de soporte de ladrillo o paredes que tengan propiedades aislantes. Así, el controlador puede controlar independientemente la carga y descarga de cada una de las unidades 4207, 4209. Además, como se explicó anteriormente persianas 4211 y 4213 se proporcionan para controlar el flujo de par de entrada a las unidades 4207, 4209. Como se muestra en 4215, el fluido calentado se canaliza al generador de vapor 4205. Como referencia, cada una de las unidades 4207 incluye múltiples columnas 4221 de ladrillos apilados 4217, incluyendo elementos de calentamiento en un espacio en 4219.

[0593] La figura 55 ilustra una vista isométrica 4300 de una estructura exterior 4301 de la TSU según un ejemplo de implementación. Se proporciona un conducto o canal 4303 para dar salida al fluido caliente hacia el generador de vapor, que no se muestra. El fluido caliente se canaliza desde las pilas de ladrillos de las unidades a través de los conductos 4305.

[0594] La figura 56 ilustra otra vista en perspectiva 4400 del sistema de almacenamiento de energía térmica según las implementaciones de ejemplo. Se entiende que las pilas de ladrillos, las unidades, el aislamiento dinámico y otras estructuras y características descritas anteriormente están contenidas en la TSU 4401. La salida de la TSU 4401 suministra fluido caliente a la salida 4403. El fluido caliente es recibido en 4405 por un generador de vapor. No obstante, pueden preverse estructuras adicionales para que el fluido caliente se envíe, simultánea o independientemente, directamente a la aplicación industrial. También se muestra una entrada de agua 4407, que puede bombear agua a través de los conductos del generador de vapor 4405 basándose en el agua recibida como retroalimentación de la aplicación industrial, o agua de una fuente externa. El soplador de fluido 4409, que proporciona el fluido enfriado que es el subproducto de pasar a través del generador de vapor, o la reutilización en la TSU 4401, como circula ya sea por aislamiento dinámico o derivación de fluido caliente, como se explicó anteriormente.

[0595] La figura 57 ilustra una vista isométrica 4500 del sistema de almacenamiento de energía térmica según un ejemplo de implementación. Como se ha explicado anteriormente, el sistema puede enmarcarse con características de protección sísmica, ya sea separada o integral con la estructura exterior 4501. Entre la estructura exterior 4501 y una capa aislante 4517, hay un espacio de fluido para el aislamiento dinámico, como se explica en detalle más adelante, con el flujo controlado por las rejillas 4513 y 4515 a la entrada de las pilas. Además, un paso 4503 recibe el fluido calentado de las pilas de ladrillos y las unidades, y pasa el fluido calentado a una salida, y un conducto 4505, que proporciona el calor para ser utilizado en aplicaciones industriales, tales como un generador de vapor o como aeropuerto directo otro proceso industrial. La salida puede procesarse en 4507 en el generador de vapor. Además, en 4509, se pueden proporcionar entradas de agua y salidas de vapor. El fluido enfriado puede ser recirculado a la TSU por medio del soplador 4511.

Ejemplo de sistema con aislamiento dinámico y técnicas de ventilación a prueba de fallos

[0596] En algunas implementaciones, el sistema utiliza aislamiento dinámico para mejorar ventajosamente el aislamiento de una TSU, permitir el uso de materiales de aislamiento menos costosos, aumentar la vida útil del equipo, o alguna combinación de los mismos. En algunas implementaciones, el sistema utiliza una corriente de fluido que eventualmente pasará a través de uno o más conjuntos de bloques de almacenamiento térmico para facilitar primero el aislamiento pasivo. En algunas implementaciones, el fluido se recicla, por ejemplo, de un generador de vapor.

[0597] Además, el sistema puede utilizar ventajosamente ventilación a prueba de fallos para evitar el sobrecalentamiento en ciertos escenarios de fallo. La ventilación también puede utilizarse para reducir la temperatura y permitir el mantenimiento de la TSU. Las técnicas de aislamiento dinámico y venteo a prueba de fallos descritas pueden aplicarse de forma independiente (por ejemplo, un sistema puede utilizar aislamiento dinámico pero no venteo a prueba de fallos, o viceversa). En algunas aplicaciones, sin embargo, las dos técnicas operan de forma sinérgica. Por ejemplo, la ventilación a prueba de fallos puede utilizar el efecto chimenea para extraer fluido de forma pasiva a través de los pasillos por los que normalmente se dirige el fluido mediante un soplador para el aislamiento dinámico.

[0598] La figura 58 proporciona una vista isométrica de otro ejemplo de unidad de almacenamiento térmico, según algunas implementaciones. En el ejemplo ilustrado, la unidad de almacenamiento térmico 5800 incluye un recinto exterior 5801 un cierre de ventilación exterior 5803, ventilaciones laterales 5809, y componentes 5807. En algunas implementaciones, varias rejillas de ventilación pueden abrirse para enfriar la unidad para el mantenimiento o para enfriar la unidad de forma segura en caso de fallo del equipo. Ejemplos de posibles averías de los equipos son, entre otros: averías de los ventiladores, cortes de electricidad, averías de agua. Varios elementos utilizados para el aislamiento dinámico también pueden utilizarse para la refrigeración pasiva mediante el mecanismo de seguridad.

[0599] En algunas implementaciones, al menos una porción del generador de vapor se incluye dentro del recinto exterior 5801 (como se muestra en la figura 58 a la figura 62 y que se discuten en detalle a continuación). Otros componentes 5807 ubicados fuera del recinto exterior pueden incluir otros componentes del generador de vapor, como una bomba de agua, válvulas, una válvula de alivio de presión de emergencia, etc. En algunas implementaciones, la parte del generador de vapor en la que el fluido caliente de los bloques de almacenamiento térmico interactúa con los tubos de agua está incluida en el recinto exterior. En algunas implementaciones, esto puede permitir ventajosamente que se produzcan fugas de fluido en ciertas ubicaciones dentro de la carcasa exterior, lo que puede mitigar los efectos de esas fugas en relación con las fugas a un exterior de la carcasa exterior. Además, las diferencias de presión dentro de las distintas partes de la unidad también pueden mitigar los efectos de las fugas de fluidos. Los componentes 5807 pueden incluir además otros componentes que no forman parte del generador de vapor, como componentes eléctricos, sistemas de refrigeración para componentes eléctricos, etc.

[0600] La figura 59 proporciona una vista isométrica de la unidad de almacenamiento térmico con múltiples cierres de ventilación abiertos, según algunas implementaciones. Por lo tanto, la figura 59 puede representar un modo de funcionamiento de mantenimiento o a prueba de fallos. Como se muestra, la unidad de almacenamiento térmico también incluye un recinto interior 5823 (mostrado con más detalle en la figura 60). La superficie exterior de la carcasa interior 5823 y la superficie interior de la carcasa exterior definen un paso de fluido a través del cual el fluido puede ser conducido activamente para una refrigeración dinámica o pasivamente para un funcionamiento a prueba de fallos.

[0601] El recinto interior 5823 incluye dos ventilaciones 5815 y 5817 que incluyen cierres de ventilaciones correspondientes en algunas implementaciones (porciones de la puerta de ventilaciones 5813, en este ejemplo). En algunas implementaciones, las ventilaciones 5815 y 5817 definen pasos respectivos entre un interior del recinto interior 5823 y un exterior del recinto interior. Cuando el cierre de ventilación externa 5803 está abierto, estas dos ventilaciones también están expuestas al exterior de la caja externa.

[0602] Como se muestra, la ventilación 5815 puede ventilar fluido calentado de los bloques de almacenamiento térmico conducido por el conducto 5819. La ventilación 5817 puede permitir la entrada de fluido exterior en el paso de fluido y eventualmente en los fondos de los conjuntos de bloques de almacenamiento térmico a través de las rejillas 5811 (el cierre de ventilación 5809 puede permanecer cerrado en esta situación). En algunas implementaciones, la flotabilidad del fluido calentado por los bloques hace que salga por la ventilación 5815 y un efecto chimenea arrastra el fluido externo hacia el recinto exterior a través de la ventilación 5817. Este fluido externo puede entonces ser dirigido a través de las rejillas 5811 debido al efecto chimenea y facilitar el enfriamiento de la unidad. En términos generales, un primer cierre de ventilación puede abrirse para dar salida al fluido calentado y un segundo cierre de ventilación puede abrirse para dar entrada al fluido externo para la operación de ventilación pasiva.

[0603] Durante el enfriamiento pasivo, las rejillas 5811 también pueden recibir fluido externo directamente, por ejemplo, cuando el cierre de ventilación 5809 está abierto. En esta situación, ambas ventilaciones 5815 y 5817 pueden dar salida al fluido de los recintos interior y exterior.

[0604] La puerta de ventilación 5813 en la implementación ilustrada, también cierra una entrada al generador de vapor cuando las ventilaciones 5815 y 5817 están abiertas. Esto puede evitar daños en los componentes del generador de vapor (como los tubos de agua) cuando se corta el agua, el soplador no funciona u otras condiciones de fallo. La ventilación 5817 puede comunicarse con uno o más sopladores que pueden permitir que el fluido se mueva pasivamente a través de los sopladores incluso cuando no están funcionando. En términos generales, uno o más cierres de ventilación a prueba de fallos pueden cerrar uno o más pasillos para cortar el fluido calentado por los bloques de almacenamiento térmico y reducir o evitar daños en el equipo.

[0605] Cuando la puerta de ventilación 5813 está cerrada (por ejemplo, como se muestra en la figura 60), puede definir parte del paso de fluido utilizado para el aislamiento dinámico. Por ejemplo, el sistema de movimiento de fluidos puede mover el fluido hacia arriba a lo largo de una pared del recinto interior, a través de una superficie exterior de la puerta de ventilación 5813, a través de un techo del recinto interior, por uno o más lados del recinto interior, y dentro de los bloques de almacenamiento térmico (por ejemplo, a través de las rejillas 5811). Las rejillas 5811 pueden permitir el control del flujo de fluido en conjuntos de bloques de almacenamiento térmico, incluido el control independiente de conjuntos aislados por separado en algunas implementaciones.

[0606] En la posición cerrada, la puerta de ventilación 5813 también puede definir una trayectoria de entrada para que el fluido calentado pase de los bloques de almacenamiento térmico al conducto 5819 y por debajo de la puerta de ventilación 5813 al generador de vapor para generar vapor. La figura 61 muestra un pasadizo 5829 que está abierto cuando la puerta de ventilación 5813 cierra las ventilaciones 5815 y 5817 para que el fluido calentado entre en el generador de vapor.

[0607] En algunas implementaciones, uno o más de la puerta de ventilación 5813, el cierre de ventilación 5803 y el cierre de ventilación 5809 están configurados para abrirse en respuesta a una condición de no operación de uno o más elementos del sistema (por ejemplo, no operación del sistema de movimiento de fluidos, falla de energía, falla de agua, etc.). En algunas implementaciones, uno o más cierres o puertas de ventilación se mantienen en una posición cerrada utilizando energía eléctrica durante el funcionamiento normal y se abren automáticamente cuando se pierde la energía eléctrica o en respuesta a una señal que indica su apertura.

[0608] Como ejemplo, la unidad de almacenamiento térmico puede incluir un engranaje helicoidal (no mostrado) configurado para cerrar un cierre de ventilación bajo energía eléctrica y un embrague eléctrico configurado para mantener el cierre de ventilación en posición. En algunas implementaciones, cuando el embrague eléctrico no está accionado, la fuerza de la gravedad tira del cierre de ventilación para abrirlo. En algunas implementaciones, la unidad incluye un contrapeso configurado para facilitar la apertura de uno o más cierres de ventilación. En algunas implementaciones, la unidad incluye uno o más miembros elásticos, por ejemplo muelles, configurados para empujar o tirar de un cierre de ventilación para abrirlo. En algunas implementaciones, uno o más interruptores eléctricos están configurados para controlar la apertura o cierre de uno o más cierres de ventilación. Además, uno o más cierres de ventilación pueden abrirse manualmente o en base a la entrada de control manual, por ejemplo, para el modo de mantenimiento.

[0609] En algunas implementaciones, uno o más cierres de ventilación se abren mientras un soplador de fluido está funcionando, por ejemplo, para enfriar rápidamente la unidad para su mantenimiento.

[0610] La figura 60 proporciona una vista isométrica de la unidad de almacenamiento térmico con múltiples cierres de ventilación cerrados y cortes en la carcasa exterior, según algunas implementaciones. Como se muestra, los recintos forman múltiples porciones 5825 de un paso de fluido entre el recinto interior 5827 y el recinto exterior 5801. El fluido

puede moverse a lo largo de estas porciones cuando es impulsado por el sistema de movimiento de fluido (por ejemplo, un soplador 5821) para el aislamiento dinámico o pasivamente durante la operación a prueba de fallos.

[0611] La figura 61 proporciona una vista en perspectiva más detallada del cierre de ventilación primario, según algunas implementaciones. Como se muestra, el paso 5829 conduce al generador de vapor y esta entrada está cerrada de los bloques de almacenamiento térmico cuando la puerta de ventilación 5813 está abierta, pero se abre para permitir el paso de fluido externo al recinto exterior (incluido el paso 5825). La figura 61 también muestra un conjunto 5831 de ladrillos de almacenamiento térmico.

[0612] La figura 62 proporciona una vista en perspectiva aún más detallada de una bisagra para el cierre de ventilación primario, según algunas implementaciones. En el ejemplo ilustrado, la puerta de ventilación 5813 incluye una bisagra formada por un cilindro 5833 y una ranura en la porción 5835 y está configurada para girar alrededor de la bisagra. En algunas implementaciones, la bisagra no está centrada, lo que puede hacer que la gravedad tire de la puerta 5813 para abrirla cuando no se mantiene cerrada. Como se muestra, la puerta 5813 puede incluir varias superficies configuradas para proporcionar un fuerte sellado contra una o más superficies cuando está abierta o cerrada.

[0613] Como se ha comentado anteriormente, el aislamiento dinámico puede implementarse en la TSU. El sistema de ejemplo también puede incluir características pasivas de seguridad a prueba de fallos. Cuando el sistema está apagado, la conducción térmica puede calentar lentamente los cimientos si no hay ventilación pasiva. Una o más ventilaciones pueden crear un efecto chimenea al permitir la entrada de fluido externo en el sistema, y permitir que el fluido caliente dentro del sistema se ventile hacia arriba fuera de la unidad. Esto puede permitir que el fluido del sistema salga a un ritmo lento sin necesidad de un soplador, debido al movimiento convectivo natural del fluido causado por la flotabilidad del fluido caliente que asciende por las columnas. Este efecto de flotación puede arrastrar fluido frío hacia el interior y a través del sistema como medida de seguridad pasiva, que abre el paso si se ha interrumpido la alimentación y garantiza que el sistema no se sobrecaliente lentamente. Este aspecto de las implementaciones de ejemplo puede hacer ventajosamente que el sistema sea intrínsecamente seguro y permitir que el sistema se coloque en lugares que de otro modo no estarían permitidos si las superficies exteriores no fueran seguras (por ejemplo, demasiado calientes) al tacto.

[0614] Este enfriamiento pasivo puede impedir que los ladrillos alcancen temperaturas lo suficientemente altas como para fundir las estructuras de refuerzo de acero que proporcionan refuerzo sísmico y soporte estructural a los ladrillos. Esta estructura de refuerzo puede estar situada dentro de la unidad pero fuera del pasillo de aislamiento dinámico.

[0615] La flotabilidad del fluido puede permitir un flujo automatizado del fluido a través de al menos una de las trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico desde el extremo inferior de las celdas hasta el extremo superior de las mismas, de forma que el fluido que pasa a través de los ladrillos y/o elementos de calentamiento de las celdas absorbe energía térmica de los ladrillos y/o elementos de calentamiento, incluso cuando las unidades de soplado de fluido dejan de funcionar en caso de fallo eléctrico o mecánico, manteniendo así la temperatura de las paredes exteriores y soportes de la unidad a sus temperaturas predefinidas o por debajo de las mismas. Dicho flujo impulsado por la flotabilidad puede obtenerse mediante uno o más paneles móviles u otros puertos que se abren pasivamente en una ubicación superior y en una ubicación inferior dentro del sistema en caso de fallo de dicho componente o fallo de alimentación.

[0616] El diseño de dichos puertos y conductos de flujo de fluidos puede mejorar la seguridad pasiva intrínseca de la unidad, garantizando que los elementos críticos, como los soportes estructurales, y los elementos relacionados con la seguridad, como las superficies externas, no superen sus límites de diseño, sin equipos activos ni necesidad de alimentación eléctrica. Esta configuración puede permitir que el sistema consiga una parada controlada y estable incluso en caso de fallo mecánico inesperado, fallo de los sensores o pérdida de alimentación de las soplantes o cualquier otro fallo del sistema de control. Esta configuración también puede facilitar la refrigeración controlada para el mantenimiento, de forma pasiva o junto con uno o más sopladores activos.

Materiales de ladrillo

[0617] En algunas implementaciones, los bloques de almacenamiento térmico están hechos de un material refractario (por ejemplo, moldeable) que tiene una alta conductividad térmica y capacidad de absorción. El ladrillo puede estar hecho de una composición predefinida de cualquier alúmina o una combinación de alúmina, agregados como magnetita u olivino, y aglutinantes. La selección del material, el tamaño y la fracción de árido en el aglutinante pueden elegirse para optimizar la resistencia, la conductividad térmica, el intervalo de temperatura, el calor específico y/o el coste. Por ejemplo, los materiales de mayor conductividad térmica reducen las diferencias de temperatura para un flujo de calor dado y permiten utilizar menos ladrillos y de mayor tamaño. Pueden elegirse materiales aglutinantes que fraguan durante la colada, o materiales que se cuecen térmicamente antes de su uso o que cambian de composición una vez calentados durante su uso.

[0618] Los ladrillos pueden fabricarse utilizando un molde. Más concretamente, el material puede suministrarse en forma de polvo que se mezcla con agua, para conseguir una consistencia basada en la cantidad de agua añadida en relación con el volumen de potencia. La mezcla se vierte en un molde y se endurece en el mismo durante un tiempo. Se retira el molde y se forman los ladrillos fraguados. Alternativamente, los ladrillos pueden fabricarse utilizando un sistema de

prensado de ladrillos o un sistema de extrusión de ladrillos. Independientemente del método de fabricación, los ladrillos pueden formarse de manera que se reduzcan o eliminen los huecos no intencionados dentro de las áreas de bloques sólidos.

5 **[0619]** La figura 63 ilustra una composición 3200 del ladrillo 3201 según las implementaciones de ejemplo. Un agregado 3203, 3209 se proporciona en un aglutinante 3205. Además, también pueden incluirse elementos de conductividad térmica 3213, materiales de cambio de fase 3211 y/o elementos de refuerzo 3207.

10 **[0620]** Los elementos de los ladrillos también pueden incluir elementos que mejoren la resistencia mecánica del material, especialmente en tensión, tal como agujas o fibras o alambres, y pueden incluir materiales diseñados para cambiar de formas físicas que absorban y liberen calor, como reacciones termoquímicas reversibles o cambios de fase como la fusión y la congelación. Estos materiales pueden utilizarse selectivamente en algunos de los ladrillos, teniendo diferentes ladrillos diferentes composiciones.

15 **[0621]** La composición predefinida de los materiales conductores térmicos y la dimensión predefinida de los ladrillos utilizados, así como los atributos termoelectricos de los elementos de calentamiento correspondientes a cada uno de los ladrillos, pueden elegirse de manera que cada uno de los ladrillos correspondientes a una celda pueda calentarse uniformemente, de modo que se mantenga un perfil de temperatura sustancialmente constante a lo largo (o en altura) de cada una de las celdas durante un tiempo predeterminado. El ejemplo de implementación anterior puede tener beneficios y ventajas, incluyendo la ralentización de la rampa de temperatura, así como la reducción de la generación de puntos calientes y fríos, tensiones mecánicas, tensiones térmicas y grietas en los ladrillos. Además, el uso de múltiples ladrillos para formar una única celda puede facilitar una mayor superficie de canal y un menor flujo de calor por unidad de superficie.

25 **Ladrillos - Pretratamiento**

[0622] Los bloques de almacenamiento térmico y otros componentes también pueden beneficiarse de un pretratamiento y acondicionamiento. Por ejemplo, un ladrillo puede ser expuesto a uno o más ciclos térmicos con tasas controladas de calentamiento y enfriamiento, ya sea antes de su instalación o dentro del sistema de almacenamiento antes de ser puesto en servicio, dado que los ciclos iniciales pueden tener un mayor impacto en sus propiedades mecánicas que los ciclos posteriores.

Componentes de la unidad de almacenamiento/Integración

35 **[0623]** Para la unidad de almacenamiento, pueden utilizarse contenedores de transporte, pero sin limitarse a ellos. Por ejemplo, la unidad de almacenamiento puede tener del orden de 6 metros de altura y albergar las pilas de ladrillos. Los contenedores incluyen componentes electrónicos y cables que los acoplan a la estructura de ladrillo de la carcasa, que está protegida para evitar daños debidos a elementos externos tales como la lluvia. Los componentes electrónicos pueden permanecer a temperatura ambiente, lo que permite utilizar componentes estándar y fiables. Un generador de vapor está acoplado al sistema de almacenamiento, y el fluido frío fluye por encima, por debajo y alrededor de las pilas.

40 **[0624]** Los elementos de calentamiento pueden estar integrados dentro y con el ladrillo para calentar eléctricamente el medio de almacenamiento durante el periodo de carga, por ejemplo durante el día (o en un momento que puede estar determinado por otros factores como la disponibilidad de electricidad a un coste relativamente menor). La estructura alberga una pila de ladrillos con conductos de fluido que los atraviesan sustancialmente en vertical; el fluido caliente sale por un conducto situado en la parte superior de la pila y adyacente a las tuberías, para convertir el agua en vapor. El fluido refrigerante puede reciclarse o salir por la parte posterior de la estructura, por ejemplo.

50 **[0625]** La unidad puede tener, en un extremo, una pared con orificios y el extremo de los alambres que sobresalen y los puentes para conectar los alambres de un lado a otro. En el otro extremo de la unidad, los contenedores pueden estar configurados con una distribución de barras conductoras provistas de distribución eléctrica para suministrar energía a las cadenas de elementos de calentamiento de alambre. Las barras colectoras se conectan a los controladores dentro de los contenedores.

55 **[0626]** Los elementos de calentamiento pueden ser reparables y sustituibles, en caso necesario, deslizándose dentro y fuera de las aberturas que atraviesan el edificio. Los elementos viejos, o los que requieren mantenimiento o sustitución, pueden empujarse o extraerse y sustituirse por uno nuevo sin necesidad de mover otros elementos, tal como las barras colectoras. Así, la unidad puede desactivarse, las conexiones a la barra colectoras pueden separarse (por ejemplo, desatornillarse) del lado del contenedor y los elementos de calentamiento pueden retirarse del lado opuesto. Se pueden insertar nuevos elementos desde el lado opuesto y atornillarlos a las barras colectoras desde el lado del contenedor, y la unidad se vuelve a energizar. Durante dicho periodo de mantenimiento, el aislamiento puede permanecer en su lugar con el alambre sobresaliendo a través de un tapón aislante en el extremo.

60 **[0627]** El espacio entre el techo interior y el exterior puede contener el fluido de retorno relativamente más frío, y el recinto interior puede contener el fluido muy caliente que sale de la parte superior de las pilas. Se proporciona un conducto interno que facilita el transporte del fluido por un conducto a través del generador de vapor, por donde sale el fluido. Un

ventilador situado a la salida del generador de vapor puede colocarse en fluido frío, en la cavidad entre las salas interior y exterior. Esta configuración permite que el ventilador no necesite la metalurgia necesaria para funcionar a temperaturas más elevadas y aumenta su fiabilidad.

[0628] El conducto de fluido caliente que alimenta al generador de vapor puede resultar caro debido a la alta temperatura del fluido. También puede tener una gran caída de presión, ya que el fluido se ha expandido varias veces el volumen que tenía cuando estaba frío. Por lo tanto, el conducto de fluido caliente debe ser significativamente más grande de lo necesario para manejar el fluido frío. Sin embargo, quitar el fluido en un lado del techo interior puede reducir el coste del conducto de alta temperatura por varias razones. Por ejemplo, la calidad del aislamiento que se necesitaría de otro modo no es necesaria, porque cualquier calor que se escape de ese conducto de alta temperatura calentará el fluido de entrada. Además, el conducto de fluido caliente es muy corto y directo. Un conducto que debe soportar temperaturas tan elevadas es caro, por lo que limitar su longitud resulta beneficioso. Además, el espacio entre el techo interior y el techo exterior también puede incluir un divisor, y se puede proporcionar un ventilador para controlar el fluido de retorno. A ambos lados de esta pared divisoria, el fluido de retorno vuelve a la pila de calefacción. Alrededor de los bordes del techo interior, se forma un conducto vertical para permitir que el fluido refrigerante descienda hasta la parte inferior de la unidad y regrese a la parte inferior de las pilas de ladrillo.

[0629] Según un ejemplo de implementación, no hay ningún otro lugar (aparte del conducto que conecta con el generador de vapor) en el que el exterior de la unidad experimente la temperatura total del sistema o la temperatura total de la unidad. Esta configuración puede simplificar drásticamente el aislamiento en otros lugares y puede reducir drásticamente las pérdidas y los costes, al menos porque mientras habrá energía saliendo de esta pila de ladrillos y a través de esta pared, el fluido entrante se precalienta ligeramente antes de volver a la pila de ladrillos.

[0630] La implementación del ejemplo puede modificarse haciéndola opcionalmente autoportante y utilizando un sistema de espaciadores para mantener y conservar la separación entre los ladrillos. Convencionalmente, la relación de aspecto de los ladrillos se elige de modo que los ladrillos individuales no se derrumben en un terremoto, por ejemplo, teniendo un ancho de base de aproximadamente un 40 %, por ejemplo, un 40 %, de la altura o mayor. Los espaciadores se pueden utilizar para impartir esta estabilidad en ladrillos que no tienen la relación de aspecto deseada, pero entrelazando ladrillos más pequeños para hacer un ladrillo más grande que tenga la estabilidad deseada. En este ejemplo, los separadores transfieren fuerzas de los ladrillos situados por encima a los situados por debajo y a los laterales mediante compresión. En esencia, esto convierte la estructura en una pirámide, una estructura intrínsecamente autoportante y estable, sin necesidad de un apuntalamiento excesivo de las paredes. Los espaciadores pueden estar hechos de un material refractario o cerámico de alta temperatura y también pueden incluir características para interactuar con colgadores de alambre.

Termoclina y cámara de radiación

[0631] La primera temperatura de los ladrillos y los elementos de calentamiento puede mantenerse por encima de la segunda temperatura del fluido para controlar la descarga de energía térmica de la primera sección a la segunda. Por ejemplo, los elementos de calentamiento pueden calentarse a una primera temperatura predefinida de 1200 °C, de modo que los ladrillos o las celdas también se calienten hasta 1200 °C, y el fluido a 250 °C puede suministrarse a través del extremo inferior de las celdas y los elementos de calentamiento, de modo que el fluido, al absorber la energía térmica de los ladrillos y/o los elementos de calentamiento, pueda alcanzar la segunda temperatura de 800 °C. Además, el fluido calentado a 800 °C puede pasar a través del conducto de manera que el fluido dentro del conducto se convierta en vapor. A continuación se presentan diversos aspectos estructurales de la termoclina.

[0632] Los ladrillos pueden estar dispuestos para crear un paso de fluido entre los ladrillos, en un patrón repetitivo. De este modo, el ladrillo proporciona una superficie adicional para que el calor del ladrillo se transfiera al fluido. El ladrillo se convierte en un sistema disipador de calor. La trayectoria del flujo de fluidos es sustancialmente vertical. El fluido entra por la parte inferior, sube por estos canales, se calienta a medida que sube y escapa caliente por la parte superior y se dirige a la zona del techo.

[0633] Los ladrillos pueden tener opcionalmente una cantidad consistente de masa térmica a lo largo de su longitud, para ayudar a mantener la uniformidad de la temperatura y evitar estrechamientos significativos que puedan causar puntos calientes. Opcionalmente, los ladrillos pueden incluir un chaflán en la parte superior e inferior, de modo que si los ladrillos están ligeramente desalineados, las trayectorias de fluido no se cierran. Las trayectorias de fluido pueden ser relativamente estrechas y puede ser importante que los ladrillos no estén desplazados entre sí, lo que cerraría las trayectorias de fluido y reduciría el flujo de fluido. En consecuencia, los chaflanes y otras características en la parte superior en la parte inferior de los ladrillos pueden tener la ventaja de prevenir la desalineación.

[0634] Los ladrillos del ejemplo pueden apilarse, por ejemplo en una pila de seis o más ladrillos de altura. Algunos de los ladrillos tienen su correspondiente elemento de calentamiento que se enrolla y cuelga de un elemento de la estructura. Los ladrillos están espaciados y diseñados de forma que sean un sistema autoportante.

[0635] De una ranura para un conjunto de alambres calefactores a la siguiente, se requiere un espacio relativamente pequeño, tal como unos 30 centímetros (por ejemplo, 30 centímetros), para el rendimiento requerido, ya que para el

tiempo de calentamiento disponible durante el día, la dimensión está limitada por la velocidad de conducción. Unas dimensiones mayores pueden hacer que algunas secciones del ladrillo no se utilicen eficazmente para el almacenamiento térmico.

5 **[0636]** Opcionalmente, el tamaño de las trayectorias de flujo de fluido puede ajustarse para sintonizar la velocidad de flujo de fluido en diferentes áreas, para contrarrestar el perfil de temperatura que ya existe en el ladrillo cuando se calienta. En otras palabras, cuando el ladrillo se calienta, el lado del ladrillo más cercano al calentador se calienta más y se enfría progresivamente a lo largo del ladrillo. Si la energía se extrae por igual de todo el sistema, la temperatura del fluido de salida sería un gradiente que reflejaría el gradiente de temperatura del ladrillo; el fluido más caliente cerca de los alambres y el más frío más lejos de los calentadores. Tener vías más grandes más cerca del elemento de calentamiento puede crear menos resistencia al flujo de fluido, lo que resulta en una mayor velocidad del fluido, y canales más pequeños más lejos del elemento de calentamiento, lo que reduce la velocidad del fluido en esas regiones, para obtener una temperatura del fluido más homogénea. Como el fluido que viaja a mayor velocidad está menos tiempo en la trayectoria y menos tiempo en contacto con el ladrillo, ese fluido sale de la trayectoria más frío que el fluido que viaja más despacio por la misma sección. El lado del ladrillo con los canales más grandes es más caliente en las implementaciones del presente ejemplo; por lo tanto, el tamaño de estas vías se puede sintonizar de tal manera que el fluido que sale de las ranuras anchas en la parte más caliente del ladrillo es casi la misma temperatura que el fluido que sale de las ranuras más estrechas en la parte de menor temperatura del ladrillo.

20 **[0637]** Así, ajustando la geometría del ladrillo y las trayectorias de fluido, el rendimiento del sistema de termoclina puede mejorarse y optimizarse para ajustarse a las características de carga y descarga esperadas y deseadas. Además de utilizar el flujo diferencial de fluido para igualar la temperatura de salida, aumentando o disminuyendo en general el flujo global de fluido a través del sistema, puede controlarse la temperatura del fluido de salida.

25 **[0638]** De acuerdo con algunas implementaciones de ejemplo, los ladrillos son bloques que están separados y efectivamente tienen huecos. Estos huecos, que pueden ser grandes, entre los ladrillos de la pila crean cámaras de radiación. En estas implementaciones de ejemplo, la energía puede transferirse del alambre al ladrillo principalmente por transferencia de energía de radiación. Cuando los alambres se calientan, la radiación entra en contacto con el ladrillo y entra en equilibrio radiativo con el ladrillo, donde el ladrillo está más frío que el cable que intenta alcanzar la temperatura, y la radiación del ladrillo enfría el alambre. De este modo, la energía del alambre se expone a una mayor superficie del ladrillo en comparación con el calentamiento por convección. La energía de este alambre cuando se irradia hacia abajo en esta energía de la cavidad penetra en la cavidad y se expone a más superficie y la masa de ladrillo, en lugar de sólo la superficie justo al lado del mismo, que obtiene una densidad de flujo muy alta y muy alta densidad de energía. De acuerdo con este ejemplo de implementación, algunos ladrillos pueden calentarse radiativamente entre sí después de ser calentados por el alambre. Así, el sistema puede lograr el calentamiento radiante tanto directo como indirecto de la superficie del ladrillo como parte de la transferencia de calor. Este diseño permite que el alambre del elemento de calentamiento esté más extendido.

40 **[0639]** Sin cavidades radiativas diseñadas para calentar grandes superficies de ladrillo de esta manera, por ejemplo, si la conducción es el mecanismo principal por el que se transfiere el calor, el diseño puede estar limitado a una distancia relativamente pequeña, tal como entre 0,3 y 0,5 metros de espacio entre cortinas de alambre en algunas implementaciones, cuando se empareja con perfiles de calentamiento para calefacción solar, ya que no hay tiempo suficiente para calentar el centro de la masa de los ladrillos. Mediante el uso de cavidades de radiación, el espaciado de la cortina de alambre puede extenderse a más de 0,5 m y seguir utilizando eficazmente toda la masa del ladrillo. Esto permite reducir el número de alambres. Una ventaja de esta implementación de ejemplo es que el número total de alambres puede reducirse, por ejemplo, de 3.400 alambres a, potencialmente, aproximadamente 96 alambres (por ejemplo, 96 alambres) mientras se transfiere la misma cantidad de energía que se transfería desde los 3.400 alambres. Además, esta implementación de ejemplo, puede utilizar alambre que tiene un diámetro en un intervalo de 2,5 mm a 8 mm.

50 **Diseño de la pila - Materiales**

[0640] Durante el transcurso del funcionamiento normal del sistema de almacenamiento térmico, se puede tener cuidado para garantizar que ciertos intervalos de temperatura que pueden causar un fallo prematuro se atraviesen rápidamente. Por ejemplo, se sabe que las aleaciones del tipo FeCrAl se fragilizan si se pasa una cantidad de tiempo significativa entre 400-500 °C. Los distintos elementos de calentamiento o ladrillos pueden tener otros intervalos de temperatura sensibles en los que las propiedades mecánicas, térmicas o físicas se vean afectadas negativamente. El sistema de control puede tener esto en cuenta para evitar dañar los materiales prematuramente.

60 **[0641]** El sistema de almacenamiento térmico puede diseñarse de forma que algunas secciones estén preparadas para soportar temperaturas más elevadas. Por ejemplo, una sección superior puede comprender elementos de calentamiento de mayor temperatura nominal, como los compuestos principalmente de SiC o MoSi₂, y ladrillos de mayor temperatura nominal, como la alúmina tabular. Esta sección podría calentarse, en función de las necesidades, hasta temperaturas de 1500 C, 1600 C o superiores. La geometría de los ladrillos y alambres puede ser diferente a la de otra sección de la unidad de almacenamiento térmico, para optimizar el rendimiento, el coste o la estabilidad mecánica. Una segunda sección del almacenamiento, por ejemplo, en la parte inferior de la pila, podría tener elementos de calentamiento de menor temperatura nominal, como elementos de calentamiento metálicos de la clase FeCrAl, y ladrillos que sean de un tipo de

material diferente, seleccionados por coste, rendimiento y propiedades mecánicas, ya que se coloca más carga sobre los ladrillos de la parte inferior.

Estructuras de mezcla de flujos

[0642] Además, el canal de flujo a través de la pila de ladrillos puede modificarse para facilitar o promover la mezcla del gas. Estas modificaciones pueden reducir o eliminar los puntos calientes y fríos de la corriente principal. Por ejemplo, los ladrillos pueden estar estructurados (por ejemplo, por aletas o una disposición de las ranuras) o ensamblados de una manera que dirija el fluido para promover el remolino o la mezcla del fluido en las cámaras, para mejorar la transferencia de calor de la convección. Dicha mezcla puede igualar los gradientes de temperatura, y tener una termoclina más uniforme, y un mejor rendimiento, además de los beneficios del calentamiento radiativo y rerradiativo, como se ha explicado anteriormente. Este efecto puede ser especialmente ventajoso a temperaturas más bajas, o al principio de la carga o al final de la misma. Además, se reduce el mayor estrés por gradiente térmico, que suele producirse de forma más aguda al principio y al final de la carga.

[0643] Además, el gas de derivación frío de la región superior de la pila puede mezclarse mediante la inducción de remolinos o flujo turbulento, mediante una barrena estacionaria u otra característica en la parte superior de la pila, con el gas descargado de las pilas, para obtener una temperatura más homogénea. Por ejemplo, la figura 64 muestra una vista lateral 6401 y una vista isométrica 6403 de un sinfín estacionario 6405 en la parte superior de las pilas, que puede utilizarse en combinación con desviadores 6407, para canalizar y mezclar el flujo de fluido de salida. Como muestra con más detalle en la figura 65, los desviadores como el 651 en la parte superior de las pilas desvían el gas lateralmente en lugar de verticalmente, para crear un remolino.

Dispositivo de calentamiento

[0644] Los enfoques tradicionales pueden presentar problemas e inconvenientes asociados al calentador de las celdas de almacenamiento de energía térmica. Por ejemplo, un calentador o elemento de calentamiento tradicional puede experimentar problemas e inconvenientes como el fallo químico inducido mecánicamente, que también se conoce como desconchado. Más concretamente, las incrustaciones pueden crecer en el calentador hasta un punto en el que las tensiones térmicas provoquen un fallo en la interfaz entre las incrustaciones y el sustrato. Como consecuencia del crecimiento de las incrustaciones se produce la descamación y la pérdida de aluminio, hasta que el depósito de aluminio alcanza un punto crítico. Además, puede producirse un fallo químico intrínseco cuando el óxido de aluminio se descompone, de forma que el aluminio migra hacia el exterior y el oxígeno hacia el interior, hasta que el depósito de aluminio alcanza un punto crítico.

[0645] Como resultado de los problemas y desventajas de la tecnología anterior, puede producirse un fenómeno conocido como "oxidación de ruptura", en el que el Cr2O3 (óxido de cromo) y el Fe₂O₃ (óxido de hierro) no protectores se incrustan rápidamente y, finalmente, provocan la oxidación de la masa y el fallo del elemento de calentamiento. Así, la fiabilidad y la vida útil del elemento de calentamiento se acortan sustancialmente.

[0646] Como se ha explicado anteriormente, los elementos de calentamiento resistivos se disponen en canales que se forman entre las pilas de ladrillos en posiciones horizontales y verticales repetidas en las unidades. Los elementos de calentamiento resistivos reciben energía eléctrica de la fuente, que puede ser una fuente renovable u otra fuente de electricidad variable. Los elementos de calentamiento resistivos liberan la energía eléctrica en forma de calor, que se irradia a las pilas de ladrillos como se ha explicado anteriormente.

[0647] Los elementos de calentamiento resistivos pueden tener forma de alambre, que puede ser en forma de bobinas o alambres, cintas o varillas que pasan a través de la pila en canales orientados en una dirección paralela al flujo del fluido de transferencia de calor o se extienden a través de la pila en canales transversales al flujo del fluido de transferencia de calor.

[0648] Según un ejemplo de implementación, los elementos de calentamiento en espiral pueden colocarse en ranuras que atraviesan la parte superior e inferior de uno o más ladrillos que pueden apilarse juntos. Los elementos de calentamiento pueden pasar de un lado a otro de la unidad. Con un puente en un lado y el retorno por el otro lado, se puede completar un circuito eléctrico. Las bobinas pueden conectarse en serie y en paralelo, para adaptarse a las tensiones con las que se trabaja.

[0649] Este diámetro de alambre puede reducir la resistencia del alambre largo. Como el alambre puede comprarse en masa, y el alambre más fino tiene costes de procesamiento adicionales, lo que puede suponer un ahorro de costes de cientos de miles de dólares para un sistema, lo que es una ventaja añadida. Al utilizar un alambre de diámetro más grueso, la vida útil total del alambre puede aumentar significativamente porque ya no hay desgaste de la sección transversal debido al calentamiento o enfriamiento del alambre, y la corrosión del alambre es mucho menos rápida debido a la mayor sección transversal, aunque la velocidad de corrosión sea la misma. Además, es posible aumentar el diámetro del alambre hasta 8 mm. Un ejemplo de implementación tiene características que impiden que los elementos de calentamiento entren en contacto con el ladrillo o entre sí, en caso de que sufran deformaciones. Esta característica podría ser un gancho en varias posiciones, por ejemplo, en los extremos superior e inferior.

[0650] Las figuras 66(A)-(C) ilustran diversas configuraciones de los elementos de calentamiento resistivos según el ejemplo de implementación. Las resistencias pueden cablearse individualmente, en grupos que conectan resistencias en serie, en paralelo o en una combinación de serie y paralelo.

[0651] Como se muestra en 4700a, los calentadores 4701, 4702 se extienden a través del material refractario. Los calentadores se instalan en los conductos 4711 después del montaje del material refractario, o durante el montaje del material. El tubo protector 4707 puede utilizarse durante la instalación y puede retirarse mecánicamente o fundirse o quemarse mediante la aplicación de calor por el calentador. Las conexiones de energía eléctrica 4704 se unen a los calentadores en los puntos 4703 con conexiones 4705a que evitan la acumulación excesiva de calor en los puntos de conexión. Dos o más calentadores pueden conectarse mediante conexiones sucesivas 4705, 4706 antes de la conexión a la distribución de energía 4704. Como se muestra en el dibujo en 4700, dos calentadores tipo bobina 4701 están conectados por una conexión 4706, seguidos por otros dos calentadores en serie a lo largo del conector de alimentación 4704. Los calentadores de alambre, varilla y cinta 4702 pueden conectarse de forma similar.

[0652] Como se muestra en 4700b, un medio de almacenamiento refractario 4710, que pueden ser las pilas de ladrillos, está provisto de huecos o pasos 4711 para la inclusión de los elementos de calentamiento resistivos. Además, los calentadores pueden ser de tipo cinta 4702, o de tipo bobina 4701. Opcionalmente, los calentadores pueden estar encerrados en un conducto 4707 como se explicó anteriormente.

[0653] Como se muestra en 4700c, los calentadores 4701 con conexiones de alimentación 4704 están dispuestos con enlaces en paralelo 4709 de tal manera que múltiples calentadores o conjuntos en serie de calentadores están conectados en paralelo a una única conexión de distribución de energía. El funcionamiento de las conexiones de alimentación puede ser a tensiones de cientos de voltios a decenas de miles de voltios. Las tensiones iguales o inferiores a 5 KV pueden seleccionarse en función de consideraciones como la seguridad, los costes y la fiabilidad.

[0654] En algunas implementaciones de ejemplo, los calentadores o elementos de calentamiento pueden ser alambres de resistencia que se extienden a lo largo de los canales de cada ladrillo, donde cada uno de los elementos de calentamiento puede tener atributos electrotérmicos predefinidos, tal como resistencia, conductividad eléctrica, conductividad térmica, área de sección transversal, etc., de modo que cada uno de los elementos de calentamiento puede calentarse hasta las temperaturas predefinidas al recibir energía eléctrica desde las fuentes de energía eléctrica.

[0655] Eléctricamente, un bucle puede estar formado por un alambre calefactor que comienza en un extremo de un primer canal, pasa a través de un puente en el otro extremo del canal y vuelve a través de otro canal. Las pilas adyacentes de ladrillos pueden estar separadas por fases (por ejemplo, 3 fases, para pilas adyacentes de ladrillos, de tal manera que las pilas formen un grupo, o celda). El grupo de pilas, o celda, puede tener la misma resistencia para que el rendimiento de las pilas sea coherente entre sí. Los dos grupos completos pueden formar una zona que está en un controlador. Verticalmente, diferentes zonas (por ejemplo, filas de pilas) pueden estar en diferentes controladores, y por lo tanto pueden ser de resistencia igualada a una resistencia diferente de diferentes niveles verticales.

[0656] Además, los calentadores resistivos pueden controlarse de forma que las pilas se calienten de manera desigual. Más concretamente, las partes superiores de las pilas pueden calentarse preferentemente. Los controladores pueden controlar las capas verticales de las pilas por separado, de manera que los calentadores de las distintas capas de la pila pueden encenderse o apagarse en momentos diferentes. Por ejemplo, los controladores de las capas superiores de la pila pueden encender los elementos de calentamiento de las capas superiores de la pila antes de que los controladores de las capas intermedias o inferiores de la pila enciendan dichos elementos de calentamiento. Además, este enfoque tiene en cuenta la diferencia de altura y masa entre los ladrillos de las capas inferiores, que tienen una altura y masa menores, y los ladrillos de las capas superiores, que tienen una altura y masa mayores. Así, las capas superiores de ladrillos tendrán una temperatura más caliente que las capas inferiores de ladrillos, y se mantiene la termoclina. El controlador puede establecer la temperatura y el tiempo de calentamiento de las capas de la pila basándose en la información de los sensores, o basándose en modelos del sistema, para determinar la temperatura de las capas, o una combinación de ambos.

[0657] La implementación de ejemplo anterior del diseño de ladrillo puede modificarse estirando el diseño anterior y el elemento de calentamiento verticalmente. Así, en lugar de ser una espiral redonda, el calentador puede ser una bobina plana que se introduce en el ladrillo y esto permite que cada alambre tenga más superficie y más exposición con el ladrillo. Esto también permite reducir el número de alambres del sistema, lo que puede tener la ventaja de abaratar el coste de los elementos de calentamiento.

[0658] Un alambre que irradia a una superficie mayor puede permitir que entren más vatios por centímetro de energía. Cuanto mayor es la superficie, más ladrillo se calienta, lo que puede tener implicaciones sustanciales en la temperatura del alambre, porque la temperatura de la superficie del ladrillo a la que se expone el alambre establece un límite. La temperatura del alambre superior tiene implicaciones directas en su vida útil, y la temperatura de la pared de ladrillo a la que se expone el cable determina cuánto flujo de energía puede impulsarse con seguridad a través del cable. Así, el ejemplo de implementación implica un volumen de ladrillo, un área de superficie expuesta y una temperatura de alambre.

[06659] Según una implementación de ejemplo, se proporciona servicio para el alambre calentador formando un sistema alto enrollado verticalmente hacia arriba y hacia abajo y calentando los lados de dos ladrillos separados. Los ladrillos están formados con canales de flujo de fluido, y son sustancialmente más altos que los ladrillos divulgados en las implementaciones de ejemplo anteriores. Los ladrillos más grandes con una eficiencia sustancialmente igual pueden permitir fabricar menos piezas y espaciar más los alambres. Este ejemplo de aplicación puede tener la ventaja añadida de reducir el coste de los materiales y el montaje. Los ladrillos pueden ser extruidos, prensados o moldeados y están formados con canales por los que fluye el fluido. Estos canales, o ranuras, pueden proporcionar una relación superficie/volumen superior a la de los orificios u otras formas. Las ranuras pueden o no extenderse por todo el borde más cercano al elemento de calentamiento para concentrar la masa térmica cerca de los elementos de modo que la energía se transfiera rápidamente.

[06660] Como se muestra en la figura 67, el alambre calefactor 6701 puede estar colgado de una rejilla 6703 que se mantiene en su lugar mediante los colgadores 6705 y una varilla 6707. Se proporcionan espaciadores 6709 entre las bobinas 6711 en la varilla 6701, para evitar que las superficies del alambre 6701 se toquen. Opcionalmente, pueden añadirse espaciadores en el centro o en la parte inferior (no mostrados). Además, pueden ajustarse la sección transversal, la geometría o los materiales.

[06661] Por ejemplo, una cinta retorcida 6721 como se muestra en la figura 68, o una cinta plana 6731 como se muestra en la figura 69, puede proporcionarse. Del mismo modo, los diferentes calentadores pueden utilizarse en diferentes niveles verticales de la pila. Por ejemplo, los calentadores cerca del flujo de entrada en una parte inferior de la pila pueden requerir un diseño diferente que los calentadores cerca de la descarga en la parte superior de la pila, debido a las diferentes condiciones de flujo de fluido.

Dispositivos de calentamiento recubiertos

[06662] Otros métodos que pueden emplearse para aumentar la vida útil incluyen el pretratamiento y acondicionamiento del material. Por ejemplo, se sabe que los elementos de calentamiento del tipo FeCrAl forman una capa protectora de alúmina en la superficie que reduce en gran medida la velocidad de oxidación del material a granel. Sin embargo, a temperaturas inferiores a 800-1000 °C, se forma inicialmente una forma de alúmina menos protectora. Para impartir el efecto protector de la alúmina densa, los elementos de calentamiento pueden calentarse a una temperatura controlada y con una duración superior a 1000 °C antes de su puesta en servicio. Esto puede realizarse antes de la instalación o dentro del sistema de almacenamiento térmico después de la instalación. Los alambres también pueden pretratarse para cambiar la química de la superficie y prolongar su vida útil.

[06663] Por ejemplo, se sabe que la reserva de aluminio en el material FeCrAl a granel es un factor limitante importante para el fallo oxidativo. Dado que los materiales FeCrAl con una fracción de aluminio significativamente superior a aproximadamente el 5 %, por ejemplo, el 5 %, no son adecuados para el procesamiento en caliente, puede ser beneficioso un proceso que añada aluminio adicional. Dichos procesos pueden incluir el aluminizado en caliente, el electrochapado de aluminio, el procesamiento sol-gel y el chapado de aluminio seguido de anodizado. El tratamiento de la superficie también puede hacerse para aumentar la emisividad de la superficie, de modo que la temperatura media del elemento de calentamiento pueda ser inferior que sin el tratamiento.

Elementos de calentamiento reemplazables

[06664] Los elementos de calentamiento individuales pueden configurarse para ser retirados y sustituidos sin desmontar la celda. Por ejemplo, se puede empujar o tirar de un elemento de calentamiento roto o averiado a través de la celda utilizando un extractor mecánico o un tubo para extraerlo y colocar un elemento de sustitución en la celda utilizando un tubo u otra herramienta específica. Como puede comprender un experto en la materia, la resistividad de los elementos de calentamiento puede cambiar con el tiempo debido a los efectos físicos graduales del funcionamiento normal, incluidos el desgaste, la oxidación y los cambios en la estructura cristalina y la aleación del metal. En algunas implementaciones de ejemplo, el elemento de reemplazo puede ser dimensionado o construido para producir una resistividad que refleje una resistividad proyectada de elementos circundantes que pueden haberse degradado durante la operación del sistema.

[06665] Por ejemplo, se puede prever que una parte de los elementos de calentamiento fallará en un plazo determinado, como 3 años, de funcionamiento, y los elementos de sustitución instalados después de tres años se pueden diseñar con una resistividad que refleje la resistividad proyectada de los elementos originales restantes que siguen funcionando pero que han cambiado de resistividad durante el periodo de funcionamiento. Del mismo modo, pueden elegirse diferentes resistividades para los elementos de calentamiento instalados en periodos posteriores.

Sistema de control

[06666] En diversas implementaciones, el sistema incluye una unidad de control o un sistema de control acoplado de forma operativa a los elementos divulgados, como las fuentes de energía eléctrica, los elementos de calentamiento, las unidades de soplado de aire, las bombas, etc. En una implementación, la unidad de control está configurada para permitir el acoplamiento eléctrico de los elementos de calentamiento con las fuentes de energía eléctrica. La unidad de control puede conmutar la conexión eléctrica de los elementos de calentamiento entre diferentes fuentes de energía eléctrica en

función de la disponibilidad y el coste por kWh de las fuentes de energía eléctrica. Durante las horas de baja carga, el coste por kWh de las fuentes de energía no renovables suele ser relativamente inferior y a veces negativo. Sin embargo, puede que no sea factible que las fuentes de energía no renovables desconecten la generación de energía eléctrica durante estas horas de baja carga. Así, durante estas horas de baja carga, la unidad de control puede acoplar eléctricamente el sistema con una fuente de energía eléctrica que esté proporcionando un menor coste por kWh de energía. La unidad de control puede controlar además las unidades de soplado de aire para permitir el flujo controlado de fluido entre cualquier combinación de una o más celdas aisladas que incluyan conjuntos de bloques de almacenamiento térmico y el entorno exterior, y también controlar una o más bombas para facilitar el flujo controlado de fluido y vapor a través del conducto.

[0667] En un ejemplo de implementación, las bombas y soplantes del sistema pueden funcionar con caudales variables, de forma que la producción de energía y vapor puede ajustarse desde un caudal nominal máximo por pasos o de forma continua hasta un caudal inferior. Dicha tasa mínima puede ser del 10 %, 20 %, 30 % de la producción máxima, u otra tasa. El controlador del sistema puede estar configurado para emitir comandos que ajusten el caudal de la bomba de líquido de entrada y del soplador, de forma que se permita el suministro de energía a múltiples caudales automáticamente, en base a comandos manuales, o ambos.

[0668] En otro ejemplo de implementación, la unidad de control puede estar en comunicación con un sistema asociado con una carga eléctrica u otras cargas industriales. La unidad de control puede estar configurada para supervisar la demanda de fluido caliente, vapor o energía eléctrica en la carga, así como la energía disponible que se almacena en el sistema, y puede, en consecuencia, cargar el sistema conectando eléctricamente los elementos de calentamiento a las fuentes de energía eléctrica. Por ejemplo, cuando la unidad de control detecta que la demanda de la carga es superior a la energía disponible almacenada actualmente en el sistema, la unidad de control puede acoplar eléctricamente los elementos de calentamiento del sistema a las fuentes de energía renovables o no renovables para satisfacer la demanda de la carga.

[0669] Si la energía eléctrica disponible que reciben las fuentes de energía eléctrica es reducida, durante el modo de carga, la unidad de control puede conectar eléctricamente los elementos de calentamiento asociados a un número predeterminado de celdas entre todas las celdas de la carcasa, de forma que sólo los elementos de calentamiento de un subconjunto adecuado de celdas puedan recibir la energía eléctrica limitada y calentarse, y los demás elementos de calentamiento o celdas permanezcan desconectados eléctricamente de las fuentes de energía eléctrica. Posteriormente, durante la descarga, la unidad de control puede permitir que el fluido pase a través de las celdas calentadas para transferir la energía térmica almacenada al conducto, de modo que la temperatura del fluido en el conducto permanezca a la temperatura de entrega, reduciendo o previniendo así cualquier daño o fallo en el sistema de producción de vapor, y manteniendo potencialmente una producción de vapor continua y controlada.

[0670] El sistema de control puede generar una señal como, por ejemplo, una orden para activar uno o más elementos de conmutación que, a su vez, controlan la fuente de entrada de energía eléctrica a los elementos de calentamiento resistivos. El sistema de control puede ordenar directa o indirectamente el funcionamiento de interruptores activos que interrumpen selectivamente el flujo de corriente para suministrar una potencia media elegida. Dichos patrones de conmutación pueden llevarse a cabo mediante interruptores de tipo tiristor que están continuamente encendidos o a los que se les ordena selectivamente conmutar para suministrar una potencia menor mediante la conducción selectiva durante patrones elegidos de semiciclos.

[0671] Una pluralidad de tales interruptores se puede elegir para funcionar en un patrón tal que durante cada medio ciclo de un flujo de corriente alterna, la carga media es constante. Un patrón de este tipo tendría el mismo o similar número de interruptores encendidos durante cada medio ciclo, aunque cualquier interruptor dado podría encenderse sólo una vez durante una secuencia de múltiples ciclos. Otros patrones de conmutación pueden llevarse a cabo mediante interruptores de tipo transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) que funcionan a frecuencias superiores a 120 Hz y que conducen o bloquean selectivamente la corriente en un patrón para proporcionar conducción continua o energía parcial tanto si la energía entrante es en forma de CA como de CC.

[0672] El sistema de control puede determinar las decisiones de conmutación basándose en parte en diversos parámetros, como el diseño del elemento de calentamiento, incluida su resistencia por unidad de longitud, la superficie de su material, su material de construcción, incluido su comportamiento con la temperatura (los efectos relacionados con la temperatura pueden incluir la recristalización del metal y/o el desoldado, la oxidación, el desconchado, la fluencia, la expansión térmica y el desgaste), la temperatura y el tamaño de la superficie que rodea al elemento de calentamiento, las temperaturas locales a lo largo de toda la longitud del elemento de calentamiento (incluidos los puntos de apoyo o los puntos de contacto con medios sólidos y los puntos de conexión eléctrica con otros conductores), etc., o alguna combinación de los mismos. La sobretensión en los puntos de conexión puede reducirse o evitarse disponiendo regiones de menor resistencia eléctrica próximas a dichas conexiones, por ejemplo, enrollando múltiples hilos de alambre juntos, cambiando la sección transversal del conductor, haciendo dichas conexiones fuera de las regiones de alta temperatura de la unidad de almacenamiento, o proporcionando disipadores de calor/elementos de refrigeración locales en dichos puntos.

[0673] La figura 70 ilustra el elemento de calentamiento resistivo 7000 según un ejemplo de implementación. El elemento de calentamiento resistivo 7001 se coloca en un conducto 7003 cuya pared exterior tiene una temperatura superficial indicada por 7007. La temperatura superficial 7007 depende de la distribución de la temperatura aparente del ladrillo, de su conductividad térmica y del flujo de calor radiativo. Las decisiones de conmutación pueden basarse en parte en el diseño del elemento de calentamiento 7009, incluida su resistencia por unidad de longitud, la superficie de su material, su material de construcción, incluido su comportamiento con la temperatura (efectos relacionados con la temperatura, incluida la recristalización y/o la aleación del metal, la oxidación, el desprendimiento, la fluencia, la expansión térmica y el desgaste), la temperatura y el tamaño de la superficie que rodea al elemento de calentamiento 7007, 7009, y las temperaturas locales a lo largo de toda la longitud del elemento de calentamiento, incluidos los puntos de apoyo o los puntos de contacto con los medios sólidos 7011, 7013, 7015. La temperatura de la superficie del elemento de calentamiento 7001, 7017 puede depender de la potencia en vatios por unidad de superficie del elemento de calentamiento, de la temperatura del aire ambiente alrededor del elemento, de si fluye o no aire por el conducto en la región definida por 7003 y 7005, y de la temperatura de la superficie del material de revestimiento 7007. La temperatura de la superficie a 7007 depende de la distribución de la temperatura aparente del ladrillo, de su conductividad térmica y del flujo de calor radiativo; predomina la transferencia de calor radiativo. Dado que ésta es proporcional a la diferencia de las temperaturas en grados Kelvin a la cuarta potencia, a medida que el material refractario se acerca a la temperatura máxima de funcionamiento del calentador, la potencia que fluye a través del calentador debería aproximarse a cero.

[0674] En una implementación, la temperatura de la superficie del elemento de calentamiento depende de la potencia en vatios por unidad de superficie del elemento de calentamiento, de la temperatura del aire ambiente alrededor del elemento, de si circula o no aire por el conducto y de la temperatura de la superficie del material envolvente. La temperatura superficial depende de la distribución de la temperatura aparente del ladrillo, de su conductividad térmica y del flujo de calor radiativo. La transferencia de calor radiativa puede dominar en las implementaciones divulgadas. Dado que la transferencia de radiación es proporcional a la diferencia de las temperaturas en grados Kelvin a la cuarta potencia, a medida que el material refractario se aproxima a la temperatura máxima de funcionamiento del calentador, la potencia que fluye a través del calentador debería aproximarse a cero.

[0675] En algunas implementaciones, los algoritmos del sistema de control incluyen modelos de la unidad de almacenamiento térmico. Estos modelos simulan aproximadamente la temperatura en varios puntos de la unidad de almacenamiento, así como las temperaturas instantáneas y previstas en función de la potencia de entrada del calentador. En consecuencia, la vida del calentador se preserva ventajosamente, mediante la incorporación de entradas meteorológicas y estacionales en el controlador, incluyendo el uso de la previsión.

[0676] Los modelos pueden adaptarse a los cambios en la configuración de la unidad de almacenamiento, incluida la presencia de calentadores o controladores de calentadores ausentes o averiados, la presencia de canales de transferencia de calor bloqueados, la presencia de formación de incrustaciones en la sección de generación de vapor u otras cuestiones de funcionamiento/mantenimiento.

[0677] En una implementación, el sistema de control confirma y compara los modelos de simulación con mediciones seleccionadas de temperaturas, flujos y niveles de potencia en varios puntos del sistema. El sistema de control puede tener en cuenta los modelos en los cálculos de control que rigen la potencia de los elementos de calentamiento. Por ejemplo, las temperaturas de pared pueden ser un factor limitativo de la potencia de entrada de corriente admisible para un calentador determinado, con límites calculados en función de la temperatura máxima del refractario y de la temperatura máxima del alambre. Una carga de potencia constante (flujo térmico Q constante) puede no ser factible sin que la temperatura del calentador supere significativamente la temperatura del refractario.

[0678] El sistema de control que responde a tales restricciones puede ordenar patrones de potencia de carga (por ejemplo, flujo de calor Q) en el tiempo durante la carga, donde el calentamiento inicial de baja tasa establece patrones de conducción de calor, la carga se eleva a tasas altas durante parte del tiempo de carga, y la tasa de carga disminuye a medida que aumenta la temperatura del material, de tal manera que la temperatura superior final se aproxima asintóticamente a tasas lentas, sin exceder las temperaturas del calentador superior.

[0679] El fluido de transferencia de calor puede fluir por los conductos de fluido adyacentes durante la carga, permitiendo la operación de carga y descarga simultáneamente. En algunas implementaciones de ejemplo, el fluido de transferencia de calor puede fluir en el conducto que lleva el elemento de calentamiento. La resistencia por unidad de longitud del elemento de calentamiento puede variar, y/o la producción de calor por unidad de longitud puede variar, de modo que (por ejemplo) un conducto que tenga fluido de transferencia de calor fluyendo axialmente a lo largo del calefactor puede requerir menos calor cerca de la salida del fluido que cerca de la entrada del fluido.

Ventajas

[0680] Además de las ventajas descritas anteriormente en la Sección I, los ejemplos de aplicación relativos a los bloques y conjuntos térmicos también pueden ofrecer diversas ventajas en relación con los enfoques tradicionales. Por ejemplo, los métodos tradicionales suelen adolecer de una distribución desigual del calor, desgaste debido a los ciclos de calentamiento y enfriamiento de los ladrillos, y problemas de seguridad y mantenimiento. Sin embargo, las implementaciones de la presente divulgación intentan mitigar varios de estos problemas aplicando el calentamiento

radiativo (incluida la radiación radial horizontal dentro de las cámaras de radiación) en combinación con trayectorias de flujo de fluido, para producir una distribución del calor más uniforme que la conseguida con las técnicas de calentamiento tradicionales. Como resultado, se pueden superar los problemas y desventajas asociados a la técnica, como el almacenamiento ineficiente de energía, la degradación, el daño y la rotura de diversos elementos (por ejemplo, el elemento de calentamiento, los ladrillos, las carcasas, etc.), los puntos calientes inseguros, etc.

[0681] Las técnicas de aislamiento dinámico divulgadas pueden mejorar ventajosamente la eficiencia del aislamiento, reducir los costes de aislamiento, o ambas cosas, en relación con las técnicas tradicionales. Además, las técnicas de refrigeración pasiva divulgadas pueden mejorar la seguridad del sistema de almacenamiento térmico. Diversas técnicas divulgadas pueden reducir la complejidad del mantenimiento en relación con las técnicas tradicionales.

[0682] Los bloques de medios de almacenamiento pueden disponerse en un conjunto que permita el movimiento relativo para acomodar la expansión y contracción de los elementos individuales. Además, la matriz está dispuesta de tal manera que los ciclos de expansión térmica alinean los elementos del conjunto para preservar la integridad de la estructura del conjunto, la integridad de los conductos del elemento de calentamiento y la integridad de los conductos del gas de transferencia de calor.

[0683] Además, como el calor se almacena de forma más uniforme, también se reduce o evita su desperdicio. Además, las implementaciones de ejemplo pueden tener otro beneficio, en el sentido de que puede ser más fácil mantener y reemplazar los módulos del calentador, los elementos de calentamiento y los ladrillos. Además, las implementaciones de ejemplo han aumentado la eficiencia. Por ejemplo, las configuraciones de ladrillos y pilas divulgadas en el presente documento pueden producir un aumento del ΔT del material a granel en el transcurso de la carga y descarga para permitir que los ladrillos almacenen más megavatios hora por kilogramo de material, en comparación con los diseños actuales.

III. CONVERSIÓN CC/CC

[0684] En muchos sistemas de transferencia de potencia, la corriente alterna (CA) se emplea para transferir potencia de una fuente generadora a una carga. En estos sistemas, los equipos pasivos y los transformadores deben recibir energía para que el sistema funcione, lo que provoca la circulación de energía reactiva. Además, la transferencia de CA a través de distancias puede dar lugar a pérdidas debidas a la impedancia de las líneas de transmisión acopladas entre la fuente generadora y la carga. En algunos casos, la energía generada puede ser intermitente. Por ejemplo, cuando la fuente generadora son celdas fotovoltaicas, la potencia que se transfiere se basa en la iluminación de las celdas fotovoltaicas, que puede variar a lo largo del día. A medida que baja la potencia, la eficacia del sistema de transferencia de CA puede degradarse aún más.

[0685] Para mejorar la eficiencia de estas transferencias de energía, se puede emplear la transferencia de corriente continua (CC), que utiliza múltiples tensiones de CC de entrada para generar una tensión más alta para la transmisión. En algunos casos, la tensión de transmisión puede descomponerse en múltiples tensiones más pequeñas en el extremo de carga del sistema de transferencia. Como se describe a continuación, las pérdidas asociadas a la conversión de fuentes de CC a CA para su transferencia pueden eliminarse gracias a las menores pérdidas inductivas y por corrientes de Foucault. Además, las cargas resistivas óhmicas pueden ser menores, lo que mejora aún más la eficiencia.

[0686] Un diagrama de bloques de un sistema de almacenamiento térmico que utiliza transferencia de corriente continua se muestra en la figura 71. Como se ilustra, el sistema de transferencia de potencia 3100 incluye circuitos generadores 3101A-C, circuito convertidor 3101, circuito convertidor 3102 y unidad de almacenamiento térmico 3104.

[0687] Los circuitos generadores 3103A-C están configurados para generar tensiones continuas 3107A-C, respectivamente. En varias implementaciones, los circuitos generadores 3103A-C pueden emplear fuentes de energía renovables como la solar o la eólica. Las tensiones de CC 3107A-C pueden, en algunas implementaciones, ser tensiones variables en el tiempo. Por ejemplo, en algunos casos, los niveles respectivos de las tensiones de CC 3107A-C pueden basarse en la variación de la iluminación de los paneles fotovoltaicos. Aunque en la implementación de la figura 71, en otras implementaciones, puede emplearse cualquier número adecuado de circuitos generadores.

[0688] Como se describe a continuación, el circuito convertidor 3101 incluye múltiples circuitos subconvertidores, cada uno de los cuales incluye un primer circuito de entrada y un primer circuito de salida. El primer circuito de entrada está configurado para recibir una de las tensiones CC 3107A-C. El primer circuito de salida está aislado galvánicamente del primer circuito de entrada y está configurado para generar una correspondiente de las tensiones de CC 3109 A. El circuito convertidor 3101 está configurado para combinar las tensiones de CC 3109 A para generar la tensión de transmisión 3108.

[0689] Como se describe a continuación, el circuito convertidor 3102 también incluye múltiples circuitos subconvertidores, cada uno de los cuales incluye un segundo circuito de entrada y un segundo circuito de salida. El segundo circuito de entrada está configurado para recibir, a través de la línea de transmisión 3106, una porción de la tensión de transmisión 3108. El segundo circuito de salida está galvánicamente aislado del segundo circuito de entrada y configurado para generar una correspondiente de las tensiones continuas 3110 derivadas de la porción de tensión de transmisión 3108 recibida por el segundo circuito de entrada. El circuito convertidor 3102 está configurado para combinar

tensiones de CC 3110 en el bus de salida 3105. Se observa que, en algunas implementaciones, las tensiones de CC 3110 pueden acoplarse, en paralelo, en el bus de salida 3105.

[0690] La unidad de almacenamiento térmico 3104 incluye el elemento de calentamiento 3111 acoplado al bus de salida 3105. En varias implementaciones, el elemento de calentamiento 3111 se coloca para calentar el medio de almacenamiento térmico 3112 usando la energía recibida a través del bus de salida 3105. Como se describe en otras partes de la memoria descriptiva, la unidad de almacenamiento térmico 3104 puede implementarse utilizando una variedad de diferentes medios de almacenamiento térmico.

[0691] En algunos casos, las tensiones de múltiples fuentes de energía pueden combinarse en una tensión de transmisión que puede ser utilizada directamente por una carga. En la figura 72 se muestra un diagrama de bloques de un sistema de transmisión de energía para un sistema de fuente de energía renovable. Como se ilustra, el sistema de transmisión de potencia 3200 incluye el circuito convertidor 3101, las fuentes de energía renovable 3202A-C y la unidad de almacenamiento térmico 3104. El circuito convertidor 3101 incluye circuitos subconvertidores 3203A-C.

[0692] Las fuentes de energía renovables 3202A-C están configuradas para generar tensiones de CC 3205 A-C, respectivamente. En diversas implementaciones, las fuentes de energía renovable 3202A-C pueden implementarse utilizando celdas fotovoltaicas, turbinas eólicas o cualquier otra fuente de energía renovable adecuada. Las tensiones de CC 3205A-C pueden, en algunas implementaciones, variar en el tiempo debido a la naturaleza intermitente de la iluminación de las celdas fotovoltaicas, la ausencia de viento, y similares. Aunque en la aplicación de la figura 72, en otras implementaciones, puede emplearse cualquier número adecuado de fuentes de energía renovable.

[0693] Los circuitos subconvertidores 3203A-C están configurados para recibir tensiones continuas 3205A-C, respectivamente. En diversas implementaciones, los circuitos subconvertidores 3203A-C están configurados para generar tensiones de salida 3206A-C utilizando las correspondientes de las tensiones continuas 3205 A-C. Como se describe a continuación, los circuitos subconvertidores 3201A-C incluyen circuitos de entrada y circuitos de salida respectivos que están aislados galvánicamente por transformadores correspondientes.

[0694] Los circuitos subconvertidores 3203A-C se acoplan en serie para combinar las tensiones de salida 3206 A-C y generar la tensión de transmisión 3108. En diversas implementaciones, la tensión de transmisión 3108 es una suma de las tensiones de salida 3206A-C. Acoplando circuitos subconvertidores 3203 A-C en serie, se puede generar una tensión mayor que cualquiera de las tensiones de CC 3205A-C para ayudar en la transmisión de potencia a la unidad de almacenamiento térmico 3104. Además, el acoplamiento en serie de los circuitos subconvertidores 3203 A-C elimina la necesidad de detectar fallos en cualquiera de las fuentes de energía renovable 3202A-C. Si cualquiera de las fuentes de energía renovable 3202A-C deja de generar su correspondiente tensión continua 3205 A-C, el correspondiente circuito subconvertidor 3203A-C genera una tensión de salida cero que aún permite la generación de la tensión de transmisión 3207 mediante la suma de las tensiones de salida de los restantes circuitos subconvertidores 3203A-C.

[0695] Aunque el circuito del convertidor 3201 se representa como incluyendo solamente tres circuitos del subconvertidor, en otras realizaciones, cualquier número conveniente de circuitos del subconvertidor puede ser empleado. En algunos casos, el número de circuitos subconvertidores incluidos en el circuito convertidor 3101 puede corresponder a un número de fuentes de energía renovable. Alternativamente, múltiples fuentes de energía renovable pueden estar conectadas entre sí y un número de circuitos subconvertidores puede basarse en una magnitud deseada de tensión de transmisión 3108.

[0696] La unidad de almacenamiento térmico 3104 incluye un elemento de calentamiento 3108 configurado para calentar el medio de almacenamiento térmico 3109 utilizando la tensión de transmisión 3107. En diversas realizaciones, la unidad de almacenamiento térmico 3104 puede acoplarse a la salida del circuito convertidor ascendente 3101 mediante un cable de CC de alta tensión capaz de manejar la corriente absorbida por la unidad de almacenamiento térmico 3104 al valor de la tensión de transmisión 3107. Como se describe en otra parte de la memoria descriptiva, la unidad de almacenamiento térmico 3104 puede implementarse utilizando un elemento de calentamiento que puede utilizarse para calentar una variedad de diferentes medios de almacenamiento térmico.

[0697] Volviendo a la figura 73, se representa un diagrama de bloques de una realización de un sistema receptor de potencia para una tensión de corriente continua transmitida. Como se ilustra, el sistema receptor de potencia 3300 incluye el circuito convertidor 3102, y el circuito de carga 3306.

[0698] El circuito convertidor 3102 incluye circuitos subconvertidores 3302A-C que están acoplados en serie a través de la tensión de transmisión 3108. Se observa que mientras que los circuitos subconvertidores 3302A-C se representan como estando a través de la tensión de transmisión 3108, en otras realizaciones, los circuitos subconvertidores 3302A-C se pueden acoplar a través de cualquier tensión de CC adecuada. Mediante el acoplamiento en serie de los circuitos subconvertidores 3302A-C, la tensión de transmisión 3108 se divide en porciones de tensión 3303 A-C, estando las entradas correspondientes de cada uno de los circuitos subconvertidores 3302A-C expuestas únicamente a una porción de la tensión de transmisión 3108. En la realización ilustrada, dado que hay tres circuitos subconvertidores, cada una de las porciones de tensión 3303A-C es un tercio del valor de la tensión de transmisión 3108. El uso de circuitos

subconvertidores acoplados en serie puede, en diversas realizaciones, permitir el uso de componentes de menor tensión en los circuitos subconvertidores 3302A-C, ahorrando así costes y complejidad del circuito.

[0699] Los circuitos subconvertidores 3302A-C están configurados para recibir las porciones de tensión 3303A-C correspondientes. Por ejemplo, el circuito subconvertidor 3302A está configurado para recibir la porción de tensión 3303A, mientras que el circuito subconvertidor 3302B está configurado para recibir la porción de tensión 3303B. Los circuitos subconvertidores 3302A-C están configurados además para generar, utilizando los correspondientes de las porciones de tensión 3303 A-C, los correspondientes de las tensiones de carga 3304A-C. Al igual que con los circuitos subconvertidores 3203A-C, los circuitos subconvertidores 3302A-C incluyen circuitos de entrada y salida que están aislados galvánicamente entre sí. El uso de dicho aislamiento puede evitar posibles corrientes dañinas que fluyan directamente de los cables que transportan la tensión de transmisión 3108 al circuito de carga 3306.

[0700] Aunque el circuito convertidor 3102 se muestra como que incluye solo tres circuitos subconvertidores, en otras realizaciones, se pueden emplear cualquier número adecuado de circuitos convertidores. En algunos casos, el número de circuitos subconvertidores incluidos en el circuito convertidor 3102 puede basarse en un valor de tensión de transmisión 3108 y valores deseados de tensiones de carga 3304A-C. Por ejemplo, si se desean valores más pequeños para las tensiones de carga 3304A-C, pueden emplearse circuitos subconvertidores adicionales para dividir la tensión de transmisión 3108 en un mayor número de porciones más pequeñas.

[0701] El circuito de carga 3306 está acoplado al bus de salida 3105 y está configurado para realizar una función u operación usando un nivel de tensión del bus de salida 3105. Se observa que el circuito de carga 3306 puede ser cualquier circuito o unidad adecuada que emplee una tensión de CC para realizar una función u operación. En diversas realizaciones, el circuito de carga 3306 puede formar parte de una unidad de almacenamiento térmico (por ejemplo, la unidad de almacenamiento térmico 3104) mientras que, en otros casos, el circuito de carga 3306 puede formar parte de un sistema de carga de vehículos eléctricos, o de otro sistema de carga de baterías. Por ejemplo, el circuito de carga 3306 puede incluir el circuito de carga 3207 configurado para cargar la batería 3208 utilizando la energía recibida a través del bus de salida 3105.

[0702] Volviendo a la figura 74 se representa un diagrama de bloques de una realización de un circuito subconvertidor. Como se ilustra, el circuito subconvertidor 3400 incluye el circuito convertidor de CC 3401, el transformador 3402, el circuito de salida 3419, el circuito de control 3405 y el circuito de control 3406. El circuito de salida 3419 incluye el circuito rectificador 3403 y el circuito generador de tensión de salida 3404. En diversas realizaciones, el circuito subconvertidor 3400 puede corresponder a cualquiera de los circuitos subconvertidores 3203A-C o de los circuitos subconvertidores 3302A-C.

[0703] El circuito convertidor de CC 3401 está configurado para recibir tensión de entrada de CC 3409. En varias realizaciones, la tensión de entrada de CC 3409 puede corresponder a cualquiera de las tensiones de CC 3205 A-C, o porciones de tensión 3303A-C. El circuito convertidor de CC 3401 está configurado además para generar corriente 3410 en la bobina primaria 3407 incluida en el transformador 3402 utilizando la tensión de entrada de CC 3409 y basándose en las señales de control 3414. En algunas realizaciones, la corriente 3410 es una corriente alterna, y para generar la corriente 3410, el circuito convertidor de CC 3401 puede configurarse además para conmutar la polaridad de la tensión de entrada de CC 3409 con respecto a los terminales de la bobina primaria 3407 con el fin de cambiar la dirección de la corriente 3410 a través de la bobina primaria 3407. En diversas realizaciones, una frecuencia de dicha conmutación puede basarse en al menos una de las señales de control 3414.

[0704] En diversas realizaciones, el circuito convertidor de CC 3401 está acoplado magnéticamente al circuito de salida 3419 mediante el transformador 3402. Dado que el circuito convertidor de CC 3401 está acoplado magnéticamente al circuito de salida 3419, no puede fluir corriente entre el circuito convertidor de CC 3401 y el circuito de salida 3419, aislando así galvánicamente los dos circuitos.

[0705] A medida que la corriente 3410 fluye en la bobina primaria 3407, un campo magnético variable en el tiempo es generado por la bobina primaria 3407. El campo magnético variable en el tiempo induce corriente 3411 en la bobina secundaria 3408 del transformador 3402. Cabe señalar que debido a la naturaleza variable en el tiempo del campo magnético, la corriente 3411 también puede ser una corriente alterna. Para mejorar el acoplamiento inductivo entre la bobina primaria 3407 y la bobina secundaria 3408, los devanados respectivos de la bobina primaria 3407 y la bobina secundaria 3408 pueden enrollarse alrededor de un núcleo común de material ferroso.

[0706] Para proporcionar granularidad adicional para el nivel de tensión de transmisión 3108, se puede utilizar el transformador 3402 para cambiar el valor de la tensión de salida de CC 3413 en relación con la tensión de entrada de CC 3409. Ajustando el número de vueltas (o "bobinados") de la bobina primaria 3407 en relación con el número de vueltas de la bobina secundaria 3408, la magnitud de la corriente 3411 puede ajustarse, ya sea hacia arriba o hacia abajo, en relación con la magnitud de la corriente 3410. Por ejemplo, si el número de espiras de la bobina secundaria 3408 es mayor que el número de espiras de la bobina primaria 3407, entonces la magnitud de la corriente 3411 será mayor que la magnitud de la corriente 3410. Diferentes valores de corriente 3411 pueden resultar en diferentes valores de tensión de salida de CC 3413.

[0707] Dado que la corriente 3411 es una corriente alterna, debe ser convertida a una tensión continua (o "rectificada") antes de que pueda ser utilizada por el circuito generador de tensión de salida 3404. El circuito rectificador 3403 está configurado para generar tensión de alimentación interna 3412 utilizando la corriente 3411 que fluye en la bobina secundaria 3408. En varias realizaciones, el circuito rectificador 3403 puede implementarse con múltiples diodos para mantener una carga en un condensador de carga con el fin de generar la tensión de alimentación interna 3412.

[0708] El circuito generador de tensión de salida 3404 está configurado para generar una tensión de salida de CC 3413 utilizando la tensión de alimentación interna 3412 y basándose en las señales de control 3415. En diversas realizaciones, la tensión de salida de CC 3413 puede corresponder a cualquiera de las tensiones de salida 3206A-C o tensiones de carga 3304A-C. El circuito generador de tensión de salida 3404 puede, en algunas realizaciones, incluir el estrangulador inductivo 3418, que puede usarse para acoplar una instancia del circuito convertidor 3400 a otra instancia del circuito convertidor 3400 como se representa en la realización de la figura 72. En varios ejemplos, el circuito generador de tensión de salida 3404 puede implementarse utilizando un circuito convertidor de reducción u otro circuito adecuado.

[0709] El circuito de control 3405 está configurado para generar señales de control 3414. Dichas señales pueden incluir señales de temporización y habilitación para el circuito convertidor de CC 3401. En varias realizaciones, el circuito de control 3405 puede estar configurado para generar señales de control 3414 utilizando señales de comunicación externas 3417 y señales de comunicación 3416. En diversas realizaciones, las señales de comunicación externa 3417 pueden enviarse y recibirse desde otro circuito subconvertidor o un circuito de control maestro incluido en un sistema de transferencia de potencia. Se observa que la transmisión de las señales de comunicación externas 3417 y las señales de comunicación 3416 puede realizarse utilizando circuitos ópticos para proporcionar aislamiento eléctrico entre el circuito de control 3405, el circuito de control 3406 y cualquier circuito de control externo. En diversas realizaciones, el circuito de control 3405 puede implementarse utilizando un procesador configurado para ejecutar instrucciones de software o de programa, un microcontrolador, otra máquina de estado adecuada.

[0710] El circuito de control 3406 está configurado para generar señales de control 3415, que pueden incluir señales de temporización y habilitación para el circuito generador de tensión de salida 3404. En diversas realizaciones, el circuito de control 3406 puede estar configurado para generar señales de control 3415 utilizando señales de comunicación 3416 recibidas del circuito de control 3405. El circuito de control 3406 también puede estar configurado para enviar información relativa al funcionamiento y estado del circuito generador de tensión de salida 3404 al circuito de control 3405 mediante señales de comunicación 3416. En diversas realizaciones, el circuito de control 3406 puede implementarse utilizando un procesador configurado para ejecutar instrucciones de software o de programa, un microcontrolador, otra máquina de estado adecuada.

[0711] Volviendo a la figura 75, se ilustra un diagrama de flujo que representa una realización de un método para operar un sistema de transferencia de potencia de CC. El método, que puede aplicarse a varios sistemas de transferencia de potencia de CC, incluido el sistema de transferencia de potencia de CC 3400, comienza en el bloque 3501.

[0712] El método incluye la recepción, por un circuito de entrada de un circuito convertidor dado de una primera pluralidad de circuitos convertidores, de una tensión de entrada de CC procedente de una fuente de energía renovable (bloque 3502). En algunas realizaciones, el método incluye además la generación, por una pluralidad de paneles fotovoltaicos, de la tensión continua de entrada.

[0713] El método también incluye generar, por un circuito de salida del circuito convertidor dado que está galvánicamente aislado del circuito de entrada, una segunda pluralidad de tensiones de salida de CC basada en la tensión de entrada de CC (bloque 3503). En diversas realizaciones, la generación de la tensión de salida de CC incluye la inducción, por el circuito convertidor dado utilizando la tensión de entrada de CC, de una primera corriente en una bobina primaria de un transformador incluido en el circuito convertidor dado. En tales casos, el método también incluye la generación, por el circuito convertidor dado utilizando una segunda corriente en una bobina secundaria del transformador, de la tensión continua de salida. En diversas realizaciones, la segunda corriente en la bobina secundaria se basa en la primera corriente en la bobina primaria del transformador.

[0714] En algunas realizaciones, el método puede incluir además inducir la segunda corriente en la bobina secundaria basándose en la primera corriente, un primer número de espiras en la bobina primaria y un segundo número de espiras en la bobina secundaria. El método puede, en varias realizaciones, incluir también la rectificación, por el circuito convertidor dado, de la segunda corriente para generar una tensión de alimentación interna. En tales casos, el método puede incluir además la generación, por el circuito convertidor dado, de la tensión de salida de CC utilizando la tensión de alimentación interna.

[0715] El método incluye además tensiones de salida de CC respectivas de la primera pluralidad de circuitos convertidores para producir una tensión de transmisión (bloque 3504). En algunas realizaciones, el método incluye la adición de las respectivas tensiones continuas para producir la tensión de transmisión. En diversas realizaciones, el acoplamiento de la primera pluralidad de circuitos convertidores incluye el acoplamiento de una primera salida de un primer circuito convertidor a un nodo particular utilizando una primera reactancia inductiva, y el acoplamiento de una segunda salida de un segundo circuito convertidor al nodo particular utilizando una segunda reactancia inductiva.

