

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 782 773**

51 Int. Cl.:

C02F 3/00	(2006.01)	C02F 1/20	(2006.01)
C02F 3/02	(2006.01)	C02F 1/28	(2006.01)
F23K 1/04	(2006.01)	C02F 1/44	(2006.01)
F23G 5/04	(2006.01)	C02F 9/00	(2006.01)
F23G 5/30	(2006.01)	C02F 11/06	(2006.01)
F23G 5/40	(2006.01)	C02F 11/12	(2009.01)
B01D 1/04	(2006.01)	F01K 17/06	(2006.01)
B01D 1/22	(2006.01)	F01K 25/04	(2006.01)
C02F 1/00	(2006.01)	F22B 31/00	(2006.01)
C02F 1/04	(2006.01)	F01K 17/04	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.11.2015 PCT/US2015/059765**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **19.05.2016 WO16077241**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.11.2015 E 15859748 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2020 EP 3218314**

54 Título: **Sistema multifuncional de procesamiento de residuos húmedos**

30 Prioridad:

14.11.2014 US 201414542521

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

16.09.2020

73 Titular/es:

**BILL&MELINDA GATES FOUNDATION (100.0%)
500 5th Avenue North
Seattle, WA 98109, US**

72 Inventor/es:

JANICKI, PETER

74 Agente/Representante:

MILTENYI , Peter

ES 2 782 773 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 multifuncional de procesamiento de residuos húmedos

5 CAMPO TÉCNICO

La presente tecnología se refiere a sistemas multifuncionales, equipos, y métodos asociados, para el procesamiento de residuos fecales y desechos.

10 En particular, a través de la invención se presenta un sistema multifuncional de procesamiento de residuos húmedos para la generación de electricidad y agua limpia que presenta las características definidas en la reivindicación 1.

ANTECEDENTES

15 Muchas zonas del mundo utilizan sistemas de saneamiento abiertos para el manejo de residuos humanos y otros desechos, mientras que otras zonas utilizan sistemas sépticos u otros sistemas insatisfactorios que descargan aguas residuales en desagües abiertos o aguas superficiales. Estas malas condiciones de saneamiento contribuyen a importantes problemas de salud en estas zonas. Muchas de estas zonas con sistemas de saneamiento inadecuados también tienen dificultades para mantener agua potable limpia, lo que se suma a posibles problemas de salud. Estas zonas, a menudo, tienen limitados recursos disponibles para generar electricidad, o el coste para generar electricidad es prohibitivamente costoso. En consecuencia, existe la necesidad de sistemas de saneamiento adecuados que mantengan los desechos fuera del medio ambiente, para proporcionar y mantener acceso a agua potable limpia, y para generar electricidad de bajo coste.

25 El documento WO 2013/182604 A2 describe un sistema en el cual se seca biomasa en la secadora. La biomasa seca se suministra a una cámara de combustión. En la cámara de combustión, un líquido que se proporciona en un primer ciclo, se calienta y se alimenta a través de la turbina, lo que puede generar corriente eléctrica. Curso abajo de la turbina, el fluido calentado se suministra a través del secador de biomasa para calentar la biomasa y secarla. Posteriormente, éste se recircula en el primer ciclo y se bombea a través de una bomba. El vapor recogido del secador de biomasa se utiliza, además, para calentar el agua en el primer sistema y, de este modo, se condensa en el condensador y después se expulsa a través de la tubería. Por el documento JP 2005 257211 A se conoce otro sistema de tratamiento de residuos para tratamiento de biomasa a pequeña escala.

SUMARIO

35 La presente tecnología proporciona sistemas multifuncionales para procesar desechos mientras genera electricidad y agua potable de manera que se superan los inconvenientes experimentados en la técnica anterior y proporciona beneficios adicionales. Por lo menos un aspecto de la tecnología proporciona una instalación de procesamiento autónoma configurada para convertir desechos orgánicos con un alto contenido de agua, tales como lodos fecales y desechos, en electricidad y, al mismo tiempo, generar y recoger agua potable.

40 En particular, se proporciona un sistema multifuncional de procesamiento de desechos húmedos para la generación de electricidad y agua potable que presenta las características definidas en la reivindicación 1. Realizaciones preferidas adicionales se definen en las reivindicaciones dependientes.

45 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

50 Muchos aspectos de la presente tecnología pueden entenderse mejor con referencia a los siguientes dibujos. Los componentes en los dibujos no son necesariamente a escala. Se da importancia, en cambio, a ilustrar claramente los principios de la presente tecnología. Para facilitar la referencia, a lo largo de esta descripción pueden utilizarse números de referencia idénticos para identificar componentes o características idénticos o por lo menos substancialmente similares o análogos.

55 La figura 1 es una ilustración esquemática de un diagrama de flujo de componentes de un sistema multifuncional de procesamiento de residuos, que es útil para entender la presente invención.

La figura 2 es una vista isométrica del sistema multifuncional de procesamiento de residuos de la figura 1.

60 La figura 3 es una vista isométrica de un sistema de retención y suministro de lodo de acuerdo con un aspecto de la tecnología.

La figura 4 es una vista isométrica de un conjunto de alimentación de una realización del sistema de retención y suministro de lodo.

- La figura 5 es una vista isométrica de un conjunto secador de lodo que se muestra retirado del conjunto de la figura 2.
- 5 La figura 6 es una vista isométrica parcial ampliada de una parte extrema del conjunto secador de lodo conectado a un conjunto transportador del conjunto de alimentación de la figura 4.
- La figura 7 es una vista isométrica esquemática del flujo de lodo durante el procesamiento en el conjunto secador de lodo de la figura 5.
- 10 La figura 8 es una vista isométrica parcial de un conjunto secador de lodo que tiene un sinfín calentado por vapor colocado de manera giratoria en un recipiente calentado por vapor que contiene un flujo de lodo.
- La figura 9 es una vista isométrica ampliada del recipiente que se muestra separado del sinfín de la figura 8.
- 15 La figura 10 es una vista isométrica ampliada del sinfín mostrado separado del sinfín de la figura 8.
- La figura 11 es una vista isométrica parcial de un conjunto secador de lodo de otra realización que tiene un sinfín calentado por vapor colocado de manera giratoria en un recipiente calentado por vapor que contiene un flujo de lodo.
- 20 La figura 12 es una vista isométrica ampliada del sinfín calentado por vapor mostrado separado del recipiente de la figura 11.
- Las figuras 13A y 13B son vistas isométricas de un conjunto secador de lodo de una primera etapa de alta presión.
- 25 La figura 14 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de secador de lodo de dos etapas de acuerdo con una realización de la presente invención.
- La figura 15 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de tratamiento de agua potable del sistema de procesamiento de residuos de la figura 1.
- 30 La figura 16 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema de tratamiento de agua potable de otra realización del sistema de procesamiento de residuos de la figura 1.
- 35 La figura 17 es una vista isométrica de un conjunto de depósito de combustible seco acoplado al conjunto secador de lodo de la figura 5.
- La figura 18 es una vista isométrica ampliada, parcialmente transparente del conjunto de depósito de combustible seco de la figura 17 el cual se muestra retirado del conjunto secador de lodo.
- 40 La figura 19 es una vista esquemática en alzado lateral del conjunto de depósito de combustible seco de la figura 18 acoplado a una cámara de combustión de lecho fluidizado en el sistema de la figura 1.
- La figura 20 es una vista isométrica en sección parcial de una caja de combustión y un depósito de descarga de la cámara de combustión de lecho fluidizado de la figura 19.
- 45 La figura 21 es una vista isométrica ampliada de un conjunto compresor de aire de combustión y quemador en línea que se muestra retirado de la caja de combustión de la figura 20.
- 50 La figura 22 es una vista isométrica ampliada de una rejilla de distribución de aire mostrada retirada de la cámara de combustión de la figura 20.
- La figura 23 es una vista isométrica ampliada en sección parcial de una cámara de combustión de combustible seco y un calentador del sistema de la figura 1 que muestra la trayectoria del gas de descarga calentado a través del calentador .
- 55 La figura 24 es una vista isométrica parcial ampliada de una carcasa de un economizador y un conjunto de múltiples ciclones que se muestra retirado de la cámara de combustión de combustible seco de la figura 23.
- 60 La figura 25 es una vista isométrica parcial ampliada de la carcasa del economizador y un sinfín de cenizas que se muestra retirado del conjunto de la cámara de combustión de combustible seco de la figura 23.
- La figura 26 es una vista isométrica ampliada en sección parcial del conjunto de cámara de combustión de combustible seco y calentador de la figura 23, que muestra la trayectoria de agua primaria a través del calentador.

La figura 27 es una vista isométrica en sección parcial de los componentes de tuberías de un calentador de una realización alternativa.

5 La figura 28 es una vista isométrica de una cámara de combustión de lecho fluidizado y un calentador de acuerdo con otra realización, en la cual se muestran componentes del calentador modular en posiciones abiertas expuestas.

