

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 800 898**

51 Int. Cl.:

F24S 80/20 (2008.01)

F24S 70/10 (2008.01)

F03G 6/04 (2006.01)

F03G 6/06 (2006.01)

F03G 6/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.07.2015 E 15176701 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.06.2020 EP 2975263**

54 Título: **Central de generación de energía que integra receptor de energía solar concentrada e intercambiador de calor presurizado**

30 Prioridad:

17.07.2014 US 201414333940

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

05.01.2021

73 Titular/es:

**THE BABCOCK & WILCOX COMPANY (100.0%)
1200 E. Market Street, Suite 650
Akron, OH 44305, US**

72 Inventor/es:

**SAKADJIAN, BARTEV B;
FLYNN, THOMAS J;
VELAZQUEZ-VARGAS, LUIS G.;
HU, SHENGTENG y
MARYAMCHIK, MIKHAIL**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 800 898 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

Central de generación de energía que integra receptor de energía solar concentrada e intercambiador de calor presurizado

5 Campo y antecedentes

Lo siguiente se refiere a las técnicas de generación de energía, las técnicas de generación de energía solar concentrada, las técnicas de intercambiadores de calor presurizados y a las técnicas relacionadas.

10 Una tecnología de generación de energía conocida es la energía solar concentrada (CSP), que en un diseño incluye un campo de heliostatos que concentran la energía solar en un receptor solar (que normalmente está montado en una torre). Las partículas sólidas granulares fluyen a través del receptor solar y absorben la energía de la luz concentrada y, por lo tanto, se calientan. Las partículas calientes que fluyen se introducen en una caldera de lecho fluidizado para generar fluido de trabajo a presión elevada para accionar una turbina de generador eléctrico. Algunos de estos concentradores solares se describen, a modo de ejemplo ilustrativo y no limitante en Ma, Pub. de EE.UU. N.º 2013/0257056 A1, publicada el 3 de octubre de 2013, y en Ma *et al.*, Pub. de EE. UU. N.º 2013/0255667 A1, publicada el 3 de octubre de 2013, y en Maryamchik *et al.*, "*Concentrated Solar Power Solids-Based System*", EE.UU., número de serie 14/250.160, presentada el 10 de abril de 2014. El documento WO 2012052661 A2 divulga un dispositivo para recoger energía solar. El documento WO 2012052661 A2 no divulga,

al menos, una central de energía que comprende un canal de flujo que incluye una válvula no mecánica, configurada para regular el flujo de partículas sólidas desde el fondo de una tubería vertical hacia el intercambiador de calor mediante el control de un flujo de fluido de trabajo en la válvula no mecánica; comprendiendo la central de energía un receptor solar que comprende un volumen anular, a través del cual las partículas sólidas granulares fluyen hacia abajo, y tubos de canalización de luz, que tienen aberturas en la superficie externa del volumen anular para recibir luz desde un campo de heliostatos y que se extienden hacia el volumen anular para que las partículas sólidas granulares que fluyen hacia abajo pasen por los tubos de canalización de luz para absorber la energía térmica.

30 Sumario

De acuerdo con la presente invención, se proporciona una central de energía según la reivindicación 1 y un método según la reivindicación 10.

35 En el presente documento también se describe una central de energía que comprende un receptor solar configurado para calentar partículas sólidas, una tubería vertical que se extiende hacia abajo desde el receptor solar para recibir partículas sólidas desde el receptor solar, teniendo la tubería vertical una altura suficiente para soportar una columna de partículas sólidas calentadas con una altura H , un intercambiador de calor presurizado, configurado para operar a una presión elevada más alta que la presión atmosférica, para así calentar el fluido de trabajo que fluye a través del intercambiador de calor presurizado mediante transferencia de calor desde las partículas sólidas calentadas que salen del fondo de la tubería vertical, y un canal de flujo para partículas sólidas desde el fondo de la tubería vertical hacia el intercambiador de calor presurizado, que está configurado para sellarse con una presión P , producida en el fondo de la tubería vertical por una columna de partículas sólidas calentadas con la altura H . El intercambiador de calor presurizado puede comprender un intercambiador de calor presurizado de lecho fluidizado. El canal de flujo puede incluir un silo o cámara de compensación que comprende un recipiente de presión conectado al fondo de la tubería vertical. El canal de flujo puede incluir una válvula no mecánica que no tiene partes móviles y que opera por agitación de las partículas sólidas en la válvula mediante el flujo del fluido de trabajo. La central de energía puede incluir, además, una turbina operativamente conectada al intercambiador de calor presurizado que se acciona con el fluido de trabajo calentado descargado desde el intercambiador de calor presurizado, y un compresor accionado por la turbina para conducir el fluido de trabajo a través del intercambiador de calor presurizado para definir un ciclo termodinámico accionado, al menos en parte, por energía solar concentrada (CSP), que comprende energía térmica depositada en las partículas sólidas calentadas por el receptor solar. En algunas realizaciones, el compresor accionado por la turbina para conducir el fluido de trabajo a través del intercambiador de calor presurizado define un ciclo Brayton accionado, al menos en parte, por la CSP, que comprende la energía térmica depositada en las partículas sólidas calentadas por el receptor solar. En algunas realizaciones, la presión P producida en el fondo de la tubería vertical por una columna de partículas sólidas calentadas con la altura H es de, al menos, 5 atm.

60 En el presente documento también se describe un método que comprende: calentar partículas sólidas en un receptor solar; transformar las partículas sólidas calentadas, descargadas por el receptor solar, en una pila con una altura H introduciéndolas por gravedad desde el receptor solar; transferir las partículas sólidas desde el fondo de la pila con altura H hacia un intercambiador de calor presurizado, en donde la transferencia incluye el sellado frente a la presión del gas en el intercambiador de calor presurizado por la presión producida por el peso de la pila con altura H ; y, en el intercambiador de calor presurizado, transferir el calor de las partículas sólidas a un fluido de trabajo a una presión elevada de al menos 5 atm. El método puede comprender, además, accionar una turbina usando el fluido de trabajo calentado por la transferencia de calor de las partículas sólidas en el intercambiador de calor presurizado, y hacer circular el fluido de trabajo a través del intercambiador de calor presurizado usando un compresor accionado por la

turbina, mediante el cual se define un ciclo termodinámico que se acciona gracias al calentamiento de las partículas sólidas en el receptor solar. El fluido de trabajo calentado por la transferencia de calor de las partículas sólidas en el intercambiador de calor presurizado puede calentarse, además, mediante un proceso de combustión, que acciona adicionalmente el ciclo termodinámico.

5 En el presente documento también se divulga un sistema basado en sólidos de energía solar concentrada que comprende: un receptor solar, configurado para calentar un medio sólido granulado que comprende partículas sólidas granuladas; un depósito de almacenamiento presurizado de sólidos calentados, configurado para almacenar el medio sólido granulado después de ser calentado por el receptor solar; un intercambiador de calor presurizado, configurado para transferir el calor desde el medio sólido granulado hasta un medio gaseoso; un canal de flujo, conectado para introducir el medio sólido granulado calentado por el receptor solar en el intercambiador de calor presurizado; un compresor, conectado para suministrar el medio gaseoso al intercambiador de calor presurizado; un transportador, configurado para transportar el medio sólido granulado después de transferir el calor al medio gaseoso en el intercambiador de calor presurizado, desde el intercambiador de calor presurizado hasta el receptor solar; una turbina de gas, conectada operativamente para ser accionada por el medio gaseoso calentado en el intercambiador de calor presurizado; y una tubería vertical, dispuesta en el canal del medio sólido granulado desde el receptor solar hasta el depósito de almacenamiento presurizado de sólidos calentados. La tubería vertical tiene una altura suficiente para contener una pila de medio sólido granulado con una altura H que es suficiente para proporcionar un sello frente a la presión del depósito de almacenamiento de sólidos calentados. En algunas realizaciones, el extremo inferior de la tubería vertical está al menos parcialmente rodeado por el depósito de almacenamiento presurizado de sólidos calentados y hay, al menos, una boquilla de fluidización ubicada en el depósito de almacenamiento a presión de sólidos calentados. En algunas realizaciones, el intercambiador de calor presurizado comprende una pila de bandejas, soportando cada bandeja un lecho de sólidos, estando conectadas las bandejas para permitir que el medio sólido granulado fluya hacia abajo, a través de las bandejas, y que el medio gaseoso fluya hacia arriba, a través de las bandejas.

A continuación, se describen, de manera más particular, estos y otros aspectos y/u objetos no limitantes de la divulgación.

30 Breve descripción de los dibujos

Las presentes enseñanzas pueden materializarse en diversos componentes y disposiciones de componentes y en diversas operaciones del proceso y disposiciones de las operaciones del proceso. Los dibujos son tan solo a efectos ilustrativos de las realizaciones preferidas y no deben considerarse como una limitación de la invención. Esta divulgación incluye los siguientes dibujos.

Las FIGURAS 1-3 muestran esquemáticamente realizaciones ilustrativas de centrales de generación de energía. Las FIGURAS 4-7 muestran esquemáticamente lechos de intercambiadores de calor fluidizados presurizados, utilizados convenientemente en las centrales de generación de energía de las FIGURAS 1-3.

40 Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Se puede obtener una comprensión más completa de los procesos y aparatos divulgados en el presente documento haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Estas figuras son meras representaciones esquemáticas basadas en la comodidad y facilidad para presentar la técnica existente y/o el avance actual y, por consiguiente, no pretenden indicar el tamaño y las dimensiones relativas de los conjuntos o componentes de estos.

50 A pesar de que en la siguiente descripción se utilizan términos específicos en aras de una mayor claridad, estos términos tienen por objeto referirse únicamente a la estructura particular de las realizaciones seleccionadas para ilustrarlas en los dibujos y no pretenden definir o limitar el alcance de la divulgación. A continuación, en los dibujos y en la siguiente descripción, se ha de entender que las designaciones numéricas similares se refieren a componentes con una función similar.

55 Un valor modificado por un término o términos, tal como "aproximadamente" y "sustancialmente", no puede limitarse al valor exacto especificado.

Debería apreciarse que muchos de los términos utilizados en el presente documento son términos relativos. Por ejemplo, los términos "interno/a", "externo/a", "hacia adentro" y "hacia afuera" son relativos a un centro y no debería interpretarse que se requiera una orientación o ubicación particular de la estructura.

60 Los términos "horizontal" y "vertical" se utilizan para indicar una dirección relativa a una referencia absoluta, es decir, el nivel del suelo. No obstante, no debería interpretarse que estos términos requieran que las estructuras sean absolutamente paralelas o absolutamente perpendiculares entre sí. Por ejemplo, una primera estructura vertical y una segunda estructura vertical no son necesariamente paralelas entre sí.

65 En la medida en la que puedan ser necesarias explicaciones de determinada terminología o de los principios del

receptor solar, la caldera y/o el generador de vapor para entender la presente divulgación, el lector puede dirigirse a la obra "Steam: its generation and use", 40ª edición, Stultz y Kitto, Eds., Copyright 1992, The Babcock & Wilcox Company, y a "Steam: its generation and use", 41ª edición, Kitto y Stultz, Eds., Copyright 2005, The Babcock & Wilcox Company, cuyos textos se incorporan en el presente documento por referencia como si se expusieran por completo.