[0716] El método también incluye calentar un medio de almacenamiento térmico mediante un elemento de calentamiento utilizando la tensión de transmisión (bloque 3505). En algunas realizaciones, el método también incluye recibir, por una segunda pluralidad de circuitos convertidores acoplados en serie, la tensión de transmisión. El método puede incluir además generar, por la segunda pluralidad de circuitos convertidores usando porciones correspondientes de la tensión de transmisión, una pluralidad de tensiones de salida de CC, y combinar la pluralidad de tensiones de salida de CC en un bus de alimentación común. El método concluye en el bloque 3506.

Aplicaciones de carga de vehículos

[0717] El convertidor de CC/CC descrito anteriormente puede utilizarse para una aplicación de carga rápida de vehículos de CC. Este circuito de ejemplo ilustra cómo es posible que un cable estándar de 500 MAC transporte 2 MW. Las estaciones de recarga existentes están conectadas a la red de CA y tienen su propia subestación o están conectadas a una subestación mayor a 5060 Hz y baja tensión. Para generar 2 MW se necesita una corriente muy alta (4000 amperios) que supera los límites de la capacidad de la red.

[0718] Al ser capaz de transferir energía utilizando CC permite la transferencia de energía de 1-2 MW a una corriente mucho más baja permitiendo la carga de la batería en 10-15 minutos hasta el 80 %, similar a una parada en una gasolinera. El convertidor de CC/CC mostrado anteriormente puede permitir esta carga de CC de alta velocidad. Esta estructura utiliza múltiples microrredes de matriz PV como entrada, por ejemplo, y los convertidores de CC/CC mostrados pueden proporcionar estaciones de carga de alta potencia y económicas. Además, la estación de carga también puede incluir el almacenamiento in situ de la energía fotovoltaica generada mediante cableado estándar.

[0719] Así, se pueden utilizar conductores relativamente pequeños a una tensión considerable para alimentar un conjunto de puertos de carga que pueden funcionar de forma independiente o en paralelo.

Aplicaciones de transporte de energía

[0720] Si un panel fotovoltaico está conectado a un inversor que lo convierte en CA y utiliza un transformador para elevar la tensión y transferirla a distancia, en el lugar de destino, como una estación de carga, una batería o un sistema de almacenamiento, hay un transformador o algún tipo de rectificador. Cuando un sistema de este tipo funciona al máximo de su capacidad solar, las pérdidas de los inversores y los transformadores y las pérdidas de energización de ese sistema de CA, las corrientes parásitas y las pérdidas inductivas se suman a algo menos del 90 % de eficiencia. Sin embargo, cuando el sistema funciona a baja potencia, las pérdidas siguen siendo similares y el rendimiento neto desciende sustancialmente.

[0721] Por el contrario, cuando se realiza un sistema basado en CC utilizando los convertidores de CC/CC descritos en el presente documento, las pérdidas son significativamente menores ya que las pérdidas inductivas o por corrientes de Foucault no están presentes en CC y las cargas resistivas óhmicas son menores. Así, la eficiencia aumenta ligeramente con cargas bajas.

[0722] Así, estos sistemas de convertidores de CC/CC encadenados pueden tener aplicaciones en campos como el transporte de energía, la carga de vehículos, aplicaciones para clientes, campos solares conectados a sistemas de baterías de litio, entre otros, incluyendo un sistema de almacenamiento térmico. Esto puede reducir significativamente las pérdidas óhmicas en los campos solares, ya que el cableado funcionaría a una tensión más alta y podría reducir las pérdidas óhmicas y de CA entre los campos solares y las baterías o las baterías de los campos solares y las estaciones de carga. Muchas microrredes tendrán estos mismos problemas porque la fiabilidad de esa microrred y su eficiencia cambian si su frecuencia se desacopla de la red principal.

[0723] Los diseños e implementaciones de los convertidores de CC/CC crean la oportunidad de hacer funcionar una microrred totalmente de CC, sobre todo a alta tensión. Por ejemplo, una microrred de corriente continua de 25 kV alrededor de un emplazamiento e instalaciones solares puede hacer que las baterías funcionen con una eficiencia ultraelevada. Algunas cargas pueden estar conectadas directamente a la corriente continua y otras a través de inversores diseñados para cargas de punto de potencia. También puede haber inversores o rectificadores de puerta de enlace con una red de CA, pero la microrred no está bloqueada en fase a la red, lo que significa que las inestabilidades de la red no pueden hacerla caer. El valor de 25 kV solo se proporciona a modo de ejemplo, y pueden utilizarse otros valores en su lugar.

[0724] Con los sistemas de CA, es necesario energizar todos los equipos pasivos y transformadores, con lo que circula mucha energía reactiva, y la transferencia de CA a través de distancias puede incurrir además en pérdidas con las impedancias de línea y el rebote de potencia.

[0725] Este diseño de convertidor de CC/CC permite compartir la energía de CC a distancias medias de forma muy eficaz, lo que puede permitir un almacenamiento de energía más eficaz y un transporte de energía más eficiente, utilizando CC de media tensión, por ejemplo hasta 80 kilómetros.

[0726] Además, el diseño del convertidor de CC/CC elimina los transformadores y permite construir esa tensión escalándolos en serie, lo que puede ser esencialmente sin pérdidas. Esto es posible gracias a que cada agrupación está

totalmente aislada galvánicamente, con dos controladores separados (control maestro/esclavo). Además, también puede haber una gestión de la potencia a nivel superior para evitar un aumento excesivo de la tensión en el conductor principal si disminuye la demanda de potencia en la carga.

5 **[0727]** Además del controlador de cada dispositivo (convertidor de CC/CC), también puede haber un controlador general que se encargue de esas conversiones y etapas de conversión para establecer los límites de esos dispositivos y cómo pueden comportarse (limitar la potencia; limitar la corriente; limitar la tensión) para establecer las condiciones límite.

10 **[0728]** Por lo tanto, el reparto de la tensión puede basarse en la idea del reparto de la potencia, ya que si se inicia el reparto de la potencia, lógicamente la tensión se repartirá entre esos dispositivos y el sistema experimentará la misma caída de tensión en la entrada, las mismas caídas de tensión en la salida.

15 **[0729]** La conversión de CC/CC de alta tensión permite conectar campos solares de muy alta eficiencia con una distancia adecuada a cargas como una unidad de almacenamiento de energía de ladrillo calentado que puede acoplarse a electrolizadores y utilizarse para la carga de vehículos eléctricos. Además, el sistema podría integrar la producción de hidrógeno y la generación de energía eléctrica a partir del hidrógeno, así como baterías de iones de litio. El sistema también puede acoplarse a un sistema de desalinización para crear una instalación o base militar completamente aislada de la red que se autoabastezca de energía para sus cargas domésticas, sus cargas térmicas y sus vehículos.

20 IV. APLICACIONES INDUSTRIALES

[0730] El sistema de almacenamiento de energía térmica descrito anteriormente proporciona una producción estable de calor a partir de energía eléctrica que puede ser suministrada por una fuente renovable. La producción estable de calor puede proporcionarse a diversas aplicaciones industriales, para abordar problemas artísticos, como se explica a continuación.

25 **[0731]** Las temperaturas ultraelevadas que puede alcanzar un sistema de energía térmica 100 calentado por radiación permiten su aplicación en una amplia gama de procesos industriales. En particular, para los procesos que requieren temperaturas ultraelevadas, por ejemplo en la producción de vidrio y las aplicaciones metalúrgicas, este sistema de almacenamiento de energía térmica a alta temperatura alimentado por energía renovable ofrece la posibilidad de funcionar en su totalidad o en gran parte con energía renovable las 24 horas del día, proporcionando una trayectoria hacia los procesos con cero emisiones de carbono.

35 A. Activación del material

1. Problemas a resolver

40 **[0732]** La producción de cemento es una de las mayores fuentes mundiales de emisiones de carbono, responsable de hasta el 8 % de las emisiones mundiales de CO₂. La emisión de carbono de la producción de cemento, sin embargo, ha crecido más rápidamente que la producción de combustibles fósiles. La necesidad insatisfecha de descarbonizar la fabricación de cemento se está convirtiendo así en un requisito aún más crítico para conseguir reducir las emisiones mundiales de CO₂ con el fin de estabilizar el clima de la Tierra.

45 **[0733]** El cemento suele fabricarse a partir de piedra caliza y arcilla (o esquisto). Estas materias primas se extraen de las minas y se trituran hasta obtener un polvo fino. La materia prima mezclada ("pienso crudo" o "pienso de horno" o "harina") se calienta en un horno rotatorio donde la materia prima mezclada alcanza una temperatura de unos 1400 °C a 1500 °C, por ejemplo, de 1400 °C a 1500 °C. En su forma más simple, el horno rotatorio es un tubo que puede tener, por ejemplo, 200 metros de largo y 6 metros de diámetro, con una llama larga en un extremo. El pienso crudo entra en el horno por el extremo frío y baja gradualmente hasta el extremo caliente, luego sale del horno y se enfría. En las fases iniciales a temperatura más baja (por ejemplo, 70-600 °C, y más específicamente, 70-350 °C), el agua libre se evapora de la alimentación bruta, los minerales similares a la arcilla y la dolomita se descomponen en sus óxidos constituyentes, produciendo carbonato de calcio, óxido de magnesio y dióxido de carbono.

50 **[0734]** A temperaturas intermedias (650-1050 °C), parte del carbonato cálcico reacciona con la sílice para formar belita (Ca₂SiO₄) y dióxido de carbono. El carbonato cálcico restante se descompone en óxido cálcico y CO₂. En las regiones más calientes (1300-1450 °C) del horno, se produce una fusión parcial y la belita reacciona con el óxido de calcio para formar alita (Ca₃O-SiO₄). El horno rotatorio se utiliza en más del 95 % de la producción mundial moderna de cemento.

60 **[0735]** El material que sale del horno, denominado "clínker", suele estar compuesto por nódulos redondeados. El clínker caliente cae en un enfriador, que puede estar diseñado para recuperar parte de su calor, y se enfría hasta una temperatura adecuada para su almacenamiento (o pasa directamente al molino de cemento, donde se muele hasta obtener un polvo fino). El yeso u otros materiales pueden molerse junto con el clínker para formar el producto final de cemento.

65 **[0736]** El extremo más caliente del horno rotatorio, calentado por una combinación de calor recuperado del clínker caliente y quema de combustibles, se encuentra a la salida del clínker. El gas calentado se desplaza en dirección contraria al proceso del clínker. Los gases de escape salen por donde entra la alimentación bruta en el horno rotatorio.

[0737] La mayor parte de la producción de cemento utiliza un precalcinador independiente para aumentar la producción y la eficacia de un horno de cemento determinado. El precalcinador es un precalentador de suspensión que permite quemar en su base parte de la energía necesaria para el proceso. El precalcinador permite realizar más procesos térmicos de forma eficiente en el precalentador, lo que aumenta considerablemente el rendimiento para un tubo de horno rotatorio de tamaño determinado.

[0738] Dependiendo del diseño del sistema, un precalcinador puede producir una alimentación calcinada en un 40-95 %, en el extremo superior, dejando la función principal del horno rotatorio para la sinterización. El gas de entrada al precalcinador puede precalentarse con el aire caliente recuperado del enfriamiento de los clínters, además del combustible quemado. Los gases calientes que salen por la parte superior del precalcinador suelen utilizarse para secar las materias primas. Sin embargo, este proceso tiende a ser intermitente, por lo que se desperdicia calor cuando el molino está parado.

[0739] En algunos sistemas de producción de cemento, puede instalarse una derivación entre la entrada del horno y el precalcinador para extraer el polvo que contiene materiales potencialmente dañinos para el equipo y para la calidad del producto final. El material recogido, denominado polvo de desviación del horno de cemento (CBPD), puede suponer aproximadamente el 2 %, por ejemplo, de la producción total de clínter en peso y está formado principalmente por óxido de calcio, un componente clave del clínter, así como por sales como KC1 y otros contaminantes. El vertido de CBPD suele tener un coste.

[0740] El CBPD incluye principalmente óxido de calcio ya descarbonatado. Un estudio reciente ha demostrado que temperaturas de aproximadamente 900-1200 °C, por ejemplo, 900-1200 °C, pueden transformar el CBPD en componentes valiosos del clínter como belita, mayenita, alita y ferrita a temperaturas más bajas que en el horno rotatorio (ayudado por otros componentes en el CBPD mientras se vaporizan y eliminan contaminantes como el KC1) dejando tras de sí un producto cementoso libre de la mayoría de los contaminantes no deseados que están presentes inicialmente.

[0741] En una fábrica de cemento tradicional, el combustible y el oxígeno se queman para proporcionar calor al horno de clínter. Este combustible puede estar en forma de medios sólidos como residuos o carbón (o puede ser gas natural) introducido junto con el aire de combustión en el horno. A la salida del horno, una corriente de gases de combustión calientes proporciona una parte del calor utilizado para precalentar la harina y luego calcinarla; el resto de ese calor puede ser suministrado por la combustión de un combustible y/o el calor recuperado del enfriamiento del clínter caliente. El proceso de calcinación consume alrededor del 20-75 %, por ejemplo, 20-75 %, de la energía térmica del combustible dependiendo del diseño y funcionamiento del precalcinador.

[0742] El término "calcinación" se refiere en general a un proceso en el que un compuesto químico sólido se calienta a una temperatura alta y controlada en un entorno controlado en presencia de poco o nada de oxígeno para eliminar impurezas y/o provocar la descomposición térmica en un producto deseado. El término calcinación se ha referido tradicionalmente a un proceso de descomposición de la piedra caliza (o carbonato cálcico) en cal viva (óxido cálcico) y dióxido de carbono. Esta reacción se utiliza mucho en la industria, dado que la piedra caliza es un mineral abundante y que la cal viva se emplea en la producción de cemento, mortero, yeso, pintura, acero, papel y pasta de papel, así como en el tratamiento del agua y de los gases de combustión.

[0743] Otros procesos de calcinación incluyen la deshidroxilación (es decir, la eliminación del agua cristalina) del yeso utilizado en la producción de materiales de construcción y otros productos y la deshidroxilación de la alúmina utilizada en la producción de aluminio metálico y otros productos. Otro proceso de calcinación es la deshidroxilación de minerales de arcilla, que puede utilizarse para la activación de arcilla para su uso como material cementante suplementario (SCM) en una mezcla de cemento, como por ejemplo junto al cemento Portland. La activación de minerales arcillosos difiere de la de su homólogo calizo en que la reacción libera agua (grupos -OH) en lugar de CO₂.

[0744] Las distintas reacciones de calcinación requieren diferentes condiciones operativas (por ejemplo, temperatura, composiciones ambientales, etc.) para exponer los minerales al calor e impulsar la calcinación. Con el tiempo, se han desarrollado diferentes diseños, incluidos hornos de cuba, hornos rotatorios, hornos de solera múltiple y reactores de lecho fluidizado. También se han desarrollado muchos procesos asociados, incluido el calentamiento radiante interno mediante la combustión de combustible dentro de un horno o reactor, el calentamiento convectivo interno mediante el flujo de gas caliente dentro de un horno o reactor, o el calentamiento externo de un horno o reactor. Estas modalidades tradicionales se denominan procesos de remojo-calcinación, dado que el material tarda de varios minutos a horas en la cámara de reacción para activarse por completo.

[0745] La calcinación flash es otro método, más rápido que el proceso de remojo, que tiene lugar en un reactor que utiliza gases a velocidades y temperaturas que crean interacciones gas-partícula, incluido el arrastre y la suspensión, con el fin de impulsar una transferencia de calor eficaz y fomentar las reacciones químicas. Los sistemas que utilizan este principio suelen introducir un gas que se ha calentado mediante la combustión de un combustible (incluidos los productos de combustión agotados directamente) y/o un gas que puede calentarse al enfriar los productos de la calcinación (o recuperarse de otras fuentes de calor, en el fondo de una cámara de reacción en una configuración de flujo ascendente). La temperatura del gas puede oscilar normalmente entre 600 °C y 1100 °C. En una implementación, el material de arcilla

en bruto que se va a procesar se divide finamente y se introduce en una cámara situada encima del punto de inyección de gas caliente. Los gases calientes que fluyen hacia arriba interactúan con la materia prima y pueden suspenderla a través de la cámara, donde las partículas son calentadas rápidamente por los gases que fluyen.

[0746] Pueden incorporarse fuentes adicionales de calor dentro (o fuera) de la cámara, incluidos dispositivos de combustión de combustible o puertos adicionales de introducción de gas caliente, para mantener un perfil de temperatura o una composición de gas ambiente deseados. Cuando el material sale de la cámara, se ha calentado hasta alcanzar el estado de calcinación (o activación) deseado. La composición del gas dentro de la cámara puede seleccionarse para realizar una función de control de la calidad del producto. Por ejemplo, puede excluirse el oxígeno o puede haber una zona de atmósfera reductora para el control de calidad del producto. El material que se va a procesar puede contener hierro que se oxidará en entornos no reductores y hará que el producto cambie de color, lo que puede no ser lo deseado. Esta zona de reducción de la atmósfera puede reforzarse mediante la inyección de gases reductores o suministrarse a través de quemadores suplementarios en los que el oxígeno del aire se reduce a través del combustible inyectado. Tras el calentamiento y la calcinación, el material se enfría rápidamente, a menudo con aire en ciclones de refrigeración u otra forma de refrigeración por aire. El agua también puede utilizarse como fluido refrigerante en determinados procesos. El producto se enfría entre 100 °C y 200 °C.

[0747] Se han hecho algunos intentos de analizar la calcinación de arcilla en calentadores de suspensión de gas para determinar el efecto de las condiciones de funcionamiento. En un ejemplo, se añadió una alimentación de partículas de caolinita por encima de un quemador y se hizo pasar por la cámara con y sin quemadores suplementarios a lo largo del canal. La convección era la forma dominante de transferencia de calor en el proceso en el que la temperatura ideal de suministro de gas era de unos 900 °C, por ejemplo, 900 °C, sin quemadores suplementarios.

[0748] En estos planteamientos, los calentadores resistivos internos no pueden utilizarse para sustituir a un quemador en el calcinador. La razón técnica es que es extremadamente difícil calentar el gran volumen de gas necesario para la suspensión de gas únicamente mediante calentadores resistivos, ya que el espacio y el coste necesarios serían demasiado grandes. Además, los calentadores resistivos pueden sufrir degradación debido a las partículas presentes en un proceso de calcinación.

2. Calcinador calentado por energía eléctrica procedente de un acumulador de energía térmica

[0749] La presente divulgación describe implementaciones de ejemplo que implican la sustitución de generadores de combustible y/o gas caliente por un novedoso sistema de almacenamiento de energía térmica (TES) de alta temperatura. Las implementaciones de ejemplo abarcan múltiples realizaciones de un sistema de activación de materiales con diferentes grados de integración en los procesos de activación de materiales, que pueden utilizarse para producir cal viva en algunas implementaciones u otros materiales activados, como arcilla activada o alúmina. Los ejemplos de aplicación se refieren a la integración de un novedoso sistema de TES con un sistema de calentamiento de materiales utilizando cualquiera de las diversas configuraciones de calcinador/horno. En algunas implementaciones, la integración podría ser con una planta existente donde el sistema de TES y todas las modificaciones del proceso se adaptan a un sistema de activación de material existente. En otras implementaciones, se construye un nuevo sistema de activación del material en el que el sistema de calentamiento del material se diseña en torno al sistema de almacenamiento de energía térmica.

[0750] En una implementación, un sistema de almacenamiento térmico puede utilizarse como sustituto de los generadores de gas caliente existentes en los procesos de activación de materiales. En consecuencia, una o más matrices de almacenamiento de energía térmica pueden proporcionar gas caliente como fluido de transferencia de calor primario para las demandas de transferencia de calor por convección del sistema de calentamiento de materiales. Estas demandas pueden incluir el secado, el precalentamiento, la refrigeración o el calentamiento del calcinador y pueden cubrirse mediante la conexión directa a una unidad de almacenamiento térmico. El gas de cualquier composición puede recircularse a través del sistema de TES después de su uso o ventilarse desde el aire ambiente, para ser utilizado a temperaturas más altas en el proceso.

[0751] En diversas implementaciones, el sistema de activación de materiales incluye el sistema de almacenamiento de energía térmica anteriormente descrito que transfiere calor al aire, al CO₂, al CO₂ con una pequeña fracción de aire, a gases cuya composición varía con el tiempo (por ejemplo, un gas dominante con un segundo gas como el aire o el O₂ presente en una concentración diferente durante alguna fracción de las horas de funcionamiento), y/o en gases procedentes de un proceso industrial interconectado, como la calcinación de minerales. En otra implementación, puede incluirse una pequeña cantidad de hidrógeno u otro gas reductor con el dióxido de carbono. Las implementaciones de ejemplo también pueden incluir disposiciones para tolerar, separar y/o eliminar la materia particulada arrastrada en una estructura de manera que la limpieza periódica mantenga el rendimiento a largo plazo del sistema de TES.

[0752] En algunas implementaciones, el dióxido de carbono se utiliza como fluido de transferencia de calor para suministrar calor al proceso de activación del material y, a continuación, se combina con el dióxido de carbono adicional liberado por la calcinación. Por consiguiente, no se requieren procesos de separación del dióxido de carbono (aparte de la condensación del agua resultante de la combustión del combustible). En otro ejemplo de implementación, los sistemas de almacenamiento de energía térmica empleados en el proceso pueden calentar múltiples gases o mezclas de gases diferentes para su uso en el sistema de activación de materiales.

Los ejemplos de aplicación aquí expuestos pueden considerarse en relación con dos subclases. En la primera subclase, un sistema de TES suministra directamente calor en forma de fluido calentado (como aire, CO₂, productos gaseosos de combustión o una combinación de múltiples gases), sustituyendo a un generador de gas caliente basado en la combustión para algunas o todas sus aplicaciones típicas en un proceso de activación de materiales. Estas aplicaciones incluyen, entre otras, el secado de la materia prima (como piedra caliza, arcilla, bauxita o harina cruda), la ayuda al arranque y enfriamiento del reactor (conseguir que un reactor alcance la temperatura de autoencendido (600 °C a 1500 °C)) y el precalentamiento de la materia prima (como piedra caliza, arcilla, bauxita, harina cruda o una mezcla) hasta alcanzar las condiciones de funcionamiento deseadas del reactor (400 a 1000 °C). Las implementaciones de esta primera subclase pueden aplicarse a sistemas de calentamiento de materiales basados en la combustión, como calcinadores/hornos alimentados con combustible, en los que todas las necesidades de calor auxiliar distintas de los quemadores del calcinador/horno se suministran mediante energía térmica almacenada en el sistema de TES.

[0753] La segunda subclase es un proceso más altamente integrado en el que el sistema de TES se utiliza para suministrar energía térmica/calor en el proceso de activación del material y la combustión puede utilizarse con moderación (si es que se utiliza) para proporcionar un control de la atmósfera adecuado para la reacción deseada. Los ejemplos de aplicación incluyen diferentes configuraciones del proceso de integración del sistema de TES. En varias implementaciones, una o más unidades de TES de alta temperatura suministran calor directa o indirectamente a los reactores del calcinador o del horno, así como a los secadores y precalentadores.

[0754] En las implementaciones que emplean la transferencia directa de calor, el fluido utilizado como medio de transferencia de calor en el sistema de TES se suministra directamente a la materia prima en el calcinador y luego se recircula de vuelta al sistema de TES después de entrar en contacto directo con la materia prima. En las implementaciones que emplean transferencia de calor indirecta, el fluido utilizado en el sistema de TES no entra en contacto físico directo con el material en el sistema de calentamiento del material. Más bien, en algunas implementaciones, el fluido del sistema de TES se utiliza para transferir energía térmica a través de un intercambiador de calor a un fluido secundario que entra en contacto con el material. En otras implementaciones, el fluido utilizado en el sistema de TES puede calentar indirectamente la materia prima sin la presencia de un fluido secundario calentando las paredes del calcinador o del sistema de reactor del horno, con las paredes calentadas transfiriendo calor a la materia prima al otro lado de la pared mediante conducción y radiación. Este modo de calentamiento "indirecto" del funcionamiento del almacenamiento térmico también puede utilizarse en aplicaciones distintas de la calcinación o los reactores de horno, incluyendo, entre otras, el secado de biomasa o el procesamiento de alimentos. El fluido secundario puede estar en estado líquido en algunas implementaciones.

[0755] También existe una combinación de modos de calentamiento directo e indirecto para el fluido del sistema de TES en la que el fluido del sistema de TES a mayor temperatura intercambia calor indirectamente con un fluido secundario (con un intercambiador de calor gas-gas, por ejemplo) y, además, eleva la temperatura de la corriente de fluido secundario a través de la inyección directa mediante una derivación configurada para inyectar una parte del fluido a mayor temperatura del sistema de TES en el fluido secundario suministrado al sistema de calentamiento del material. Esto puede ser útil para el control de la atmósfera dentro del sistema de calentamiento del material (y dentro del sistema de TES también en algunas implementaciones). A continuación, el fluido secundario mezclado con parte del fluido de TES se expone directamente a la materia prima del proceso de activación de materiales para suministrar calor. Después de suministrar calor, este fluido secundario puede tratarse para eliminar los componentes no deseados que se añadieron a la corriente a través del contacto con la materia prima, como el agua, las emisiones no deseadas (SO_x, NO_x, CO, etc....) y las partículas. Una parte o la totalidad de este fluido secundario tratado puede utilizarse para satisfacer otras demandas auxiliares de calor, como las de secado, precalentamiento, tratamiento o refrigeración (a menudo, la materia prima debe enfriarse después de las reacciones en las zonas del reactor de calcinación/horneado). Una parte o la totalidad del fluido secundario puede devolverse al intercambiador de calor, donde la corriente puede recalentarse.

[0756] En algunas implementaciones, una pequeña parte del calor también puede suministrarse mediante combustión suplementaria en el proceso de activación del material. Esto puede elevar la temperatura de la corriente gaseosa de transferencia de calor en función de las condiciones de funcionamiento específicas asociadas a la combustión. Generalmente, el combustible se quemaría "rico en combustible", lo que significa que hay más combustible que oxígeno estequiométrico en la reacción. La razón principal de esta combustión rica en combustible es el control de la atmósfera, ya que la arcilla, por ejemplo, requiere sistemas ligeramente reductores para no oxidar el hierro de la arcilla y prohibir así el "cambio de color". Por ejemplo, puede reducirse la cantidad de oxígeno y el hierro de la arcilla. Sin embargo, el sistema de TES puede requerir condiciones ligeramente oxidantes para un funcionamiento nominal. La combustión suplementaria eliminaría la pequeña cantidad de oxígeno y crearía condiciones reductoras del color para la arcilla. El producto final es la arcilla activada, que se utiliza en lugar del clínker para fabricar cemento.

[0757] Existen varios procesos de calcinación relevantes que están cubiertos por el sistema de activación de materiales descrito en el presente documento. Los distintos procesos exigen a menudo diferentes condiciones de funcionamiento (temperatura, presión, tiempo de residencia, composición gaseosa en el calcinador, etc. ...), aunque varios componentes del sistema de activación del material pueden compartirse entre distintos procesos.

[0758] La figura 76 ilustra una implementación de ejemplo de un sistema de activación de material 76010 descrito en el presente documento. Como se muestra, el sistema de activación de material 76010 incluye un sistema de TES 76020, un

sistema de calentamiento de material 76030 y un sistema de recirculación 76040. El sistema de TES 76020 incluye uno o más almacenamientos de energía térmica 76022. El sistema de calentamiento de material 76030 incluye un precalentador/precalcinador 76032, un horno/calcinador 76034, un sistema de reducción de atmósfera 76036 y un sistema de refrigeración 76038. En otras implementaciones, el sistema de activación de material 76010 puede incluir más (o menos) componentes que los mostrados; los componentes también pueden estar dispuestos de manera diferente.

[0759] Como se explica con más detalle en otras secciones, el sistema de TES 76020 está configurado para almacenar energía térmica derivada de una fuente de energía. En algunas implementaciones, esta fuente de energía es una fuente de energía renovable (por ejemplo, eólica, solar, hidroeléctrica, etc.) o alguna otra forma de fuente de energía variable. Los almacenamientos de energía térmica 76022 dentro del sistema de TES 76020 pueden incluir elementos de calentamiento configurados para calentar un medio de almacenamiento utilizando electricidad de la fuente de energía. Estos elementos de calentamiento pueden incluir cualquiera de los diversos ejemplos descritos en el presente documento, como, por ejemplo, resistencias térmicas, resistencias cerámicas, etc. El medio de almacenamiento puede incluir cualquiera de los diversos ejemplos descritos en el presente documento, como ladrillo, piedra, etc.

[0760] Para facilitar la extracción de energía térmica del medio de almacenamiento calentado, pueden utilizarse sopladores configurados para calentar un fluido no combustible (por ejemplo, dióxido de carbono, nitrógeno, aire u otros de los que se ha hablado anteriormente) haciendo circular el fluido no combustible a través del medio de almacenamiento calentado. Como se ha señalado anteriormente, el uso de combustible no combustible contrasta con los sistemas anteriores basados en la combustión que dependen de un fluido combustible (por ejemplo, gas natural, propano, metano, etc.) para proporcionar energía. En varias implementaciones, el sistema de TES 76020 está configurado para proporcionar este fluido no combustible circulante al sistema de calentamiento de material para facilitar la activación de una materia prima. En algunas implementaciones, el sistema de TES 76020 está configurado para proporcionar el fluido no combustible circulante al sistema de calentamiento de material a una temperatura dentro de un intervalo de 600 °C a 1100 °C; sin embargo, el fluido puede tener una temperatura diferente en otras implementaciones.

[0761] El sistema de calentamiento de material 76030, en general, está configurado para aplicar energía térmica a una materia prima para producir un material activado. Las técnicas descritas con respecto al sistema de calentamiento del material pueden emplearse con respecto a cualquiera de los diversos procesos de activación del material. Como se discutió anteriormente, en algunas implementaciones, el sistema de calentamiento de material 76030 es un sistema de calcinación configurado para realizar un proceso de calcinación que elimina el dióxido de carbono de un suministro de carbonato de calcio para producir óxido de calcio. En otras implementaciones, el sistema de calentamiento de material 76030 está configurado para llevar a cabo un proceso de deshidroxilación (es decir, el uso de energía térmica para eliminar el agua unida molecularmente) que elimina el hidróxido de los minerales de arcilla para producir arcilla activada. En otras implementaciones discutidas más adelante con la figura 83, el sistema de calentamiento de material 76030 está configurado para implementar una única etapa del proceso Bayer que incluye una etapa de calcinación que transforma la bauxita para producir óxido de aluminio como material activado.

[0762] En varias implementaciones, el sistema de calentamiento de material 76030 está configurado para recibir energía térmica derivada del fluido no combustible proporcionado por el sistema de TES 76020. Como se ha comentado anteriormente, el fluido proporcionado puede utilizarse en una implementación de calentamiento directo en la que el sistema de calentamiento de material 76030 pone el fluido proporcionado en contacto con el material. El fluido proporcionado puede utilizarse alternativamente en una implementación de calentamiento indirecto en la que un intercambiador de calor está configurado para recibir el fluido no combustible circulado desde el sistema de TES 76020, transferir calor desde el fluido no combustible circulado a un segundo fluido, y proporcionar el segundo fluido calentado al sistema de calentamiento de material 76030 para aplicar la energía térmica a la materia prima. En una implementación de fluido mixto, el sistema de activación de material 76010 puede incluir además una derivación configurada para inyectar una porción del fluido no combustible circulado recibido del sistema de TES 76020 en el segundo fluido proporcionado al sistema de calentamiento de material 76030. En algunas implementaciones en las que el sistema de TES 76020 es incapaz de suministrar suficiente energía térmica para el sistema de calentamiento de material 76030, el sistema de activación de material 76010 puede incluir además un quemador (o alguna otra fuente de energía basada en la combustión) configurado para suministrar energía de combustión al sistema de calentamiento de material además de la energía térmica suministrada por el sistema de TES.

[0763] El precalentador 76032 está configurado para aplicar energía térmica derivada del fluido incombustible circulado para calentar la materia prima a una primera temperatura antes de suministrar la materia prima calentada al horno para su calentamiento a una segunda temperatura. En algunas implementaciones en las que se lleva a cabo el proceso de Bayer, el precalentador 76032 está configurado para implementar una primera etapa del proceso de Bayer que incluye calentar la bauxita a una temperatura dentro de un intervalo de 300 °C a 480 °C y a una primera presión dentro de un intervalo de 6 bar a 8 bar. En la implementación ilustrada, la energía térmica aplicada por el precalentador 76032 se recibe del sistema de TES 76020; sin embargo, en otras implementaciones, parte o toda esta energía térmica puede obtenerse de una salida de fluido de escape del horno 76034.

[0764] El horno 76034, en varias implementaciones, es el componente primario responsable de aplicar energía térmica a una materia prima para producir un material activado. El horno 76034 puede implementarse utilizando cualquier técnica adecuada, como la calcinación flash, el horno rotatorio u otras discutidas anteriormente. Por ejemplo, en algunas

- implementaciones, el horno 76034 está configurado para aplicar la energía térmica recibida inyectando la materia prima a través de una primera entrada del horno e inyectando, a través de una segunda entrada por debajo de la primera entrada, el fluido no combustible calentado en una configuración de flujo ascendente que suspende la materia prima dentro del horno con el fin de calentar más eficientemente el material. En una implementación en la que se lleva a cabo el proceso de Bayer, el horno 76034 está configurado para implementar una segunda etapa del proceso de Bayer que incluye elevar una temperatura de la bauxita dentro de un intervalo de temperatura de 750 °C a 950 °C y una segunda presión inferior a la primera presión.
- [0765]** El sistema de reducción de atmósfera 76036 está configurado para reducir una cantidad de oxígeno en contacto con el material activado producido en el horno 76034 antes de que el material se enfríe. En las implementaciones que producen arcilla activada, la eliminación del oxígeno puede evitar que la arcilla activada se decolore debido a la oxidación de cualquier hierro presente en la arcilla. En una implementación, el sistema de reducción de atmósfera 76036 incluye un quemador que quema una mezcla rica en combustible para producir monóxido de carbono para absorber cualquier exceso de oxígeno. En algunas implementaciones, el sistema de reducción de atmósfera 76036 puede no utilizarse, ya que el material activado puede no reaccionar con el oxígeno o el fluido en contacto con el material puede incluir ya un bajo contenido de oxígeno, como en una implementación de calentamiento directo en la que se utiliza dióxido de carbono como fluido no combustible.
- [0766]** El sistema de refrigeración 76038 está configurado para recibir el material activado del sistema de calentamiento de material y reducir una temperatura del material activado. El sistema de refrigeración 76038 puede emplear cualquier técnica adecuada, como el uso de ciclones de refrigeración u otras técnicas mencionadas anteriormente. En algunas implementaciones, los fluidos de escape se recogen del sistema de refrigeración 76038 para su recirculación por el sistema de recirculación 76040.
- [0767]** El sistema de recirculación 76040, en general, está configurado para recuperar la energía térmica que no ha sido consumida por el proceso de activación del material. En la implementación ilustrada, esta recuperación incluye la recirculación de la salida de fluido de escape del sistema de calentamiento de material 76030 al sistema de TES 76020. En implementaciones que producen dióxido de carbono como biproducto del proceso de activación del material, el sistema de recirculación 76040 puede recircular el dióxido de carbono producido al sistema de TES 76020 para su uso como fluido no combustible. En varias implementaciones, el sistema de recirculación 76040 incluye un filtro configurado para eliminar partículas del fluido de escape antes de que el fluido de escape se suministre al sistema de TES.
- [0768]** Como se ha señalado anteriormente y se discute con más detalle a continuación, en algunas implementaciones el exceso de energía térmica puede ser utilizado para otros fines. Por ejemplo, el sistema de activación de material 76010 puede incluir un sistema de ciclo de vapor que incluye un intercambiador de calor configurado para producir vapor a partir de la energía térmica recuperada del sistema de calentamiento de material 76030 y una turbina de vapor configurada para generar electricidad a partir del vapor producido.
- [0769]** La figura 77 ilustra otra implementación 76050 de un sistema de activación de materiales que utiliza almacenamientos de energía térmica calentados eléctricamente R1-R4. El proceso global utiliza dióxido de carbono como principal medio de transferencia de calor a través del horno/calcinador y el precalcinador. No se introduce aire, nitrógeno ni exceso de oxígeno en el horno y, como resultado, el CO₂ que se desprende de la reacción de calcinación se mezcla con el CO₂ que se suministró como portador del calor de proceso y con cualquier CO₂ producido por la combustión del combustible, de modo que la corriente de gas en el punto D, la salida de la unidad de precalentamiento del calcinador, es casi puro CO₂, potencialmente con algo de agua si se quema combustible. Este flujo de CO₂, en parte o en su totalidad, se utiliza opcionalmente para secar las materias primas, aumentando su contenido de humedad, y en parte se enfría y se comprime/bombea, y en parte se recircula a los almacenamientos de energía térmica R1 y R2 para llevar más calor al proceso. Cada uno de los almacenadores de energía térmica R1 y R2 acepta una corriente de CO₂ a una temperatura más baja y calienta esa corriente de CO₂ hasta una temperatura de salida muy alta haciéndola pasar a través de una serie de conductos en un material sólido que ha sido calentado por energía eléctrica (por ejemplo, el "núcleo del medio de almacenamiento"). De este modo, se proporciona una transferencia de calor de ciclo cerrado de dióxido de carbono.
- [0770]** Mediante la elección de materiales adecuados para los elementos de calentamiento y los medios de almacenamiento térmico, el gas de transferencia de calor puede seleccionarse entre una amplia gama de composiciones, incluyendo pero no limitándose a cualquiera de, o cualquier mezcla de, aire, N₂, O₂, CO₂, H₂O, y otros gases o mezclas de gases. Opcionalmente, puede incluirse un nivel mínimo de oxígeno, dependiendo de la composición del elemento de calentamiento resistivo. Además de dióxido de carbono como se ha explicado anteriormente, en combinación con una fracción de gas hidrógeno u otro gas reductor, también puede utilizarse nitrógeno. Una ventaja de utilizar nitrógeno es que es inerte y el principal gas presente en el aire atmosférico. Ciertos gases interactúan con los calentadores metálicos de tal manera que limitan sus temperaturas de funcionamiento. Los materiales de calentamiento que forman escamas protectoras de óxido son compatibles con la presencia continua o intermitente de oxígeno. Otros calentadores, como los cerámicos conductores y los encapsulados, permiten temperaturas de funcionamiento más elevadas y la selección de atmósferas oxidantes o reductoras.
- [0771]** La corriente de CO₂ pasa directamente a través del acumulador de energía térmica como fluido principal de transferencia de calor. El medio sólido se calienta mediante electricidad renovable o de red disponible de forma

intermitente, y suministra de forma relativamente continua una corriente de CO₂ a alta temperatura que puede estar a 1000 °C o más y puede suministrar una fracción significativa o toda la energía de proceso requerida por el horno 76052 y las unidades de precalentador/calcinador. Cada "unidad" a la que se hace referencia puede incluir una o varias unidades para cumplir los requisitos de carga, descarga u otros. Es posible que el acumulador de energía térmica no suministre suficiente temperatura o energía al horno 76052. La combustión de algún combustible puede complementar el flujo de energía y elevar la temperatura a lo que requiere el proceso. Por lo tanto, el proceso de calentamiento puede ser opcionalmente un híbrido de calor derivado de electricidad renovable y calor derivado de la combustión de combustible.

[0772] En una implementación de ejemplo, esta combustión de combustible libera directamente sus gases de combustión en el horno, evitando el gasto de intercambiadores de calor. Esos gases de combustión incluyen principalmente o sólo dióxido de carbono y agua porque una unidad de separación de aire ha suministrado una corriente relativamente pura de oxígeno. En algunas implementaciones de ejemplo, puede utilizarse una cantidad estequiométrica o casi estequiométrica de oxígeno en la combustión del combustible para crear una corriente de singas (es decir, gas de síntesis) que contenga una cantidad deseada de monóxido de carbono.

[0773] El gas de síntesis producido puede utilizarse en un sistema separado de reactor de cambio de gas de agua para producir hidrógeno y dióxido de carbono, que pueden utilizarse directamente como combustible o separarse y producirse. En consecuencia, el nitrógeno no se introduce en la corriente de gas que fluye a través del horno, lo que puede producir un beneficio adicional de evitar la formación de óxido de nitrógeno a alta temperatura y hacer obsoleto el requisito de reducción no catalítica (es decir, la inyección de solución de amoníaco en el horno), evitando el calentamiento innecesario de un gas secundario tal que una tecnología de separación de CO₂ no es necesaria en el proceso para separar el CO₂ del nitrógeno.

[0774] La corriente de oxígeno de combustión se precalienta opcionalmente a altas temperaturas, como 800 °C o más, mediante una unidad de almacenamiento térmico R4 en la que el oxígeno fluye directamente a través del núcleo del medio de almacenamiento térmico. Opcionalmente, la corriente de oxígeno puede mezclarse con gas de combustión reciclado (predominantemente CO₂) para controlar la temperatura de la llama y la producción de calor del proceso de combustión. En otro ejemplo de implementación, la corriente de oxígeno se mezcla con ambos o uno de los gases de combustión (predominantemente CO₂) y/o combustible gaseoso antes de entrar en el sistema de combustión del horno.

[0775] Mediante el ajuste de la cantidad de CO₂ mezclado en el flujo de combustible, el perfil de calentamiento puede controlarse de forma que se ajuste, por ejemplo, el consumo de combustible, la producción de producto, la calidad y la configuración del sistema para permitir la readaptación de los hornos existentes. El combustible, ya sea metano, propano, hidrógeno u otro combustible, opcionalmente combinado con flujo de CO₂ reciclado, puede precalentarse mediante un almacenamiento de energía térmica independiente R3 en el que el gas combustible fluye directamente a través del núcleo de almacenamiento de energía térmica.

[0776] Este precalentamiento permite que el calor liberado por la combustión suministre sólo el calor de alta temperatura, siendo necesario un calor de menor temperatura para calentar el oxígeno y el combustible proporcionado por la energía térmica capturada. Los materiales de construcción utilizados en los almacenamientos de energía térmica R3 y R4 pueden ser los mismos que los de los almacenamientos R1 y R2 o pueden ser diferentes para tolerar la composición o composiciones del gas, los requisitos de temperatura o para mejorar el rendimiento, el coste, la durabilidad, las interacciones químicas u otros parámetros.

[0777] En una implementación, el resultado de las operaciones de ejemplo anteriores es que entre el almacenamiento R1 y la combustión de combustible y oxígeno calentado opcionalmente por los almacenamientos R3 y R4, las corrientes de CO₂ de alta temperatura suministran el calor del horno requerido por las etapas de reacción del horno. La corriente de gases de escape del horno se compone principalmente de CO₂ (potencialmente con H₂O procedente de la combustión, en su caso). Esta corriente de gas se combina opcionalmente con otra corriente de CO₂ sobrecalentado que transporta calor a alta temperatura en el punto C y se introduce en el proceso de calcinación y precalentamiento 76054, calentado por el almacenamiento de energía térmica R2. En el proceso de calcinación, se libera CO₂ adicional, por lo que fluye un mayor volumen de CO₂ en D. La corriente de gas en D puede limpiarse de partículas mediante, por ejemplo, un separador ciclónico y/o un filtro cerámico. La corriente de gas se divide: una parte se devuelve a los almacenamientos de energía térmica R1 y R2, donde se recalienta para seguir aportando calor al proceso, y otra parte se enfría parcialmente y se extrae como CO₂ capturado.

[0778] En una implementación, un sistema de control adapta la tasa de extracción y compresión de CO₂ a la tasa de producción de CO₂ en el calcinador. Dicho sistema de control puede utilizar mediciones de la presión relativa del gas en las distintas unidades de proceso u otros medios ordinarios para controlar la velocidad de extracción del gas. Se muestran dos intercambiadores de calor H1 y H2 que pueden enfriar el CO₂ liberando calor al medio ambiente o pueden enfriar el CO₂ y utilizar el calor para otro fin, por ejemplo el secado de la materia prima o el calentamiento del flujo de CO₂ de entrada para R2. Este ejemplo de funcionamiento permite recuperar energía incluso cuando el molino de crudo no está operativo, ya que suelen funcionar de forma intermitente para garantizar un excedente de materia prima que mantenga el horno en funcionamiento continuo.

- [0779]** Alternativamente, un sistema de TES separado (no ilustrado) puede ser acoplado a la operación del molino de crudo de tal manera que el proceso de secado sea alimentado desde el almacenamiento de energía térmica. El acumulador de energía térmica puede cargarse convectivamente por escape en D o eléctricamente. El CO₂ enfriado puede comprimirse, capturarse y almacenarse o utilizarse para otro fin. Dado que la corriente consiste casi totalmente en CO₂ y potencialmente agua, la eliminación del agua a través de un condensador produciría una corriente pura de CO₂ lista para la compresión. Opcionalmente, puede utilizarse una unidad de purificación de CO₂ relativamente económica. En comparación, la absorción de MEA requiere una cantidad considerable de energía para la regeneración y los ventiladores y bombas.
- [0780]** La figura 78 ilustra una implementación de ejemplo 76060 de un sistema desacoplado de horno 76062 y precalcinador R. El aire caliente de escape del horno rotatorio se desacopla de la entrada del precalentador/precalcinador. El calor recuperado del enfriador para el clínker caliente puede alimentar o no el precalcinador.
- [0781]** En otro ejemplo de implementación opcional, el sistema de almacenamiento térmico R2 u otro sistema de calor proporciona calor para el tratamiento del polvo de desviación del horno de cemento (CBPD) para aumentar el rendimiento del producto, reducir la emisión de carbono y reducir los costes asociados con el vertido o la eliminación del material. La separación o adición de sales puede ser beneficiosa como aditivos a la corriente principal de material para bajar las temperaturas de procesamiento, reduciendo el requisito de energía y temperatura para formar el producto deseado, reduciendo potencialmente aún más la necesidad de alimentar el calor con combustible y permitiendo que la energía renovable alimente una mayor fracción del proceso de producción de cemento.
- [0782]** La figura 79 muestra una implementación 76070 que utiliza el calor residual de los gases de escape del proceso de producción de cemento para proporcionar calor de economizador en un sistema de generación de energía de ciclo térmico. Como se muestra, un almacenamiento de energía térmica R5 calentado eléctricamente puede producir vapor sobrecalentado, dióxido de carbono supercrítico u otro fluido de trabajo calentado que impulse un ciclo de generación de energía de turbina. Una unidad de almacenamiento de energía térmica cargada eléctricamente suministra un flujo de alta presión y alta temperatura - vapor sobrecalentado, dióxido de carbono u otro fluido de trabajo - que acciona una turbina que impulsa la generación de una parte o la totalidad de la electricidad utilizada en la instalación de forma relativamente continua. El calor de rechazo del ciclo de generación térmica fluye hacia un condensador refrigerado por aire o agua, y el condensado refrigerado o gas de retorno se bombea a alta presión.
- [0783]** Los intercambiadores de calor H1 y H2, que capturan el calor de las corrientes de dióxido de carbono, pueden liberar calor en el agua de alimentación o en la corriente de gas de entrada para el ciclo de generación de energía, capturando así ese calor que de otro modo sería residual como economizador de recuperación de calor en el ciclo de generación de energía. En diversas implementaciones, ese ciclo de energía puede ser un ciclo de turbina de vapor simple, un ciclo de Rankine orgánico, un ciclo de dióxido de carbono supercrítico (sCO₂), o puede ser un sistema de generación de energía de ciclo combinado, que incluye una turbina de combustión cuyos gases de escape se capturan para accionar un segundo ciclo térmico.
- [0784]** En un ejemplo de implementación, la turbina de combustión es de oxidación y su gas de escape CO₂ se introduce de nuevo en el ciclo global de CO₂, eliminando cualquier emisión separada de CO₂ procedente de la generación de energía. El acumulador de energía térmica R5 puede integrarse en ese ciclo combinado como se muestra. En una implementación de ejemplo, el dióxido de carbono supercrítico se utiliza como fluido de trabajo dentro de la unidad de almacenamiento térmico y puede ejecutar directamente un ciclo de energía sCO₂ o utilizarse para otra aplicación.
- [0785]** El flujo de CO₂ extraído del proceso de fabricación del cemento puede utilizarse para múltiples fines, incluyendo el secuestro geológico, la carbonatación de materiales cementosos suplementarios, o como elemento en la producción de combustibles sintéticos.
- [0786]** Otro ejemplo de aplicación incluye un ciclo de vapor para la generación continua de energía y la recuperación adicional de calor. En este caso, el aire caliente procedente de los ciclones de refrigeración o de un intercambiador de calor de tornillo en contacto con el producto calcinado caliente intercambia calor con agua reciclada a presión procedente del ciclo de vapor y algo de agua de reposición. Este gas/aire enfriado se libera al medio ambiente, se utiliza en la parte de secado del proceso o se introduce como gas frío en un sistema de TES. El agua precalentada se convierte en vapor mediante intercambio de calor con un sistema de TES. Puede tratarse del mismo sistema de TES que interviene en el proceso de calcinación o de una unidad suplementaria. La parte de aire de este intercambio de calor circula de vuelta al sistema de TES para reducir el calor residual. A continuación, el vapor se expande en una turbina de vapor, generando electricidad para la central. El vapor a la salida de la turbina de vapor puede intercambiar calor una última vez con aire o gas para su uso en el proceso de secado antes de mezclarse con el agua de alimentación, presurizarse y recircularse en el ciclo.
- [0787]** La figura 80 muestra una integración 76080 de un electrolizador de óxido sólido cuyo funcionamiento se mantiene mediante calor almacenado en un almacenamiento de energía térmica R6, y cuyo funcionamiento puede ser ventajosamente eficiente al mantenerse a temperatura beneficiosa, proporcionando el almacenamiento de energía térmica que se absorbe en una reacción de electrólisis endotérmica.

- [0788]** Un electrolizador de óxido sólido de este tipo puede electrolizar agua para producir hidrógeno o puede coelectrolizar un flujo de vapor y dióxido de carbono, de forma que sus productos de salida sean monóxido de carbono e hidrógeno, o gas de síntesis. El flujo relativo de CO_2 y H_2O puede ajustarse para producir las proporciones deseadas de monóxido de carbono e hidrógeno en el gas de síntesis. La composición deseada del gas de síntesis también puede obtenerse controlando la combustión y la estequiometría del combustible de entrada. El gas de síntesis puede utilizarse para diversos fines, incluido el impulso de las reacciones de Sabatier o Fischer-Tropsch para producir diversas moléculas de hidrocarburos, o una reacción de desplazamiento de gas de agua que produce H_2 que pueden utilizarse como combustibles o materias primas en otros procesos industriales.
- [0789]** El electrolizador de óxido sólido (SOEC) puede estar integrado con el almacenamiento de energía térmica R6 en contacto gaseoso con el fluido que circula por el núcleo de almacenamiento térmico, donde dicho fluido circulante es aire. En una implementación, el SOEC puede ser barrido por aire a una temperatura más alta, como 830°C , y el aire que sale del SOEC puede estar a una temperatura más baja, tal como 800°C . El calor de ese aire es capturado por la unidad de recuperación de calor para generar vapor o calentar otro fluido de trabajo para otro propósito. El calor de ese aire es capturado por una unidad de recuperación de calor para generar vapor o calentar otro fluido de trabajo con otro fin. Ese fluido calentado puede, por ejemplo, integrarse en el ciclo de energía eléctrica descrito anteriormente. La operación para el SOEC libera oxígeno en el barrido de aire.
- [0790]** Para gestionar la concentración global de oxígeno, el aire relativamente más frío procedente de la unidad de recuperación de calor se libera parcialmente, y el aire ambiente de reposición se introduce parcialmente en el acumulador de energía térmica. Este gas liberado es aire mejorado con oxígeno. Esta corriente puede suministrarse a una unidad de separación de aire, a una materia prima alternativa a la unidad de separación de aire, a la unidad de almacenamiento o a las unidades de combustión mostradas en las figuras 77 a 79 como medio de mitigar su consumo de energía eléctrica y mejorar su rendimiento. El hidrógeno o el oxígeno producidos pueden almacenarse en tanques o cavernas subterráneas para su uso futuro o su venta.
- [0791]** Como se muestra en la figura 81, los enfoques basados en la combustión 76100 pueden estar asociados con implementaciones de un proceso de calcinación. En una implementación, la materia prima, como los minerales de arcilla, se proporciona en 76101. La materia prima se alimenta a un secador/triturador en 76103. En 76107, la arcilla triturada y secada se alimenta para precalentar los ciclones 76107. En 76109, el producto que fue alimentado a través de los ciclones y precalentado con gas caliente en 76107 es suministrado a una cámara de calcinación 76109. La cámara de calcinación 76109 se calienta con gas caliente suministrado desde una cámara de combustión 76113, que se alimenta con combustible de un quemador 76111. El vapor de gas también puede suministrarse a los ciclones del precalentador 76107, al secador/triturador 76103 y al filtro y pila de escape 76105. En 76115, el producto se reduce en una zona reductora 76115, que puede estar alimentada por combustible suplementario 76117. Luego, el producto reducido se suministra a los ciclones de refrigeración 76119, donde se suministra aire ambiente 76121 para el enfriamiento. En 76123 se proporciona un material activado, como la arcilla activada para fabricar cemento.
- [0792]** El planteamiento anterior se modifica mediante la integración 76150 de un sistema de almacenamiento de energía térmica, como se muestra en la figura 82. Elementos con representaciones similares o iguales a las de la figura 81 no se repiten. Más concretamente, en lugar de utilizar combustible para proporcionar aire mediante combustión, el sistema de almacenamiento de energía térmica 76163 proporciona gas caliente calentado por calentamiento radiativo a partir de energía eléctrica. Así, no es necesario utilizar combustible para la combustión. Por consiguiente, pueden evitarse los problemas antes mencionados relacionados con la humedad del proceso de combustión. Además, se utiliza un filtro de mangas 76155 como salida del secador/triturador 76153, y el subproducto gaseoso del filtro de mangas 76155 se suministra a una pila de escape 76157 y al sistema de almacenamiento térmico 76163 como entrada. El gas subproducto de los ciclones de refrigeración 76169 también se proporciona como entrada al sistema de almacenamiento de energía térmica 76163. Las estructuras y operaciones asociadas con otras características, como el secador/triturador 76153, ciclones de precalentamiento 76159, la cámara de calcinación 76161, la zona reductora 76165, el combustible suplementario 76167, los ciclones de refrigeración 76169 y el aire ambiente 76171, son similares a las explicadas anteriormente con respecto a otros enfoques. En una implementación, la materia prima, como los minerales de arcilla, se proporciona en 76151. En 76173 se proporciona un material activado, como la arcilla activada para fabricar cemento.
- [0793]** Como se ha indicado anteriormente, el sistema de TES puede utilizarse para suministrar calor a la etapa de calcinación del proceso de alúmina de Bayer. Además, las entradas de calor en otras partes del proceso también pueden sustituir al combustible, incluido el que se suministra en la mina, en el horno de cal y en el generador de vapor que proporciona energía para hacer funcionar estos módulos.
- [0794]** Con respecto a la etapa del calcinador, los enfoques de la técnica realizan la calcinación en dos etapas: una primera etapa a una temperatura más baja asociada con un descomponedor y separación de vapor para realizar parcial, y una segunda etapa a una temperatura más alta que la primera etapa, pero a una temperatura más baja que la que se requeriría si la calcinación se realizara en una sola etapa. La primera etapa puede estar a una temperatura tal como 350°C , y la segunda etapa puede estar entre 750°C y 950°C . El proceso de calcinación en dos etapas ofrece ventajas de eficiencia energética en comparación con un proceso de calcinación en una sola etapa. De forma similar a la calcinación de arcilla, se proporciona un combustible como entrada a la primera etapa de calcinación y a la segunda etapa de

calcinación. El calor que se desprende de la calcinación puede destinarse a la lectura y a la recuperación del calor residual, mientras que el calor restante se expulsa tras el enfriamiento del agua a través de la salida de gases de pila.

[0795] La calcinación convencional consiste en calentar la gibbsita enfriada y húmeda a 950 °C-1100 °C para eliminar la humedad libre y cristalina de la gibbsita, que procede de la bauxita. Los enfoques artísticos han utilizado un horno rotativo o un calcinador que utiliza calor de la combustión. Según algunos enfoques artísticos, el material primero entra en un paso de calcinación a alta presión (por ejemplo, el descomponedor), por ejemplo, a 6-8 bares y 300 °C-480 °C, y elimina toda la humedad libre (por ejemplo, secado) y activa una parte significativa de la gibbsita en alúmina. Estos mecanismos producen vapor de agua como efluente. El material parcialmente calcinado pasa a través de un reductor de presión a la etapa de calcinación a menor presión. Esto ocurre a presión ambiente y a temperaturas relativamente bajas de 850 °C-950 °C. El combustible y el aire precalentados en el enfriamiento del material del producto se queman en un calcinador de suspensión de gas. El calor de los gases de combustión se recupera pasando a un generador de vapor/sobrecalentador donde intercambia calor con vapor reciclado de la primera etapa, vapor reciclado de otras etapas del proceso Bayer o agua de reposición para suministrar vapor sobrecalentado a la primera etapa de calcinación (o descomponedor).

[0796] Estos enfoques pueden tener problemas e inconvenientes. Por ejemplo, cuando se utiliza vapor como medio de transferencia de calor en la etapa de calcinación, es necesario tener en cuenta el equilibrio de la planta, ya que el flujo másico extremadamente elevado de vapor sobrecalentado a alta presión debe filtrarse y limpiarse antes de recircular a otras zonas de la planta. El balance térmico teóricamente más favorable de la recogida de humedad a alta temperatura del descomponedor también se traduce en un proceso más complejo e integrado. El gran caudal másico provoca problemas artísticos a la hora de suministrar la cantidad correcta de vapor sobrecalentado. El generador de vapor/sobrecalentador es un área importante de preocupación, tanto desde el punto de vista termodinámico como operativo. En esta etapa debe dispararse combustible adicional. Además, la acumulación en el equipo de proceso es uno de los mayores problemas en el concepto, ya que a menudo es necesario limpiar y filtrar el vapor recirculado de materia particulada antes de interactuar con el generador de vapor y el sobrecalentador.

[0797] Para abordar estos problemas y desventajas, el sistema de almacenamiento de energía térmica descrito anteriormente suministra calor al vapor del proceso de recirculación, y puede integrarse con aparatos de recuperación de calor para resolver problemas de equilibrio en la planta de proceso. Por ejemplo, el calor de los gases calientes de la pila del segundo calcinador de suspensión de gas se puede utilizar para suministrar una parte del calor tanto al medio de fluido de trabajo de almacenamiento térmico (por ejemplo, intercambiadores de calor gas-gas) como al vapor del proceso (por ejemplo, intercambiador de calor gas-líquido). Esto permitirá a la planta una mayor flexibilidad en la gestión de la energía, así como en el mantenimiento para solucionar la acumulación sólida en el equipo de transferencia de calor. La batería térmica puede ser externa a la central y puede suministrar vapor externamente con un generador de vapor adjunto o suministrar vapor indirectamente, haciendo pasar los gases calientes a través de intercambiadores de calor existentes o nuevos que sustituyan el deber de los productos de los gases de combustión.

[0798] En otro ejemplo de implementación, el almacenamiento térmico se refiere a un proceso totalmente integrado en el que las baterías térmicas sustituyen a toda la combustión in situ. Esta implementación incluye el enfoque descrito anteriormente, con el suministro de todo o la mayor parte del calor a la segunda etapa de calcinación. La temperatura del material parcialmente calcinado se aproxima a la presión ambiente (desde la etapa 1 de alta presión) y se pone en contacto directo con gases de combustión calientes que elevan la temperatura a 850-950 C. Este intervalo de temperatura reducido permite sustituir el calor de los combustibles quemados por calor almacenado a alta temperatura.

[0799] En algunas implementaciones de ejemplo, el fluido de trabajo primario del sistema de almacenamiento de energía térmica entraría en contacto con el material a calcinar. En otros ejemplos de aplicación, este calentamiento puede producirse indirectamente, cuando el fluido de trabajo primario de la batería térmica no entra en contacto directo con el material. El gas caliente sería soplado a través del calcinador a velocidades suficientemente altas para lograr el nivel deseado de suspensión y activación. El efluente gaseoso saldría de la cámara a alta temperatura para ser utilizado en la generación de vapor y sobrecalentamiento del vapor de proceso utilizado en la primera etapa de calcinación, así como en cualquier otra necesidad de vapor en el sistema.

[0800] Como se muestra en la figura 83, un proceso de calcinación 8300 asociado con la producción de aluminio según las implementaciones de ejemplo tiene varias modificaciones con respecto a enfoques anteriores. El almacenamiento de energía térmica 8301 proporciona una entrada de calor a la segunda etapa de calcinación 8303. Por lo tanto, en lugar de utilizar combustible para generar ese calor, como en otras aproximaciones mediante la combustión, el calor se proporciona como gas caliente del sistema de TES, como se explicó anteriormente, se proporciona un alto volumen de gas caliente de alta temperatura como entrada a la segunda etapa de calcinación a su temperatura de funcionamiento. Por lo tanto, no es necesario proporcionar aire precalentado desde el enfriamiento de alúmina 8311, como puede ser necesario en enfoques anteriores.

[0801] El subproducto de salida de la segunda etapa de calcinación 8303 es gas ligeramente enfriado que puede utilizarse para el generador de vapor de recuperación de calor 8307, en lugar del combustible y aire adicionales que pueden estar presentes en los enfoques anteriores. La salida de vapor del generador de vapor 8307 se proporciona a la primera unidad de calcinación 8309 a la temperatura de la primera unidad de calcinación 8309, que puede proporcionar

el flujo de vapor reciclado y sólidos como en la técnica anterior. Además, en lugar de expulsar el exceso de calor o el calor residual del generador de vapor como gas de ajuste, el subproducto de calor del generador de vapor es el gas que ha pasado por una zona de recuperación de calor, y se inyecta en los ciclones de refrigeración de alúmina 8311, junto con el aire ambiente. El calor subproducto de los ciclones de refrigeración de alúmina se suministra, a través de un filtro de mangas y filtro 8317, como el gas recirculado para la entrada de la unidad de almacenamiento térmico.

[0802] Según una implementación alternativa, el sistema de TES puede utilizarse únicamente para proporcionar el calor para el generador de vapor, de modo que la infraestructura existente de la instalación de procesamiento de alúmina puede utilizarse sin modificaciones sustanciales.

[0803] El sistema de activación de material del ejemplo puede tener varios beneficios y ventajas. Por ejemplo, debido a que la salida de la recuperación de calor residual se recircula como una entrada al almacenamiento de energía térmica, se evita la emisión de calor a través de la pila. Por lo tanto, se pueden evitar las emisiones de calor innecesarias a la atmósfera. Además, al utilizar el calor entrante del sistema de TES, no es necesario usar combustibles fósiles para proporcionar el calor de entrada. Además, debido a que se elimina el aspecto de la combustión de generar calor, se elimina la humedad libre en la corriente de combustión de entrada, lo que evita los problemas introducidos por la presencia de esa humedad, en particular con respecto a la calcinación de la arcilla, como se explicó anteriormente. La implementación de ejemplo también tiene la ventaja de una termodinámica más favorable y temperaturas máximas más bajas.

3. Ventajas sobre los sistemas anteriores

[0804] El sistema de activación de materiales descrito en el presente documento puede tener varias ventajas y beneficios sobre las implementaciones de calcinación anteriores. Por ejemplo, el sistema de activación de materiales puede reducir o eliminar las emisiones de dióxido de carbono asociadas a la fabricación de cemento, funcionando parcial o exclusivamente con electricidad renovable mediante matrices de almacenamiento de energía térmica calentadas por energía eléctrica.

[0805] Además, la modularidad de los almacenamientos de energía térmica y su aplicabilidad en diversas partes del proceso de producción de cemento permiten la electrificación gradual, el reequipamiento y la hibridación con la combustión de combustibles. La integración del almacenamiento de energía térmica permite que la electricidad de bajo coste, baja intensidad de carbono y bajo factor de capacidad haga funcionar diversos procesos en la producción de cemento u otras aplicaciones industriales con elevados factores de capacidad anual que pueden ser casi equivalentes al funcionamiento con combustibles fósiles.

[0806] El sistema de activación de materiales descrito en el presente documento también aborda los problemas asociados a la humedad en la arcilla. La arcilla es generalmente una sustancia muy húmeda, ya que a menudo se adquiere en áreas húmedas con cantidades relativamente grandes tanto de humedad libre como de agua cristalina en la estructura del mineral. El consumo de combustible en la activación aumenta drásticamente con la cantidad de humedad libre presente en la arcilla, debido principalmente a la energía desperdiciada en un cambio de fase del agua. Este problema se agrava aún más por el vapor de agua adicional producido en la combustión. El sistema de TES, sin embargo, supera este problema ya que la combustión no es la forma principal de transferencia de calor. No depender de la combustión también permite que el sistema de almacenamiento térmico tenga un mayor grado de libertad en las condiciones de operación, ya que la tasa de flujo de aire no cambiará drásticamente la composición del gas dentro de la cámara del reactor.

[0807] Otro beneficio de cambiar de la combustión a la energía eléctricamente calentada y almacenada es que, en la activación de arcilla, existe una temperatura límite superior de aproximadamente 950 °C, por ejemplo, 950 °C, donde la estructura mineral de la arcilla se destruye a mullita y pierde todas sus cualidades deseadas para su uso como un SCM. En los procesos impulsados por combustión, los perfiles de temperatura en el interior de los reactores son mucho más difíciles de controlar que con una fuente de calor de gas de temperatura fija, que es mucho más fácil de controlar y vigilar.

[0808] Al desacoplar el aire de escape caliente del horno rotatorio de la entrada del precalentador/precalcinador, se pueden conseguir uno o más beneficios potenciales múltiples. Al desacoplar el flujo de gas entre el horno y el precalcinador, el flujo de gas y las velocidades de calentamiento pueden controlarse independientemente para optimizar cada proceso. Por ejemplo, en un sistema de paso de aire, la cantidad de combustible que se puede quemar en el calcinador puede verse limitada debido a caudales de gas excesivos que pueden enfriar la temperatura de la llama. Además, el gas de escape calentado del horno puede capturarse y utilizarse para fines alternativos, como proporcionar energía térmica a un ciclo de potencia para generar electricidad.

[0809] Además, los gases de escape calientes del horno pueden contener cantidades significativas de componentes indeseables, como sales alcalinas, que se evaporan en las secciones más calientes del horno. Estos componentes indeseables pueden dañar el equipo, provocar atascos en el precalcinador al enfriarse y reducir la calidad del producto al recircular. Al desacoplar el horno y el precalcinador, los subproductos no deseados pueden mantenerse fuera del precalcinador y potencialmente capturarse. Además, el calor necesario para el precalcinador puede ser proporcionado por un sistema de TES alimentado por energía renovable u otras fuentes, y opcionalmente complementado por una fuente de combustible.

[0810] Como otro beneficio, el horno y el precalcinador pueden funcionar con composiciones de gas diferentes en algunas implementaciones. Por ejemplo, el horno puede ser calentado por una fuente de energía de combustible de oxígeno con metano añadido, lo que resulta en una composición de gas que consiste predominantemente en CO_2 y H_2O . Este maquillaje evita reacciones secundarias como la del nitrógeno del aire con el oxígeno, produciendo óxidos de nitrógeno. El dióxido de carbono y el agua pueden utilizarse en procesos descritos en otras partes de esta divulgación. El precalcinador puede funcionar con aire que fluye a través del almacenamiento de energía térmica, ya que puede ser menos costoso y no tener el problema de las reacciones del gas nitrógeno. El tipo de gas y la combinación de almacenamiento frente a la fuente de energía combustible pueden ajustarse de forma independiente y optimizarse potencialmente en algunas realizaciones.

[0811] El uso de dióxido de carbono tiene varios beneficios y ventajas. Por ejemplo, el dióxido de carbono no requiere un separador de aire y tiene propiedades térmicas que favorecen más la transferencia de calor. El dióxido de carbono también tiene una mayor emisividad a altas temperaturas. Además, el dióxido de carbono es inerte y no entra en combustión, lo que, como se indica en la prestación de que se trate. Dado que el dióxido de carbono no reacciona con los calentadores resistivos, hay menos oxidación o desgaste en los calentadores resistivos de los almacenes de energía térmica. El gas subproducto se recircula como fluido de entrada para el sistema de TES, y el dióxido de carbono no se libera a la atmósfera, lo que tiene un beneficio ambiental al reducir los gases de efecto invernadero.

[0812] Enfoques anteriores no incluyen un proceso integrado que utilice gases calientes generados por calentadores eléctricos resistivos para suministrar todo el calor para un proceso de calcinación. Además, estos enfoques no incluyen un proceso integrado que utilice un sistema de TES que se carga desde la electricidad y descarga fluido caliente directamente en un proceso de flash-calcinación como modo principal de suministro de calor. Además, el sistema de activación del material puede recircular los gases residuales del sistema de calentamiento del material de vuelta al sistema de TES. Este fluido recirculado también puede tener una composición deseada para satisfacer las necesidades de reacción y calidad.

B. Electrólisis

[0813] El gas que sale de la TSU puede utilizarse como entrada para diversas aplicaciones industriales. Un tipo de aplicación industrial que utiliza y se beneficia de un flujo continuo de calor a temperatura constante es la electrólisis. El sistema de almacenamiento de energía térmica que recibe energía eléctrica que puede fluir hacia un sistema de almacenamiento térmico (por ejemplo, que recibe aire a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ y lo entrega en un intervalo entre $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ (tal como $860\text{ }^{\circ}\text{C}$) cuando se descarga para electrólisis). Como se explica a continuación, los sistemas de electrólisis de última generación pueden mejorarse combinándolos con el sistema de almacenamiento de energía térmica descrito anteriormente.

1. Problemas a resolver

[0814] Los electrolizadores de óxido sólido según diseños convencionales reciben una entrada de gas calentado y agua en forma de vapor sobrecalentado. El gas se calienta antes de su entrada en el electrolizador de óxido sólido mediante un calentador eléctrico resistivo, un calentador de combustible o similar. El uso de un calentador eléctrico resistivo o un calentador de combustible para este fin puede tener varios problemas y desventajas. Por ejemplo, los calentadores de combustible pueden consumir combustibles fósiles como el gas natural, que es caro y causa contaminación. Los calentadores eléctricos alimentados directamente por fuentes de VRE causan problemas con las temperaturas cambiantes y los periodos de funcionamiento limitados.

[0815] Existen varios tipos de pilas de combustible que toman hidrógeno o una mezcla de gases y producen energía eléctrica, como las pilas de combustible electrolizadoras de carbonato fundido y las pilas de combustible de óxido sólido. Estas pilas de combustible utilizan esencialmente lo mismo que los electrolizadores a la inversa. Sin embargo, las pilas de combustible de óxido sólido presentan problemas e inconvenientes, ya que la oxidación provoca un calentamiento localizado y problemas con la vida útil de la pila. Las pilas de combustible de óxido sólido requieren que sus reactantes de entrada y el conjunto de la pila de combustible se mantengan a determinadas temperaturas. El funcionamiento de las pilas de combustible suministra energía en parte en forma de energía eléctrica y en parte en forma de calor. Además, las pilas de combustible de óxido sólido requieren un recuperador (por ejemplo, un generador de calor a alta temperatura) para aprovechar una parte del calor generado por la pila de combustible. Sin embargo, una parte sustancial del calor generado no se utiliza, lo que resulta en ineficiencias.

2. Unidad de óxido sólido reversible

[0816] Los electrolizadores de óxido sólido pueden incluir un electrolizador que produce hidrógeno utilizando energía eléctrica para romper los enlaces moleculares y separar los iones elementales en corrientes de salida separadas. Los electrolizadores de óxido sólido tienen un cátodo poroso con un electrolito poroso que es catalítico cuando se opera a temperaturas iguales o superiores a $830\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la energía térmica contribuye a romper esos enlaces. Una pila de combustible de óxido sólido suele tener una eficiencia del 40-50% para tomar energía del combustible y producir energía eléctrica, y el resto de la energía se libera en forma de calor a unos $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ejemplo, de $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $860\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ejemplo,

860 °C, en algunos casos, que son temperaturas ligeramente superiores al punto de funcionamiento óptimo del electrolizador de óxido sólido. Un sistema puede incorporar uno o más electrolizadores de óxido sólido y una o más pilas de combustible de óxido sólido; una sola unidad de óxido sólido puede funcionar de forma reversible como electrolizador o pila de combustible.

[0817] La figura 84 proporciona una ilustración 4300 de la unidad de óxido sólido como pila de combustible 4301 y como electrolizador 4303. La pila de combustible de óxido sólido en 4301 recibe como entrada un gas como hidrógeno o monóxido de carbono. El hidrógeno o el monóxido de carbono se combinan con gas enriquecido con oxígeno a través de un potencial para producir energía eléctrica 4305 y agua o dióxido de carbono, dependiendo de si el hidrógeno o el monóxido de carbono, respectivamente, es la entrada. De manera similar, como se muestra en la celda de electrólisis de óxido sólido 4303, se proporciona agua o dióxido de carbono como entrada junto con calor en forma de fluido caliente del sistema de almacenamiento de energía térmica, que obtiene su energía de una fuente eléctrica como la fuente eólica renovable 4307 como se ilustra. La salida es gas de hidrógeno o monóxido de carbono, dependiendo de si el agua o el dióxido de carbono fue la entrada, así como gas enriquecido con oxígeno como subproducto.

[0818] La figura 85 ilustra el modo de electrólisis 4900 de la implementación de ejemplo. El sistema de energía térmica 4901 recibe energía eléctrica de una fuente, como una fuente VRE 4903, y/o de otra fuente, ya sea localmente o a través de una red eléctrica 4905. La fuente de electricidad 4903 también se puede acoplar a otros elementos del sistema de electrólisis de óxido sólido, por ejemplo, para proporcionar potencial eléctrico para la reacción de electrólisis. El fluido 4902 (por ejemplo, aire caliente) sale del sistema de almacenamiento de energía térmica 4901 y se suministra a la celda de electrólisis de óxido sólido 4907. El fluido 4902 puede estar a una temperatura entre 800 °C y 900 °C (tal como 850 °C). La celda de electrólisis de óxido sólido 4907 también puede recibir vapor 4904, que puede estar a una temperatura cercana a la del fluido 4902 (por ejemplo, 830 °C). La celda de electrólisis de óxido sólido 4907 puede recibir electricidad de la fuente de electricidad 4903 y generar como salida hidrógeno como gas producto 4908 junto con fluido caliente enriquecido en oxígeno 4923 como subproducto.

[0819] El gas producto 4908 (por ejemplo, hidrógeno) se enfría a través de un intercambiador de calor. El intercambiador de calor puede devolver calor al medio ambiente o, de manera más eficiente, puede entregar calor a una carga térmica, como un generador de vapor de un solo paso (OTSG) 4911, como su entrada. El gas producto fluye a través de los intercambiadores de calor del OTSG 4911, que es alimentado por agua fría de una fuente 4913. Al enfriar el gas del producto 4908 mediante el intercambiador de calor/OTSG 4911, gran parte de su agua transportada se condensa, convirtiéndose en gas del producto condensado 4912. El gas producto condensado 4912 se suministra principalmente a una unidad de procesamiento de hidrógeno 4915, que a su vez suministra el gas hidrógeno en una forma lista para el almacenamiento al almacenamiento 4917. Una parte del gas de producto condensado se recircula a 4919 para ser mezclado con el vapor de entrada 4904. En una implementación, el vapor 4904, o una parte del vapor, puede ser la salida del OTSG 4911, como se muestra en 4921.

[0820] De manera similar a lo explicado anteriormente para OTSG 4911, se puede proporcionar otro OTSG 4931, con suministro de agua proveniente de una fuente 4933. Como se ha comentado anteriormente, el OTSG 4931 puede ser cualquier intercambiador de calor que caliente un fluido, incluyendo una caldera de recirculación con o sin recalentamiento, o una unidad que caliente aire circulante, CO₂, aceite, agua o sal. El OTSG 4931 recibe el fluido caliente enriquecido con oxígeno, y emite el fluido enfriado en 4937. En algunas implementaciones, el OTSG 4931 puede recibir otra corriente de fluido caliente del sistema de energía térmica 4901 para ajustar la temperatura o el flujo de calor de la corriente combinada a una condición más útil. El fluido enfriado enriquecido con oxígeno 4937 puede mezclarse con aire ambiente o precalentado en 4935, para ajustar la composición de oxígeno a un nivel deseado. El fluido ajustado 4939 puede suministrarse como gas de entrada al sistema de almacenamiento de energía térmica 4901.

[0821] La figura 86 ilustra el modo de pila de combustible 5000 según un ejemplo de implementación. El sistema de almacenamiento de energía térmica 5001 proporciona aire u oxígeno como se muestra en 5002, tal como se explicó anteriormente con respecto al modo de electrólisis. Por separado, se suministra una cantidad de hidrógeno 5003. El hidrógeno se calienta a través del intercambiador de calor de paso único 5005 por el fluido caliente del sistema de almacenamiento de energía térmica. Opcionalmente, se puede mezclar una pequeña cantidad de vapor con el gas de hidrógeno para evitar la degradación de la unidad de óxido sólido. El fluido del sistema de almacenamiento de energía térmica puede suministrarse a una temperatura que es más baja que la del modo de electrólisis, tal como 650 °C o en un intervalo entre 600 °C y 700 °C.

[0822] En el modo de funcionamiento de pila de combustible, el aire 5030 puede proporcionar un efecto de refrigeración en la pila de combustible de óxido sólido 5007. El aire 5002 del sistema de almacenamiento de energía térmica 5001 y el hidrógeno calentado del almacenamiento de hidrógeno 5003 se introducen, como se muestra en 5004 y 5030 respectivamente, en la pila de combustible de óxido sólido 5007. Como salida, la pila de combustible de óxido sólido 5007 genera electricidad de corriente continua en 5006. En una implementación, la electricidad de corriente continua se suministra a un inversor para convertirla en una salida de corriente alterna, que puede suministrarse a cualquier uso 5009 (que puede ser, por ejemplo, una red eléctrica). Las salidas adicionales de la pila de combustible de óxido sólido 5007 incluyen agua e hidrógeno como fluido de producto en 5011, y aire calentado y sin oxígeno en 5021. El fluido del producto en 5011 se suministra al intercambiador de calor 5013, que enfría el fluido del producto calentando otro fluido que puede ser agua, aire u otro fluido recibido como se muestra en la fuente de fluido 5015.

[0823] La salida incluye vapor de exportación en 5019, que puede proporcionarse como entrada a una aplicación industrial que requiera vapor, como una turbina de vapor como se ha explicado anteriormente. Además, el hidrógeno residual puede recircularse, a través de un intercambiador de calor 5005, a la pila de combustible de óxido sólido 5007, como se muestra en 5027. El fluido empobrecido en oxígeno 5021, opcionalmente complementado con otro fluido caliente del almacenamiento 5031, se suministra como gas de calefacción para el intercambiador de calor 5013, y posteriormente se suministra como fluido de entrada para el sistema de almacenamiento de energía térmica 5001, como se muestra en 5025. Cabe señalar que la pila de combustible de óxido sólido 5007 genera electricidad y calor. Por lo tanto, el fluido de entrada del sistema de almacenamiento de energía térmica 5001, que se encuentra a unos 650 °C, por ejemplo, 650 °C en este caso, se proporciona como aire de refrigeración para la pila de combustible de óxido sólido 5007.

[0824] La figura 87 ilustra un ejemplo de sistema 4100 utilizado para alimentar la producción de hidrógeno y/o combustibles de hidrocarburos suministrando tanto calor como energía para accionar un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura. Los electrolizadores de óxido sólido pueden reducir el aporte de energía eléctrica necesario por unidad de hidrógeno aprovechando la energía térmica para impulsar la ruptura de enlaces químicos. Se puede lograr una eficiencia total relativamente mayor dirigiendo una parte 4101 del calor almacenado a alta temperatura del sistema de almacenamiento de energía térmica 4105 como calor a alta temperatura a un electrolizador 4102 que también está total o parcialmente alimentado por electricidad 4103 generada por un proceso de generación térmica 4104. El proceso de generación térmica 4104 puede incluir, por ejemplo, un ciclo de Rankine o un ciclo supercrítico de CO₂.

[0825] En algunas implementaciones, el electrolizador 4102 puede coelectrolizar agua y CO₂ (también pueden utilizarse electrolizadores separados para electrolizar agua y CO₂) con todo o una parte del gas de síntesis resultante dirigido a una unidad de conversión de tipo metanización o Fischer-Tropsch 4109. La unidad 4109 puede producir un combustible hidrocarburo gaseoso o líquido sintético, mostrado en 4106. Además, se puede proporcionar un generador de vapor de paso único (OTSG) 4107 como un condensador que enfría el fluido de salida de la unidad de electrólisis de óxido sólido 4102 y proporciona el vapor como entrada a la unidad de electrólisis de óxido sólido 4102. El fluido caliente subproducto se recircula de nuevo al sistema de almacenamiento de energía térmica 4105 como un fluido de entrada.

[0826] Como se explicó anteriormente, el electrolizador es reversible como una pila de combustible. Por lo tanto, cuando la energía renovable de entrada, como la matriz fotovoltaica, no está disponible o cuando la electricidad es necesaria en la red, el hidrógeno puede ser alimentado a la pila de combustible y agua, electricidad y calor pueden ser producidos por el sistema. La temperatura es lo suficientemente alta como para que el calor se pueda utilizar para producir vapor o en otro proceso industrial. Por consiguiente, se extrae menos calor de la unidad de almacenamiento térmico ya que se sustituye por lo que de otro modo sería calor residual procedente de la pila de combustible.

[0827] Otra posibilidad es invertir el flujo de gas y devolver el calor por convección al acumulador de calor. Por lo tanto, cuando el sistema esté realizando la cogeneración y generando calor, el calor residual de la pila de combustible se puede utilizar para desplazar la energía que de otro modo se habría liberado desde el almacenamiento térmico o para devolverla al almacenamiento térmico.

[0828] La eficiencia del electrolizador mejora drásticamente cuando se utiliza fluido caliente procedente del sistema de almacenamiento de energía térmica. Además, si no se está utilizando ninguna de las salidas de vapor, el calor capturado se puede reutilizar. Por ejemplo, en una implementación se produce hidrógeno, con una fracción que se vende y otra fracción que se utiliza para la generación de energía. El calor residual de la generación de energía puede ser recapturado y utilizado para reducir la electricidad utilizada para la electrólisis durante el próximo período, como el día siguiente. Además, en algunas implementaciones de ejemplo, tanto el calor residual convectivo de la pila de combustible como el calor eléctrico de entrada pueden ser utilizados para cargar la unidad de almacenamiento térmico.

[0829] En una implementación, el sistema puede incorporar 1) una matriz solar u otra fuente de electricidad intermitente; 2) una unidad combinada de electrolizador/celda de combustible-almacenamiento térmico; y 3) una batería de iones de litio y una estación de carga de vehículos eléctricos y una estación de llenado de hidrógeno. Este sistema se puede usar para almacenar energía en forma de hidrógeno que puede participar en proporcionar electricidad en horarios fuera de servicio para la carga de vehículos eléctricos, pero también está disponible para suministrar a los vehículos como carga de hidrógeno.

[0830] La figura 88 ilustra un sistema de electrólisis de óxido sólido reversible 4800 según una implementación de ejemplo. El sistema de almacenamiento de energía térmica 4801 proporciona fluido caliente (por ejemplo, gas caliente) 4809 en su salida. Como se muestra en este ejemplo, la composición del fluido es un 53 % de gas nitrógeno y un 47 % de gas oxígeno, a una temperatura de 855 °C y con un caudal de 1620 kg por hora. Sin embargo, la composición del oxígeno o del nitrógeno puede ajustarse en función de los parámetros de funcionamiento de la celda de óxido sólido 4803. Por ejemplo, el gas puede tener un porcentaje de volumen de oxígeno entre el 25 % y el 60 %. Además, se puede variar la temperatura o el caudal. Por ejemplo, la temperatura puede estar entre 800 °C y 900 °C o el caudal puede estar entre 1500 kg/h y 2000 kg/h.

[0831] El fluido caliente 4809 se suministra a una unidad de óxido sólido 4803. En este caso, la unidad de óxido sólido es una unidad reversible bidireccional. Por ejemplo, la unidad de óxido sólido 4803 puede operar en modo electrolítico, lo

que produce una reacción endotérmica, o en modo de celda de combustible, que produce una reacción exotérmica. La unidad de óxido sólido 4803 se describe actualmente en modo de electrólisis.