La figura 29 es una vista isométrica de la cámara de combustión de lecho fluidizado y el calentador de la figura 28, en la cual se muestran los componentes del calentador modular en posiciones operativas recogidos.

10 La figura 30 es una vista isométrica de un conjunto de planta de energía con un motor de vapor y un generador que se muestran retirados del sistema de la figura 1.

La figura 31 es una vista isométrica superior ampliada en sección parcial del conjunto de la culata del motor con un árbol de levas, levas, balancines, y un tren de válvulas de acuerdo con una realización de la tecnología.

15 La figura 32 es una vista isométrica de sección transversal parcial ampliada del conjunto de la culata del motor de vapor de la figura 31 con una leva de admisión, válvulas de admisión y descarga, y balancines asociados.

20 La figura 33 es una sección transversal ampliada del conjunto de culata del motor de vapor sustancialmente a lo largo de la línea 33 - 33 de la figura 31.

El apéndice A incluye información adicional y cálculos sobre aspectos de la tecnología actual.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

25 La presente descripción describe sistemas multifuncionales de procesamiento de residuos configurados para generar electricidad y agua potable de acuerdo con ciertas realizaciones de la presente tecnología. Varios detalles específicos de la tecnología se exponen en la siguiente descripción y en las figuras 1-33 para proporcionar una comprensión exhaustiva de ciertas realizaciones de la presente tecnología. Sin embargo, un experto en la materia
30 entenderá que la presente tecnología puede tener realizaciones adicionales y que pueden ponerse en práctica otras realizaciones de la tecnología sin varias de las características específicas que se describen a continuación. Cualquier realización que se encuentre dentro del alcance de la presente invención comprende por lo menos todas las características de la reivindicación 1 adjunta. Cualquier realización o configuración que no comprenda todas las características de la reivindicación 1 adjunta es simplemente de ayuda para entender la presente invención.

35 La figura 1 es una ilustración esquemática de un diagrama de flujo de componentes de un sistema multifuncional de procesamiento de residuos 10, y la figura 2 es una vista isométrica del sistema de procesamiento de residuos 10 que es de ayuda para entender la presente invención. Tal como se describe con mayor detalle a continuación, el sistema 10 está configurado para recibir y procesar un flujo de lodo de desechos húmedos 12, y para generar material combustible sólido seco, electricidad, y agua potable. Se describe y se ilustra aquí una o más realizaciones del sistema 10 en relación con el procesamiento de residuos que comprenden lodos húmedos que contienen agua y materia fecal y/u otros desechos, tal como residuos orgánicos. El sistema 10, sin embargo, puede configurarse para procesar un flujo de otros desechos húmedos. En una configuración, el sistema está configurado para procesar lodos húmedos que contienen una mezcla de líquidos a base de agua y hasta aproximadamente un 50% de sólidos
40 totales que pueden separarse del agua y secarse para proporcionar material combustible sólido. En algunas configuraciones, el sistema 10 puede utilizarse con lodo húmedo que tiene hasta aproximadamente un 15% de sólidos totales y, en otras realizaciones, el sistema 10 está configurado para utilizarse con lodo que tiene aproximadamente un 20% - 50% de sólidos totales. El sistema 10 de otras configuraciones y realizaciones de la invención puede configurarse para utilizarse con otros rangos de sólidos totales en el lodo.

50 El lodo 12 fluye a través de un conjunto secador de lodo 14 que evapora agua del lodo para generar vapor, de modo que los materiales sólidos se secan lo suficiente para proporcionar material combustible sólido. A efectos de esta descripción, el vapor evaporado del lodo se denomina vapor de lodo. El vapor de lodo liberado está muy caliente durante un tiempo suficiente, de modo que el vapor de lodo es estéril (es decir, libre de patógenos). El sistema 10
55 contiene y condensa el vapor de lodo estéril en un sistema de tratamiento de agua 16 para proporcionar agua potable limpia. El sistema 10 también quema el material combustible sólido seco en una cámara de combustión, tal como una cámara de combustión de lecho fluidizado 18. En algunas realizaciones, pueden añadirse, si es necesario, otros combustibles secos, tales como carbón, pellets de madera, desechos u otro material orgánico para proporcionar combustible adicional a la cámara de combustión 18. El sistema 10 de la realización ilustrada está
60 configurado para producir continuamente hasta aproximadamente 150 kW (aproximadamente 200 hp) de electricidad y procesar aproximadamente 8500 kg u 8,5 m³ de lodo fecal y 1100 kg de desechos o más por día.

El calor de la combustión de combustible en la cámara de combustión 18 se utiliza para calentar un calentador 20, que presuriza agua en un circuito de agua primaria sustancialmente cerrado 21 para generar vapor para su uso por

una planta de energía a vapor 22 que produce electricidad. El agua en el circuito de agua primaria 21 se denomina agua primaria, que puede ser vapor primario o agua líquida primaria, dependiendo de la posición dentro del circuito de agua primaria. El conjunto secador de combustible 14 utiliza el vapor primario que sale de la planta de energía 22 que incluye un motor de vapor 26 y un generador 25 como fuente de calor antes de que el vapor primario pase a través de un condensador 24 y se convierta nuevamente en agua líquida primaria y se bombee de nuevo al calentador 20. Parte de la electricidad de la planta de energía 22 alimenta los componentes eléctricos del sistema 10, y el resto de electricidad puede suministrarse a una red eléctrica o utilizarse de otro modo localmente, tal como para alimentar elementos eléctricos externos.

El sistema de procesamiento 10 de la configuración ilustrada es un sistema autónomo que no requiere sustancialmente electricidad, agua o drenaje externos para procesar el lodo húmedo y generar electricidad y agua potable. En una realización, el sistema 10 ilustrado puede configurarse para ocupar un volumen con unas dimensiones de aproximadamente 15 m x 3 m, que corresponde a un contenedor de transporte típico, de modo que el sistema 10 puede ser transportable. En consecuencia, el sistema 10 es muy adecuado para utilizarse en una amplia gama de ubicaciones geográficas, tales como ubicaciones urbanas subdesarrolladas que pueden tener sistemas de alcantarillado inadecuados y que podrían beneficiarse de fuentes adicionales de electricidad y agua potable limpia y fresca. A continuación, se describen con mayor detalle los componentes del sistema 10 de la realización ilustrada.

20 Sistema de retención y suministro de lodo

El sistema 10 de la realización ilustrada que se muestra en la figura 3 incluye un sistema de retención y suministro de lodo 30. El sistema de retención y suministro de lodo 30 tiene un depósito de retención 32 que recibe lodo sustancialmente crudo y húmedo. El depósito de retención 32 puede dimensionarse para contener un volumen seleccionado de lodo húmedo para un funcionamiento continuo del sistema 10 durante varios días antes de que se requiera reabastecer el depósito de retención 32. Por ejemplo, en la realización ilustrada, el depósito de retención 32 está diseñado para contener aproximadamente 30 m³ de lodo húmedo, lo que proporciona aproximadamente tres días de funcionamiento, en el que el sistema 10 puede procesar aproximadamente 9-10 m³ de lodo por día. La parte superior del depósito de retención 32 puede colocarse cerca del suelo para permitir que vehículos de suministro de lodo vacíen fácilmente el lodo 12 en el depósito. El fondo del depósito de retención 32 puede estar inclinado hacia una salida conectada a un conjunto de alimentación de lodo 34. En una realización, el conjunto de alimentación 34 puede incluir un transportador 38 cerrado total o parcialmente, tal como un sinfín o una cinta transportadora, que transporte el lodo húmedo desde el depósito de retención 32 hacia una entrada 40 del conjunto secador de lodo 14.

La figura 4 es una vista isométrica de un conjunto de alimentación de lodo 34 de una realización, en la que el depósito de retención 32 incluye una caja de distribución de cadena de arrastre que tiene una salida 36 que deposita el lodo húmedo en el transportador 38. El transportador 38 se extiende hacia arriba en un ángulo seleccionado respecto al suelo y está conectado al conjunto secador de lodo 14 adyacente a la entrada 40. En la realización ilustrada, el transportador 38 está inclinado hacia arriba un ángulo de aproximadamente 30° respecto al suelo, si bien pueden utilizarse otros ángulos en otras realizaciones.

40 Conjunto secador de lodo

La figura 5 es una vista isométrica de un conjunto secador de lodo 14 que se muestra retirado del conjunto de la figura 2. Los conjuntos secadores de lodo que forman parte de un sistema de acuerdo con la presente invención comprenden dos etapas, tal como se define en la reivindicación independiente 1. El lodo húmedo transportado desde el sistema de retención y suministro de lodo 30 (figura 3) se suministra a una entrada de lodo 40 del conjunto secador de lodo 14. Tal como se aprecia en la figura 6, un sinfín de paso de lodo 52 conectado al extremo del transportador 38 del conjunto de alimentación de lodo 34 suministra el lodo húmedo a la entrada del conjunto secador 40. El flujo de lodo hacia el conjunto secador de lodo 14 es sustancialmente continuo. La figura 6 es una vista isométrica parcial ampliada de una parte extrema del conjunto secador de lodo 14 que incluye la entrada 40. Además de recibir el lodo húmedo, el conjunto secador de lodo 14 también recibe vapor primario extraído del motor de vapor 26 de la planta de energía 22 (figura 1). El vapor primario de descarga, que sale del motor de vapor 26 a aproximadamente 207 kPa (aproximadamente 30 psia), fluye hacia una o más cubiertas tubulares 42, cada una de las cuales contiene un transportador de lodo tubular 44. El calor del vapor primario descargado hierve el lodo en el transportador de lodo 44, evaporando de este modo el agua del lodo (para generar vapor de lodo), que seca el lodo para proporcionar el material combustible sólido.