5 Con referencia a la FIGURA 1, una central de energía combina un sistema de energía solar concentrada (CSP) con un intercambiador de calor presurizado de lecho fluidizado y una cámara de combustión adicional opcional para generar aire comprimido (u otro fluido de trabajo a presión elevada, como vapor) para accionar una turbina de gas. Un receptor solar 1 recibe el flujo térmico desde un campo de heliostatos (no mostrado) que rodea el receptor solar 1. Para proporcionar una línea de visión directa con los heliostatos, el receptor solar 1 puede estar soportado en una posición elevada, por ejemplo, sobre una torre 16 que puede, por ejemplo, estar a decenas de metros de elevación, aunque se contemplan elevaciones mayores o menores. El flujo térmico del campo de heliostatos calienta las partículas sólidas en el receptor solar 1. El receptor solar está diseñado para calentar partículas sólidas a una temperatura caliente deseada, por ejemplo, contemplada en algunas realizaciones del orden de 800 °C o más. Se divulgan algunos diseños de receptores solares adecuados, a modo de ejemplo ilustrativo, en Ma, Pub. de Estados Unidos N.º 2013/0257056 A1, publicada el 3 de octubre de 2013, y en Ma *et al.*, Pub de Estados Unidos N.º 2013/0255667 A1, publicada el 3 de octubre de 2013, y en Maryamchik *et al.*, "Concentrated Solar Power Solids-Based System", número de serie de EE. UU. 14/250.160, presentada el 10 de abril de 2014. En una realización adecuada (mostrada en el recuadro de la FIGURA 1), el receptor solar 1 comprende un volumen anular V_A a través del cual fluyen hacia abajo las partículas sólidas granulares, el cual incluye además tubos de canalización de luz T_L (mostrados en el recuadro por un corte parcial del volumen anular V_A) con aberturas T_A en la superficie externa del volumen anular, para así recibir luz del campo de heliostatos y extenderse hacia el volumen anular V_A para que las partículas sólidas granulares que fluyen hacia abajo pasen por los tubos de canalización de luz para absorber la energía solar térmica. Después de pasar hacia abajo a través del receptor solar 1, las partículas calentadas se recogen en un colector de sólidos 2. La FIGURA 1 muestra esquemáticamente este colector 2; en algunas realizaciones, el colector 2 es un elemento anular para recoger partículas de toda la circunferencia del receptor solar anular 1.

El receptor solar 1 y el colector 2 no son componentes presurizados y operan a presión atmosférica. El colector 2 está conectado en su puerto inferior, mediante introducción por gravedad, a una tubería vertical 3 que, a su vez, la gravedad introduce en un silo caliente 4, que sirve como un depósito que proporciona el depósito de almacenamiento de la energía térmica para facilitar la operación de la central después del atardecer. Adicionalmente, no obstante, la tubería vertical 3 proporciona presurización en las partículas en su extremo inferior, es decir, en el silo caliente 4. El sello de presión entre el receptor solar 1 y el depósito de almacenamiento de sólidos calientes (por ejemplo, el silo 4) se proporciona gracias a una columna de partículas sólidas en la tubería vertical 3. El sello de presión es una función de la altura de la columna de partículas sólidas en la tubería vertical 3, la temperatura de operación, el material de las partículas y las propiedades geométricas (por ejemplo, factor de empaquetamiento) de las partículas. El sello adecuado se proporciona garantizando que las partículas sólidas se muevan por la tubería en el marco del lecho empaquetado, es decir, sin fluidizar las partículas en la tubería vertical. La fluidización comenzaría cuando la presión del gas debajo de la pila de sólidos sea igual a la presión del peso de estos sólidos, que es una relación del peso de los sólidos y el área del plano de la pila. Por consiguiente, cuanto mayor sea la presión de gas (aire) deseada para la operación de la turbina, mayor debería ser la pila de sólidos para proporcionar el sello de presión.

Con este fin, el flujo de las partículas sólidas granuladas a través de la central de energía y, en particular, entre el colector 2 y el silo caliente 4, se controla para mantener una columna de partículas sólidas en la tubería vertical 3 a una altura (designada aquí sin pérdida de generalidad como H) que es suficiente para proporcionar la presión deseada en el fondo de la tubería vertical 3. El tratamiento de las partículas sólidas granuladas como un medio casi fluido (donde el término "casi fluido", como se usa en este documento, indica que las partículas sólidas granuladas se están tratando como un fluido, por ejemplo, con algo de presión, caudal, y demás, con fines descriptivos o de análisis, mientras margina la naturaleza granulada e individual de las partículas), la altura requerida para proporcionar una presión determinada viene dada por $P=g \int_H \rho(h) dh$, donde g es la aceleración gravitacional (normalmente de 9,81 m/s²) y $\rho(h)$ es la densidad del casi fluido de partículas sólidas en elevación (es decir, altura) h a lo largo de la columna. En general, $\rho(h)$ podría variar con la elevación debido a la compresión: si el casi fluido de partículas sólidas se trata como un fluido incompresible, entonces la presión $P=pgH$. De esta manera, el depósito de partículas calientes en el silo caliente 4 se mantiene a la presión deseada P y, como consecuencia, el silo caliente 4 está construido convenientemente como un recipiente de presión diseñado para contener las partículas calientes a la presión P .

Haciendo todavía referencia a la FIGURA 1, las partículas calientes recogidas y mantenidas a la presión P en el silo caliente 4 se transfieren a un intercambiador de calor presurizado 6 también diseñado para operar a (o relativamente cerca de) la presión P . En general, esta transferencia podría lograrse usando una válvula mecánica convencional que tenga un actuador de válvula accionado por motor o neumático. No obstante, dicha válvula puede presentar potencialmente una baja fiabilidad debido a factores tales como la alta temperatura y presión de las partículas sólidas y la naturaleza granulada del casi fluido de partículas sólidas. En consecuencia, en una realización preferida, la transferencia de partículas sólidas calientes desde el silo caliente 4 al intercambiador de calor presurizado 6 se realiza usando una válvula no mecánica, tal como una válvula en L ilustrativa 5, que no tiene partes móviles y opera en función de la agitación de las partículas sólidas en la válvula por el flujo de aire u otro fluido de trabajo. En lugar de la válvula en L ilustrativa, también se puede utilizar otra válvula no mecánica, como una válvula en J. La válvula en L ilustrativa

5 permite ventajosamente regular el flujo de partículas sólidas a través de la válvula en L 5 mientras se mantiene simultáneamente un sello de presión mediante el ajuste del caudal del aire de ventilación que va hacia la válvula en L 5. La válvula en L 5 proporciona un control independiente del flujo de sólidos a través del intercambiador de calor del lecho fluido 6 para optimizar el rendimiento térmico del intercambiador de calor 6. Mientras el control del flujo de sólidos a través del intercambiador de calor es accionado por la demanda de carga de la central, el flujo de sólidos a través del receptor solar se mantiene en correspondencia con la actividad solar. Este flujo de sólidos se regula ajustando la velocidad de los transportadores 12, 13 que elevan las partículas sólidas de la descarga de un silo frío 11 a la parte superior del receptor solar 1.

El intercambiador de calor presurizado 6 extrae calor de las partículas calientes que van hacia el aire presurizado que fluye a través del intercambiador de calor 6. En lechos fluidizados habituales, la transferencia de calor entre los sólidos y los medios calentados, como el vapor, se produce a través de la superficie de absorción de calor, como los tubos. Los requisitos para proporcionar suficiente espacio para colocar una superficie de calentamiento adecuada dentro de la cama imponen la altura del lecho y el área del plano. Por el contrario, en el intercambiador de calor presurizado ilustrativo 6, el contacto directo del aire y las partículas proporciona una buena transferencia de calor con unos requisitos de volumen de lecho significativamente más bajos. Esto permite una reducción significativa de la altura requerida para el lecho y elimina la necesidad de que el área del plano/volumen del lecho esté asociada con la superficie del lecho (donde se aplica transferencia de calor indirecta). Estas modificaciones derivan en un ahorro de costes y reducen el arrastre de sólidos. La operación del intercambiador de calor 6 a una presión elevada (es decir, por encima de la presión atmosférica, en algunas realizaciones a 10-20 atm, aunque no se limita solo a este intervalo) permite una reducción adicional en el área del plano y, en consecuencia, una reducción significativa del coste.

Al realizar la transferencia de calor a través del contacto directo entre el aire y las partículas sólidas calientes, el intercambiador de calor 6 eleva la temperatura del aire (o, más en general, algún otro fluido de trabajo, tal como gas o vapor) hasta una temperatura elevada deseada (700 °C o más en algunas realizaciones contempladas) sin la necesidad de costosas piezas de presión/superficie en el lecho de metal de alta aleación.

En una realización ilustrativa, el intercambiador de calor 6 es un intercambiador de calor presurizado de lecho fluidizado (PFB-HX), que comprende un recipiente de presión diseñado para operar a presiones elevadas para trabajar con el ciclo Brayton deseado. Por ejemplo, la presión del recipiente puede ser del orden de 10-20 atm (pero no se limita solo a este intervalo). Simultáneamente, la presión P producida por la columna de partículas sólidas en la tubería vertical 3 se encuentra en el mismo intervalo, por ejemplo, al menos 5 atm en algunas realizaciones, y en el intervalo de 10-20 atm en algunas realizaciones, de modo que el casi fluido de partículas sólidas entrante esté a una presión comparable con la del intercambiador de calor 6. Esto evita la necesidad de un sistema de tipo de tolva de freno para introducir las partículas sólidas en la cámara mientras se mantiene un sello de presión, lo cual sería difícil de implementar ya que las partículas están a temperatura elevada y, preferentemente, tienen un flujo volumétrico grande. Para gestionar estas temperaturas y volúmenes de flujo, las válvulas de una tolva de freno necesitarían gestionar sólidos calientes y, así mismo, necesitarían un comenzar un ciclo rápidamente. En la central de energía ilustrativa de la FIGURA 1, se evita el uso de válvulas mecánicas (como en un sistema de tipo tolva de freno) en la entrada del intercambiador de calor presurizado 6. En su lugar, el sello de presión se logra permitiendo que el sistema construya el nivel de sólidos en la tubería vertical 3, para así generar la presión P en el fondo de la tubería vertical 3.

La tubería vertical 3 (o al menos su extremo inferior), el silo caliente 4 y la válvula en L 5 están a una presión elevada. Por consiguiente, estos componentes 3, 4, 5 están contruidos convenientemente como recipientes de presión capaces de gestionar la presión de diseño P . El sello de presión que se puede lograr con la tubería vertical 3 es una función de la altura de la tubería vertical 3, la temperatura de operación y del/los material/es que comprenden las partículas sólidas granuladas. El/los material/es de las partículas se seleccionan para proporcionar las propiedades de transferencia de calor, fluidez, características de fluidización y estabilidad deseadas a la temperatura de operación elevada del receptor solar 1 y el intercambiador de calor 6. La densidad de las partículas también afecta la presión P conseguida por una columna de partículas sólidas con una altura H en la tubería vertical 3, dado que la densidad del casi fluido ρ depende tanto de la densidad de las partículas sólidas como del factor de empaquetamiento de las partículas (por ejemplo, si las partículas tienen una densidad ρ_s con un factor de empaquetamiento PF , que es inferior a uno, por ejemplo $PF=0,74$ para una estructura empaquetada de partículas esféricas, entonces la densidad del casi fluido de partículas sólidas es $\rho = \rho_s PF$). Algunos materiales adecuados para las partículas sólidas granuladas incluyen, pero sin limitación, arena, arena alta en sílice, cuarzo, alúmina, alúmino-silicatos, pedernal calcinado, materiales tipo arcilla, minerales como la hematita, ilmenita, materiales de tipo refractario como la zirconia, titanita, partículas que contienen zirconia/titanita, o similares, y varias mezclas de estos. Como ejemplo ilustrativo, la ilmenita ofrece propiedades ventajosas a la vez que tiene mayores densidades de partículas que la arena o la arena alta en sílice, produciendo una mayor densidad del casi fluido ρ y, en consecuencia, una altura de columna más corta H para lograr una presión determinada P en el fondo de la tubería vertical 3.

Haciendo todavía referencia a la FIGURA 1, el aire calentado que sale del intercambiador de calor 6 fluye hacia la isla de la turbina. Antes de entrar en la turbina 9, las partículas que aún pueden estar presentes en el aire se eliminan preferentemente en un componente de control de partículas 7. También se pueden tomar medidas de diseño para reducir la concentración de partículas arrastradas en el aire que sale del intercambiador de calor 6. Por ejemplo, se puede controlar la velocidad del aire en el intercambiador de calor 6 y/o una zona de desconexión prevista por encima

del lecho, para así eliminar las partículas arrastradas. El control del desgaste y las sanciones también es un aspecto del diseño para la supresión de partículas, como lo es la selección del material de partículas. Las partículas restantes que transporta el aire caliente que sale del intercambiador de calor 6 se limpian preferentemente usando el componente de control de partículas 7, que puede comprender, por ejemplo, ciclones, hidrociclones, filtros de vela
 5 cerámica de alta temperatura, dispositivos de control de partículas de metal sinterizado, u otros. En un enfoque alternativo, el equipo de control de partículas, como los ciclones/hidrociclones o los filtros de vela pueden incorporarse integralmente en el intercambiador de calor 6 para aprovechar un límite de presión común (recipiente de presión).