[0832] La celda de óxido sólido 4803 en modo electrólisis recibe el fluido caliente 4809 del sistema de almacenamiento de energía térmica 4801. Debido a que la unidad de óxido sólido 4803 en el modo de electrólisis opera de tal manera que la resistencia interna no genera suficiente calor para superar la reacción endotérmica, la unidad de óxido sólido 4803 está operando en el modo de tensión térmica neutra. Aunque no se muestra, cada una de las celdas recibe una entrada eléctrica a 1,28 V. Otras tensiones también pueden ser posibles, como una tensión en un intervalo entre 1 voltio y 3 voltios. En varias realizaciones, el fluido caliente 4809 pasa a través de las celdas de óxido sólido como un fluido de barrido (por ejemplo, gas de barrido).

[0833] Además del fluido caliente 4809 (por ejemplo, fluido de barrido) proporcionado por la unidad de almacenamiento de energía térmica, también se proporciona un fluido de reacción (por ejemplo, vapor mezclado con hidrógeno) 4811 como entrada a la unidad de óxido sólido 4803. En este ejemplo, el fluido de reacción 4811 se suministra con un 96 % de agua y un 4 % de gas hidrógeno, a una temperatura sobrecalentada de 807 °C y a un caudal de 814 kg por hora. Se puede variar el porcentaje de agua, la temperatura o el caudal del fluido de reacción 4811. En diversas implementaciones, la temperatura del fluido de reacción 4811 está a una temperatura inferior a la del fluido caliente 4809 pero a una temperatura superior a 800 °C. En algunas implementaciones, la velocidad de flujo del fluido de reacción 4811 se equilibra con la velocidad de flujo del fluido caliente 4809 para proporcionar los resultados de reacción deseados en la unidad de óxido sólido 4803.

[0834] El fluido de reacción 4811 se suministra a la unidad de óxido sólido 4803. Como resultado de la reacción en la pila de óxido sólido, la molécula de agua se divide y los iones resultantes forman gas oxígeno y gas hidrógeno. Al mismo tiempo, el gas de barrido (por ejemplo, el fluido caliente 4809) extrae el oxígeno del electrodo de aire a medida que el agua entra en el cátodo y elimina los óxidos del agua.

[0835] Como salidas, la celda de óxido sólido en modo electrólisis produce fluido producto 4813 así como fluido enriquecido con oxígeno 4815 (por ejemplo, aire enriquecido con oxígeno). En ciertas implementaciones, la temperatura del gas producto está cerca de una temperatura del fluido enriquecido en oxígeno. Ambos fluidos pueden estar a una temperatura comprendida entre una temperatura del fluido de reacción y una temperatura del fluido caliente 4809. En la realización ilustrada, el fluido de producto 4813 tiene un 76 % de hidrógeno y un 24 % de agua en volumen, lo que corresponde a un 26 % de hidrógeno y a un 74 % de agua en peso. La temperatura del fluido producto 4813 es de 830 °C y se suministra a un caudal de 274 kg por hora. El fluido enriquecido 4815 es una composición de 60 % de oxígeno y 40 % de nitrógeno en volumen, a una temperatura de 830 °C, y a un caudal de 2159 kg por hora. La composición, temperatura y caudal del fluido producto 4813 y del fluido enriquecido 4815 pueden variar en función de las condiciones de funcionamiento del sistema.

[0836] Para el fluido de producto 4813, se proporciona una carga atérmica tal como un OTSG 4805 que incluye condensadores de calor. El OTSG 4805 utiliza agua para enfriar y condensar el hidrógeno gaseoso. Más concretamente, el fluido de producto 4813 entra en el OTSG 4805, donde se expone al agua que circula por las tuberías. La fuente de agua para el OTSG 4805 es un depósito de agua 4817, donde el agua se suministra a una temperatura relativamente fría, tal como 25 °C. A medida que el agua pasa por los distintos condensadores, el agua se calienta cada vez más desde la salida hasta la entrada del condensador. Más concretamente, el depósito de agua 4817 suministra el agua limpia y el condensado a una primera etapa del intercambiador de calor, donde el fluido producto se encuentra en su punto más frío de los tres intercambiadores de calor.

[0837] A continuación, el agua fluye hacia un segundo intercambiador de calor situado aguas arriba del primero, y el fluido producto está más caliente que en el primer intercambiador de calor. En el tercer intercambiador de calor entra el fluido producto 4813, que se encuentra en su punto más caliente. Aunque se muestra que los intercambiadores de calor del condensador tienen tres etapas, el intercambiador de calor puede variar para tener más o menos etapas según la elección del diseño.

[0838] Como resultado del intercambio de calor, el condensador funciona como el OTSG 4805, porque a medida que el agua absorbe el calor del fluido de producto de hidrógeno caliente 4813, el agua se convierte en vapor, y el vapor se suministra a la entrada de la unidad de óxido sólido a una temperatura de alrededor de 830 °C, por ejemplo, 830 °C. El vapor se proporciona entonces como 4837 y se introduce en la unidad de óxido sólido en 4811. Debido a que la unidad de óxido sólido 4803 es sensible a la contaminación, la fuente 4817 del agua para el condensador es agua purificada. Opcionalmente, el agua purificada puede combinarse con la salida de condensado 1819 del condensador.

[0839] A medida que el hidrógeno pasa por el condensador, se elimina agua del gas hidrógeno en forma de condensado debido a que el gas hidrógeno caliente pasa por las tuberías frías del condensador. La salida 4821 del condensador es fluido de producto seco, concretamente gas hidrógeno seco. El gas hidrógeno se suministra a una aplicación industrial en 4823, como se ha explicado anteriormente.

[0840] En 4825, parte del hidrógeno gaseoso (por ejemplo, hidrógeno gaseoso mezclado con algo de agua) se devuelve a la entrada de la unidad de óxido sólido 4803 en combinación con el vapor que se forma a la salida del condensador

como se ha explicado anteriormente. El gas hidrógeno se combina con vapor a la entrada del óxido sólido porque no se puede introducir vapor al 100 % en la unidad de óxido sólido debido a problemas de degradación. Opcionalmente, el gas que sale del sistema de almacenamiento de energía térmica puede suministrarse a una temperatura basada en un parámetro del electrolizador de óxido sólido, como la temperatura de funcionamiento.

[0841] Debido a que el sistema de almacenamiento de energía térmica proporciona el flujo constante de fluido calentado 4809 a la temperatura requerida para la celda de óxido sólido en el modo de electrólisis, no hay necesidad de calentadores eléctricos resistivos como en los sistemas anteriores. Por lo tanto, la celda de óxido sólido 4803 se puede proporcionar y utilizar sin un calentador. Sin embargo, se pueden añadir opcionalmente calentadores eléctricos resistivos (u otros calentadores), para proporcionar ajustes de temperatura o calibración a la entrada de la unidad de óxido sólido.

[0842] A medida que el fluido enriquecido con oxígeno 4815 se introduce en el OTSG 4807, el agua del depósito de agua 4827 interactúa con el fluido enriquecido, de forma similar a la descrita anteriormente para el fluido producto. Así, se transfiere calor al agua que pasa por los intercambiadores. Dicha agua sale como vapor en 4839 y se suministra a la entrada de la unidad de óxido sólido como parte del fluido de reacción 4811 junto con el vapor del condensador de fluido de producto y el gas hidrógeno recirculado. El fluido enriquecido también puede ser ventilado en 4831.

[0843] El fluido enriquecido sale a 4829. El fluido enriquecido se expulsa a la atmósfera como aire de composición atmosférica estándar a 4833. Adicionalmente, el fluido enriquecido con oxígeno puede ser reciclado en 4835 después de ser mezclado con aire atmosférico, de tal manera que la composición del fluido sea un 53% de nitrógeno y un 47 % de oxígeno, por ejemplo. Este fluido se proporciona como entrada al sistema de almacenamiento de energía térmica 4801, donde se calienta en las matrices de almacenamiento térmico y se proporciona como salida a la unidad de óxido sólido como fluido caliente en 4809, como se explicó anteriormente. Además, la mezcla del fluido enriquecido con oxígeno con aire atmosférico también tiene un beneficio para el sistema de almacenamiento de energía térmica 4801, en el sentido de que se evitan los problemas y desventajas asociados con tener fluido enriquecido con oxígeno en el sistema de almacenamiento de energía térmica, como la oxidación potencial de los componentes.

[0844] Además, la temperatura del calor generado por el sistema de almacenamiento de energía térmica puede suministrarse a la unidad de óxido sólido a una temperatura térmicamente neutra. En otras palabras, debido a que el fluido caliente 4809 se proporciona a una temperatura elevada, tal como 855 °C, el sistema está en una condición isotérmica, y el sistema no tiene ninguna demanda neta de calor. En otras palabras, las reacciones químicas en la unidad de óxido sólido 4803 enfriarán el sistema, mientras que la única resistencia dentro del sistema de almacenamiento de energía térmica proviene de los elementos de calentamiento que generan calor a partir de la energía eléctrica. El resultado es que no hay cambio neto de temperatura y el coste energético es sustancialmente menor. Por consiguiente, se ahorran costes, ya que no es necesario añadir calentadores resistivos o contadores de combustible adicionales a la unidad de óxido sólido para calentar el aire entrante. No obstante, debe tenerse en cuenta que no es necesario que el electrolizador funcione a la temperatura isotérmica y que, en su lugar, puede utilizar calor generado a una temperatura superior o inferior.

[0845] Como ya se ha indicado, la unidad de óxido sólido es reversible, de modo que puede utilizarse como electrolizador, como ya se ha explicado, o como pila de combustible. El funcionamiento de la pila de combustible puede incluir, utilizando las estructuras como se ha explicado anteriormente, con la unidad de almacenamiento de energía térmica que proporciona fluido enriquecido oxigenado que se combina con hidrógeno comprimido para producir electricidad de corriente continua y agua, como se describe en el presente documento.

[0846] Adicionalmente, en algunas implementaciones, cuando la unidad de óxido sólido no está operando, el fluido caliente 4809 generado por el sistema de almacenamiento de energía térmica puede continuar siendo suministrado a través de la unidad de óxido sólido. La ventaja de hacer fluir dicho fluido caliente a través de la unidad de óxido sólido cuando el sistema no está en uso es que se evita la rampa descendente durante el proceso de refrigeración y la rampa ascendente durante el proceso de calentamiento antes y después del funcionamiento activo (por ejemplo, ciclos térmicos), respectivamente. Además, también se evita el desgaste de la unidad durante esos procesos y, además, se reduce el tiempo y el coste de refrigeración y calentamiento de los distintos componentes (como la cerámica del interior de la unidad de óxido sólido). Además, es posible cambiar de carga, entre los distintos modos de funcionamiento (como electrolizador y pila de combustible), sin necesidad de apagar y calentar la unidad. En algunas implementaciones, la unidad de óxido sólido puede continuar siendo calentada por el fluido caliente 4809 a temperaturas cercanas a las utilizadas durante las operaciones de la celda de combustible.

[0847] La composición del fluido que fluye dentro de la unidad de almacenamiento de energía térmica puede ajustarse mediante la extracción de fluido enriquecido con oxígeno 4829 y/o la introducción de aire fresco ambiental. El fluido enriquecido con oxígeno extraído puede utilizarse para otro fin, incluida la purificación y el suministro de oxígeno con fines comerciales.

[0848] Además, la producción de hidrógeno y oxígeno puede acoplarse a otros procesos como la hidrogenación de CO₂ o CO para fabricar combustibles líquidos o la remediación de la contaminación de aguas subterráneas contaminadas utilizando oxígeno. El exceso de calor, como el procedente de un proceso de Fischer-Tropsch, podría utilizarse para cargar convectivamente o precalentar el fluido de la unidad de almacenamiento térmico. También se pueden acoplar al sistema de almacenamiento otros procesos de electrólisis que aprovechen la electricidad renovable o la energía térmica.

Como ejemplo, una coelectrólisis directa de CO₂ en combinación con la reacción de cambio de agua-gas y vapor para producir gas de síntesis, el cual puede ser procesado posteriormente en un reactor de Fischer-Tropsch para su conversión en hidrocarburos, es óptimo a una temperatura utilizable desde una unidad de almacenamiento de energía renovable, como se describe anteriormente, y alimentado utilizando la arquitectura de CC descrita previamente.

[0849] Los electrodos a base de níquel también pueden utilizarse para obtener la metanación del monóxido de carbono (por ejemplo, la reacción de Sabatier), controlándose las proporciones de los diversos productos componentes mediante la temperatura, la presión y la concentración de los componentes en equilibrio. Puede ser especialmente valioso ubicar una instalación que combine almacenamiento de energía, Fischer-Tropsch, Sabatier y la coelectrólisis en una biorrefinería, como una refinería de etanol (que dispone de un gran suministro de CO₂ biogénico procedente del fermentador) u otra instalación de procesamiento, como una refinería de gasóleo renovable (que dispone de flujos de CO₂ procedentes de las unidades de proceso y cuenta con equipos de producción de combustible que pueden purificar los productos derivados de la reacción Fischer-Tropsch).

[0850] El sistema también puede utilizarse en cargas industriales como refinerías de gasóleo renovable, refinerías de petróleo o yacimientos petrolíferos en los que el valor del hidrógeno que participa en el proceso químico es muy elevado. También se valora mucho la energía eléctrica 24 horas sin emisiones de carbono. Por ejemplo, en lugar de producir hidrógeno y electricidad con una eficiencia baja, este conjunto de sistemas permite convertir esencialmente cada kilovatio hora que entra en el sistema en un kilovatio hora de entalpía e hidrógeno o un kilovatio hora de calor o un kilovatio hora de electricidad con una eficiencia muy alta (por ejemplo, un 96 % de eficiencia total del sistema).

[0851] En varias implementaciones, los fluidos que fluyen dentro y fuera de la unidad de almacenamiento térmico pueden acoplarse directamente con los fluidos que fluyen a través de un lado del electrolizador (por ejemplo, el lado de oxígeno). Como tal, la integración de un contacto calentado directamente y un contacto enfriado directamente puede ayudar a la integración de la pila de combustible.

[0852] Además de estar conectado a la celda de electrólisis de óxido sólido, el sistema de almacenamiento de energía térmica que tiene energía eléctrica que puede fluir a un sistema de almacenamiento térmico que toma fluido a 200 °C y entrega fluido a una temperatura de 800 °C -1600 °C cuando se descarga como se ha explicado anteriormente, como el sistema divulgado anteriormente, puede realizar calefacción urbana, accionamiento de turbinas, cogeneración u otros usos industriales. Por ejemplo, en el caso del modo de pila de combustible de óxido sólido, el calor generado en el proceso de producción de electricidad a partir de una entrada de hidrógeno puede utilizarse como salida industrial para un generador de vapor en una implementación. Además, el exceso de electricidad generado por el generador de vapor puede combinarse con la electricidad proporcionada por la fuente, como la fuente renovable, como la entrada eléctrica para los calentadores térmicos del sistema de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con las implementaciones de ejemplo.

3. Ventajas sobre los sistemas anteriores

[0853] La unidad de óxido sólido de las implementaciones de ejemplo puede tener varios beneficios y ventajas sobre los diseños anteriores. Por ejemplo, la unidad de óxido sólido descrita en el presente documento recibe calor almacenado del sistema de almacenamiento de energía térmica como entrada, en lugar de necesitar un calentador externo, como un calentador resistivo eléctrico o un calentador alimentado por combustible. De este modo, se puede reducir el coste de funcionamiento y la cantidad de contaminación.

[0854] Además, aunque los enfoques artísticos pueden quemar el subproducto de oxígeno en la salida de la unidad de óxido sólido para generar calor para el calentador que alimenta la unidad de óxido sólido, las implementaciones de ejemplo no requieren que se genere calor en la entrada de la unidad de óxido sólido. Así, el aire de subproducto se suministra al intercambiador de calor, sin quemar el oxígeno.

[0855] La mayor concentración de oxígeno en el flujo puede contribuir a reducir el coste de la separación secundaria de oxígeno. La integración de este electrolizador de óxido sólido con el almacenamiento de energía térmica presenta ventajas como la mejora significativa de la eficiencia en la conversión de energía eléctrica en energía e hidrógeno y la posibilidad de combinar y utilizar eficazmente estos electrolizadores de alta eficiencia con suministros variables de electricidad renovable. Por consiguiente, la carga puede ser intermitente mientras la temperatura se mantiene constante sin un uso continuo de energía eléctrica.

[0856] Además, una parte de la energía en el proceso electrolítico de esta manera es suministrada por el calor almacenado. Es beneficioso hacer esto porque el momento en que la electricidad puede ser capturada y almacenada puede estar separado del momento en que la electricidad es capturada y utilizada para la electrólisis. Cuando se dispone de energía eléctrica, ésta puede utilizarse para cargar térmicamente el sistema de almacenamiento y también impulsar la electrólisis para convertir el agua en hidrógeno. Los electrolizadores existentes cuestan unos 500-600 dólares/kW, mientras que los sistemas de almacenamiento térmico pueden ser bastante menos caros. El almacenamiento térmico puede ser menos costoso por kilovatio que las pilas de electrolizadores y, por lo tanto, puede ser menos costoso extraer energía a un ritmo muy elevado durante los periodos de disponibilidad de energía de menor coste y repartir la energía entre el almacenamiento térmico y el electrolizador. Se puede hacer que el electrolizador funcione durante más tiempo y

que la carga máxima o la potencia máxima caiga rápidamente en el almacenamiento térmico. Así pues, el factor de capacidad y el coste del electrolizador se ajustan a la disponibilidad de electricidad renovable variable.

C. Generación de energía termoeléctrica

1. Problemas a resolver

[0857] La gasificación es la conversión térmica de la materia orgánica mediante oxidación parcial en un producto gaseoso, compuesto principalmente por H_2 , monóxido de carbono (CO), y que también puede incluir metano, agua, CO_2 y otros productos. La biomasa (por ejemplo, pellets de madera), los residuos ricos en carbono (por ejemplo, papel, cartón) e incluso los residuos plásticos pueden gasificarse para producir gas de síntesis rico en hidrógeno a altos rendimientos con vapor a alta temperatura, alcanzándose rendimientos óptimos a $>1000\text{ }^\circ\text{C}$. La velocidad de formación de gases combustibles se incrementa al aumentar la temperatura de la reacción, lo que conduce a una conversión más completa del combustible. El rendimiento de hidrógeno, por ejemplo, aumenta con el incremento de la temperatura de reacción.

[0858] Convertir las fuentes de carbono residuales en una fuente de energía o materia prima alternativa a los combustibles fósiles es un método potencialmente muy eficaz para reducir las emisiones de carbono y valorizar fuentes de carbono que de otro modo no se utilizarían.

2. Generación de energía termoeléctrica

[0859] La gasificación indirecta utiliza un sistema de lecho fluidizado doble (LFD) consistente en dos reactores de lecho fluidizado interacoplados -una cámara de combustión y un gasificador- entre los que circula una cantidad considerable de material del lecho. Este material del lecho circulante actúa como portador de calor desde la cámara de combustión hasta el gasificador, satisfaciendo así la demanda neta de energía en el gasificador originada por el hecho de que se fluidifica únicamente con vapor, es decir, sin presencia de aire/oxígeno, en contraste con el enfoque clásico en la tecnología de gasificación también denominada gasificación directa. La ausencia de nitrógeno y de combustión en la cámara de gasificación implica la generación de un gas bruto con un poder calorífico muy superior al de la gasificación directa. El carbón que no se convierte en la cámara de gasificación sigue al material del lecho circulante hasta la cámara de combustión, que se fluidifica con aire, donde se quema y libera calor que es captado por el material del lecho circulante y transportado así al gasificador para cerrar el balance térmico del sistema.

[0860] Haciendo referencia a la figura 6, en algunas implementaciones de ejemplo, la estructura de almacenamiento de energía térmica 503 puede integrarse directamente con una central eléctrica de vapor para proporcionar un sistema de cogeneración integrado 500 para un suministro continuo de aire caliente, vapor y/o energía eléctrica para diversas aplicaciones industriales. La estructura de almacenamiento térmico 503 puede acoplarse operativamente a las fuentes de energía eléctrica 501 para recibir energía eléctrica y convertir y almacenar la energía eléctrica en forma de energía térmica. En algunas implementaciones, al menos una de las fuentes de energía eléctrica 501 puede comprender una fuente de energía de entrada con disponibilidad intermitente. Sin embargo, las fuentes de energía eléctrica 501 también pueden incluir fuentes de energía de entrada que tengan disponibilidad bajo demanda, y también son posibles y se contemplan combinaciones de fuentes intermitentes y bajo demanda. El sistema 503 puede estar acoplado operativamente a un generador de vapor de recuperación de calor (HRSG) 509 que está configurado para recibir aire calentado del sistema 503 para convertir el agua que fluye a través de los conductos 507 del HRSG 509 en vapor para la turbina de vapor 515. En una implementación alternativa, el HRSG 509 es un generador de vapor de un solo paso en el que el agua utilizada para generar vapor no se recircula. Sin embargo, las implementaciones en las que el agua utilizada para generar vapor circula parcial o totalmente como se muestra en la figura 6 también son posibles y están contempladas.

[0861] Una unidad de control puede controlar el flujo del aire calentado (y más generalmente, un fluido) en el HRSG 509, basándose en la demanda de carga, el coste por KWH de la fuente de energía disponible y la energía térmica almacenada en el sistema. La turbina de vapor 515 puede estar acoplada operativamente a un generador de vapor 509, que puede estar configurado para generar un suministro continuo de energía eléctrica. Además, la turbina de vapor 515 también puede liberar un flujo continuo de vapor a presión relativamente más baja 521 como salida para alimentar un proceso industrial. En consecuencia, son posibles y se contemplan implementaciones en las que el vapor es recibido por la turbina a una primera presión y es emitido por la misma a una segunda presión inferior, suministrándose el vapor de menor presión al proceso industrial. Ejemplos de estos procesos industriales que pueden utilizar el vapor de salida de menor presión incluyen (pero no se limitan a) la producción de combustibles líquidos para el transporte, incluidos los combustibles derivados del petróleo, la producción de biocombustibles, la producción de combustibles diésel, la producción de etanol, el secado de grano, etc.

[0862] La producción de etanol como combustible a partir de almidón y celulosa implica procesos acuosos que incluyen la hidrólisis, la fermentación y la destilación. Las plantas de etanol tienen una importante demanda de energía eléctrica para las bombas de proceso y otros equipos, así como importantes demandas de calor para impulsar la hidrólisis, la cocción, la destilación, la deshidratación y el secado de los flujos de biomasa y alcohol. Es bien conocido el uso de energía eléctrica convencional y calderas de combustible, o la cogeneración de vapor y energía con combustible, para hacer funcionar el proceso de producción de combustible. Estos insumos energéticos son una fuente importante de emisiones de CO_2 , en algunos casos el 25 % o más del CO_2 total asociado a la agricultura, la producción de combustible y el

transporte del combustible terminado. En consecuencia, el uso de energías renovables para impulsar estos procesos de producción es valioso. Algunas plantas de etanol están situadas en lugares con excelentes recursos solares. Otras están situadas en lugares con excelentes recursos eólicos.

5 **[0863]** El uso de almacenamiento de energía electrotérmica puede proporcionar beneficios locales en tales lugares a los operadores de la red, incluyendo cargas de electricidad conmutables para estabilizar la red; y la electricidad de la red disponible de forma intermitente (por ejemplo, durante períodos de precios bajos) puede proporcionar una fuente continua de energía de bajo coste suministrada desde la unidad de almacenamiento electrotérmico.

10 **[0864]** El uso de energías renovables (eólica o solar) como fuente de energía para cargar el acumulador electrotérmico puede aportar importantes reducciones en el total. Emisiones de CC involucradas en la producción del combustible, ya que hasta el 100 % de la electricidad motriz y el vapor motriz necesarios para las operaciones de la planta pueden provenir de la cogeneración de calor y energía mediante una turbina de vapor alimentada por vapor generado por una unidad de almacenamiento electrotermal. Estas reducciones de emisiones son a la vez valiosas para el clima y comercialmente
15 valiosas en el marco de programas que crean valor financiero para los combustibles renovables y bajos en carbono.

[0865] La unidad de almacenamiento de energía electrotérmica que tiene aire como fluido de transferencia de calor puede proporcionar otros beneficios importantes a una instalación de producción de etanol, especialmente en el suministro de aire seco calentado a los elementos del proceso, incluido el secado del grano usado. Una combinación útil de salida de aire caliente y salida de vapor de una sola unidad se consigue dirigiendo la corriente de salida del HRSG al secador de grano. De este modo, una cantidad determinada de material de almacenamiento de energía (por ejemplo, ladrillos) puede someterse a ciclos con un cambio de temperatura más amplio, lo que permite almacenar energía adicional en una masa determinada de material de almacenamiento. Puede haber periodos en los que la temperatura del material de almacenamiento de energía esté por debajo de la temperatura necesaria para producir vapor, pero la descarga de aire
20 calentado para el secado u otras operaciones continúe.

[0866] En algunas implementaciones, la estructura de almacenamiento térmico 503 puede integrarse directamente en sistemas de procesamiento industrial para suministrar directamente calor a un proceso sin generar vapor o electricidad. Por ejemplo, la estructura de almacenamiento térmico 503 puede integrarse en sistemas industriales de fabricación de cal, hormigón, procesamiento petroquímico o cualquier otro proceso que requiera el suministro de aire o calor a alta temperatura para impulsar un proceso químico. Mediante la integración de una estructura de almacenamiento térmico 503 cargada por VRE, las necesidades de combustibles fósiles de dicho proceso industrial pueden reducirse significativamente o incluso eliminarse.
30

35 **[0867]** La unidad de control puede determinar cuánto vapor debe fluir a través de un condensador 519 frente a la salida de vapor 521, variando tanto la generación eléctrica total como la producción de vapor según sea necesario. Como resultado, el sistema integrado de cogeneración 500 puede cogenerar vapor y energía eléctrica para una o más aplicaciones industriales.

40 **[0868]** Si se implementa con un OTSG como se muestra en la figura 4 en lugar del HRSG de recirculación mostrado en la figura 6, el sistema global integrado de cogeneración 500 puede utilizarse como generador de vapor de un solo paso con almacenamiento térmico (TSOTG) que puede emplearse en yacimientos petrolíferos e industrias para suministrar vapor saturado húmedo o vapor seco sobrecalentado a un caudal y con una calidad de vapor específicos bajo control automatizado. La alta temperatura suministrada por los ladrillos y elementos de calentamiento del sistema 503 puede
45 alimentar el generador de vapor de recuperación de calor integrado (HRSG) 509. Un bucle cerrado de recirculación de aire puede minimizar las pérdidas de calor y mantener la eficiencia global de generación de vapor por encima del 98 %.

[0869] El HRSG 509 puede incluir una bomba de desplazamiento positivo (PD) 511 bajo control de variador de frecuencia (VFD) para suministrar agua al HRSG 509. El TSOTG 500 permite el control automático del caudal de vapor y de la calidad del vapor (incluido el control de la calidad de alimentación y de retorno). En una implementación de ejemplo
50 ejemplar, un panel integrado de Interfaz de Operador Local (LOI) acoplado operativamente al sistema 500 y a la unidad de control puede proporcionar supervisión y control de la unidad. Además, la estructura de almacenamiento térmico 503 puede conectarse a un sistema de control y adquisición de datos (SCADA) asociado a la central eléctrica de vapor (u otro sistema de carga). En una implementación, una segunda fuente de energía eléctrica está conectada eléctricamente a las bombas del generador de vapor, los sopladores, los instrumentos y la unidad de control.
55

[0870] En algunas implementaciones, el sistema 500 puede estar diseñado para funcionar utilizando agua de alimentación con sólidos sustancialmente disueltos; en consecuencia, una configuración de caldera de recirculación no es práctica. En su lugar, se puede utilizar un proceso de generación de vapor de un solo paso para suministrar vapor
60 húmedo sin la acumulación de contaminantes minerales dentro de la caldera. Una disposición serpenteante de conductos 507 en una configuración alternativa de paso único del HRSG 509 puede exponerse al aire a alta temperatura generado por la estructura de almacenamiento térmico 503, en la que el precalentamiento y la evaporación del agua de alimentación pueden tener lugar consecutivamente. El agua puede ser forzada a través de los conductos del HRSG 509 por una bomba de agua de alimentación de caldera, entrando en el HRSG 509 por el extremo "frío". El agua puede cambiar de fase a lo largo del circuito y puede salir como vapor húmedo en el extremo "caliente". En una implementación, la calidad del vapor se calcula basándose en la temperatura del aire suministrado por la estructura de almacenamiento térmico 503, y las
65

temperaturas y caudales del agua de alimentación, y se mide basándose en la aceleración de la velocidad a la salida del HRSG. También son posibles y se contemplan realizaciones que implementan un separador para separar el vapor del vapor de agua y determinar la calidad del vapor basándose en sus proporciones relativas.

[0871] En el caso de una implementación OTSG, el flujo de aire (u otro flujo de fluido) puede disponerse de forma que el aire más caliente esté más cerca de la salida de vapor en el segundo extremo del conducto. Un conducto OTSG puede montarse transversalmente a la trayectoria del flujo de aire y disponerse en una secuencia para proporcionar una transferencia de calor y una generación de vapor altamente eficientes a la vez que se consigue un bajo coste de materiales. Como resultado, aparte de las pérdidas térmicas del almacenamiento de energía, la eficiencia de la generación de vapor puede superar el 98 %. La prevención de la formación de incrustaciones dentro de la tubería es una consideración de diseño importante en la selección de la calidad del vapor y el diseño de la tubería. A medida que el agua fluye a través del conducto serpenteante, el agua primero aumenta de temperatura de acuerdo con la temperatura de saturación correspondiente a la presión, y luego comienza a evaporarse (hervir) a medida que el flujo continúa a través de los conductos calentados.

[0872] A medida que se produce la ebullición, la expansión de volumen provoca la aceleración de la velocidad de flujo, y la concentración de sólidos disueltos aumenta proporcionalmente a la fracción de fase líquida restante. Mantener las concentraciones por debajo de los límites de concentración de precipitación es una consideración importante para evitar la formación de incrustaciones. Dentro de un flujo a granel cuya precipitación mineral media, la ebullición localizada de núcleos y películas puede provocar un aumento de las concentraciones minerales locales en las paredes del conducto. Para mitigar el potencial de formación de incrustaciones derivado de tales aumentos localizados de la concentración de minerales, los conductos que transportan el agua que se calienta pueden reorganizarse de modo que el aire de calentamiento a mayor temperatura fluya a través de los conductos que transportan agua con una calidad de vapor inferior, y que el aire de calentamiento a menor temperatura fluya a través de los conductos que transportan el flujo de vapor de mayor calidad.

[0873] Volviendo a la figura 6, se contemplan varias implementaciones en las que un dispositivo de movimiento de fluido mueve fluido a través de un medio de almacenamiento térmico, para calentar el fluido, y posteriormente a un HRSG tal como el HRSG 509 para su uso en la generación de vapor. En una implementación, el fluido es aire. En consecuencia, la circulación de aire a través del HRSG 509 puede ser forzada por un soplador de velocidad variable, que sirve como el dispositivo de movimiento de fluidos en tal realización. La temperatura del aire puede ajustarse mediante recirculación/mezcla, para proporcionar una temperatura del aire de entrada que no varíe con el estado de carga de los ladrillos u otros mecanismos utilizados para implementar una unidad de almacenamiento térmico. El HRSG 509 puede estar acoplado fluidicamente a un generador de turbina de vapor 515, que al recibir el vapor desde el HRSG 509, provoca la producción de energía eléctrica mediante el generador 517. Además, la turbina de gas de vapor 515 en varias realizaciones libera vapor a baja presión que se condensa a un líquido por un condensador 519, y luego se desairea utilizando un desaireador 513, y de nuevo se entrega al HRSG 509.

[0874] A continuación se proporciona una memoria descriptiva de configuración ejemplar de una implementación de un sistema de cogeneración que utiliza un OTSG para la generación de vapor.

Parámetro	Valor
Caudal nominal de vapor	5.000 barriles al día
Calidad del vapor (nominal)	80 %; (60 % - 96 %)
Velocidad máxima de carga	70 MW
Almacenamiento de energía	350 MWh
Rendimiento energético del almacenamiento	15 horas al máximo
Tasa de pérdida de almacenamiento	1 % al día
Presión de salida	900 a 2200 psig (según especificaciones)
Presión de entrada	50 psig (bomba PD) o según especificaciones
Potencia de funcionamiento	Por presión de salida, hasta 450 kW
Dimensiones	11 x 18 m (35 x 60 pies)
Instalación	Exterior

[0875] Haciendo referencia a la figura 89, en algunas implementaciones de ejemplo, un sistema integrado de cogeneración 500 como se muestra en la figura 6 se acopla a un generador alimentado por combustible para proporcionar una central de ciclo combinado 550 integrada con almacenamiento térmico para el funcionamiento eficiente y fiable de una central eléctrica de vapor. Una central eléctrica de ciclo combinado puede incluir una central eléctrica de gas con un compresor 502 que mezcla aire en una corriente de combustible. A continuación, la mezcla de combustible y aire se quema en una turbina de expansión 516 para generar gases de escape presurizados, que se suministran a un generador 518 para producir energía eléctrica. Además, la central de ciclo combinado puede transferir el gas de escape a un generador de vapor de recuperación de calor (HRSG) 509. El HRSG 509 puede incluir una bomba de desplazamiento positivo (PD) 511 bajo control de variador de frecuencia (VFD) para suministrar agua al HRSG 509. Cuando funciona como parte de un ciclo alimentado por combustible, el HRSG 509 utiliza la energía térmica de los gases de escape de la turbina 516 para convertir el agua en vapor. La salida del HRSG 509 puede acoplarse operativamente a un generador de turbina de vapor 515, que al recibir el vapor del HRSG 509, produce energía eléctrica utilizando el generador 517.

[0876] Además, la turbina de gas de vapor 515 libera vapor a baja presión que se condensa a líquido en un condensador 519 y, a continuación, se desairea mediante un desaireador 513 y se envía de nuevo al HRSG 509. Por ejemplo, como se muestra en la vista ampliada, el generador de turbina de vapor 515 recibe vapor a alta presión del HRSG 509. En una primera turbina 515A accionada por el vapor de alta presión, el vapor de presión intermedia se envía al desaireador 513, que puede eliminar el oxígeno del vapor, y proporcionar como fluido de salida líquido a la entrada del HRSG 509 a través de la bomba de PD 511. Una salida de la primera turbina 515A puede ser vapor a baja presión, que se suministra a un proceso industrial. Una segunda turbina 515B accionada por el vapor a presión restante también genera electricidad y proporciona vapor a baja presión como salida a un condensador. Una salida del condensador puede ser aire caliente, que puede utilizarse para un proceso industrial, como el secado de grano o similar.

[0877] La central de ciclo combinado integrada con almacenamiento térmico 550 puede incluir la estructura de almacenamiento de energía térmica 503 acoplada fluidicamente al HRSG 509 de la central de ciclo combinado. En una implementación, el aire calentado (a una temperatura predefinida) para el HRSG lo proporciona la estructura de almacenamiento térmico 503 sola o en combinación con los gases de escape emitidos por la turbina de gas 516. Una unidad de control puede controlar el flujo de cualquier combinación de aire calentado (desde la estructura de almacenamiento térmico 503) y gas de escape de la turbina de gas 516 hacia el HRSG 509, basándose, por ejemplo, en factores como la demanda de carga, la disponibilidad y el coste por KWH de las fuentes de energía disponibles, el coste por KWH para el funcionamiento de la central eléctrica de ciclo combinado y la energía térmica almacenada en la estructura de almacenamiento térmico 503.

[0878] En otras implementaciones de ejemplo, la estructura de almacenamiento térmico 503 y una central eléctrica de carbón pueden integrarse con una central eléctrica de vapor a través del HRSG 509 para proporcionar otra implementación de ejemplo de una central de ciclo combinado integrada con almacenamiento térmico para el funcionamiento eficiente y fiable de una central eléctrica de vapor. El aire calentado proporcionado por la estructura de almacenamiento térmico 503, solo o en combinación con los gases de escape emitidos por la central eléctrica de carbón, puede suministrarse a la HRSG 509 para convertir el agua en vapor para la turbina de vapor. Una unidad de control puede controlar el flujo de cualquier combinación de aire calentado (procedente de la estructura de almacenamiento térmico) y gas de escape de la central eléctrica de carbón hacia el HRSG, basándose, por ejemplo, en factores como la demanda de carga, la disponibilidad y el coste por KWH de una fuente de energía disponible, el coste por KWH del funcionamiento de la central eléctrica de carbón y la energía térmica almacenada en la estructura de almacenamiento térmico.

[0879] Haciendo referencia a la figura 90, un sistema de cogeneración integrado capaz de suministrar vapor a alta presión así como energía eléctrica puede configurarse como se muestra en una implementación. Una estructura de almacenamiento térmico 400 como la descrita en la figura 4 puede estar configurada con un HRSG integrado que suministra vapor a alta presión, opcionalmente sobrecalentado, que fluye a través de una turbina de vapor 602 que acciona un generador eléctrico 604, que puede estar acoplado eléctricamente a cargas eléctricas locales o a una red eléctrica 606 para mantener y/o proporcionar un suministro continuo de energía eléctrica a una carga. Todo o parte del vapor de escape de la turbina de vapor puede fluir a través de un intercambiador de calor 610 que enfría el vapor en condensado que se devuelve para su recalentamiento mediante la bomba 611. El intercambiador de calor 610 transfiere el calor a un flujo de agua 612 que se dirige a través de otro HRSG 613 en la estructura de almacenamiento térmico 608, que proporciona vapor para un proceso industrial. El calor transferido por el intercambiador de calor 610 aumenta la producción de vapor por el HRSG 613 precalentando el agua de entrada. De este modo, se consigue una cogeneración de alta eficiencia de energía eléctrica y vapor de proceso, incluso cuando el vapor necesario se encuentra a altas temperaturas y presiones, mediante la captura de energía térmica de baja temperatura del vapor residual de la turbina 602 en el agua de alimentación del HRSG 613.

[0880] Haciendo referencia a la figura 87 como se ha comentado anteriormente, en algunas implementaciones se puede utilizar un sistema de almacenamiento de energía térmica para alimentar la producción de hidrógeno y/o combustibles de hidrocarburos suministrando tanto calor como energía para accionar un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura. Los electrolizadores de óxido sólido pueden reducir el aporte de energía eléctrica necesario por unidad de hidrógeno aprovechando la energía térmica para impulsar la ruptura de enlaces químicos. Puede lograrse una eficiencia total relativamente mayor dirigiendo una parte 4101 del calor almacenado a alta temperatura de la VRE como calor a alta temperatura a un electrolizador 4102 que también está total o parcialmente alimentado por electricidad 4103 generada por un proceso de generación térmica 4104, como un ciclo de Rankine o un ciclo supercrítico de CO₂. En algunas implementaciones, el electrolizador 4102 puede coelectrolizar agua y CO₂, o electrolizadores separados pueden electrolizar agua y CO₂, con todo o una parte del gas de síntesis resultante dirigido a una unidad de conversión de tipo metanación o Fischer-Tropsch 4105 con el fin de hacer un combustible de hidrocarburo sintético gaseoso o líquido.

[0881] En una implementación, la VRE almacenada y un HRSG se acoplan a una instalación de proceso industrial de tal manera que se elimina la combustión de gas en calderas auxiliares, de emergencia o de reserva. Haciendo referencia a la figura 91, una planta de proceso industrial tal como una refinería, planta petroquímica, u otra planta de proceso 91600 puede tener una o más redes de distribución de vapor 91601 que proporcionan vapor a unidades de proceso tales como bombas 91604, sopladores 91605, reactores de proceso 91606, turbinas 91607, u otros usos. En una implementación, el funcionamiento continuo de la red de vapor es necesario para el funcionamiento seguro de la planta, incluso durante las operaciones de arranque y parada.

[0882] Algunas unidades de proceso industrial 91602, principalmente aquellas con reacciones exotérmicas, pueden generar todo o parte del vapor 91603 de la red durante su funcionamiento normal. En algunas implementaciones, sin embargo, para el funcionamiento seguro y eficaz de la planta, otras fuentes de vapor deben estar instantáneamente disponibles en caso de parada de una de estas unidades 91602. En algunas implementaciones anteriores se han utilizado calderas de gas o de gasóleo 91611. En algunas implementaciones, estos equipos deben mantenerse continuamente a la temperatura de funcionamiento para poder aumentar inmediatamente su cadencia de combustión con el fin de proporcionar el vapor necesario en caso de parada. Tales unidades pueden emplear un diseño de recirculación convencional con un tambor de vapor 91613 que está abierto a la red principal de vapor, y el calor necesario para mantener el tambor caliente puede ser proporcionado por el exceso de vapor producido por las unidades de proceso 91602. Sin embargo, la cámara de combustión o la parte del quemador de la caldera también debe mantenerse caliente en algunas implementaciones, y esto se hace comúnmente operando el quemador 91612 continuamente a una baja tasa de encendido. Se trata de una fuente continua de CO₂ y otros contaminantes.

[0883] En la implementación representada de un sistema de almacenamiento de energía térmica, la unidad de almacenamiento térmico 91608 tiene un HRSG con proceso de caldera de tambor de recirculación 91609, donde el tambor está de nuevo abierto al colector de vapor 91601 y la sección de HRSG se mantiene caliente por el exceso de vapor. La unidad de almacenamiento térmico puede mantener su temperatura gracias a su aislamiento, con bajas pérdidas de energía. La unidad de almacenamiento puede cargarse mediante una fuente de VRE conectada directamente, o puede cargarse rápida o lentamente desde una red eléctrica o una fuente de generación de energía local, de forma que se minimice el coste energético. La unidad de almacenamiento está configurada para iniciar instantáneamente (en cuestión de segundos) la producción de vapor a alta velocidad a partir del almacenamiento, y funcionar hasta que se agote la capacidad de almacenamiento. En esta implementación, la caldera de combustible 91611 puede dejarse en una configuración de "almacenamiento en frío", sin quemar combustible, hasta que una parada requiera su funcionamiento. El tiempo de funcionamiento de la unidad de almacenamiento térmico proporciona un periodo de tiempo ampliado para arrancar y calentar adecuadamente la caldera de combustible antes de ponerla en servicio para cortes que se extienden más allá del periodo de descarga de la unidad de almacenamiento.

Otras aplicaciones de uso de energía

[0884] La figura 92 es una ilustración esquemática 10000 que muestra la disponibilidad de electricidad de una instalación de generación de óxido sólido en un día típico. La ilustración muestra los posibles usos de la energía eléctrica disponible. En una aplicación, el uso 1 es el consumo local de electricidad de precio relativamente alto utilizada en la propia instalación industrial. Como la producción de energía de una instalación solar comienza a primera hora de la mañana, la electricidad se suministra primero a ese uso de mayor valor a medida que aumenta la producción de electricidad solar disponible.

[0885] Más concretamente, el tiempo de funcionamiento o de carga puede controlarse de forma que se optimice otro valor económico, como el suministro de electricidad a una red en periodos de alto precio o alto valor. La curva 10001 representa la energía disponible durante un día solar entre el comienzo del día solar y el final del día solar. Aunque las horas de 5 de la mañana y 8 de la tarde se indican a modo de ejemplo, se entiende que la hora variará en función de la ubicación y la época del año.

[0886] La curva 10001 muestra el aumento de la energía solar desde el principio del día solar hasta un nivel máximo y su posterior disminución hacia el final del día solar. Dentro de la energía solar disponible, el gráfico ilustra que puede haber múltiples usos de la energía solar.

[0887] Como se muestra en los gráficos adicionales, se muestra un primer uso 1 y un segundo uso 2, como se ha explicado anteriormente. Además, factores externos 3, como el almacenamiento en la red, la capacidad, el suministro de energía, las variaciones de precios debidas a los mercados energéticos o similares, pueden influir en la disponibilidad y la demanda de energía solar para cargar el sistema de almacenamiento de energía térmica. Un sistema de control, como el descrito anteriormente, puede incorporar estos factores en las determinaciones y recomendaciones al operador en relación con el funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía térmica, como la carga y descarga de las pilas. En consecuencia, el sistema de almacenamiento de energía térmica puede despachar energía para múltiples fines o usos a partir de la salida del sistema de almacenamiento de energía térmica, teniendo en cuenta estos factores.

[0888] Como se muestra en el primer gráfico adicional en el escenario 10007, puede haber menos energía solar disponible para el sistema de almacenamiento de energía térmica más tarde en el día solar. Alternativamente, como se muestra en el segundo gráfico adicional en 10009, puede haber menos energía solar disponible para cargar el sistema de almacenamiento de energía térmica durante la porción temprana y la porción media a tardía del día. Pueden existir otras variaciones, como comprenderán los expertos en la materia.

[0889] Por ejemplo, el uso 1 (representado por la región 10005) puede ser una carga eléctrica local en una implementación. Puede representar la electricidad suministrada a un área local por una matriz fotovoltaica. Además, otros usos como el uso 2 (representado por la región 10003) también pueden utilizar la energía solar disponible. Como indica la región sombreada, la energía solar restante está disponible para cargar un sistema de almacenamiento de energía térmica conectado a la fuente de energía solar que presenta el perfil energético de la curva 10001.

[0890] En una implementación, el uso 2 es un segundo uso de alto valor, que puede ser un proceso industrial como la electrólisis. De este modo, el uso 2 estará alimentado al máximo durante el mayor tiempo posible mientras se disponga de un exceso de energía superior al necesario para el uso 1. A medida que la producción de electricidad aumenta a lo largo del día, la electricidad está disponible para otros fines, como cargar un dispositivo de almacenamiento de energía térmica y/o participar en el suministro de electricidad, por ejemplo, a una red eléctrica, donde la electricidad puede valorarse a precios muy diferentes en distintos momentos. Este sistema puede funcionar de tal manera que, por ejemplo, la energía eléctrica de una unidad de almacenamiento térmico puede ser apagado y la energía eléctrica en su lugar liberado a la red como se desee en función de la demanda, los precios u otros factores, y/o la energía puede ser traído de la red para alimentar una unidad de almacenamiento o para uno de otros usos posibles en función de las condiciones de la red local.

Infraestructura autosuficiente sin conexión a la red

[0891] En algunas implementaciones, el uso de la conversión de CC/CC de alta tensión permite una conexión de muy alta eficiencia de los campos solares con una distancia adecuada a cargas tales como una unidad de almacenamiento de energía térmica que puede acoplarse a electrolizadores y utilizarse para la carga de vehículos eléctricos. Además, un sistema de almacenamiento de energía térmica puede tener producción de hidrógeno integrada en algunas implementaciones, con generación de energía eléctrica a partir de hidrógeno y también tener integración de baterías de iones de litio. También se puede acoplar un sistema de almacenamiento de energía térmica para impulsar la desalinización y crear una instalación o base militar completamente aislada de la red que se autoalimente para sus cargas domésticas, sus cargas térmicas y sus vehículos.

Recombustión de centrales de vapor

[0892] Dado que las temperaturas de salida de una unidad de almacenamiento de energía térmica son superiores a las temperaturas de salida de una turbina de gas en algunas implementaciones, la salida de una estructura de almacenamiento térmico puede disparar los mismos HRSG que una turbina de gas, reduciendo potencialmente el coste de la unidad de almacenamiento en aproximadamente, por ejemplo, un 40 %. En algunas implementaciones, casi todo el funcionamiento fuera de memoria descriptiva de las plantas térmicas puede reducirse o eliminarse mediante el acoplamiento a una unidad de almacenamiento térmico como se divulga en el presente documento. Las centrales de turbina de gas de ciclo combinado (TGCC) se diseñaron para funcionar a la potencia nominal con un factor de capacidad elevado, pero pueden no funcionar así si están conectadas a una red eléctrica con carga variable. En California, por ejemplo, esas centrales pueden pasar mucho tiempo como "reserva giratoria", es decir, funcionando al ralentí para poder responder a los cambios de carga. Las centrales de CCGT también pueden realizar operaciones diarias de arranque y parada que requieren el calentamiento de todos los componentes para que la central esté lista para funcionar y pasar mucho tiempo en un modo de "seguimiento de la carga" de aceleración de la generación en respuesta a la carga. Estas operaciones de reserva y calentamiento tienen una eficiencia de combustible de aproximadamente el 0 %, y existe tensión entre el coste del combustible (que dicta calentar la planta lo más rápido posible) y el coste de operaciones y mantenimiento (O&M) (que dicta calentar la planta lentamente para causar menos daños por tensión). Esta operación de seguimiento de la carga en las centrales de CCGT da lugar a pérdidas de eficiencia de al menos el 5 % y a veces el 15 %.

[0893] La integración de sistemas de almacenamiento de energía térmica como los de las implementaciones de ejemplo aquí divulgadas con plantas térmicas puede resolver los problemas de eficiencia descritos anteriormente. Aproximadamente, por ejemplo, el 90 % del proceso de calentamiento de una central puede alimentarse con generación renovable intermitente almacenada en una unidad de almacenamiento térmico. La energía de precalentamiento de HRSG y turbinas de vapor (ST) es un factor importante en muchas centrales. Se puede conseguir una configuración de "reserva parcial giratoria" en la que una unidad de almacenamiento de energía térmica alimente totalmente la turbina de vapor en funcionamiento, desde el ralentí hasta la plena potencia, de modo que la central pueda responder instantáneamente con hasta aproximadamente, por ejemplo, el 40 % de la producción nominal funcionando completamente con cero emisiones de carbono, y pueda añadir entonces la turbina de gas (GT) en unos 10 minutos.

Convertidores termoelectroquímicos

[0894] Los convertidores termoelectroquímicos son dispositivos de estado sólido que utilizan el potencial electroquímico de un gas a presión aplicado a lo largo de un conjunto de electrodos de membrana para convertir el calor en electricidad mediante la compresión y expansión del gas. Se conoce un convertidor termoelectroquímico que utiliza el potencial electroquímico de un diferencial de presión de hidrógeno aplicado a través de una membrana conductora de protones. El sistema consta de dos conjuntos de electrodos de membrana (MEA) para convertir el calor en electricidad mediante la compresión y expansión del hidrógeno. Una pila funciona a una temperatura relativamente baja y está acoplada a un disipador de calor, y la otra pila funciona a una temperatura relativamente alta y está acoplada a una fuente de calor. El gas hidrógeno circula en un sistema cerrado. La potencia eléctrica neta o la tensión que se pueden alcanzar aumentan a medida que aumenta el diferencial de temperatura entre las dos pilas de MEA.

Cogeneración termofotovoltaica (TPV)

[0895] La conversión de energía termofotovoltaica (TPV) es un proceso de conversión directa de la radiación térmica en electricidad e incluye un emisor térmico y una celda de diodos fotovoltaicos. La temperatura del emisor térmico necesaria varía en función del sistema, pero normalmente oscila entre unos 900 °C y unos 1300 °C, por ejemplo, entre 900 °C y 1300 °C. A estas temperaturas de TPV, la radiación se irradia principalmente en forma de frecuencias infrarrojas cercanas e infrarrojas. Los diodos fotovoltaicos absorben parte de la radiación y la convierten en electricidad. En la técnica, se logró una celda termofotovoltaica con una eficiencia de conversión de potencia >29 %, a una temperatura del emisor de 1207C con potencial para mejorar aún más la eficiencia. Un sistema TPV de este tipo puede permitir una cogeneración eficiente de calor y electricidad.

[0896] El emisor térmico puede ser, por ejemplo, un grafito calentado por calentamiento resistivo y operado con una atmósfera inerte para evitar la oxidación del grafito. Las celdas fotovoltaicas de tipo arseniuro de indio y galio (InGaAs) o silicio (Si) pueden utilizarse, por ejemplo, para generar electricidad.

[0897] El sistema de almacenamiento térmico de alta temperatura aquí divulgado puede acoplarse eficazmente a una cogeneración termofotovoltaica, ofreciendo beneficios que incluyen, entre otros, los siguientes:

Las altas temperaturas combinadas con la tecnología de almacenamiento encajan bien con los sistemas TPV de alta eficiencia que utilizan la radiación térmica para generar electricidad.

A diferencia de otros sistemas de almacenamiento térmico que dependen en gran medida de la transferencia de calor por convección, el concepto de "cámara de eco radiativo" descrito en el presente documento puede funcionar en concierto con la transferencia de calor por convección para sacar la radiación del conjunto o matriz de almacenamiento térmico. En una implementación, las matrices incluyen materiales relativamente baratos con un medio de transferencia térmica mediocre para mantener los costes bajos. En efecto, las cámaras de radiación aumentan la superficie de la que se puede extraer energía, lo que permite velocidades de descarga más rápidas sin que se degraden rápidamente las temperaturas superiores.

[0898] Un sistema de almacenamiento térmico del tipo descrito en el presente documento permite alcanzar temperaturas de almacenamiento extremadamente elevadas, superiores a 2000 °C. Estas temperaturas permiten el uso de celdas de menor coste, más disponibles pero con mayor banda prohibida, que utilizan semiconductores de silicio para el TPV.

[0899] El gas inerte compatible con el emisor (por ejemplo, grafito) y el sistema TPV puede utilizarse directamente como fluido de intercambio de calor en el sistema de almacenamiento térmico, lo que reduce la complejidad y el coste. Una característica opcional puede incluir escudos móviles u otros medios para proteger o bloquear la radiación entrante en las celdas TPV durante el tiempo que el sistema de almacenamiento térmico se está cargando. Esto permite que las celdas se mantengan frías, reducir la carga de refrigeración de diseño y prolongar la vida útil de las celdas. Los periodos en los que el sistema de almacenamiento térmico se calienta eléctricamente coinciden con periodos de bajo coste o abundante suministro eléctrico, lo que hace innecesario el funcionamiento del TPV.

[0900] En un ejemplo de implementación, el calor a baja temperatura que se produce por el enfriamiento durante la carga y luego durante la generación de energía se utiliza para otro fin, como la generación de vapor, el precalentamiento del agua, el calentamiento supercrítico de CO₂ para la generación de energía o para el calor de procesos industriales. Este calor puede mezclarse con aire más caliente procedente del núcleo de almacenamiento o segregarse (por ejemplo, introducirse en otro intercambiador de calor que, por ejemplo, suministre precalentamiento para un proceso que también emplee calor a alta temperatura, o utilizarse para otro proceso). Esto aumentaría aún más la eficiencia total del uso de energía para una aplicación combinada de calor y electricidad, cuyos ejemplos se divulgan en otras partes de esta solicitud, como la producción de cemento y vidrio.

[0901] La combinación de almacenamiento térmico a alta temperatura y TPV descrita en el presente documento podría aportar un valor significativo incluso en una aplicación de almacenamiento de energía eléctrica pura. El TPV puede utilizarse como ciclo "de carga" y la turbina de vapor como ciclo "de descarga", con lo que se obtienen eficiencias de electricidad cercanas al 50 %. El componente TPV podría prestar servicios "instantáneos", como el seguimiento de la carga y la regulación de la frecuencia y la tensión, con tiempos de respuesta rápidos (por ejemplo, de milisegundos). El sistema combinado de almacenamiento térmico-TPV funcionaría de forma similar a una batería de iones de litio para parte de la producción de energía eléctrica, aportando valor a la estabilidad de la red, con la ventaja añadida de una unidad de almacenamiento a largo plazo con un coste y un tamaño significativamente menores.

Convertidores termoelectroquímicos alimentados por un sistema de almacenamiento térmico a alta temperatura

[0902] Como se ha descrito anteriormente, la eficiencia neta de un sistema termoelectroquímico puede incrementarse aumentando el diferencial de temperatura entre los dos conjuntos de electrodos de membrana (MEA). Las implementaciones de un sistema de almacenamiento de energía térmica aquí divulgadas pueden acoplarse al extremo caliente de un convertidor termoelectroquímico para proporcionar calor a alta temperatura casi constante o constante. En el presente ejemplo de implementación, un intercambiador de calor en la salida de alta temperatura del sistema de almacenamiento térmico se acopla a la MEA de alta temperatura en el sistema de conversión termoelectroquímica, a

temperaturas entre 500 °C y 1200 °C. El calor restante puede utilizarse para generar vapor en un generador de vapor de recuperación de calor, por ejemplo, o utilizarse para otra aplicación industrial. En otro ejemplo de implementación, la parte de alta temperatura del convertidor termoelectroquímico puede acoplarse al gas calentado procedente de la salida de calor secundaria (es decir, del enfriamiento de las fuentes de energía de alta temperatura) para generar electricidad, mientras que la salida de calor primaria (es decir, las temperaturas más altas, por ejemplo, a 1600 °C) se utiliza para aplicaciones industriales como la generación de energía o la producción de cemento. Esta cogeneración de calor y electricidad podría tener una eficiencia combinada cercana al 90 %, ya que el calor residual de la generación eléctrica termoelectroquímica puede utilizarse para fines industriales.

[0903] En algunas implementaciones de ejemplo, el entorno se utiliza como disipador de calor. En otras implementaciones de ejemplo, el lado frío del convertidor termoelectroquímico podría utilizar el agua de alimentación al HRSG como sumidero de calor, elevando la temperatura del agua de alimentación, recuperando esa energía para la generación de vapor útil para un ciclo de potencia de vapor o procesos industriales. El precalentamiento del fluido de intercambio térmico de este modo puede aplicarse a otros procesos, incluido, por ejemplo, el proceso de producción de cemento. Una corriente enfriada de CO₂ puede utilizarse primero como disipador de calor para el convertidor termoelectroquímico, elevando la temperatura del CO₂, que a continuación se calienta a las temperaturas operativas del horno de cemento, el precalentador o el precalcinador. El equilibrio calor/energía permite mantener un rendimiento muy elevado de la cogeneración de calor y electricidad con cargas térmicas de alta temperatura para procesos industriales.

Refuerzo eléctrico

[0904] La figura 93 muestra una implementación de ejemplo 9300 del sistema de almacenamiento de energía térmica que incluye un refuerzo eléctrico 9307 que está configurado para aumentar la temperatura de una salida de fluido para satisfacer un requisito de un uso final. En este ejemplo, la electricidad es suministrada desde una fuente 9301, tal como una matriz solar fuera de la red u otra VRE, a la primera y segunda unidades de almacenamiento térmico 9303, 9305, referidas aquí como baterías de calor. La electricidad puede suministrarse como corriente continua o corriente alterna.

[0905] Mientras que la fuente de energía 9301 se muestra como una fuente de energía renovable fuera de la red, y más específicamente, celdas solares fotovoltaicas, otras fuentes renovables podrían utilizarse en sustitución o combinación, como el viento. Además, la electricidad de la red 9302 podría utilizarse en sustitución o combinación con la fuente de electricidad no conectada a la red. La electricidad procedente de la fuente de energía 9301 se utiliza para suministrar energía eléctrica como entrada a la primera y segunda baterías térmicas 9303 y 9305, así como para el refuerzo eléctrico 9307. La primera y las TSU 9303 y 9305 pueden incluir pilas simples, pilas dobles o más, o alguna combinación; las TSU 9303 y 9305 no tienen por qué contener el mismo número de pilas. En una realización, una o ambas TSU 9303 y 9305 pueden incluir seis pilas.

[0906] La primera batería de calor 9303 puede configurarse para almacenar electricidad como calor, para proporcionar fluido calentado como entrada a un HRSG, o para proporcionar vapor a una turbina de vapor 9309. Alternativamente, se puede utilizar un OTSG en lugar del HRSG.

[0907] La segunda batería de calor 9305 proporciona fluido caliente como salida para su uso en una aplicación industrial, como en un horno de cemento o en la producción de acero, denominada aquí carga de proceso 9311, también denominada carga de secado. Puede ser que la batería de calor 9305 proporcione el fluido a una temperatura de 1000 °C, que está por debajo del requisito de carga de secado, que para una aplicación dada puede ser mucho mayor, tal como 1300 °C.

[0908] Se pueden utilizar diferentes fluidos en la primera y segunda baterías de calor 9303, 9305. Por ejemplo, el aire puede utilizarse como fluido para la primera batería de calor 9303 para alimentar la turbina de vapor 9309, mientras que el CO₂ se utiliza como fluido para la segunda batería de calor 9305, según sea necesario para un proceso industrial particular. Por ejemplo, en el caso de que el proceso industrial sea un calcinador, se proporciona un bucle cerrado en el que el fluido se recaptura para introducirlo en la batería de calor 9305. La temperatura del aire de retorno es tal que no es necesario precalentarlo. En otras aplicaciones industriales, se puede proporcionar un bucle abierto, de forma que el aire atmosférico 9315 sea precalentado por el condensador 9313.

[0909] Para elevar la temperatura del fluido calentado hasta el requisito de carga de secado, se proporciona el refuerzo eléctrico 9307 en la descarga del fluido caliente. En consecuencia, la salida de fluido caliente de la segunda batería de calor 9305 pasa a través del calentador de refuerzo 9307, y luego a la carga de proceso 9311, a la temperatura requerida para el proceso industrial.

[0910] En la segunda batería de calor 9305, el fluido puede ser aire, CO₂, u otro fluido, dependiendo de la aplicación industrial a una temperatura de salida, como 1000 °C-1100 °C. Además, el fluido subproducto del proceso industrial puede recircularse como fluido de entrada a la batería de calor 9305, dependiendo del proceso industrial.

[0911] El refuerzo eléctrico 9307 puede ser un calentador de resistencia eléctrica que eleva la temperatura del fluido desde la salida máxima de la batería de calor 9305 hasta la temperatura requerida por la carga de proceso 9311. Ejemplos de los tipos de aplicaciones industriales que requerirían la entrada de fluido a alta temperatura para la carga de proceso

9311 incluyen la calcinación, la producción de acero, la producción de etileno y el reformado de metano con vapor de hidrógeno. El refuerzo eléctrico 9307 puede ser un horno eléctrico industrial, y puede incluir opcionalmente aletas u otras estructuras para transferir calor de resistencia eléctrica al aire. Los calentadores del refuerzo eléctrico pueden ser metálicos (por ejemplo, bobina resistiva), cerámicos o de otros materiales conocidos. La corriente de salida de fluido de la primera batería de calor 9305 se calienta por contacto directo con los calentadores del refuerzo eléctrico 9307.

[0912] Cuando la fuente de energía 9301 está disponible, puede proveer la electricidad para el elevador de presión eléctrico 9307, como se muestra en la figura 93 por la línea de salida de la fuente 9301 al refuerzo 9307. Por ejemplo, la matriz solar puede suministrar energía al calentador de refuerzo cuando hay energía solar disponible. Alternativamente, cuando la energía solar no está disponible, o sólo está disponible en cantidad limitada, la turbina de vapor 9309 proporciona toda o una parte necesaria y suplementaria de la electricidad al refuerzo eléctrico 9307.

[0913] El fluido subproducto de la turbina de vapor puede ser enfriado pasando a través de un condensador 9313, como una torre de refrigeración, antes de condensarse a un estado líquido, y suministrado como entrada al generador de vapor de la batería de calor 9303. Opcionalmente, el condensador 9313 puede servir como precalentador para calentar el aire entrante 9315, para su uso como entrada a la segunda batería de calor 9305. En otras palabras, el condensador 9313 es un intercambiador de calor que transfiere calor del fluido subproducto (por ejemplo, vapor a baja presión) de la turbina de vapor 9309 al fluido de entrada 9315. Como resultado, el fluido de entrada a la batería de calor 9305 se precalienta.

[0914] Aunque la figura 93 ilustra las baterías de calor primera y segunda separadas 9303 y 9305, podría utilizarse en su lugar una única batería de calor. Por ejemplo, el fluido de aire caliente podría ser expulsado y desviado desde una única batería de calor con múltiples pilas, de forma que una parte del fluido caliente se suministre al proceso y el resto del fluido caliente se suministre a un generador de vapor. Este enfoque podría utilizarse cuando la batería de calor se carga desde la red, y optimizarse económicamente de forma que la carga de la batería de calor se lleve a cabo en un momento de precios bajos de la electricidad, por ejemplo, por debajo de algún precio predeterminado, y se suministre la misma electricidad al refuerzo eléctrico. Según este enfoque, la turbina de vapor 9309 se utiliza como reserva, en función de las necesidades.

3. Ventajas sobre los sistemas anteriores

[0915] La energía almacenada a alta temperatura, introducida en forma de aire caliente en los procesos de combustión y gasificación de biomasa, puede contribuir sustancialmente al funcionamiento eficaz y seguro de dichas instalaciones. Esto puede causar diversas mejoras en las emisiones atmosféricas asociadas tanto a los óxidos de nitrógeno como al combustible no quemado, la capacidad de manejar combustibles de biomasa que son más húmedos durante ciertas épocas, así como mejoras en la fiabilidad de la planta y el factor de capacidad, particularmente durante períodos de suministro incierto o limitado de biomasa, reducciones en la corrosión debido a cambios en el punto de funcionamiento, capacidad de operar la planta durante períodos de capacidad limitada o nula de combustible, capacidad de operar la planta como una instalación de almacenamiento de energía.

Varias implantaciones de cogeneración

[0916] Por lo tanto, de acuerdo con lo anterior, son posibles y están contempladas varias implementaciones de sistemas de cogeneración, de las que ahora se proporcionan varios ejemplos.

[0917] En una implementación, un aparato de cogeneración incluye un conjunto de almacenamiento térmico 4100) que incluye una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico, en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen múltiples cavidades de radiación y múltiples ranuras de flujo de fluido, en el que algunas de las cavidades de radiación y algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico. El aparato de cogeneración incluye además una pluralidad de elementos de calentamiento situados dentro del conjunto de almacenamiento térmico y adyacentes a al menos algunas de las cavidades de radiación, en el que cada uno de los elementos de calentamiento está configurado para calentar al menos uno de los bloques de almacenamiento térmico a través de la energía irradiada a varias de las cavidades de radiación y sobre las superficies que limitan las respectivas cavidades de radiación. Un sistema de movimiento de fluido está configurado para dirigir una corriente de fluido a través de las trayectorias de fluido para calentar el fluido a un intervalo de temperatura especificado, en el que el dispositivo de movimiento de fluido está configurado para proporcionar el fluido calentado en el intervalo de temperatura especificado a un sistema de electrólisis de óxido sólido configurado para extraer hidrógeno del agua y dar salida al fluido calentado a una temperatura inferior. Un generador de vapor está configurado para recibir el fluido a baja temperatura del sistema de electrólisis convertir el agua de alimentación de entrada en vapor. En varias implementaciones, el generador de vapor es un generador de vapor de un solo paso, y también puede ser un generador de vapor de recuperación de calor. El generador de vapor incluye una pluralidad de conductos acoplados para recibir el agua de alimentación de entrada, en el que los seleccionados de los conductos están dispuestos para mitigar la formación de incrustaciones y el sobrecalentamiento. En ciertas implementaciones, unos de la pluralidad de conductos están dispuestos en el generador de vapor transversalmente a una trayectoria de flujo del fluido de menor temperatura. El conjunto de almacenamiento térmico comprende un recinto que contiene la pluralidad de bloques de almacenamiento térmico y una barrera térmica que separa un primer subconjunto de la pluralidad de bloques de almacenamiento térmico de un segundo subconjunto de la pluralidad de bloques de almacenamiento térmico. El sistema

de movimiento de fluido está configurado para dirigir la corriente de fluido a través de las trayectorias de fluido de uno de los subconjuntos primero y segundo de térmica concurrente con una fuente de electricidad añadiendo calor a otro de los subconjuntos primero y segundo. En algunas implementaciones, el fluido comprende oxígeno y nitrógeno. Se pueden utilizar diversas fuentes de electricidad para cargar el conjunto de almacenamiento térmico. En una implementación, el conjunto de almacenamiento térmico está configurado para almacenar energía térmica generada por una conversión de electricidad de entrada procedente de un primer suministro de energía de entrada, teniendo el primer suministro de energía de entrada una disponibilidad intermitente. Se contemplan además implementaciones en las que el conjunto de almacenamiento térmico está configurado además para almacenar energía térmica generada por una conversión de electricidad de entrada procedente de un segundo suministro de energía de entrada configurado para proporcionar electricidad bajo demanda.

[0918] En otra implementación, un aparato de cogeneración incluye un conjunto de almacenamiento térmico que tiene una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico, en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen múltiples cavidades de radiación y múltiples ranuras de flujo de fluido, en el que algunas de las cavidades de radiación y algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico. La implementación incluye además una pluralidad de elementos de calentamiento situados dentro del conjunto de almacenamiento térmico y adyacentes a al menos algunas de las cavidades de radiación, en el que cada uno de la pluralidad de elementos de calentamiento está configurado para calentar al menos uno de los bloques de almacenamiento térmico a través de la energía irradiada en múltiples de las cavidades de radiación y sobre las superficies que limitan las respectivas cavidades de radiación. Un sistema de movimiento de fluido está configurado para dirigir una corriente de fluido a través de las trayectorias de fluido para calentar el fluido a un intervalo de temperatura especificado. Un generador de vapor está configurado para recibir el fluido para convertir el agua de alimentación de entrada en vapor de entrada que tiene una primera presión. Una turbina de vapor configurada para recibir el vapor de entrada y proporcionar vapor de salida a una segunda presión que es inferior a la primera presión. Tales implementaciones pueden incluir además un segundo dispositivo de movimiento de fluidos configurado para mover el vapor de salida a una planta industrial para su uso en un proceso industrial.

[0919] El generador de vapor, en varias implementaciones, es un generador de vapor de un solo paso. El generador de vapor incluye una pluralidad de conductos acoplados para recibir el agua de alimentación de entrada, en el que los seleccionados de los conductos están dispuestos para mitigar la formación de incrustaciones y el sobrecalentamiento. Uno de la pluralidad de conductos está dispuesto en el generador de vapor transversalmente a una trayectoria de flujo del fluido a menor temperatura.

[0920] En cuanto al proceso industrial, son posibles y se contemplan varios procesos diferentes. En una implementación, el proceso industrial comprende la producción de combustibles derivados del petróleo. En otra implementación, el proceso industrial comprende la producción de biocombustibles. En otra implementación, el proceso industrial comprende el secado de granos. Estos procesos industriales se proporcionan aquí a modo de ejemplo y no constituyen una lista exhaustiva de los posibles procesos industriales que pueden utilizarse con las diversas implementaciones. La presente divulgación contempla una amplia variedad de procesos industriales más allá de los ejemplos aquí expuestos. Se señala además que son posibles y se contemplan implementaciones en las que la turbina de vapor está configurada para hacer que un generador eléctrico proporcione electricidad al proceso industrial.

[0921] En otra posible implementación, un aparato de cogeneración incluye un conjunto de almacenamiento térmico que tiene una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico, en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen múltiples cavidades de radiación y múltiples ranuras de flujo de fluido, en el que algunas de las cavidades de radiación y algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico. Una pluralidad de elementos de calentamiento se coloca dentro del conjunto de almacenamiento térmico y adyacente a al menos algunas de las cavidades de radiación, en el que cada uno de la pluralidad de elementos de calentamiento está configurado para calentar al menos uno de los bloques de almacenamiento térmico a través de la energía irradiada en múltiples de las cavidades de radiación y en las superficies que limitan las respectivas cavidades de radiación. Un sistema de movimiento de fluido está configurado para dirigir una corriente de un primer fluido a través de las trayectorias de fluido para calentar el primer fluido a un intervalo de temperatura especificado. Un primer generador de vapor está configurado para, utilizando el primer fluido, convertir el agua de alimentación de entrada en vapor. Una turbina de vapor configurada para provocar la generación de electricidad utilizando el vapor. La implementación también incluye un precalentador configurado para, utilizando el calor residual de la turbina de vapor, precalentar el agua de alimentación suministrada a un segundo generador de vapor.

[0922] En una implementación, el primer generador de vapor es un generador de vapor de recuperación de calor, y también puede ser (o alternativamente) un generador de vapor de un solo paso. Varias implementaciones también incluyen un condensador acoplado a la turbina de vapor, en el que el condensador está configurado para condensar el vapor recibido de la turbina de vapor en agua una bomba de recirculación configurada para proporcionar, como agua de alimentación al primer generador de vapor, agua producida por el condensador. En diversas implementaciones, el segundo generador de vapor está configurado para generar vapor utilizando un segundo fluido a partir de un segundo medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica. En varias implementaciones, el precalentador está configurado para enviar un tercer fluido al conjunto de almacenamiento térmico.

[0923] Una implementación adicional de un aparato de cogeneración incluye un conjunto de almacenamiento térmico) que incluye una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico, en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen múltiples cavidades de radiación y múltiples ranuras de flujo de fluido, en el que algunas de las cavidades de radiación y algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico. Una pluralidad de elementos de calentamiento se coloca dentro del conjunto de almacenamiento térmico y adyacente a al menos algunas de las cavidades de radiación, en el que cada uno de la pluralidad de elementos de calentamiento está configurado para calentar al menos uno de los bloques de almacenamiento térmico a través de la energía irradiada en múltiples de las cavidades de radiación y en las superficies que limitan las respectivas cavidades de radiación. Un sistema de movimiento de fluido está configurado para dirigir una corriente de fluido a través de las trayectorias de fluido para calentar el fluido a un intervalo de temperatura especificado. Un generador de vapor está configurado para recibir el fluido para convertir el agua de alimentación de entrada en vapor de entrada. Varias implementaciones también incluyen una unidad de medición configurada para determinar un valor de calidad de vapor medido de la salida de vapor del generador de vapor. Un controlador está configurado para hacer que el sistema de movimiento de fluido dirija la corriente de fluido, y configurado además para utilizar la calidad de vapor medida como retroalimentación para ajustar un caudal del fluido para mantener la calidad de vapor medida dentro de un intervalo de calidad de vapor especificado.

[0924] En algunas implementaciones, la unidad de medición incluye un separador configurado para separar la salida de vapor del generador de vapor de la salida de vapor de agua del generador de vapor, en el que la unidad de medición está configurada para determinar la calidad del vapor medido basándose en la fracción de la salida de vapor de agua del generador de vapor relativa a la salida de vapor del generador de vapor. También son posibles y se contemplan implementaciones en las que la unidad de medición está configurada para determinar la calidad del vapor basándose en una velocidad de flujo de salida de vapor del generador de vapor y un caudal másico del agua de alimentación de entrada. Con respecto al generador de vapor, son posibles y se contemplan implementaciones en las que el generador de vapor es un generador de vapor de un solo paso. El controlador de tales implementaciones puede estar configurado para causar la entrega de vapor de acuerdo dentro de un intervalo especificado de tasas de entrega de vapor. En consecuencia, el controlador está configurado para especificar el intervalo de velocidades de suministro de vapor basándose en la información de previsión. Son posibles y se contemplan varios tipos de información de previsión como base para que el controlador especifique el intervalo de caudales de suministro de vapor. En varias implementaciones, la información de previsión incluye información de previsión meteorológica. También son posibles y se contemplan implementaciones en las que la información de previsión incluye las tarifas eléctricas previstas. Del mismo modo, se contemplan implementaciones en las que la información de previsión incluye la demanda de vapor esperada. Cabe señalar que el controlador puede utilizar uno o más tipos de la información de previsión mencionada aquí, mientras que otros tipos de información de previsión no explícitamente discutidos aquí también pueden ser utilizados en diversas implementaciones.

[0925] En otra implementación, un sistema de cogeneración incluye un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica generada por una conversión de electricidad de entrada a partir de un suministro de energía de entrada, teniendo el suministro de energía de entrada una disponibilidad intermitente. Un dispositivo de movimiento de fluido está configurado para mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura especificada, el fluido que comprende oxígeno y nitrógeno, en el que el dispositivo de movimiento de fluido está configurado para proporcionar el fluido a la temperatura especificada a un sistema de electrólisis de celda de óxido sólido que convierte el agua en hidrógeno y enriquece el fluido con oxígeno. Tales implementaciones también pueden incluir un generador de vapor de un solo paso configurado para, utilizando el fluido recibido del sistema de electrólisis, convertir el agua de alimentación de entrada en vapor.

[0926] Estas implementaciones pueden incluir además una turbina de vapor configurada para hacer que un generador eléctrico genere electricidad utilizando el vapor recibido del generador de vapor. Con respecto al almacenamiento térmico, la unidad de almacenamiento térmico puede comprender una pluralidad de ladrillos. Un controlador en una implementación está configurado para hacer que el dispositivo de movimiento de fluido mueva el fluido a una velocidad particular. En varias implementaciones se contempla además una unidad de medición configurada para medir un parámetro de la salida de vapor del generador de vapor. El controlador está configurado para ajustar la tasa particular basada en la medición del parámetro de salida de vapor. Mientras tanto, la unidad de medición en varias implementaciones comprende un separador configurado para medir una calidad de la salida de vapor del generador de vapor mediante la separación del vapor en una fase líquida y una fase de vapor. Alternativamente, también son posibles y se contemplan implementaciones en las que la unidad de medición está configurada para medir una velocidad de salida de vapor del generador de vapor. El controlador está configurado para controlar una cantidad de fluido que se mueve a través del medio de almacenamiento basándose en una previsión meteorológica. El controlador también puede estar configurado para controlar y cantidad de fluido movido a través del medio de almacenamiento basado en una diferencia esperada en los costos de electricidad en un primer día y un segundo día.

[0927] Varios tipos de fuentes eléctricas pueden comprender el suministro de energía intermitente en diversas implementaciones. En una implementación, el suministro de energía intermitente comprende un sistema de generación termofotovoltaica configurado para convertir la radiación térmica en energía eléctrica. El suministro de energía intermitente puede también, o alternativamente, comprender una turbina eólica configurada para generar electricidad. El suministro de

energía intermitente también puede ser una fuente de energía solar configurada para convertir la energía solar en electricidad, que puede utilizarse individualmente o con varios de los otros tipos mencionados en el presente documento.

[0928] En una implementación, el dispositivo de movimiento de fluidos comprende un bucle cerrado de recirculación de fluidos. Las implementaciones pueden incluir una bomba, y en la que la bomba está configurada para hacer pasar el agua de alimentación de entrada a través de uno o más conductos del generador de vapor. Por lo que respecta al generador de vapor, pueden preverse uno o varios conductos por los que circule el agua de alimentación. En tales implementaciones, el uno o más conductos pueden ser montados en el generador de vapor transversalmente a una trayectoria de flujo de fluido.

[0929] En otra implementación más, un sistema de cogeneración incluye un medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica generada por una conversión de electricidad de entrada a partir de un suministro de energía de entrada, teniendo el primer suministro de energía de entrada una disponibilidad intermitente. Un primer dispositivo de movimiento de fluido está configurado para mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura especificada. Un generador de vapor de un solo paso está configurado para, utilizando el fluido, convertir el agua de alimentación de entrada en un vapor de entrada que tiene una primera presión. El sistema puede incluir una turbina de vapor configurada para proporcionar un vapor de salida a una segunda presión que es inferior a la primera presión. Un segundo dispositivo de movimiento de fluido puede en varias implementaciones está configurado para mover el vapor de salida a una planta industrial para su uso en un proceso industrial.

[0930] En varias implementaciones, la turbina de vapor está configurada para generar electricidad mediante un generador eléctrico. En algunas implementaciones, el generador eléctrico está configurado para suministrar electricidad a una red eléctrica.

[0931] Varios tipos de procesos industriales son posibles y contemplados de acuerdo con lo anterior. En una implementación, el proceso industrial comprende la producción de biocombustibles. En otra implementación, el proceso industrial comprende la producción de combustibles derivados del petróleo. En otra implementación, el proceso industrial comprende la producción de combustibles diésel. También son posibles y se contemplan implementaciones en las que el proceso industrial comprende el secado de granos. La divulgación contempla procesos industriales distintos a los medidos aquí que también pueden beneficiarse del uso de una implementación del sistema/aparato de cogeneración según esta divulgación.

[0932] El sistema de cogeneración en varias implementaciones incluye un controlador configurado para hacer que el generador de vapor genere vapor a una calidad de vapor especificada basada en la calidad del vapor. La calidad del vapor puede calcularse mediante una unidad de medición configurada para determinar la calidad del vapor basándose en la separación del vapor y el vapor de agua producidos por el generador de vapor. En otra implementación, la calidad del vapor puede calcularse mediante una unidad de medición configurada para determinar la calidad del vapor basándose en mediciones del caudal de salida de vapor y del caudal de entrada de agua de alimentación. La calidad del vapor puede, en diversas implementaciones, verse afectada por la velocidad a la que se mueve el fluido a través del dispositivo de almacenamiento. Consecuentemente, las puestas en práctica son posibles y contempladas en las cuales el regulador se configura para controlar un índice en el cual el líquido sea movido a través del medio del almacenaje por el primer dispositivo fluido del movimiento. En algunas implementaciones, el medio de almacenamiento comprende una pluralidad de ladrillos.

[0933] Otra implementación más de un sistema de cogeneración incluye un primer medio de almacenamiento configurado para almacenar energía térmica generada por una conversión de electricidad de entrada a partir de un suministro de energía de entrada, teniendo el suministro de energía de entrada una disponibilidad intermitente. El sistema incluye además un dispositivo de movimiento de fluido configurado para mover fluido a través del medio de almacenamiento para calentar el fluido a una temperatura especificada. Un primer generador de vapor está configurado para, utilizando el fluido, convertir la primera agua de alimentación de entrada en vapor. Una turbina de vapor está configurada para, utilizando el vapor, hacer que un generador eléctrico genere electricidad. Las implementaciones pueden incluir además un precalentador configurado para, utilizando el calor residual de la turbina de vapor, precalentar la segunda agua de alimentación suministrada a un segundo generador de vapor.

[0934] En una implementación, el generador de vapor es un generador de vapor de un solo paso. Sin embargo, también son posibles y se contemplan implementaciones en las que el generador de vapor realiza al menos cierta recirculación del agua de alimentación. En consecuencia, algunas implementaciones incluyen un condensador configurado para recibir al menos una porción del vapor de la turbina de vapor y configurado para condensar la porción de vapor en tercera agua de alimentación, mientras que una bomba de recirculación está configurada para proporcionar la tercera agua de alimentación al primer generador de vapor.

[0935] En varias implementaciones, el generador de vapor es un generador de vapor de recuperación de calor. La medición de la calidad del vapor emitido por el generador de vapor puede realizarse en diversas implementaciones, que pueden incluir una unidad de medición configurada para determinar una calidad de vapor de salida medida y un controlador configurado para ajustar una calidad de vapor de salida actual dentro de un intervalo especificado utilizando la calidad de vapor de salida medida como retroalimentación. En tales implementaciones, el controlador está configurado

para hacer que el dispositivo de movimiento de fluido ajuste una tasa de flujo de fluido a través del medio de almacenamiento de acuerdo con la retroalimentación y el intervalo especificado de calidad de vapor.

D. Eliminación de carbono

1. Problemas a resolver

[0936] El dióxido de carbono es el mayor responsable de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, siendo el uso de combustibles fósiles la principal fuente de carbono. Alrededor del 20 % de las emisiones proceden de procesos industriales, que implican principalmente la combustión de combustibles fósiles para obtener energía. Solo en Estados Unidos, las emisiones de gases de efecto invernadero ascendieron a 6.577 millones de toneladas métricas equivalentes de dióxido de carbono. Al menos 16 estados y Puerto Rico han promulgado leyes que establecen requisitos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). California, por ejemplo, ha establecido objetivos de reducción de las emisiones de GEI a través de la ley SB32, que exige que la Junta de Recursos del Aire (CARB) del Estado garantice la reducción de las emisiones de GEI hasta un 40% por debajo de los niveles de 1990 para 2030.

[0937] Estas fuerzas, combinadas con la caída de los precios de las energías renovables, han impulsado un auge en la adopción de las renovables, aumentando así el reto de equilibrar la oferta y la demanda de energía con una oferta energética intermitente añadida. La restricción de las energías renovables no ha dejado de aumentar, y se prevé que en el futuro se produzcan con más frecuencia situaciones de exceso de oferta. Al mismo tiempo, para responder rápidamente a pérdidas repentinas de generación y/o cambios inesperados en la carga, puede haber una mayor necesidad de costosas reservas giratorias y otras reservas operativas.

[0938] Además, la energía producida por medios renovables, por ejemplo la solar y la eólica, no suele corresponder a la demanda. En consecuencia, cada vez es más evidente el valor de las soluciones eficientes para el almacenamiento de energía con el fin de seguir aumentando la fracción renovable en nuestro suministro energético. El almacenamiento de energía es capaz de proporcionar energía o calor de reserva cuando se pierden o interrumpen las fuentes tradicionales de energía (por ejemplo, la electricidad de la red). La energía almacenada en forma de calor a alta temperatura presenta múltiples ventajas, como una mayor densidad energética, un menor coste y una mayor flexibilidad para su uso en aplicaciones industriales a alta temperatura, así como para producir energía. La descarbonización puede resultar especialmente difícil para los procesos industriales que requieren temperaturas muy elevadas, tal como, por ejemplo, superiores a 1000 °C.

[0939] Los procesos térmicos industriales existentes suelen alimentarse con combustibles fósiles, a veces con atmósfera de oxígeno enriquecido para aplicaciones que requieren temperaturas muy elevadas, por ejemplo, superiores a 1500 °C. Estos procesos no pueden cambiar a una fuente de renovación intermitente debido a la necesidad de calor continuo a alta temperatura. Mientras tanto, algunos gobiernos de todo el mundo limitan las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, en Europa, el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión (RCCDE) utiliza un método de límites máximos y comercio para limitar las emisiones de carbono. Se espera que los precios del dióxido de carbono aumenten considerablemente en el futuro.