El conjunto secador de lodo 14 de la configuración ilustrada incluye dos tubos cerrados de gran diámetro que forman, cada uno, una carcasa 42 que aloja un tubo de pequeño diámetro que forma un transportador de lodo hueco 44. Cada transportador de lodo 44 contiene un sinfín hueco giratorio 46, y el transportador de lodo 44 recibe el lodo a través de la entrada 40 de modo que el lodo rodea por lo menos parcialmente el sinfín hueco 46. En la realización ilustrada, cada carcasa 42 incluye una entrada de vapor 48 que recibe el vapor primario descargado del motor de vapor 26 (figura 1) de manera que el vapor primario a alta temperatura fluye hacia la zona interior de la carcasa y

alrededor del transportador de lodo 44 calentando, por lo tanto, el lodo en el transportador de lodo 44. En consecuencia, el vapor primario se aísla físicamente del lodo sin dejar de transferir calor al lodo, que hierve el lodo y enfría simultáneamente el vapor primario. Además, una parte del vapor primario que entra en el conjunto secador de lodo 14 fluye hacia la zona interior del sinfín hueco 46 para calentar también el lodo a través del sinfín 46. En la realización ilustrada, cada sinfín hueco 46 está conectado a un motor de accionamiento 47 que hace girar el sinfín 46 dentro del transportador de lodo 44 y desplaza continuamente el lodo húmedo axialmente a través del transportador de lodo 44 a medida que el lodo se seca. En una realización, cada motor de accionamiento 47 es un motor eléctrico trifásico dedicado inversor de cinco caballos de potencia, controlado por un variador de frecuencia independiente. Otras realizaciones pueden utilizar otros motores de accionamiento.

Los dos portadores de lodo 44 están conectados entre sí en sus extremos mediante unas carcassas de transferencia 50 que tienen unos conductos de lodo a través de las mismas que permiten que el lodo fluya axialmente a través de un transportador de lodo 44 en una dirección, a través del conducto de lodo de la carcasa de transferencia 50, y axialmente a través del otro transportador de lodo 44 en la otra dirección.

La figura 7 es una vista isométrica esquemática del flujo de lodo en el conjunto secador de lodo desde la entrada 40. A medida que el lodo circula a través de los portadores de lodo 44, el agua del lodo se evapora. Cuando el material combustible sólido del lodo está suficientemente seco, éste sale del conjunto secador de lodo 14 a través de una o más salidas de combustible seco 54 formadas en el lado del soporte de lodo 44 y la carcasa correspondiente 42. La salida de combustible seco 54 está sellada entre el transportador de lodo 44 y la carcasa 42 para mantener el aislamiento del material de lodo del vapor primario. En la realización ilustrada, las salidas de combustible seco 54 son aberturas rectangulares, aunque las salidas de combustible seco pueden tener otras formas (es decir, cuadradas, redondas, elípticas, etc.) y tamaños.

En funcionamiento, el nivel de lodo dentro del conjunto del secador de lodo 14 aumenta a medida que se suministra lodo húmedo adicional al transportador de lodo 44 a través del sinfín de paso 52 (figura 6). Los sólidos que hay en el interior del lodo que se desplazan a través del transportador de lodo 44 típicamente están suficientemente secos cuando llegan a las salidas de combustible seco 54, y el material combustible sólido suficientemente seco se vierte fuera de la salida de combustible seco 54 y hacia una tolva de combustible seco 56 (figura 2), la cual se describe a continuación. Para asegurar que el lodo que se desplaza a través del transportador de lodo 44 a través de los sinfines huecos giratorios 46 siga siendo desmenuzable, volverá a circular una cantidad adecuada de lodo seco al comienzo del sistema de secado adyacente a la entrada 40. Parte del lodo puede recircular a través del conjunto de lodo varias veces antes de desplazarse hacia la tolva de combustible seco 56 (figura 2).

Esta recirculación del lodo de secado también evita que el lodo llegue a un estado denominada fase "pegajosa", en la que el contenido de humedad del lodo es de aproximadamente 0,3523 kg de H₂O por kilogramo de materia seca o de entre un 25% y un 75% de sólido seco. A diferencia de las zonas "húmedas" o "de pasta" donde el lodo muestra propiedades similares a las de los fluidos, en la "fase pegajosa" el contacto entre el lodo y la pared calentada del transportador de lodo 44 disminuye drásticamente, lo que afecta negativamente la velocidad de evaporación. Cuando el lodo se seca más allá de la fase "pegajosa" a la fase "granular", el lodo de secado mantiene cada vez más un contacto homogéneo con la pared calentada del soporte de lodo 44, lo que permite que la velocidad de evaporación vuelva a su valor original. Además de la disminución de la efectividad de la transferencia de calor, el material en la zona "pegajosa" presenta una considerable resistencia al corte, de modo que el material de lodo tiene más probabilidades de adherirse al sinfín giratorio 46 en lugar de ser transportado por el mismo. La recirculación de cierta cantidad de material de lodo seco ayuda a garantizar que el contenido del conjunto secador de lodo permanezca siempre dentro o cerca de la zona "granular" evitando, de este modo, la zona "pegajosa".

En la realización ilustrada que se muestra en la figura 5, el diseño tubular concéntrico del conjunto secador de lodo 14 es muy resistente. Sin embargo, las salidas de combustible seco 54 penetran en las paredes laterales de la carcasa tubular a presión 42, lo que puede debilitar la estructura tubular. En consecuencia, en los depósitos 42 se acopla uno o más nervios de refuerzo 64 alrededor de las salidas de combustible seco 54 para ayudar a mantener la integridad estructural y evitar que las estructuras tubulares se deformen plásticamente bajo el calor y la presión del vapor primario dentro del conjunto secador.

Además de eliminar el material combustible sólido seco de los transportadores de lodo 44, el vapor de lodo liberado del lodo se elimina del conjunto secador de lodo 14 a través de unos puertos de salida de vapor 66 en comunicación con la zona interior de cada soporte de lodo 44. El vapor de lodo fluye desde los puertos de salida de vapor 66 a través de los conductos hasta el sistema de tratamiento de agua 16 (figura 1), el cual se analiza con mayor detalle a continuación. En la realización ilustrada, se dispone por lo menos un puerto de salida de vapor 66 en cada extremo del conjunto secador de lodo, aunque los puertos de salida podrían estar situados en otras posiciones.

A medida que el calor del vapor primario se transfiere al lodo, el vapor primario se enfría, de modo que el conjunto secador de lodo 14 actúa como condensador, en el que el vapor primario se condensa dentro de los depósitos 42 en agua líquida primaria. El condensado permanece aislado del lodo y se extrae de los depósitos 42 mediante un