El aire caliente que sale del componente de control de partículas 7 pasa luego por una cámara de combustión opcional
 10 8 que aumenta aún más la temperatura del aire presurizado al quemar el combustible F, como el gas natural, antes de enviarlo al bloque de la turbina 9. En las cámaras de combustión convencionales, como las cámaras de combustión de turbina de gas o los quemadores de gas natural, la temperatura del aire de entrada es relativamente baja, lo que protege los componentes metálicos de la cámara de combustión. Por el contrario, la cámara de combustión opcional 8 recibe aire de entrada desde el intercambiador de calor 6 a una temperatura elevada (de aproximadamente 700 °C
 15 o más en algunas realizaciones contempladas). La cámara de combustión 8 puede comprender, convenientemente, una cámara de combustión de tipo catalítico con el catalizador montado sobre un sustrato adecuado para una operación a temperatura elevada, como un sustrato cerámico refractario. Por otro lado, dado que el aire ya se calienta a una temperatura alta antes de entrar en la cámara de combustión 8, se reduce la cantidad de calor adicional que es necesario que proporcione la cámara de combustión 8 y, por lo tanto, se necesita menos combustible F (por ejemplo, gas natural en el ejemplo ilustrativo u otro combustible inflamable, como el gas licuado de petróleo, gasolina, biodiésel,
 20 u otros) para alcanzar una temperatura elevada deseada en la salida de la cámara de combustión 8. Así mismo, si la temperatura en la salida del intercambiador de calor 6 está a la temperatura elevada deseada, entonces la cámara de combustión 8 puede omitirse por completo. Mientras que la realización ilustrada emplea una cámara de combustión 8 que está separada del intercambiador de calor presurizado 6, en algunas realizaciones alternativas, se contempla quemar un combustible directamente en el intercambiador de calor presurizado para alcanzar una temperatura elevada deseada en la salida del intercambiador de calor presurizado.
 25

Las partículas que han sido enfriadas por el aire entrante en el intercambiador de calor 6 son capturadas y retiradas del fondo del intercambiador de calor 6 por tolvas, y transportadas al silo frío 11 usando un sistema de transporte de
 30 sólidos 10. Los sólidos descargados del intercambiador de calor 6 se enfrían aún más, por ejemplo, a una temperatura del orden de 450 °C o menos en algunas realizaciones contempladas, lo que optimiza la recuperación de calor y permite el uso de acero al carbono de bajo coste en los componentes de transporte corriente adelante. Las partículas del silo frío 11 están listas para ser devueltas a la parte superior del receptor solar 1 utilizando elevadores de cubos 12, 13 u otro dispositivo de transporte de sólidos. En algunas realizaciones, antes de enviar los sólidos de regreso al receptor solar 1 (o antes de ser enviados al silo de almacenamiento en frío 11), los sólidos se pasan sobre una pantalla vibratoria para rechazar cualquier material sobredimensionado que, de otro modo, podría obstruir los estrechos conductos de flujo del receptor solar 1.
 35

La tubería vertical 3 está construida, convenientemente, como una tubería revestida con refractario (o múltiples tuberías de este tipo) con una altura de varias decenas de metros (más en general, una altura mayor que la altura H de la columna de partículas sólidas necesaria para obtener la presión deseada P en el fondo de la tubería vertical 3). La tubería vertical 3 contiene, opcionalmente, componentes internos como las válvulas 14, y no es estrictamente necesario que la tubería vertical 3 tenga una sección transversal constante en toda su altura. Las válvulas internas
 40 ilustrativas 14 operan como válvulas de "retención" que evitan el contraflujo de sólidos en caso de que existan fluctuaciones o pulsos en cualquiera de los equipos corriente adelante de la tubería vertical 3, evitando que los materiales calientes sean vertidos al medio ambiente. Las válvulas 14 pueden colocarse a una elevación adecuada en la tubería vertical: la presión en las válvulas 14 debido a la columna de partículas sólidas por encima de las válvulas disminuye al aumentar la elevación de la colocación de las válvulas 14. Las válvulas 14, a modo de ejemplo ilustrativo, pueden ser válvulas cerámicas de tipo Iris del tipo utilizado en la industria para limitar el flujo de gas cargado de sólidos
 45 o el flujo de sólidos en un lecho empaquetado móvil, de modo que las válvulas pueden soportar temperaturas elevadas y son resistentes a la erosión. Las válvulas ilustrativas 14 no se utilizan para regular el flujo de sólidos o proporcionar un cierre hermético, por lo que no pueden utilizarse en sustitución a la válvula no mecánica 5 para una operación a alta temperatura.
 50

El silo caliente 4 ilustrativo incluye un respiradero para el aire de ventilación, usado para facilitar que los sólidos fluyan desde la tubería vertical 3 al silo caliente 4. El respiradero se puede provisto de un filtro caliente 15 para evitar la liberación de partículas sólidas calientes en la atmósfera, si el aire de ventilación se descarga en la atmósfera. De manera alternativa, el respiradero se puede conectar a la parte superior del intercambiador de calor presurizado 6. En este caso, el aire de ventilación se dirigirá a través de los filtros del intercambiador de calor y se puede omitir el filtro
 55 caliente 15. El extremo inferior de la tubería vertical 3 está sumergido en las existencias de partículas sólidas del silo caliente 4. Si los sólidos cerca del fondo de la tubería vertical 3 están hundidos, es decir, representan un lecho empaquetado, no es posible mover los sólidos desde la tubería vertical hacia el silo. Para garantizar un flujo uniforme de partículas desde el extremo inferior de la tubería vertical 3 hacia las existencias de partículas sólidas contenidas en el silo caliente 4, el diseño ilustrativo incluye una o más boquillas de fluidización 17, por ejemplo, el anillo de fluidización 17 que rodea el extremo inferior de la tubería vertical 3. Un fluido de ventilación inyectado en el anillo de fluidización 17 agita las existencias de partículas sólidas cerca del extremo inferior de la tubería vertical 3 para facilitar
 60
 65

el flujo de partículas fluidizadas en esta confluencia. Más en general, la boquilla de fluidización puede tener una geometría distinta de la geometría del anillo de fluidización 17. El fluido de ventilación suele ser aire. De manera alternativa, el fluido de ventilación podría ser una mezcla combustible de aire y combustible gaseoso, tales como, pero sin limitarse a, gas natural, metano o propano, para calentar aún más los sólidos en el silo caliente. Esta alternativa sería especialmente efectiva durante los períodos de bajo flujo térmico solar hacia el receptor solar 1.

Varios componentes de la central de energía requieren un suministro de aire comprimido (o de otro fluido de trabajo a presión elevada, como vapor). El aire comprimido se introduce en el intercambiador de calor 6 y, en algunas realizaciones preferidas, el ciclo termodinámico conlleva accionar un compresor de aire 18 usando la turbina (directamente o con la electricidad generada por un generador eléctrico accionado por la turbina) como parte del sistema secundario de generación de energía de la turbina de gas 9 e introducir el aire comprimido desde el compresor de aire 18 en el intercambiador de calor 6 para completar el ciclo termodinámico. En algunas realizaciones contempladas, el ciclo termodinámico es una aproximación de un ciclo Brayton, y el ciclo termodinámico de las realizaciones ilustrativas se denomina, en el presente documento, ciclo Brayton. El compresor 18 del ciclo Brayton también suministra convenientemente aire comprimido (u otro fluido de trabajo a presión elevada) para otros fines, tal como para proporcionar ventilación para el anillo de fluidización 17 en el silo caliente 4, para operar la válvula en L 5, y otros. De manera similar, la energía generada en el subsistema de generación de energía de la turbina de gas 9 a partir de un fluido de trabajo a presión y temperatura elevadas, o la energía mecánica obtenida del eje giratorio de la turbina, o la energía eléctrica obtenida por un generador eléctrico opcional (no mostrado) acoplado a la turbina, u otros, se utiliza convenientemente para operar los elevadores de cubos 12, 13 de la fase solar de la central de energía integrada.

De nuevo con referencia a las FIGURAS 2 y 3, se describen algunas realizaciones variantes ilustrativas de otras centrales de energía.

La FIGURA 2 muestra una configuración variante en la que el silo caliente presurizado 4 de la realización de la FIGURA 1 se sustituye por un silo caliente no presurizado 40, colocado a una elevación importante (es decir, encima de la columna de partículas sólidas en la tubería vertical 3 que genera la presión elevada P), y una cámara de compensación 41 más pequeña en el fondo de la tubería vertical 3. Debido a que el silo caliente 40 está por encima de la columna generadora de presión de partículas sólidas, El silo caliente 40 de la FIGURA 2 puede diseñarse para operar a presión atmosférica y, por lo tanto, no necesita ser construido como un recipiente de presión. La cámara de compensación 41 está en el fondo de la tubería vertical 3 y, por lo tanto, debe construirse como un recipiente de presión capaz de soportar la presión P generada en el fondo de la tubería vertical 3. Aunque no se muestra en la FIGURA 2, el anillo de fluidización 17 descrito con referencia a la FIGURA 1 puede incorporarse en la cámara de compensación 41, en el fondo de la tubería vertical 3, para inyectar ventilación y agitar las existencias de partículas sólidas y evitar la obstrucción en el fondo de la tubería vertical 3 para permitir el movimiento de sólidos desde la tubería vertical 3 hasta la cámara de compensación 41. De manera alternativa, la cámara de compensación 41 puede omitirse por completo, y el fondo de la tubería vertical 3 puede conectarse directamente a la entrada de la válvula en L 5. En esta realización, el silo caliente 40 sirve como cámara de compensación para desacoplar el control de flujo del interior del sistema receptor solar del flujo que va hacia el intercambiador de calor 6.

La FIGURA 3 es una realización alternativa de la central de energía de la FIGURA 2, e incluye el silo caliente elevado y sin presión 40 y la cámara de compensación 41 de la realización de la FIGURA 2. La realización de la FIGURA 3 incluye, además, un enfriador de sólidos 50, en el que la temperatura de las partículas sólidas descargadas desde el intercambiador de calor 6 se reduce aún más antes de volver al silo frío 11. La energía extraída de las partículas descargadas por el enfriador de sólidos 50 se integra opcionalmente en el ciclo de la turbina de gas de la central de energía al proporcionar un intercambiador de calor en el enfriador de sólidos 50 que está acoplado a la turbina 9. En una variante de realización, el calor recuperado por el enfriador de sólidos se puede utilizar para accionar otro ciclo de fondo, que se puede elegir entre otros posibles ciclos de energía, como otro ciclo de tipo Brayton.

Con referencia ahora a las FIGURAS 4-7, se describen algunas realizaciones ilustrativas del intercambiador de calor 6, que se emplean convenientemente como el intercambiador de calor 6 junto con cualquiera de las centrales de energía ilustrativas de las FIGURAS 1-3.

Con referencia a la FIGURA 4, un intercambiador de calor presurizado de lecho fluidizado 6 incluye una carcasa externa 100 que tiene la forma de un cilindro orientado en vertical, que es un recipiente de presión que define el límite de presión principal del intercambiador de calor 6. Dentro de la carcasa del recipiente 100 hay dispuesto un recipiente interno 102, con un espacio de aire 101 entre el recipiente interno 102 y la carcasa del recipiente 100. El compresor 18 del ciclo Brayton suministra el aire que entra en contacto con los sólidos calientes para transferir calor al aire. Este aire se suministra desde el compresor 18 hacia las boquillas 104 a través de las penetraciones del recipiente que pasan a través del recipiente presurizado 100. En la realización de la FIGURA 4, las boquillas 104 tienen forma de tuberías coaxiales: el aire frío se introduce haciéndolo fluir a través del anillo externo de la boquilla de la tubería coaxial 104 hacia el recipiente de presión 100, y el aire calentado se descarga desde el recipiente de presión 100 a través de la tubería interna de la boquilla de la tubería coaxial 104. Disponer el aire más frío en el anillo externo de la boquilla de la tubería coaxial 104 ayuda a mantener frías las paredes del recipiente de presión 100 (por debajo de 400 °C en algunas realizaciones). Si bien solo se representan dos boquillas de tubería coaxial 104 en la FIGURA 4, puede haber

un mayor número de boquillas para proporcionar un flujo de aire uniforme. La entrada de aire frío desde el compresor 18 a través del anillo externo de la boquilla 104 entra en el espacio 101 entre el recipiente de presión 100 y el recipiente interno 102, y pasa a través de los conductos o líneas de suministro 110 en el recipiente interno 102 que se conectan con las campanas de burbujeo de la red de distribución 112 de un lecho fluidizado 114. Las líneas de suministro 110 penetran en la carcasa metálica interna del recipiente interno 102 que separa el área del lecho fluidizado del recipiente de presión 100. Después, el aire penetra a través del lecho 114 de partículas y fluye hacia arriba. Al mismo tiempo, las partículas sólidas calientes del receptor solar 1, recibidas a través del silo caliente 4 y la válvula en L 5, entran en el intercambiador de calor a través de las boquillas de suministro de sólidos 120 y fluyen hacia abajo. El calor se transfiere desde las partículas sólidas que fluyen hacia abajo hasta el aire que fluye hacia arriba para que el aire se caliente a medida que fluye hacia arriba. En o cerca de la parte superior del recipiente interno 102, el aire caliente se recoge de las tuberías internas de las boquillas 104, que penetran en la parte superior del recipiente interno 102. El aire caliente recogido se envía al dispositivo de control de partículas 7 y, posteriormente, a la turbina Brayton 9 (opcionalmente, después de pasar por la cámara de combustión 8) como ya se describió con referencia a la FIGURA 1.