[0940] A finales de 2019, el precio medio del dióxido de carbono en Europa era de 25 euros/tonelada. Alemania ha anunciado precios de entre 55 y 65 euros por tonelada a partir de 2026, y para 2050 se esperan precios del dióxido de carbono de entre 100 y 6150 euros por tonelada. Solo en la industria cementera europea, que emitió 117 megatoneladas de CO₂ en 2018, el coste actual de la emisión es de aproximadamente 3.000 millones de euros. A nivel mundial, las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía rondaron las 33 gigatoneladas en 2019.

[0941] Por lo tanto, existe una importante necesidad insatisfecha de tecnologías que puedan reducir significativamente las emisiones de carbono en la industria, como el uso de electricidad renovable. Sin embargo, para las operaciones a muy alta temperatura, como la producción de cemento, vidrio, energía y acero, no hay formas fiables de alcanzar las altas temperaturas necesarias utilizando únicamente fuentes de energía intermitentes.

[0942] Los procesos para separar el gas de dióxido de carbono de los gases de escape generados por la combustión de combustibles pueden requerir un flujo continuo de calor y electricidad. Los gases de escape pueden aumentar durante los periodos de alta demanda, cuando los costes de la electricidad generada son más elevados y, por tanto, no son deseables para su uso en un proceso de captura de carbono. Por otro lado, el uso de fuentes renovables de electricidad es intermitente y, por tanto, no es fiable para generar el flujo continuo de calor y electricidad necesario. Cabe señalar que el uso de "fuente continua de calor y electricidad" no pretende implicar una variación nula de la temperatura y/o la potencia eléctrica. Más bien, el término "continuo", tal como se utiliza en el presente documento, indica que la fuente de calor y/o electricidad es capaz de proporcionar una cantidad suficiente de electricidad y calor para mantener el funcionamiento adecuado de un proceso de separación de dióxido de carbono.

[0943] El bucle de calcio es un ejemplo de tecnología de captura de CO₂ que se basa en la reacción cíclica de calcinación/carbonatación de, por ejemplo, CaO. El CaO reacciona con el CO₂ para generar CaCO₃. La reacción de avance se denomina carbonatación, y es exotérmica, en la que el CO₂ se captura en el sorbente. La reacción inversa, la calcinación, es endotérmica y libera una corriente pura de CO₂ que puede capturarse, comprimirse y almacenarse. Dicho

ciclo puede incluir un paso intermedio de hidratación para aumentar la vida útil del sorbente. La reacción de calcinación (liberación de CO_2) requiere altas temperaturas por encima de $900\text{ }^\circ\text{C}$, mientras que la reacción de carbonatación (adsorción de CO_2) requiere temperaturas en torno a $600\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$. Las reacciones intermedias de hidratación pueden producirse a temperaturas de $100\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$.

[0944] Aunque el bucle de calcio con CO_2 y a veces otros gases como el SO_2 es una tecnología importante para reducir la huella de carbono, la gran cantidad de energía necesaria, que a menudo se obtiene quemando combustibles fósiles en una corriente pura de oxígeno, plantea retos adicionales para reducir la intensidad de carbono del proceso.

[0945] Existe una necesidad insatisfecha de un sistema de almacenamiento de energía térmica a alta temperatura alimentado por electricidad renovable que pueda proporcionar la energía necesaria para hacer funcionar dicho proceso, haciendo que el proceso de bucle de calcio sea carbono negativo.

2. Captura de carbono

[0946] Aunque el bucle de calcio ofrece métodos prometedores para capturar y almacenar CO_2 , el requisito en las tecnologías existentes de calor a alta temperatura proporcionado por una corriente de combustible combinada con oxígeno puro reduce la eficiencia global de la captura de carbono. Estas tecnologías pueden requerir además un separador de aire que añade coste y complejidad al sistema.

[0947] El problema de generar energía y calor constantes a partir de una fuente de energía intermitente para su uso en un proceso de separación de dióxido de carbono con bucle de calcio puede resolverse cargando unidades de almacenamiento térmico cuando la fuente de energía intermitente está disponible y generando el calor y la energía a partir de las unidades de almacenamiento térmico. El uso de estas unidades de almacenamiento térmico puede permitir la generación continua de calor y electricidad a partir de una fuente de energía inconsistente. Haciendo referencia a la figura 94, un sistema de almacenamiento de energía térmica de alta temperatura alimentado por electricidad renovable divulgado en el presente documento que utiliza parte del CO_2 generado como fluido de intercambio térmico que circula a través de un sistema de implementación de ejemplo 100 elimina la necesidad de combustible adicional o de una corriente de oxígeno puro. El calor de alta temperatura puede utilizarse para el ciclo de regeneración, el calor de temperatura media para el ciclo de carbonatación y el calor de baja temperatura puede utilizarse para la reacción de hidratación o para precalentar la corriente de CO_2 que entra en el sistema de almacenamiento. Un proceso de bucle de calcio verdaderamente negativo en carbono puede acoplarse a cualquier proceso de producción de CO_2 y puede ser especialmente beneficioso en la industria de producción de cemento, que puede utilizar óxido de calcio usado para aumentar la materia prima en el proceso de producción de cemento.

[0948] Una aplicación del sistema de almacenamiento de ladrillos calefactados es impulsar un proceso criogénico de eliminación de carbono. En un caso, la unidad se utiliza para alimentar una fuente continua de generación de energía eléctrica que, a su vez, acciona un proceso de separación de dióxido de carbono, que utiliza efectos criogénicos, comprimiendo y enfriando CO_2 para reducir su temperatura hasta que se convierte en un sólido o, en algunas realizaciones, en un líquido. El suministro de la energía eléctrica necesaria para impulsar ese proceso procede de la energía suministrada por un turbogenerador cuyo calor de entrada puede ser suministrado por una unidad de almacenamiento de energía térmica.

[0949] Muchos procesos de captura de carbono, como el bucle de calcio, en lugar de utilizar exclusivamente energía eléctrica (como el proceso criogénico descrito anteriormente) también utilizan energía térmica. La energía térmica puede utilizarse para regenerar un medio sólido o líquido que captura dióxido de carbono, luego lo libera (al ser regenerado) y, a continuación, se vuelve a utilizar durante uno o más ciclos para capturar más dióxido de carbono. La energía térmica de una unidad de almacenamiento térmico descrita anteriormente puede proporcionar energía renovable para este proceso.

[0950] El calor a alta temperatura puede impulsar una implementación de un proceso de calcinación, en una reacción química de varios pasos que implica la conversión repetida de un óxido de calcio en carbonato de calcio utilizando dióxido de carbono capturado, y luego la calcinación para liberar el dióxido de carbono. Tales reacciones tienen lugar a altas temperaturas, y el calor a alta temperatura de una unidad de almacenamiento térmico descrita anteriormente puede alimentar este proceso, seguido del uso del calor restante a menor temperatura para accionar un generador eléctrico, mediante un proceso de calentar para trabajar de turbina, incluyendo procesos de vapor, CO_2 o ciclo de Rankine.

[0951] Dicho calor puede suministrarse como calor de grado inferior procedente de la salida de un turbogenerador, al que se suministra calor de grado superior mediante una unidad de almacenamiento térmico, de forma que una parte de la energía se utiliza en forma de electricidad para accionar las bombas, y otra parte de la energía, en forma de calor, se utiliza para accionar la regeneración. Ambas formas de energía pueden suministrarse de manera eficiente mediante el almacenamiento de energía térmica a alta temperatura.

[0952] Haciendo referencia a la figura 94, en algunas implementaciones de ejemplo, el sistema de cogeneración integrado 400 puede configurarse para proporcionar la energía térmica y eléctrica necesaria para impulsar un proceso de captura y secuestro de carbono. Los procesos de separación de CO_2 de los gases de escape y de captura de CO_2

directamente del aire ambiente (captura directa en el aire, o DAC) suelen utilizar procesos en los que un medio de captura, que puede ser un líquido absorbente, un sólido adsorbente, o un sólido químicamente reactivo se expone a gases de combustión u otros flujos de gas que contengan CO₂ a una primera temperatura, después se calienta a una segunda temperatura que provoca la liberación selectiva del CO₂ en otro conducto de fluido, seguido de un enfriamiento de los medios de captura y su reutilización en otro ciclo de captura y liberación.

[0953] La energía térmica almacenada derivada de la VRE puede proporcionar un suministro continuo del calor necesario para impulsar este proceso. El aire a alta temperatura, u otro tipo de fluido, puede dirigirse para calentar o regenerar de otro modo un medio de captura a alta temperatura. En un caso, el vapor puede ser suministrado directamente por un HRSG para accionar un elemento del proceso de captura, como un recalentador de disolvente amínico o un regenerador de adsorbente. Además, o en lugar del vapor de un HRSG, el vapor extraído a baja presión de un ciclo de potencia de turbina de vapor puede dirigirse para proporcionar calor a un recalentador de disolvente.

[0954] La energía eléctrica generada por una turbina de vapor, una turbina de ciclo de Rankine orgánico o una turbina supercrítica de CO₂ puede proporcionar energía eléctrica para accionar el equipo de captura y compresión de CO₂. Así, la VRE almacenada puede proporcionar toda la energía necesaria para accionar un sistema de captura de carbono 702 de cero emisiones que permita separar el CO₂ de los gases de escape o del aire ambiente.

[0955] Un ejemplo de utilización de unidades de almacenamiento térmico en un proceso de captura de carbono incluye un sistema de captura de dióxido de carbono que está configurado para separar el dióxido de carbono de los gases de escape utilizando, por ejemplo, un proceso de bucle de calcio como el descrito anteriormente.

[0956] La figura 100 ilustra un enfoque de captura directa de aire 11000 según las implementaciones de ejemplo. Se incluye un sistema de almacenamiento térmico que está configurado para convertir la electricidad de entrada procedente de un suministro de energía de entrada en energía térmica almacenada, teniendo el suministro de energía de entrada una disponibilidad intermitente, por ejemplo, de VRE 11001, como una fuente de energía renovable. El ejemplo incluye además un sistema de generación de energía, que incluye el almacenamiento de energía térmica 11003 que proporciona fluido caliente a un HRSG 11007, que está configurado para convertir la energía térmica almacenada en electricidad de salida. Esta electricidad de salida se suministra al sistema de captura de dióxido de carbono. El sistema de captura de dióxido de carbono está configurado para funcionar utilizando la electricidad suministrada. En algunas realizaciones, el sistema de almacenamiento térmico incluye un almacenamiento de energía térmica 11007 que está configurado para calentar un medio de almacenamiento utilizando la electricidad de entrada procedente del suministro de energía de entrada (VRE 11001), así como un ventilador que está configurado para hacer circular fluido a través del medio de almacenamiento calentado, como se ha explicado anteriormente. El sistema de generación de energía, en algunas realizaciones, puede incluir un intercambiador de calor que está configurado para generar vapor utilizando fluido circulado, y una turbina de vapor que está configurada para generar la electricidad suministrada a partir del vapor producido.

[0957] El sistema de captura de dióxido de carbono puede incluir el almacenamiento de energía térmica 11005, que está configurado para utilizar una parte de la energía térmica almacenada como calor para separar el dióxido de carbono de los gases de escape. Por ejemplo, el calor puede utilizarse como parte de un ciclo de calcinación en el calcinador 11009 utilizado para liberar dióxido de carbono de un material adsorbente que se ha utilizado para capturar el dióxido de carbono. El sistema de almacenamiento de energía térmica, en algunas implementaciones, está configurado para generar la electricidad de salida de una manera sustancialmente continua, permitiendo así que el sistema de captura de dióxido de carbono esté operativo según sea necesario.

[0958] Un ejemplo de método para operar un sistema de almacenamiento de energía térmica se presenta en la figura 95. El método 5100 incluye, en el bloque 5110, convertir, mediante un sistema de almacenamiento de energía térmica, la electricidad de entrada procedente de un suministro de energía de disponibilidad intermitente en energía térmica almacenada. Por ejemplo, una fuente de energía renovable, como la solar o la eólica, puede utilizarse para generar electricidad que, a su vez, se utiliza para alimentar elementos de calentamiento que suministran calor a un medio de almacenamiento. En el bloque 5120, el método 5100 incluye el suministro de energía térmica almacenada desde el sistema de almacenamiento de energía térmica a una turbina de vapor para generar electricidad. El medio de almacenamiento calentado puede utilizarse para suministrar calor a una caldera que acciona un generador de electricidad (por ejemplo, un generador de vapor). El calor puede transferirse, a través de un fluido adecuado, desde el medio de almacenamiento a un intercambiador de calor que calienta la caldera. El método 5100 incluye además, en el bloque 5130, proporcionar la electricidad y el calor generados desde el sistema de almacenamiento de energía térmica a un sistema de captura de dióxido de carbono que separa el dióxido de carbono de los gases de escape, en el que la electricidad y el calor de salida se proporcionan al menos en momentos en los que el suministro de energía no está disponible. Puede utilizarse cualquier tipo adecuado de proceso de captura de dióxido de carbono, como un proceso de bucle de calcio o un proceso criogénico. El uso de un sistema de almacenamiento térmico puede permitir que el calor almacenado se utilice en momentos en los que la fuente de energía no está disponible, además de en momentos en los que el suministro de energía está disponible.

[0959] Un ejemplo de método para operar un sistema de captura de dióxido de carbono se muestra en la figura 96. El método 5200 incluye, en el bloque 5210, recibir, mediante un sistema de captura de dióxido de carbono, gases de escape procedentes de la combustión de una fuente de combustible. El sistema de captura de dióxido de carbono puede incluir

una torre de absorción a través de la cual fluyen los gases de escape procedentes de un horno que se utiliza para quemar combustibles fósiles. En el bloque 5220, el método 5200 incluye además la recepción, por parte del sistema de captura de dióxido de carbono, de electricidad generada a partir de un sistema de almacenamiento de energía térmica. En el presente ejemplo, la energía para el sistema de captura de dióxido de carbono procede de una fuente intermitente, como las fuentes de energía renovables. El sistema de almacenamiento de energía térmica almacena energía térmica utilizando el suministro de energía de disponibilidad intermitente. El método 5200 incluye además, en 5230, separar, mediante el sistema de captura de dióxido de carbono, el dióxido de carbono de los gases de escape utilizando la electricidad y el calor recibidos. Puede utilizarse cualquier tipo adecuado de proceso de captura de dióxido de carbono, incluidos los procesos descritos en el presente documento. En algunas implementaciones, el sistema de captura de dióxido de carbono puede utilizar tanto electricidad como calor del sistema de almacenamiento de energía térmica. La separación se realiza al menos en momentos en los que el suministro de energía no está disponible. Dado que se utiliza una fuente de energía intermitente para alimentar el sistema de almacenamiento de energía térmica, este sistema de almacenamiento de energía térmica es capaz de proporcionar calor continuo para ser utilizado por el sistema de captura de dióxido de carbono como fuente de calor y/o para generar electricidad.

3. Ventajas de las implementaciones divulgadas

[0960] Las implementaciones de ejemplo relacionadas con la captura de carbono pueden tener diversas ventajas y beneficios en relación con las técnicas tradicionales. Por ejemplo, los enfoques descritos en el presente documento pueden abordar problemas de exceso de oferta, así como promover la captura adicional de carbono para aplicaciones industriales de muy alta temperatura.

[0961] Por ejemplo, el uso de unidades de almacenamiento térmico puede permitir el uso de electricidad generada por la combustión de combustibles. Durante los periodos de baja demanda de electricidad, la energía generada a partir de combustibles se utiliza para cargar las unidades de almacenamiento térmico. Durante los periodos de alta demanda de electricidad, se interrumpe la carga de las unidades térmicas y el proceso de captura de carbono se alimenta de las unidades de almacenamiento térmico cargadas. En consecuencia, las unidades térmicas pueden cobrarse cuando los costes de la electricidad son bajos y la electricidad producida, por tanto, tiene menos valor. Durante los periodos de alta demanda de electricidad, la producida tiene mayor valor y puede venderse a la red eléctrica en lugar de ser enviada al proceso de captura de carbono.

E. Otras aplicaciones industriales

1. Desalinización renovable

[0962] Los procesos de desalinización funcionan tradicionalmente de forma continua y una parte importante de la desalinización mundial procede actualmente de sistemas de membrana. Sin embargo, la gran mayoría de las desalinizadoras de algunas regiones (por ejemplo, Oriente Medio) utilizan la antigua tecnología de desalinización térmica acoplada a una central eléctrica de ciclo combinado. La central de ciclo combinado puede tener una turbina de combustión y una turbina de vapor que produce, por ejemplo, una condensación de 70 °C, que alimenta un sistema de producción de destilación flash de varias etapas o de varios efectos. Esto puede reducir la producción de electricidad de la turbina de vapor en un pequeño porcentaje, pero puede reducir significativamente la electricidad utilizada para producir agua mediante desalinización. En un ejemplo, una tonelada de vapor de entrada produce entre cuatro y siete toneladas de agua de salida.

[0963] En algunos casos, la central eléctrica sigue funcionando para mantener operativa la desalinización incluso cuando no hay demanda de la electricidad generada por la central, lo que supone un derroche de energía. Con la entrada en funcionamiento de más energías renovables, éste puede ser un problema cada vez más acuciante.

[0964] Mediante la incorporación de un sistema de almacenamiento térmico de acuerdo con las implementaciones de ejemplo, estos problemas pueden ser abordados. El sistema de almacenamiento térmico puede tener una temperatura de salida más caliente que la temperatura de salida de la turbina de combustión. Por lo tanto, el sistema de almacenamiento térmico puede conectarse a un generador de vapor de recuperación de calor con un puerto de entrada de aire independiente, o un generador de vapor del sistema de almacenamiento térmico puede funcionar para hacer agua, sin consumir gas natural. El sistema de almacenamiento térmico puede cargarse con energía fotovoltaica o funcionar con energía de la red para absorber lo que de otro modo sería un exceso de generación durante el día y hacer la transición a un agua con cero emisiones de carbono.

[0965] Así, este sistema puede utilizarse para amortiguar los picos de electricidad y proporcionar potencia de carga nivelada. Si no se desinstala la turbina de combustión, durante los periodos de alta demanda de electricidad, como durante un caluroso día de verano, la turbina de combustión sigue estando disponible y el almacenamiento térmico puede desplegarse adicionalmente para hacer funcionar la turbina de vapor por encima del nominal si se desea.

[0966] En algunas regiones geográficas (por ejemplo, Oriente Medio), una turbina de combustión puede producir un 18 % menos de electricidad en un día caluroso que en un día frío, debido a la menor densidad del aire de combustión en un día caluroso. El sistema de almacenamiento térmico descrito puede utilizarse para aumentar el flujo másico de vapor y/o

la temperatura cuando la potencia de la turbina disminuye. Todo lo que puede ser eléctrico para que el agua de carga base se puede hacer, pero también incluye su poder de relleno incorporado para los picos de demanda de electricidad.

[0967] Los sistemas de almacenamiento de energía de ladrillo calentado descritos en el presente documento pueden ser capaces de producir temperaturas de salida más altas que pueden permitir la integración directa en los sistemas de desalinización existentes o pueden servir como base para un sistema de desalinización dedicado.

[0968] Un elemento beneficioso de estos sistemas de almacenamiento térmico en ladrillos calefactados es que pueden instalarse a posteriori en centrales existentes para capturar lo que de otro modo sería sobregeneración en el sistema. Cabe señalar que el sistema de almacenamiento térmico descrito, acoplado a una central eléctrica de ciclo combinado, también puede alimentar con energía renovable un sistema de ósmosis inversa u otros procesos industriales que requieran energía las 24 horas del día.

2. Producción de vidrio

[0969] La producción de vidrio suele requerir temperaturas que oscilan entre 1500 y 1700 °C en un horno de fusión donde las materias primas se transforman a través de una secuencia de reacciones químicas para formar vidrio fundido. El proceso de fusión representa más de la mitad del consumo de energía en la producción de vidrio. El baño metálico puede requerir temperaturas de 1100 °C a unos 600 °C en la salida antes de que el vidrio fundido se recueza a 600 °C. En algunas implementaciones tradicionales, la energía térmica necesaria para la producción de vidrio procede de la combustión de combustibles fósiles y, en algunos casos, del calentamiento eléctrico. La producción de vidrio es, por tanto, un proceso muy intensivo en energía y la demanda mundial de vidrio sigue aumentando. Según la Agencia Internacional de la Energía, las industrias del envase y del vidrio plano (que juntas representan el 80 % de la producción de vidrio) emiten más de 60 megatoneladas de CO₂ al año (AIE 2007) y el uso de energía representa alrededor del 15 % de los costes totales de producción de vidrio.

[0970] En s, los hornos de fusión de vidrio se complementan con un conjunto de regeneradores de recuperación de calor que recuperan el calor del final del horno de fusión y lo utilizan para precalentar el aire de combustión, por ejemplo, a 900-1200 °C antes de que la temperatura se eleve aún más a través del quemador hasta aproximadamente 1700 °C, por ejemplo, 1700 °C.

[0971] El sistema de almacenamiento de energía a alta temperatura descrito en el presente documento puede tener la capacidad de satisfacer todas las necesidades térmicas del sistema de producción de vidrio, incluido el horno de fusión a alta temperatura. En una implementación de ejemplo, los regeneradores de vidrio pueden ser reemplazados por sistemas de almacenamiento de energía térmica de alta temperatura divulgados en el presente documento para proporcionar aire a alta temperatura u otro gas y eliminar la necesidad de un quemador.

[0972] Dado que la producción de vidrio es un proceso que dura las 24 horas del día, un sistema de almacenamiento de energía puede utilizarse en una aplicación para sustituir una cantidad significativa de la energía de entrada por energía renovable intermitente. La reducción o eliminación de los gases de combustión también puede reducir la cantidad de productos de combustión indeseables en el horno de vidrio. El nitrógeno u otro gas puede utilizarse en un circuito cerrado a través del sistema de almacenamiento de energía térmica a alta temperatura, y en el tanque flotador, reduciendo el coste de la separación del aire y reduciendo la producción del producto secundario indeseable de óxidos de nitrógeno (NOx) producido por la reacción térmica del nitrógeno y el oxígeno en el aire.

[0973] En una implementación de ejemplo alternativo, el aire calentado procedente de los regeneradores existentes puede introducirse en el sistema de almacenamiento de energía térmica de alta temperatura descrito en el presente documento, que a continuación produce fluido de salida a una temperatura utilizada por el horno de fusión. Esto también puede reducir o eliminar la necesidad de un quemador y la combustión adicional de combustibles fósiles.

3. Producción siderúrgica

[0974] Tradicionalmente, el acero bruto se fabrica en altos hornos. La fabricación de acero puede requerir altas temperaturas, tal como aproximadamente 1600 °C, por ejemplo. Cada tonelada de acero producida en 2018 emitió una media de 1,85 toneladas de dióxido de carbono, incluyendo la aglomeración, la siderurgia, la fundición y la laminación en caliente, y representa aproximadamente el 30 % de las emisiones industriales mundiales de CO₂. Por lo tanto, existe una importante necesidad insatisfecha de reducir la intensidad de carbono de la fabricación de acero. La industria siderúrgica europea aspira a reducir las emisiones de CO₂ en un 80-95 % de aquí a 2050 para cumplir los requisitos del Acuerdo de París. Una reducción tan drástica puede ser difícil o imposible de conseguir con los equipos tradicionales.

[0975] Los procesos de reducción directa utilizados con un horno de arco eléctrico pueden proporcionar una trayectoria para la reducción sustancial de las emisiones de CO₂ en la industria siderúrgica. El uso de gas natural como agente reductor reduce las emisiones de CO₂ en aproximadamente 1/3 en comparación con la trayectoria tradicional del alto horno. El uso de H₂ renovable como agente reductor reduce aún más las emisiones. Sin embargo, el proceso puede ser térmicamente desfavorable debido a la naturaleza endotérmica de la reacción entre el hidrógeno y el óxido de hierro.

[0976] Por ejemplo, 800 m³ (STP)/t DRI (metros cúbicos a temperatura y presión estándar por tonelada métrica de hierro de reducción directa) de hidrógeno pueden ser necesarios para el funcionamiento sólo con hidrógeno. El propio proceso de reducción necesita 550 m³ (STP)/t de DRI, mientras que se necesitan 250 m³ STP/t de DRI de hidrógeno como combustible para el calentador de gas. Es posible que se necesiten ~50 m³ (STP)/t DRI adicionales de gas natural para mantener la temperatura y el contenido de carbono del DRI. La reducción de temperatura debida a la reacción del hidrógeno puede compensarse añadiendo gas natural. La reacción exotérmica se produce entre el óxido de hierro y el CO. En comparación, el proceso del gas natural requiere aproximadamente 259 m³ STP/t DRI.

[0977] Las temperaturas ultraelevadas producidas por el sistema de almacenamiento de energía térmica de las implementaciones de ejemplo pueden reducir las emisiones de carbono del proceso de fabricación de acero. La capacidad de obtener algunas de las temperaturas más altas de la siderurgia, cercanas a los 1600-2000 °C, significa que las necesidades de calor térmico del proceso en el alto horno pueden satisfacerse utilizando un sistema de almacenamiento térmico cargado de energía renovable las 24 horas del día, tal como se ha descrito anteriormente. Además, la composición del gas calentado dentro de la unidad de almacenamiento térmico puede ajustarse/seleccionarse para aumentar aún más la eficiencia de la producción, para adaptar los sistemas de combustibles fósiles a un proceso de reducción directa sin necesidad de modificar significativamente el equipo, o ambas cosas. En otras palabras, un sistema tradicional puede modernizarse de forma relativamente sencilla para electrificarse utilizando fuentes de electricidad intermitentes, como un sistema fotovoltaico. Por ejemplo, el hidrógeno o el gas natural pueden utilizarse directamente como fluido de intercambio térmico que es calentado por el sistema de almacenamiento térmico y también para reducir directamente el mineral en acero.

[0978] En la medida en que un término utilizado en una reivindicación no se defina a continuación, se le debe dar la definición más amplia que los expertos en la materia hayan dado a dicho término, tal como se refleja en las publicaciones impresas y en las patentes expedidas en el momento de la solicitud. Por ejemplo, la terminología siguiente puede utilizarse indistintamente, como entenderían los expertos en la materia:

A Amperios
 CA Corriente alterna
 CC corriente continua
 DFB Lecho fluidizado doble
 EAR Recuperación mejorada de petróleo
 EV Vehículo eléctrico
 GT Turbina de gas
 HRSG Generador de vapor con recuperación de calor
 kV kilovoltio
 kW kilovatio
 MED Desalinización multiefecto
 MPPT Seguimiento del punto de máxima potencia
 MSF Flash multietapa
 MW megavatio
 OTSG Generador de vapor de un solo paso
 PEM Membrana de intercambio de protones
 PV Fotovoltaica
 RSOC Celda reversible de óxido sólido
 SOEC Celda electrolizadora de óxido sólido
 SOFC Celda de combustible de óxido sólido
 ST Turbina de vapor
 TES Almacenamiento de energía térmica
 TSU Unidad de almacenamiento térmico

[0979] Además, el término "calentador" se utiliza para referirse a un elemento conductor que genera calor. Por ejemplo, el término "calentador", tal como se utiliza en las presentes implementaciones de ejemplo, puede incluir, entre otros, un alambre, una cinta, una banda u otra estructura que pueda conducir electricidad de manera que genere calor. La composición del calentador puede ser metálica (con o sin revestimiento), cerámica u otra composición que pueda generar calor.

[0980] Aunque los ejemplos de implementación anteriores pueden referirse a "aire", incluyendo CO₂, el concepto inventivo no se limita a esta composición, y otras corrientes de fluidos pueden sustituirse para aplicaciones industriales adicionales. Por ejemplo, pero sin limitarse a ello, la recuperación mejorada de petróleo, la esterilización relacionada con la atención sanitaria o la alimentación y las bebidas, el secado, la producción química, la desalinización y el tratamiento hidrotérmico (por ejemplo, el proceso Bayer). El proceso Bayer incluye una etapa de calcinación. La composición de las corrientes de fluidos puede seleccionarse para mejorar el rendimiento o la eficiencia del producto, o para controlar la corriente de escape.

[0981] En cualquiera de las unidades de almacenamiento térmico, la composición del fluido de trabajo puede cambiarse en ocasiones para diversos fines, incluido el mantenimiento o el reacondicionamiento de los materiales. Pueden utilizarse

varias unidades en sinergia para mejorar las características de carga o descarga, el dimensionamiento o la facilidad de instalación, integración o mantenimiento. Como comprenderán los expertos en la materia, las unidades de almacenamiento térmico descritas en el presente documento pueden sustituirse por otras unidades de almacenamiento térmico que tengan las propiedades y funciones necesarias; los resultados pueden variar en función de la forma y la escala de combinación de las unidades de almacenamiento térmico.

[0982] Tal como se utiliza en la descripción en el presente documento y en las reivindicaciones siguientes, el significado de "un", "una" y "el/la" incluye referencia al plural a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Asimismo, tal como se utiliza en la presente descripción, el significado de "en" incluye "en" y "sobre", a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

[0983] La recitación de intervalos de valores en este documento sólo pretende servir como un método abreviado de referirse individualmente a cada valor separado que cae dentro del intervalo. A menos que se indique lo contrario, cada valor individual se incorpora a la memoria descriptiva como si se recitara aquí individualmente.

[0984] Todos los procedimientos descritos en este documento se pueden realizar en cualquier orden adecuado, a menos que se indique lo contrario en este documento o se contradiga claramente de otra manera en el contexto. El uso de todos y cada uno de los ejemplos, o lenguaje ejemplar (por ejemplo, "como") proporcionado con respecto a ciertas implementaciones de ejemplo en el presente documento pretende simplemente iluminar mejor la implementación de ejemplo y no supone una limitación en el alcance de la implementación de ejemplo reivindicada de otro modo. Ningún lenguaje de la memoria descriptiva debe interpretarse como indicación de ningún elemento no reclamado esencial para la práctica de la implementación de ejemplo.

[0985] Las agrupaciones de elementos alternativos o las implementaciones de ejemplo de la implementación de ejemplo aquí divulgada no deben interpretarse como limitaciones. Cada miembro del grupo puede mencionarse y reivindicarse individualmente o en cualquier combinación con otros miembros del grupo u otros elementos que se encuentren en el presente documento. Uno o más miembros de un grupo pueden ser incluidos o eliminados de un grupo por razones de conveniencia y/o patentabilidad. Cuando se produce una inclusión o supresión de este tipo, se considera que la memoria descriptiva contiene el grupo modificado, cumpliendo así la descripción escrita de todos los grupos utilizados en las reivindicaciones adjuntas.

[0986] En la memoria descriptiva, se puede hacer referencia a las relaciones espaciales entre varios componentes y a la orientación espacial de varios aspectos de los componentes tal y como se representan los dispositivos en los dibujos adjuntos. Sin embargo, como reconocerán los expertos en la materia tras una lectura completa de la presente solicitud, los dispositivos, miembros, aparatos, etc. descritos en el presente documento pueden colocarse en cualquier orientación deseada. Así, el uso de términos como "arriba", "abajo", "superior", "inferior", "primero", "segundo" u otros similares para describir una relación espacial entre varios componentes o para describir la orientación espacial de aspectos de dichos componentes debe entenderse que describe una relación relativa entre los componentes o una orientación espacial de aspectos de dichos componentes, respectivamente, ya que el dispositivo descrito en el presente documento puede orientarse en cualquier dirección deseada.

[0987] Al interpretar la memoria descriptiva, todos los términos deben interpretarse de la manera más amplia posible que sea coherente con el contexto. En particular, los términos "comprende" y "que comprende" deben interpretarse como referidos a elementos, componentes o pasos de manera no exclusiva, indicando que los elementos, componentes o etapas referenciados pueden estar presentes, o ser utilizados, o combinados con otros elementos, componentes o etapas no referenciados expresamente. Cuando las reivindicaciones de la memoria descriptiva se refieran al menos a algo seleccionado del grupo formado por A, B, C ... y N, el texto debe interpretarse en el sentido de que exige un solo elemento del grupo, no A más N, o B más N, etc.

[0988] Si bien lo anterior describe varias implementaciones de ejemplo de la implementación de ejemplo, se pueden concebir otras implementaciones de ejemplo de la implementación de ejemplo. El alcance de la invención se determina por las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de almacenamiento y suministro de energía térmica, que comprende:

- 5 un conjunto de almacenamiento térmico (4001) que incluye una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico, en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen múltiples cavidades de radiación (3603) y múltiples ranuras de flujo de fluido (3605), en el que algunas de las cavidades de radiación y algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico;
- 10 una pluralidad de elementos de calentamiento (3607) situados dentro del conjunto de almacenamiento térmico y adyacentes a al menos algunas de las cavidades de radiación, en el que cada uno de los elementos de calentamiento está configurado para calentar al menos uno de los bloques de almacenamiento térmico mediante energía irradiada en varias de las cavidades de radiación y sobre las superficies que limitan las respectivas cavidades de radiación; y
- 15 un sistema de movimiento de fluido (213, 4223) configurado para dirigir una corriente de fluido a través de las trayectorias de fluido.

2. Un método, que comprende:

- 20 calentar una pila de bloques de almacenamiento térmico en una unidad de almacenamiento térmico (TSU) que incluye una pluralidad de bloques de almacenamiento térmico, en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen múltiples cavidades de radiación (3603) y múltiples ranuras de flujo de fluido (3605), en el que algunas de las cavidades de radiación y algunas de las ranuras de flujo de fluido están configuradas para definir trayectorias de fluido a través de los bloques de almacenamiento térmico;
- 25 en el que el calentamiento se realiza mediante una pluralidad de elementos de calentamiento (3607) situados dentro de al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico y adyacentes a algunas de las cavidades de radiación, mediante energía irradiada a múltiples de las cavidades de radiación y sobre superficies que limitan las respectivas cavidades de radiación dentro del al menos un bloque de almacenamiento térmico; y
- 30 dirigir el fluido a través de la TSU de forma que una corriente de fluido pase a través de la TSU, incluso a través de las trayectorias de fluido.

3. El sistema de la reivindicación 1 o el método de la reivindicación 2, en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento se colocan de tal manera que los elementos de calentamiento (3607) colocados adyacentes a algunas de las cavidades de radiación (3603) emiten calor principalmente en una dirección de radiación que es diferente de una dirección de flujo de fluido a través de las trayectorias de fluido correspondientes.

4. El sistema o método de la reivindicación 3, en el que la dirección de radiación es sustancialmente ortogonal a la dirección de flujo del fluido.

5. El sistema o método de la reivindicación 3 o reivindicación 4, en el que la dirección del flujo de fluido a través de las trayectorias de fluido es sustancialmente vertical y al menos algunos de los elementos de calentamiento (3607) son horizontalmente adyacentes a algunas de las cavidades de radiación (3603).

6. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que los elementos de calentamiento (3607), los bloques de almacenamiento y las cavidades de radiación (3603) están configurados para proporcionar una termoclina sustancialmente vertical en la que una porción superior del conjunto de almacenamiento térmico está a una temperatura más alta que una porción inferior del conjunto de almacenamiento térmico.

7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3 a 6 o el método de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que al menos una de las trayectorias de fluido incluye múltiples ranuras de flujo de fluido (3605) que se abren a una cavidad de radiación particular (3603) y la corriente de fluido pasa a través de las múltiples ranuras de flujo de fluido desde la cavidad de radiación particular, y/o en el que una trayectoria de fluido incluye múltiples cavidades (3603) y múltiples ranuras de flujo de fluido (3605), está orientada para un flujo de fluido sustancialmente vertical, e incluye cavidades de radiación alternantes y conjuntos de una o más ranuras de flujo de fluido en la dirección vertical.

8. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3 a 7 o el método de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5 o 7, en el que las ranuras de flujo de fluido (3605) están posicionadas de tal manera que la energía radiativa de los elementos de calentamiento (3607) llega a las ranuras de flujo de fluido indirectamente por rerradiación a través de una o más cavidades de radiación (3603), y/o en el que las ranuras de flujo de fluido (3605) son alargadas con una dimensión más larga y una dimensión más corta.

9. El sistema o método de la reivindicación 8, en el que las ranuras de flujo de fluido (3605) de al menos un bloque de almacenamiento térmico están orientadas con su dimensión más larga en múltiples direcciones diferentes, y/o en el que los bloques de almacenamiento térmico están posicionados en múltiples niveles, en el que la altura de las cavidades de radiación (3603) y las ranuras de flujo de fluido (3605) en un primer nivel es menor que la altura de las cavidades de radiación y las ranuras de flujo de fluido en un segundo nivel que es más alto que el primer nivel.

10. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3 a 9, que comprende, además:

circuitos de control configurados para suministrar energía a los elementos de calentamiento (3607);
 en el que los bloques de almacenamiento térmico están colocados en varios niveles; y
 en el que el circuito de control está configurado para proporcionar diferentes cantidades de energía a los elementos de calentamiento en al menos algunos de los múltiples niveles.

11. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3 a 10,

en el que el conjunto de almacenamiento térmico incluye:
 múltiples pilas de bloques de almacenamiento térmico, incluyendo un primer conjunto de pilas (4107) que está aislado térmicamente de un segundo conjunto de pilas (4109); y
 ventilaciones (4111, 4113) situadas bajo el primer conjunto de pilas y el segundo conjunto de pilas y configurados para ser controlados independientemente para dirigir el flujo de la corriente de fluido hacia el primer conjunto de pilas y el segundo conjunto de pilas.

12. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3 a 11 o el método de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5 o 7 a 9, en el que los volúmenes de al menos algunas cavidades de radiación (3603) son mayores que conjuntos vecinos de una o más ranuras de flujo de fluido (3605) de una determinada trayectoria de fluido, y/o en el que al menos uno de los bloques de almacenamiento térmico incluye múltiples cavidades de radiación (3603) y múltiples aberturas que están al menos parcialmente definidas por uno o más de otros bloques de almacenamiento térmico, y/o en el que un bloque de almacenamiento térmico incluye cavidades de radiación (3603) y ranuras de paso de fluido en múltiples elevaciones verticales, y/o en el que al menos algunos de los bloques de almacenamiento térmico incluyen ranuras de paso de fluido (3603) en una porción de bloque situada por encima de al menos uno de los elementos de calentamiento.

13. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3 a 12, en el que el conjunto de almacenamiento térmico incluye:

un recinto;
 en el que el recinto incluye una primera salida de aire con un primer cierre de salida de aire, formando la primera salida de aire un paso entre un interior del recinto y un exterior, en el que el aparato está configurado para mantener el primer cierre de salida de aire en una posición cerrada durante una condición de funcionamiento del sistema de movimiento de fluidos; y
 un mecanismo a prueba de fallos configurado para abrir el primer cierre de ventilación en respuesta a una condición de no funcionamiento del sistema de movimiento de fluidos.

14. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3 a 13, en el que el conjunto de almacenamiento térmico incluye:

un primer recinto que tiene una superficie interior;
 un segundo recinto con una superficie exterior, estando el segundo recinto posicionado dentro del primer recinto, en el que los bloques de almacenamiento térmico están posicionados en el segundo recinto;
 un paso de fluido delimitado por la superficie exterior y la superficie interior y en comunicación con las trayectorias de fluido, en el que el sistema de movimiento de fluido está configurado para dirigir la corriente de fluido a través del paso de fluido y después a través de las trayectorias de fluido.

15. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3 a 14, en el que los bloques de almacenamiento térmico incluyen porciones de estante (3305) que se entrelazan cuando los bloques de almacenamiento térmico se colocan en una pila, y/o en el que las cavidades de radiación (3603) y las ranuras de flujo de fluido (3605) a una elevación vertical dada tienen sustancialmente la misma altura, y/o en el que el sistema comprende además una salida (4303) configurada para dar salida a gas calentado por el conjunto de almacenamiento térmico, y/o en el que los elementos de calentamiento (3607) son conectables para recibir energía de una o más fuentes de energía de la siguiente lista de fuentes de energía: solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica.

16. El método de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, 7 a 9 o 12, en el que al menos tres superficies de una cavidad de radiación (3603) reciben energía radiada desde un elemento de calentamiento.

17. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3 a 15, en el que la pluralidad de bloques de almacenamiento térmico se colocan dentro de un segundo recinto que tiene una superficie exterior, en el que el segundo recinto se coloca dentro de un primer recinto que tiene una superficie interior, en el que el sistema incluye un paso de fluido delimitado por la superficie exterior y la superficie interior y en comunicación con las trayectorias de fluido, en el que el sistema de movimiento de fluido está configurado para dirigir la corriente de fluido a través del paso de fluido y luego a través de las trayectorias de fluido.

18. El método de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, 7 a 9, 12, o 16, en el que la pluralidad de bloques de almacenamiento térmico se colocan dentro de un segundo recinto que tiene una superficie exterior, en el que el segundo recinto se coloca dentro de un primer recinto que tiene una superficie interior, en el que la TSU incluye un paso de fluido

delimitado por la superficie exterior y la superficie interior y en comunicación con las trayectorias de fluido, en el que dirigir el fluido comprende dirigir la corriente de fluido a través del paso de fluido y luego a través de las trayectorias de fluido.

5

10

15

20

25

30

35

40

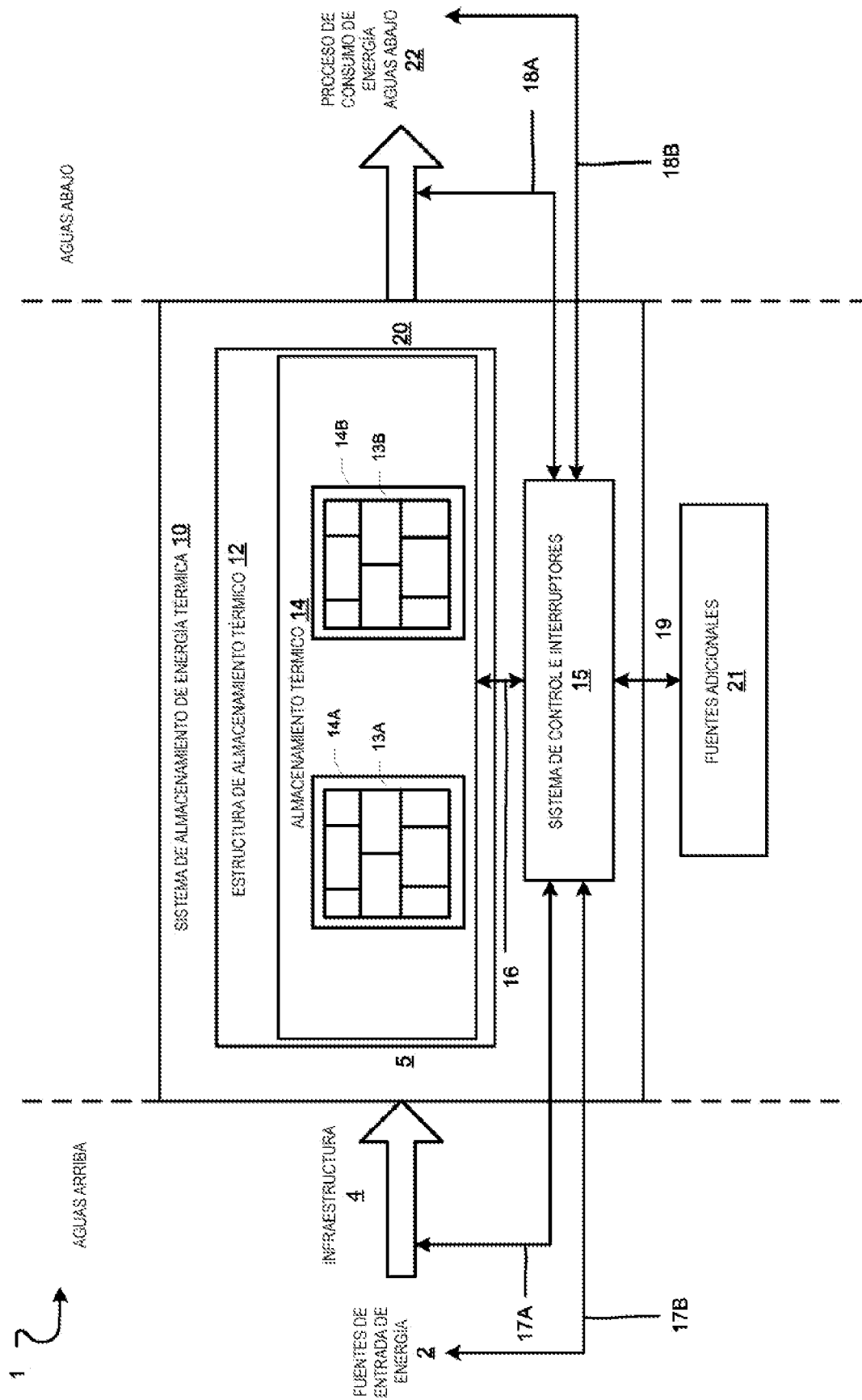
45

50

55

60

65



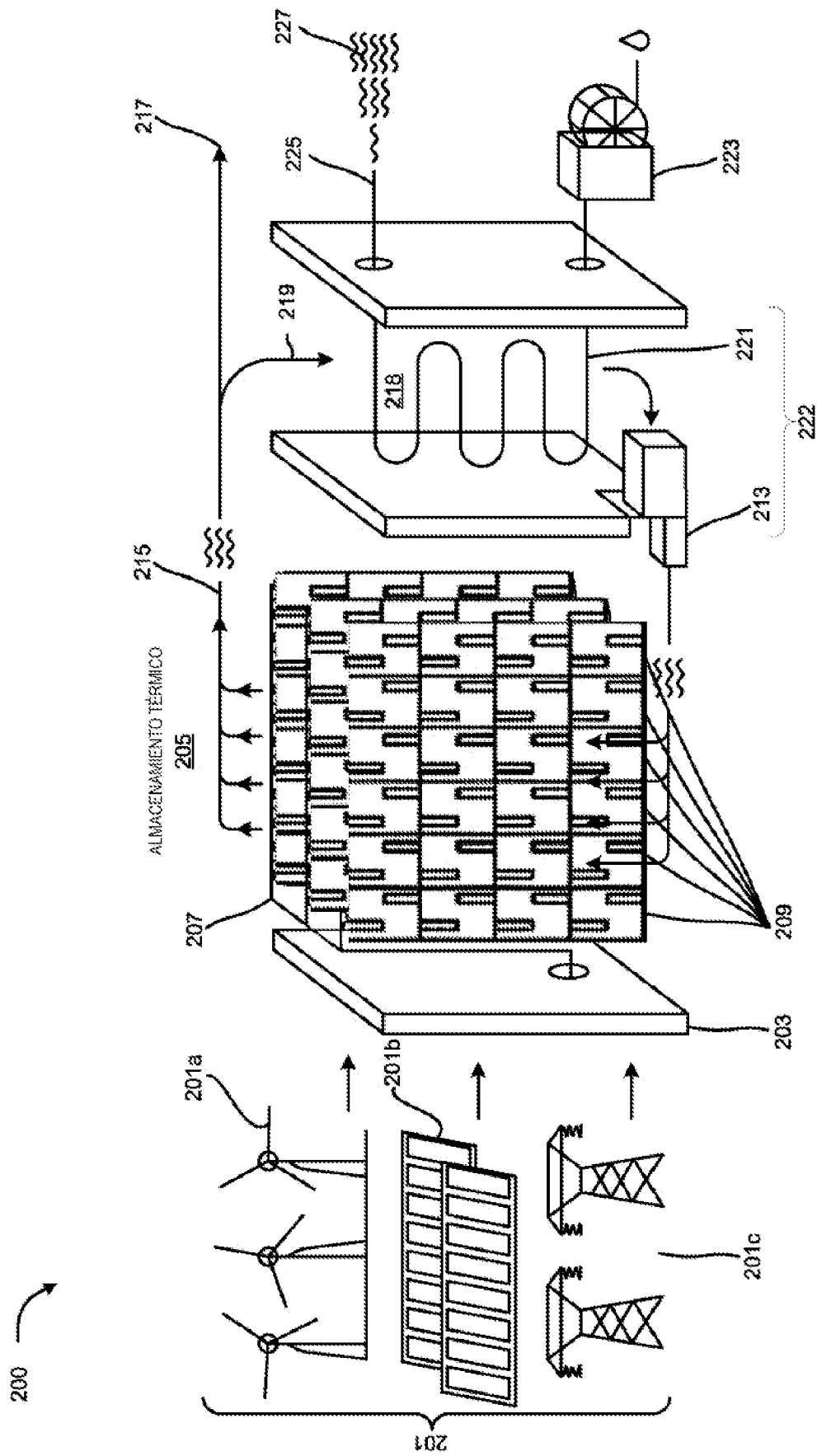


FIG. 2

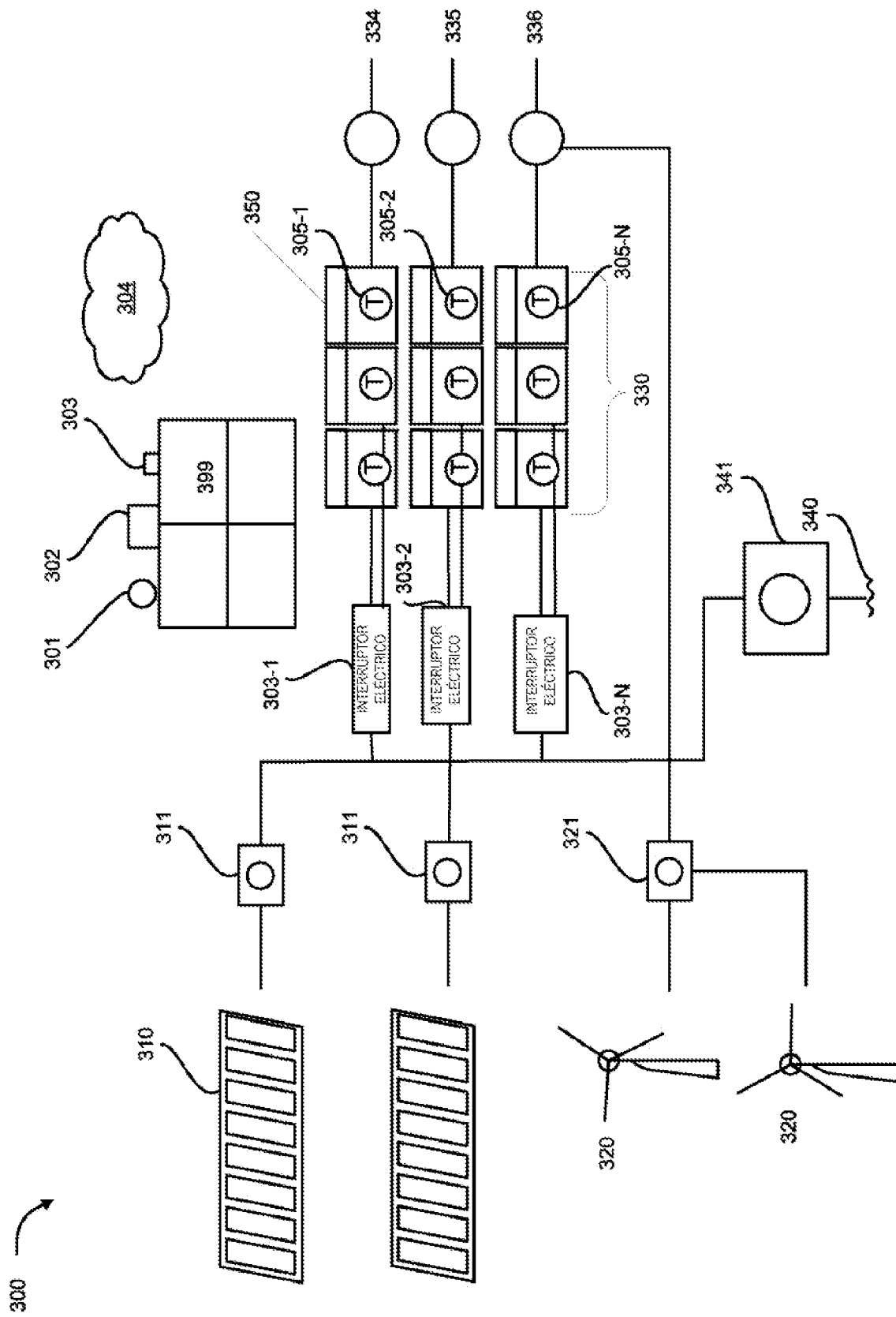


FIG. 3

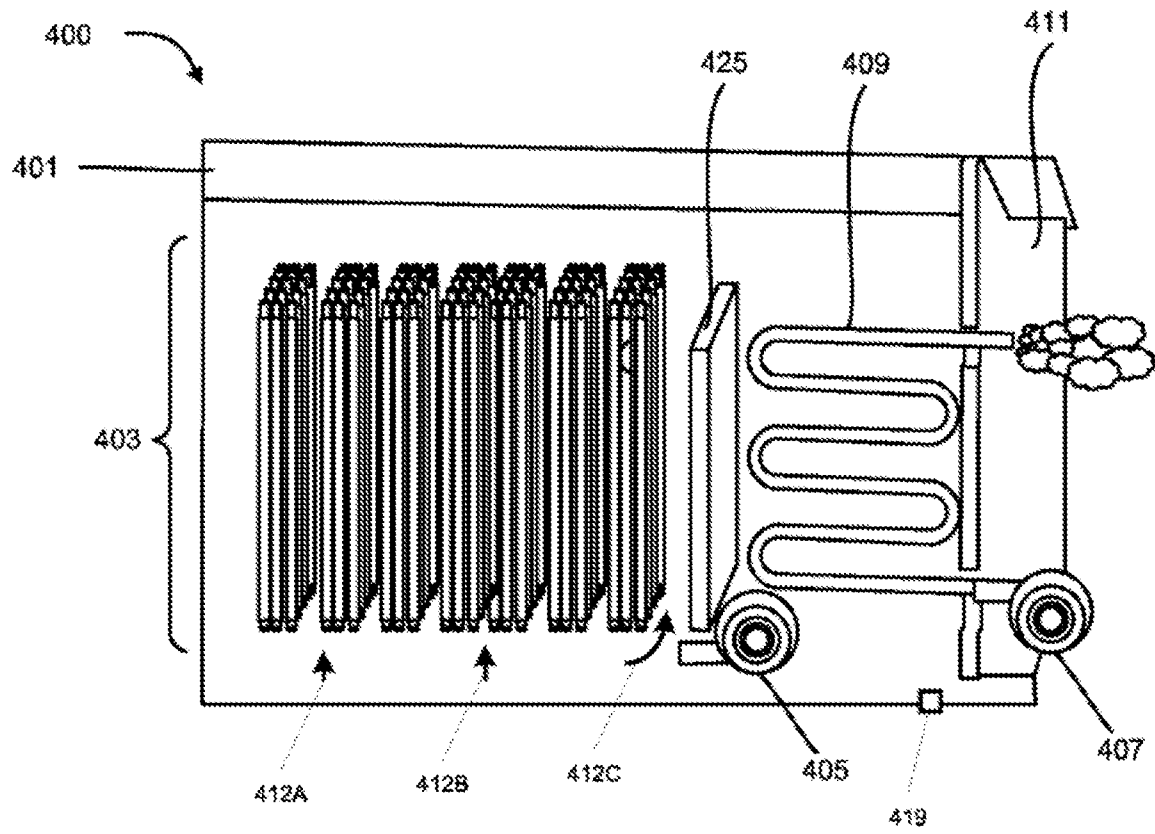


FIG. 4

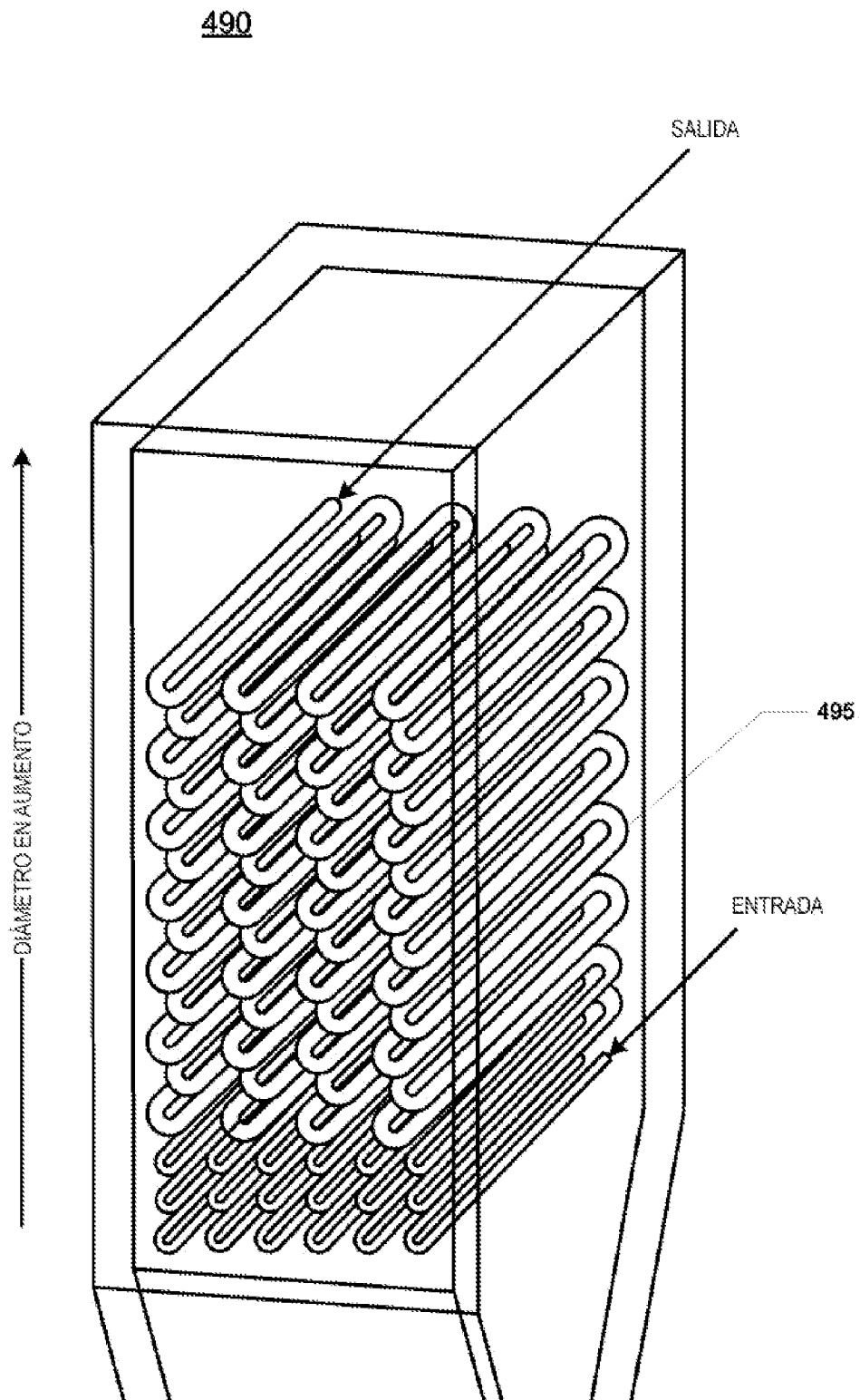


FIG. 5

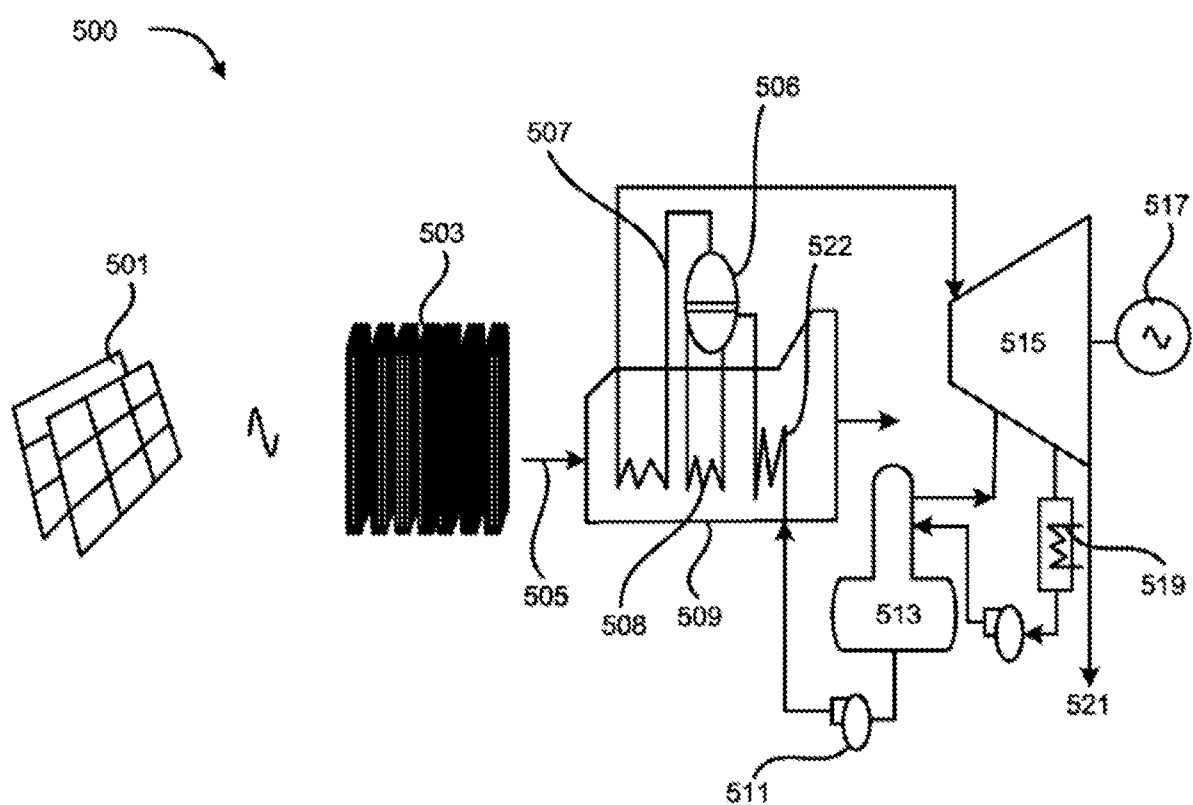


FIG. 6

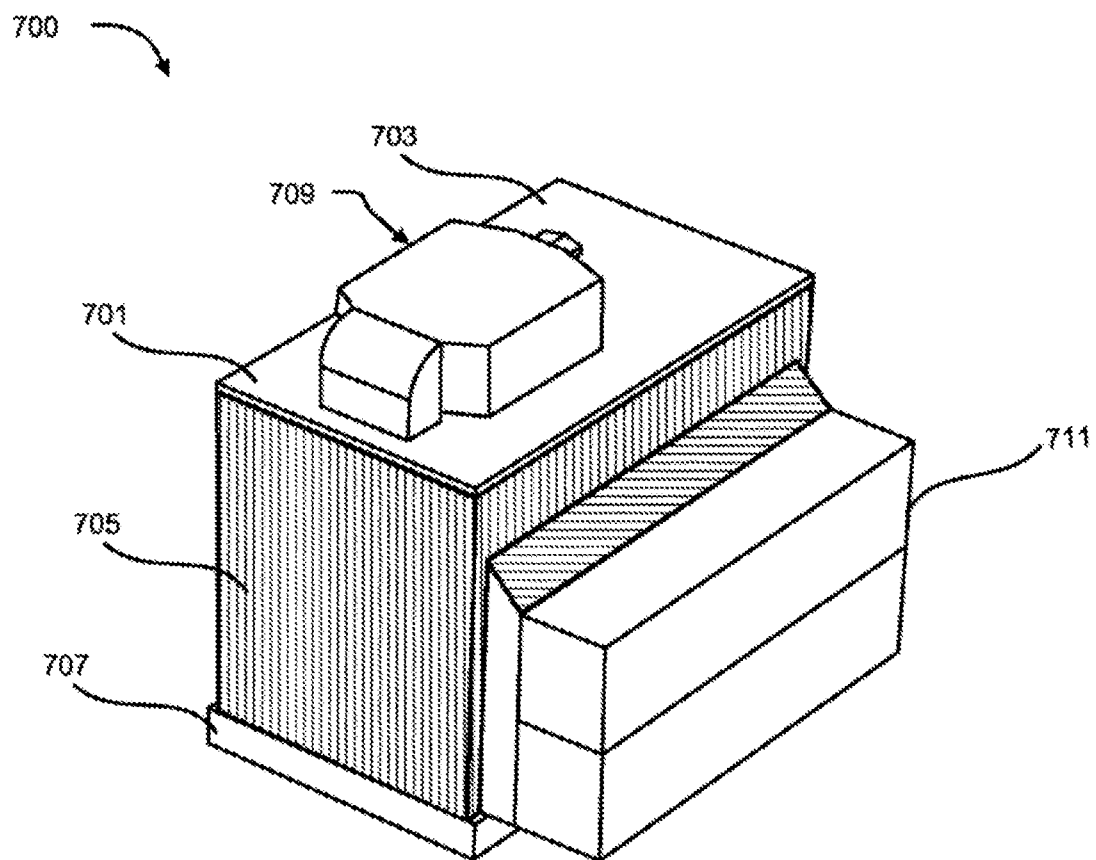
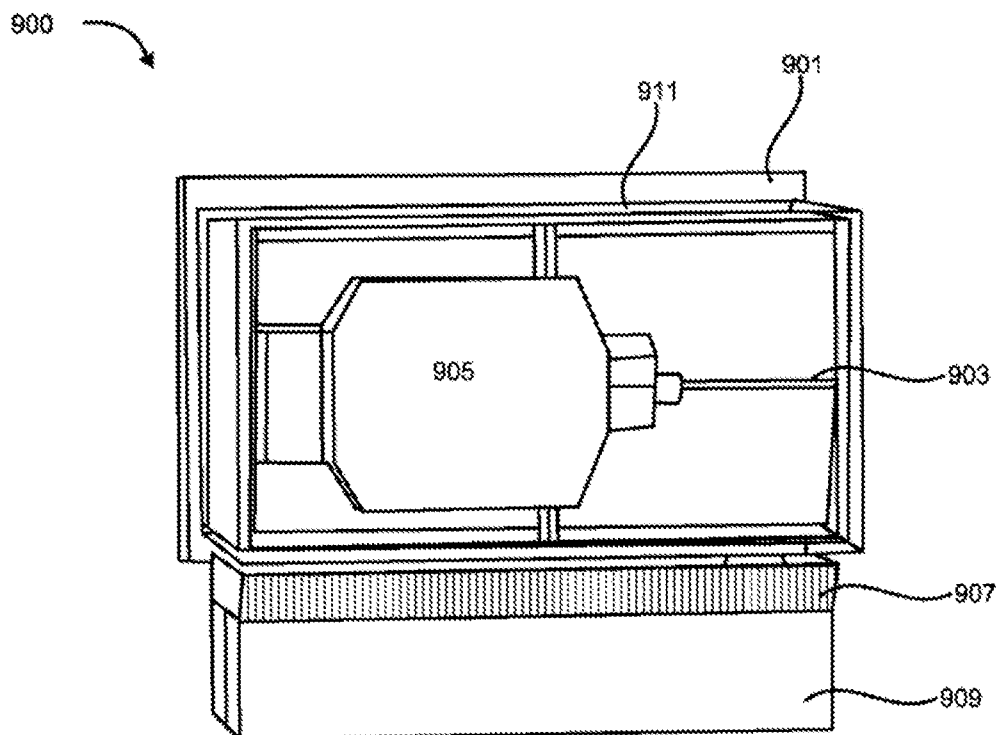
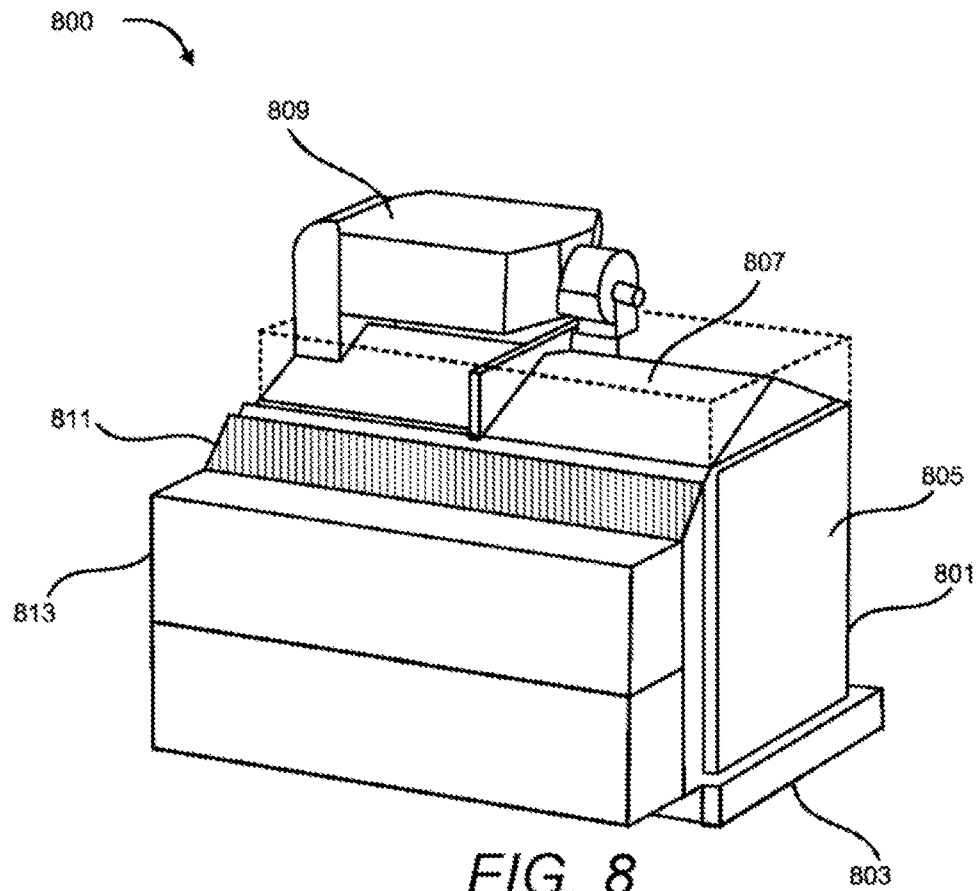