- conjunto de tubo de sifón de condensado que extrae el agua líquida primaria y la dirige a una o más líneas de agua primaria 62 que transportan el agua líquida primaria lejos del conjunto secador de lodo 14 a lo largo del circuito de agua primaria 21 (figura 1). En la realización ilustrada que se muestra en la figura 2, el conjunto secador de lodo 14 está montado en el sistema 10 de modo que las carcasas 42 y los portadores de lodo 44 están inclinados respecto a la horizontal, tal como una inclinación de aproximadamente 1 grado, para facilitar la extracción del agua primaria por el conjunto del tubo de sifón. El agua líquida primaria extraída se recicla después a lo largo del circuito de agua primaria 21 para que lo utilice el calentador 20 y el motor de vapor 26 antes de volver nuevamente como vapor al conjunto secador de lodo 14.
- La figura 8 es una vista isométrica parcial de otra realización de un conjunto secador de lodo 70 que incluye una pluralidad de recipientes de presión giratorios y estacionarios calentados por el vapor primario extraído hasta aproximadamente 100 psig y 328° F para mezclar y secar el lodo. El conjunto secador 70 ilustrado tiene un recipiente cerrado sellado 72 que contiene un sinfín giratorio 74 que desplaza el lodo axialmente a lo largo del recipiente 72 hacia una salida en un extremo del recipiente 72. El recipiente 72 recibe el flujo de lodo húmedo a través de una entrada en un extremo de modo que por lo menos una parte del sinfín 74 se encuentra dentro del lodo. El recipiente 72 se ilustra en la figura 8 sin mostrar la tapa o extremos por motivos de claridad para mostrar los componentes dentro del recipiente 72. La tapa y los extremos están sellados al cuerpo del recipiente 76 para contener completamente el lodo y el vapor de lodo liberado durante el proceso de secado. En una realización, una tapa accionada hidráulicamente permite un acceso completo y fácil a todos los componentes internos del conjunto secador de lodo 70, así como sellar todos los vapores, humos, y gases del interior del recipiente 72. En consecuencia, el vapor de lodo y las sustancias volátiles del espacio del espacio en el recipiente 72 se capturan y se vuelven a procesar para su purificación (es decir, el vapor de agua) y/o una nueva combustión (es decir, los gases y/o las sustancias volátiles).
- La figura 9 es una vista isométrica ampliada del recipiente calentado por vapor 72 que se muestra con el sinfín 74 retirado. El recipiente 72 contiene una pluralidad de tubos de vapor curvados fijos y separados 78 conectados entre sí por unos tubos de distribución alargados 80 que reciben el vapor primario descargado a alta temperatura del motor de vapor 26 (figura 1) y distribuyen uniformemente el vapor primario a los tubos de vapor curvados 78. En consecuencia, a medida que el lodo entra en el recipiente 72 cerca de la entrada y se desplaza a lo largo del recipiente 72 a través del sinfín 74, el lodo se desplaza sobre por lo menos parte de los tubos de vapor curvados 78, hirviendo y secando el lodo. En el momento en que el lodo llega a la salida al final del cuerpo del recipiente 76, el lodo está suficientemente seco. Además, el vapor primario se condensa en el interior de los tubos de vapor curvados 78, y el condensado se recoge en un tubo de distribución de retorno 82 conectado al circuito de agua primaria 21.
- La figura 10 es una vista isométrica ampliada del sinfín a presión calentado a vapor 74 que se muestra separado del recipiente 72. El sinfín 74 tiene un eje central hueco 84 que recibe el vapor primario descargado. El sinfín 74 también tiene una pluralidad de tubos de vapor curvados 86 que se comunican con el interior del eje central 84 y se extienden radialmente en forma de espiral alejándose del eje central 84. En consecuencia, los tubos de vapor curvados 86 reciben vapor primario del eje central 84.
- El sinfín 74 está configurado para girar dentro del recipiente 72 de modo que los tubos de vapor curvos 86 atraviesan los espacios que hay entre los tubos de vapor 78 en el recipiente 72. Los tubos de vapor curvos del sinfín 86 pueden estar ligeramente inclinados respecto al eje central 84 para actuar como elementos de propulsión que captan y empujan el lodo axialmente a través del recipiente sobre los tubos de vapor curvados 78, calentando y hirviendo el lodo. El vapor primario caliente en el eje central 84 y en las tuberías de vapor curvas 86 también calienta el lodo, lo que da como resultado que el vapor primario se condense dentro del sinfín 74. Un extremo del eje central 84 del sinfín tiene una salida de condensado que dirige el condensado fuera del sinfín y a lo largo del circuito de agua primaria 21 (figura 8) como agua líquida primaria. En la realización ilustrada, el sinfín giratorio 74 proporciona una acción de mezcla que da un efecto de nivelación automática que hace que el lodo se desplace de un extremo del recipiente 72 al otro. El sinfín 74 también mide el material combustible sólido seco fuera de la salida de combustible seco. En por lo menos una realización, puede conectarse uno o más sinfines de combustible seco al recipiente 72 adyacente a la salida de combustible seco para transportar el material combustible sólido seco a la tolva de combustible seco 56.
- Las figuras 11 y 12 son vistas isométricas de otra realización del conjunto secador de lodo 70 que tiene el recipiente 72 con el cuerpo del recipiente 76, los tubos de vapor curvados 78, y los tubos de distribución que se extienden axialmente 80, substancialmente similares al conjunto secador de lodo 70 que se ha descrito anteriormente en relación con la figura 8. En consecuencia, el recipiente 72 con los tubos de vapor curvados 78 y los tubos de distribución 80 definen un recipiente a presión fijo calentado por el vapor primario. En esta realización alternativa, en el interior del recipiente 72 queda colocado de manera giratoria un sinfín 90 y es accionado por un motor de accionamiento 92.

El sinfín 90 tiene un eje central substancialmente hueco 94 conectado a una pluralidad de tubos de garras huecas rectas 96 que se proyectan radialmente desde el eje central 94. Cada uno de los tubos de garras 96 incluye una

5 banda de soporte 98 sujeta al eje central 94 para proporcionar resistencia y rigidez adicional al tubo de garras 96 respectivo a medida que el sinfín 90 gira y los tubos de garras 96 calentados por vapor se mueven a través del lodo y desplazan lentamente el lodo secado axialmente hacia la salida de combustible seco. En una realización, las bandas de soporte 98 también pueden estar inclinadas respecto al eje longitudinal del eje central, y las bandas de soporte 98 pueden captar parte del lodo para facilitar la mezcla y/o desplazar gradualmente el lodo secado a lo largo del recipiente 72.

10 Como ejemplo, el eje central 94 del sinfín 90 es un tubo rígido de 24 pulgadas de diámetro conectado operativamente a aproximadamente 140 tubos de garras de 5 pulgadas salientes 96 distribuidos alrededor del tubo a lo largo de su longitud. Los tubos de garras 96 se extienden interiormente dentro del eje central lleno de vapor 94 para asegurar una extracción adecuada del condensado tras la condensación del vapor primario durante el funcionamiento. Cada uno de los tubos de garras 96 y la banda de soporte asociada 98 están configurados para adaptarse a la fuerza del par total del motor de accionamiento si ese par se aplicó por completo al extremo de uno de los tubos de garras 96, mientras se mantiene una tensión de material real por debajo de la tensión admisible del material para la presión y temperatura diseñadas del sinfín, tal como aproximadamente hasta 100 psig y 328° F. En una realización, los tubos de garras 96 están orientados en un patrón dispuesto substancialmente de manera helicoidal a lo largo del eje central 94 en una configuración por lo que no hay dos tubos de garras 96 que inicialmente captan material de lodo precisamente en el mismo momento, distribuyendo uniformemente las cargas de impacto en el giro completo del sinfín. Además, grupos de tubos de garras planos adyacentes quedan desplazados rotacionalmente aproximadamente 45° para facilitar el flujo de lodo a través del recipiente 72 durante el proceso de secado.

25 Tal como se ha indicado anteriormente, el vapor de lodo generado en el interior del recipiente 72 se extrae a través de una salida de vapor. En una realización, la salida de vapor se dispone adyacente al panel extremo del recipiente hacia el cual se desplaza el lodo durante el proceso de secado. El vapor de lodo extraído del recipiente 72 fluye hacia un sistema de tratamiento de agua 16 donde el vapor de lodo se limpia y se recoge, tal como se describe en mayor detalle a continuación.

30 En una realización en la que el sistema 10 se utiliza para procesar lodo muy húmedo (por ejemplo, lodo que tiene un contenido sólido de aproximadamente un 15% de materiales sólidos o menos). El sistema 10 seca el lodo húmedo utilizando un sistema de secador de lodo de dos etapas que incluye un conjunto secador de primera etapa de alta presión 200 y un conjunto secador de segunda etapa de baja presión 220. Las figuras 13A y 13B son vistas isométricas de un conjunto secador de primera etapa 200 de alta presión de acuerdo con una realización de la presente tecnología. El conjunto secador de primera etapa 200 incluye un tubo exterior alargado de gran diámetro 202 que contiene una pluralidad de discos raspadores separados y alineados axialmente 204 conectados estructuralmente entre sí mediante una o más barras de unión 205. Por claridad en esta descripción, el tubo exterior 202 se muestra en las figuras 13A y 13B substancialmente transparente para evitar ocultar los componentes internos.

40 Cada disco raspador 204 tiene una pluralidad de aberturas 206 que se alinean axialmente con las aberturas 206 de los otros discos raspadores 204. Una pluralidad de tubos de vapor 208 se extienden sustancialmente a lo largo de la longitud del tubo exterior 202 y a través de las aberturas alineadas 206 de los discos raspadores 204. Los discos raspadores 204 también incluyen unos cojinetes 209 que se acoplan a la superficie interior del tubo exterior. Los extremos del tubo exterior 202 están conectados a unas partes de un distribuidor 210 que se comunican con el interior de los tubos de vapor 208. Una de las partes de un distribuidor 210 (es decir, un distribuidor de entrada 210a) tiene un puerto de entrada de vapor 212 conectado al circuito de agua primaria y configurado para recibir vapor primario a alta temperatura extraído del motor de vapor 26 (figura 1). El vapor primario fluye desde el distribuidor de entrada 210a hacia los tubos de vapor 208 dentro del tubo exterior 202.