Los sólidos calientes se envían al lecho 114 a través de las boquillas de suministro de sólidos 120 distribuidas a través del área del plano del lecho. Una disposición de lecho fluidizado de fondo abierto permite que las partículas sólidas fluyan hacia abajo a través de todo el lecho 114 para ser recogidas en las tolvas 122 y salir del recipiente presurizado 100, por ejemplo, utilizando un sistema de tipo tolva de freno 124. Como se ha descrito anteriormente, el sello de presión en la parte superior del intercambiador de calor 6 se realiza utilizando la tubería vertical 3. Para los sólidos que salen del lecho a través de las tolvas 122, la temperatura es sustancialmente más baja (debido a la transferencia de calor hacia el aire que fluye hacia arriba en el intercambiador de calor 6) y, por lo tanto, es conveniente un sello basado en válvulas mecánicas, como el ilustrativo sistema de tolva de freno 124. Mientras que cada tolva 122 ilustrativa se representa con una bajante que penetra a través del fondo del recipiente de presión 100, un diseño alternativo podría combinar el flujo procedente de varias tolvas y salir del recipiente utilizando un surtidor en común para minimizar las penetraciones a través del recipiente de presión. Para conseguir esta disposición, se pueden conectar físicamente múltiples surtidores entre sí, o se podrían usar válvulas en L individuales para combinar las partículas de varias tolvas individuales en surtidores comunes.

La altura del lecho 130 y una zona de desconexión 132 se indican en la FIGURA 4. La altura del lecho 130 se mantiene para permitir un buen contacto entre el aire que fluye hacia arriba y los sólidos que fluyen hacia abajo, y para permitir un tiempo de permanencia adecuado para que los sólidos logren el intercambio de calor deseado con el aire. La zona de desconexión 132 proporciona una zona de baja velocidad para que las partículas sólidas se separen del aire, lo que reduce la concentración de partículas sólidas en el aire que sale del intercambiador de calor 6 y, por lo tanto, la cantidad de partículas sólidas que deben eliminarse en el dispositivo de control de partículas 7. La cubierta interna 102 está revestida convenientemente con un material refractario resistente a la erosión para proteger la cubierta 102 de la erosión, así como para proporcionar aislamiento térmico. La cubierta interna 102 no actúa como límite de presión y, en consecuencia, puede fabricarse con una cubierta relativamente fina. El recipiente interno 102 ilustrativo incluye una cubierta metálica externa 140, una capa refractaria aislante intermedia 142 y una capa refractaria interna resistente a la erosión 144, pero se contemplan otras configuraciones de cubierta. De manera alternativa, las paredes laterales de la cubierta interna 102 pueden revestirse con el esquema refractario resistente a la erosión descrito anteriormente y el techo de la cubierta interna 102 puede revestirse con un refractario aislante liviano, ya que el techo no está expuesto a los sólidos abrasivos que se mezclan en el zona del lecho 130. Esto reducirá el peso y el coste de la cubierta interna 102.

Las líneas ilustrativas de suministro y salida de aire están configuradas como boquillas de tubería coaxial 104. Este diseño permite que el aire de entrada, que está a una temperatura más baja, esté en el exterior, proporcionando una mejor adaptación a la temperatura de la pared del recipiente de presión 100, reduciendo así la expansión térmica diferencial entre la tubería de entrada y la pared del recipiente, y simplificando la selección de materiales y las soldaduras entre la tubería externa y la pared del recipiente. Esto también es ventajoso ya que permite que la penetración en el recipiente de presión 100 esté a la misma temperatura que el recipiente.

La FIGURA 5 representa un intercambiador de calor presurizado en el que el recipiente de presión cilíndrico orientado en vertical 100 de la realización de la FIGURA 4 se sustituye por un recipiente de presión cilíndrico orientado en horizontal 200. Esto permite instalar un área de lecho más grande en el recipiente de presión 100 o, tal y como se ilustra en la FIGURA 5, permite insertar dos (o más) recipientes internos 102 dispuestos a lo largo del eje del cilindro, cada uno con su propio lecho fluidizante 114. La configuración horizontal también permite reducir el diámetro del recipiente 200, reduciendo así el grosor del recipiente. La FIGURA 5 también ilustra una realización alternativa de acoplamiento de aire, en la que las boquillas de tubería coaxial 104 de la FIGURA 4 se sustituyen por boquillas de entrada 204 separadas y boquillas de descarga 205.

La FIGURA 6 muestra una vista frontal de un intercambiador de calor que emplea el recipiente de presión cilíndrico orientado en horizontal 200 (es decir, una vista que mira a lo largo del eje del cilindro) en combinación con las boquillas 104 de entrada/descarga de aire coaxial combinadas. Como se observa en la FIGURA 6, el recipiente de presión cilíndrico horizontal 200 forma, de manera natural, una cúpula (cilíndrica) sobre la parte superior del recipiente interno 102, que se puede utilizar para alojar componentes auxiliares como un separador de partículas (por ejemplo, un

separador de partículas ciclónico) para proporcionar una parte o la totalidad de la eliminación de partículas adicional o como sustituto del elemento de control de partículas 7 separado que se muestra en la FIGURA 1.

La FIGURA 7 muestra una realización de un intercambiador de calor que emplea nuevamente el recipiente de presión cilíndrico orientado en horizontal 200 (visto en la FIGURA 7 a lo largo del eje del cilindro como en la FIGURA 6), pero con un recipiente interior alternativo 302 que contiene una pluralidad de capas de lecho 314, 315, 316 conectadas por tubos de bajada 318. Este diseño incorpora múltiples capas 314, 315, 316 de lechos que permiten que el intercambiador de calor establezca un patrón de flujo a contracorriente entre los sólidos y el gas (aire u otro fluido de trabajo a presión elevada). La separación física de los lechos 314, 315, 316 a lo largo de la dirección vertical se logra utilizando las bandejas 317, placas perforadas o niveles u otras, y proporciona un flujo a contracorriente mejorado y una transferencia de calor mejorada entre las partículas y el gas. Con una capa de lecho simple (como en las realizaciones de las FIGURAS 4-6), el intercambiador de calor puede ser propenso a experimentar una mezcla vertical significativa del aire y los sólidos, que alcanzan una temperatura de mezcla más baja en común que la que puede alcanzarse con un diseño de lecho múltiple como el que se muestra en la FIGURA 7. Un diseño de lecho múltiple elimina la mezcla vertical al introducir múltiples niveles de contacto dentro del recipiente interior 302. Tal como se muestra en la FIGURA 7, el área de la sección transversal de los niveles inferiores del lecho se puede reducir (es decir, el área del lecho más superior 316 es más grande que el área del lecho central 315, que es más grande que el lecho más inferior 314; esta geometría se provee con unas paredes laterales inclinadas ilustradas del recipiente interno 302. Las temperaturas más bajas del aire en los niveles de lecho inferiores significan que las velocidades son más bajas para un área de sección transversal determinada. El criterio de diseño utiliza convenientemente las velocidades como medida de diseño y, por lo tanto, las temperaturas más bajas de los lechos inferiores permiten una reducción en el área para una velocidad de diseño determinada. Este diseño también supone una mezcla uniforme de los sólidos y, por lo tanto, mitiga las limitaciones de las velocidades de los gases. El aumento de las velocidades del gas podría permitir una mayor reducción del área del lecho en todos los niveles, siempre que se cumpla con la limitación de arrastre de sólidos. Los lechos apilados en vertical 314, 315, 316 y la reducción del área del lecho de los lechos inferiores permiten que el intercambiador de calor de la FIGURA 7 sea más pequeño/más compacto en comparación con los intercambiadores de calor de las FIGURAS 4, 5 y 6, lo que proporciona beneficios como un menor coste de fabricación, un peso reducido y unos grosores de pared de los componentes menores, y también puede permitir el uso de menos tolvas 122 y menos sistemas de tolva de freno correspondientes, lo que también reduce el número de válvulas mecánicas utilizadas en el sistema de eliminación de partículas sólidas en frío.

Se puede conseguir una reducción adicional del tamaño del recipiente separando el recipiente de presión en varios recipientes, cada uno con su propio recipiente interno. Los diversos recipientes pueden diseñarse más pequeños para manejar menores cantidades de sólidos y gases, o el intercambiador de calor puede descomponerse, de modo que cada recipiente pueda contener diferentes partes del intercambiador (por ejemplo, diferentes niveles de transferencia de calor, etc.). La FIGURA 5 muestra los recipientes internos 102 en una disposición de flujo paralelo. De manera alternativa, los recipientes internos 102 podrían conectarse en serie, es decir, donde el aire caliente que sale de un primer recipiente interno a través del tubo 205 se dirige directamente a la entrada 110 de un segundo recipiente interior sin salir del recipiente de presión 100.

Volviendo a la FIGURA 1 (o FIGURA 2 o FIGURA 3), existen ciertas limitaciones con el control de la central de energía. Para mantener la presión P en el fondo del tubo vertical 3, la columna de partículas sólidas en el tubo vertical 3 debe mantenerse a la altura H proporcionando esa presión P . Al mismo tiempo, un caudal suficiente de partículas sólidas calientes debe fluir hacia el intercambiador de calor 6 para mantener el ciclo Brayton (u otro ciclo termodinámico) operando en una salida de energía deseada.

En un enfoque de control ilustrativo que opera junto con la central de energía ilustrativa de la FIGURA 1, se monitorizan los siguientes parámetros de control (entradas) y se mantienen los puntos de control. La temperatura de salida de los sólidos desde el receptor solar 1 se monitoriza con termopares. Se establece un punto de ajuste para la temperatura de los sólidos que sale del receptor solar 1. El caudal de sólidos a través del receptor solar 1 está regulado por la velocidad del primer nivel de los elevadores de cubos 12 que elevan los sólidos desde el silo frío 11 hasta el receptor solar 1. El segundo nivel de los elevadores de cubos 13 opera a una velocidad suficientemente alta para transferir todos los sólidos desde el primer elevador de cubos 12 cuando opera al caudal máximo de sólidos. Los sólidos descargados del receptor solar 1 se transfieren al colector 2 (o serie de colectores) que descargan los sólidos en la tubería vertical 3, que transfiere los sólidos calientes al silo caliente 4. El silo caliente 4 está provisto de una tubería de succión interna rodeada por una tubería coaxial con el anillo de fluidificación 17 en la base, y se envía aire de ventilación al anillo de fluidización 17 para que todos los sólidos capturados por el colector 2 puedan almacenarse en el silo caliente 4. El caudal del aire de ventilación hacia el anillo de fluidización 17 se ajusta para transferir el exceso de sólidos capturados por el colector 2 hacia el volumen anular del silo caliente 4 mientras se mantiene el nivel (o altura H) objetivo de los sólidos en la tubería vertical 3 para mantener el sello de presión deseado. Estas operaciones de control regulan la operación del receptor solar 1.

En un enfoque de control contemplado ilustrativo, el control está configurado con cinco bucles o puntos de control principales. Varios componentes del sistema están diseñados para no limitar la transferencia de sólidos desde un sistema secundario o componente al siguiente. En un primer punto de control, el nivel de partículas en la tolva de distribución en la parte superior del receptor solar 1 (detalle no mostrado en la FIGURA 1) está regulado por la

velocidad del primer nivel de los elevadores de cubos 12 que elevan los sólidos desde el silo frío 11 hasta el receptor solar 1. La velocidad de los elevadores de cubos 12 se ajusta para mantener un nivel de partículas objetivo en la tolva de distribución en la parte superior del receptor solar 1 y se mide gracias a una serie de detectores de nivel alrededor de la circunferencia de la tolva.