FIG. 7



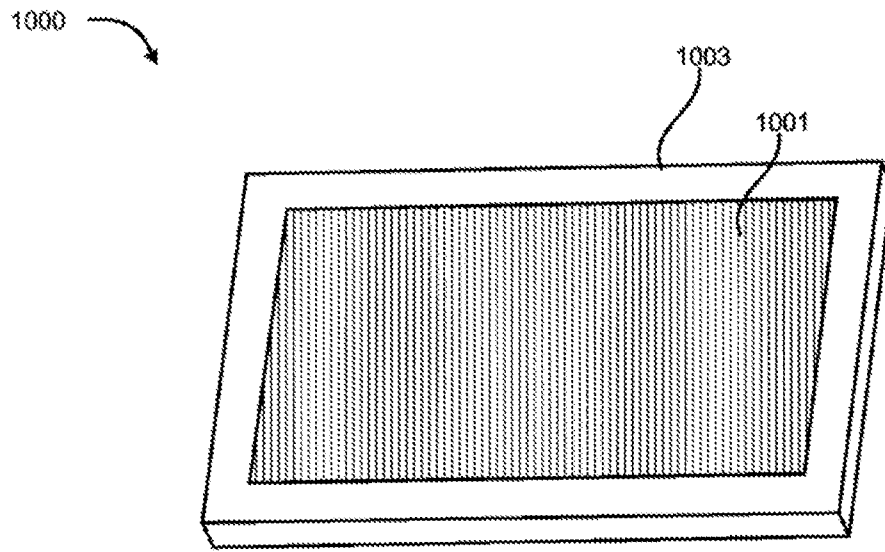


FIG. 10

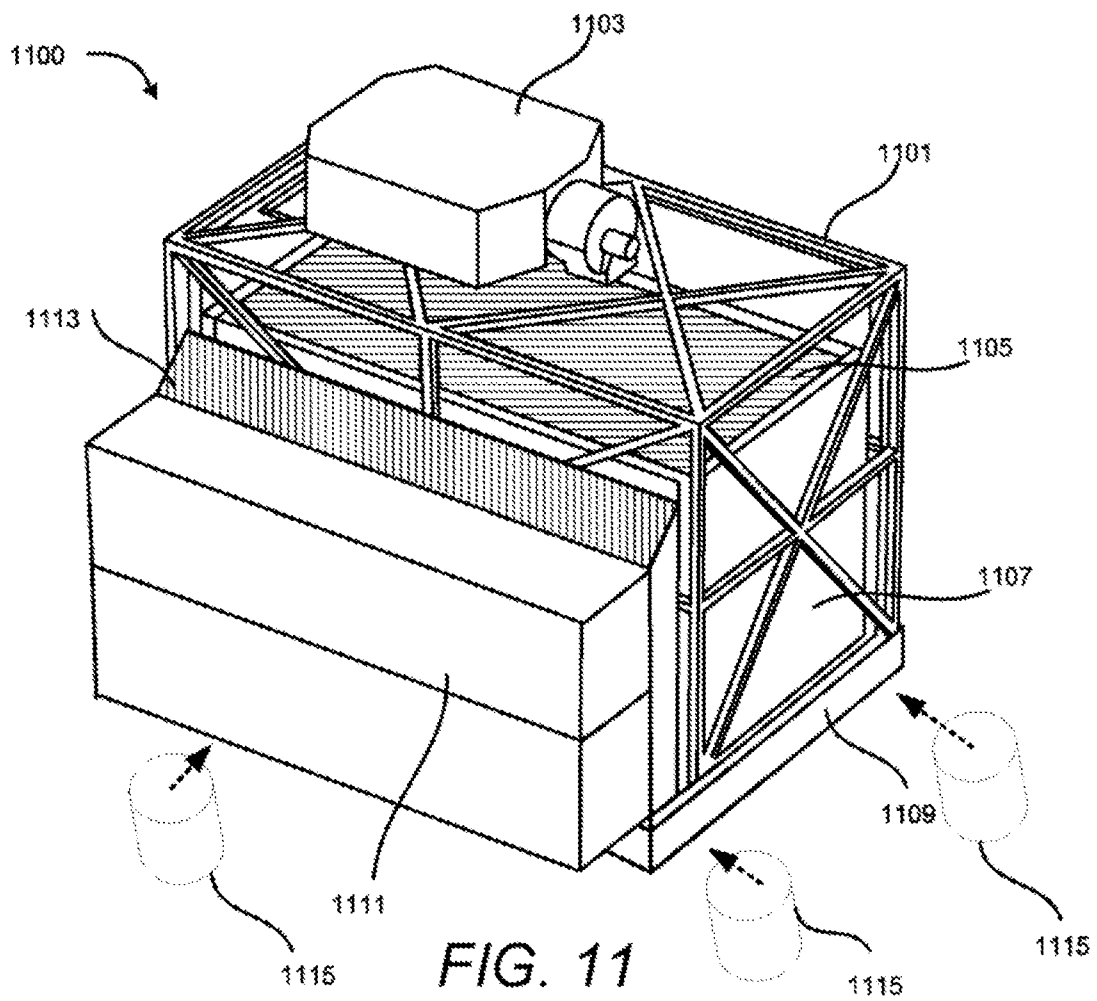


FIG. 11

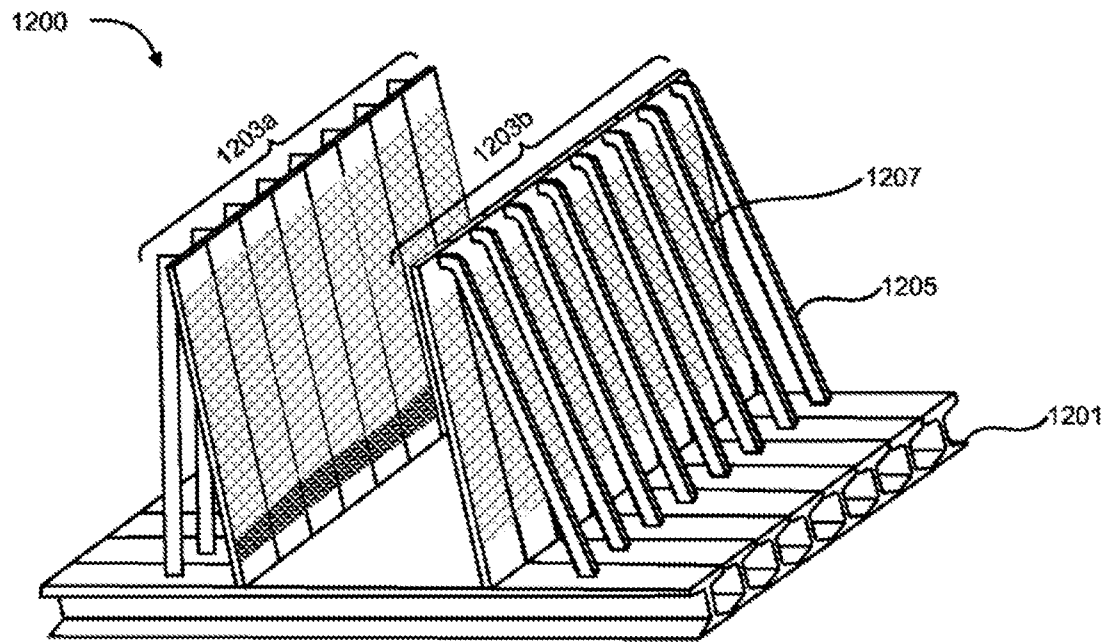


FIG. 12

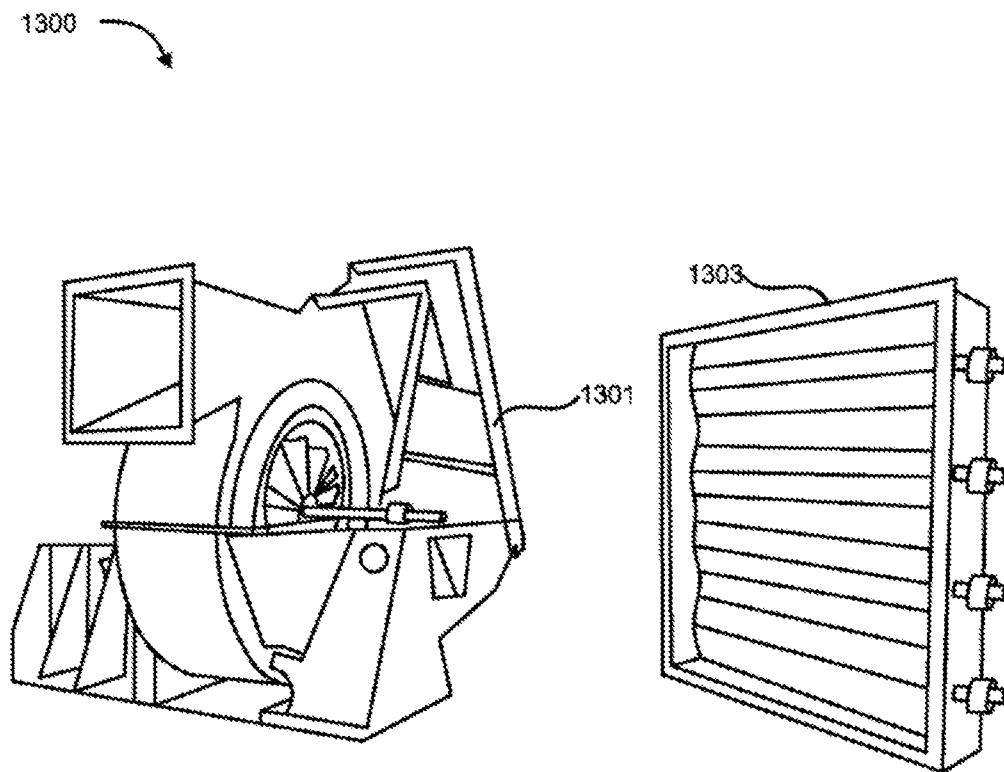


FIG. 13

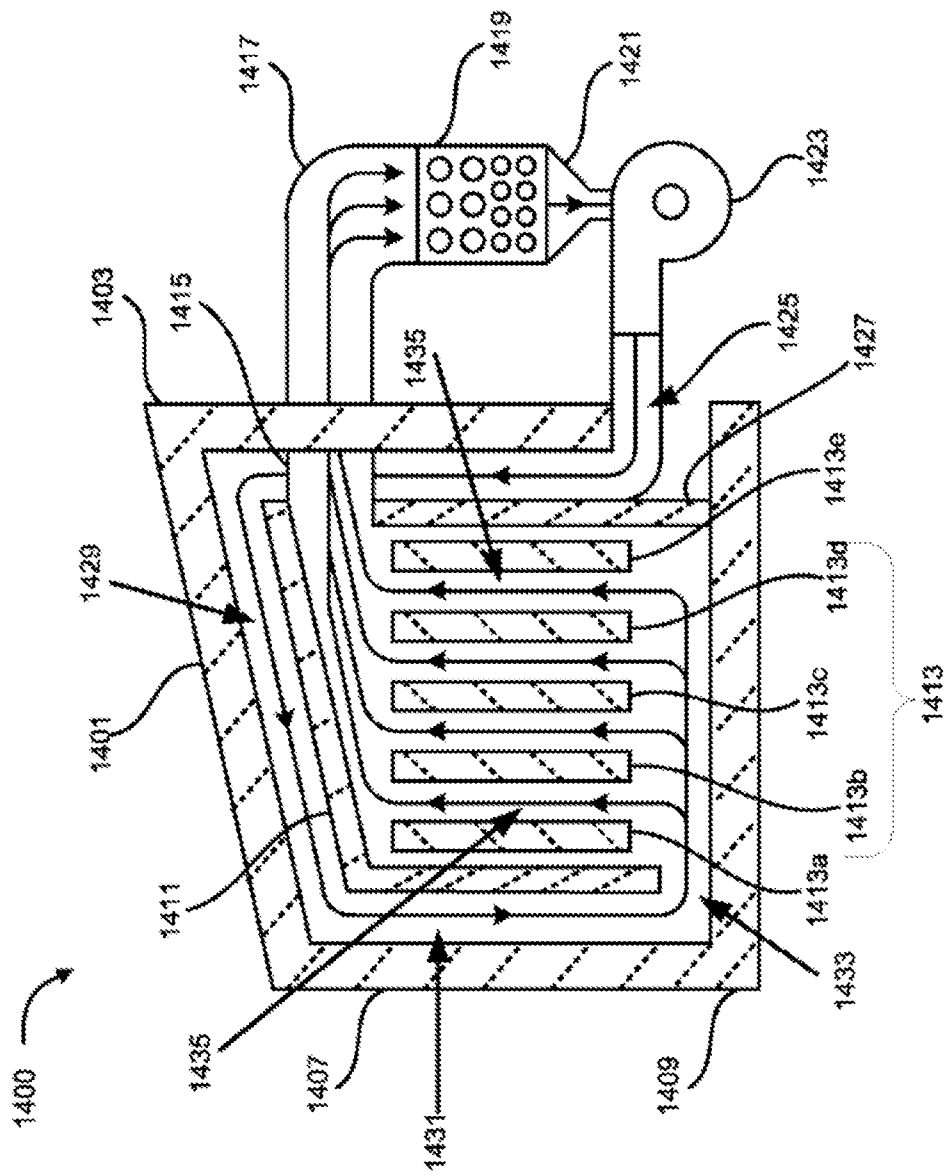


FIG. 14

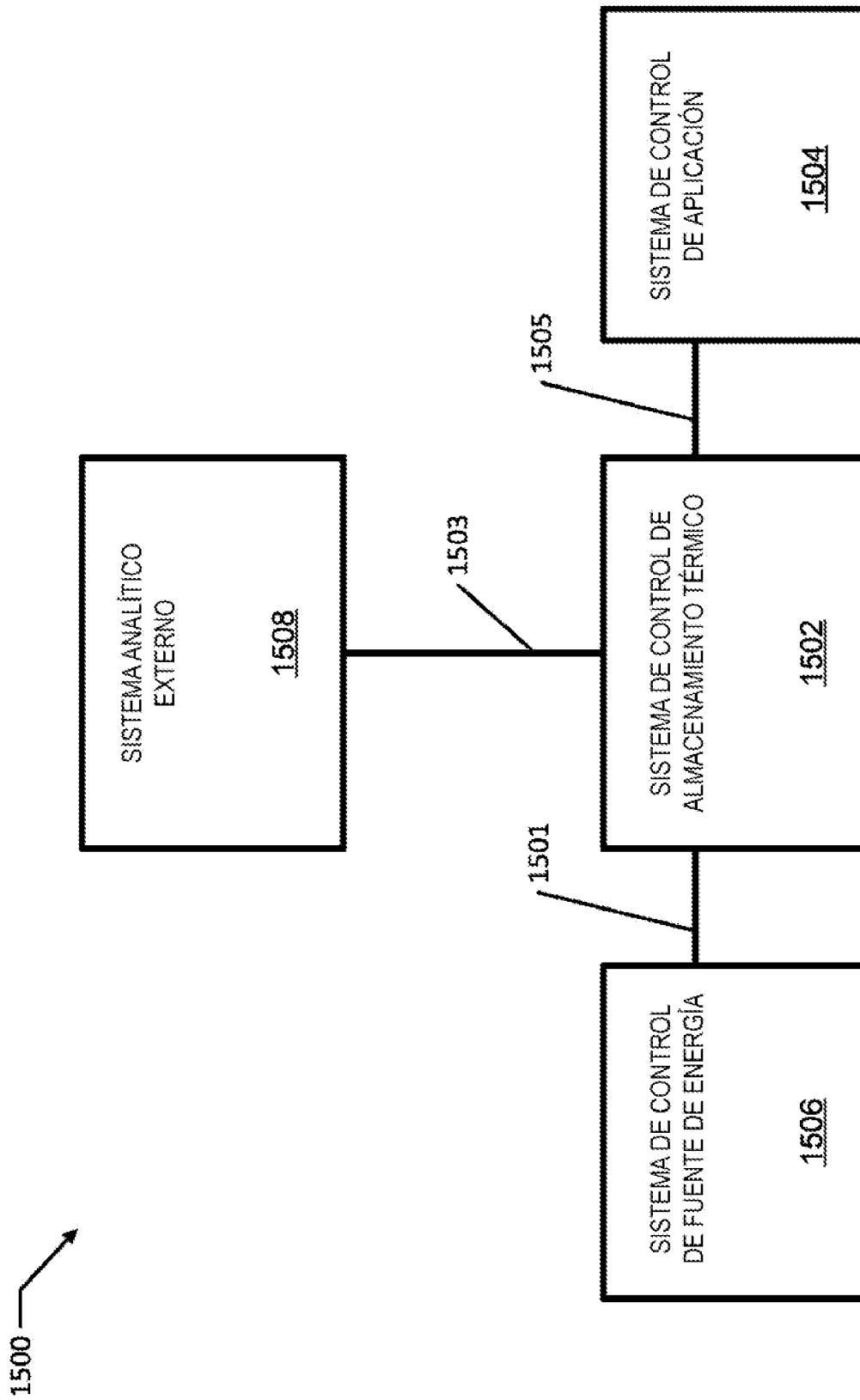


FIG. 15

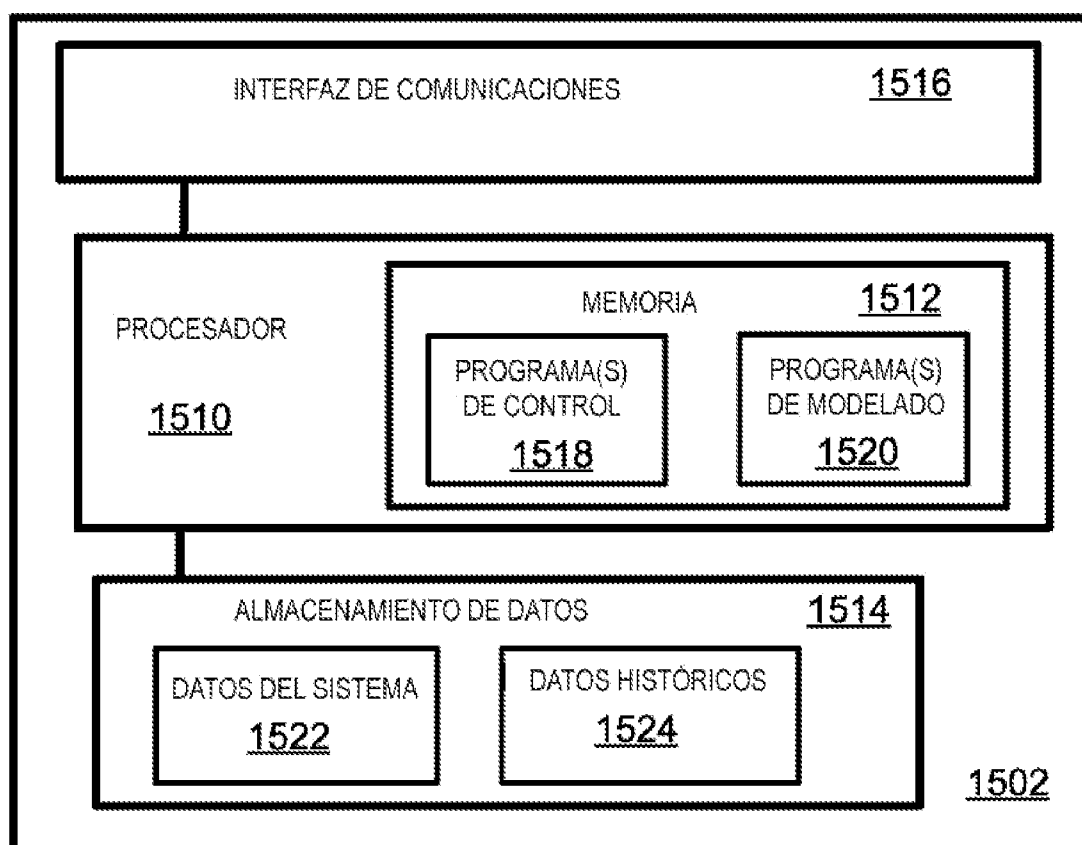


FIG. 16

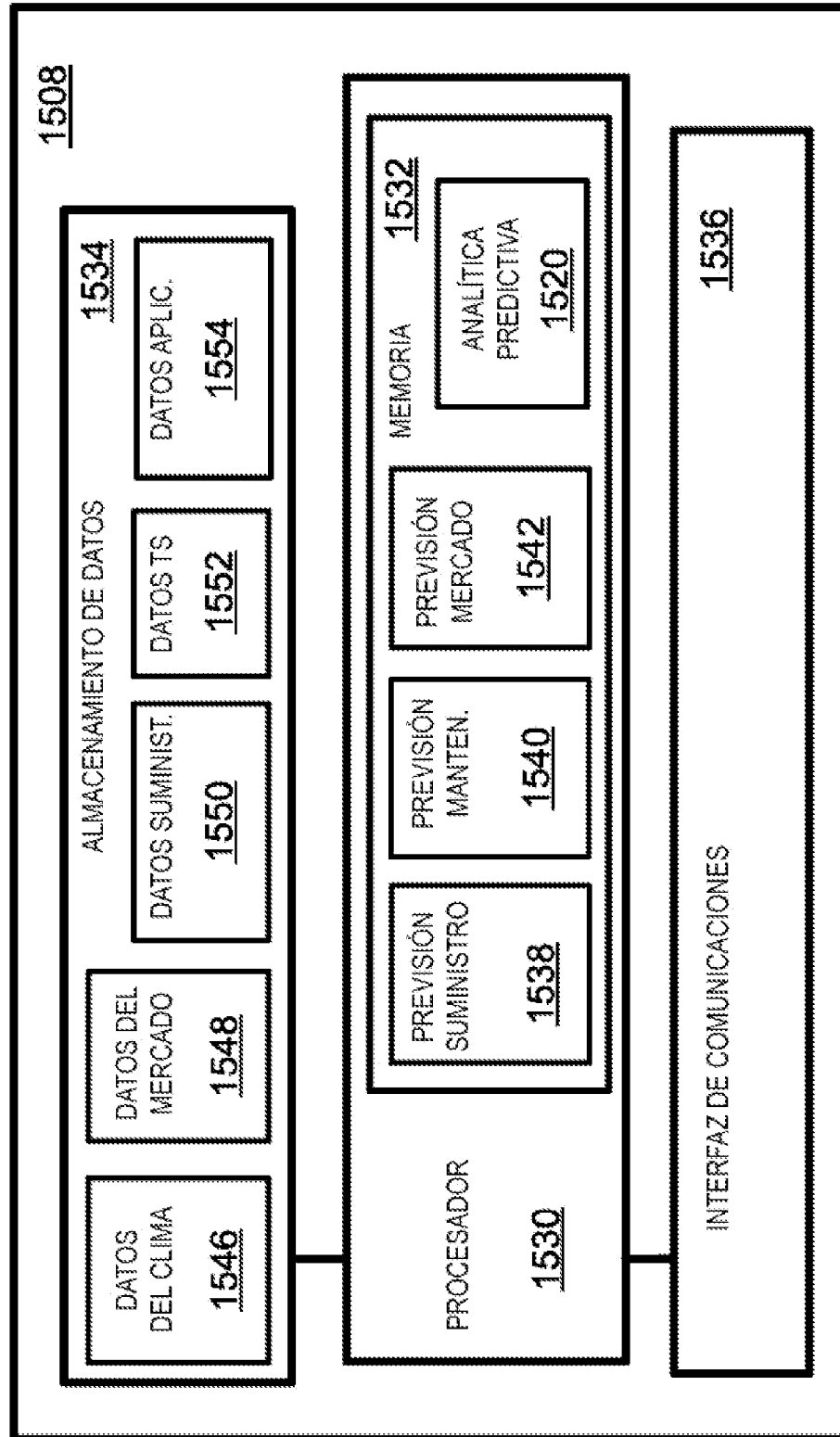


FIG. 17

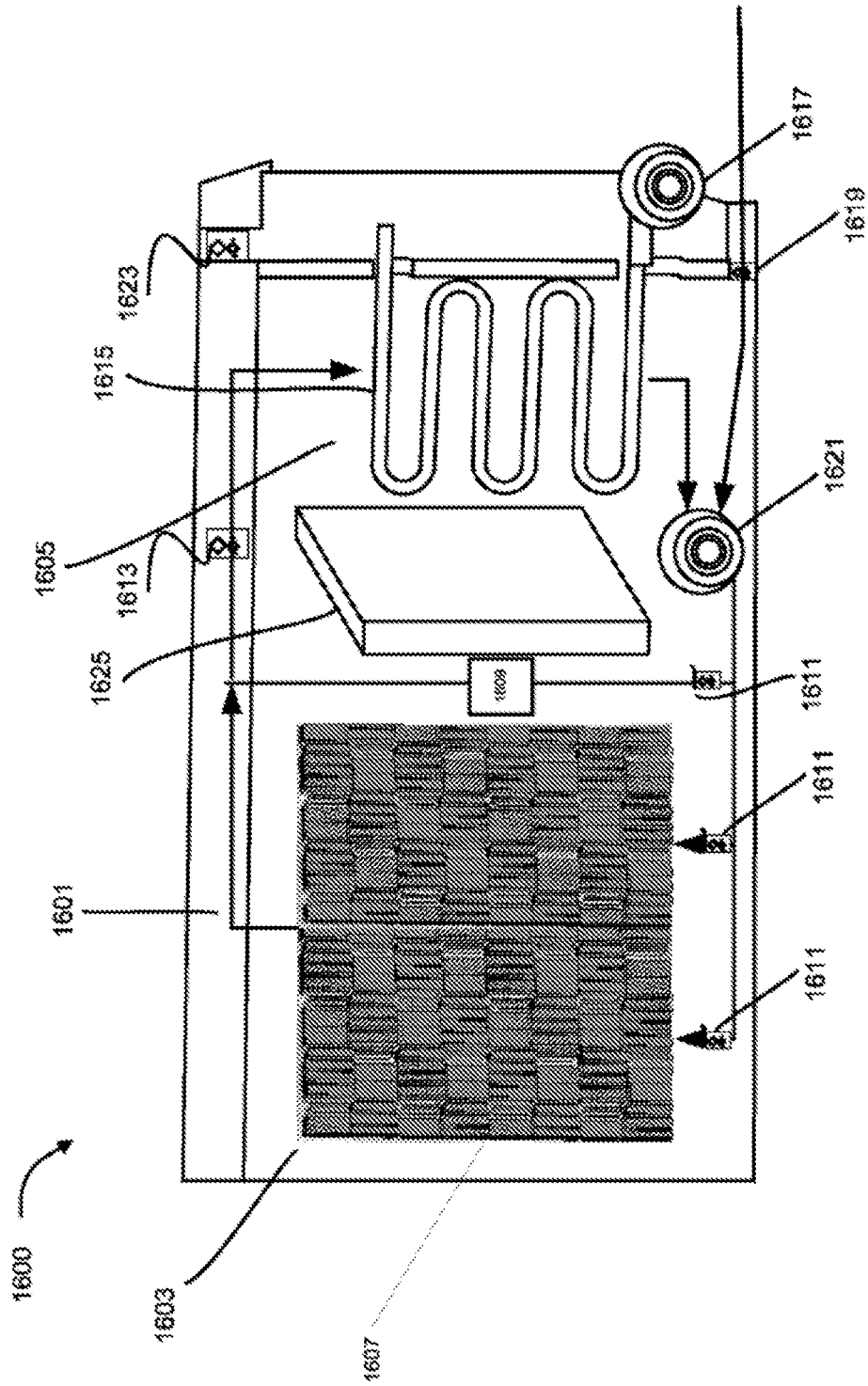


FIG. 18

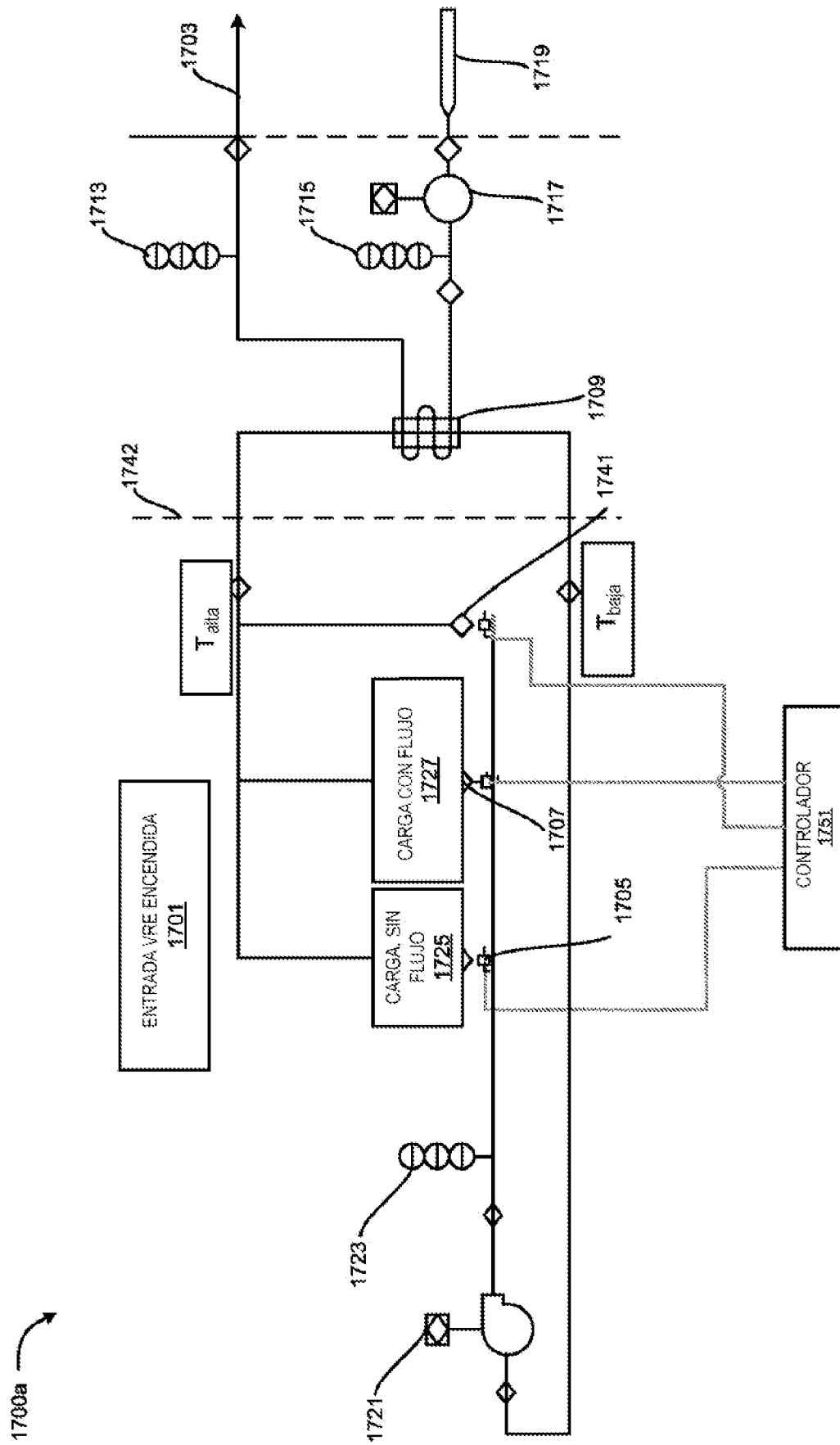


FIG. 19A

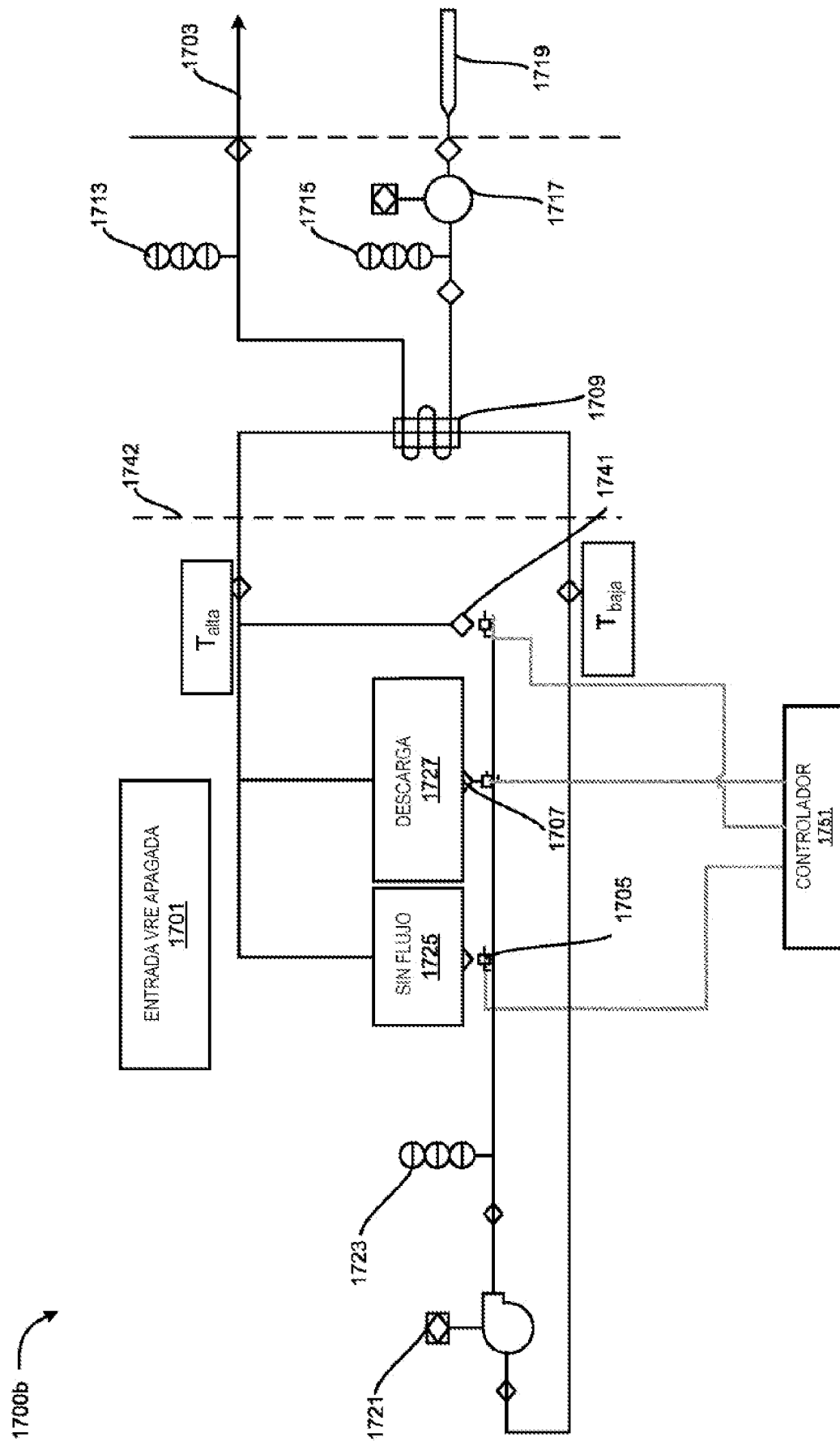


FIG. 19B

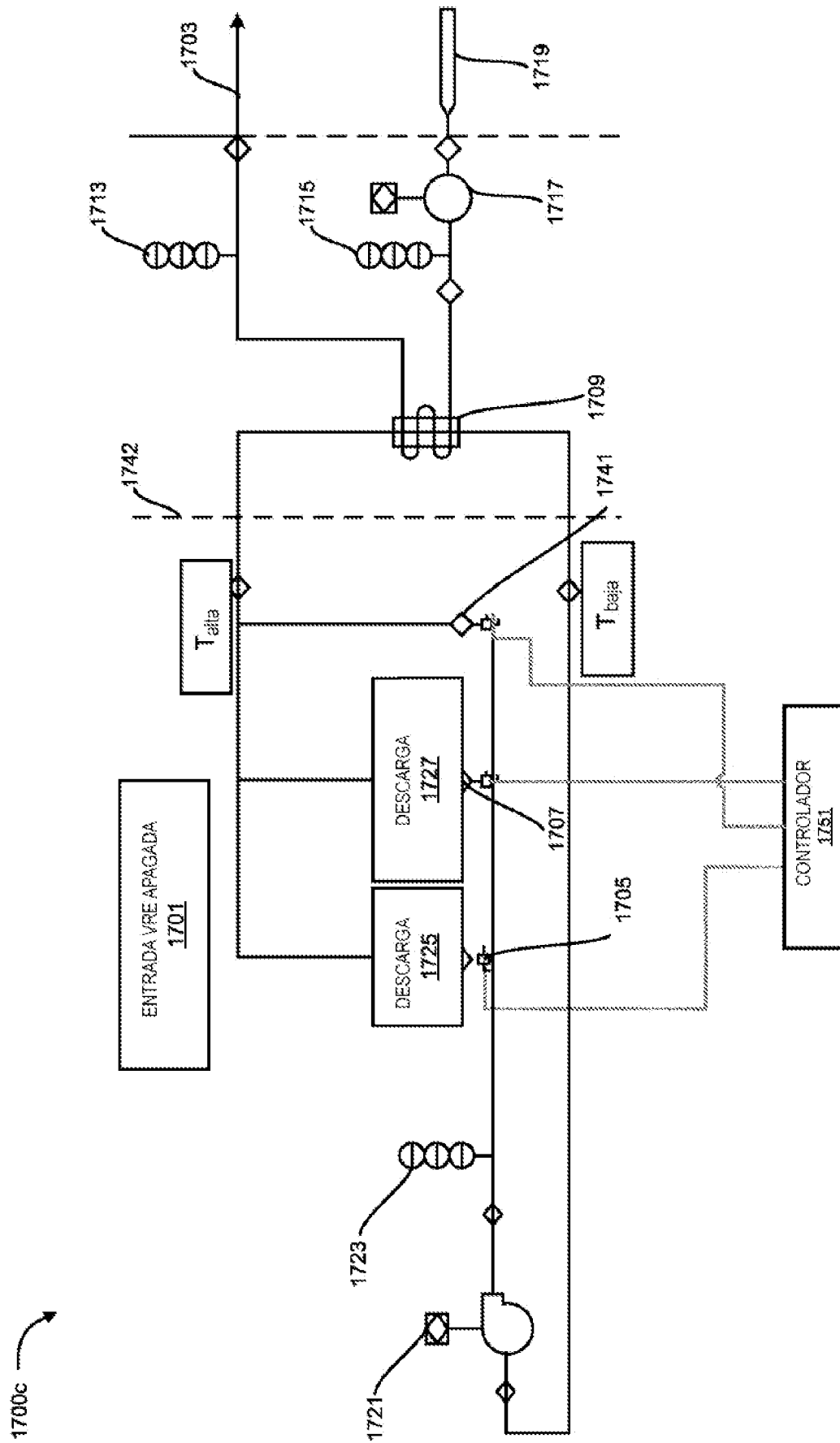


FIG. 19C

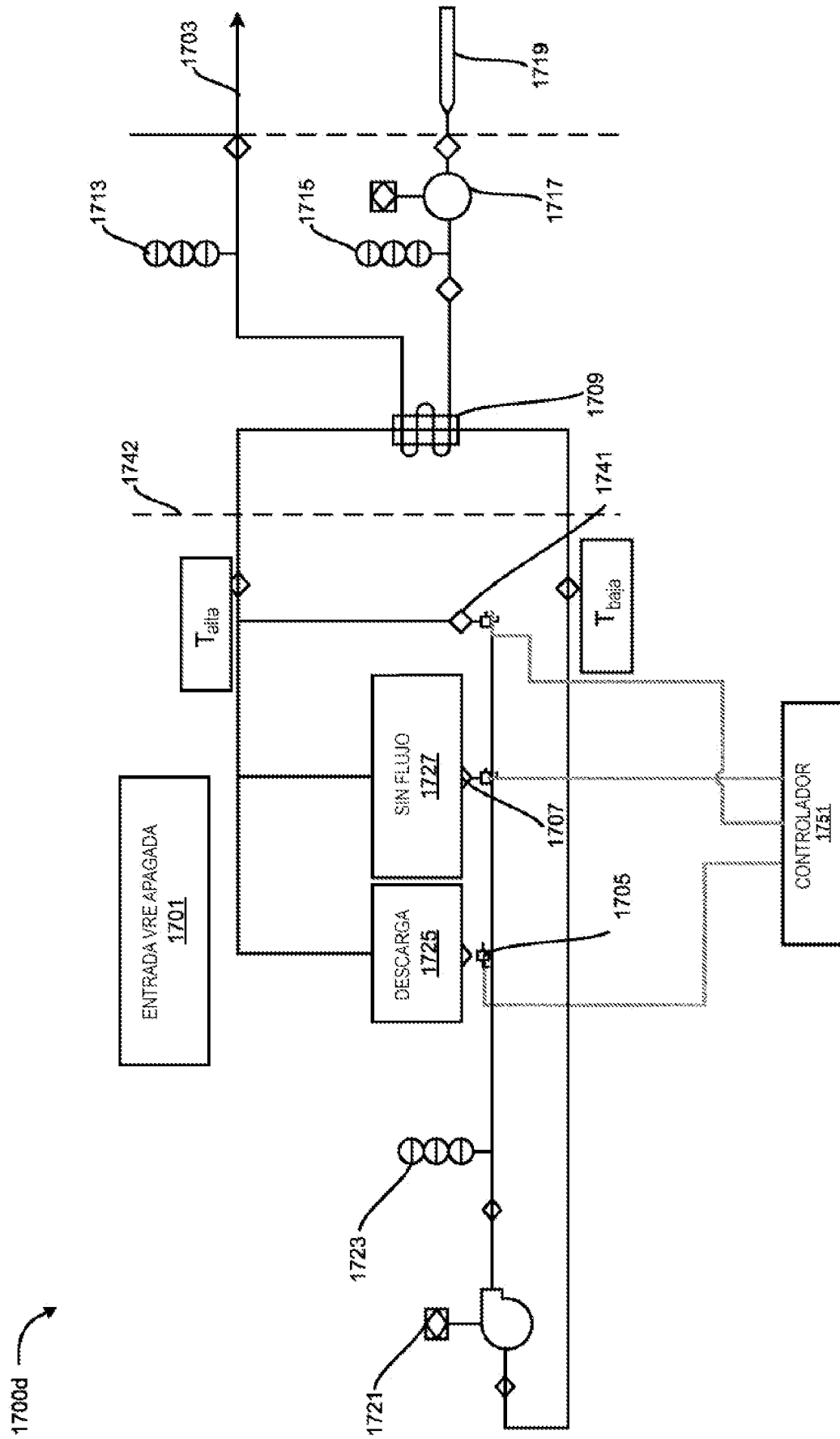


FIG. 19D

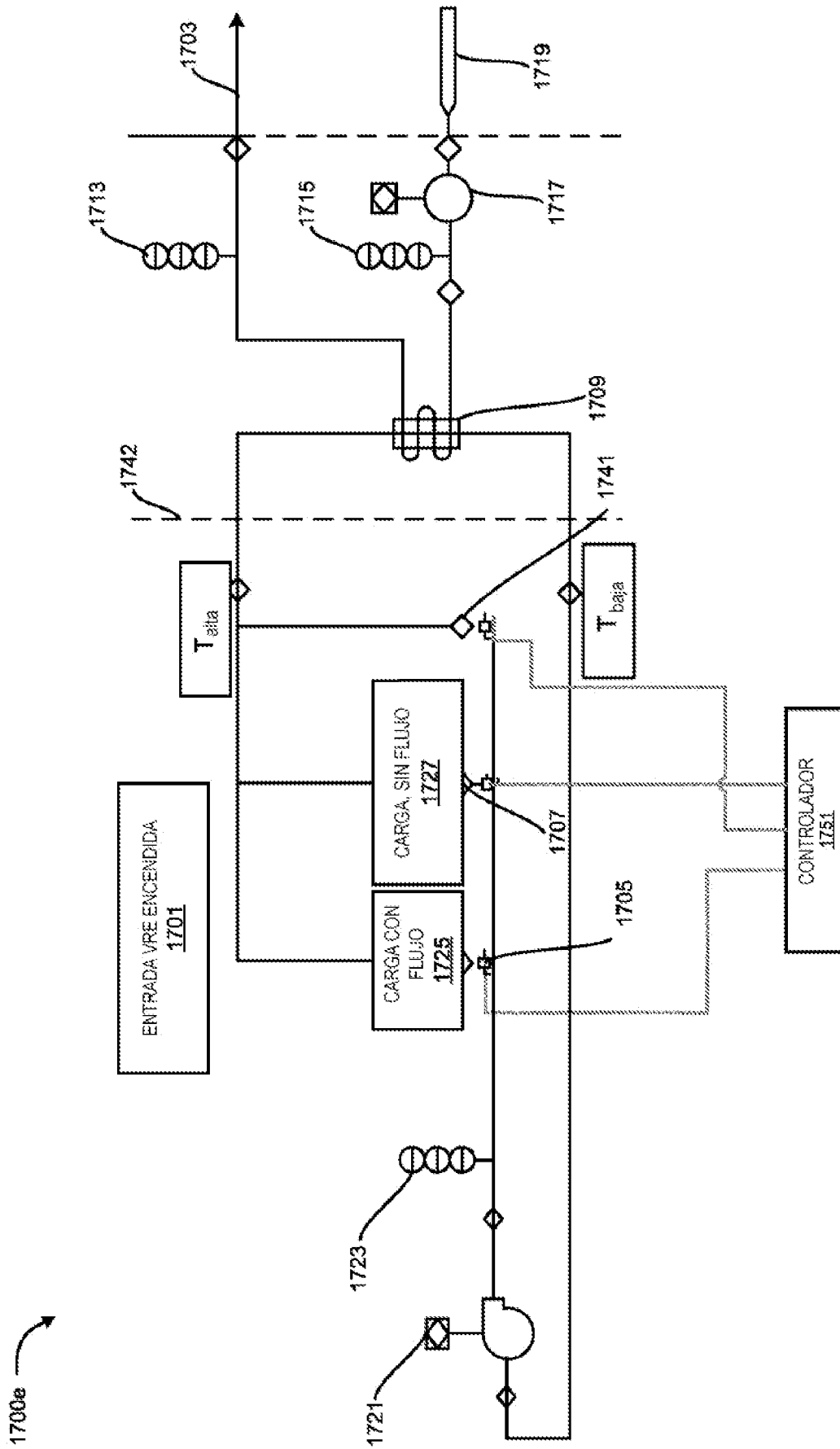


FIG. 20A

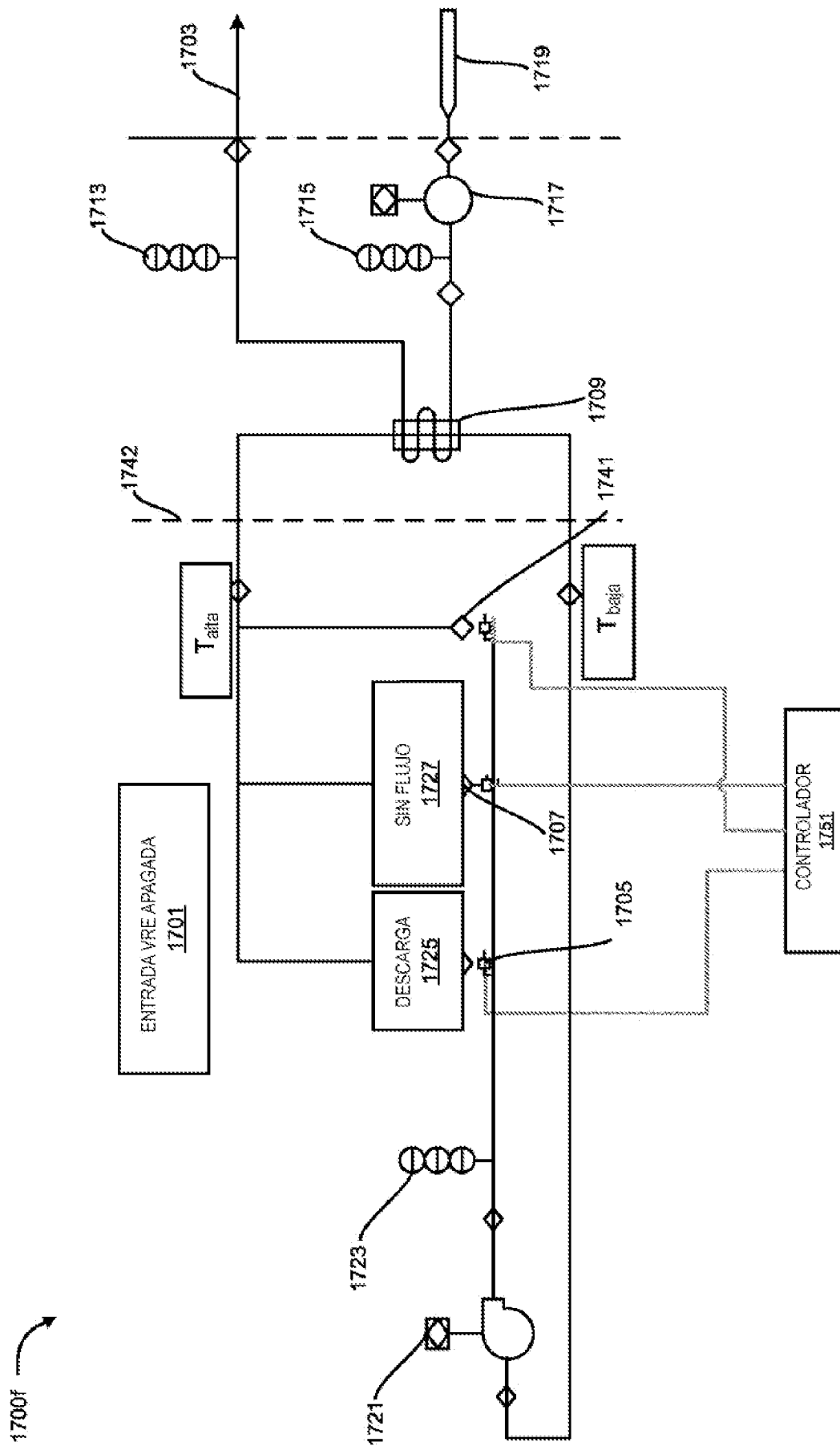


FIG. 20B

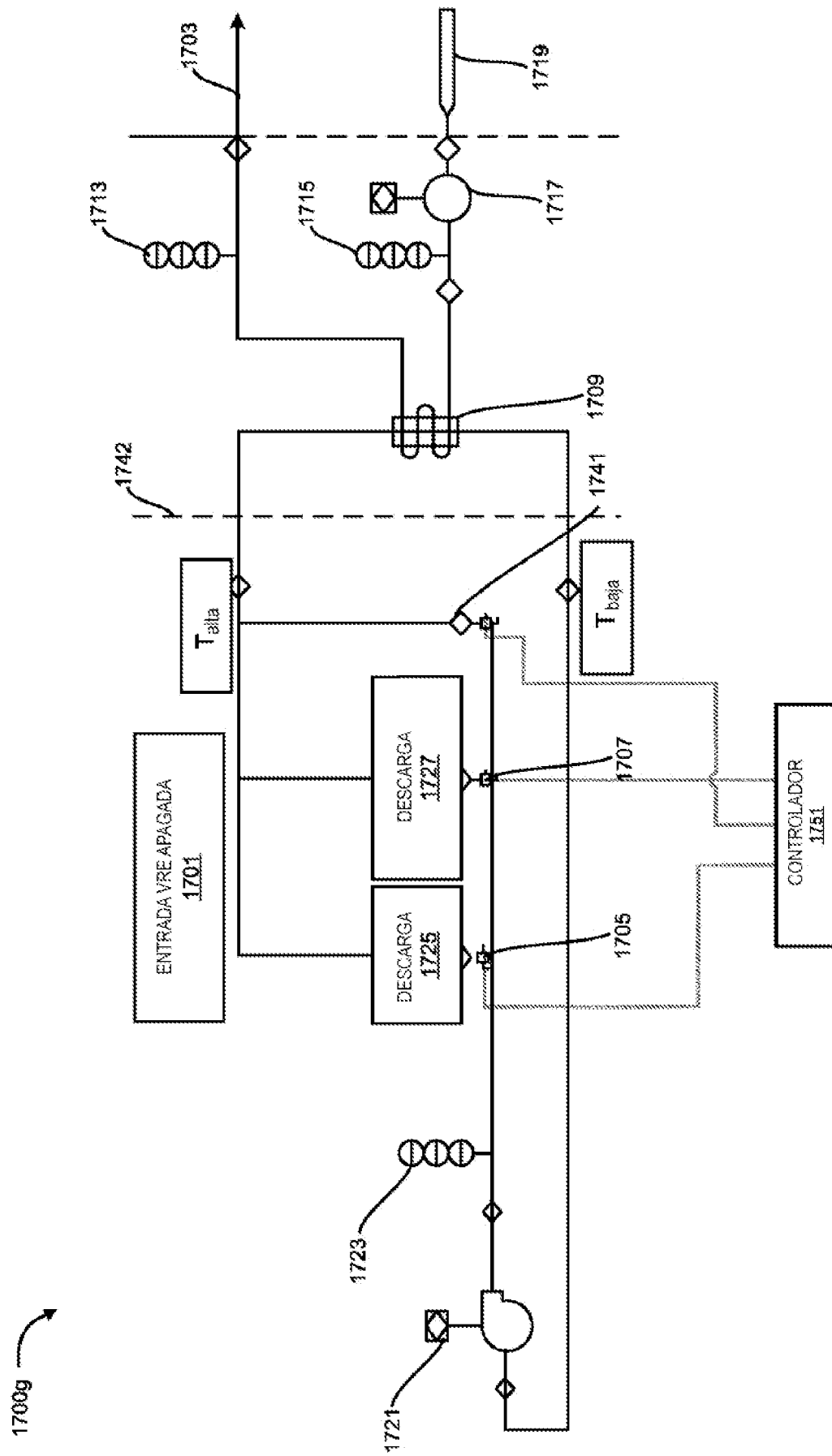


FIG. 20C

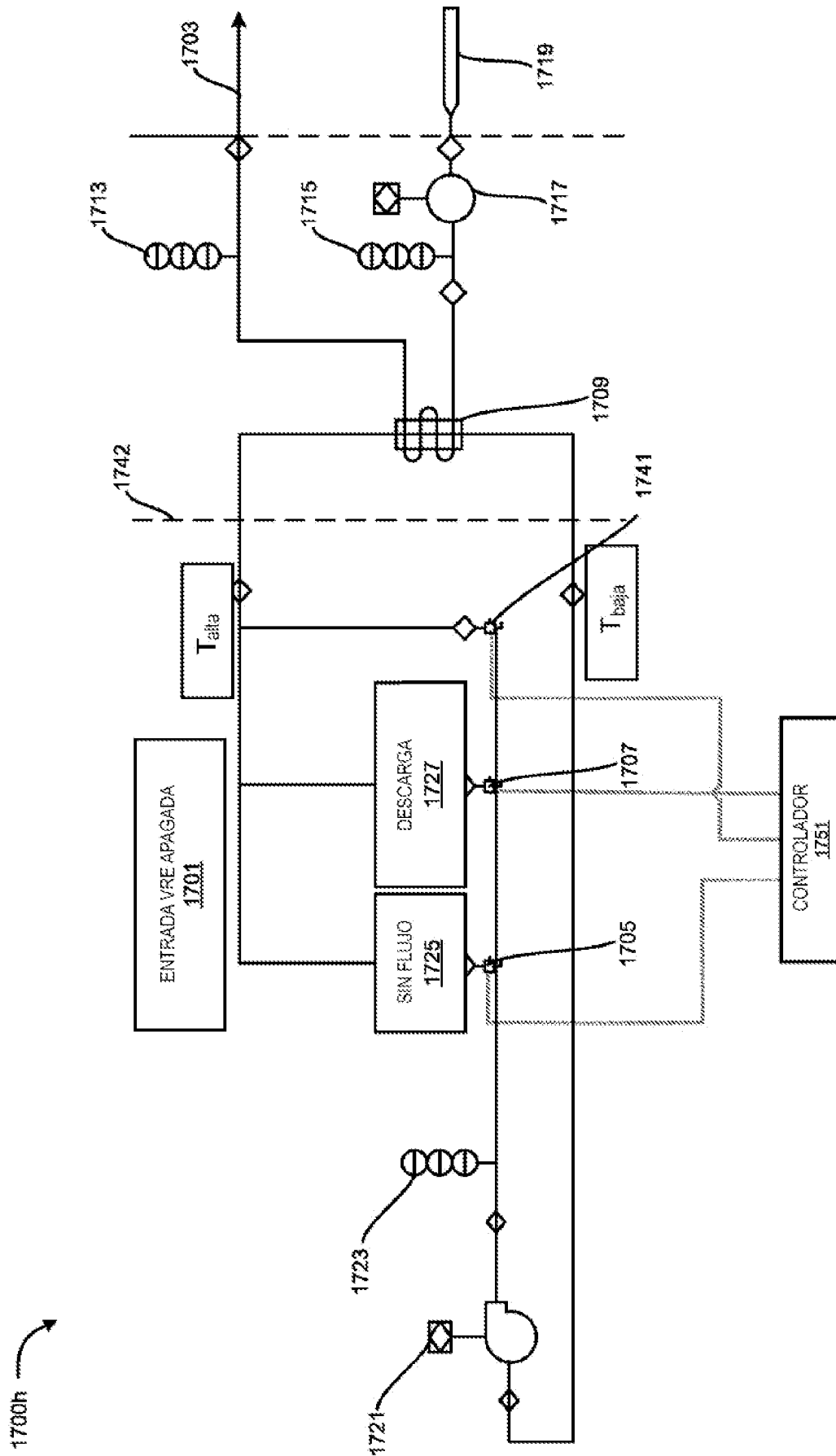


FIG. 21

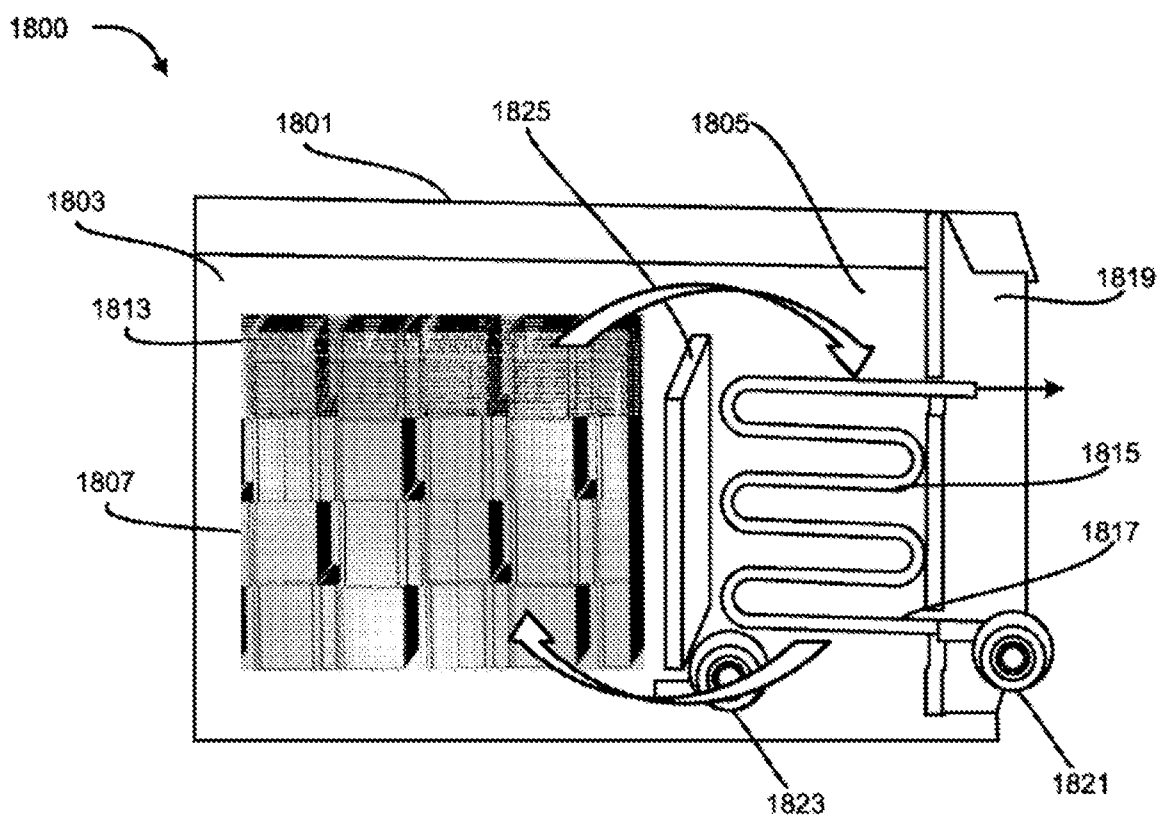


FIG. 22

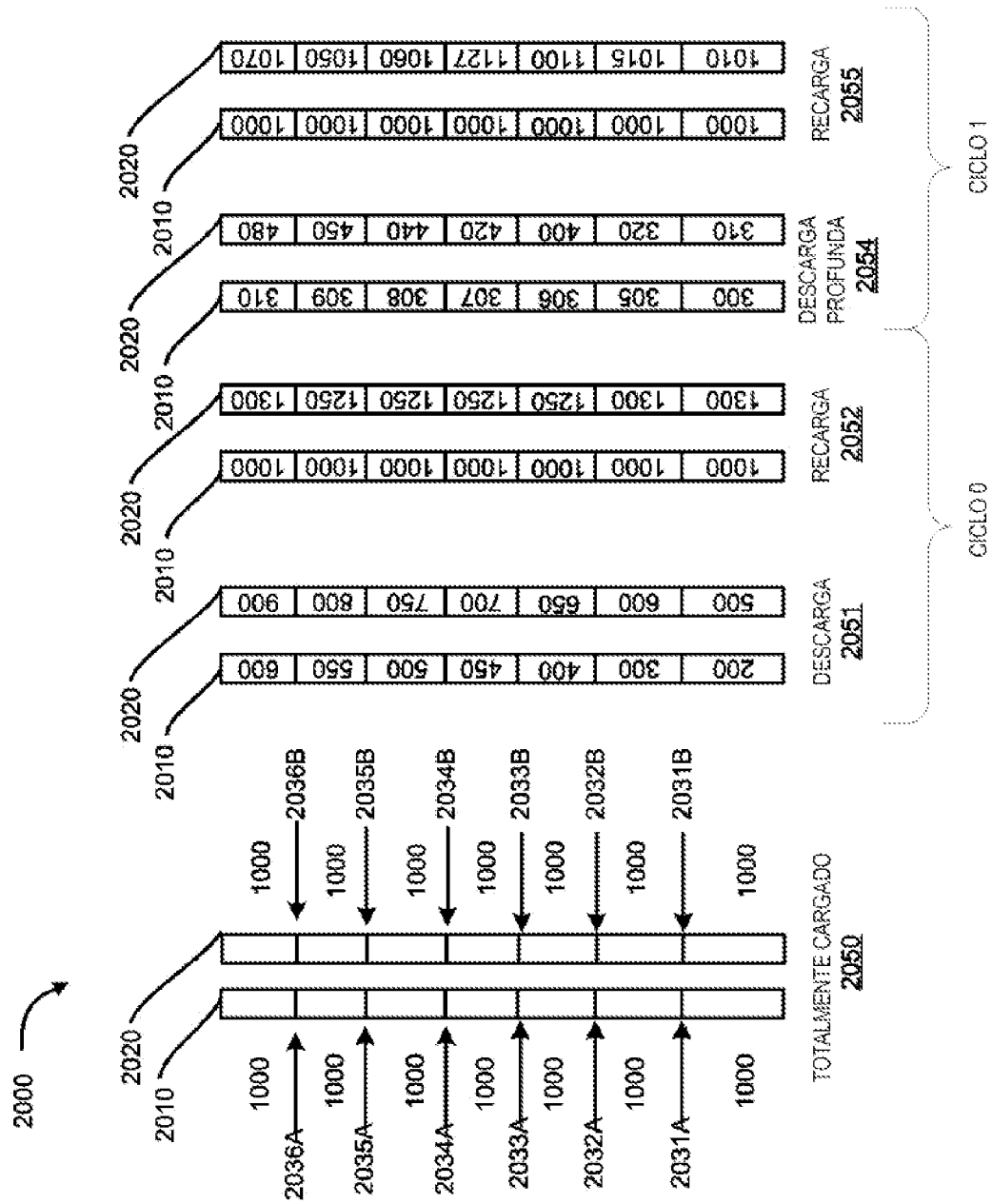


FIG. 23

24000

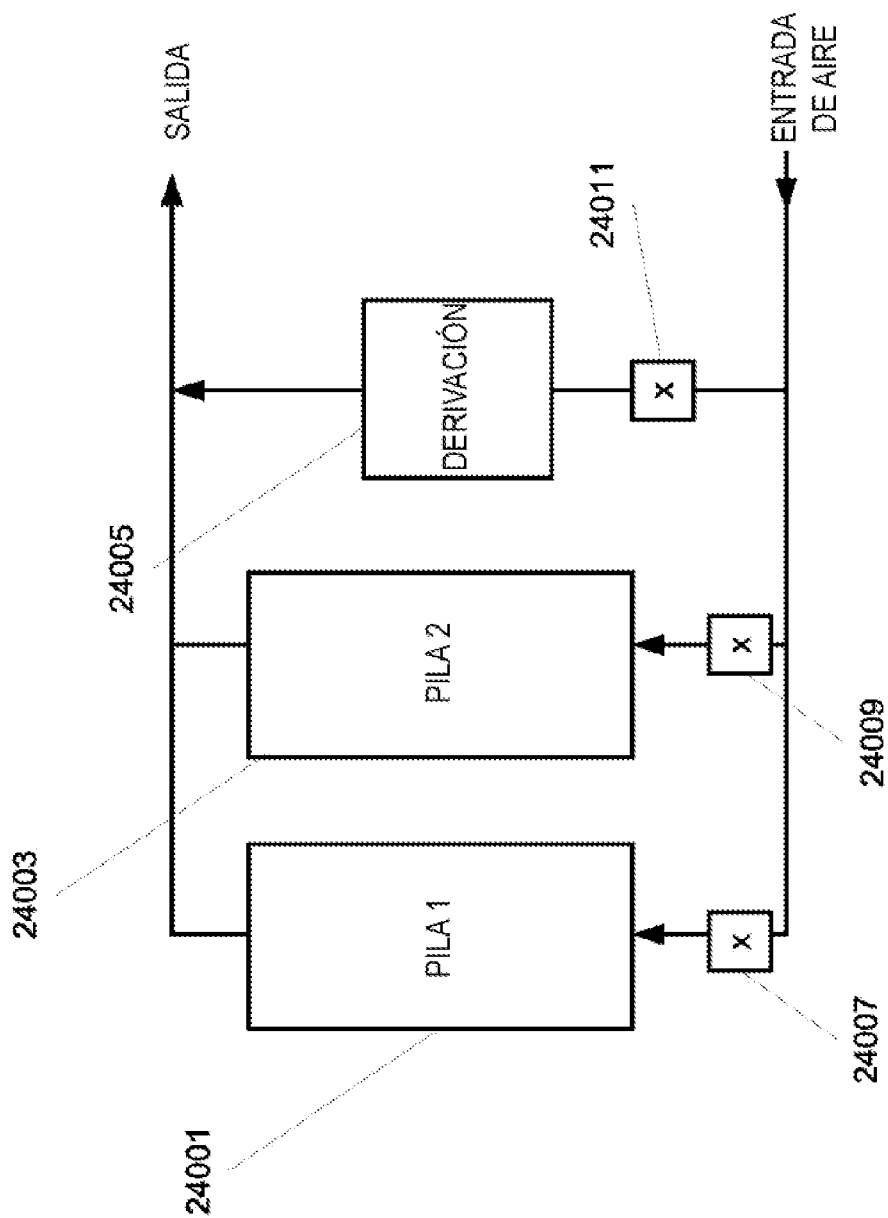


FIG. 24A

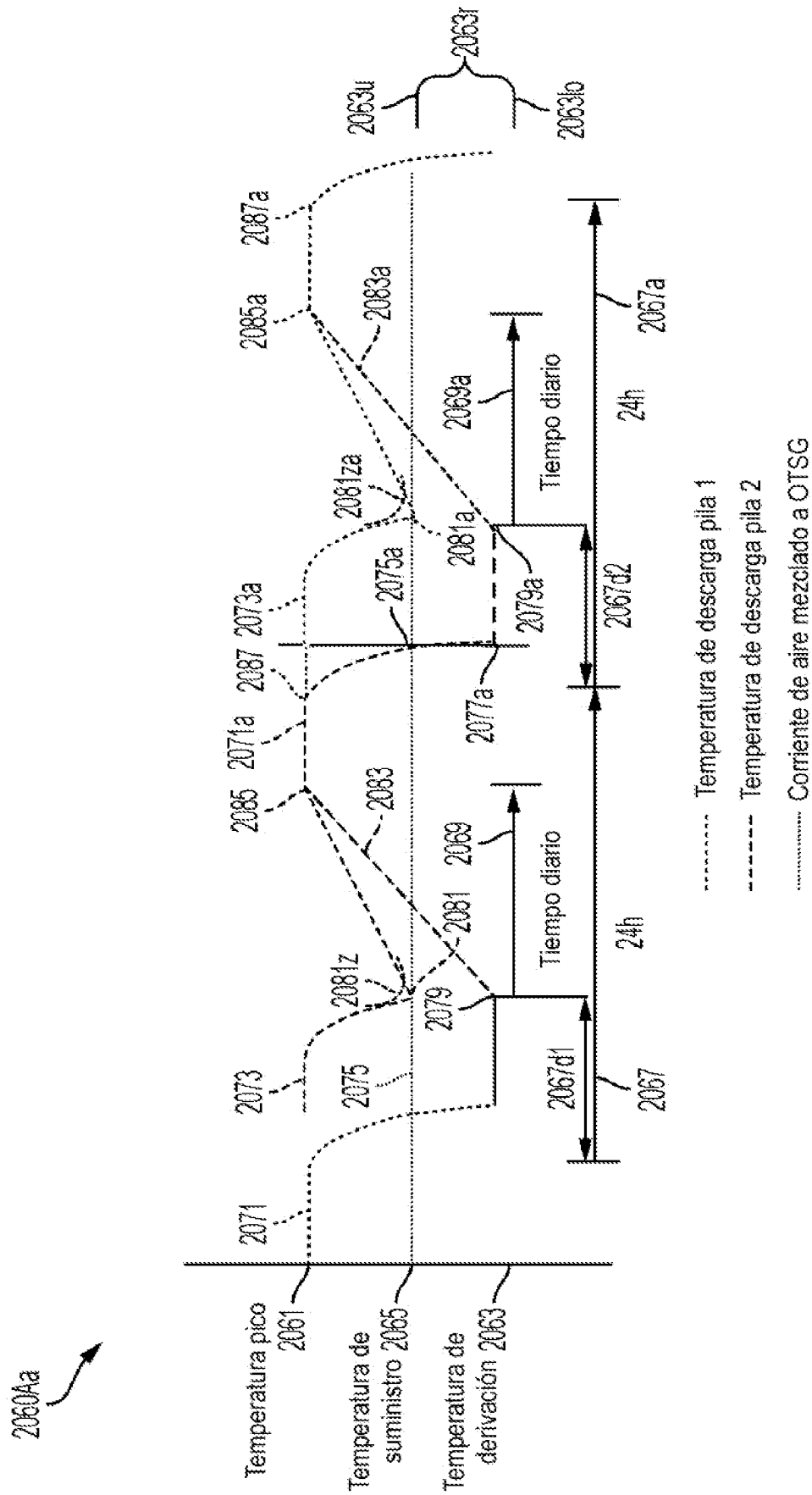


FIG. 24

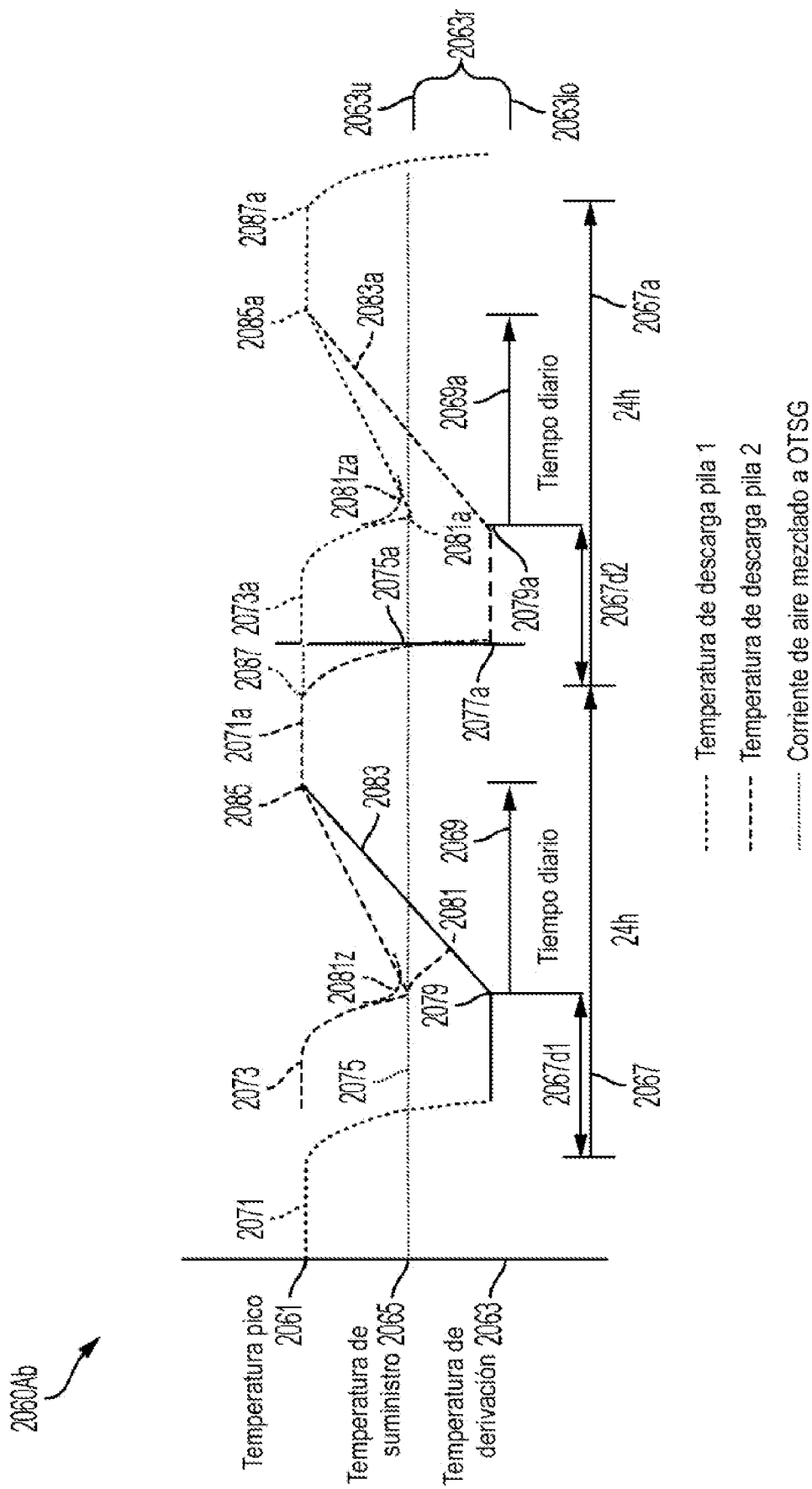
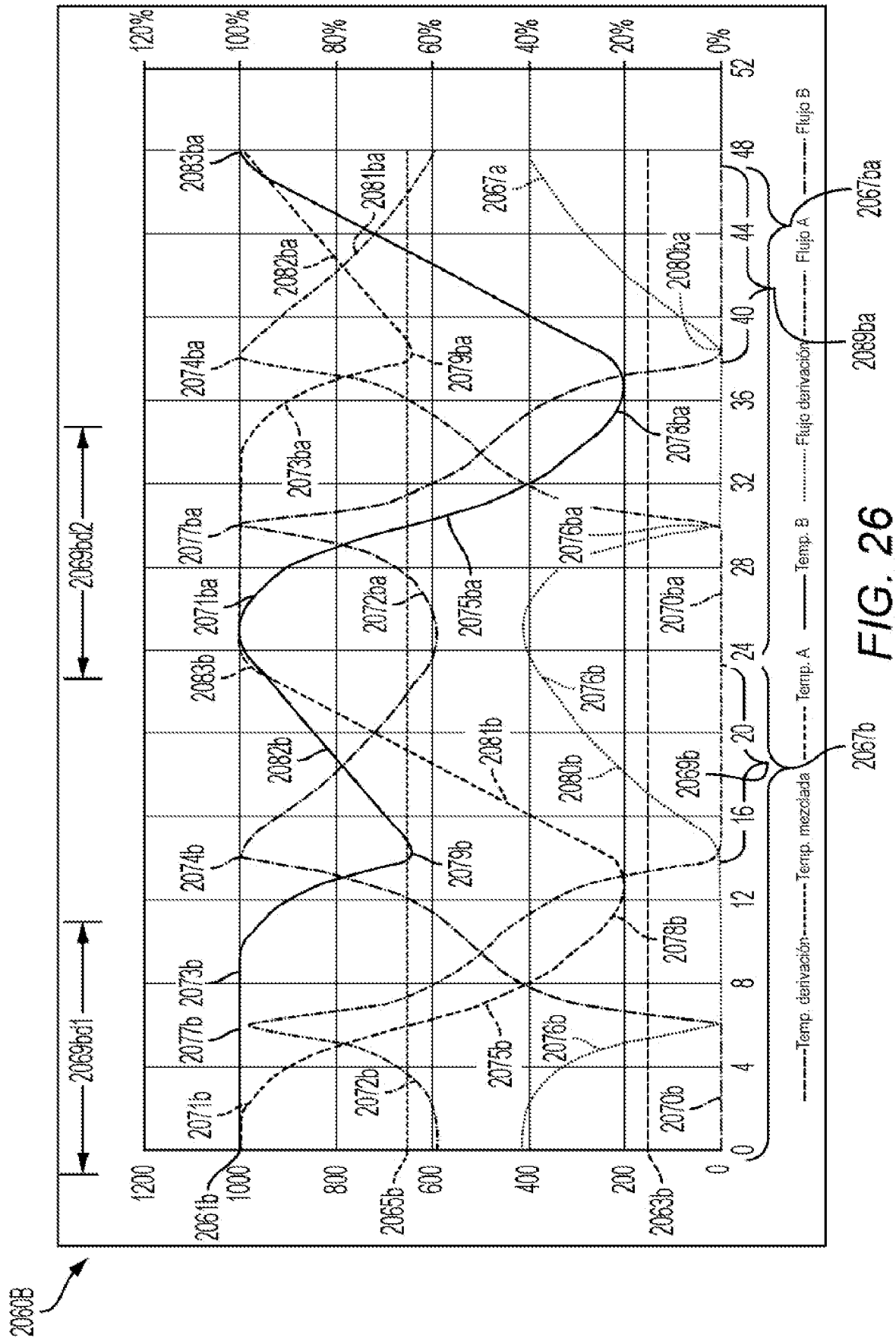


FIG. 25



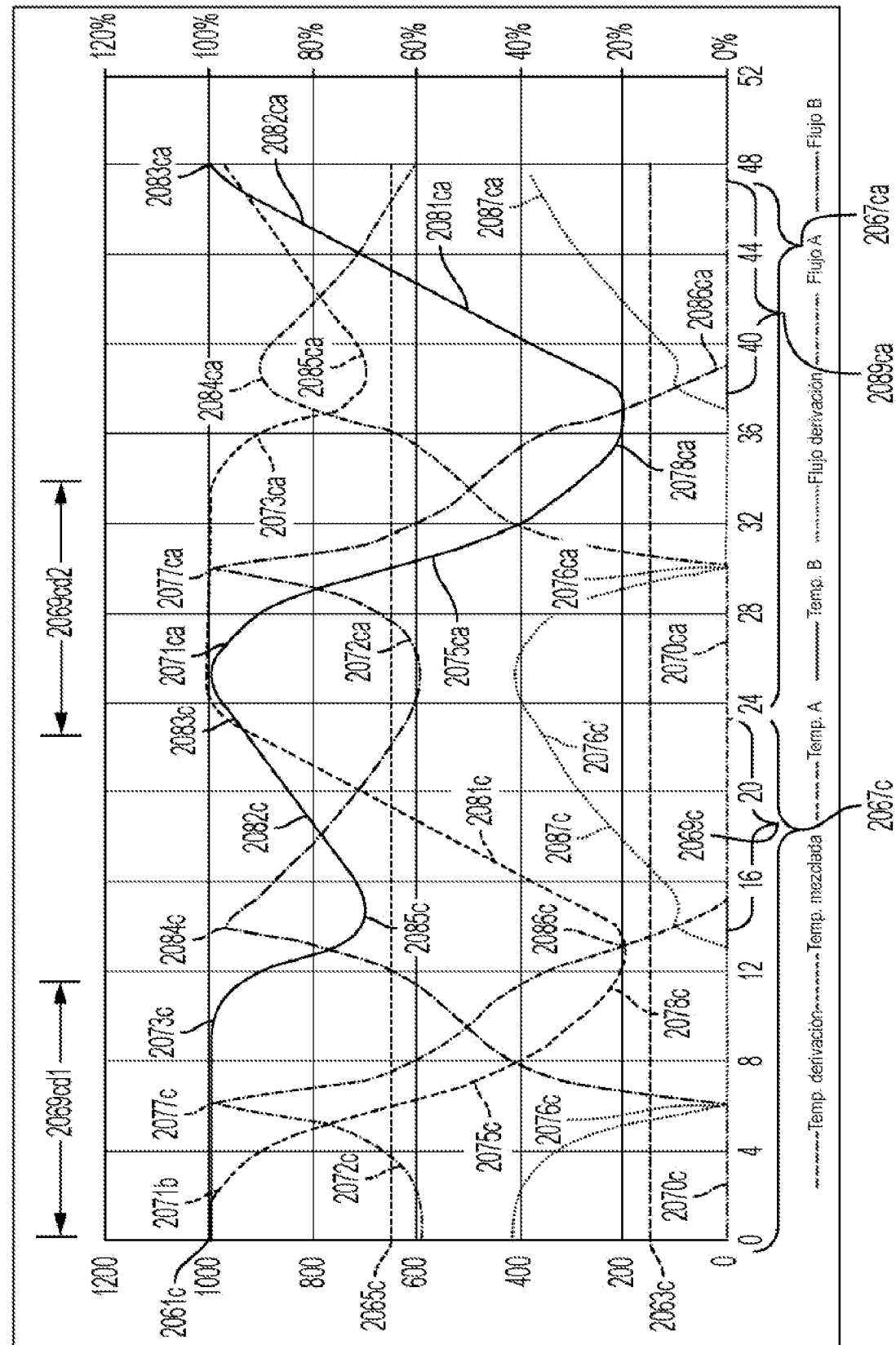


FIG. 27

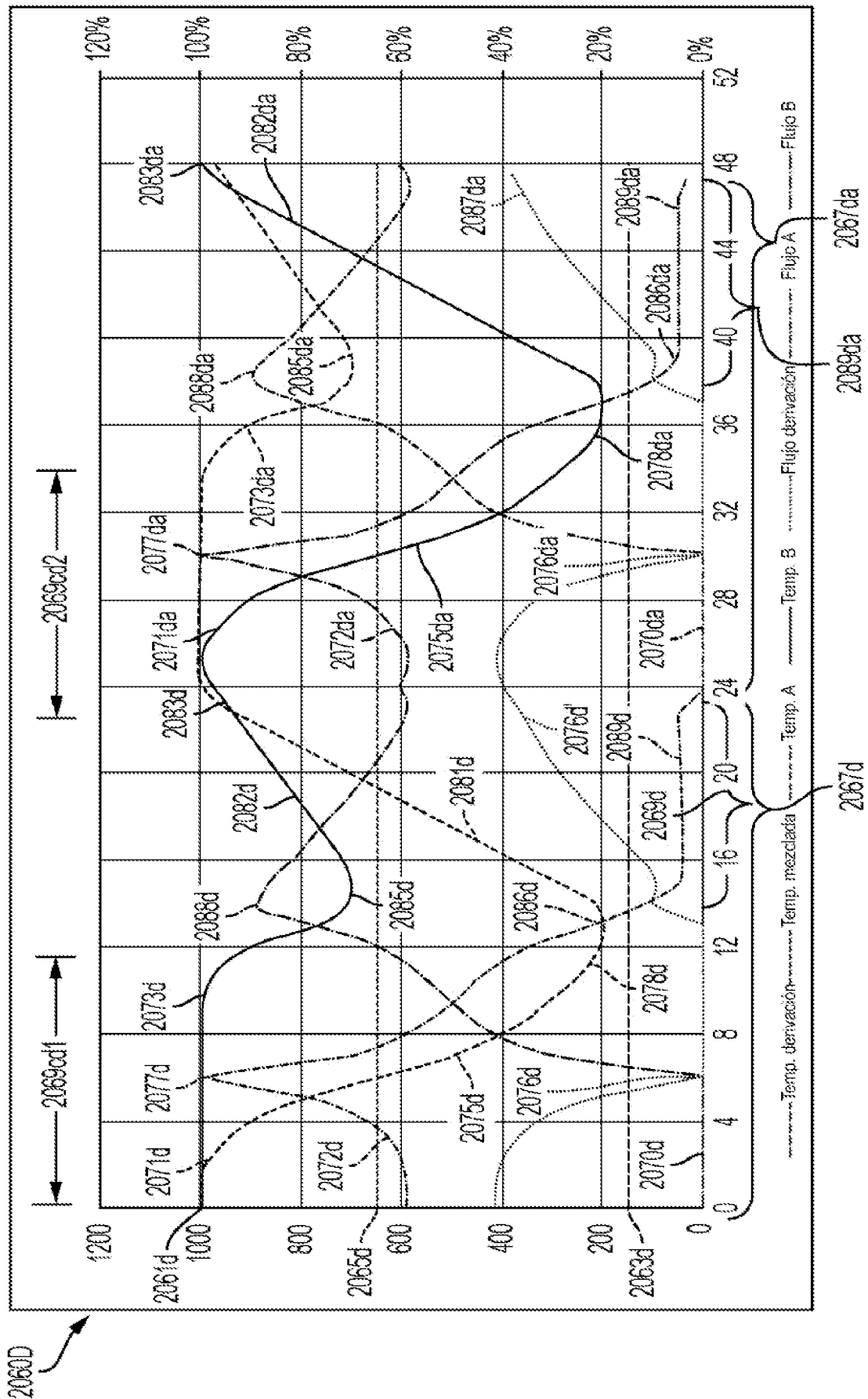
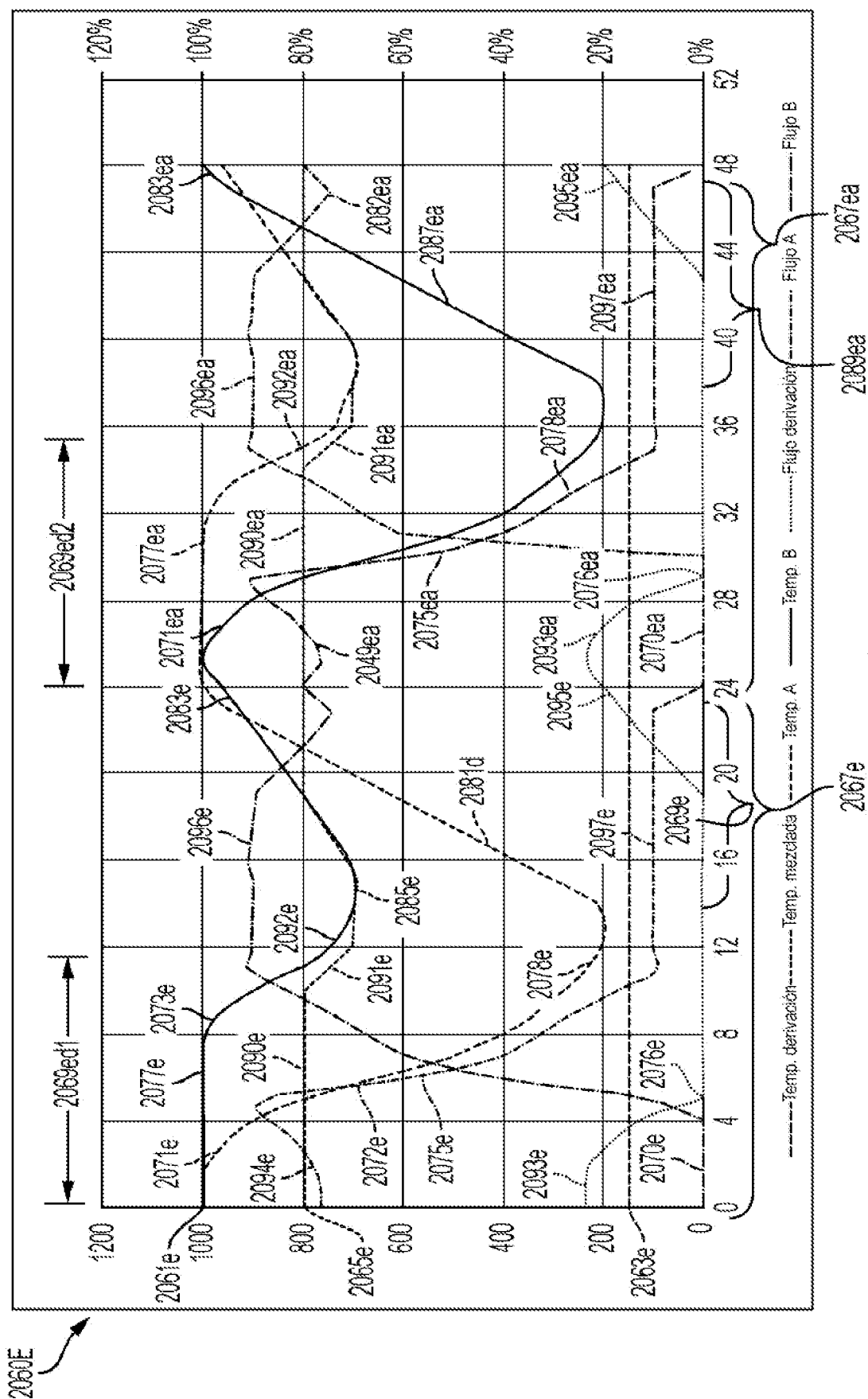


FIG. 28



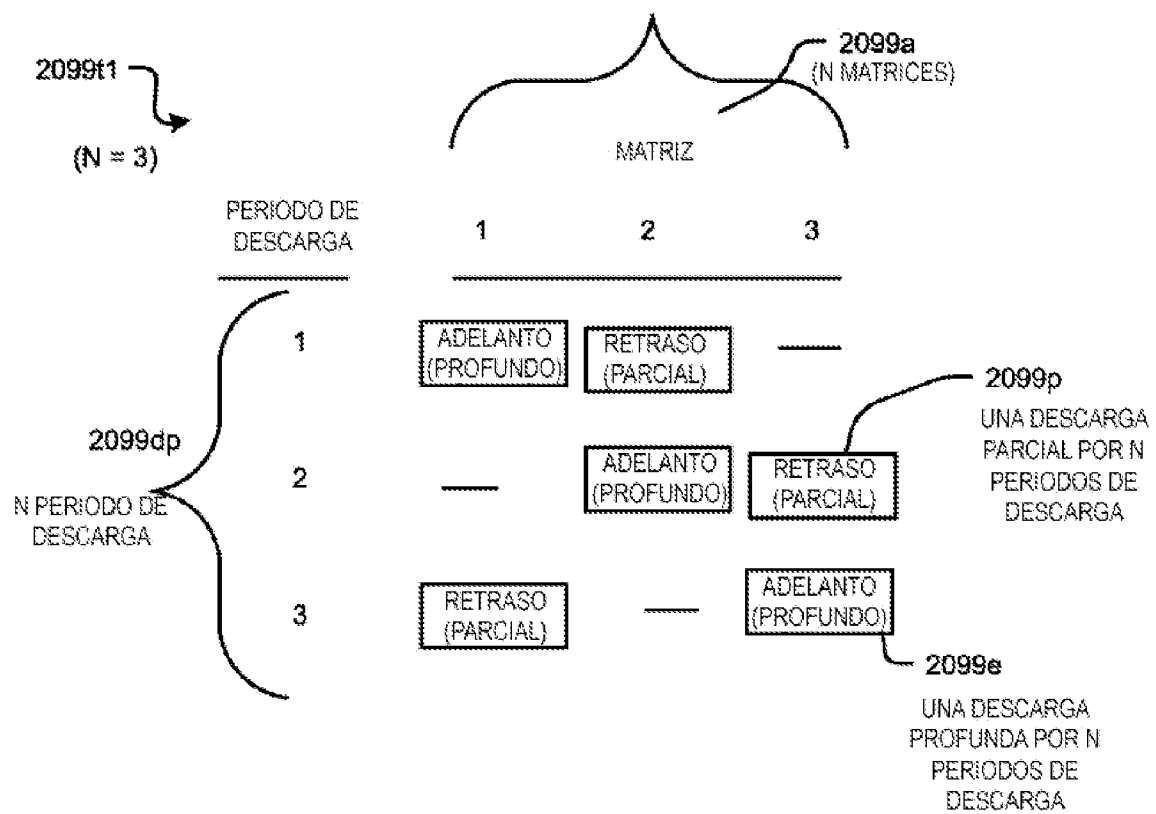


FIG. 30

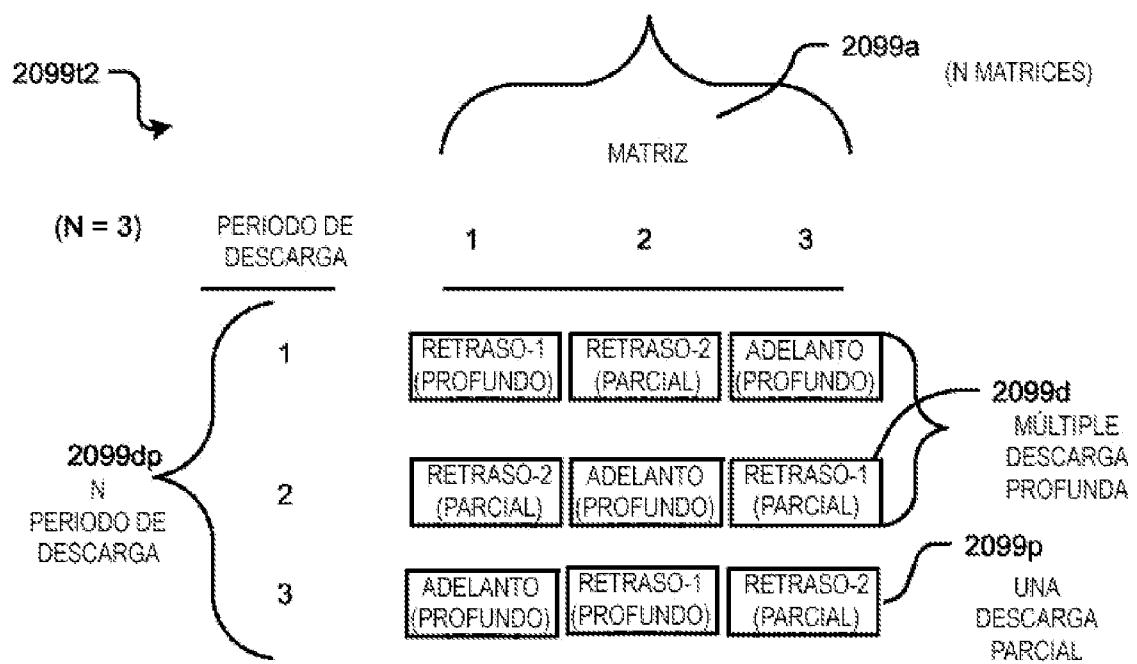


FIG. 31

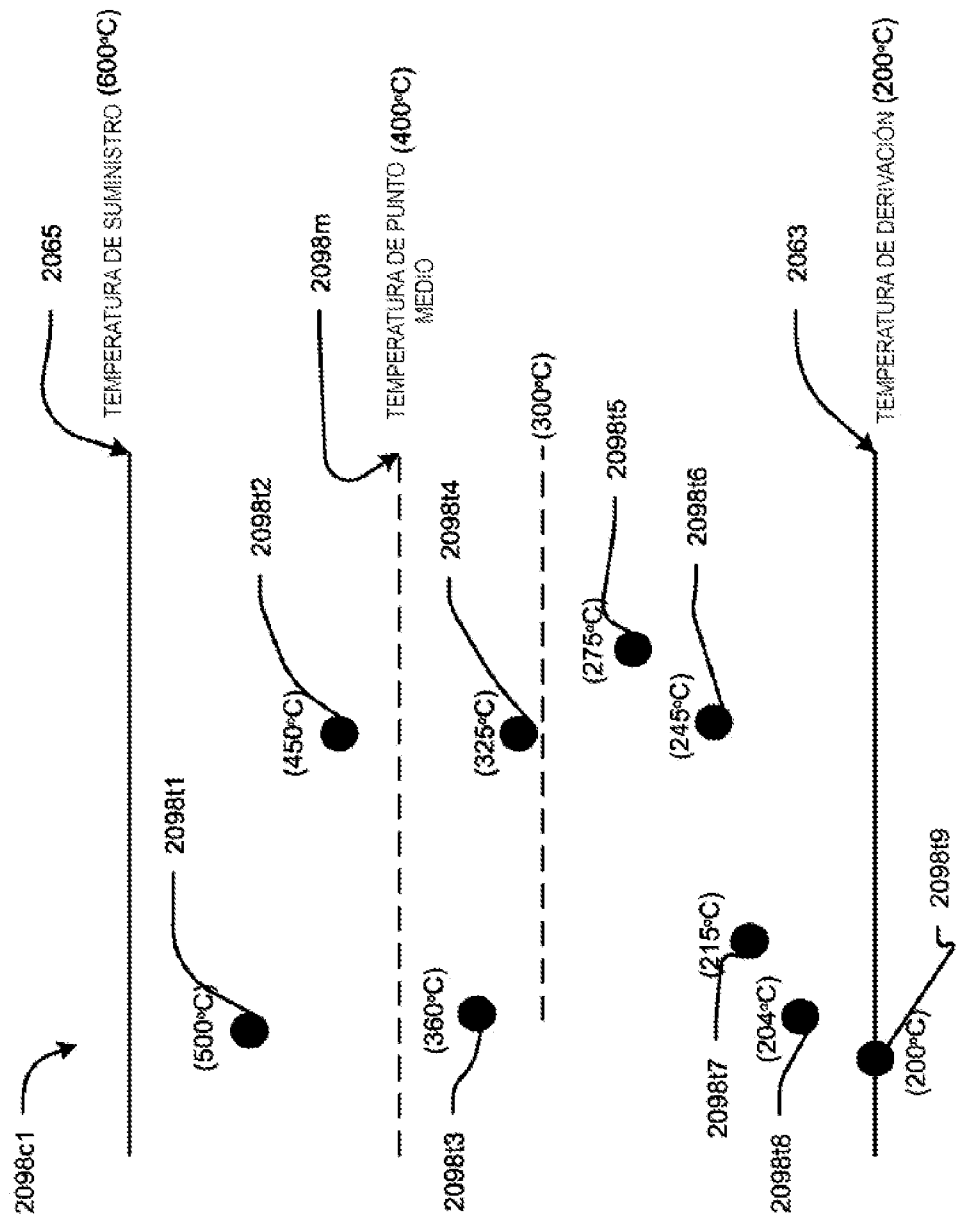


FIG. 32

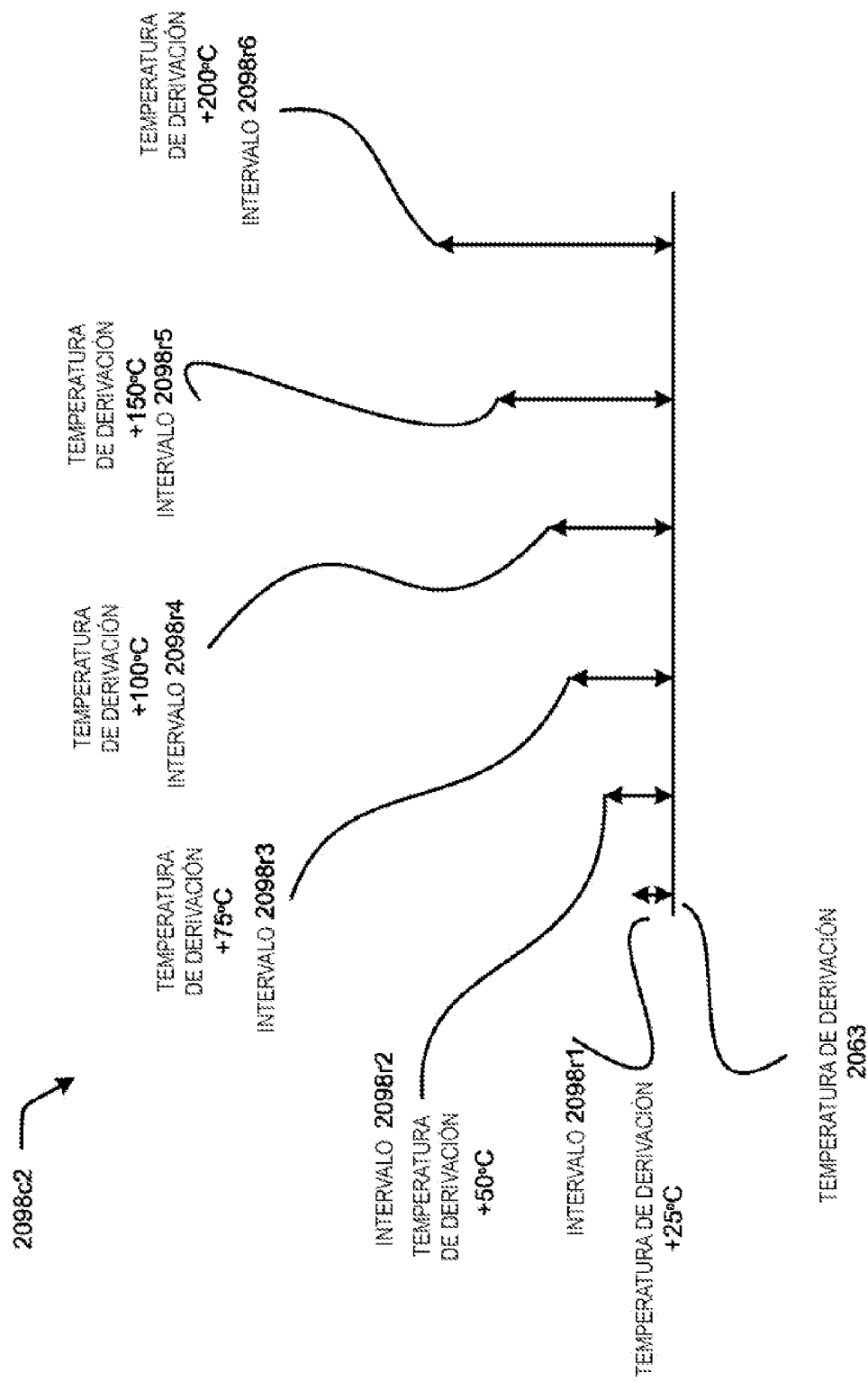


FIG. 33

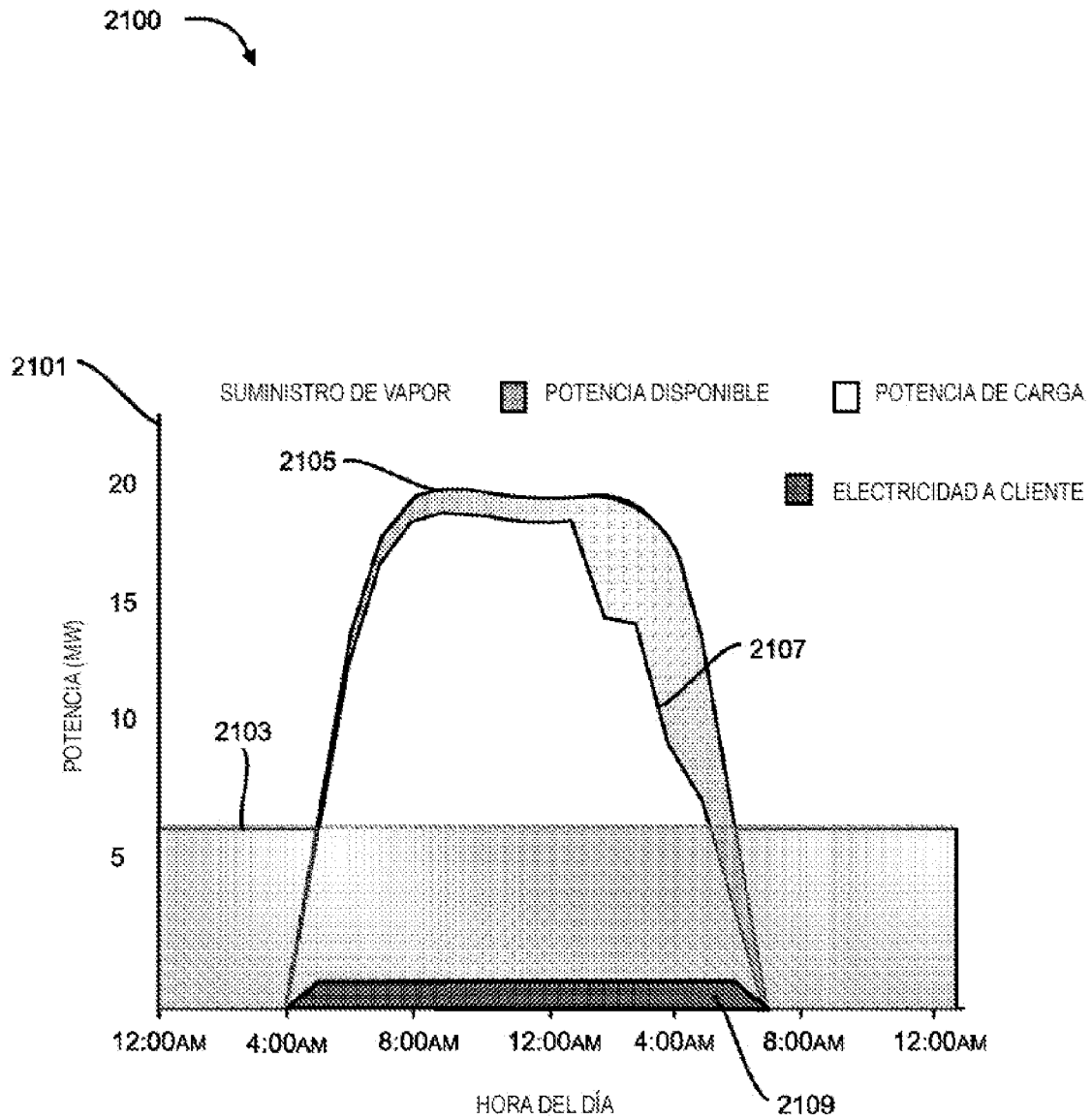


FIG. 34(A)