50 El tubo exterior 202 tiene un puerto de entrada de lodo 211 que dirige un flujo de lodo muy húmedo hacia la zona interior del tubo de manera que el lodo húmedo se acopla directamente a los tubos de vapor a alta temperatura 208. Los discos raspadores conectados entre sí estructuralmente 204 están conectados a un eje de accionamiento alternativo 212 que se extiende de manera estanca a través del distribuidor de entrada 210a y se conecta a un actuador 213, tal como un cilindro hidráulico. El accionador 213 puede funcionar para empujar y tirar del eje de accionamiento 212, moviendo de este modo los discos raspadores 204 como una unidad axialmente hacia adelante y hacia atrás dentro del tubo exterior 202 y a través del lodo húmedo. El vapor primario a alta temperatura en los tubos de vapor 208 hierve el agua en el lodo para generar vapor de lodo, disminuyendo de este modo el contenido de agua del lodo.

60 Un conjunto de sinfín alargado 214 se extiende de manera estanca a través del distribuidor de entrada 210a y dentro de la zona interior del tubo exterior captación de lodo. A medida que el lodo se espesa debido a la evaporación del agua, el conjunto sinfín 214 ayuda a desplazar el lodo espesado a través del tubo exterior 202 hacia un puerto de salida de lodo 215 en el extremo del tubo exterior 202 opuesto al puerto de entrada 211 del conjunto secador 200. El

lodo espesado extraído pasa después a través de un acelerador 220 para reducir la presión y se dirige hacia el conjunto secador de segunda etapa 220 (figura 14), el cual se describe con mayor detalle a continuación.

A medida que el vapor primario en los tubos de vapor 208 calienta y hierve el lodo húmedo, el vapor primario se condensa y el agua líquida primaria resultante fluye fuera de los tubos de vapor 208 hacia una zona de recolección en el distribuidor de salida 210b. El agua líquida primaria fluye fuera de la zona de recolección a través de un puerto de salida de agua primaria y entra en un conducto acoplado a un radiador 190 (se describe a continuación) que enfría el agua líquida en el circuito de agua primaria 21. El vapor de lodo liberado del lodo se calienta y se mantiene a una temperatura elevada durante el proceso de secado, lo que da como resultado la esterilización del vapor de lodo mientras se encuentra en el tubo exterior 202. Tal como se aprecia en la figura 14, el vapor de lodo se extrae del tubo exterior 202 a través de un puerto de recuperación 216 y hacia un conducto de salida de vapor de lodo 218 que transporta el vapor de lodo al sistema de tratamiento de agua 16. El vapor de lodo se filtra a través de un ciclón, uno o más pre-filtros (filtro de ~25 micras) y uno o más filtros finos (~ 1 micra). El vapor de lodo esterilizado filtrado se dirige después hacia el conjunto secador de segunda etapa 220.

En la realización ilustrada, el conjunto secador de segunda etapa 220 es substancialmente idéntico al conjunto secador de lodo de las figuras 8-10 o las figuras 11-12, excepto en que el vapor a alta temperatura que pasa hacia los tubos de vapor curvados 78 en el recipiente 72 y hacia el sinfín giratorio 74 o 90 es el vapor de lodo esterilizado filtrado del conjunto secador de primera etapa 200 (figura 13), en lugar del vapor primario a alta temperatura del motor de vapor. En esta realización, el calor del vapor de lodo esterilizado filtrado del conjunto secador de la primera etapa 200 se utiliza para secar el lodo fecal en el conjunto secador de segunda etapa 220. En consecuencia, este sistema secador de lodo de dos etapas permite procesar el doble de lodo substancialmente con la misma cantidad de agua primaria.

Después de que el vapor de lodo a presión calentado fluya a través de las tuberías curvas 78 y/o el sinfín 74/90, el vapor de lodo se condensa. El condensado resultante extraído del tubo de distribución de retorno 82 y del eje central hueco 84 del sinfín fluye hacia el sistema de tratamiento de agua 16. Además, el proceso de secado en el interior del conjunto secador de segunda etapa 220 hierve agua del lodo fecal de secado, y ese vapor de lodo sale del recipiente 72 del conjunto secador 70 y fluye hacia el sistema de tratamiento de agua 16 (figura 15).

Sistema de tratamiento de agua

La figura 15 es un diagrama de flujo esquemático del sistema de tratamiento de agua 16. El vapor de lodo fluye hacia un sistema de filtración de vapor 100 que incluye un ciclón, que separa el vapor de otras partículas que pueden estar en el vapor de lodo. Los gases restantes y cualquier partícula (por ejemplo, sustancias volátiles o COVs, etc.) pueden transportarse de vuelta a la cámara de combustión 18 y volver a quemarse, de modo que los COVs se destruyan sin ser liberados a la atmósfera, lo que reduce o elimina significativamente la liberación de malos olores a la atmósfera durante el procesamiento de lodo. El vapor de lodo separado pasa entonces a través de uno o más pre-filtros, tales como un filtro de poro grande (es decir, un filtro de 25 micras), y después a través de un filtro de vapor fino (es decir, un filtro de 1 micra). El vapor de lodo filtrado fluye entonces hacia el condensador 104 que condensa el vapor de lodo y recoge el agua líquida estéril resultante. Si bien el vapor de lodo filtrado y el agua condensada resultante pueden incluir algunas impurezas, el vapor filtrado y el agua líquida condensada no contienen patógenos ya que el vapor de lodo se expuso a temperaturas muy elevadas el tiempo suficiente como para eliminar cualquier patógeno en el vapor de lodo.

El agua estéril se purifica después mediante un proceso de aireación, después un proceso de blanqueo, y después un proceso de filtración a través de un filtro de purificación seleccionado, tal como uno o más filtros de carbón. El agua purificada, limpia y potable es capturada en un depósito de almacenamiento de agua limpia 108, desde el cual puede dispensarse el agua limpia.

La figura 16 es un diagrama de flujo esquemático del sistema de tratamiento de agua 16 en relación con una realización que utiliza el conjunto secador de dos etapas. En esta realización, el vapor de lodo a alta presión del conjunto secador de la primera etapa 200 fluye a través de un sistema de tratamiento de agua 16 y se filtra, tal como se ha descrito anteriormente, y después se utiliza en el conjunto secador de segunda etapa 220. El condensado de ese vapor de lodo en el conjunto secador de segunda etapa 220 se recoge y se pasa a través del sistema de tratamiento de agua 16 donde se purifica mediante los procesos de aireación, blanqueo, y filtración, tal como se ha descrito anteriormente. El vapor de lodo del conjunto secador de segunda etapa 220 que entre en el sistema de tratamiento de agua 16 también se filtra (es decir, con el ciclón, pre-filtro, y filtro fino), se condensa, y el condensado resultante se purifica y se recoge en el depósito de almacenamiento 108.

Sistema de retención de combustible sólido seco

Volviendo ahora al material combustible sólido seco, a medida que sale del conjunto del secador de lodo 14/70/200/220 tal como se ha descrito anteriormente, el material combustible sólido seco entra en la tolva de

combustible seco 56. La figura 17 es una vista isométrica de una tolva de combustible seco 56 unida al conjunto secador de lodo 14 adyacente a los nervios de refuerzo 64. La figura 18 es una vista isométrica ampliada, parcialmente transparente, de la tolva de combustible seco 56 que se muestra retirada del conjunto secador de lodo 14. La tolva de combustible seco 56 de la realización ilustrada incluye un depósito que recibe el material combustible sólido seco a través de un lado superior abierto. Un serpentín calefactor 110 queda acoplado al lado del depósito y calienta el depósito para garantizar que no se condense agua líquida de ninguna fuente al material combustible sólido seco. El calor del serpentín calefactor 110 también puede conducir todavía más el material combustible sólido. En una realización, el serpentín calefactor 110 del depósito de combustible puede ser un serpentín de vapor que reciba una parte del vapor de lodo generado por el conjunto secador de lodo 14 (figura 17), de modo que el contenido del depósito se precaliente a más de aproximadamente 120° C (240° F).

En el caso de que entre agua o humedad de alguna manera en la tolva 56 y el material combustible sólido seco se empape, o si el material sólido de combustible seco está demasiado húmedo para quemar eficientemente, entonces la tolva 56 tendrá que vaciarse. En consecuencia, la tolva 56 incluye un sinfín de salida de combustible húmedo 115 que dirigirá el combustible húmedo de vuelta al depósito de retención de lodo húmedo 32 (figura 1).

Tal como se aprecia en las figuras 18 y 19, la tolva 56 de la realización ilustrada incluye un transportador de combustible seco 112 acoplado al fondo del depósito de la tolva. El transportador 112 está conectado a un conjunto sinfín de alimentación de combustible 114 que transporta el material combustible sólido seco a la caja de combustión o lecho fluidizado 116 de la cámara de combustión 18 (figura 19), en el que el material combustible sólido seco se quema en una suspensión de partículas de arena. En la realización ilustrada, el sinfín de alimentación 114 suministra el material combustible sólido seco en la cámara de combustión de lecho fluidizado 18 aproximadamente 12 cm (4,5 pulgadas) por encima del lecho fluidizado 116 y aproximadamente a la misma altura que un flujo de aire de combustión recibido de un ventilador de combustión, el cual se describe con mayor detalle a continuación. Mientras que la realización ilustrada utiliza un conjunto sinfín de alimentación de combustible seco 114, se requieren otros sistemas de suministro de combustible, incluyendo un sistema alimentado por gravedad u otros sistemas para suministrar el material combustible sólido a la cámara de combustión.