5 En un segundo punto de control, el caudal de sólidos a través del receptor solar 1 está regulado por una serie de válvulas de tolva en el fondo de la tolva de distribución, ubicada alrededor de la circunferencia del receptor solar 1. La operación de las válvulas de tolva se ajusta para mantener una temperatura de partículas objetivo en la descarga del receptor solar 1, medida por una serie de termopares (u otros sensores de temperatura) ubicados alrededor de la
10 circunferencia del receptor solar 1. La operación de las válvulas de tolva individuales se puede ajustar para regular la temperatura de descarga de las partículas en la sección vertical del receptor con el que trabaja la válvula de tolva específica.

15 En un tercer punto de control, el silo caliente 4 está provisto de una tubería de succión interna rodeada por una tubería coaxial con el anillo de fluidificación 17. Se envía aire de ventilación al anillo de fluidización 17 para que todos los sólidos capturados por el colector 2 puedan almacenarse en el silo caliente 4. El caudal del aire de ventilación se ajusta para transferir el exceso de sólidos capturados por el colector 2 hacia el volumen anular del silo caliente 4 mientras se mantiene un nivel objetivo de partículas en la tubería vertical 3 para mantener el sello de presión.

20 En un cuarto punto de control, el caudal de partículas calientes a través del intercambiador de calor 6 aumenta o disminuye mediante el ajuste del flujo de aire de ventilación que va hacia la válvula en L 5 para mantener la temperatura de salida objetivo y el caudal de aire como respuesta a una señal de demanda de energía eléctrica procedente del sistema de generación de energía de la turbina de gas 9.

25 En un quinto punto de control, las válvulas de drenaje del lecho del intercambiador de calor 6 funcionan en ciclo para mantener el nivel del lecho objetivo en el intercambiador de calor 6 a medida que el flujo de partículas a través del intercambiador de calor 6 aumenta o disminuye en función de la señal de demanda de energía eléctrica.

30 En un sexto punto de control, se introduce una mezcla combustible de aire y gas natural (u otro combustible gaseoso) a través del anillo de ventilación de silo caliente 17 para proporcionar un calentamiento de sólidos adicional y alcanzar la temperatura objetivo deseada en el intercambiador de calor presurizado 6. Como las partículas sólidas están por encima de la temperatura de autoignición de una mezcla combustible de aire y gas natural, el gas natural se encenderá y proporcionará calor adicional en las partículas sólidas.

35 Más en particular, el control relacionado con el ciclo Brayton que conlleva el intercambiador de calor 6 y el sistema secundario de generación de energía de la turbina de gas 9 se realiza convenientemente como a continuación. Se establece una demanda de carga del proceso. Se establece una temperatura de salida objetivo y un caudal de aire procedente del intercambiador de calor 6 que consiste en la demanda de carga. El flujo de aire a través del intercambiador de calor 6 aumenta en respuesta al punto de ajuste de demanda de flujo de aire. El flujo de sólidos a
40 través del intercambiador de calor 6 aumenta al aumentar el flujo de aire de ventilación que va hacia la válvula en L 5 para mantener la temperatura de salida de aire objetivo. Las válvulas de drenaje del lecho del intercambiador de calor 6 funcionan en ciclo para mantener el nivel del lecho de diseño en el intercambiador de calor 6. El sistema de transferencia de sólidos opera a una sola velocidad para adaptar el caudal máximo requerido para transferir todos los sólidos desde el fondo del sistema de drenaje del lecho del intercambiador de calor 6 hasta el silo frío 11.

45 Las centrales de energía descritas, que integran la energía solar concentrada (CSP) con un intercambiador de calor presurizado, proporcionan eficiencias elevadas de conversión de calor a electricidad, que se pueden aprovechar para reducir el impacto del campo de espejos (campo de heliostatos), y tienen muchas otras ventajas. Cuando la combustión de gas natural se lleva a cabo gracias a la cámara de combustión 8, el aire calentado tanto por el intercambiador de calor 6 y por la cámara de combustión 8 permite alcanzar temperaturas de entrada de la turbina de gas más altas y, en consecuencia, mayores eficiencias que la central de CSP atípica que opera con vapor y/o sal fundida como fluido de transferencia de calor. El sistema integrado divulgado también proporciona la capacidad de almacenar energía en forma de energía térmica almacenada en las partículas sólidas calientes del silo caliente 4, que luego se puede utilizar para producir energía después del atardecer o en otros momentos en los que se reduce la disponibilidad de energía
50 solar. La central de energía integrada divulgada integra ventajosamente el receptor solar 1 al bloque de turbina 9, que es similar a un bloque de turbina de ciclo combinado de gas natural que comprende una turbina Brayton (ciclo) y un ciclo de turbina de vapor. Si bien el sistema ideal incorporaría una isla de turbina de vapor además de la turbina Brayton, el sistema ofrece la capacidad de generar energía únicamente en la turbina Brayton si la central no es compatible con un sistema basado en vapor.

60 El intercambiador de calor 6 utilizado para extraer calor de las partículas calientes es, convenientemente, un intercambiador de calor presurizado de contacto directo, lo que proporciona más ventajas. El intercambiador de calor 6 es un lecho ligeramente fluidizado que permite que el sistema consiga un flujo global de contracorriente de aire y partículas para maximizar la extracción de energía desde la partícula hasta el aire. Para mantener la presión en el intercambiador de calor 6, en la realización de la FIGURA 1, el silo caliente 4 y la tubería vertical 3 también están bajo
65 presión. Una columna de partículas sólidas con la altura diseñada H se mantiene en la tubería vertical 3 para

proporcionar la presión de sellado P en el fondo de la tubería vertical 3. La altura H de sólidos en la tubería vertical 3 es el mecanismo principal de sellado frente a la presión del intercambiador de calor presurizado 6 y la presión del silo caliente 4. La altura del tubo vertical 3 (que impone una limitación máxima de la altura de la columna H), la temperatura de operación y la selección de partículas se tienen en cuenta para determinar la altura de diseño H del nivel de sólidos que se mantiene para permitir la operación del intercambiador de calor 6 a una presión determinada. Por lo tanto, el sistema ofrece los medios para conseguir las presiones deseadas en el intercambiador de calor de lecho fluidizado 6 sin que sea necesario un diseño de tolva de freno que opere tras la emisión de partículas sólidas calientes por parte del receptor solar 1.

En la realización ilustrativa, la válvula en L 5 (u otra válvula no mecánica operada por ventilación) se utiliza para controlar la introducción de las partículas calientes en el intercambiador de calor 6. En una realización alternativa, se puede utilizar un sistema de tipo tolva de freno para introducir partículas sólidas y extraer partículas mientras se permite que el intercambiador de calor 6 opere a la presión deseada. El silo caliente 4 está diseñado (en la realización de la FIGURA 1) para mantener la presión, crear un sello alrededor de la tubería vertical 3 y permitir que las partículas fluyan por la tubería vertical 3 y llenen el silo caliente 4. El silo incluye opcionalmente una o más boquillas de fluidización 17 alrededor del fondo de la tubería vertical 3 para permitir que las partículas fluyan hacia abajo desde la tubería vertical 3 y fluyan hacia arriba alrededor de la periferia o adyacentes al fondo de la tubería vertical 3 para llenar el silo caliente presurizado 4. En realizaciones alternativas de las FIGURAS 2 y 3, el silo caliente 40 no está presurizado y se encuentra más elevado, lo que elimina la necesidad de utilizar el recipiente de presión de gran capacidad que define el silo caliente 4 de la realización de la FIGURA 1. En estos diseños alternativos, un recipiente de compensación 41 más pequeño proporciona la amortiguación del flujo de partículas sólidas entre el receptor solar 1 y el intercambiador de calor 6, o alternativamente el silo caliente 40 puede servir como recipiente de compensación.

La presión del silo caliente 4 o del recipiente de compensación 41 se mantiene opcionalmente, además, gracias a una válvula de control de regulación de presión (tal como una válvula de regulación de presión o válvula de ventilación regulada, con filtro caliente 15 ilustrativo) del silo de partículas calientes 4 o del recipiente de compensación 41. Esto permite que el sistema expulse el exceso de acumulación de aire del aire de fluidización o del aire que entra en el silo o en el recipiente de compensación desde la válvula en L 5 (o el sello de bucle o la válvula en J). Si el exceso de aire no se purga correctamente del silo caliente, la presión en el silo caliente aumentará, deteniendo así el flujo de sólidos por la tubería vertical o a través de la zona del anillo dentro del silo caliente ejerciendo una contrapresión sobre los sólidos en estas zonas. El control adecuado de la presión dentro del silo caliente facilita el mantenimiento de un equilibrio general de presión del sistema para fomentar el flujo uniforme de partículas alrededor del sistema. La válvula de control de presión puede colocarse preferentemente después de un filtro de partículas calientes 15 (u otro dispositivo de control de partículas) para operar en un entorno libre de partículas (pocas partículas) y potencialmente a una temperatura más baja. Alternativamente, estas válvulas pueden colocarse por delante del dispositivo de control de partículas.

Algunas realizaciones adicionales se presentan a continuación como ejemplos adicionales.

En una realización, se puede proporcionar un sistema basado en sólidos de energía solar concentrada, que comprende: un receptor solar, un depósito de almacenamiento de sólidos calentados, un intercambiador de calor presurizado, una válvula dispuesta para introducir los sólidos calentados en el intercambiador de calor presurizado. Se suministra un medio gaseoso al intercambiador de calor presurizado y los sólidos enfriados desde el intercambiador de calor presurizado se transportan al receptor solar. Una turbina de gas se acciona gracias al medio gaseoso calentado en el intercambiador de calor presurizado. Los sólidos finos del medio gaseoso se recogen cuando salen del intercambiador de calor presurizado utilizando el/los componente(s) de control de partículas adecuado(s). El depósito de almacenamiento de sólidos está presurizado (por ejemplo, configurado como un silo caliente presurizado). Hay una tubería vertical en el canal de los sólidos calentados desde el receptor solar hasta el depósito de almacenamiento presurizado de sólidos calentados. La altura de la tubería vertical es suficiente para permitir mantener una columna de partículas sólidas con una altura H suficiente para proporcionar un sello contra la presión en el depósito de almacenamiento de sólidos calentados. En un sistema de este tipo, la tubería vertical puede estar, al menos parcialmente, rodeada por el depósito de almacenamiento presurizado de sólidos calentados, y los sólidos cerca del fondo de la tubería vertical pueden fluidizarse. Se puede proporcionar un conducto para conectar el anillo de fluidización u otro elemento de fluidización con una elevación mayor dentro del depósito de almacenamiento presurizado de sólidos calentados. El depósito de almacenamiento presurizado de sólidos calentados puede estar provisto de un respiradero para el medio de fluidización (por ejemplo, el aire) utilizado en la fluidización cerca del fondo de la tubería vertical. El respiradero puede comprender un filtro u otro dispositivo de control de partículas para recoger los sólidos finos del medio fluidizante que salen del depósito de almacenamiento presurizado de sólidos calentados. El respiradero puede estar conectado a la parte superior del intercambiador de calor presurizado. El intercambiador de calor presurizado puede comprender un solo lecho, o puede comprender una pila de lechos en bandejas o similares, soportando cada bandeja un lecho de sólidos y proporcionando una distribución uniforme del medio gaseoso a través del lecho. Las bandejas están conectadas convenientemente por tubos de bajada o similares para permitir que los sólidos fluyan hacia abajo a través de la pila de bandejas y para permitir que el aire u otro gas de trabajo a presión elevada fluya hacia arriba, consecutivamente, a través de las bandejas, lo que produce el contraflujo de sólidos a gas. Los sólidos se fluidizan en al menos una de las bandejas. Los sólidos se introducen convenientemente desde el depósito de almacenamiento presurizado de sólidos calentados en la parte superior del lecho en la bandeja más

superior. Los sólidos pueden introducirse a través de al menos dos puntos de introducción, distribuidos uniformemente en el área del plano del lecho más superior. Los sólidos se eliminan del intercambiador de calor presurizado a través de al menos un puerto de descarga ubicado debajo de la bandeja más inferior. Dicho al menos un puerto de descarga puede comprender un sello contra la presión en el intercambiador de calor presurizado. El dispositivo de control de partículas para recoger los sólidos finos del medio gaseoso puede incluir un filtro que comprende material resistente a altas temperaturas con poros finos. Las elevaciones respectivas de los componentes del sistema están configuradas para permitir que los sólidos se muevan desde el receptor solar a través del intercambiador de calor presurizado gracias a la gravedad. La medición de los sólidos desde el depósito de almacenamiento de sólidos calentados hasta el intercambiador de calor se realiza convenientemente mediante una válvula no mecánica, como una válvula en L. La introducción de sólidos calentados en el intercambiador de calor puede incluir una sección de seguridad que evita la producción de sólidos a menos que los sólidos de la sección estén fluidizados. El sistema basado en sólidos de energía solar concentrada puede incluir, además, una cámara de combustión, por ejemplo, un quemador, para calentar aún más el aire u otro medio gaseoso en un conducto entre el intercambiador de calor presurizado y la turbina de gas.