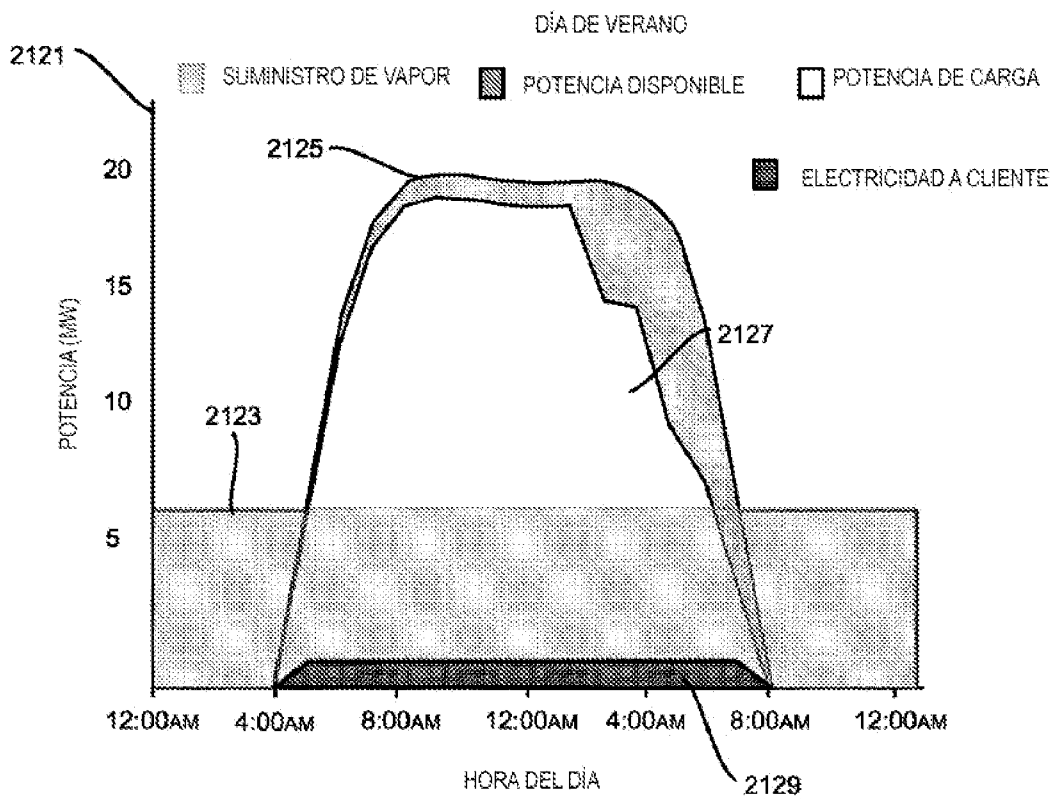
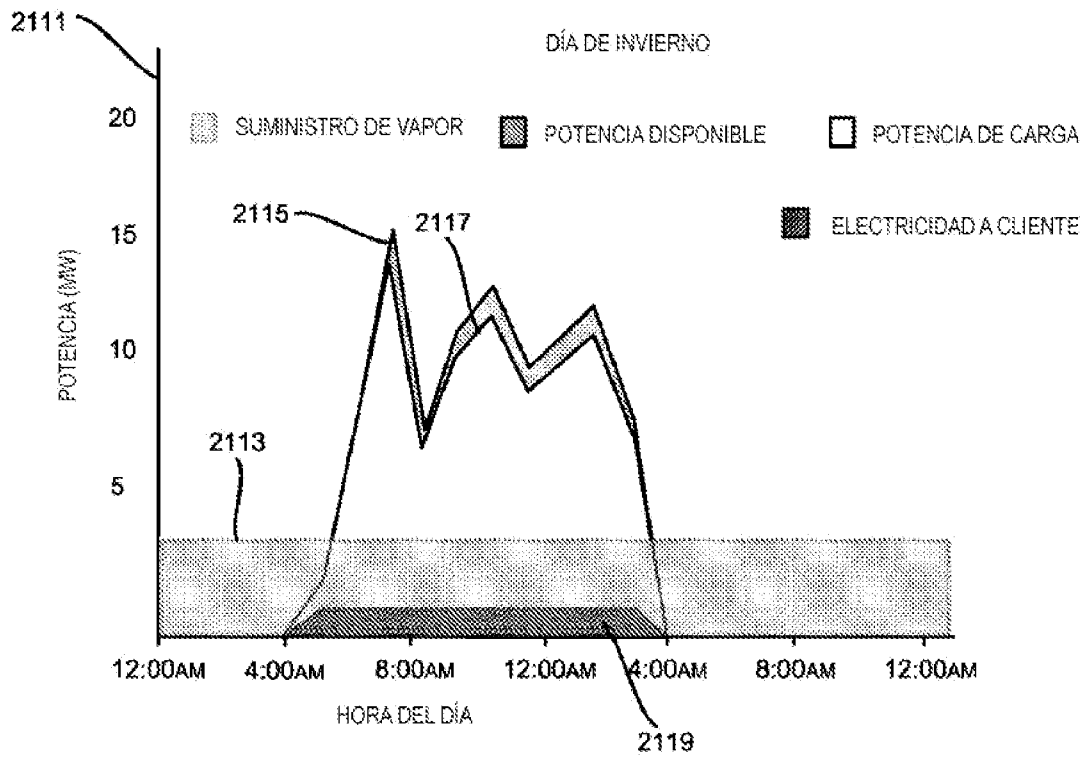


FIG. 34(B)

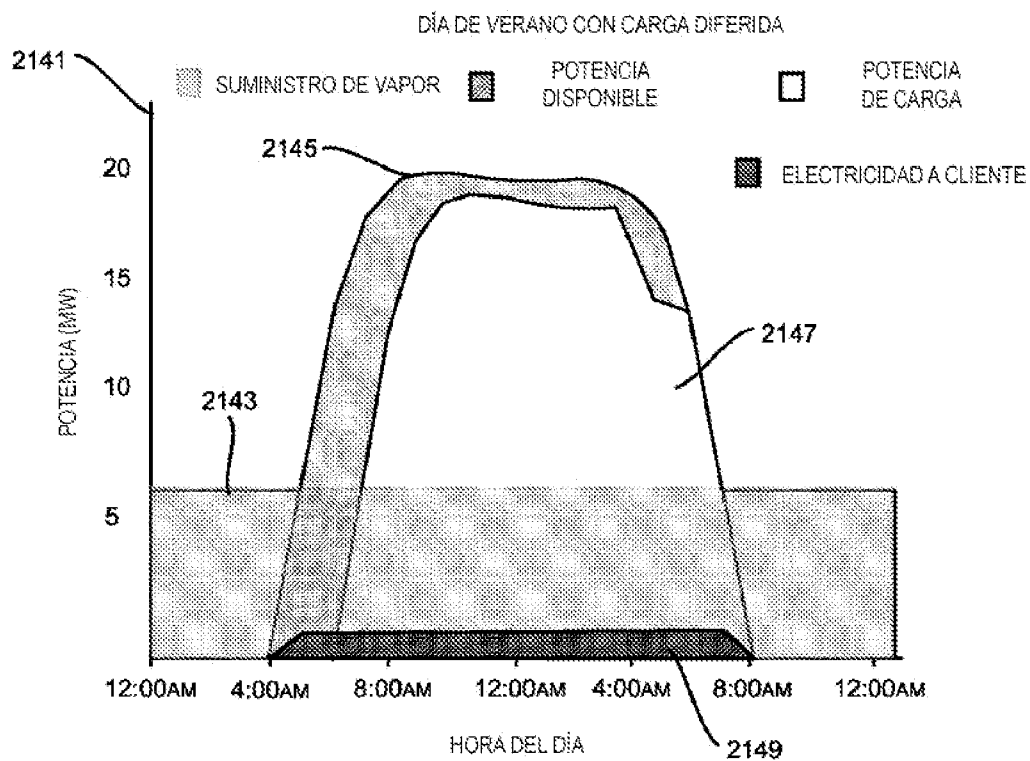
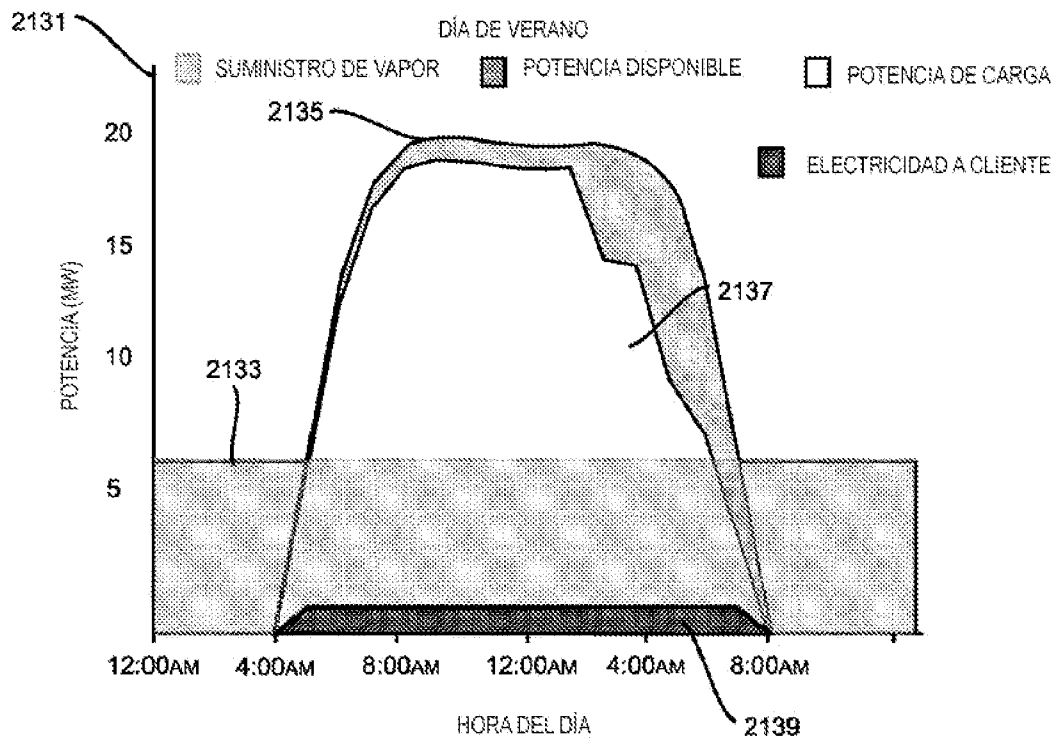


FIG. 34(C)

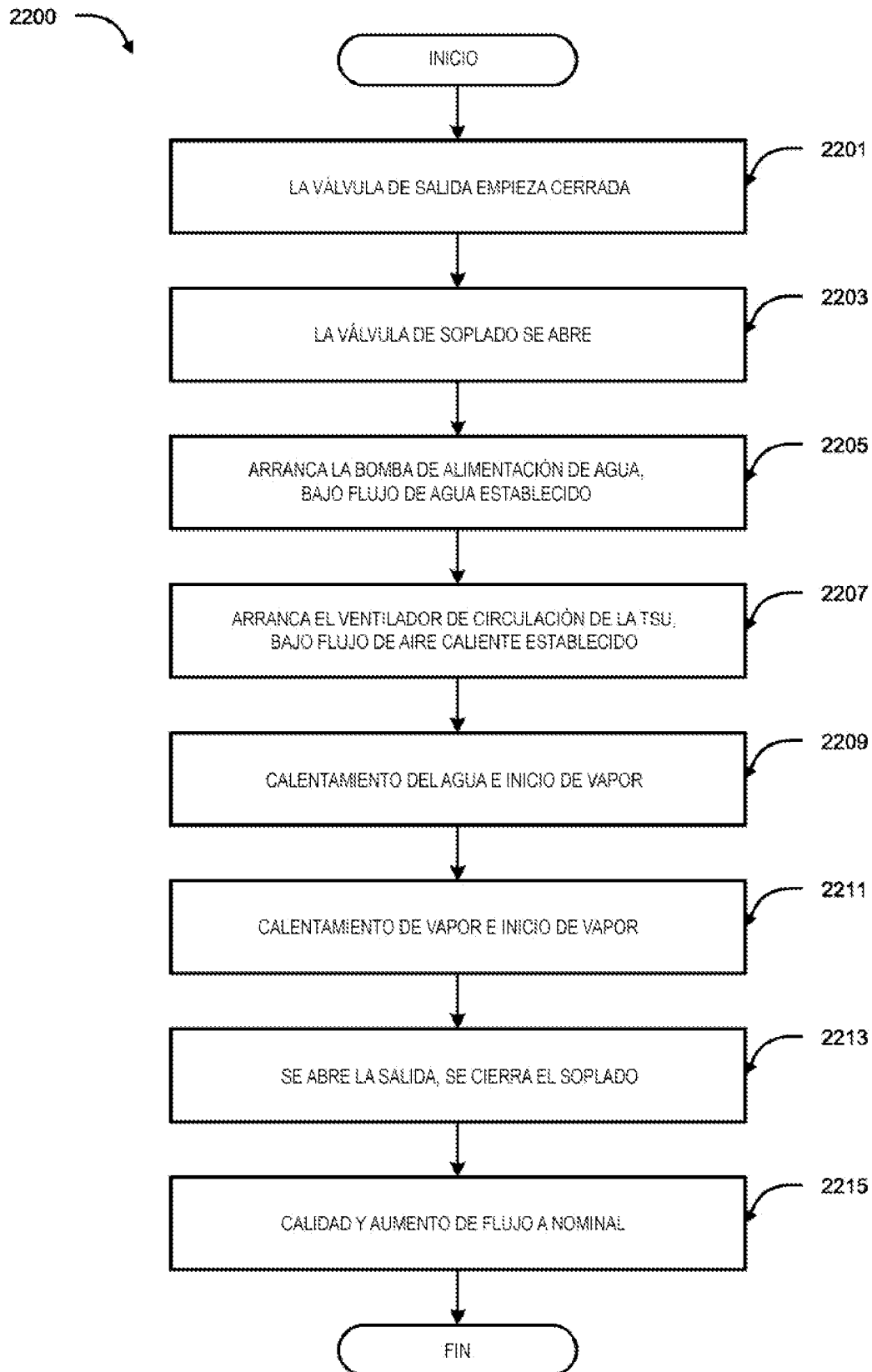


FIG. 35(A)

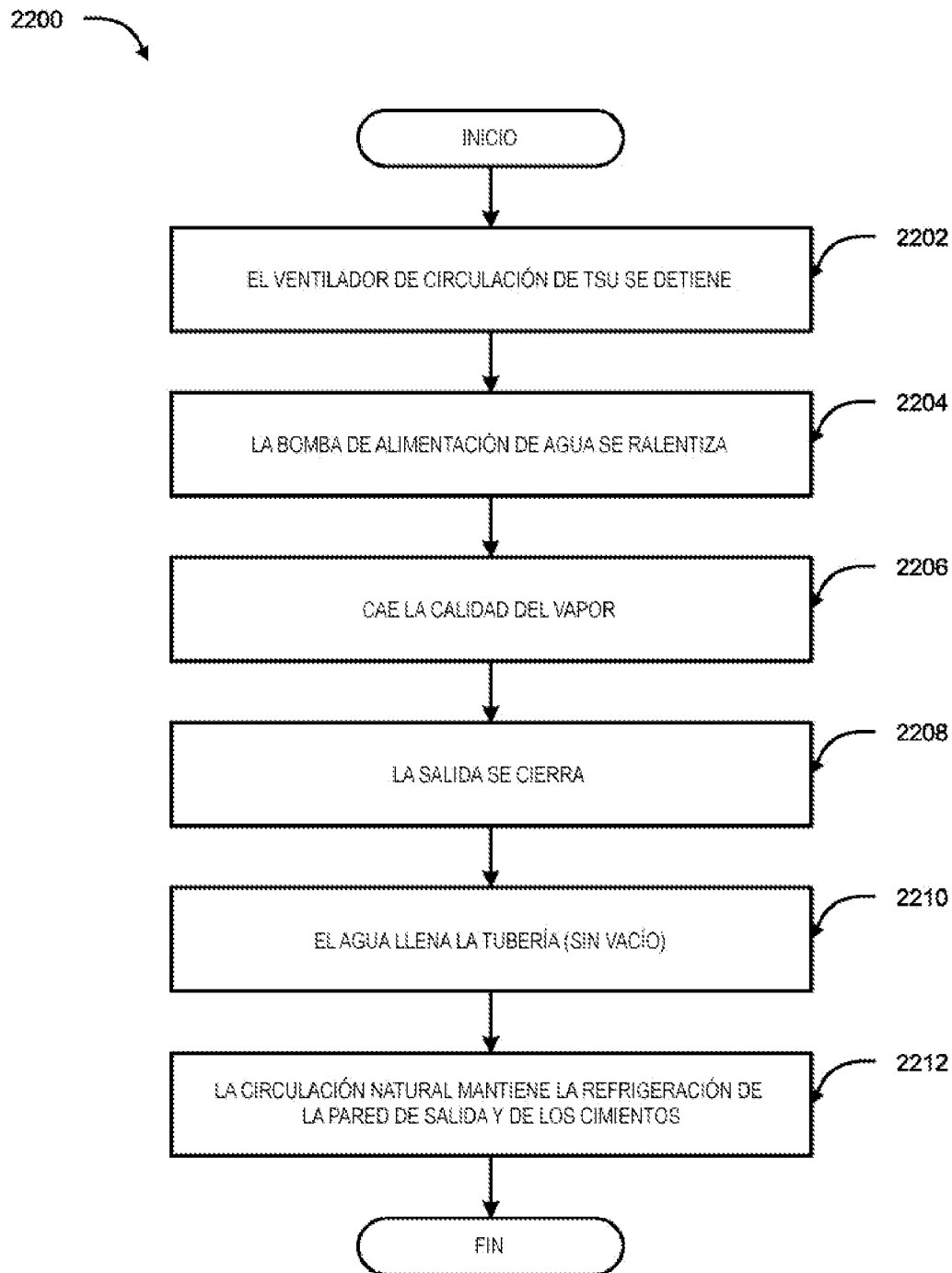


FIG. 35(B)

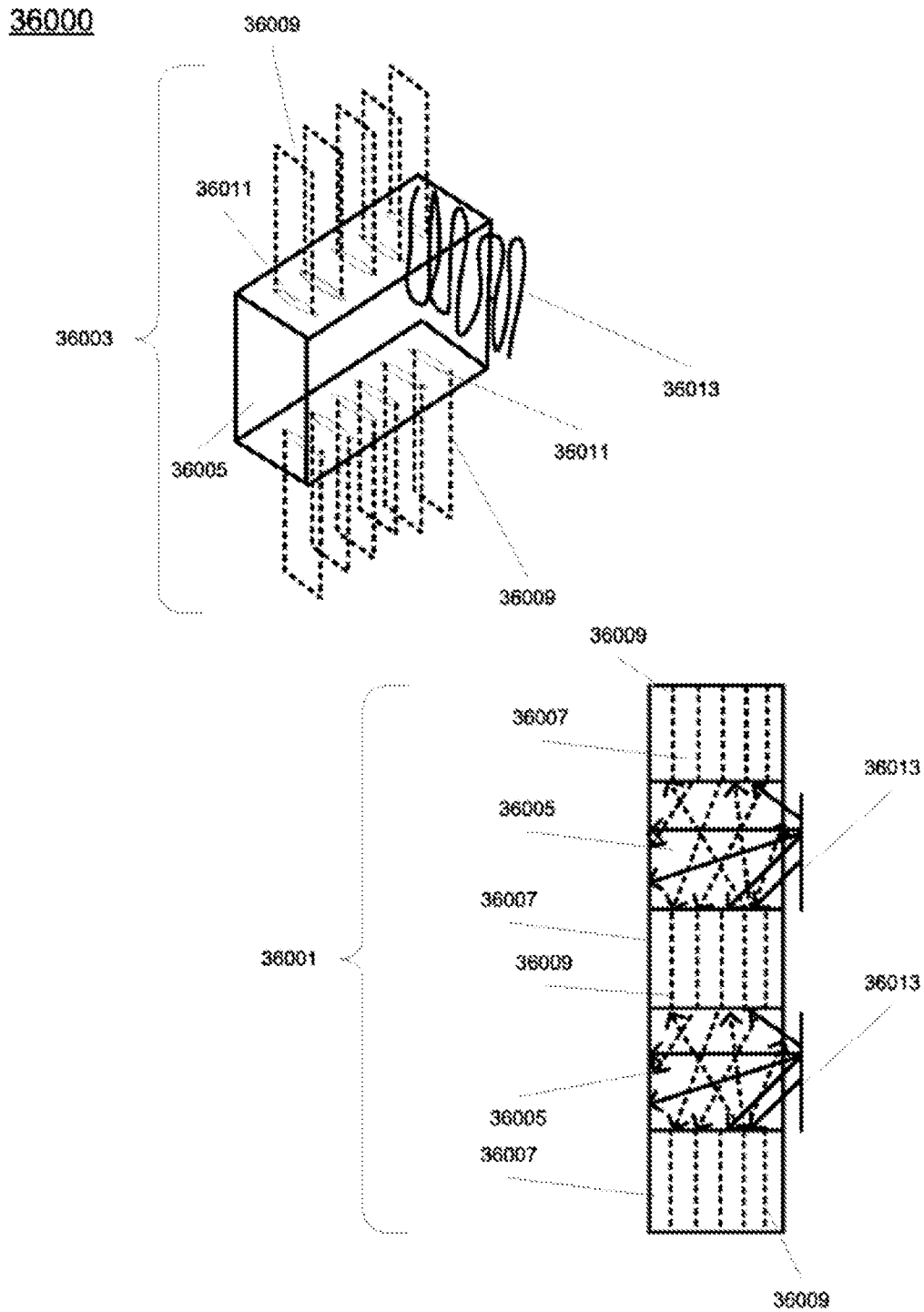


FIG. 36

37000

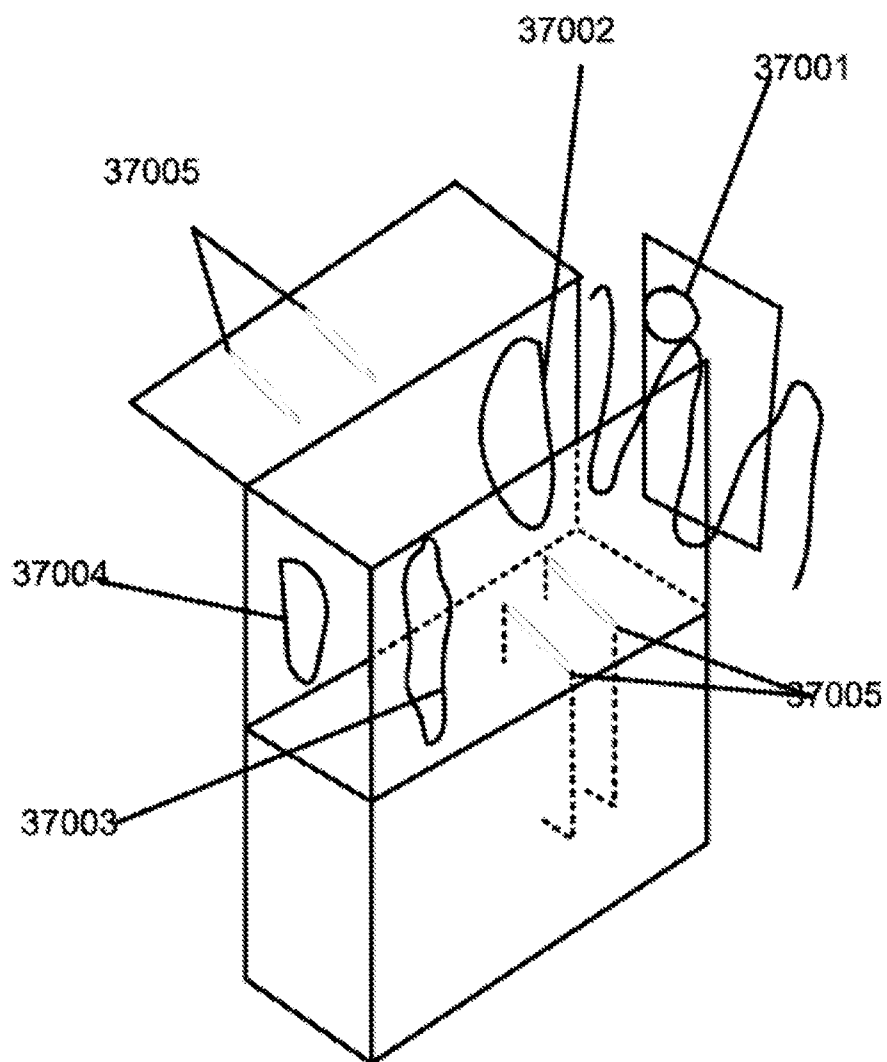


FIG. 37

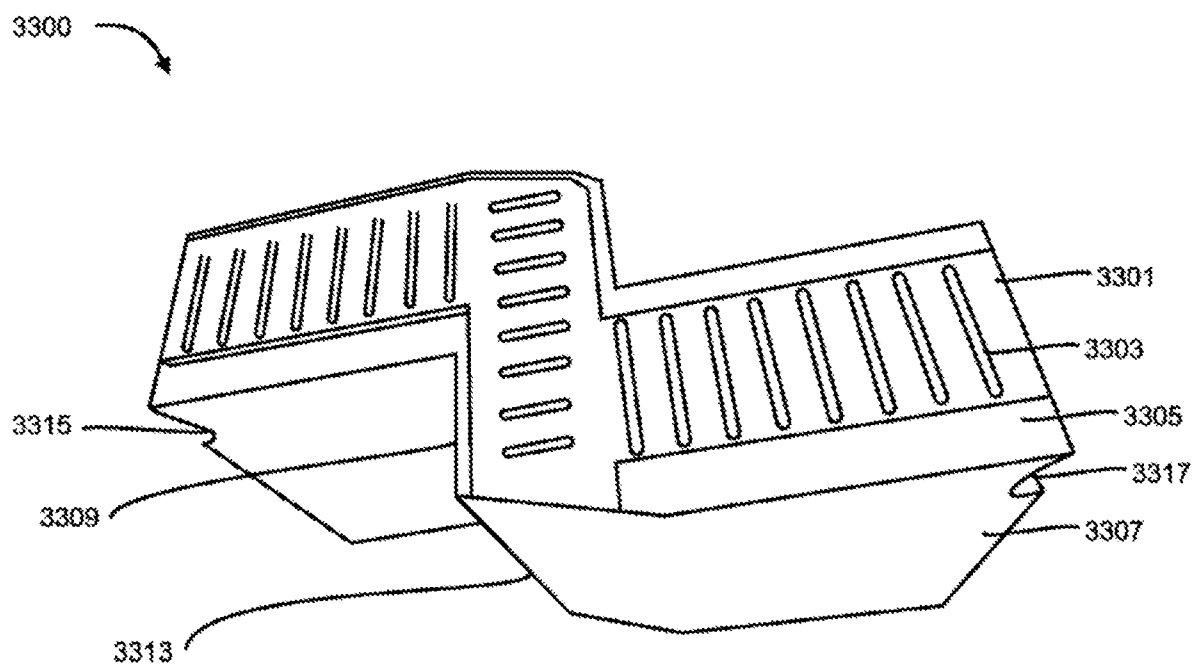


FIG. 38

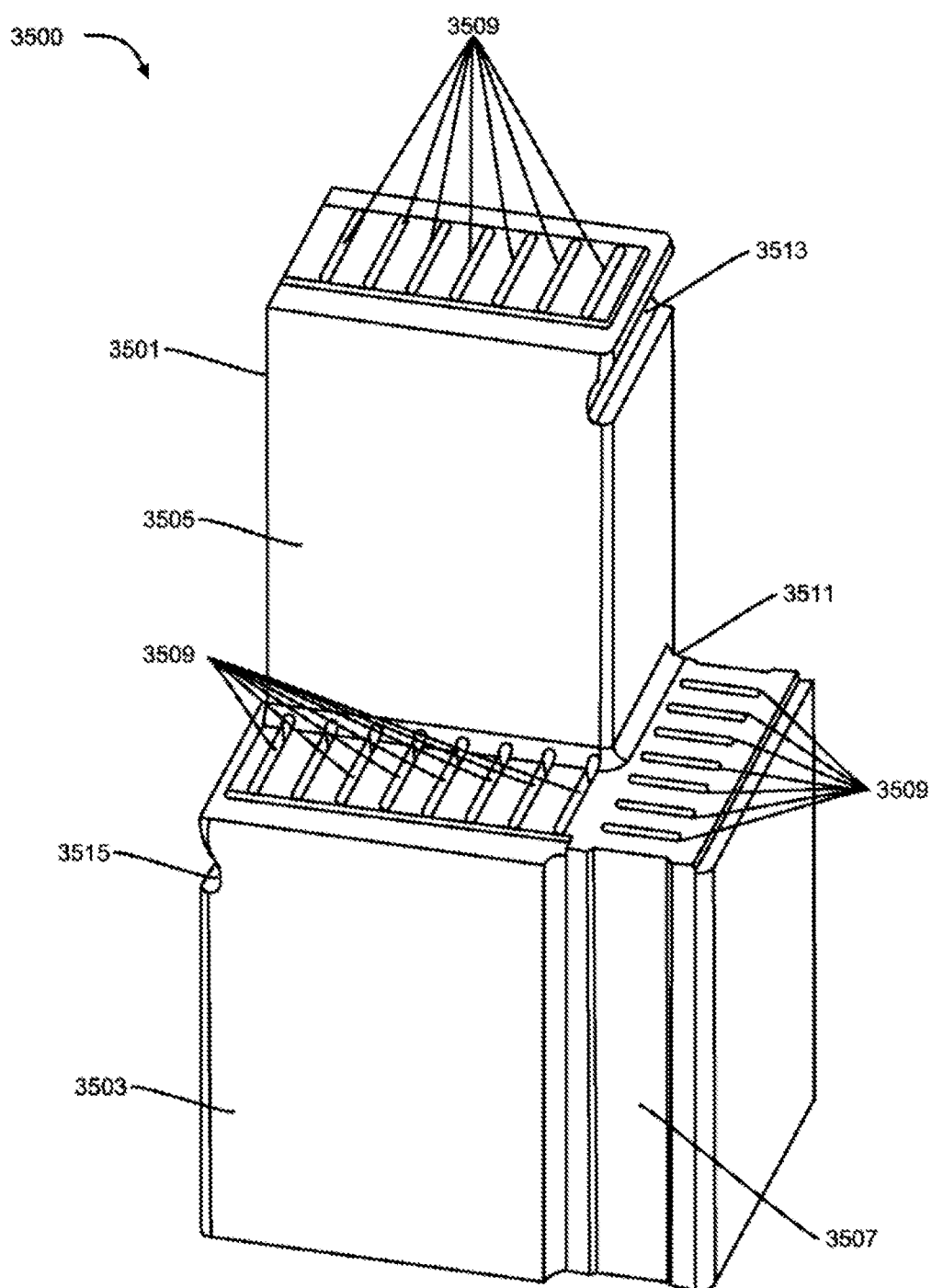


FIG. 39

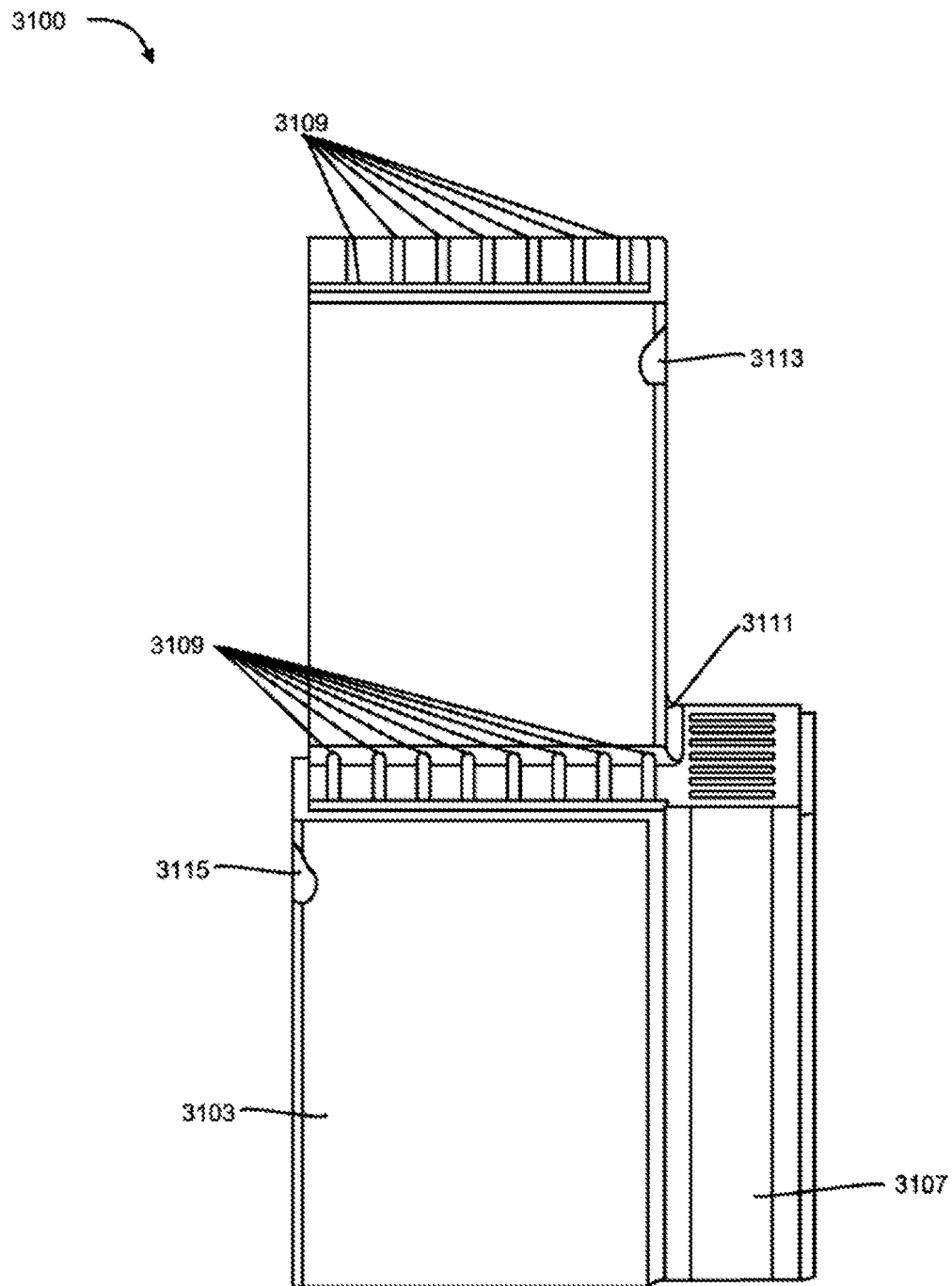


FIG. 40

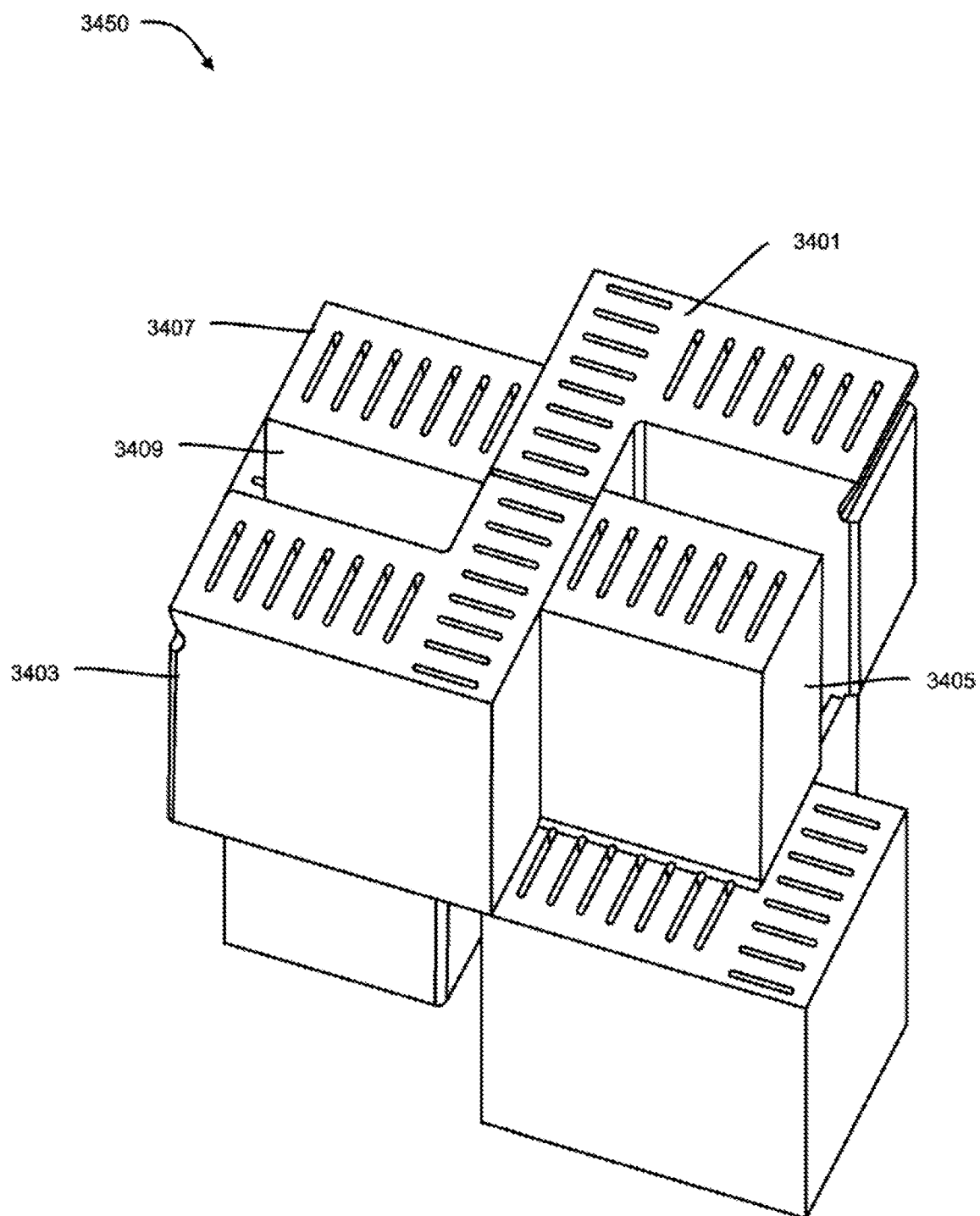


FIG. 41

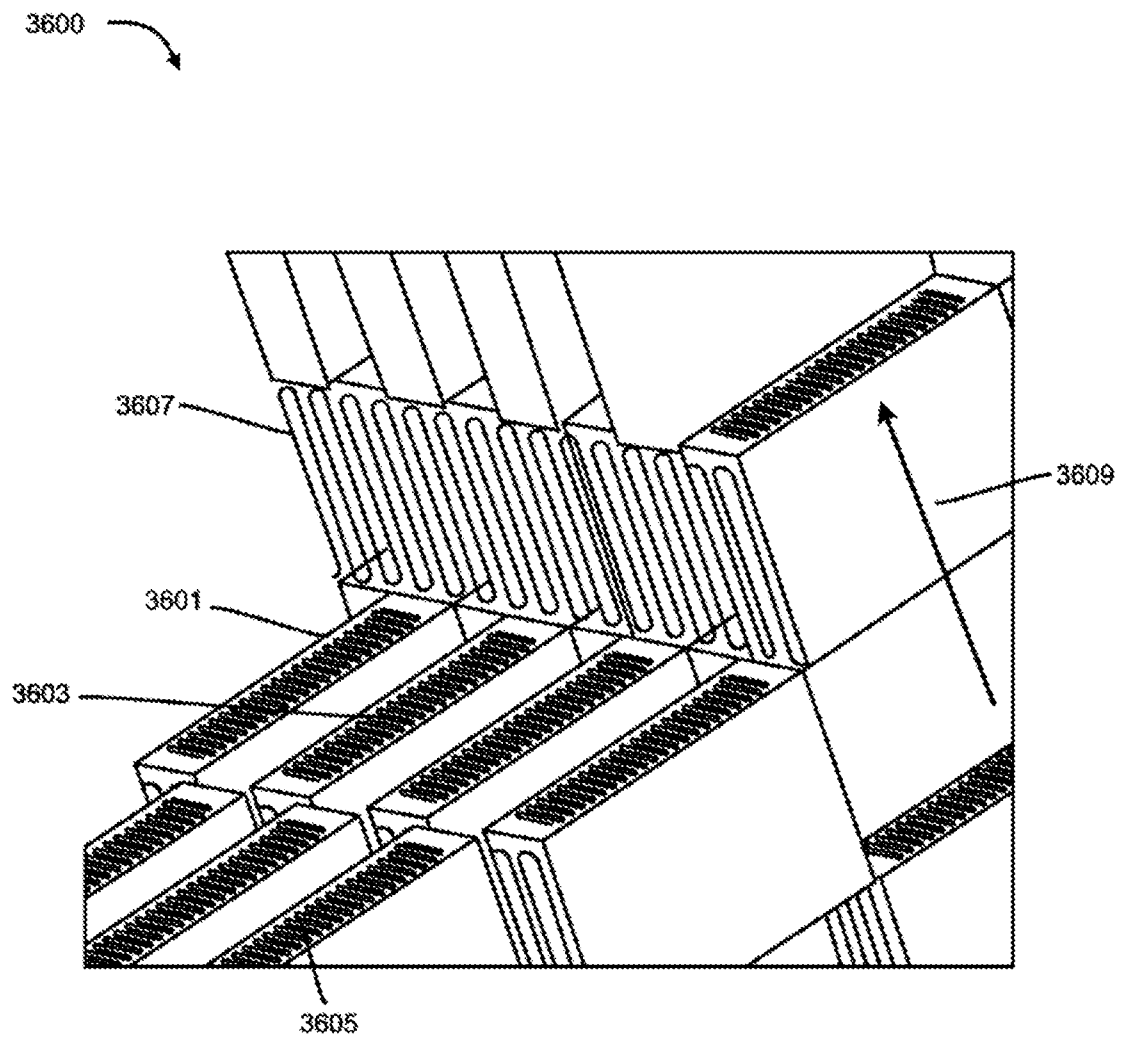


FIG. 42

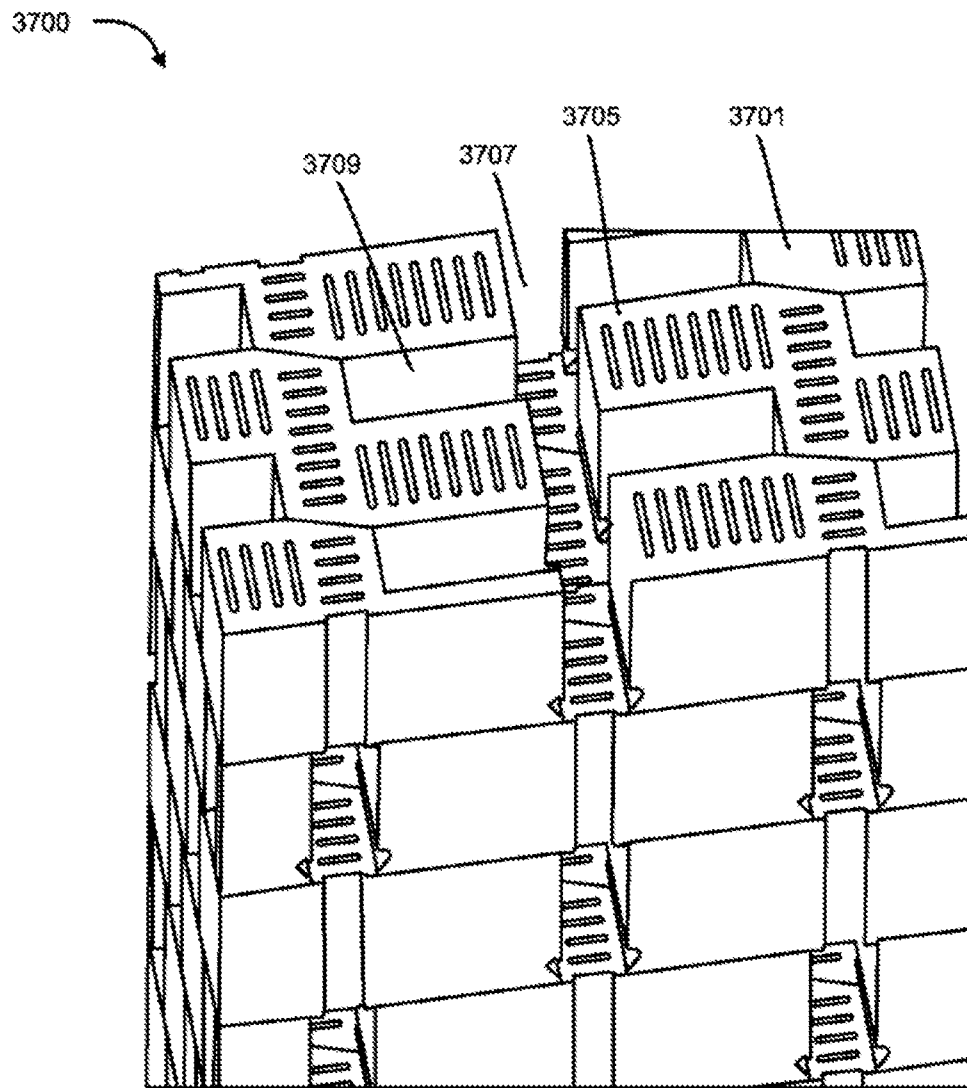


FIG. 43

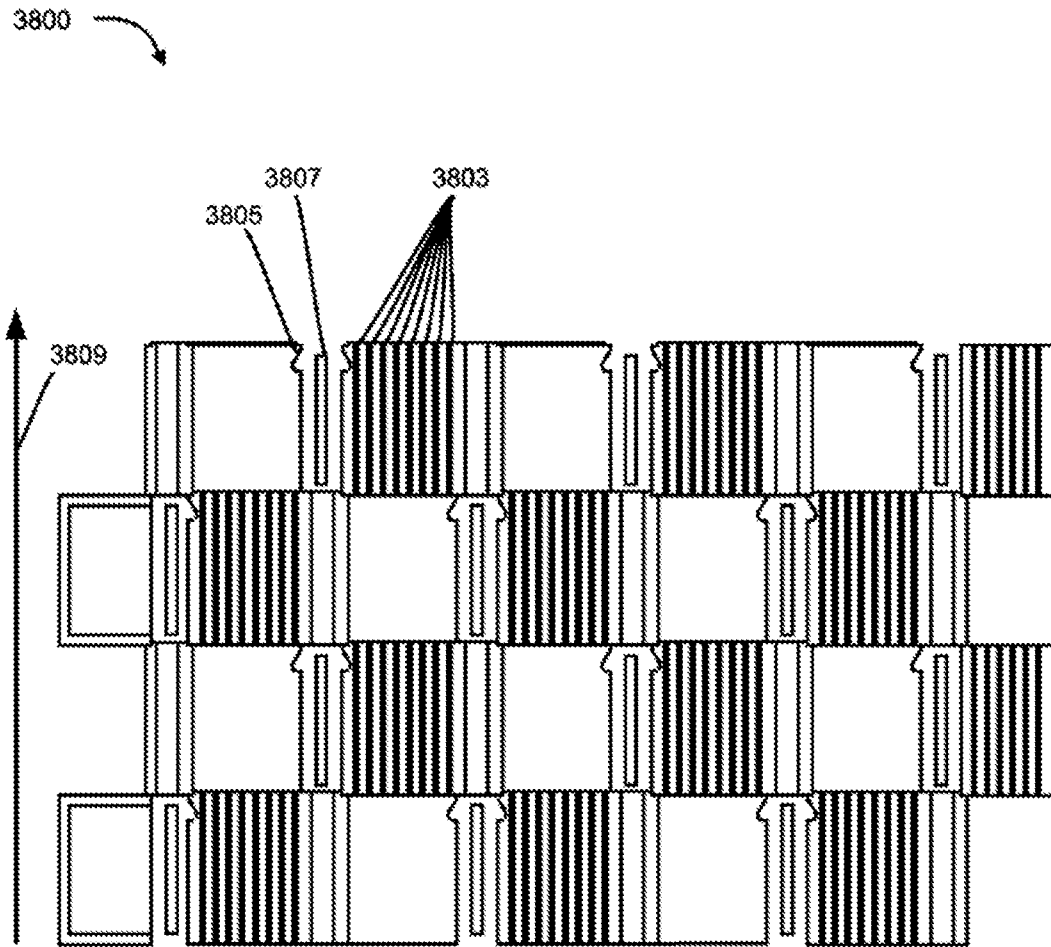
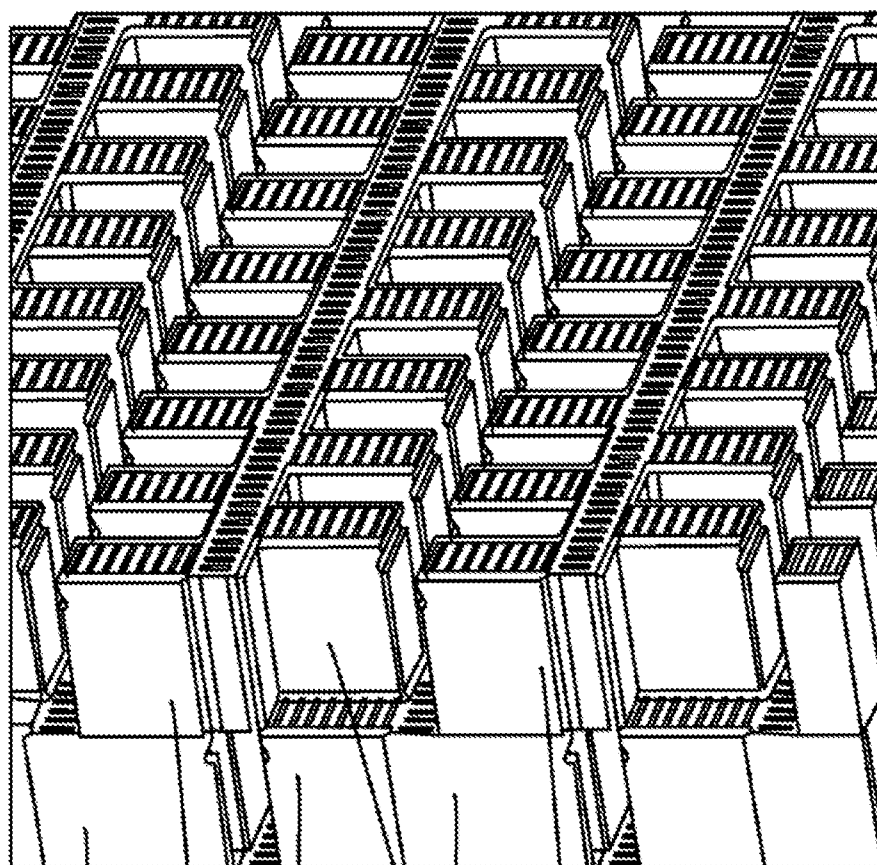