En una realización, el sistema de procesamiento de residuos 10 (figura 1) puede incluir una tolva auxiliar de combustible seco 118 (figura 1) que contiene combustible auxiliar, tal como carbón, pellets de madera, desechos orgánicos u otro combustible seco adecuado que pueda quemarse en la cámara de combustión de lecho fluidizado 18 junto con el material combustible sólido seco si es necesario. La tolva auxiliar de combustible seco 118 también incluye un sinfín de alimentación 120 (figura 19) conectado a la cámara de combustión 18 para el suministro del combustible auxiliar al lecho fluidizado 116 para combustión. El sinfín de alimentación 120 también puede utilizarse para añadir arena, piedra caliza u otro material de lecho seleccionado al lecho fluidizado 116 de la cámara de combustión 18.

Conjunto de cámara de combustión

Tal como se muestra en la figura 19, la cámara de combustión de lecho fluidizado 18 está conectada a la parte inferior del calentador 20 para quemar el material combustible sólido seco y calentar el calentador 20. La cámara de combustión 18 de la realización ilustrada tiene una cámara de combustión 122 que aloja el lecho fluidizado 116 y el equipo de transferencia de calor asociado. La figura 20 es una vista isométrica en sección parcial de la cámara de combustión 122, que está conectada a un depósito de descarga de cenizas 126 mediante un sinfín de descarga 128. La figura 22 es una vista isométrica ampliada de la rejilla de distribución de aire 130 que se muestra retirada de la cámara de combustión 122. La rejilla de distribución de aire ilustrada 130 está configurada para fluidizar el lecho 116 de manera homogénea y estable, y suministra el aire de combustión primaria para el proceso de combustión dentro del conjunto de cámara de combustión 18. El lecho fluidizado ilustrado 116 comprende arena, aunque puede utilizarse piedra caliza u otros materiales adecuados, o mezclas de los mismos. La rejilla de distribución de aire 130 está configurada para funcionar durante largos períodos de tiempo sin deformación, frenado, u obturación. La rejilla de distribución de aire 130 también está integrada en la cámara de combustión 122 de manera que puede reemplazarse o repararse fácil y rápidamente para minimizar cualquier tiempo de inactividad de la cámara de combustión 18 y el sistema asociado 10.

La rejilla de distribución de aire 130 incluye un tubo de distribución de aire aislado 140 con una entrada de aire 142 y una pluralidad de tubos de distribución de aire de tipo rociador 144 conectados al tubo de distribución de aire 140 curso abajo de la entrada de aire 142. Los tubos de distribución 144 son paralelos y dispuestos bastante cerca uno del otro para permitir que ceniza y pequeñas partículas de arena caigan fácilmente entre los tubos de distribución 144 para su extracción por el sinfín de descarga 128 al depósito de descarga 126 (figura 20). Los tubos de distribución separados 144, sin embargo, evitan que en la entrada del sinfín de descarga caiga escoria y cantidad de material no quemado. Cada tubo de distribución 144 está conectado a una pluralidad de boquillas de aire con tapa de burbujas 146 distribuidas en un formato de rejilla. Las boquillas de aire con tapa de burbujas 146 proporcionan una distribución de aire homogénea y uniforme en la parte del espacio sobre el lecho 116 para una fluidización homogénea en la caja de combustión.

En la realización ilustrada que se muestra en la figura 21, la rejilla de distribución de aire 130 está conectada a un conjunto quemador en línea 138 que puede activarse para precalentar el aire entrante de combustión/fluidización según sea necesario, tal como durante el arranque inicial y el calentamiento del lecho fluidizado 116 (figura 20). El conjunto quemador en línea 138 incluye un calentador cubierto 150 que recibe un flujo de aire desde un ventilador de combustión 148. El calentador 150 está conectado a la entrada de aire 142 del tubo de distribución de aire 140 (figura 22) para proporcionar el aire de combustión al lecho fluidizado 116 a través de la rejilla de distribución de aire 130 (figura 20). El ventilador de combustión 148 de la realización ilustrada proporciona aire a un caudal aproximado de hasta 750 pies³/min comprimido a aproximadamente 50 pulg. H₂O. El calentador 150 puede funcionar con gas natural, propano, butano u otro combustible adecuado para precalentar el aire de combustión cuando sea necesario. Una vez que la cámara de combustión 18 se ha calentado cerca de la temperatura operativa, el conjunto de quemador en línea 138 ya no es necesario, y el ventilador de combustión 148 proporciona el aire no calentado al lecho fluidizado 116 para la combustión con el material combustible sólido.

15 Calentador

El conjunto de cámara de combustión 18 se encuentra dispuesto en el interior del calentador (boiler) 20, y el calor generado al quemar el material combustible sólido seco proporciona un flujo continuo de gas de descarga calentado que fluye a través del calentador 20 a lo largo de una trayectoria de gas de descarga 158 (figura 23) y hierve un flujo continuo de agua líquida primaria que fluye generalmente en la dirección opuesta a través del calentador 20 a lo largo de una trayectoria de agua primaria 160 (figura 24) para producir vapor a alta presión que alimentará el motor de vapor 26 (figura 1). El calentador 20 y sus componentes se analizarán en relación con la trayectoria de gases de descarga 158 (figura 23) y después en relación con la trayectoria de agua primaria 160.

La figura 23 es una vista isométrica ampliada, en sección parcial, de la cámara de combustión de combustible seco 18 y del calentador 20 que muestra la trayectoria de gas de descarga calentado 158 a través del calefactor. Una parte inferior del calentador 20 incluye un evaporador 162 insertado por lo menos parcialmente y colocado inmediatamente por encima del lecho fluidizado 116. En consecuencia, el calor a alta temperatura generado al quemar el material combustible sólido en el lecho fluidizado 116 fluye alrededor y calienta eficientemente el evaporador 162. La trayectoria del gas de descarga 158 fluye hacia arriba desde el evaporador 162, sobre un sobrecalentador primario 164 conectado al evaporador 162, y después sobre un sobrecalentador secundario 166 conectado al sobrecalentador primario 164. La trayectoria del gas de descarga 158 fluye desde el sobrecalentador secundario 166 sobre un economizador primario 168 y después sobre un economizador secundario 170. La descarga calentada que fluye a lo largo de la trayectoria del gas de descarga 158 se enfría a medida que transfiere calor secuencialmente a cada uno de los evaporadores 162, el sobrecalentador primario 164, el sobrecalentador secundario 166, el economizador primario 168, y el economizador secundario 170. El economizador secundario 170 se encuentra contenido en una carcasa 172 del economizador y conectada a una salida de descarga 174. Cuando el gas de descarga llega al economizador secundario 170 y fluye sobre el mismo, el gas de descarga transfiere sólo calor de baja calidad al economizador secundario 170 antes de salir de la salida de descarga 174.

La figura 24 es una vista isométrica parcial ampliada de la carcasa del economizador 172 y un conjunto de múltiples ciclones 176 conectado a la salida de descarga 174. El gas de descarga entra en el conjunto de múltiples ciclones 176 y fluye a través de uno o más ciclones convencionales para eliminar cenizas o partículas que quedan del flujo de descarga, proporcionando así gases de descarga limpios que salen del conjunto de múltiples ciclones 176. El gas de descarga también puede burbujear a través de una columna de agua tratada químicamente para eliminar cualquier contaminante adicional antes de ser liberado a la atmósfera. El gas de descarga sustancialmente libre de partículas sale del conjunto de múltiples ciclones 176 y fluye a través de una pila de descarga 178 abierta a la atmósfera. En la realización ilustrada, un ventilador de tiro inducido 180 queda colocado entre el conjunto de múltiples ciclones 176 y la pila de descarga 178 y está configurado para facilitar el flujo del gas de descarga a lo largo de todo el recorrido del gas de descarga 158 y fuera de la pila de descarga 178. En la realización ilustrada, el ventilador 180 es capaz de extraer aproximadamente 8 pulgadas de vacío de H₂O a una velocidad de flujo de aproximadamente 775 pcms, aunque otras realizaciones pueden utilizar otros ventiladores o sistemas de extracción de gases para controlar el flujo y la velocidad de los gases de descarga a lo largo de la trayectoria de gas de descarga 158.

La figura 25 es una vista isométrica parcial ampliada de la carcasa del economizador 172, que tiene una zona de recogida de cenizas 182 en la parte inferior de la carcasa y un sinfín de cenizas 184 conectado a la zona de recogida de cenizas 182. Cuando el gas de descarga entra en la carcasa del economizador 172, el gas de descarga se ha enfriado sustancialmente, y cualquier partícula de ceniza más pesada que pueda estar fluyendo con el gas de descarga caerá y se acumulará en la zona de recogida de cenizas 182. El sinfín de cenizas 184 está configurado para transportar las cenizas recogidas lejos de la carcasa del economizador 172 y hacia un depósito de recogida u otro sistema de recogida (no mostrado).