En otra realización, se puede proporcionar un sistema basado en sólidos de energía solar concentrada, que comprende un receptor solar, un depósito de almacenamiento de sólidos calentados, un intercambiador de calor presurizado, un medio para introducir los sólidos calentados en el intercambiador de calor presurizado, un medio para suministrar un medio gaseoso en el intercambiador de calor presurizado, un medio para transportar los sólidos refrigerados desde el intercambiador de calor presurizado hasta el receptor solar, una turbina de gas accionada por el medio gaseoso calentado en el intercambiador de calor presurizado, un medio para recoger sólidos finos del medio gaseoso que sale del intercambiador de calor presurizado, y un medio para proporcionar un sello entre el depósito de almacenamiento de sólidos calentados y el intercambiador de calor presurizado. Los medios para proporcionar un sello pueden comprender válvulas mecánicas, como las tolvas de cierre, válvulas giratorias o válvulas de charnela doble. Las partículas sólidas, en algunas realizaciones, pueden comprender al menos uno de: arena, arena alta en sílice, cuarzo, alúmina, alúmino-silicatos, pedernal calcinado, titanato de hierro, bauxita, arcillas, hematita e ilmenita.

Por consiguiente, desde una perspectiva, se ha descrito una central de energía que incluye un receptor solar que calienta partículas sólidas, una tubería vertical que recibe las partículas sólidas procedentes del receptor solar, un intercambiador de calor presurizado, que calienta el fluido de trabajo mediante transferencia de calor a través del contacto directo con las partículas sólidas calentadas que salen del fondo de la tubería vertical, y un canal de flujo para partículas sólidas desde el fondo de la tubería vertical hacia el intercambiador de calor presurizado, que está sellado con una presión P , producida en el fondo de la tubería vertical por una columna de partículas sólidas calentadas con la altura H . El canal de flujo puede incluir un silo o cámara de compensación, que comprende un recipiente de presión conectado al fondo de la tubería vertical, y una válvula no mecánica. La central de energía puede incluir, además, una turbina accionada por el fluido de trabajo calentado descargado desde el intercambiador de calor presurizado, y un compresor accionado por la turbina.

Se han descrito realizaciones ilustrativas que incluyen las realizaciones preferidas. Si bien se han mostrado y descrito en detalle realizaciones específicas para ilustrar la aplicación, se entenderá que no se pretende limitar el alcance a estas. En algunas realizaciones, algunas características se pueden utilizar, en ocasiones, sin un uso correspondiente de las otras características. En consecuencia, todos los cambios y realizaciones de este tipo quedan debidamente incluidos dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones. A aquellos que lean y entiendan la descripción detallada anterior, se les podrán ocurrir modificaciones y alteraciones de la misma. Se pretende que se interprete que la presente divulgación incluye todas esas modificaciones y alteraciones en la medida en que se incluyan en el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una central de energía que comprende:

5 un receptor solar (1) configurado para calentar partículas sólidas;
 una tubería vertical (3) que se extiende hacia abajo desde el receptor solar, para recibir las partículas sólidas desde
 el receptor solar, teniendo la tubería vertical una altura suficiente para soportar una columna de partículas sólidas
 calentadas con una altura H ;
 un intercambiador de calor presurizado (6), configurado para operar a una presión elevada más alta que la presión
 10 atmosférica, para calentar el fluido de trabajo que fluye a través del intercambiador de calor presurizado mediante
 la transferencia de calor desde las partículas sólidas calentadas que salen del fondo de la tubería vertical, en donde
 el fluido de trabajo es un medio gaseoso; y
 un canal de flujo para partículas sólidas desde el fondo de la tubería vertical hacia el intercambiador de calor
 presurizado, que está configurado para ser sellado por una presión P producida en el fondo de la tubería vertical
 15 por una columna de partículas sólidas calentadas con una altura H ,
 en donde el canal de flujo incluye una válvula no mecánica (5) configurada para regular el flujo de las partículas
 sólidas desde el fondo de la tubería vertical hacia el intercambiador de calor controlando un flujo de fluido de trabajo
 en la válvula no mecánica;
 y en donde el receptor solar comprende:
 20 un volumen anular (VA) a través del que las partículas sólidas granulares fluyen hacia abajo; y tubos de
 canalización de luz (TL) que tienen aberturas (TA) en la superficie externa del volumen anular, para recibir luz
 de un campo de heliostatos, y que se extienden hacia el volumen anular, de modo que las partículas sólidas
 granulares que fluyen hacia abajo pasen por los tubos de canalización de luz para absorber la energía solar
 25 térmica.

2. La central de energía de la reivindicación 1, en donde el canal de flujo incluye: un silo o cámara de compensación
 (41) que comprende un recipiente de presión conectado al fondo de la tubería vertical.

30 3. La central de energía de la reivindicación 2, en donde el silo o cámara de compensación incluye: al menos una
 boquilla de fluidización (17) dispuesta en el silo o cámara de compensación y configurada para emitir el fluido de
 trabajo para agitar las existencias de partículas sólidas del silo o la cámara de compensación, comprendiendo la
 boquilla de fluidización, opcionalmente, un anillo dispuesto alrededor del fondo de la tubería vertical.

35 4. La central de energía de cualquier reivindicación anterior, en donde el canal de flujo incluye: la válvula no mecánica
 que no tiene partes móviles y que opera por la agitación de las partículas sólidas en la válvula gracias al flujo del fluido
 de trabajo.

40 5. La central de energía de cualquier reivindicación anterior, que comprende, además:

una turbina (9) conectada operativamente al intercambiador de calor presurizado para ser accionada por el fluido
 de trabajo calentado descargado desde el intercambiador de calor presurizado; y
 un compresor (18) accionado por la turbina para conducir el fluido de trabajo a través del intercambiador de calor
 presurizado, para definir un ciclo termodinámico accionado, al menos en parte, por la energía solar concentrada
 45 (CSP), que comprende la energía térmica depositada en las partículas sólidas calentadas por el receptor solar.

6. La central de energía de la reivindicación 5, que comprende, además:
 una cámara de combustión, configurada para añadir calor en el fluido de trabajo calentado descargado desde el
 intercambiador de calor presurizado antes de accionar la turbina.
 50

7. La central de energía de la reivindicación 5 o 6, en donde el compresor accionado por la turbina para conducir el
 fluido de trabajo a través del intercambiador de calor presurizado define un ciclo Brayton accionado, al menos en parte,
 por la CSP, que comprende la energía térmica depositada en las partículas sólidas calentadas por el receptor solar.

55 8. La central de energía de cualquier reivindicación anterior, en donde el intercambiador de calor presurizado
 comprende un intercambiador de calor presurizado de lecho fluidizado.

9. La central de energía de cualquier reivindicación anterior, en donde la presión P es de al menos 5 atm.

60 10. Un método que comprende:

calentar partículas sólidas en un receptor solar (1);
 transformar las partículas sólidas calentadas descargadas por el receptor solar en una pila con una altura H
 introduciéndolas por gravedad desde el receptor solar, en donde la pila está ubicada en una tubería vertical (3);
 65 transferir las partículas sólidas desde el fondo de la pila con una altura H en un intercambiador de calor presurizado
 (6), en donde la transferencia incluye sellar un canal de flujo desde el fondo de la pila con una altura H hacia el

intercambiador de calor presurizado por la presión producida por el peso de la pila con una altura H ; y en el intercambiador de calor presurizado, transferir el calor desde las partículas sólidas hasta un fluido de trabajo a una presión elevada de al menos 5 atm, en donde el fluido de trabajo es un medio gaseoso;

5 el canal de flujo incluye una válvula no mecánica (5) que regula el flujo de las partículas sólidas desde el fondo de la tubería vertical hacia el intercambiador de calor controlando un flujo de fluido de trabajo en la válvula no mecánica;

en donde el receptor solar comprende:

10 un volumen anular (VA) a través del que las partículas sólidas granulares fluyen hacia abajo; y tubos de canalización de luz (TL) que tienen aberturas (TA) en la superficie externa del volumen anular, para recibir luz de un campo de heliostatos, y que se extienden hacia el volumen anular, de modo que las partículas sólidas granulares que fluyen hacia abajo pasen por los tubos de canalización de luz para absorber la energía solar térmica.

15 11. El método de la reivindicación 10, que comprende, además:

accionar una turbina (9) usando el fluido de trabajo calentado por la transferencia de calor desde las partículas sólidas en el intercambiador de calor presurizado; y

20 hacer circular el fluido de trabajo a través del intercambiador de calor presurizado utilizando un compresor (18) accionado por la turbina, mediante lo que se define un ciclo termodinámico que se acciona gracias al calentamiento de las partículas sólidas en el receptor solar.

12. El método de la reivindicación 11, que comprende, además:

25 el calentamiento adicional, mediante un proceso de combustión, del fluido de trabajo calentado por la transferencia de calor desde las partículas sólidas en el intercambiador de calor presurizado; en donde el ciclo termodinámico se acciona adicionalmente por el calentamiento adicional mediante el proceso de combustión;

30 en donde el proceso de combustión puede realizarse en uno o más de: el intercambiador de calor presurizado, una cámara de combustión separada del intercambiador de calor presurizado, un tanque de almacenamiento en el fondo de la pila con una altura H y una turbina accionada usando el fluido de trabajo calentado por la transferencia de calor desde las partículas sólidas en el intercambiador de calor a presión.