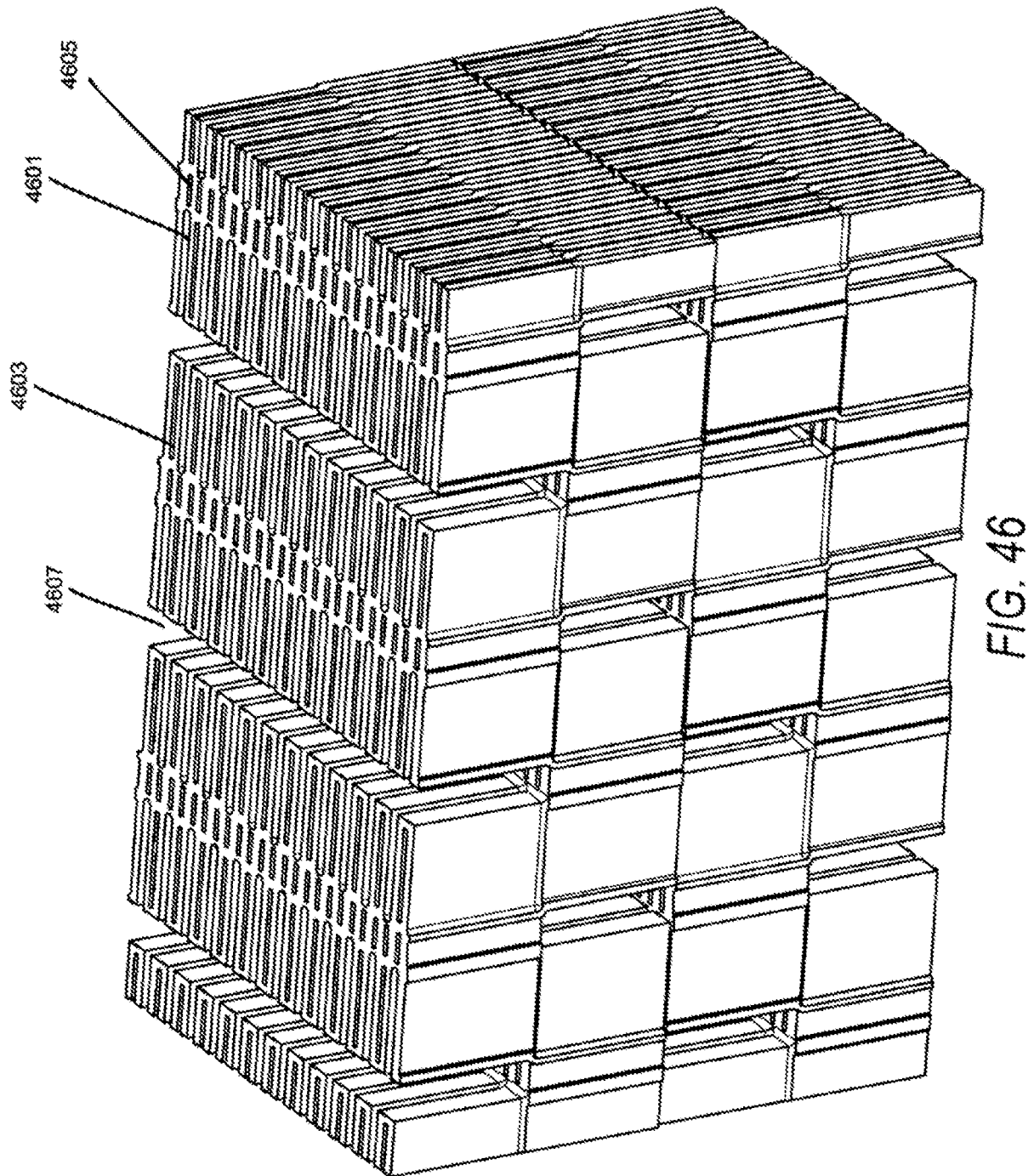
FIG. 44

3900



3909 3901 3911 3903 3913 3905

FIG. 45



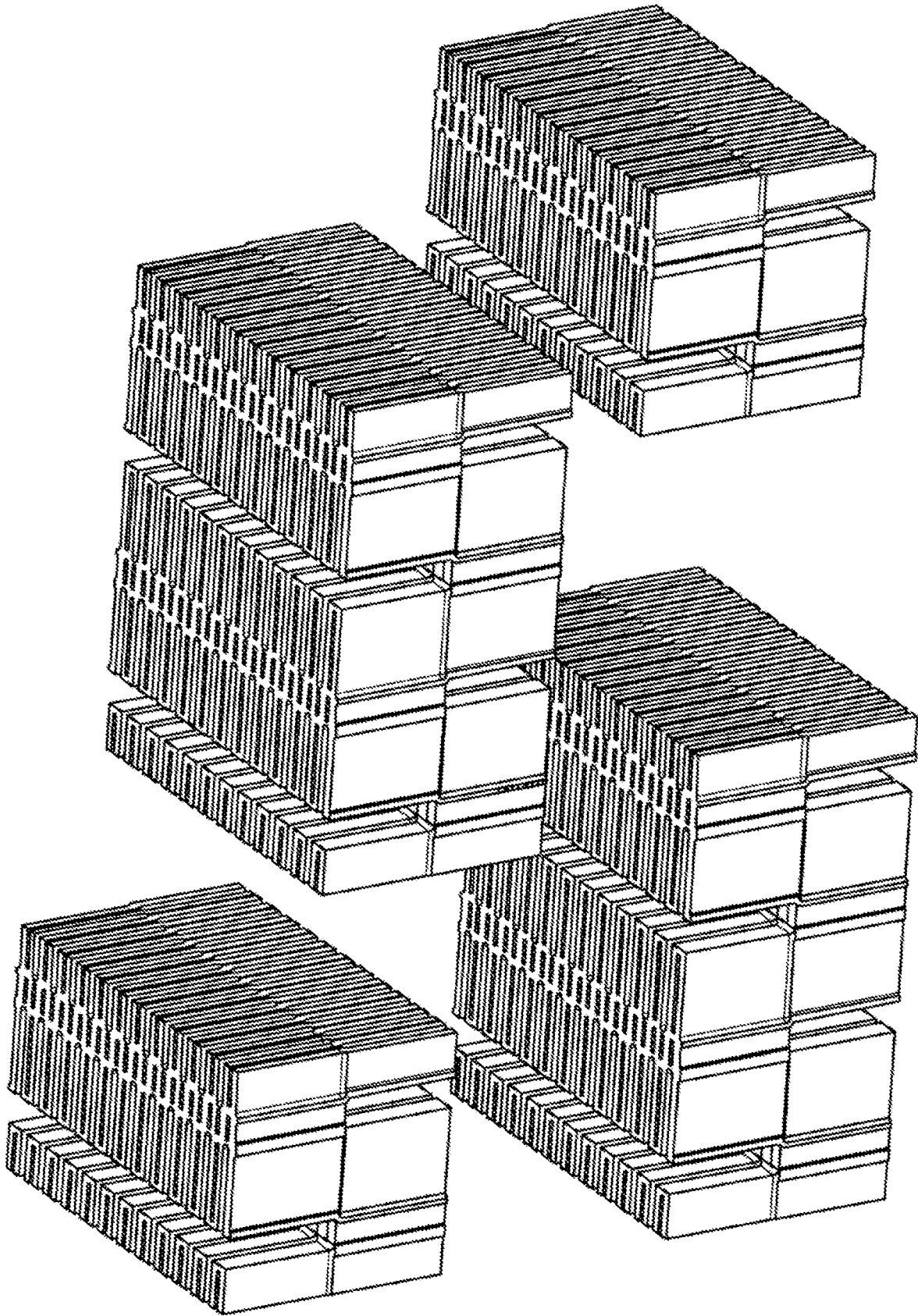


FIG. 47

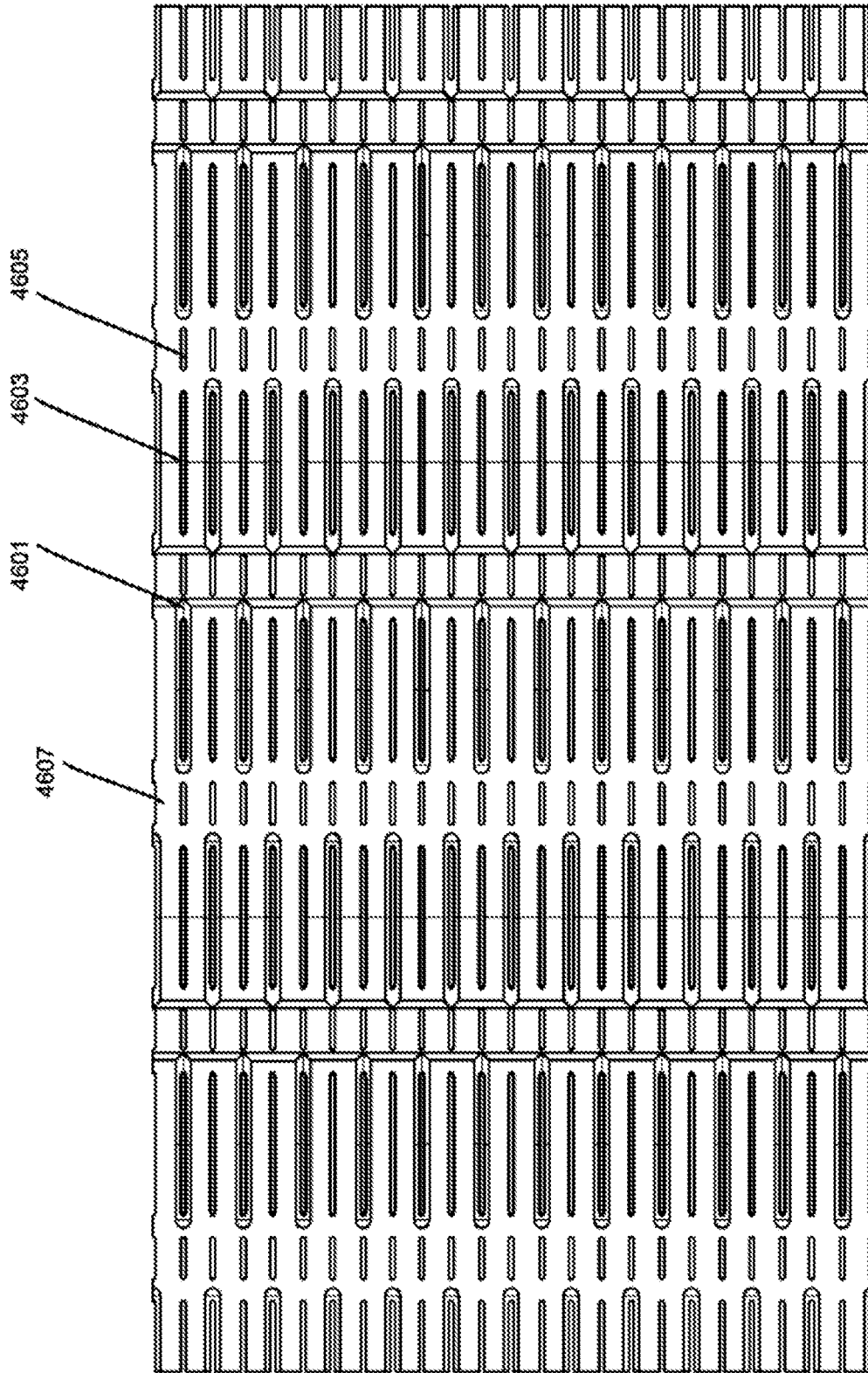


FIG. 48

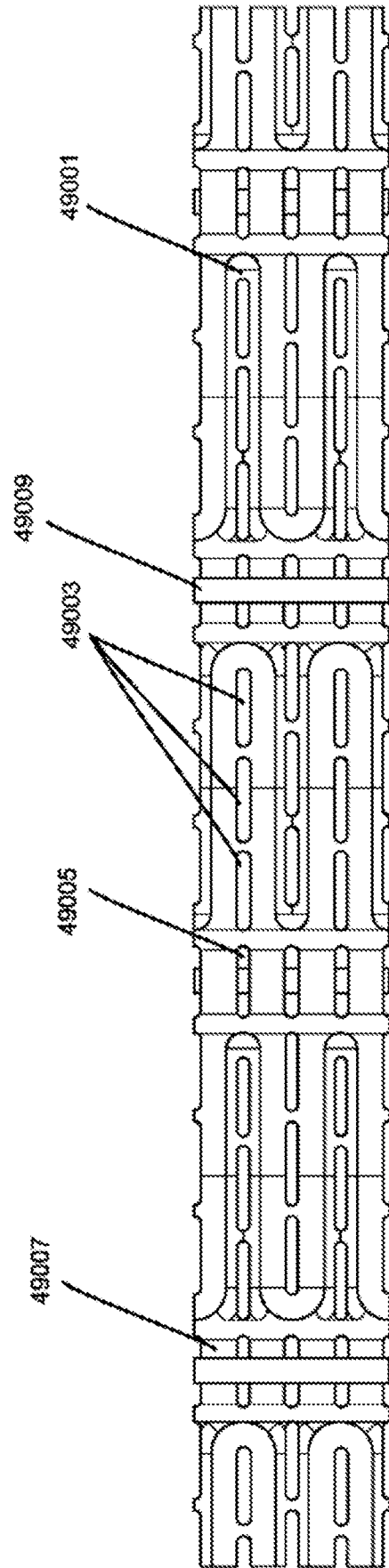


FIG. 49

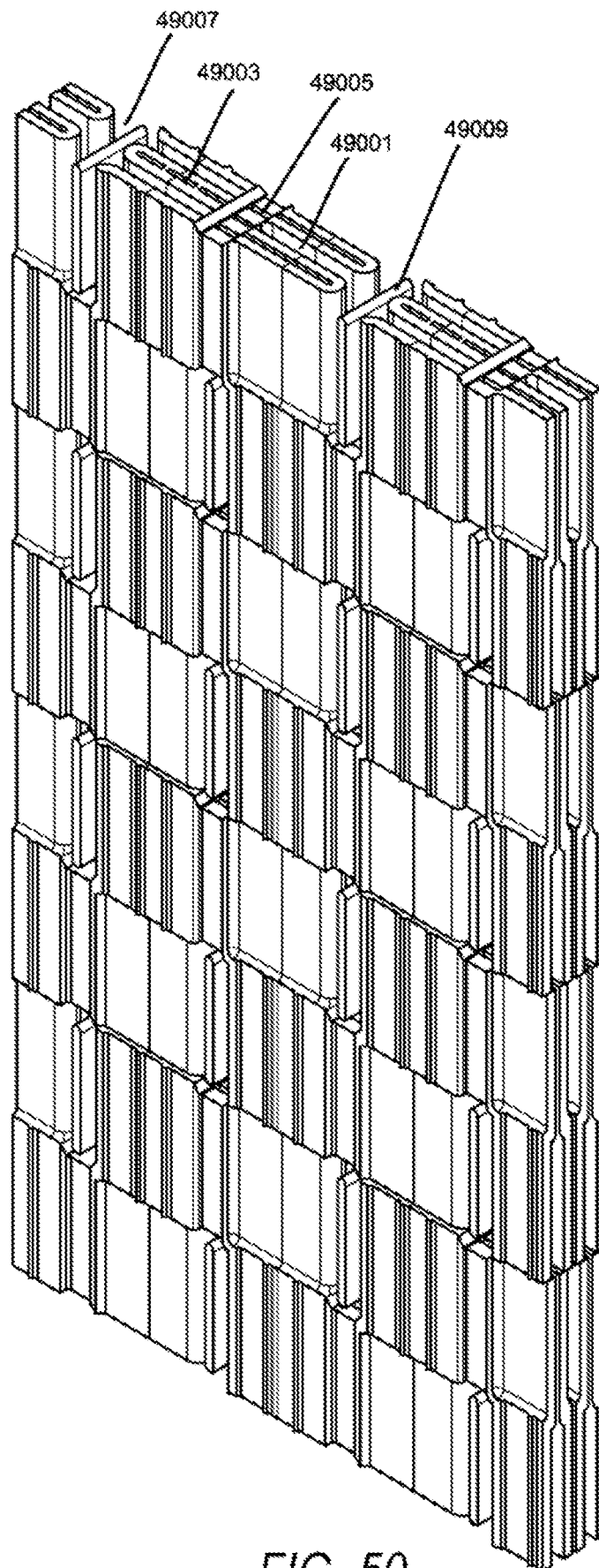


FIG. 50

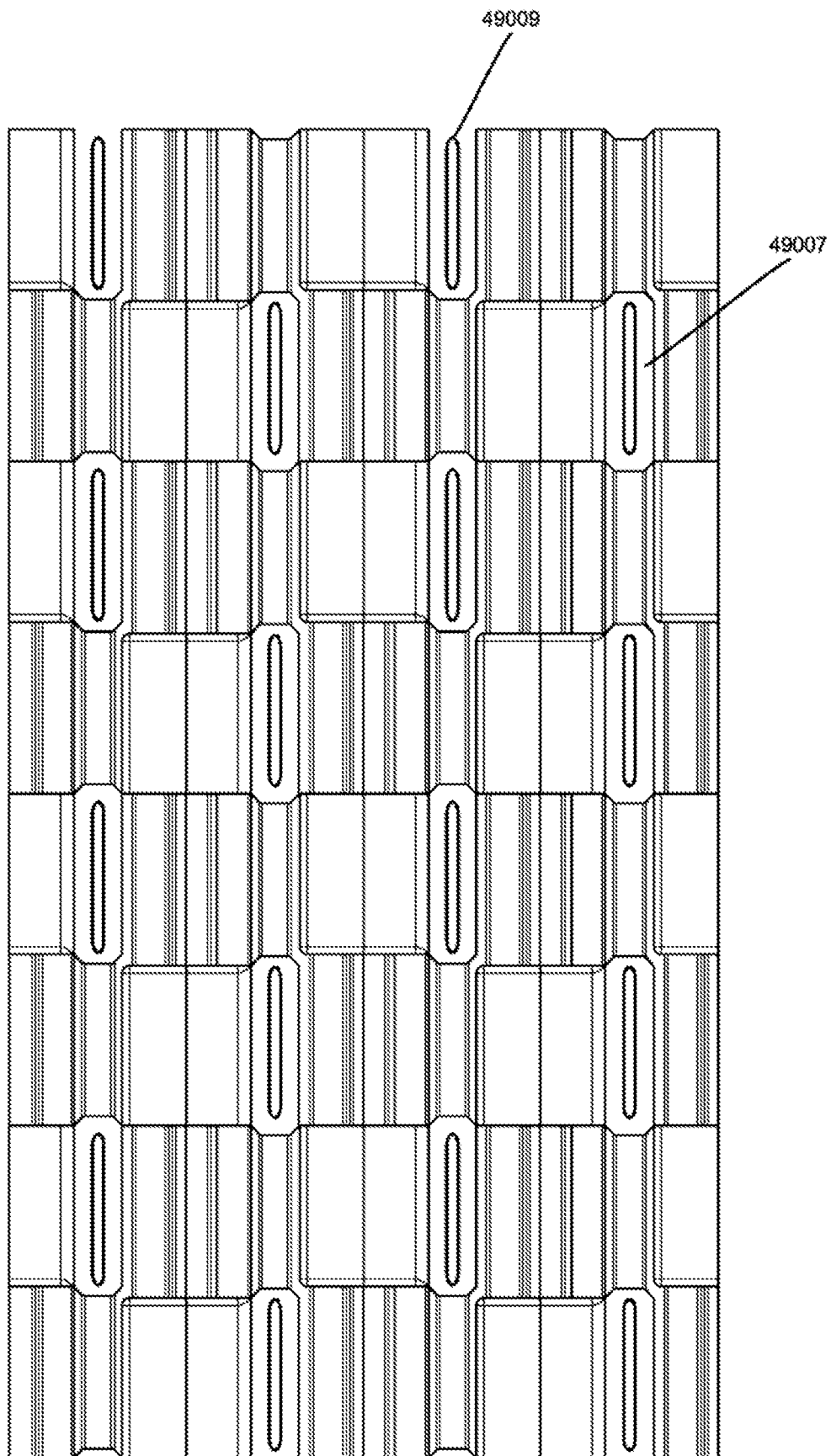


FIG. 51

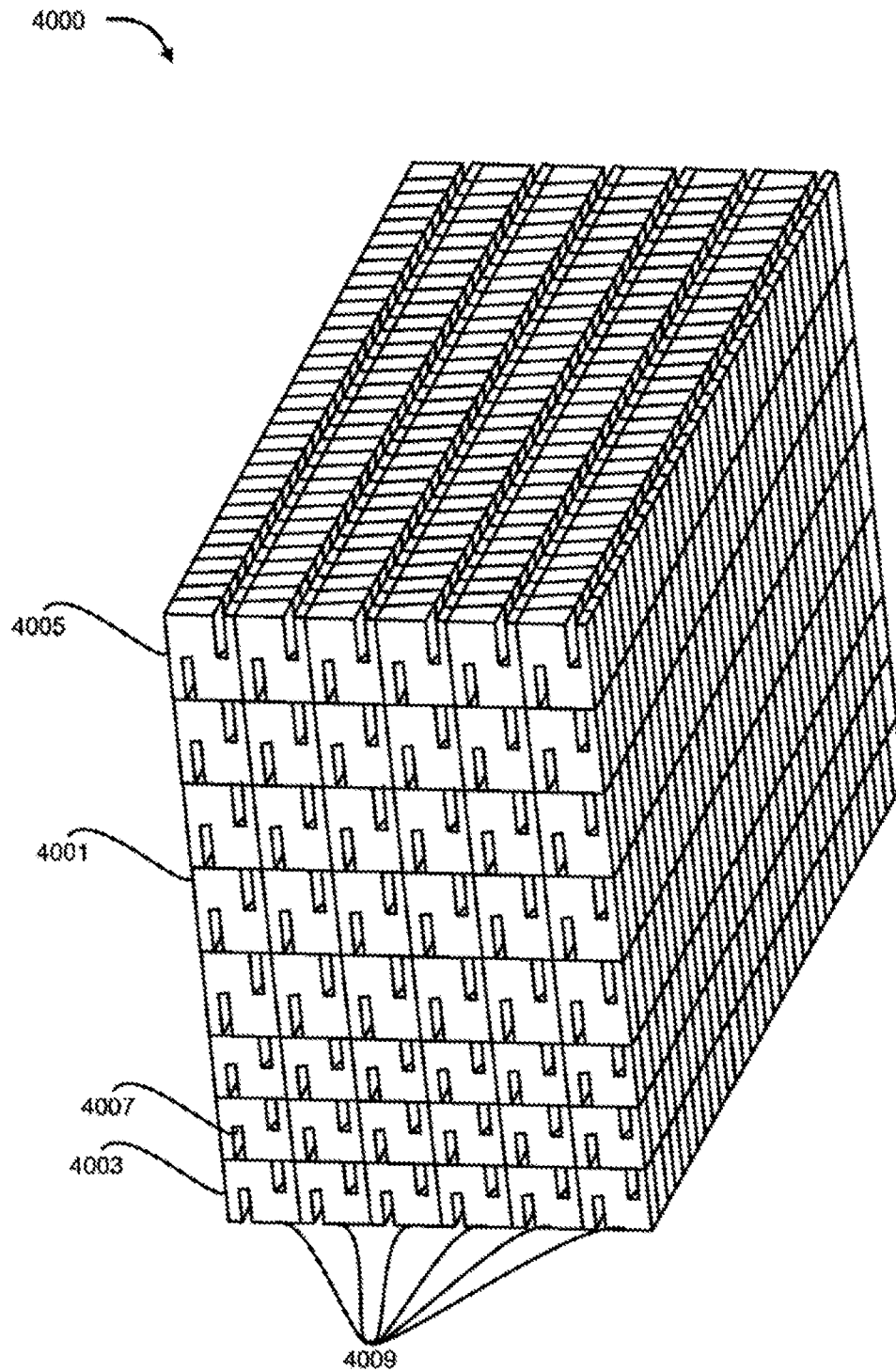


FIG. 52

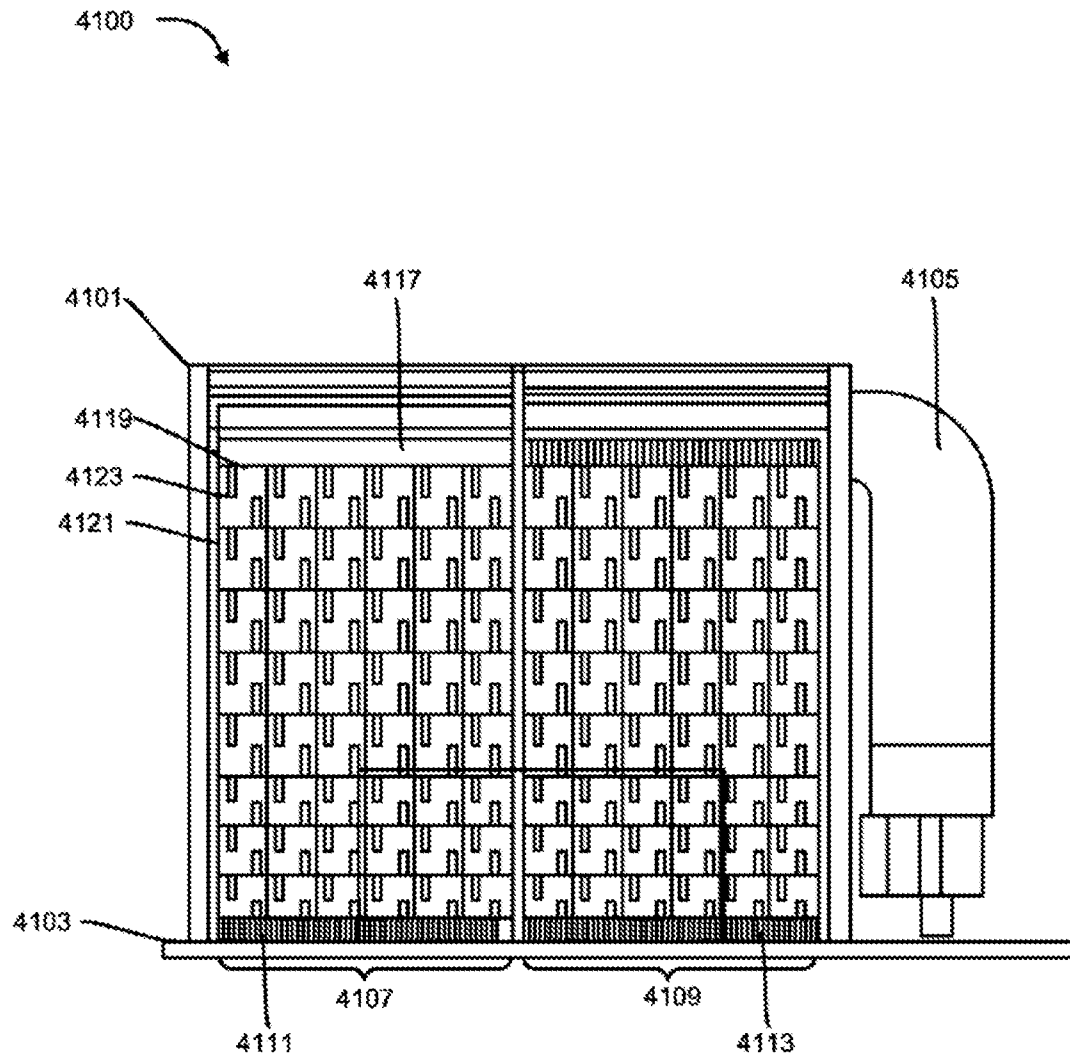


FIG. 53

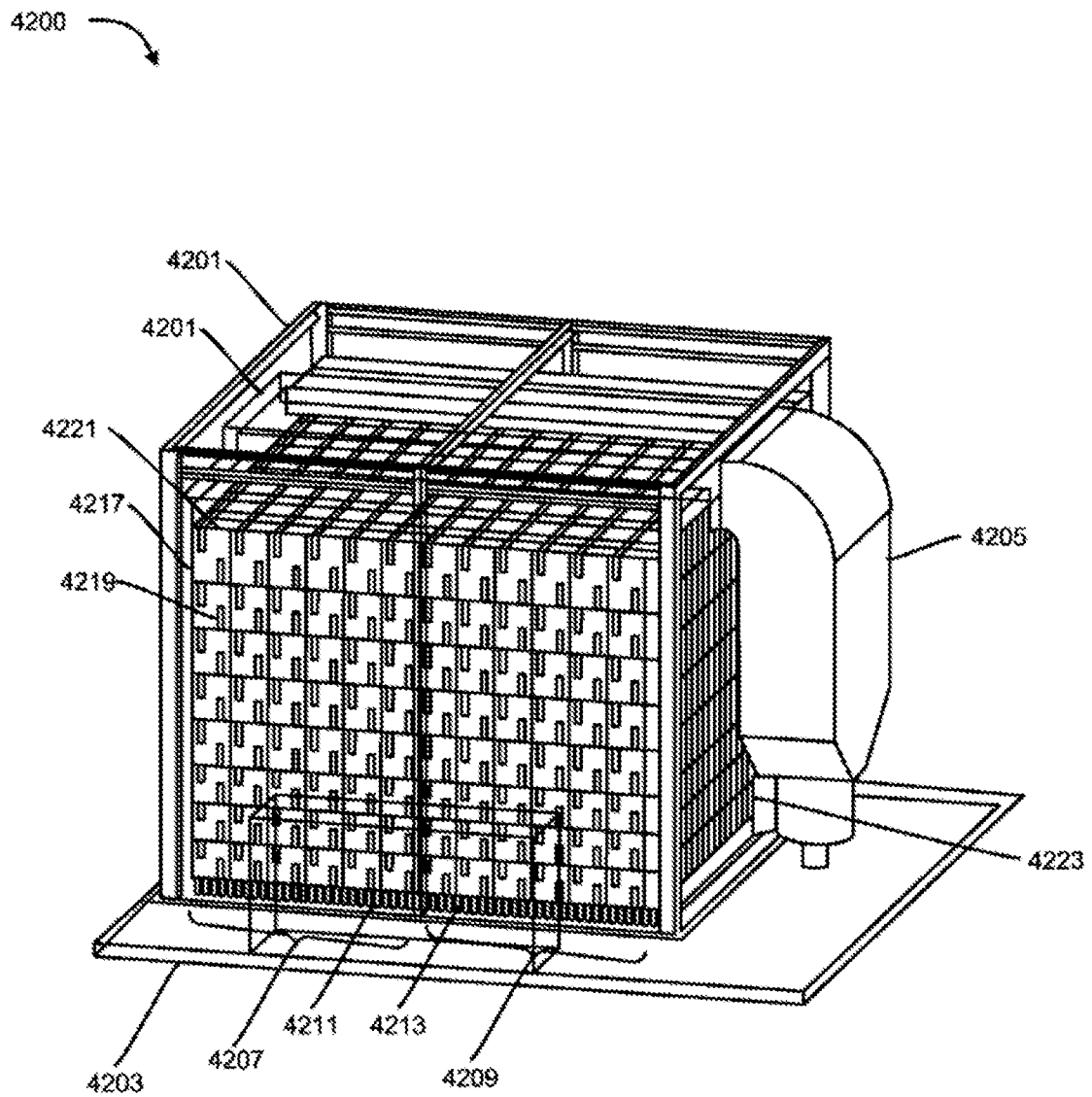


FIG. 54

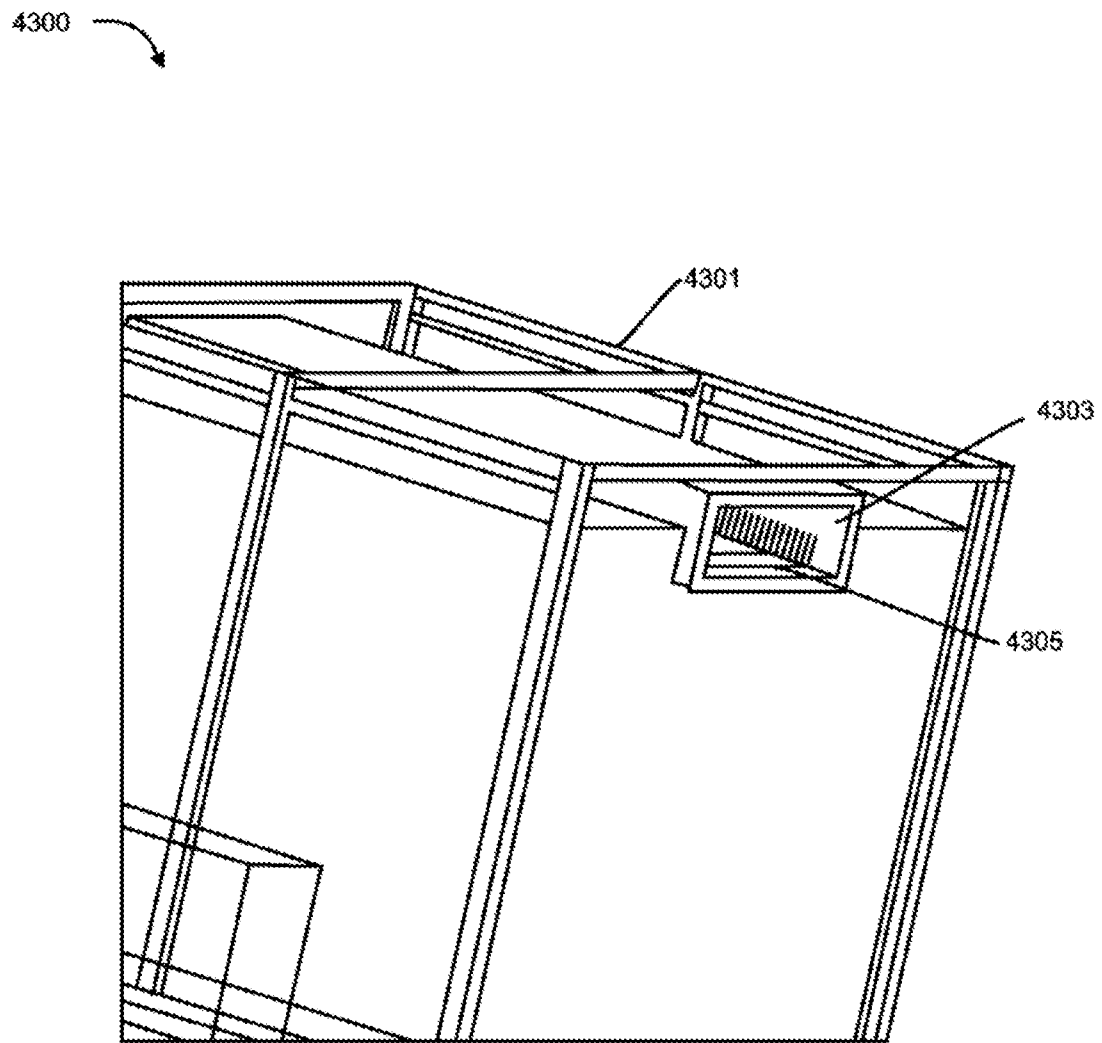


FIG. 55

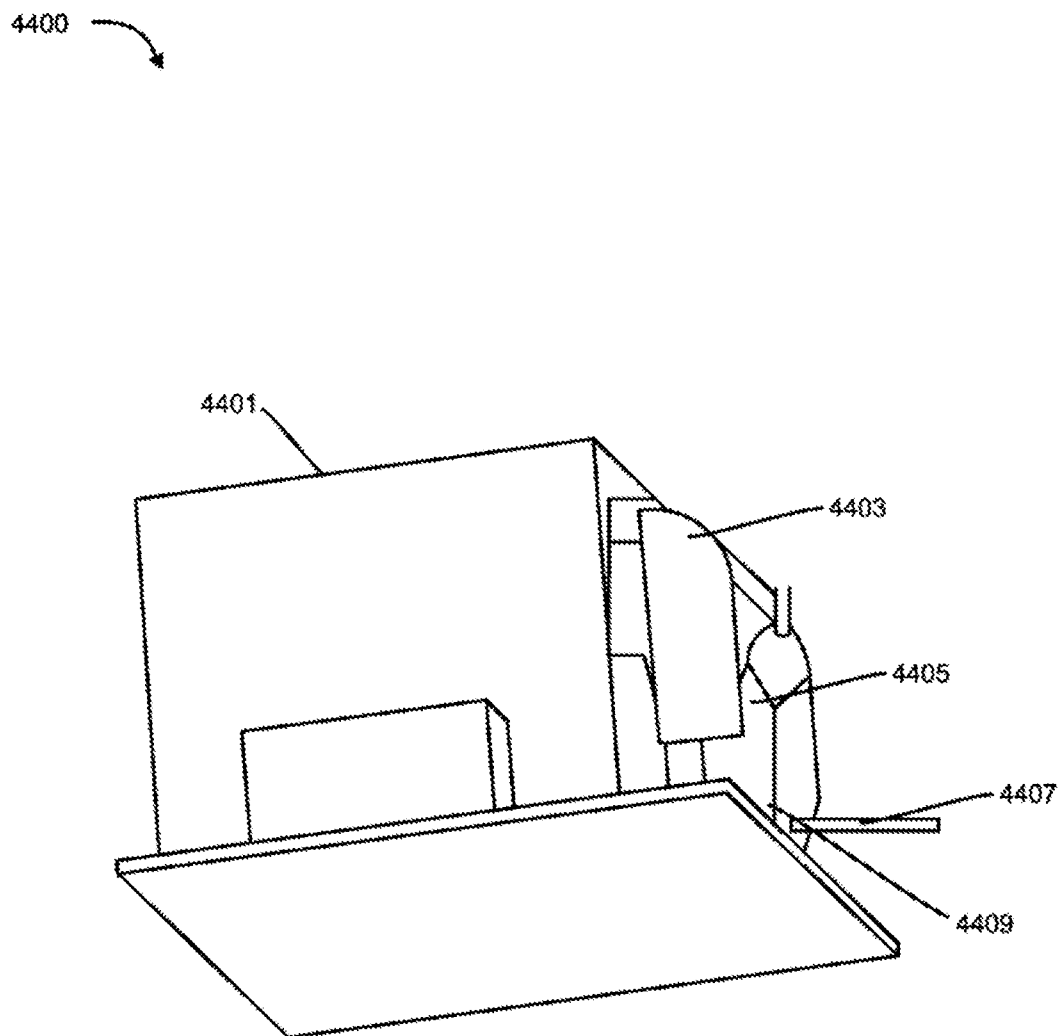


FIG. 56

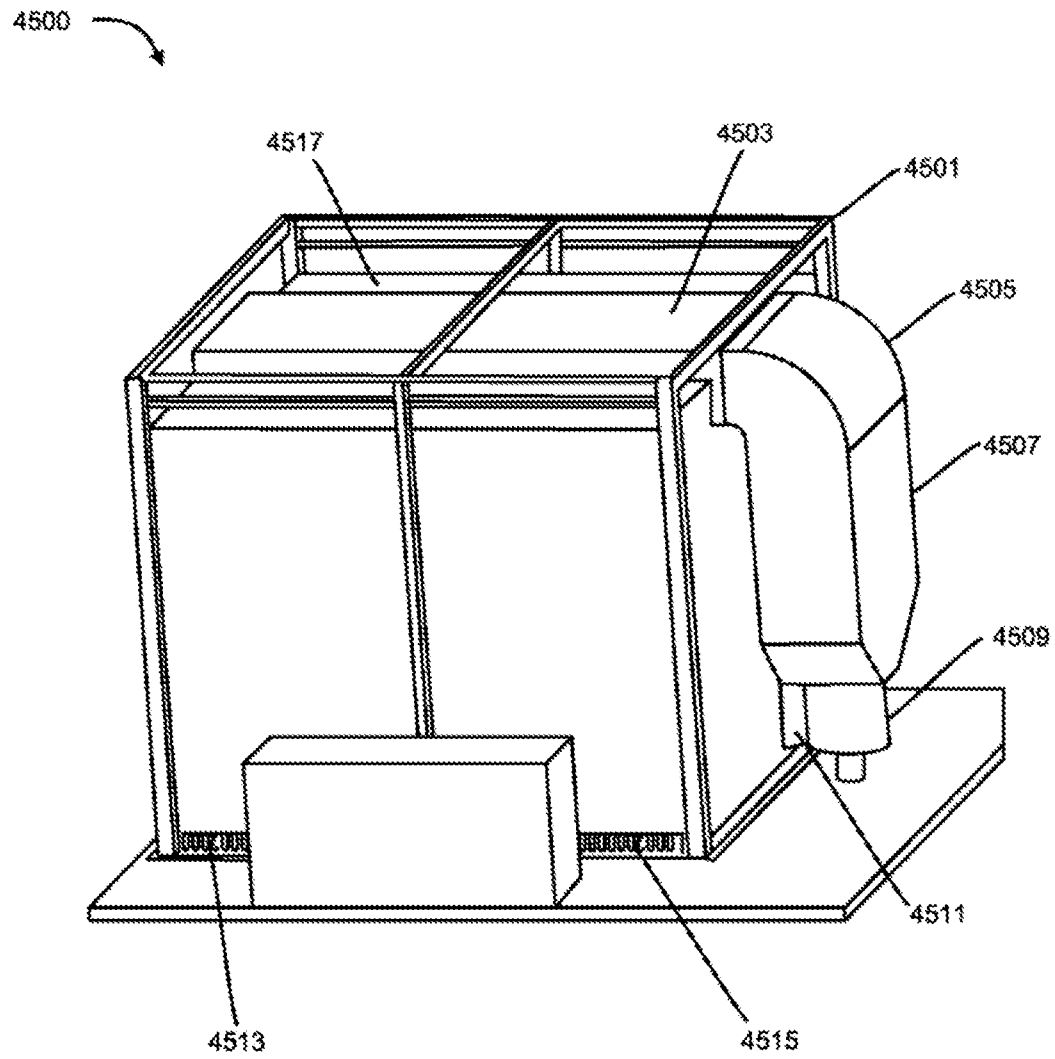


FIG. 57

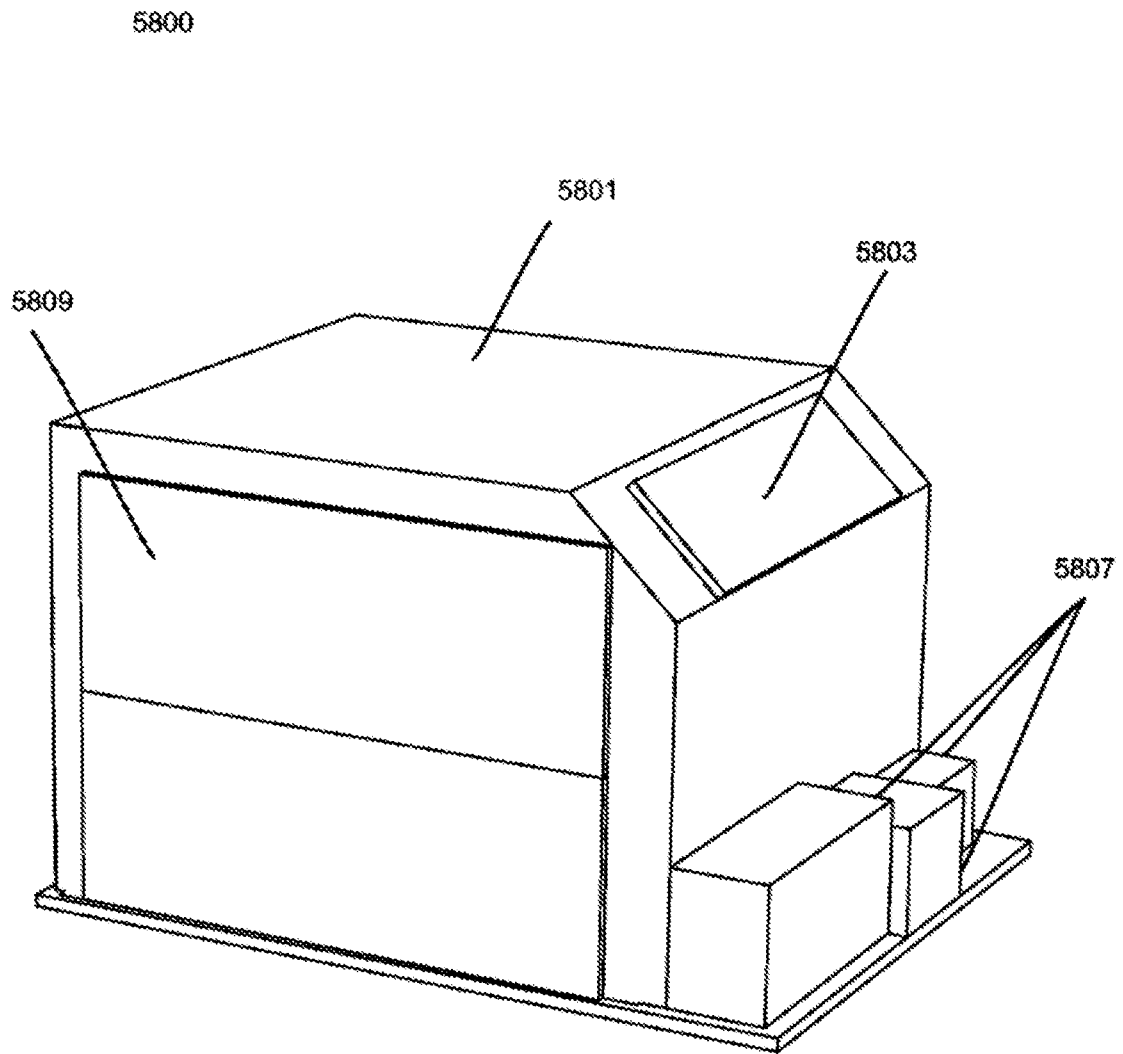


FIG. 58

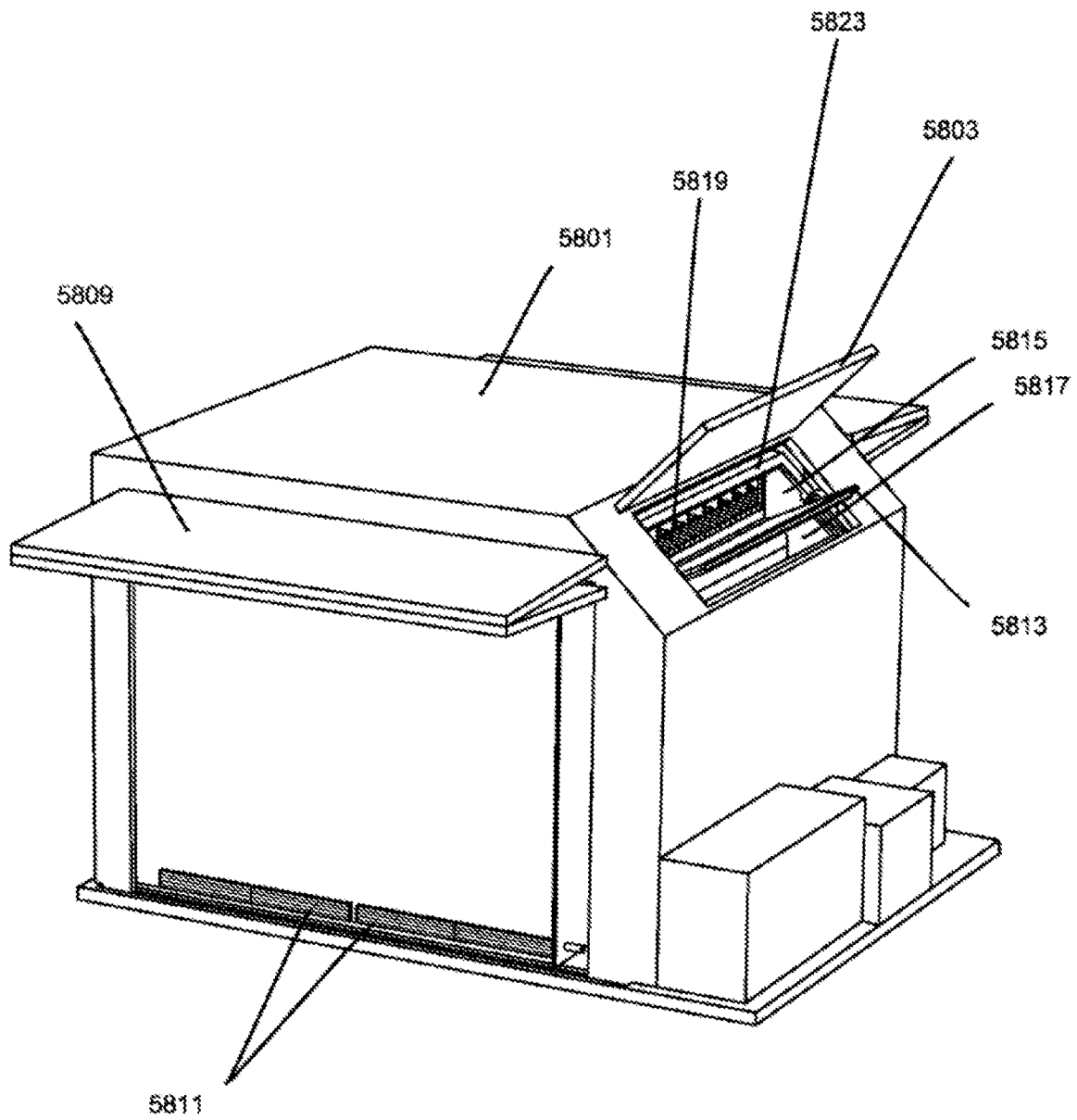


FIG. 59

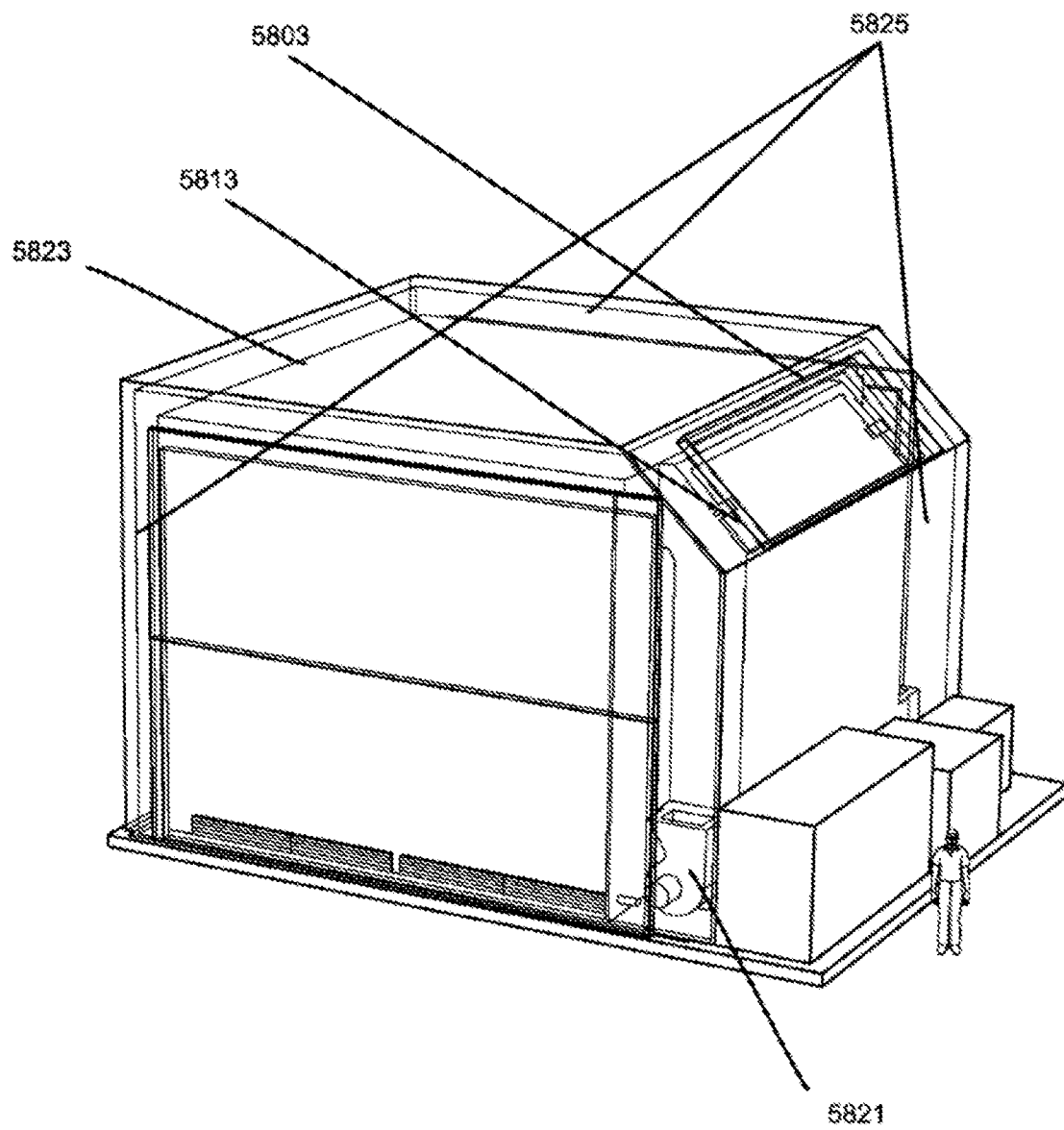


FIG. 60

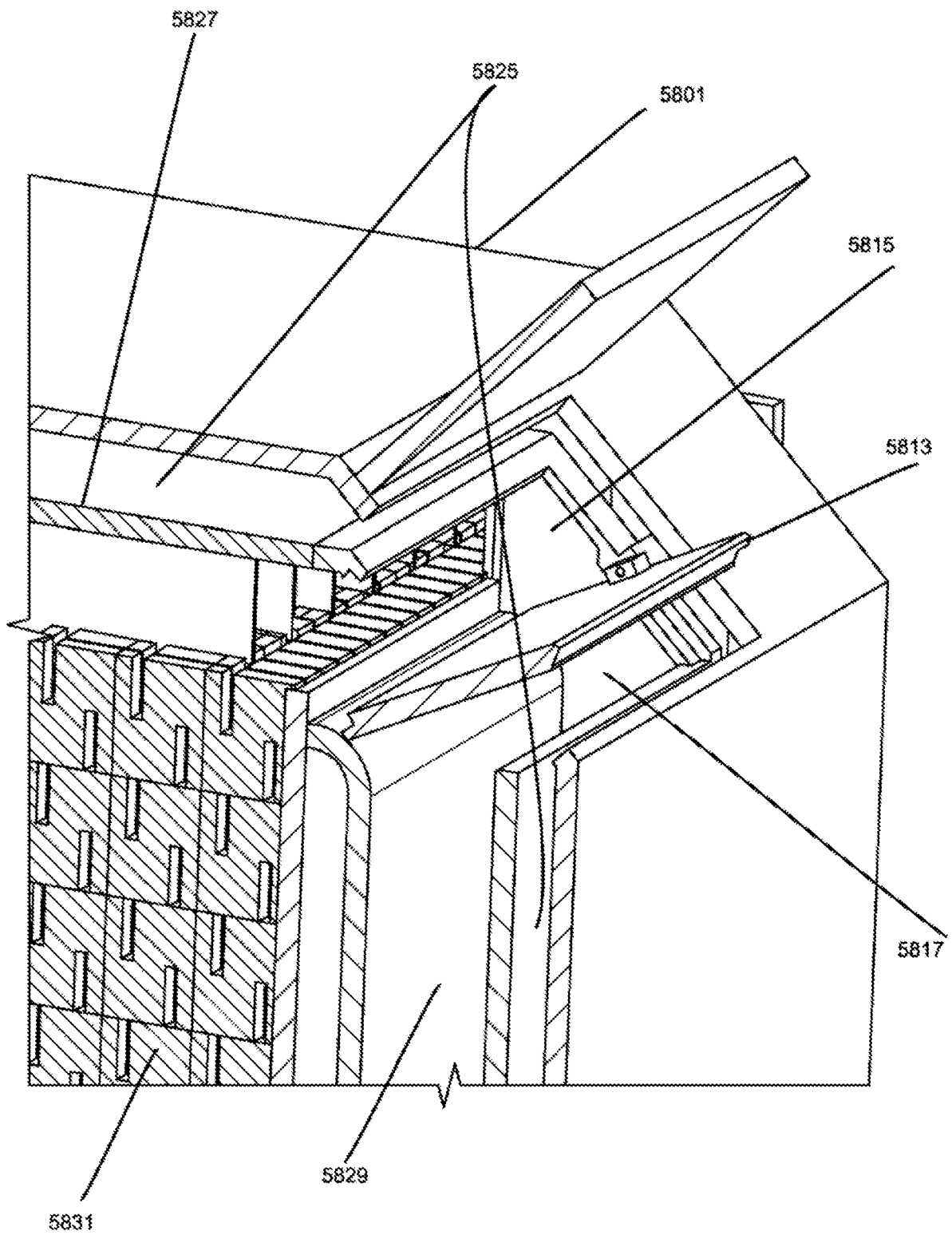
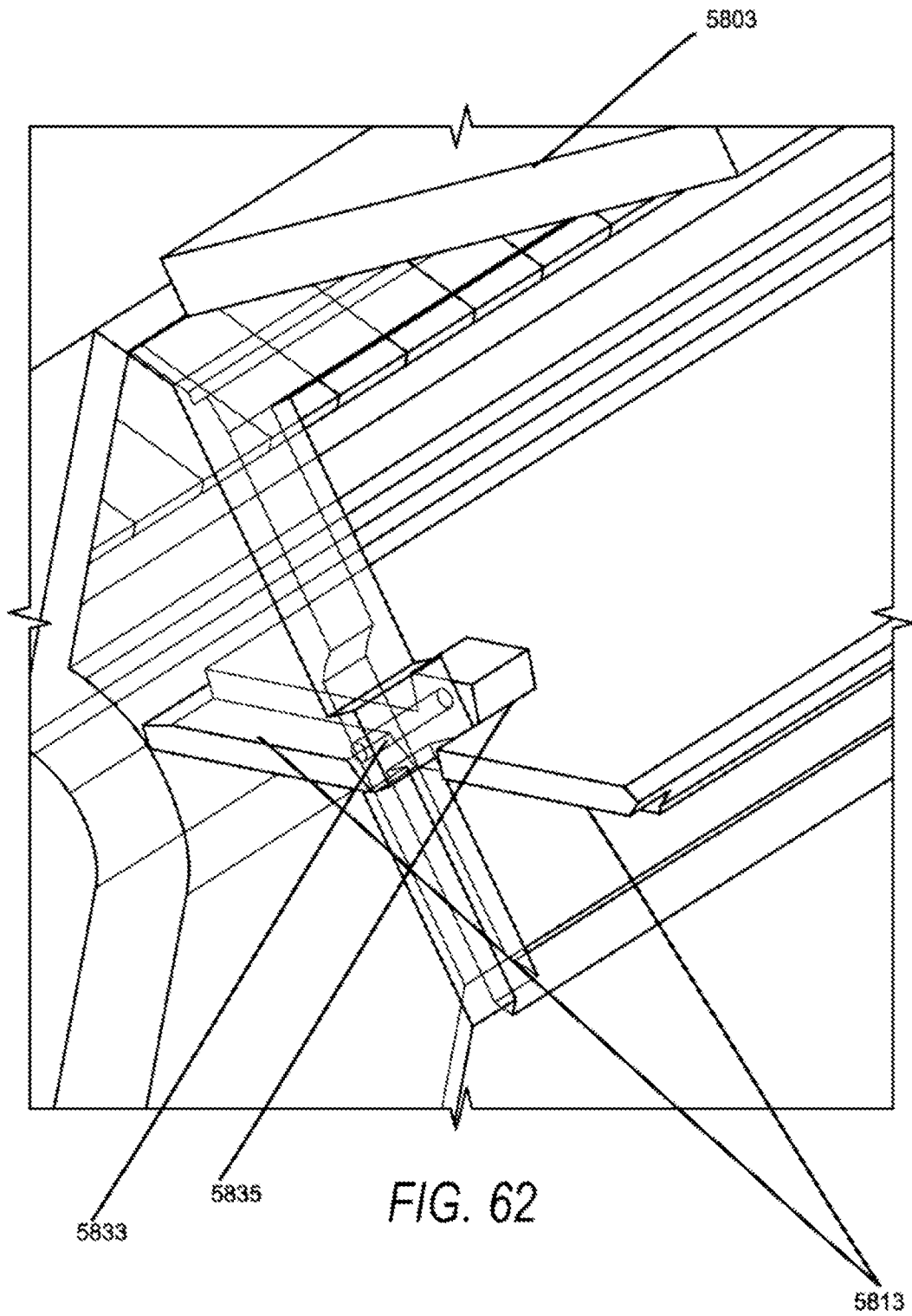


FIG. 61



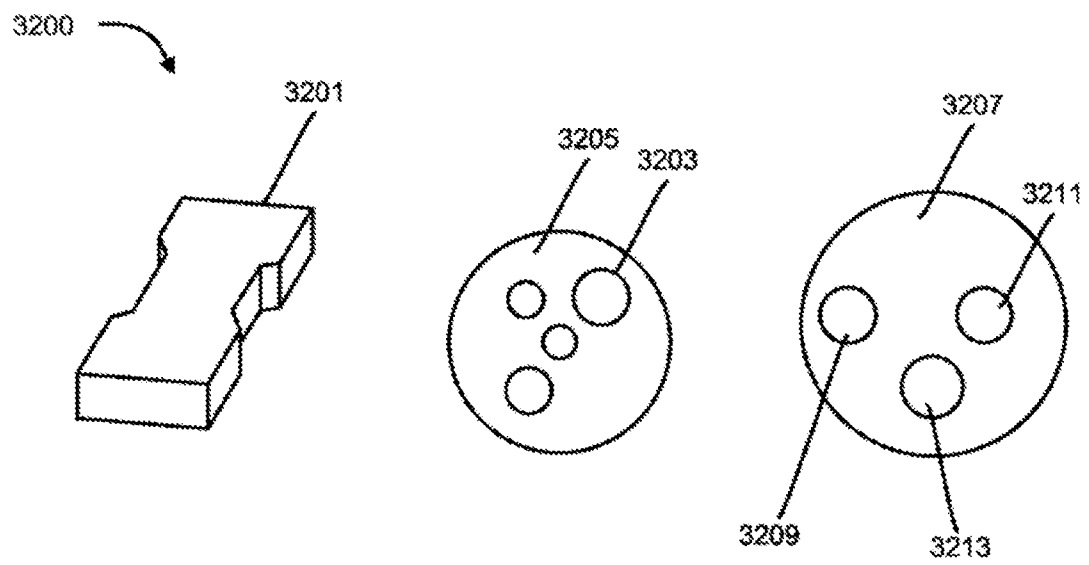


FIG. 63

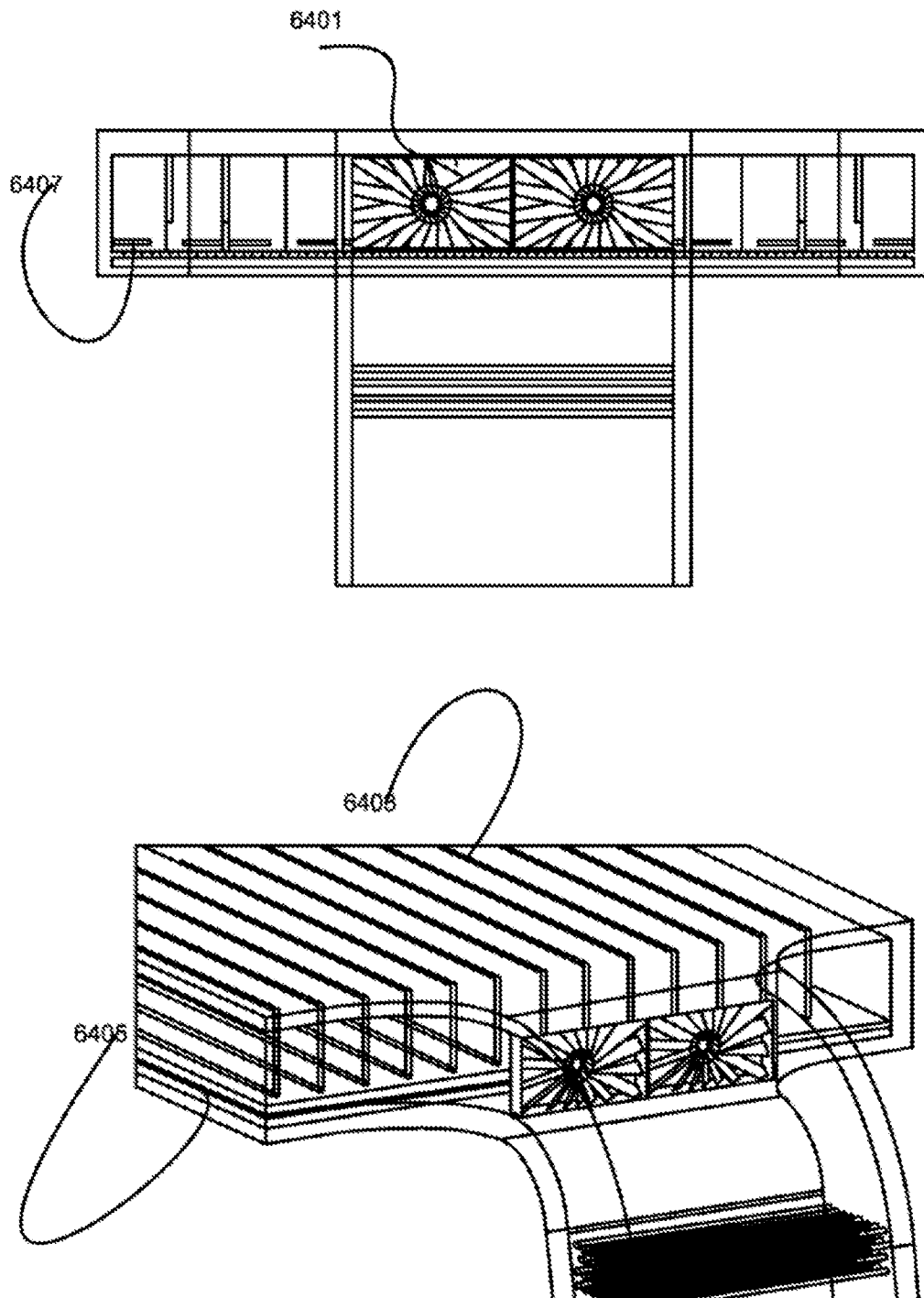


FIG. 64

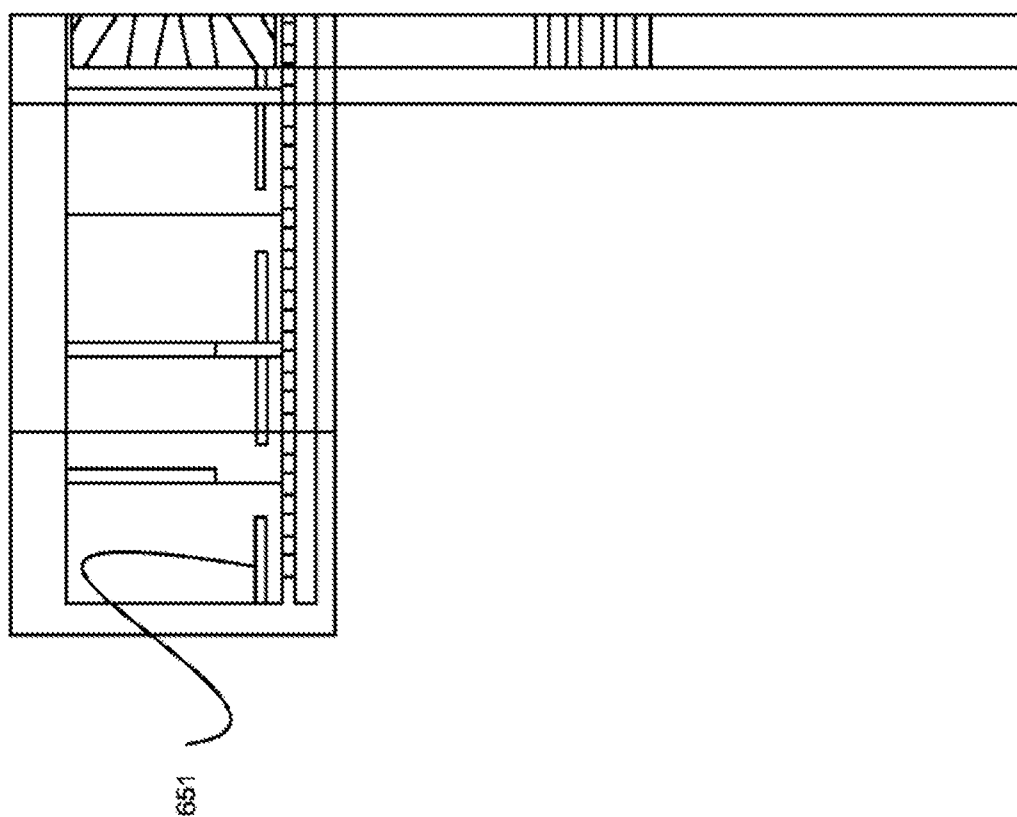


FIG. 65

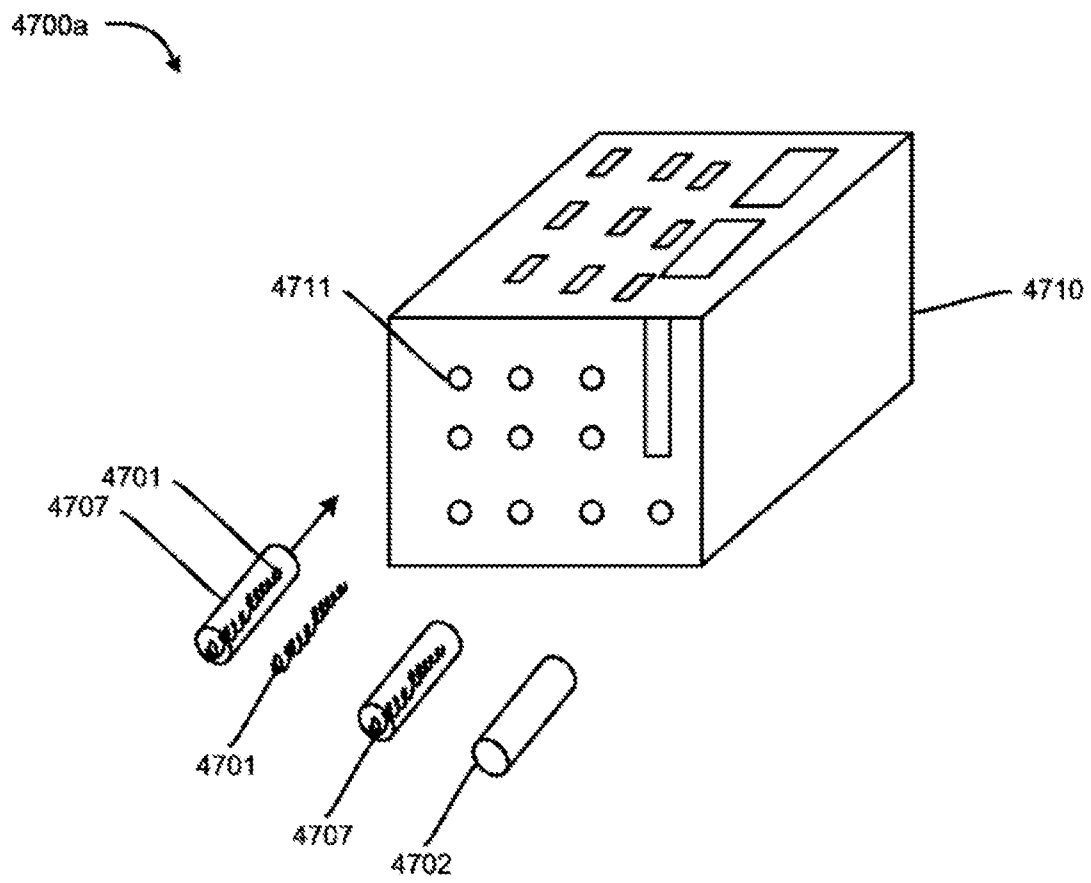


FIG. 66(A)

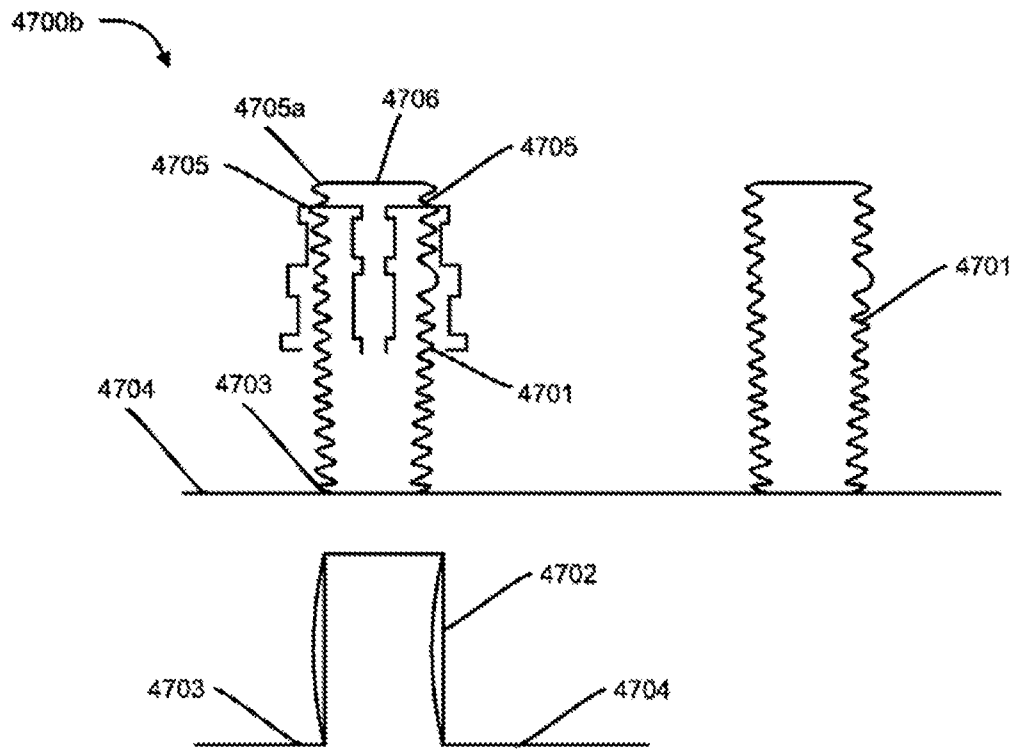


FIG. 66(B)

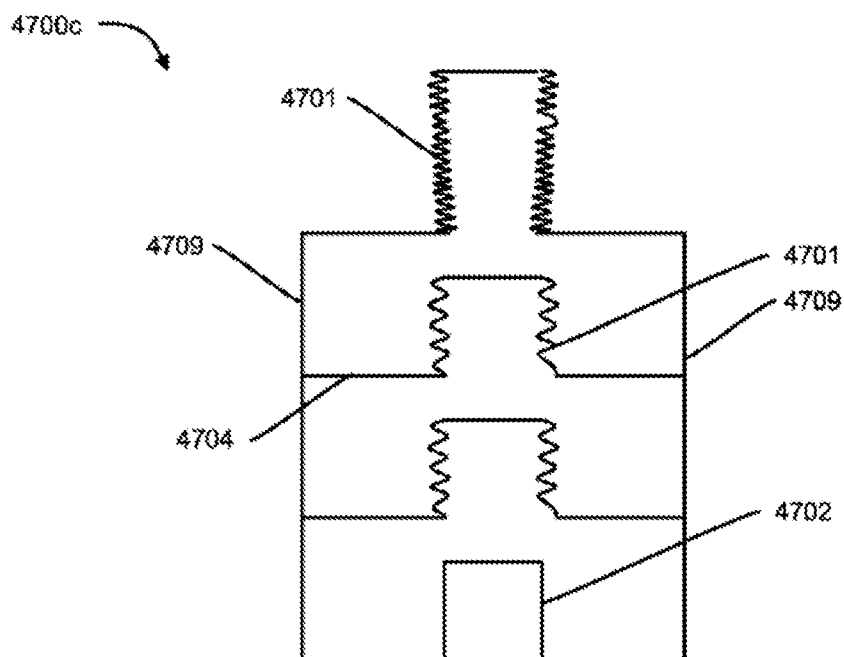


FIG. 66(C)

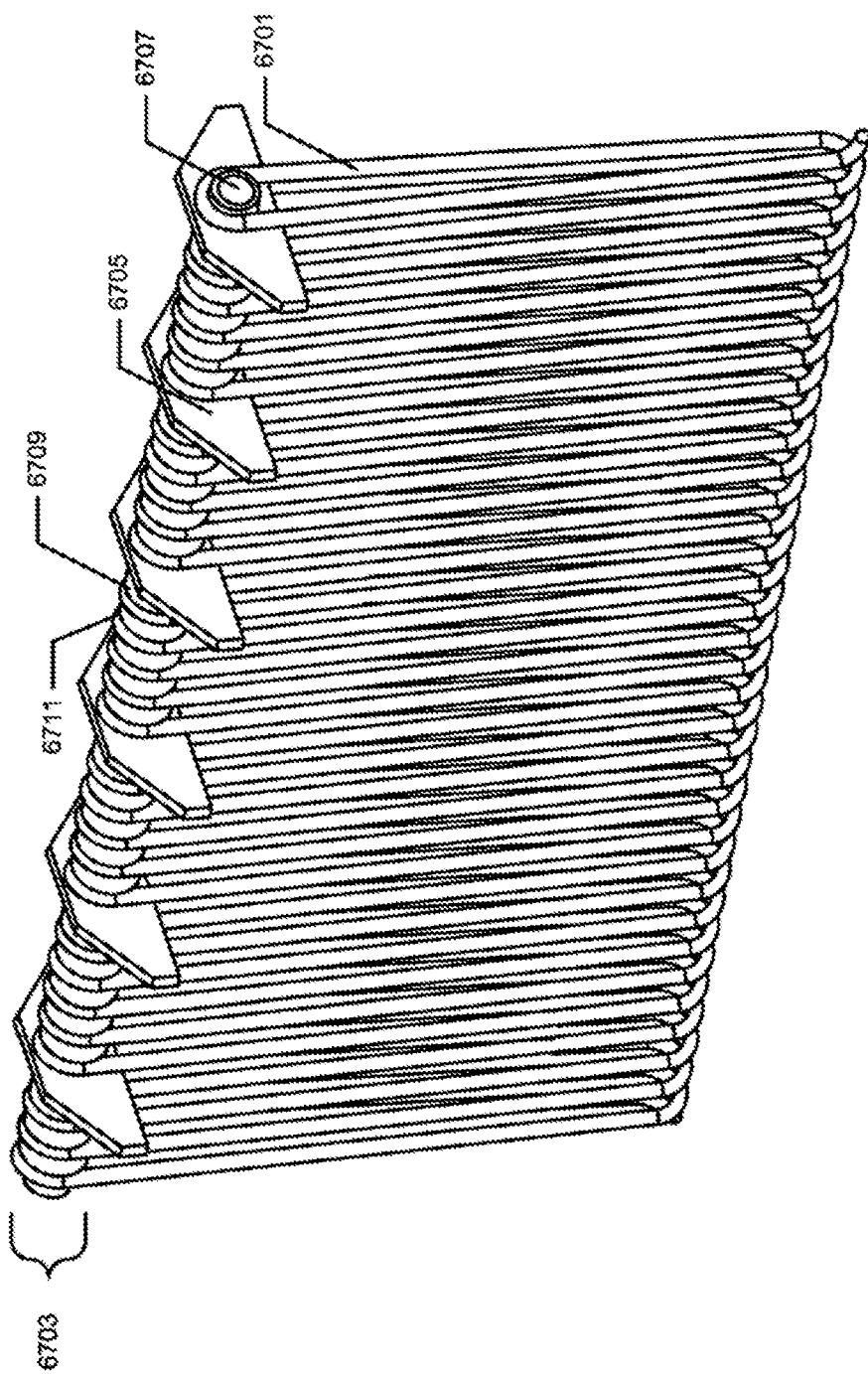


FIG. 67

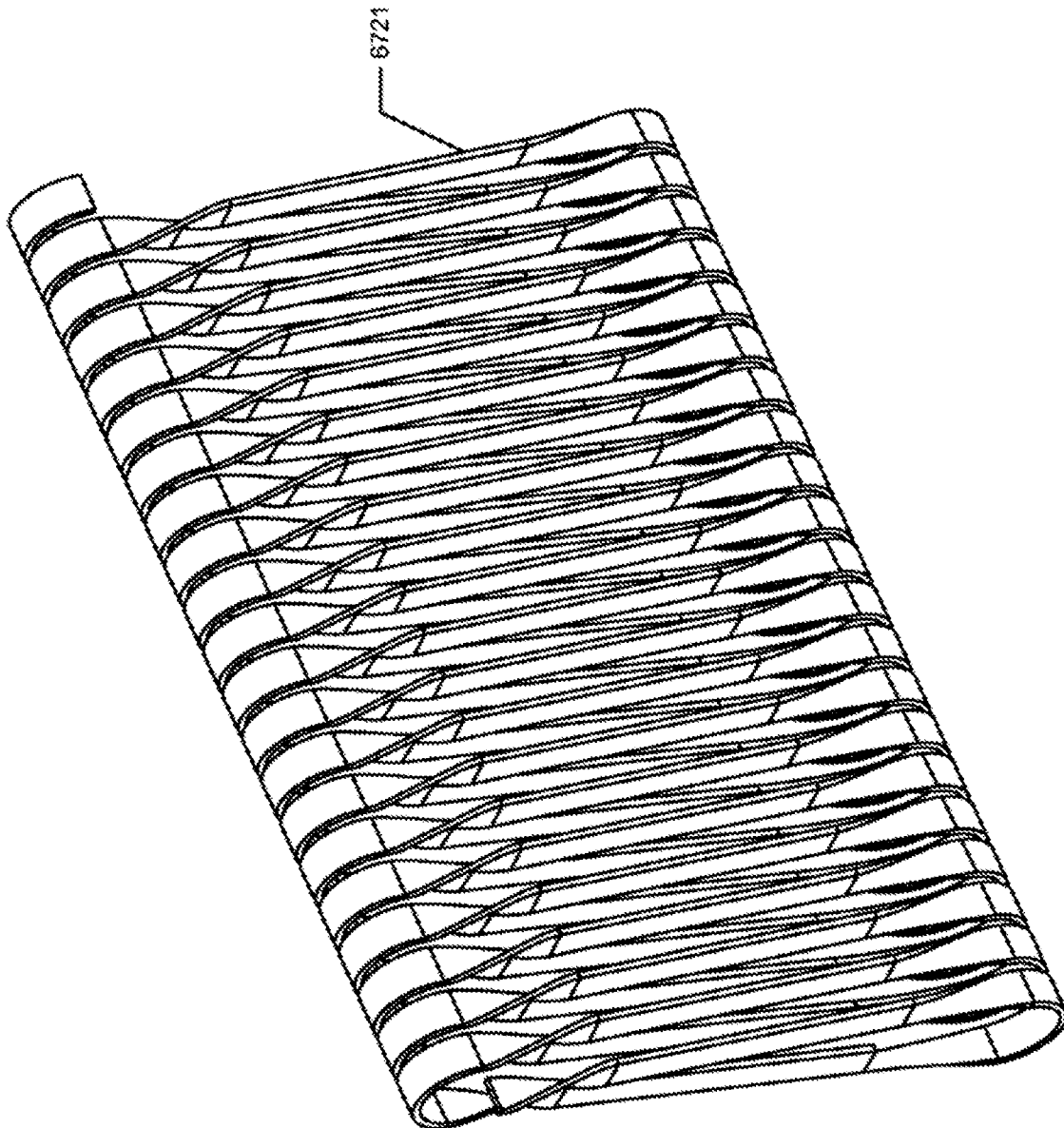


FIG. 68

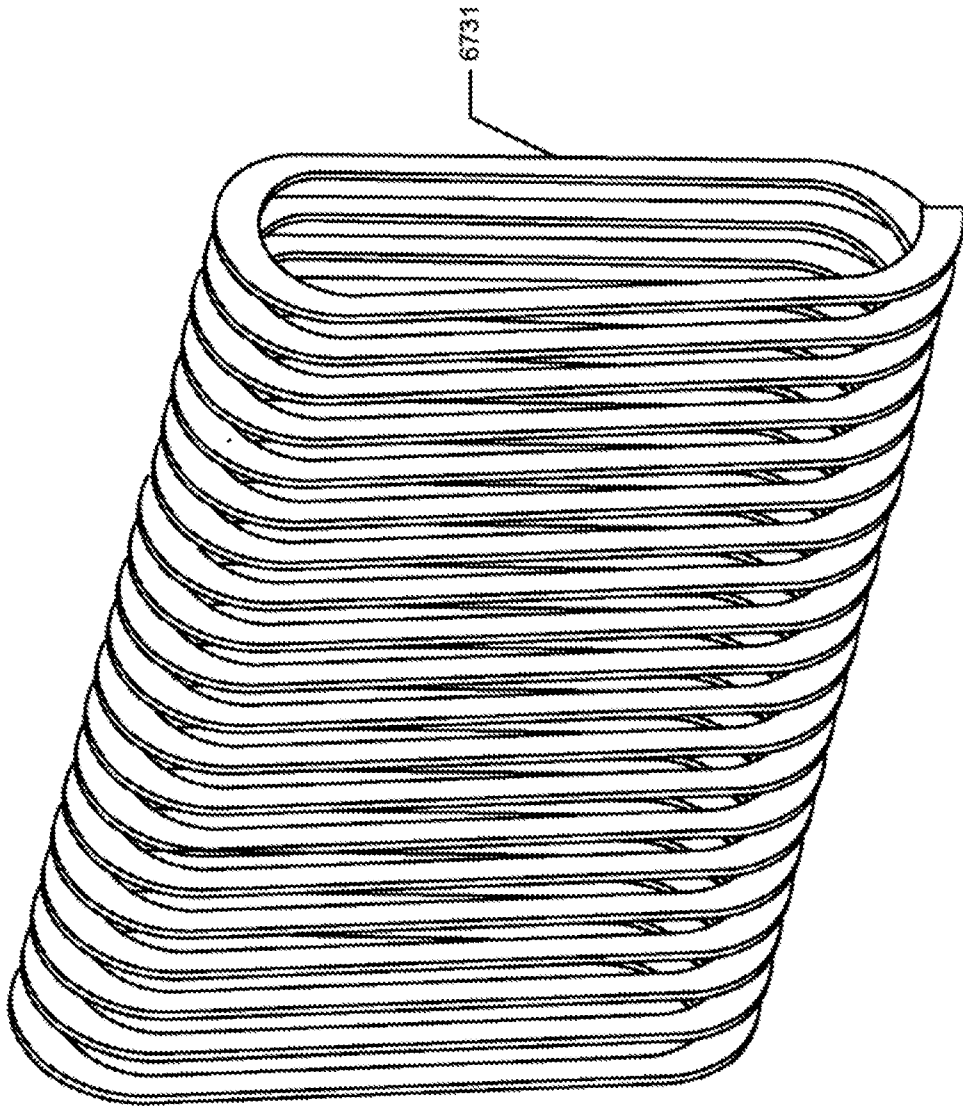


FIG. 69

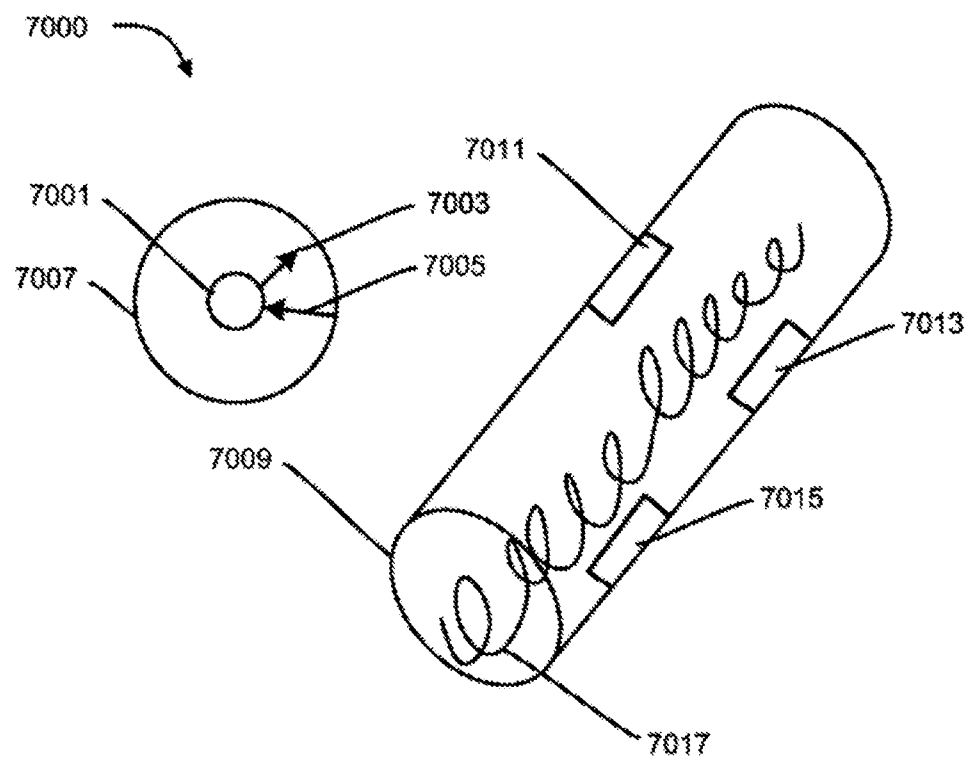


FIG. 70

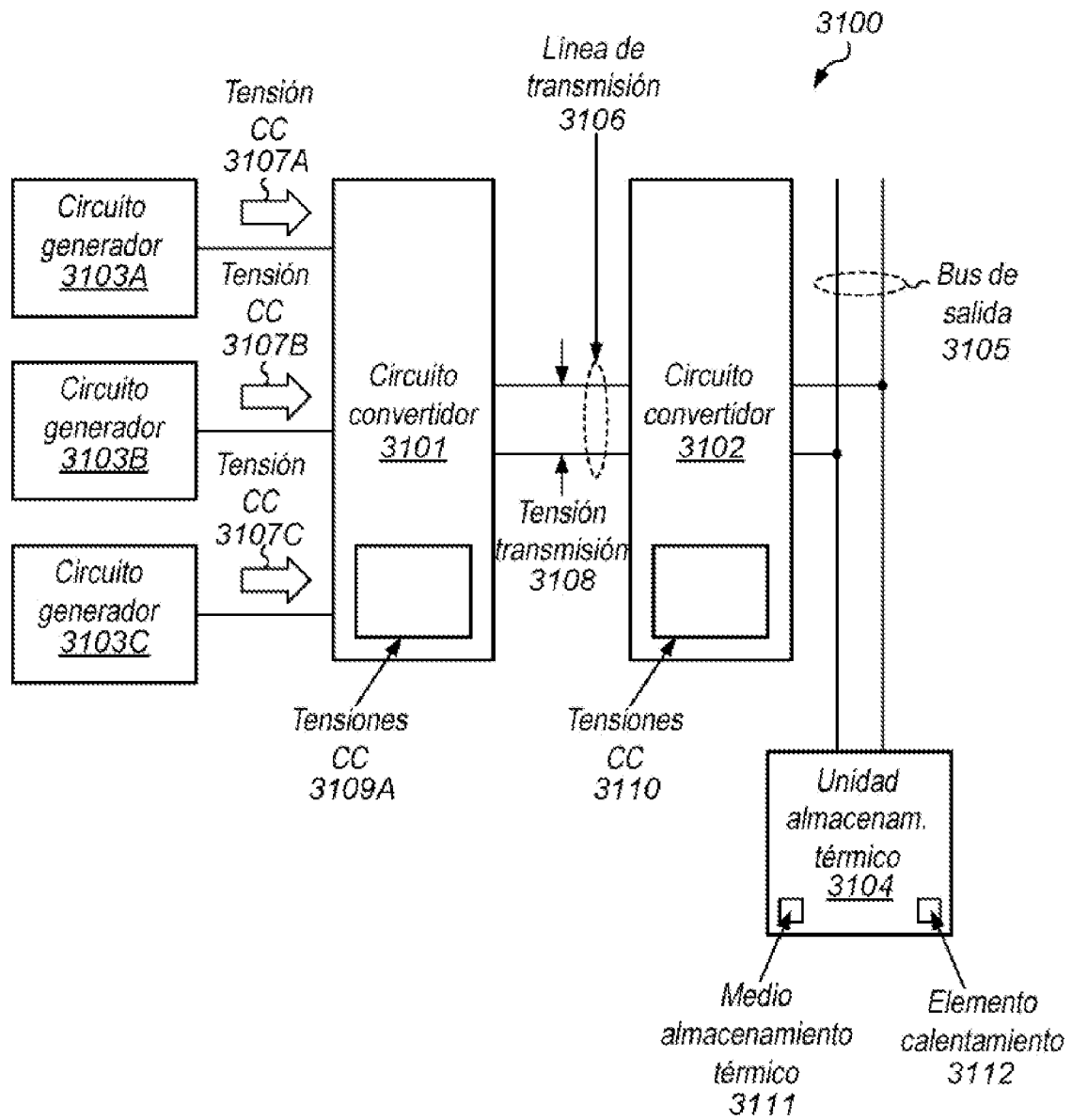


FIG. 71

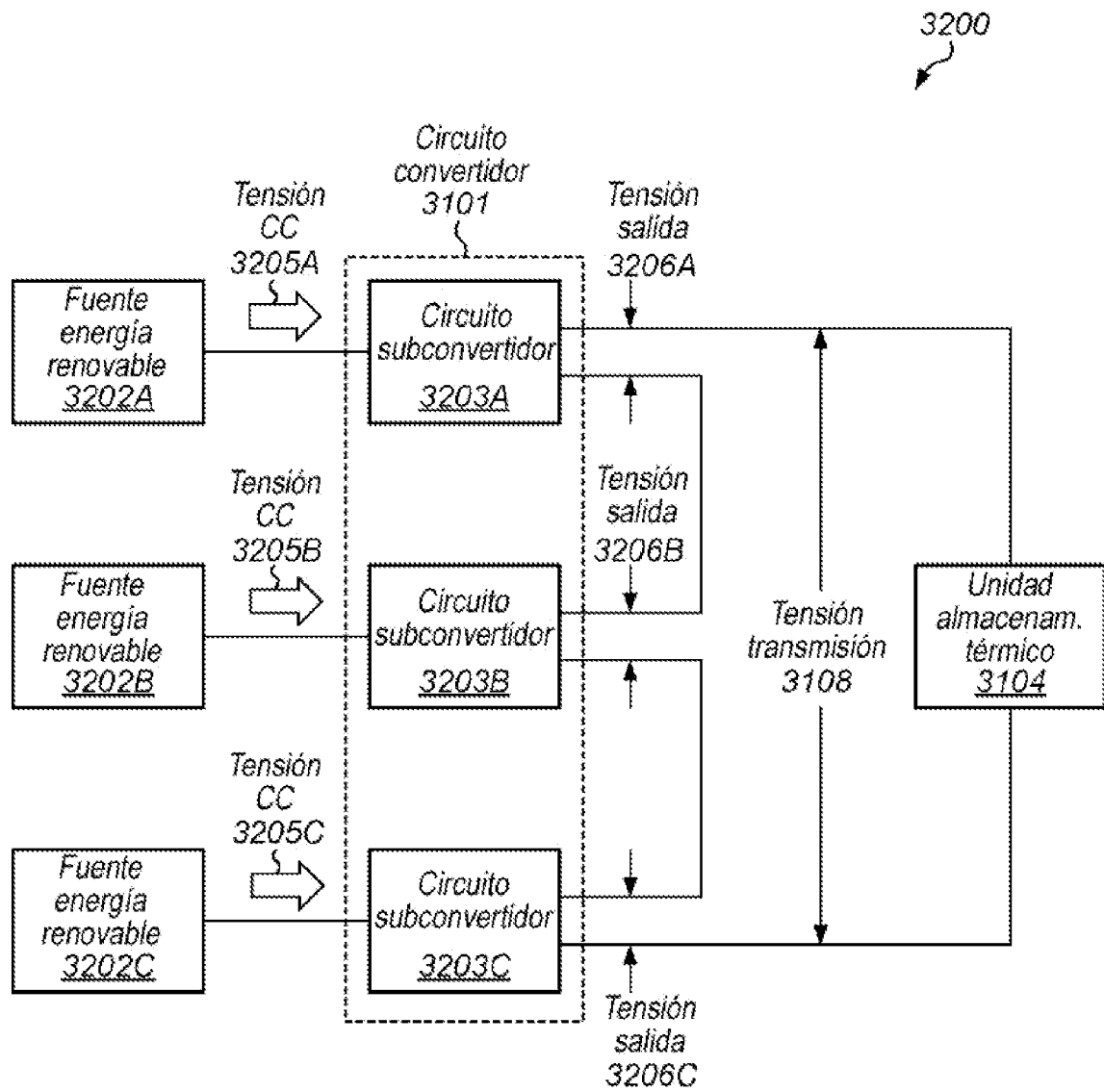
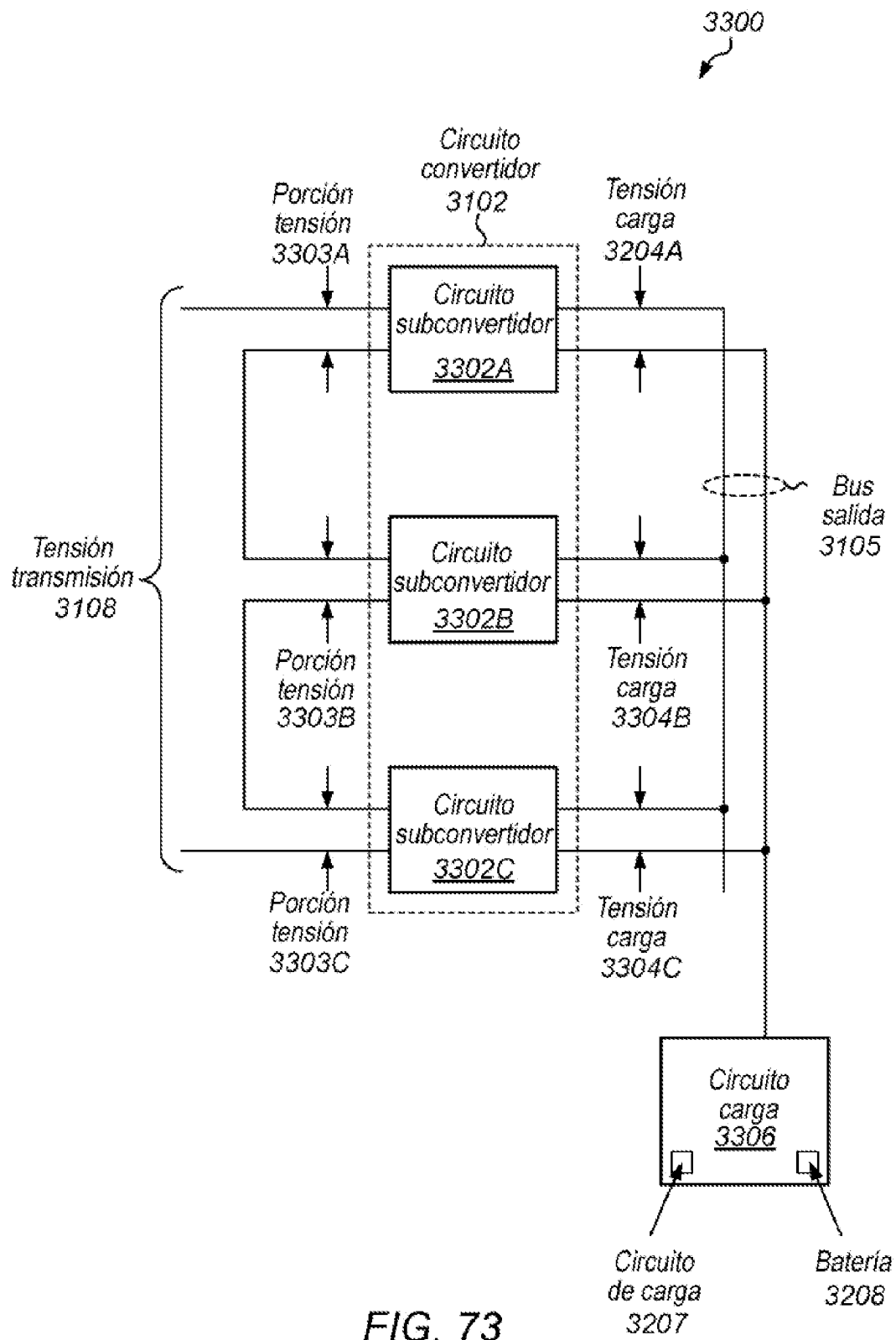