Circuito de agua primaria antes del calefactor

Volviendo ahora a la trayectoria de agua primaria 160, el flujo de agua primaria entra en el calentador 20 en fase líquida. Tal como se ha descrito anteriormente en relación con el conjunto secador de lodo 14, el flujo de agua primaria desde el motor de vapor 26 se condensa en el conjunto secador de lodo a la fase líquida. En la realización ilustrada mostrada en la figura 1, el flujo de agua líquida primaria desde el conjunto secador de lodo 14 puede pasar a través de un radiador 190 para ayudar a enfriar el agua líquida primaria antes de continuar a lo largo del circuito de agua primaria 21.

A medida que el agua primaria (a veces denominada "agua de alimentación") se mueve a través del circuito de agua primaria 21 en las fases vapor/vapor y líquido, puede perderse parte del agua primaria. Por ejemplo, puede perderse algo de agua primaria por el vapor que impulsa el motor de vapor 26 en el que el pistón impulsa vapor a lo largo de las paredes del cilindro en el motor. Además, parte del agua primaria puede eliminarse del sistema 10 y desecharse en el punto más bajo del sistema 10 para eliminar cualquier producto químico o mineral utilizado que pueda haber precipitado fuera del agua primaria, lo que se conoce como purgado. Dependiendo de la calidad del agua y el sistema 10, el purgado puede constituir hasta aproximadamente un 5% del flujo total del agua primaria. En consecuencia, puede añadirse agua de reposición al circuito de agua primaria 21 a través de un acondicionador de agua 192 situado curso abajo del radiador 190.

El acondicionador de agua 192 también puede añadir productos químicos o aditivos al agua primaria mientras se encuentra en fase líquida. En algunas realizaciones, los productos químicos y/o aditivos se añaden al agua de reposición introducida en el circuito de agua primaria 21. Por ejemplo, el agua de reposición puede suavizarse mediante aditivos químicos antes de entrar en el circuito de agua primaria para reducir incrustaciones en las tuberías en el calentador 20. Pueden utilizarse también aditivos químicos para minimizar impurezas y productos de corrosión, lo que puede afectar negativamente a eficiencias de calentamiento o potencialmente acortar la vida de funcionamiento de los conductos a través de los cuales fluye el agua primaria en el circuito de agua primaria 21. Además, el acondicionador de agua 192 puede utilizarse para tratar agua entrante, que puede ser agua pública dura, antes de que el agua de reposición se añada al circuito de agua primaria 21.

El agua primaria fluye desde el acondicionador de agua 192 y se recoge en un depósito de agua de alimentación 194 antes de que el agua líquida primaria se introduzca en el calentador 20. El depósito de agua de alimentación 194 puede incluir un interruptor de nivel para que, después de que se devuelva el agua líquida primaria, el sistema tenga una manera de medir y añadir la cantidad adecuada de agua de reposición y productos químicos para tener en cuenta las pérdidas en el circuito de agua primaria 21. El agua líquida primaria se extrae del depósito de agua de alimentación 194 mediante una bomba de agua de alimentación 196 que bombea el agua líquida primaria hacia el calentador 20.

Trayectoria de agua primaria en calentador

Volviendo ahora al calentador 20, la figura 26 es una vista isométrica ampliada, en sección parcial, que muestra la trayectoria de agua primaria 160 a través del calentador 20. El agua líquida primaria recibida de la bomba de agua de alimentación 196 (figura 1) se introduce como agua fría a presión en el calentador 20 a través de una entrada de agua 198 adyacente al economizador secundario 170. El agua primaria fría de la bomba 196 se presuriza a aproximadamente 4130 kPa (600 psia), y fluye a través del economizador secundario 170, que es calentado por el gas de descarga en la parte más fría de la trayectoria del gas de descarga 158 (figura 23) en el interior dentro del calentador 20. En la realización ilustrada, el economizador secundario 170 calienta el agua líquida primaria hasta su punto de saturación, que es aproximadamente 525 K a 4,135 MPa.

El agua primaria fluye desde el economizador secundario 170 a través del economizador primario 168, en el que el agua primaria se calienta hasta su punto de ebullición. El agua primaria sale del economizador primario 168 como vapor y entra en un tambor de vapor 199, en el que el vapor seco saturado se separa de cualquier líquido saturado. Cualquier líquido saturado en el tambor de vapor 199 se devuelve y se reintroduce en el evaporador 162. El vapor primario seco fluye fuera del tambor de vapor 199 y secuencialmente a través del sobrecalentador primario y secundario 166 y 164. El vapor primario sale del sobrecalentador primario 164 como vapor sobrecalentado a alta temperatura, que fluye fuera del calentador 20, a lo largo de la parte curso abajo de la trayectoria de agua primaria 160 hacia el motor de vapor 26.

Aunque el calentador 20 ilustrado en las figuras 23 y 26 incluye dos sobrecalentadores 164/166 y dos economizadores 168/170, el calentador 20 de otras realizaciones puede incluir sólo un sobrecalentador y/o sólo un economizador. Por ejemplo, la figura 27 es una vista isométrica en sección parcial de los componentes de tuberías de un conjunto calefactor 222 de una realización alternativa que incluye sólo un sobrecalentador 224 y un economizador 226 acoplado al evaporador 228 y al tambor de vapor 199. En esta realización alternativa, el tambor de vapor 199 está conectado a una pluralidad de tuberías verticales que forman paredes de agua 232 en lados opuestos del evaporador 228, lo que ayuda a proteger el evaporador, el lecho fluidizado 116, y la cámara de combustión 122, para retener el calor entre las paredes de agua, y para ayudar a calentar el agua saturada que fluye

a través de las paredes de agua 232. En consecuencia, el uso de las paredes de agua 232 ayuda a eliminar o reducir la cantidad de material refractario necesario dentro del calefactor.

Las figuras 28 y 29 son vistas isométricas de un calentador 240 de acuerdo con otra realización. El calentador 240 presenta una distribución de componentes similar a la figura 27, en la que un sobrecalentador 224 y un economizador 226 quedan colocados junto al evaporador 228, lo que permite un espacio significativamente mayor en el interior de la sección del evaporador sobre el lecho fluidizado 116. Esta realización también incluye las paredes de agua 232 que se extienden desde el tambor de vapor 199. Además, el calentador 240 tiene una carcasa 241, y el sobrecalentador 224, el economizador 226, y el evaporador 228 están montados en unas estructuras de bastidor 242 dispuestas de manera móvil sobre uno o más carriles o deslizadores 244 conectados a la carcasa 241.

Cada estructura de bastidor 242 y sus respectivos componentes del calentador (es decir, el sobrecalentador 224, el economizador 226, y/o el evaporador 228) puede moverse como una unidad respecto a la carcasa 241 tal que pueden trasladarse de manera análoga al movimiento de un cajón entre una posición abierta y expuesta (figura 28) y una posición operativa cerrada (figura 29). Cualquiera o la totalidad del sobrecalentador 224, el economizador 226, y/o el evaporador 228 puede moverse a la posición abierta y expuesta de manera modular, por ejemplo, para mantenimiento o sustitución cuando el sistema 10 (figura 1) no está funcionando. Antes de que los componentes del calentador puedan moverse a la posición abierta y expuesta, puede ser necesario desconectar algunas de las tuberías de interconexión que definen la trayectoria de agua primaria 160. El sobrecalentador 224, el economizador 226, y/o el evaporador 228 pueden deslizar de nuevo hacia la carcasa 241 y a la posición operativa cerrada, y la tubería de interconexión puede volverse a conectar. Esta solución modular puede reducir en gran medida un tiempo de inactividad potencial del sistema 10, así como el coste para llevar a cabo el mantenimiento regular del calentador 240.

En otra realización, el calentador 20 puede ser un calentador concéntrico que tenga una cámara de combustión central y lecho fluidizado. Se dispone un evaporador substancialmente cilíndrico coaxialmente con la cámara de combustión, y el sobrecalentador y el economizador están dispuestos concéntricamente radialmente hacia afuera del evaporador. Otras realizaciones pueden utilizar calentadores con otras configuraciones y/o componentes y/o disposiciones de componentes.

Planta de energía

La figura 30 es una vista isométrica del conjunto de la planta de energía 22 con un generador 28 accionado por el motor de vapor 26. En la realización ilustrada, el generador 28 es un generador de inducción de 175 kW con una salida operativa de hasta aproximadamente 150kW (200 hp). La electricidad producida por el generador 28 se utiliza para alimentar cualquier carga parasitaria, incluyendo el soplador de aire, todas las bombas, los motores que hacen girar los sinfines, etc. El exceso de electricidad puede estar disponible para un uso local o suministrarse a una red eléctrica seleccionada.