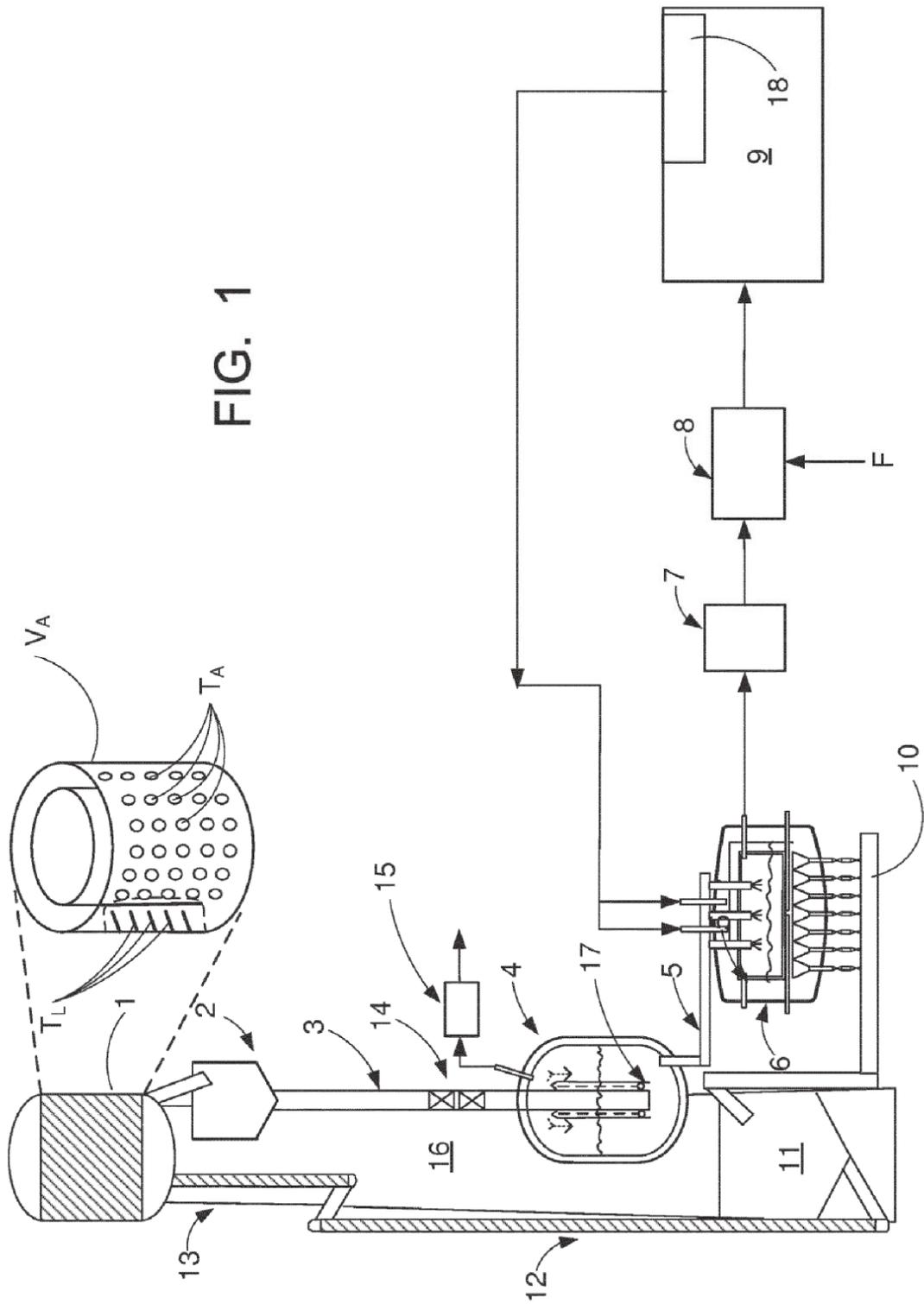


FIG. 1

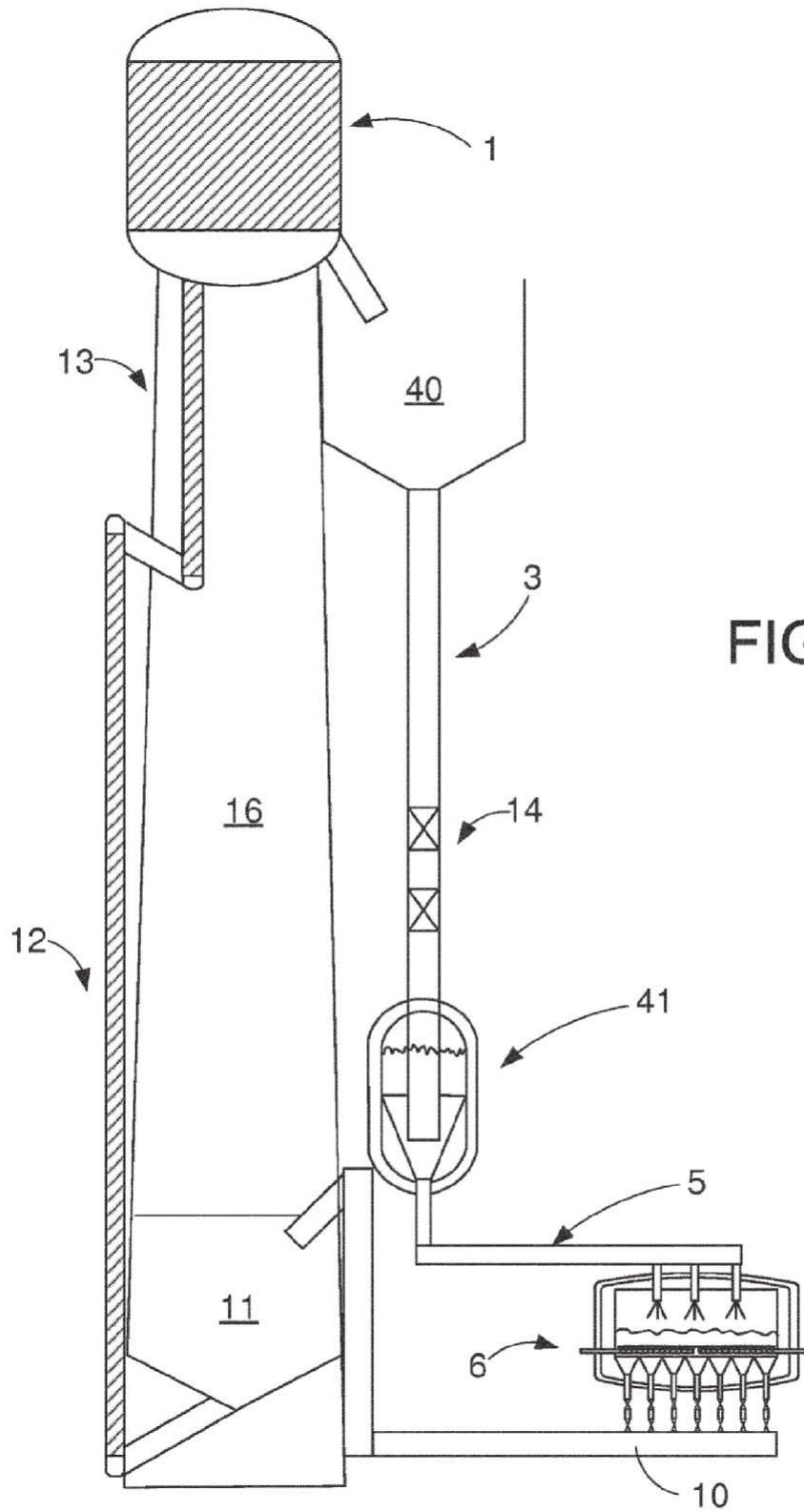


FIG. 2

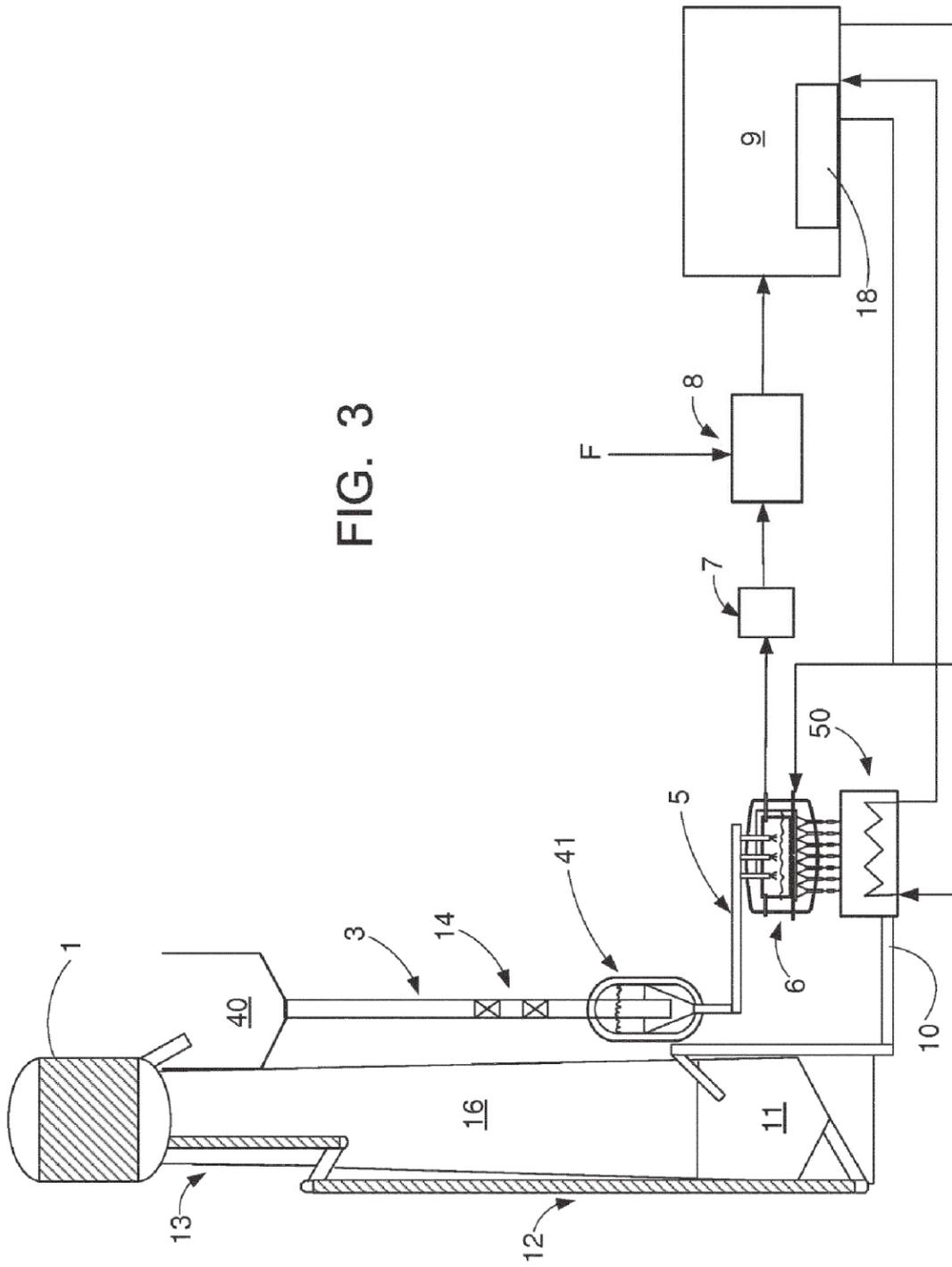


FIG. 3

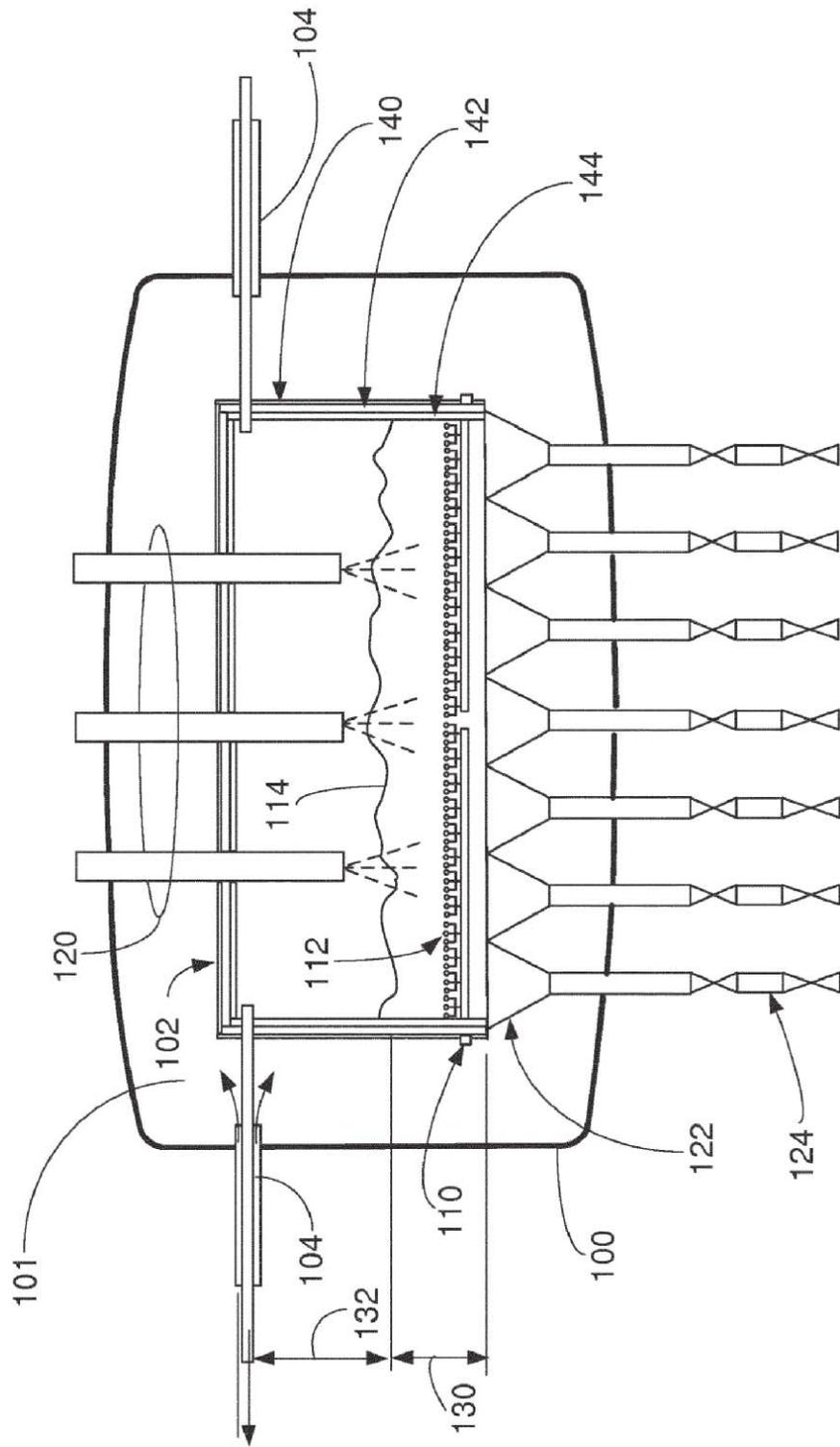