FIG. 72



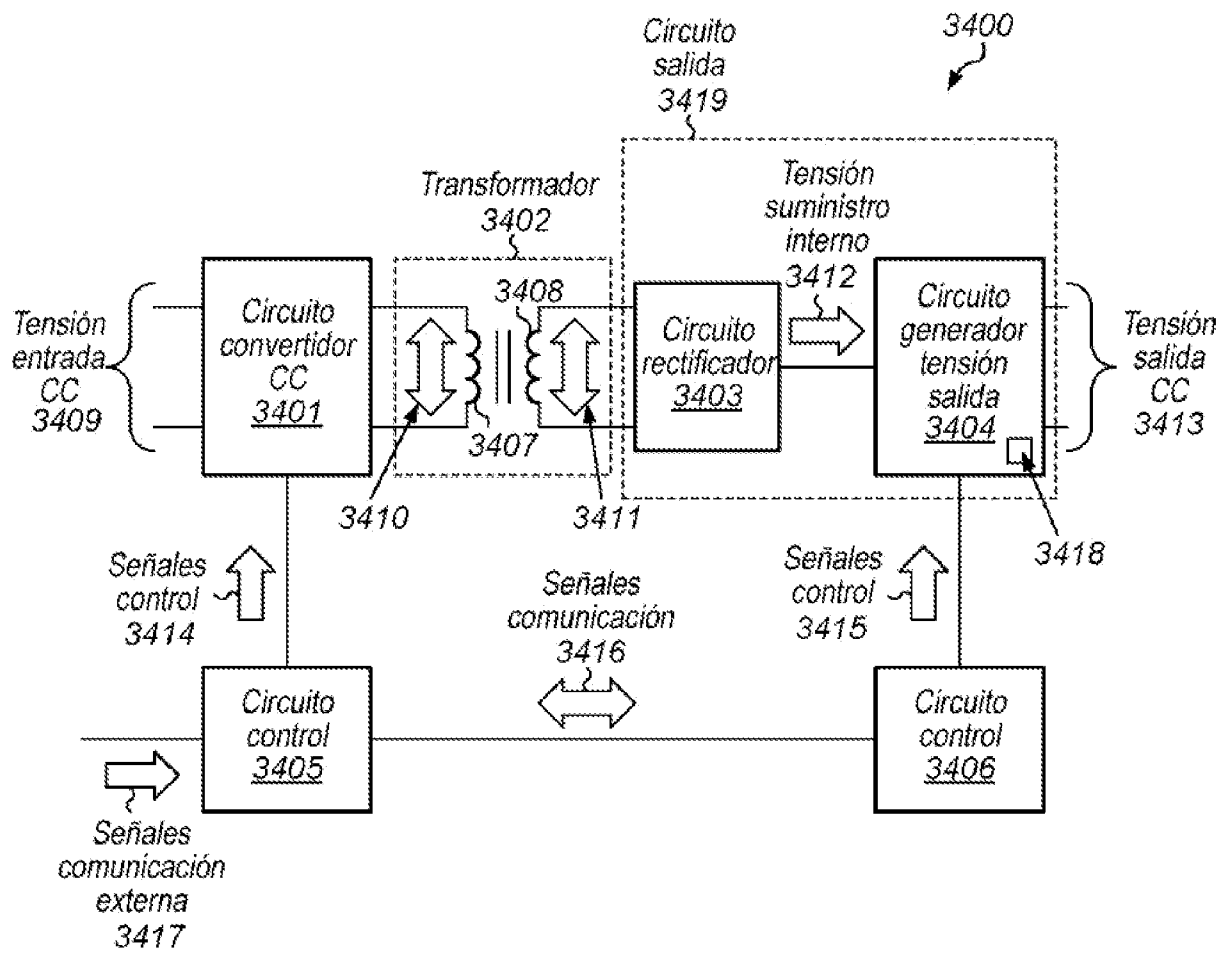


FIG. 74

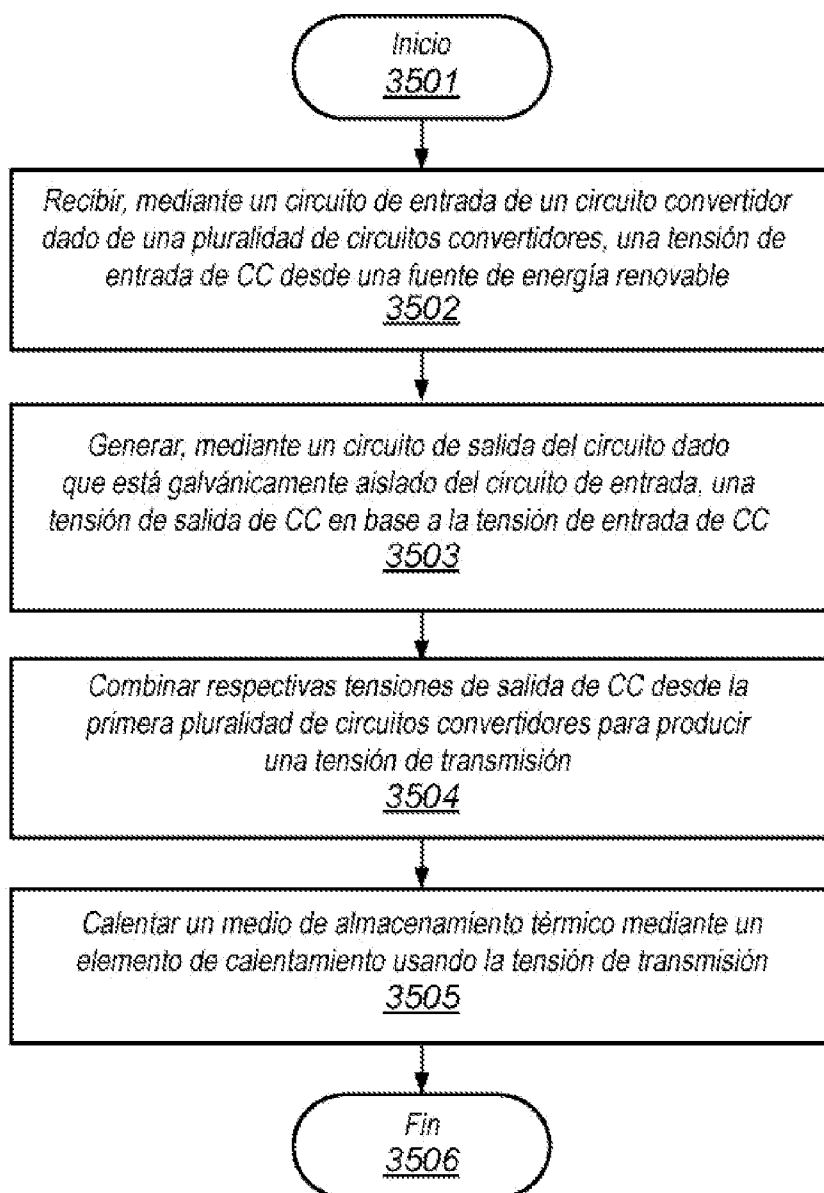


FIG. 75

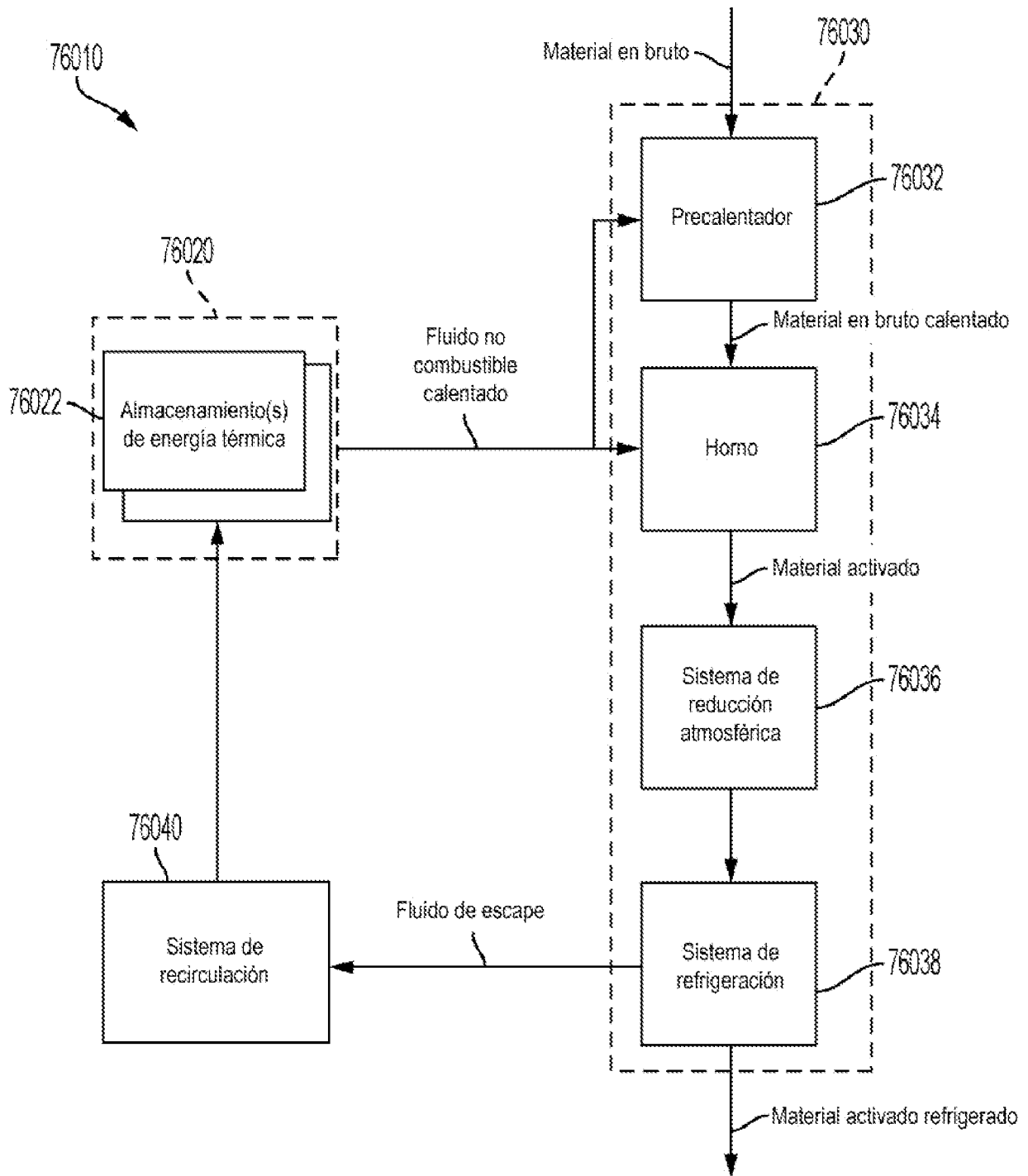


FIG. 76

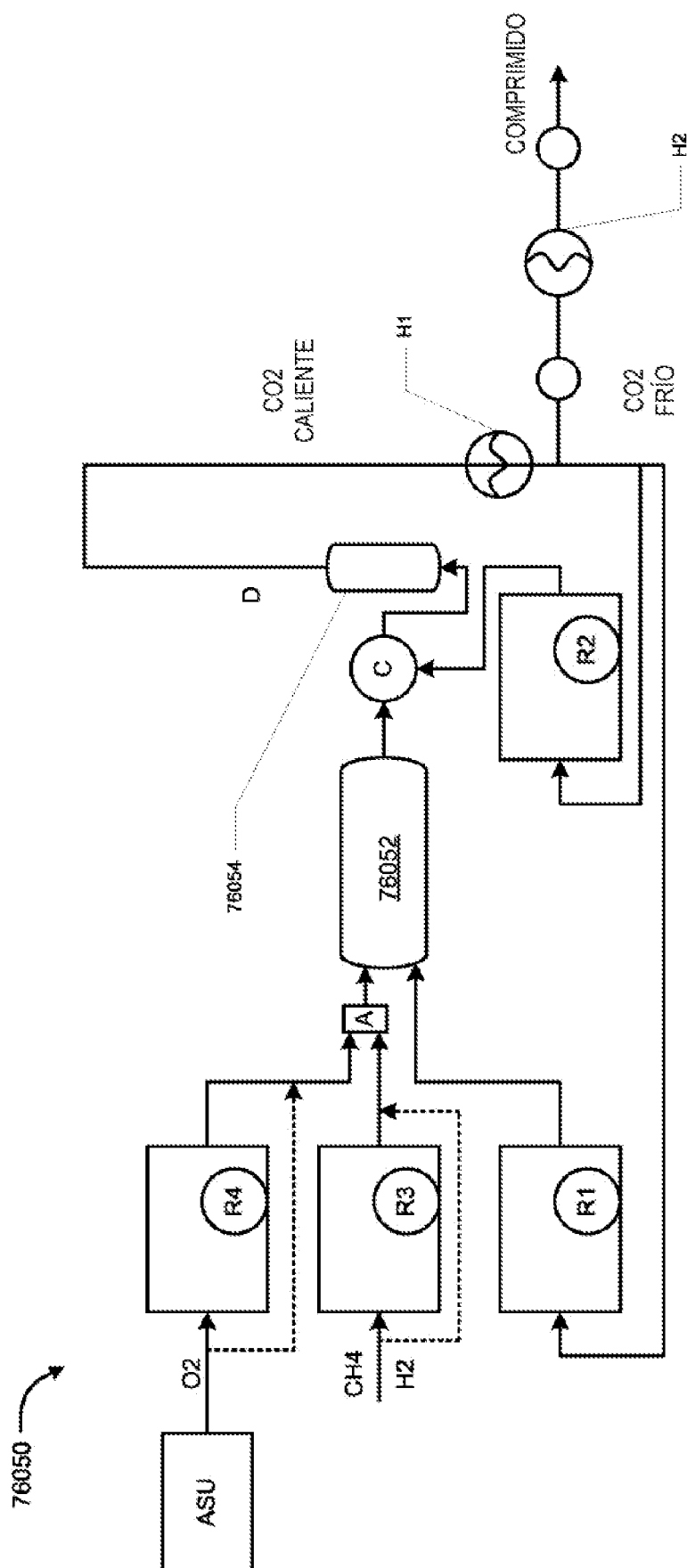


FIG. 77

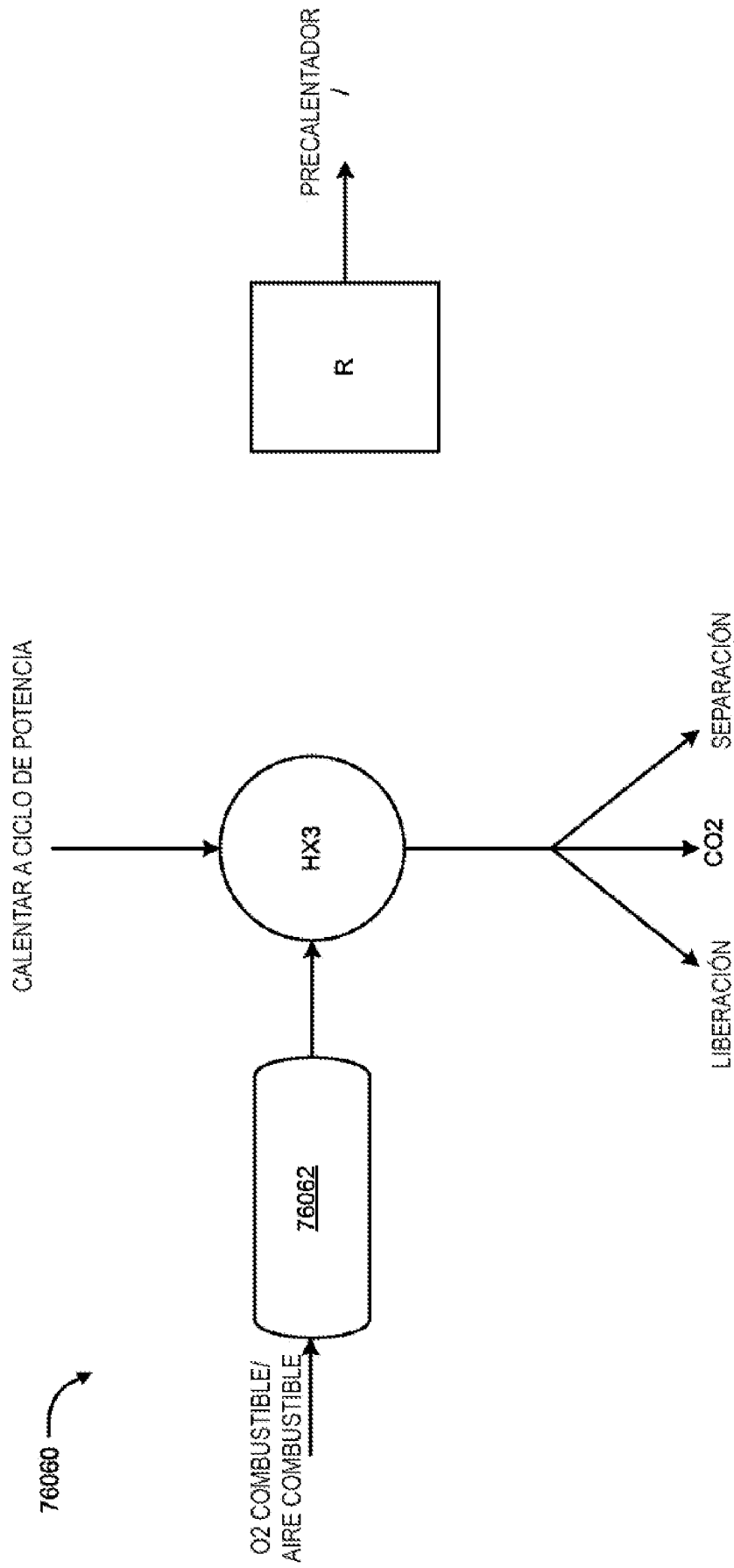


FIG. 78

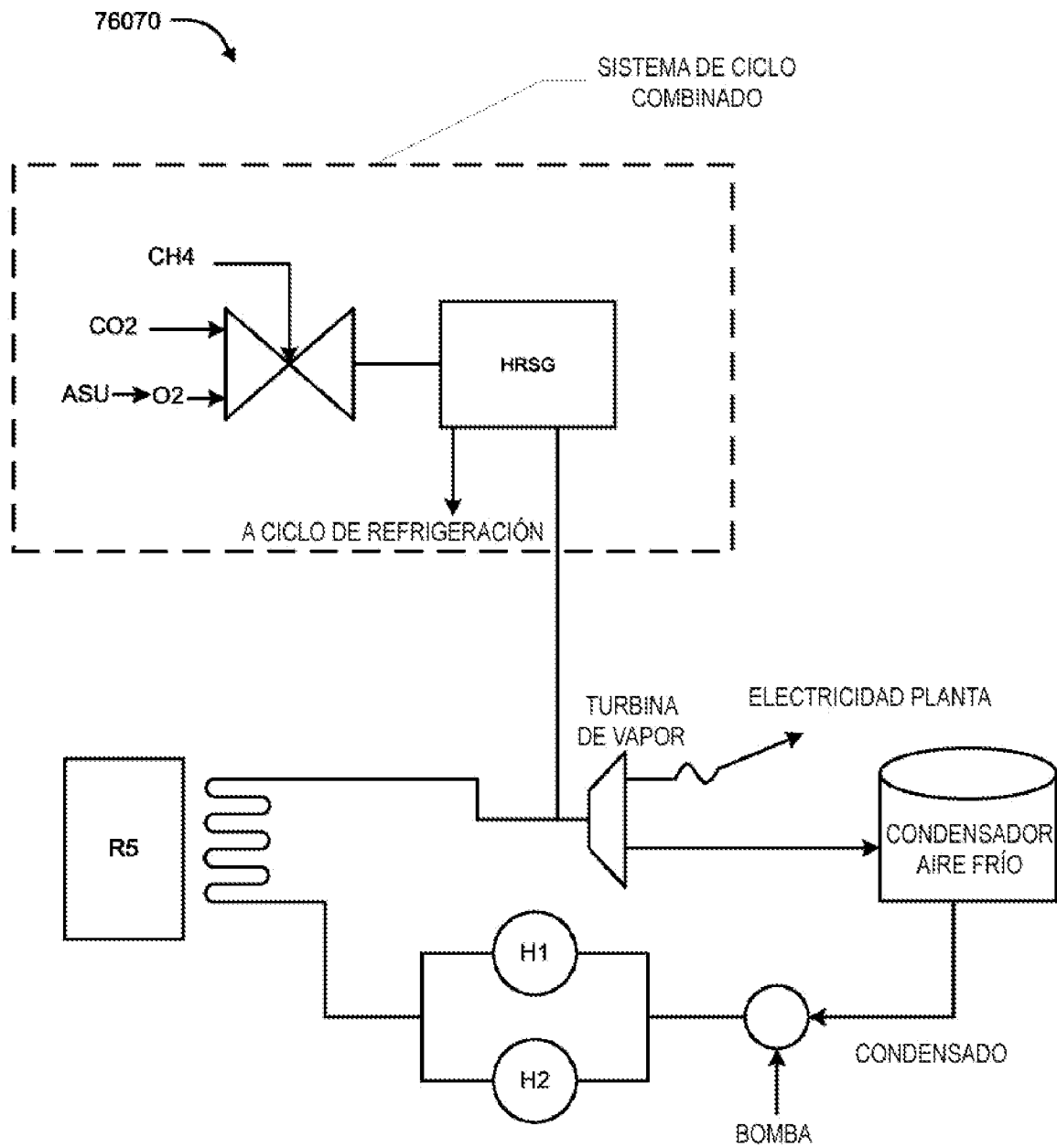


FIG. 79

76080 →

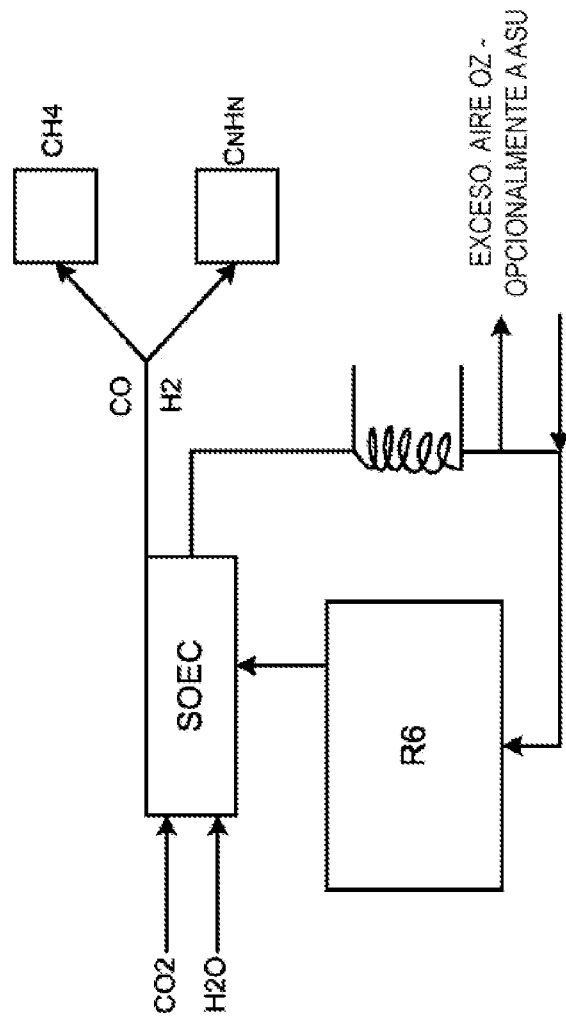


FIG. 80

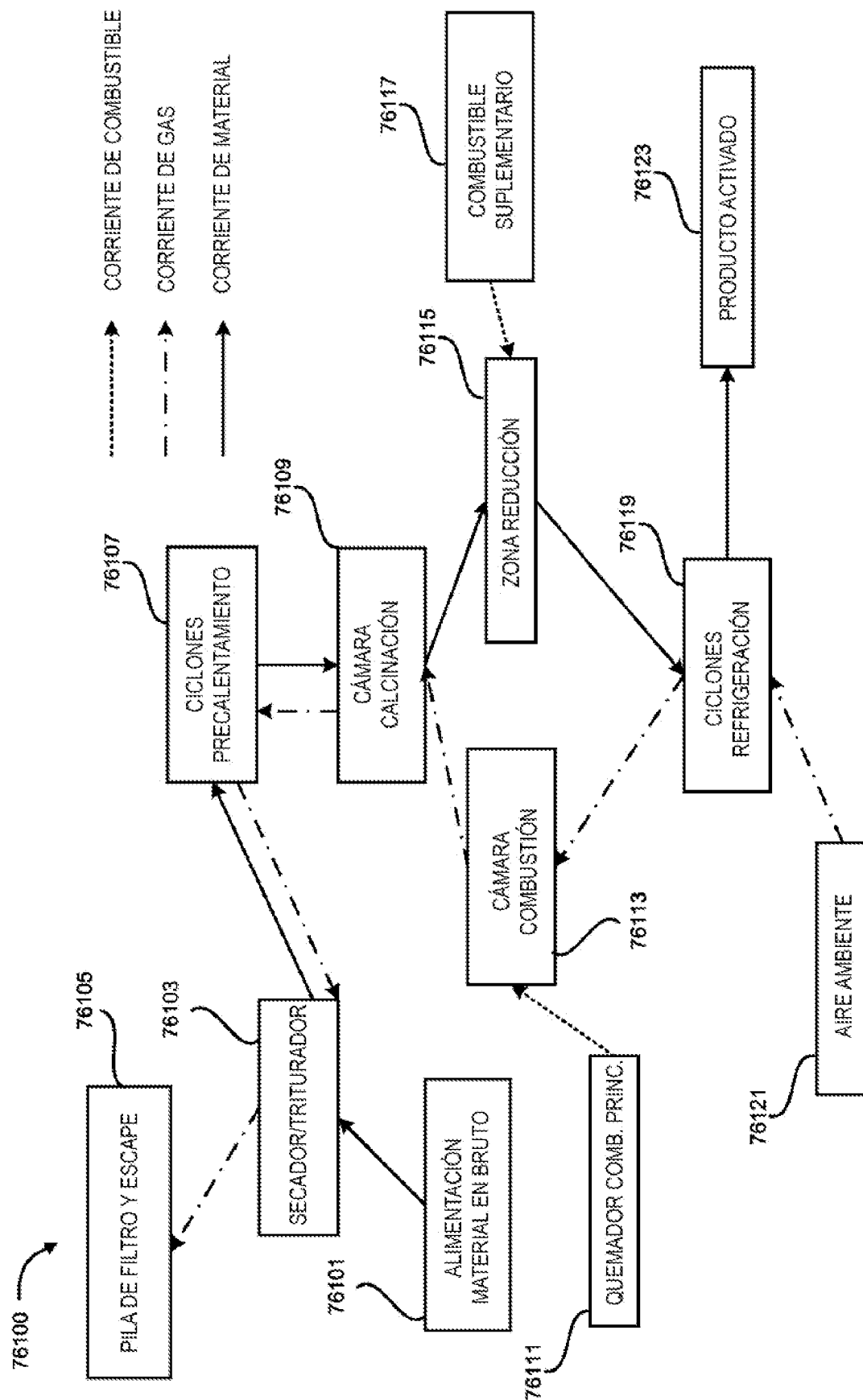


FIG. 81

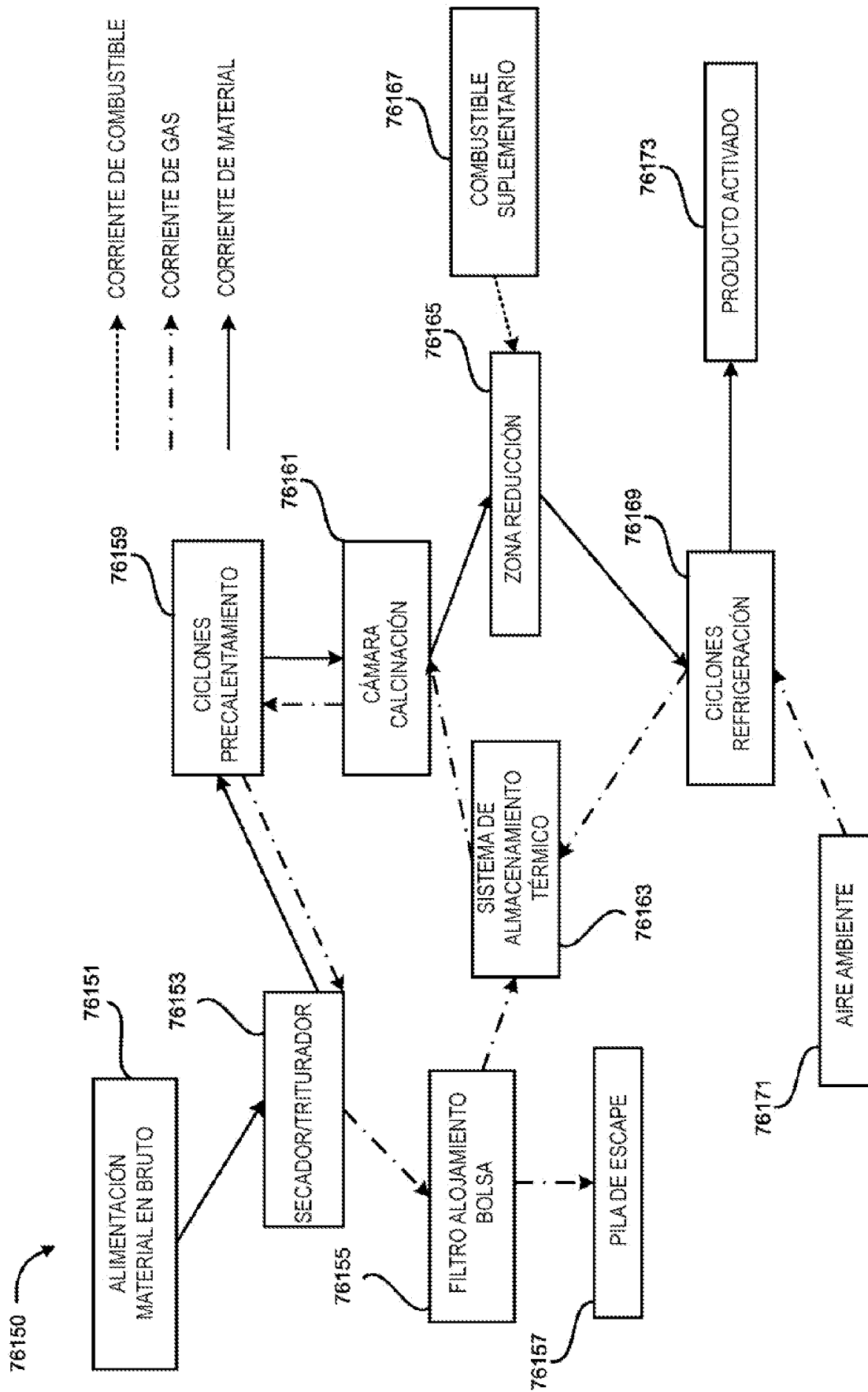


FIG. 82

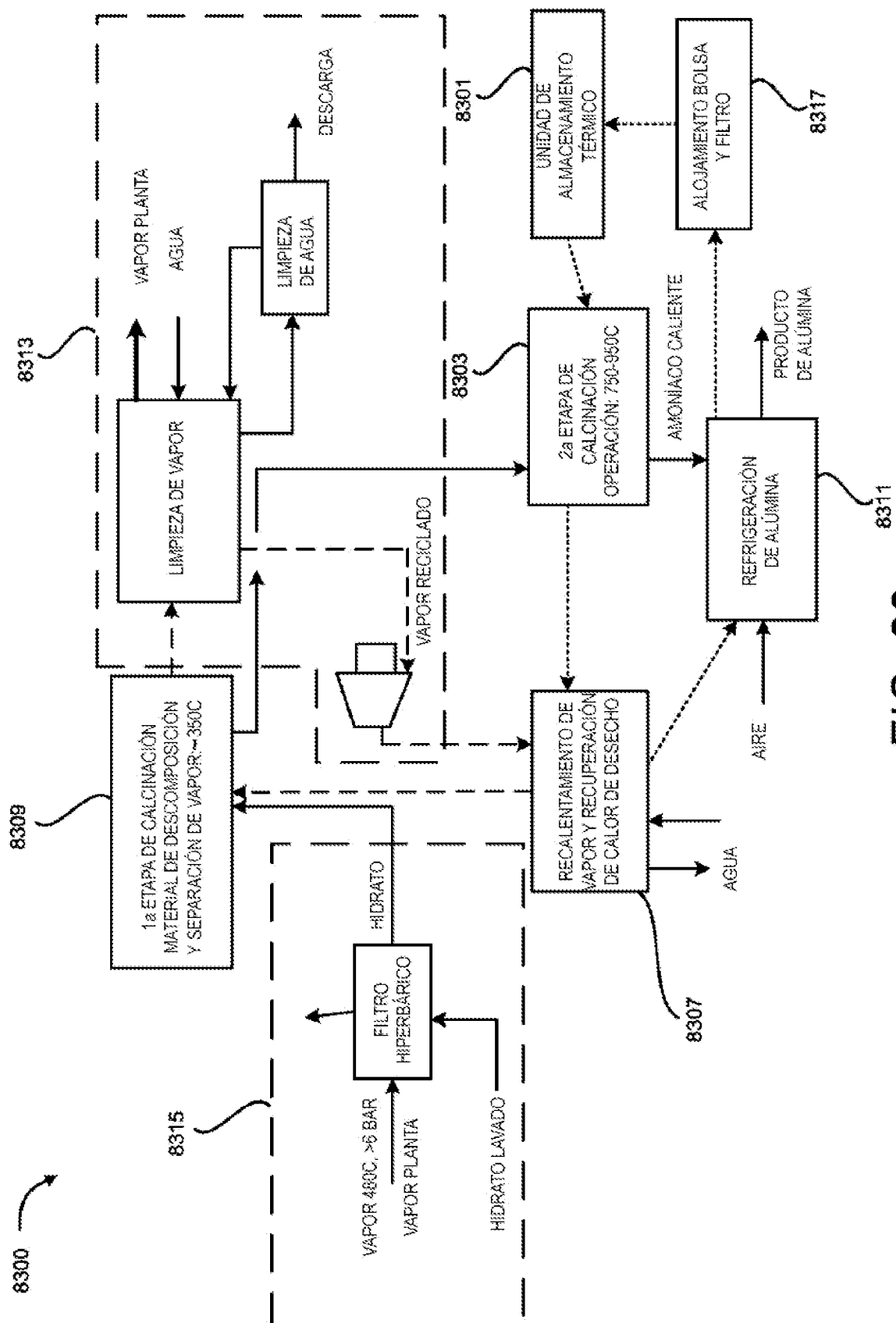


FIG. 83

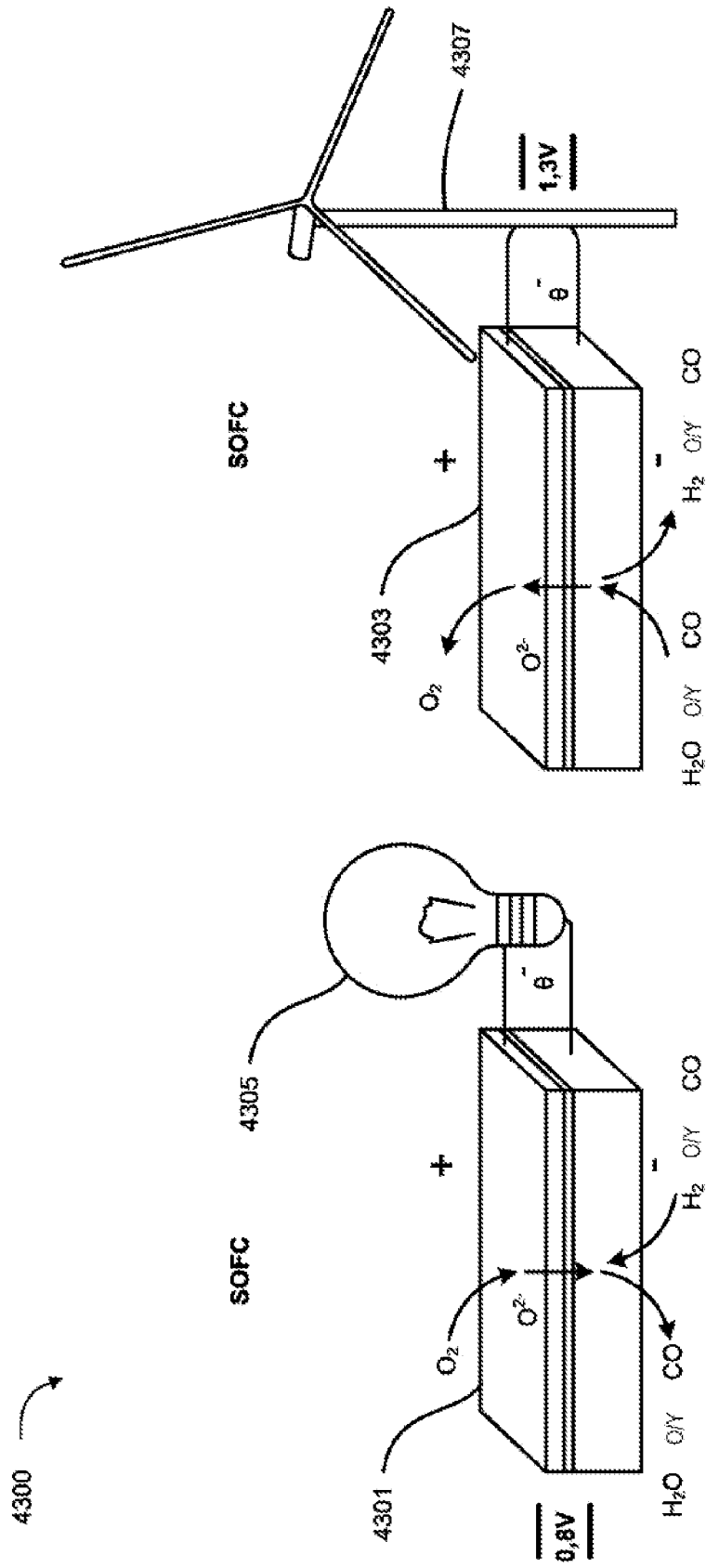


FIG. 84

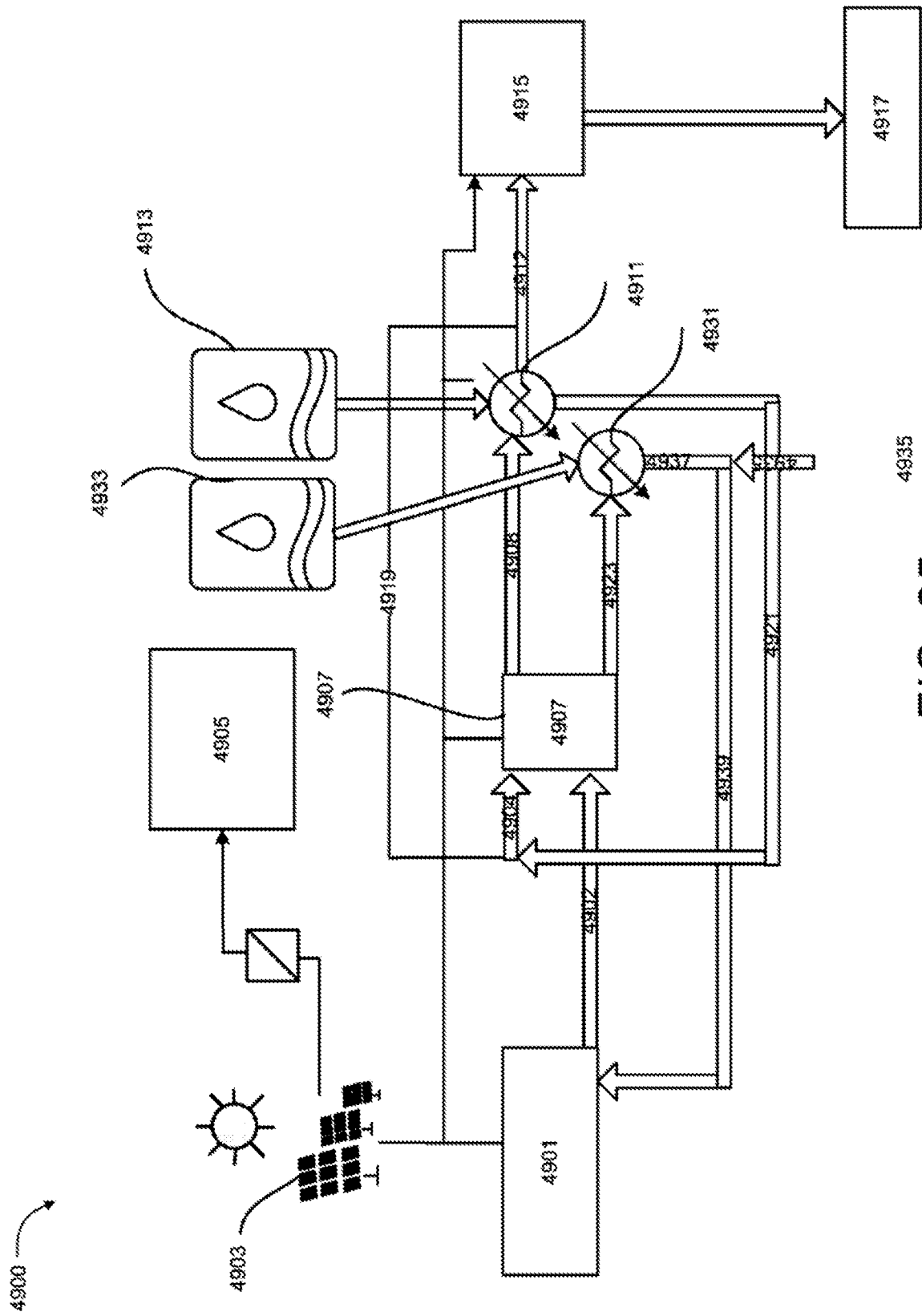


FIG. 85

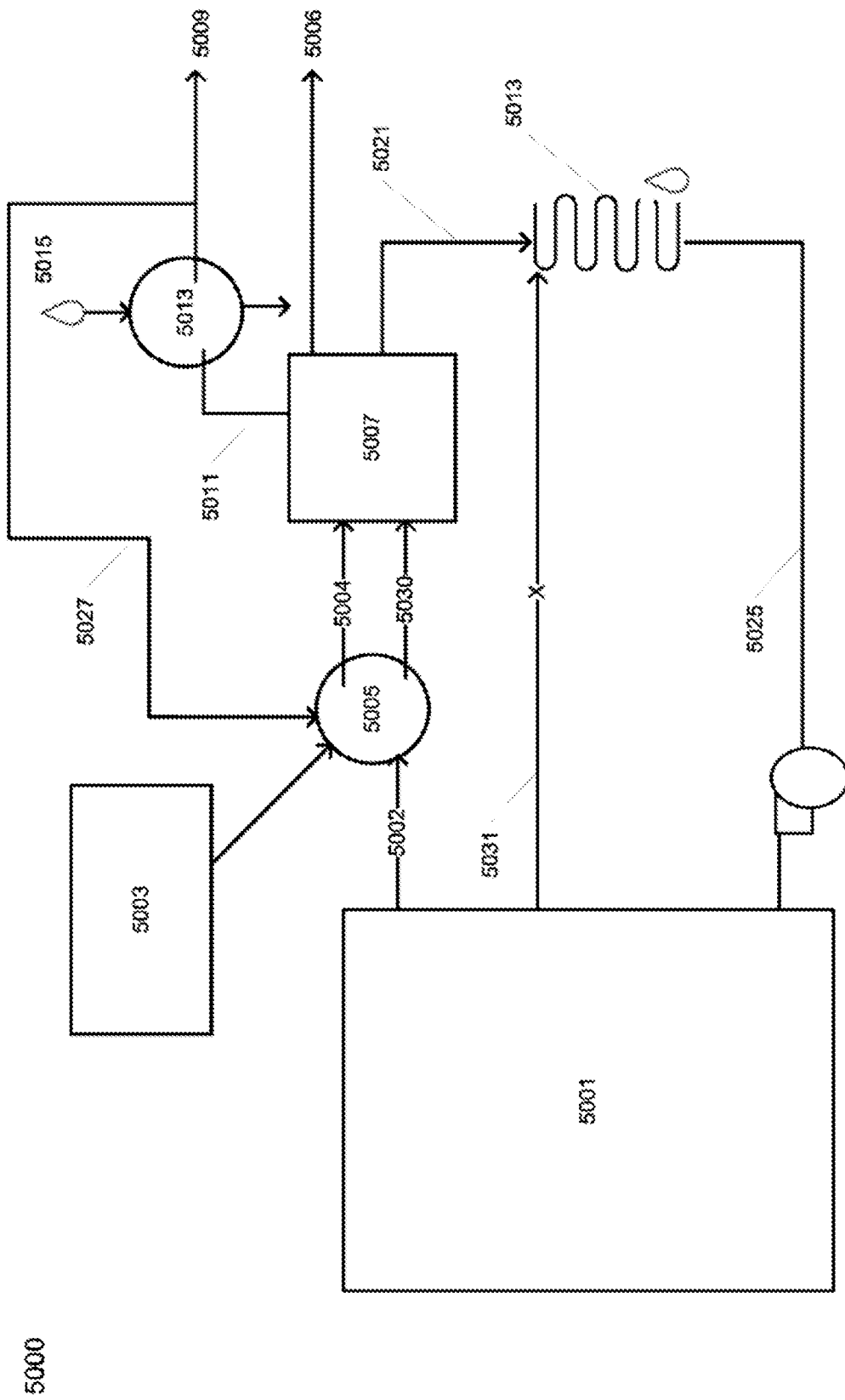


FIG. 86

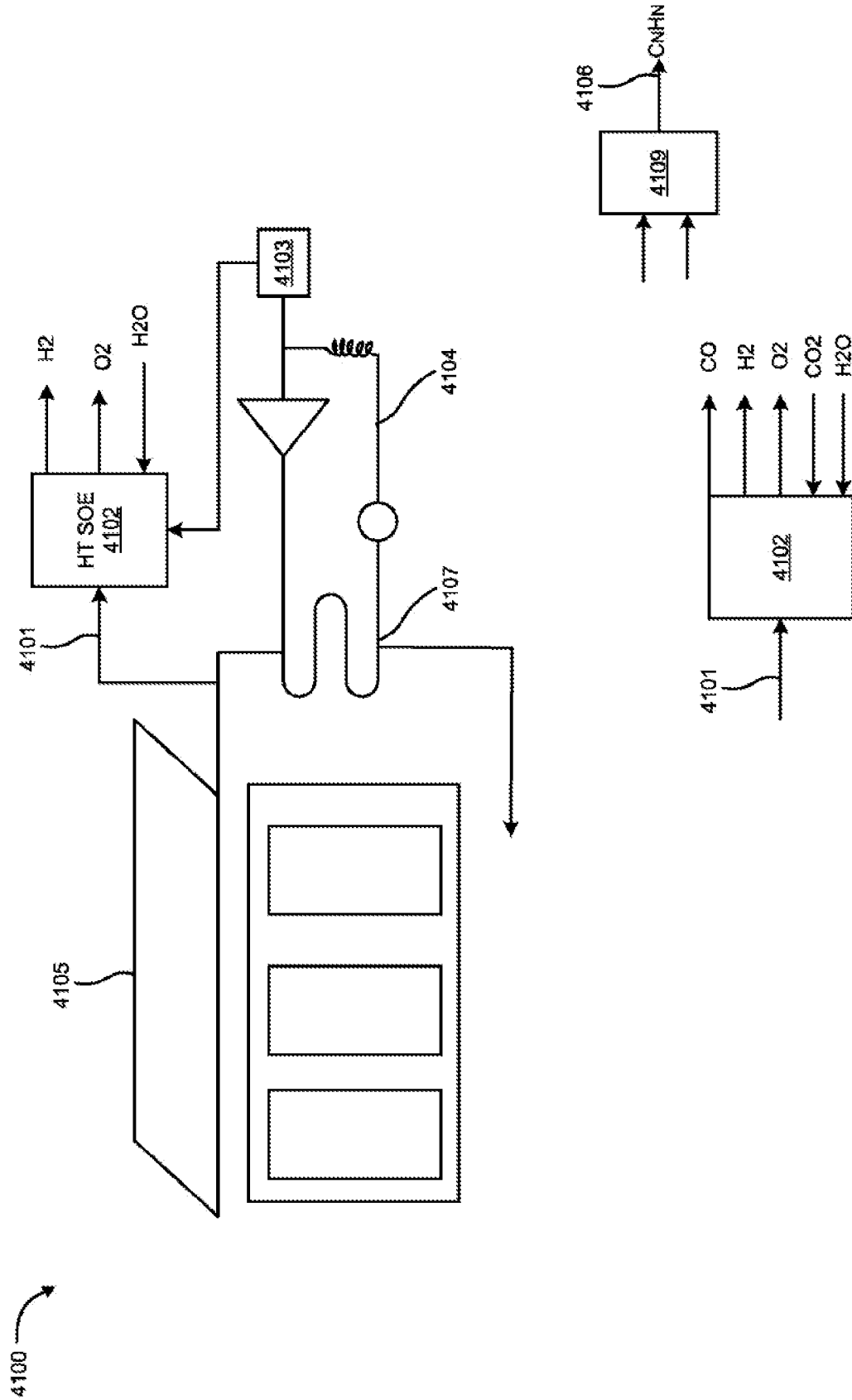


FIG. 87

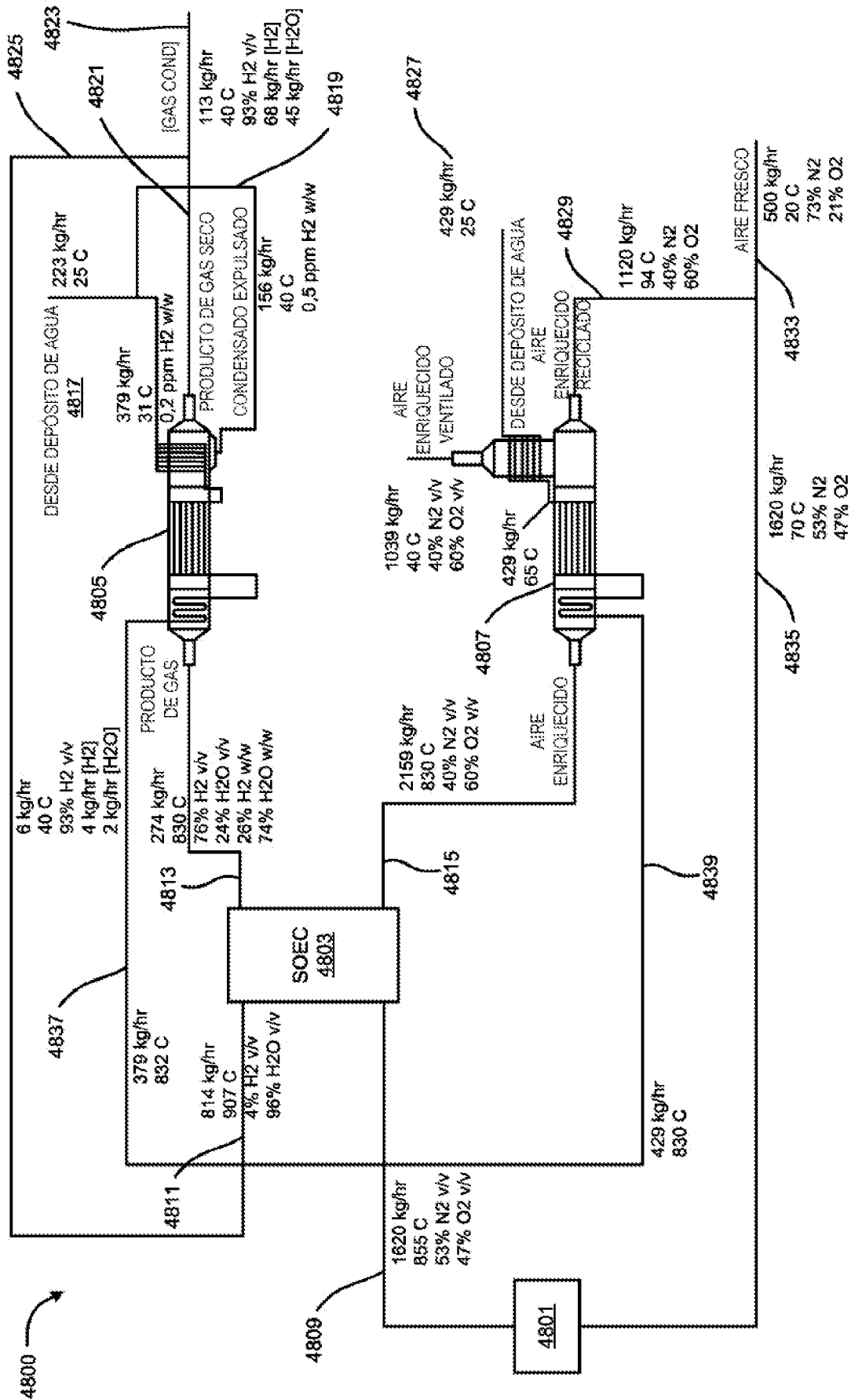


FIG. 88

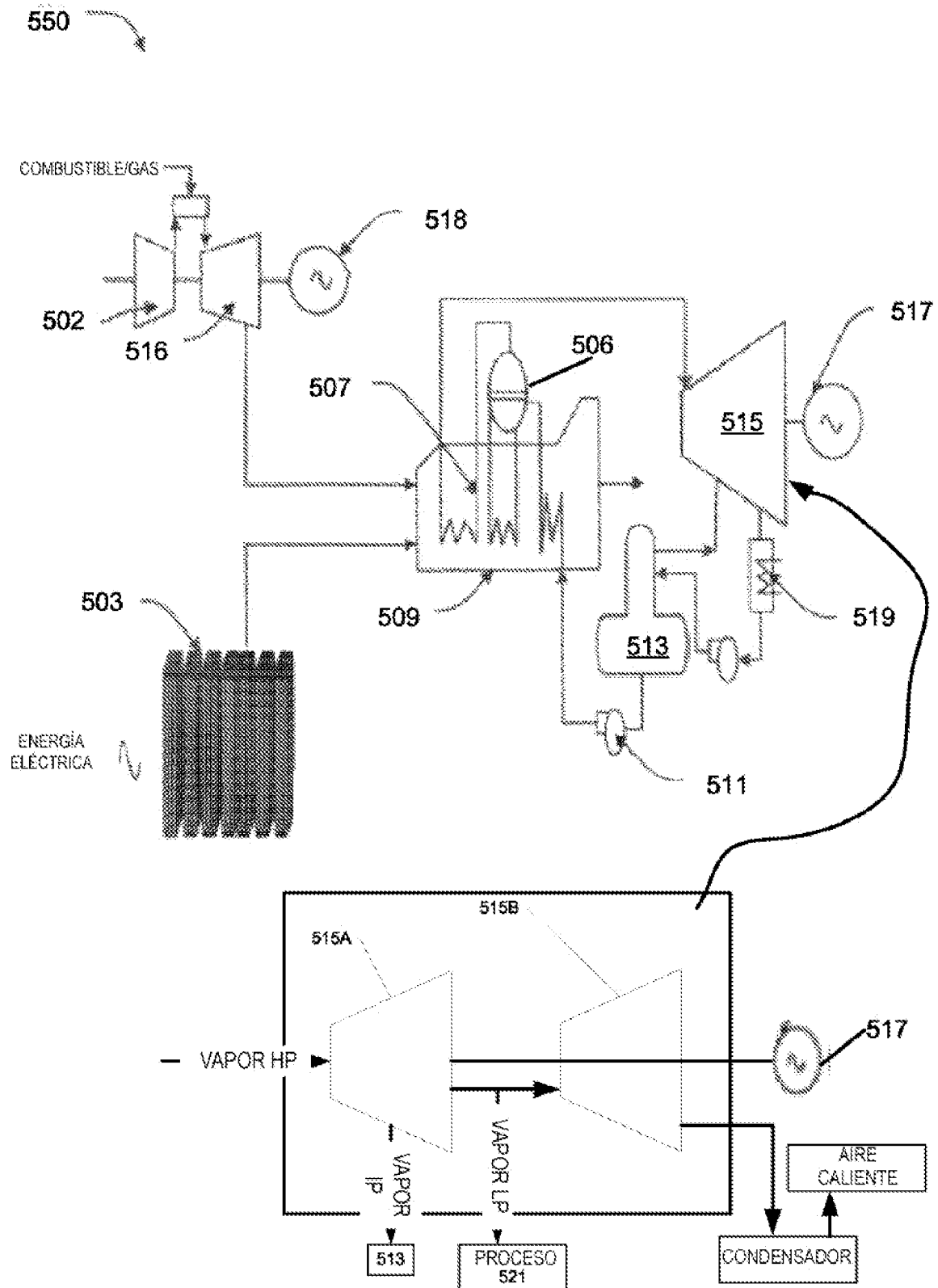


FIG. 89

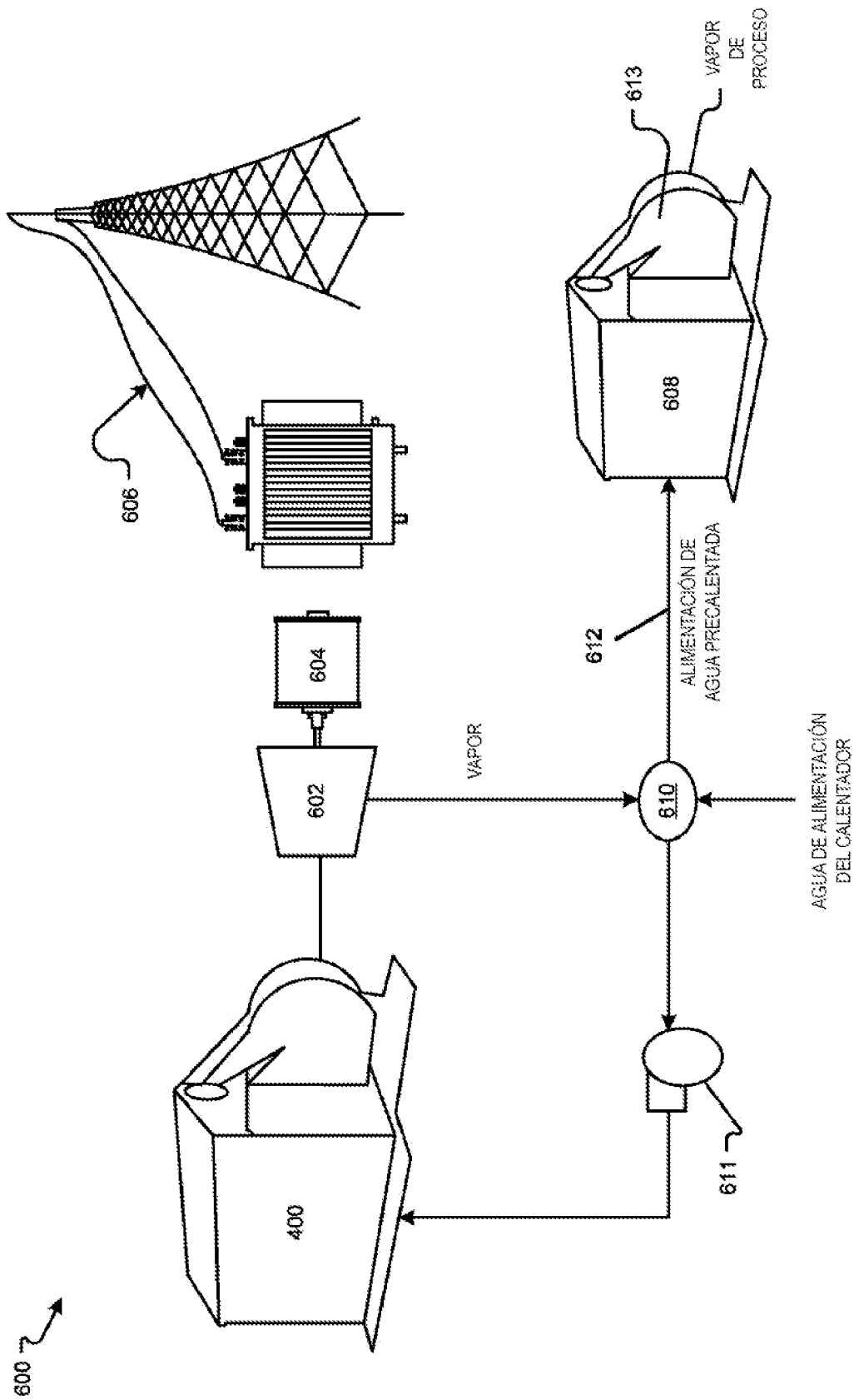


FIG. 90

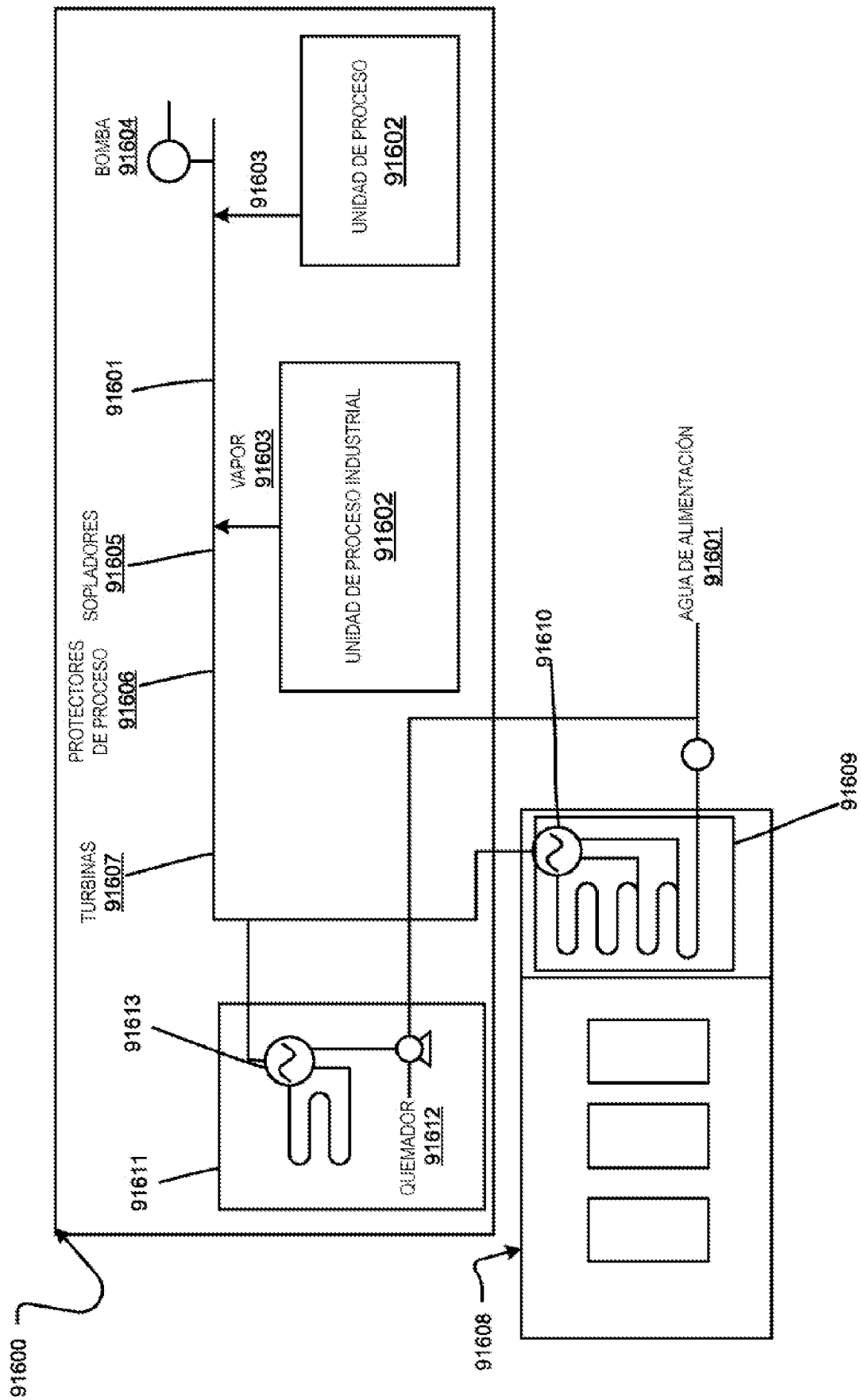


FIG. 91

10000

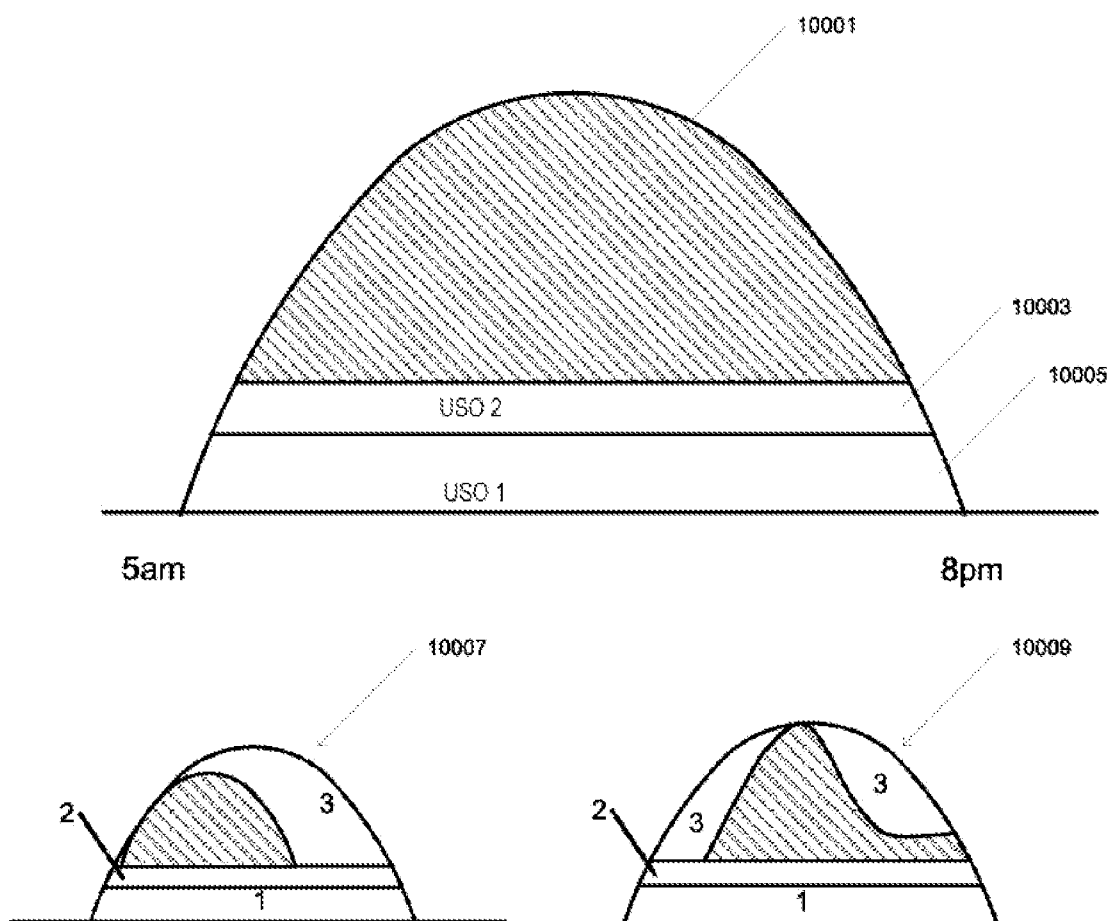


FIG. 92

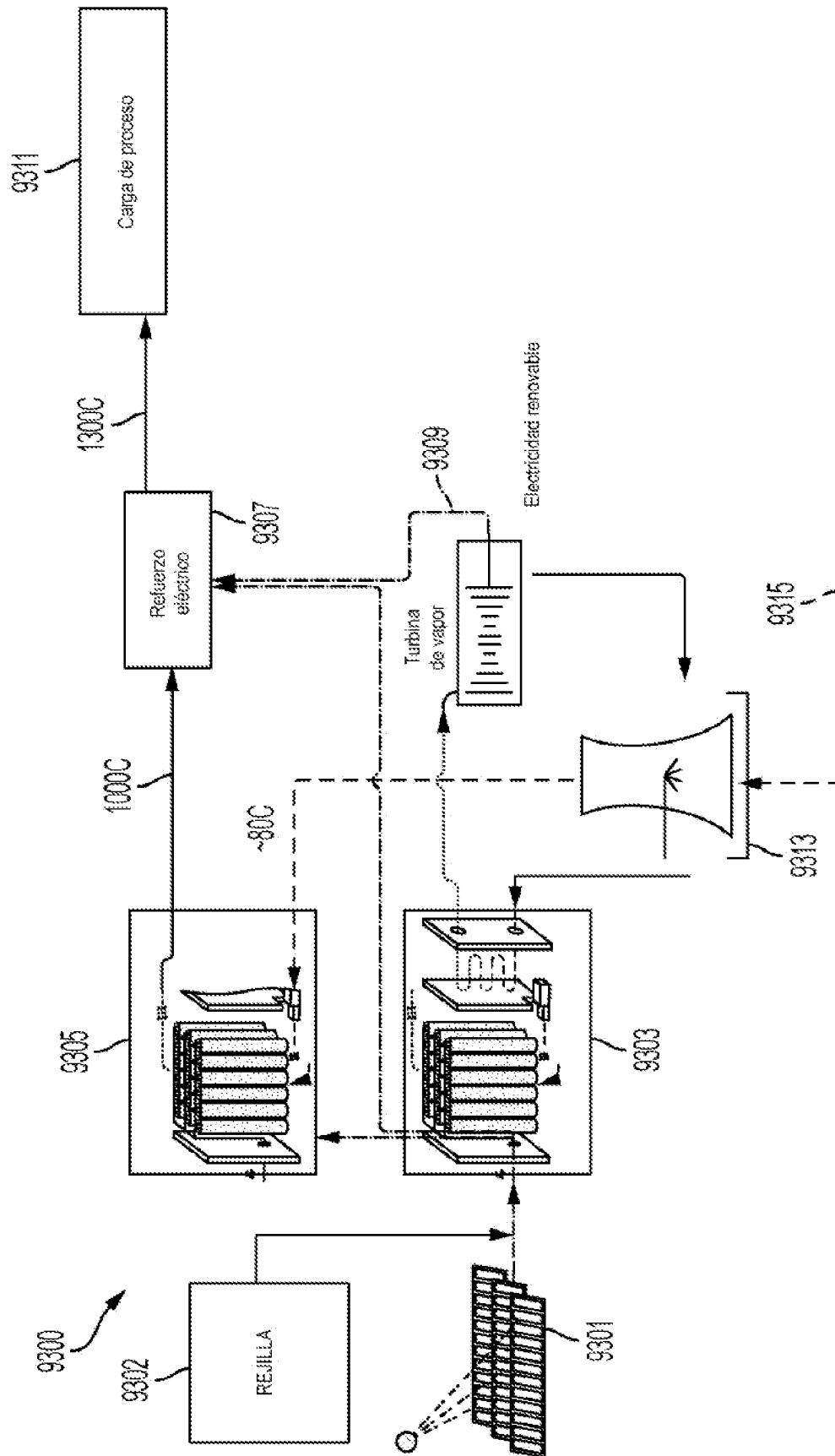


FIG. 93

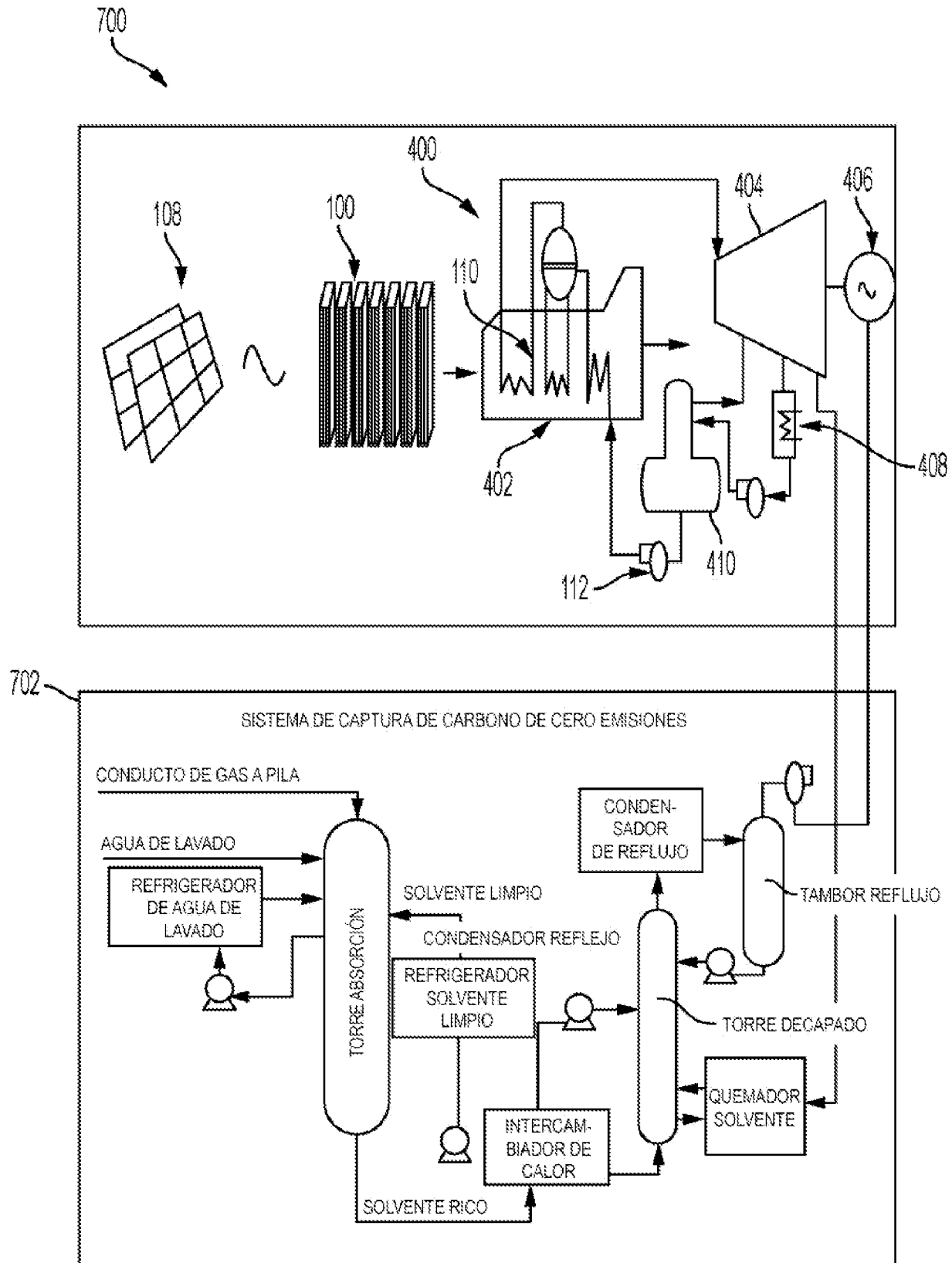


FIG. 94

5100

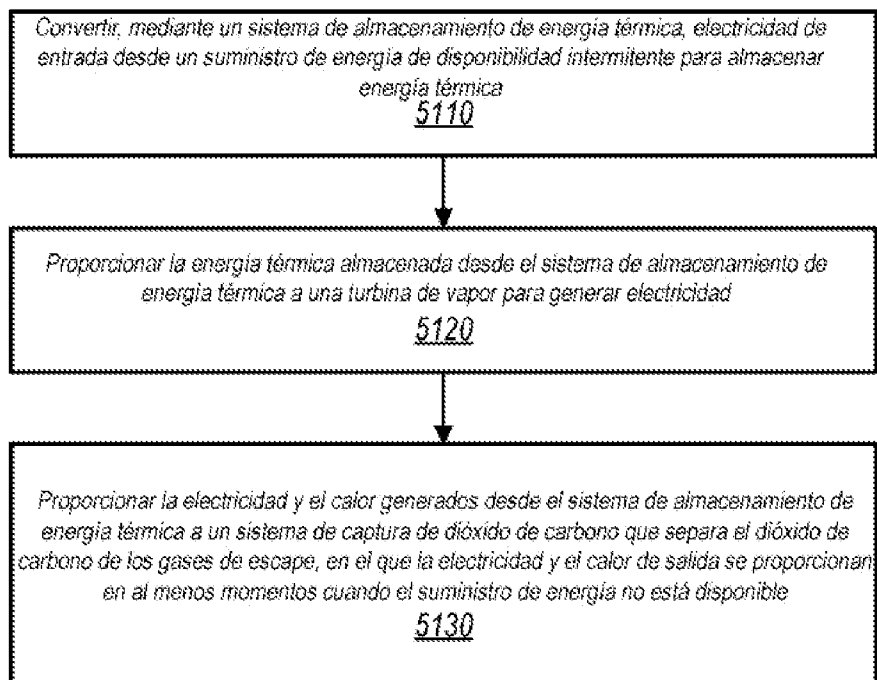


FIG. 95

5200

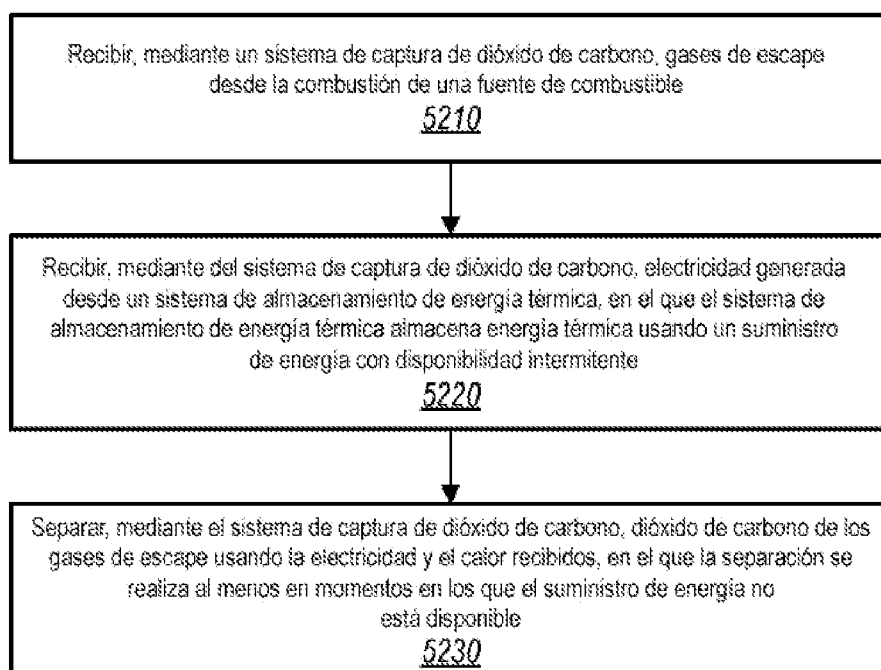
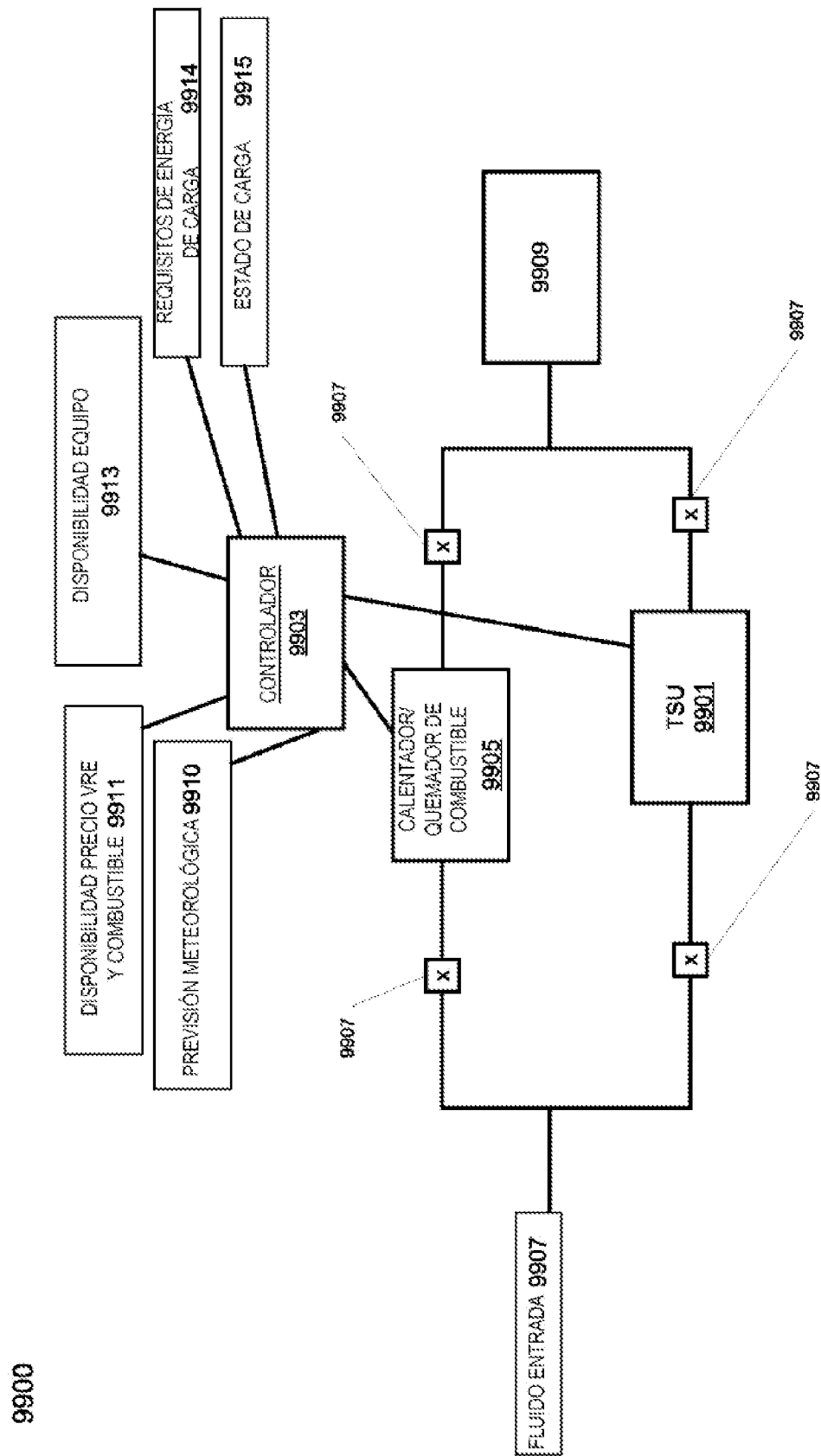


FIG. 96



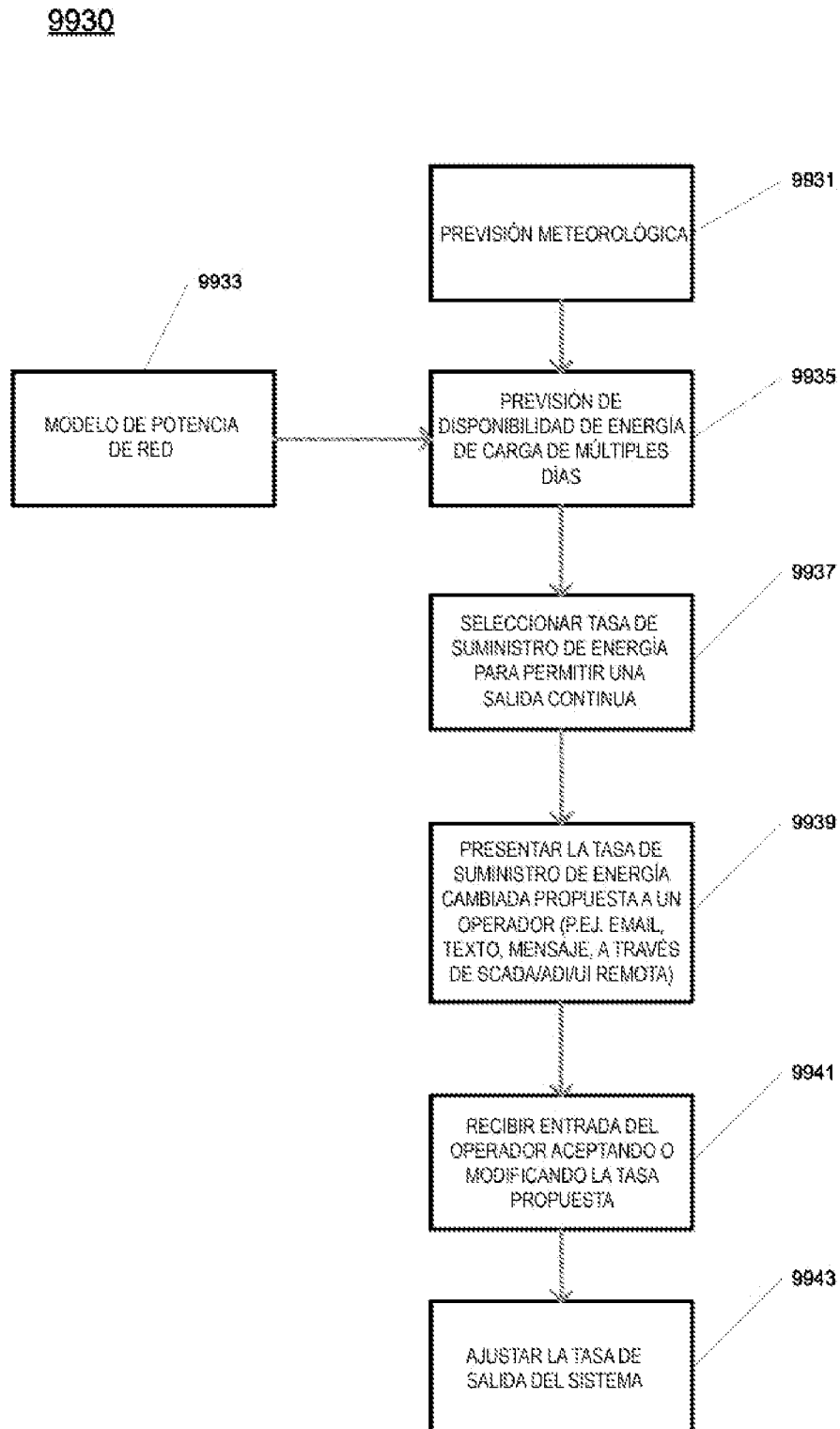


FIG. 98

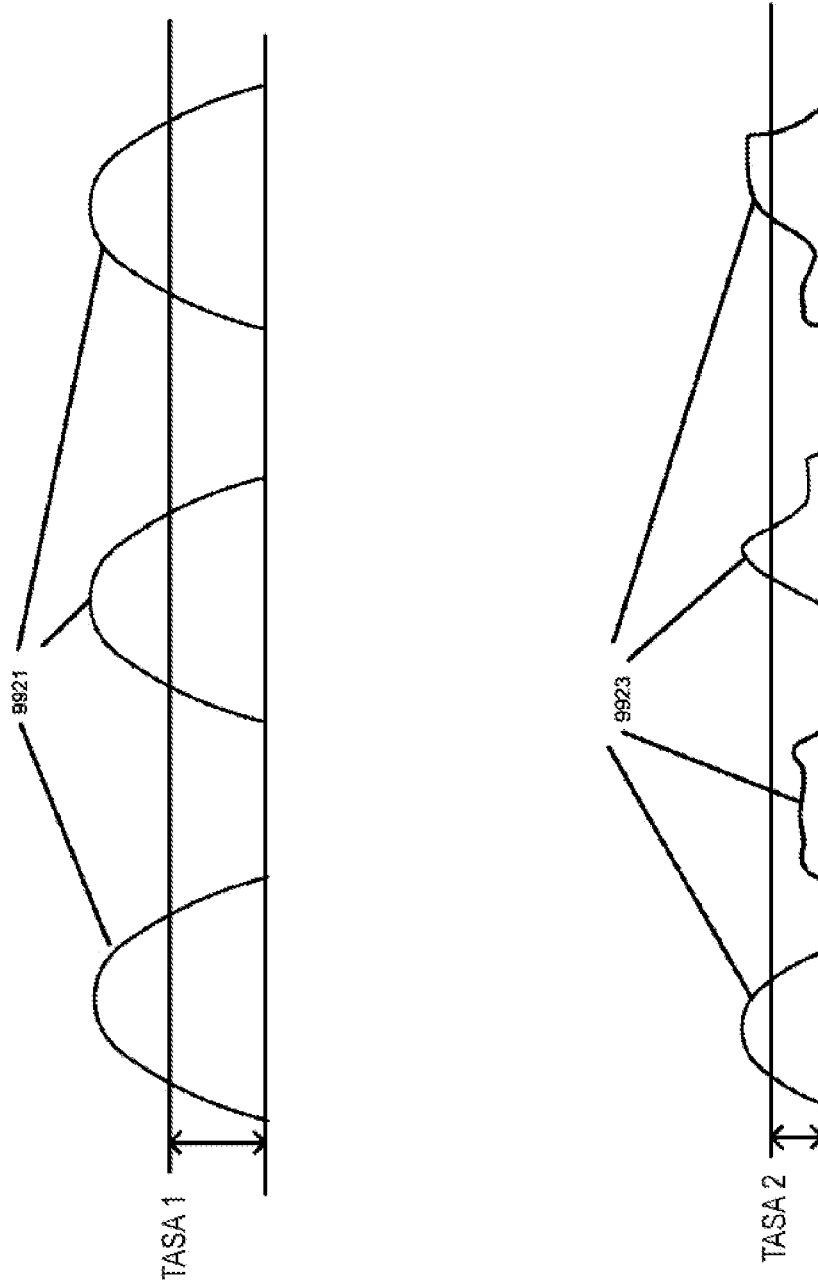


FIG. 99

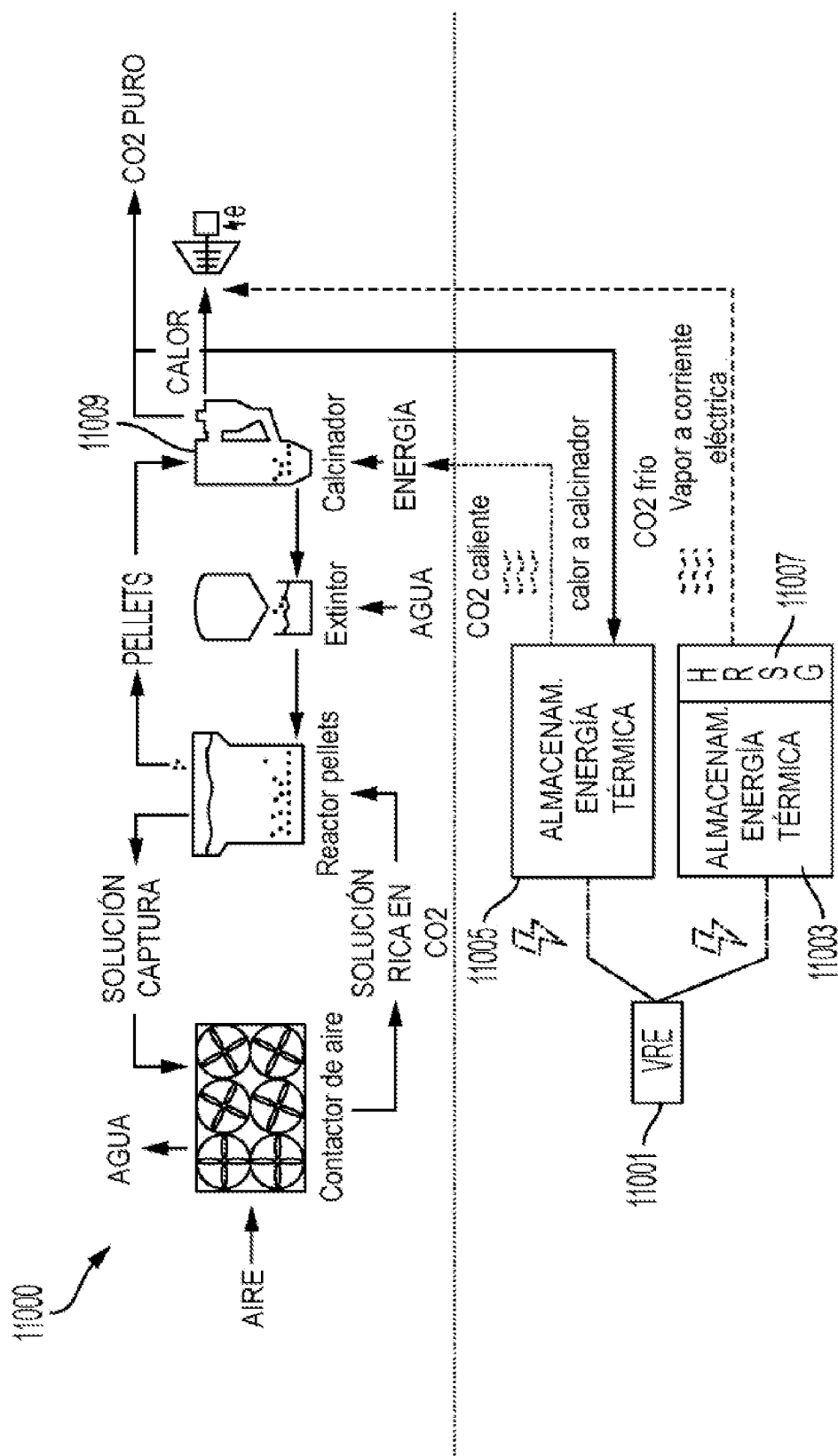


FIG. 100