FIG. 4

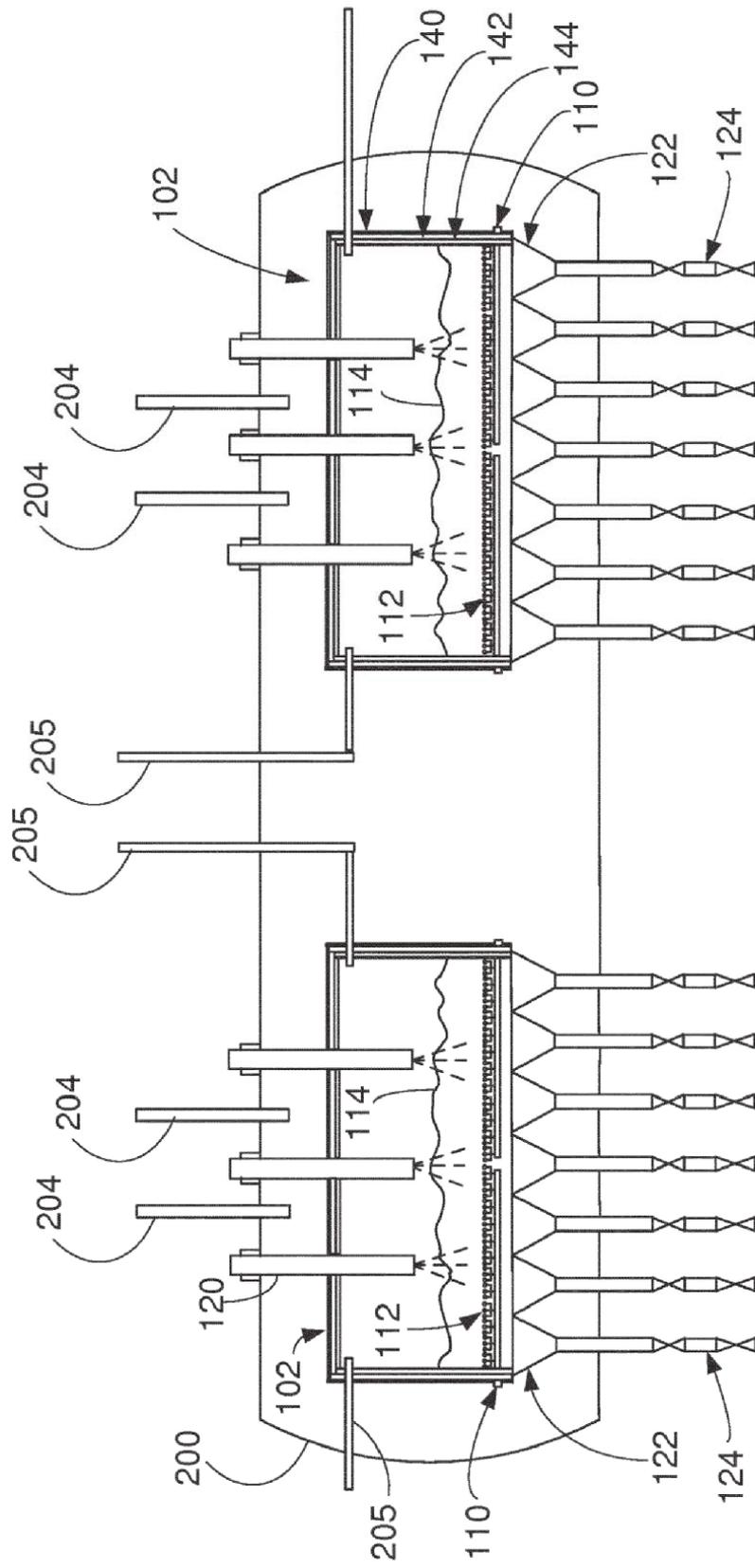


FIG. 5

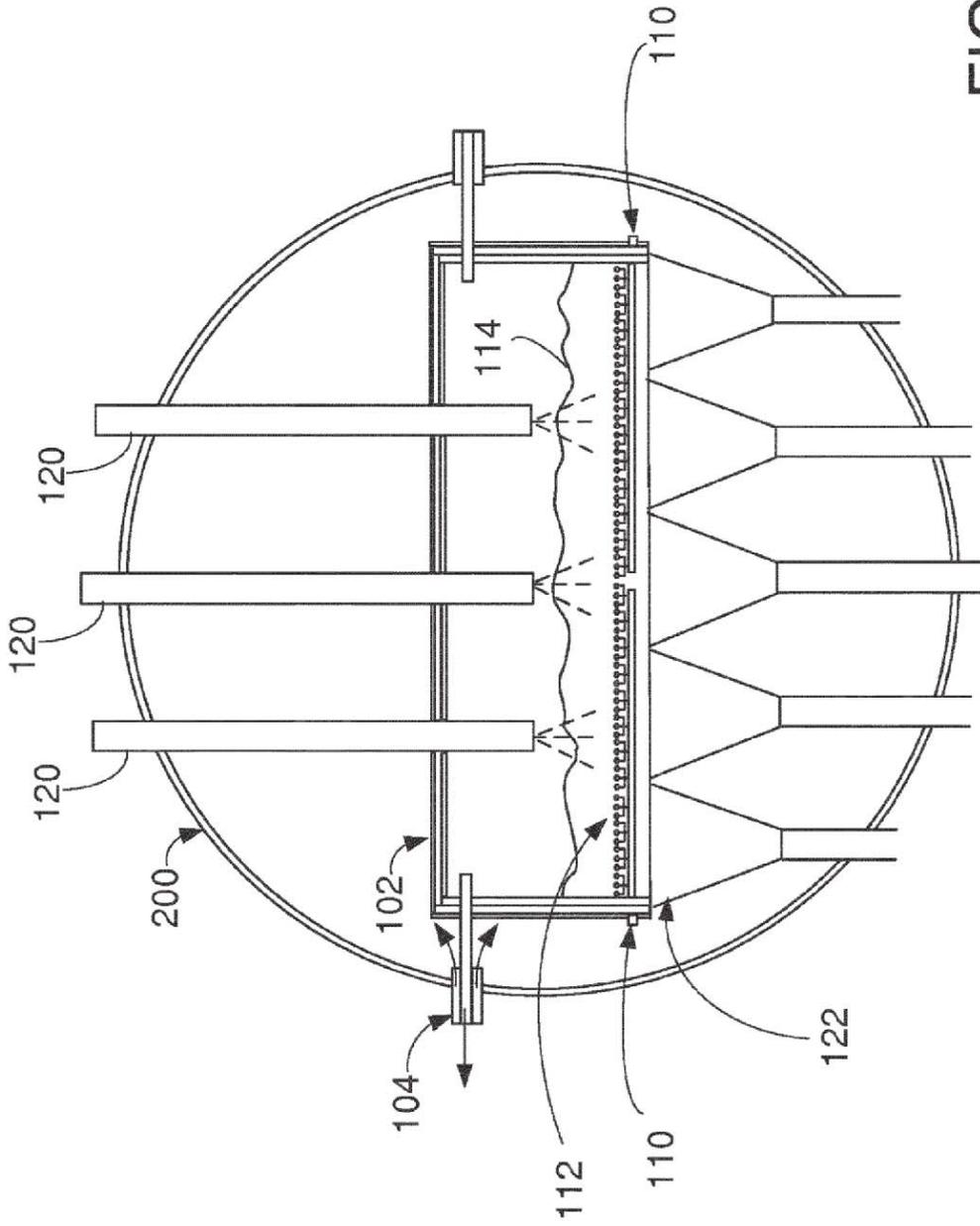


FIG. 6

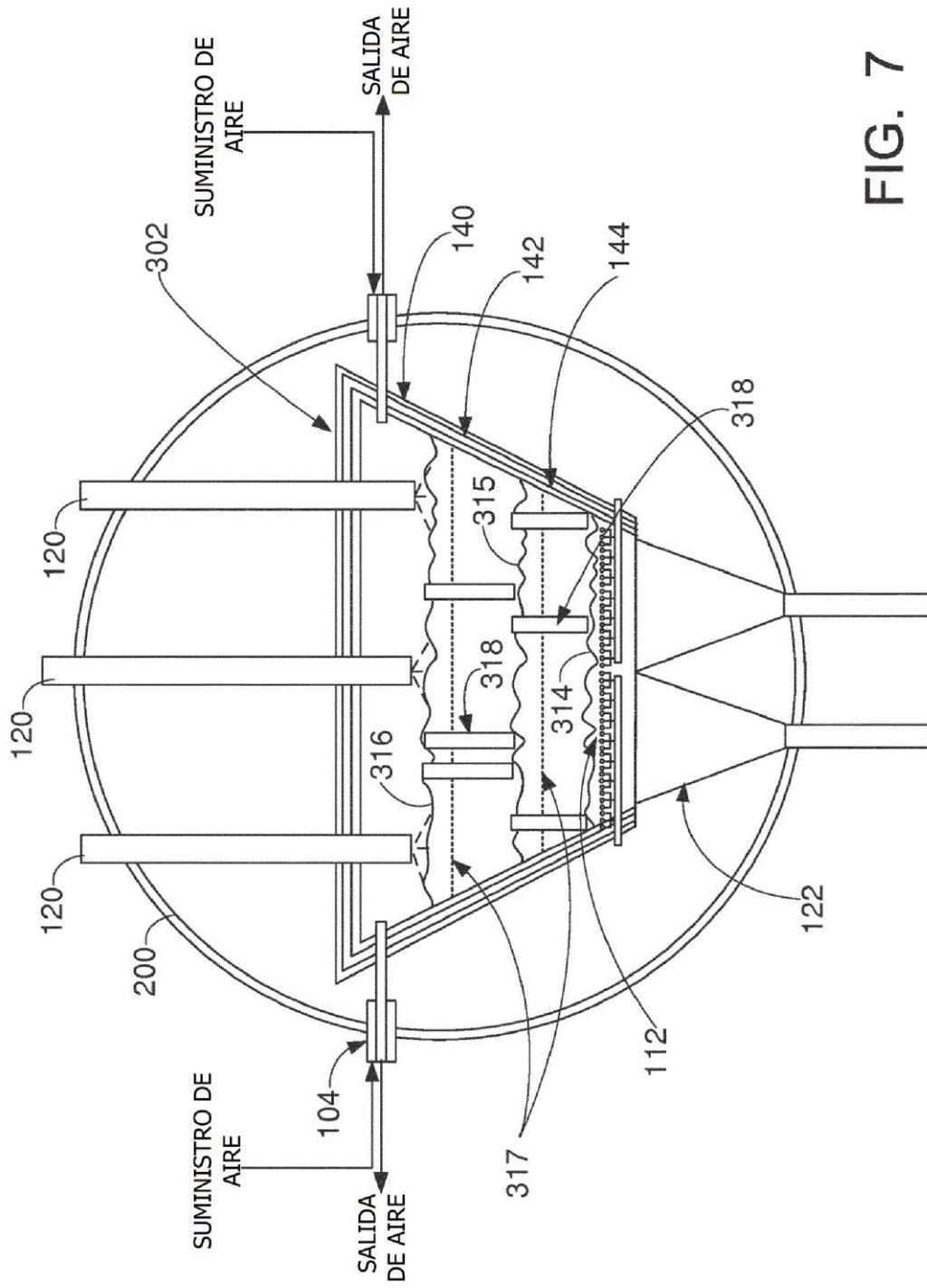


FIG. 7