El motor de vapor 26 que acciona el generador 28 recibe el vapor primario sobrecalentado del calentador 20 (figura 1), y el vapor primario se expande en el motor a aproximadamente 207 kPa (~30 psia). El motor de vapor es un motor de pistones alternativos de múltiples cilindros con un conjunto de culata 300 configurado para utilizar el vapor caliente a una temperatura de hasta aproximadamente 480° C (900° F) y para funcionar durante largos períodos de tiempo a presiones elevadas, tal como de aproximadamente 4130 KPa (600 psia). En la realización ilustrada, el motor 26 es un motor de seis cilindros, aunque pueden utilizarse otros motores, tales como un motor V8 de pistones alternativos.

La figura 31 es una vista isométrica superior ampliada en sección parcial de la culata 301 retirada del bloque. El conjunto de culata 300 ilustrado incluye una culata 301 realizada en acero y que incluye un puerto de entrada de vapor 302 para cada cilindro. Los puertos de entrada de vapor se encuentran dispuestos generalmente en la parte superior de la culata. El conjunto de culata 300 incluye un tren de válvulas 304 con válvulas de asiento 306 y balancines asociados 308 para cada cilindro. Un árbol de levas 310 tiene una pluralidad de levas contorneadas con precisión 312 para cada una de las válvulas de asiento de admisión y escape 306a y 306b. El giro del árbol de levas 310 y las levas asociadas 312 controla la apertura y el cierre de las válvulas de admisión y descarga 306a y 306b para los parámetros operativos específicos del motor de vapor 26.

El ciclo de vapor alternativo del motor de vapor 26 consiste en cuatro eventos distintos que tienen lugar en dos carreras del pistón del motor en el interior de su cilindro. Comenzando en el punto muerto superior (Top Dead Center, TDC), la válvula de admisión del cilindro 306a se abre y fluye vapor de alta presión sobrecalentado (recibido desde el calentador) a través del puerto de entrada de vapor 302 y hacia el cilindro mientras el pistón se mueve hacia abajo hacia el punto muerto inferior (Bottom Dead Center, BDC). A un volumen de corte de vapor especificado, la válvula de admisión 306a se cierra y el pistón completa la carrera de trabajo en BDC. En el BDC, la válvula de descarga 306b se abre, y la carrera de descarga comienza cuando el pistón se mueve hacia arriba hacia el TDC. En un momento específico antes del TDC, la válvula de descarga 306b se cierra de modo que la presión del cilindro

aumenta cerca de la presión del calentador. Esto minimiza las pérdidas por estrangulamiento cuando se abre la válvula de admisión 306a.

A medida que el motor de vapor 26 de la realización ilustrada funciona con vapor en base a una presión del calentador de aproximadamente 4130 kPa (600 psia), las válvulas de admisión y descarga 306a y 306b deben controlarse cuidadosamente a través de unos perfiles de leva y una disposición de tren de válvulas precisos para maximizar la eficiencia y la potencia del motor para la presión del calentador y los límites de par del motor determinados. En la realización ilustrada, a una presión del calentador de aproximadamente 4130 kPa (600 psia), la relación de corte para cada cilindro (es decir, la relación entre el volumen de corte y el volumen total del cilindro) es aproximadamente de un 11%. En consecuencia, la válvula de admisión 306a debe abrirse el tiempo suficiente para llenar un 11% del cilindro con el vapor primario de alta presión. El motor de vapor 26 (figura 30) está configurado para proporcionar un volumen de espacio muerto de aproximadamente 17,7 cc en lugar de un volumen de espacio muerto convencional típico de aproximadamente 70 cc para un motor con una relación de compresión de aproximadamente 9,8. Este volumen de espacio muerto de 17,7 cc proporciona un giro del cigüeñal de 28° para lograr la relación de corte deseada de un 11%. Debido a que el árbol de levas 310 gira dos veces más rápido que el cigüeñal, el árbol de levas 310 y las levas 312 deben abrir y cerrar cada válvula de admisión 306a en un giro de 14°. Este movimiento rápido es controlado por los perfiles de levas y la configuración de la válvula de admisión 306a.

Las figuras 31 y 32 son vistas en sección transversal ampliada del conjunto de culata 300 que muestra una leva de admisión 312a, la válvula de admisión 306a, y el balancín asociado 308a. Dado que la relación de corte para el motor de la realización ilustrada es de sólo un 11%, el perfil de leva para cada leva de admisión 312a incluye lóbulos extremadamente pequeños 314 configurados para pivotar de manera rápida y precisa el respectivo balancín 308a para abrir y cerrar la válvula de admisión asociada 306a. Esta pequeña forma de lóbulo debe tener unas zonas de transición bastante empinadas 316 en el perfil de la leva, lo que crea una curva sustancialmente cóncava de radio pequeño que debe seguir el seguidor de la leva 318. En la realización ilustrada, el seguidor de leva 318 es un seguidor de leva rodante dispuesto de manera giratoria en un par de cojinetes 320 en el interior del balancín 308a por encima de la respectiva leva de admisión 312a. Esta disposición de seguidor de leva rodante 318 y cojinetes 320 en el balancín 308a permite que el seguidor de leva 318 controle las cargas inerciales durante el funcionamiento del motor 26.

Tal como se muestra en la figura 33, cuando la válvula de admisión 306a está cerrada, su cabeza de válvula 319 queda asentada de manera estanca en la parte superior de un asiento de válvula 321 en la culata 301, y el puerto de entrada de vapor 302 suministra el vapor primario por encima de la válvula de admisión 306a (es decir, en la parte superior de la cabeza de la válvula). El tren de válvulas 304 está configurado con el seguidor de levas 318 colocado verticalmente sobre su respectiva leva 312, y el seguidor de leva 318 queda separado del pasador del balancín 322. Además, el extremo distal del balancín 308 queda colocado por debajo de la superficie inferior de un casquillo 324 y está acoplado al mismo roscado a la parte superior del eje 326 de la válvula de admisión. Cuando la leva de admisión 312a gira y el seguidor de leva 318 está acoplado al lóbulo pequeño 314, el balancín 308 pivota hacia arriba alrededor del pasador 322 y tira de la válvula de admisión 306a hacia arriba para levantar la cabeza de la válvula 319 alejándola del asiento de válvula 321 abriendo brevemente, por lo tanto, la válvula de admisión 306a. En consecuencia, la válvula de admisión 306a es una válvula de asiento de tracción. Cuando el lóbulo de la leva 314 pasa por el seguidor de la leva 318, la válvula de admisión 306a se cierra rápidamente. A diferencia de la válvula de admisión 306a, la válvula de descarga 306b no requiere una acción tan rápida y sensible y puede ser una válvula de asiento de empuje.

La configuración de la culata es tal que el vapor caliente a alta presión está encima de la culata, y se requiere que la válvula de entrada 306a se encuentre en el mismo lado que el vapor de alta presión, de lo contrario la válvula de entrada 306a se abriría por la presión del vapor. Como la posición de la válvula de entrada está en la parte superior de la culata por debajo del puerto de entrada de vapor 402, el vapor a alta presión mantiene cerrada la válvula de admisión 306a. En la realización ilustrada, la válvula de admisión 306a está conectada a un muelle 328 que proporciona fuerzas adicionales para ayudar a levantar y abrir la válvula de admisión para permitir que el vapor entre en el cilindro a medida que el pistón se mueve desde el TDC hasta alcanzar el volumen de corte (~11%).

La configuración del motor de vapor 26 de la realización ilustrada también proporciona un control de temperatura mejorado del motor durante el funcionamiento, particularmente a altas RPM (es decir, ~1850) durante períodos de tiempo muy largos. A diferencia de los motores de vapor convencionales que utilizan cilindros de doble acción con presión de vapor aplicada alternativamente a cada lado del pistón y expulsada a cada lado del pistón, el motor de vapor 26 de la realización ilustrada tiene cilindros de simple efecto. Para evitar fugas de vapor alrededor del pistón, particularmente a bajas temperaturas de funcionamiento (es decir, durante el arranque), el presente motor 26 utiliza líquido refrigerante incorporado en el motor con un radiador y un calentador para controlar la temperatura del motor. Cuando arranca el motor 26 y todavía no se ha calentado, el calentador mantiene los cilindros del motor muy por encima de la temperatura de ebullición del agua, por lo que el vapor no condensará. Debido a que el vapor a alta presión está caliente, una vez que el motor está funcionando, el sistema de control de temperatura está en modo de refrigeración. En consecuencia, el sistema de control de temperatura controla cuidadosamente la temperatura del

motor y evita que el motor 26 se caliente demasiado, lo que dañaría el aceite, y que se enfríe demasiado (es decir, por debajo de aproximadamente 160° F), en donde el aceite del cárter y agua que pase por el pistón a través del soplado se mezclarían y se formaría una emulsión que sería imposible de separar.

5 Controles

10 El sistema de procesamiento de residuos de lodos fecales 10 de la realización ilustrada también incluye una pluralidad de controles automatizados, integrados e informatizados, interconectados y configurados para el control de todo el sistema 10 con una supervisión mínima de un operario, durante un funcionamiento normal. El control y la supervisión de los equipos y procesos se llevan a cabo principalmente a través de un controlador lógico programable (Programmable Logic Controller, PLC) central que recoge entradas de sensores y establece niveles de salida para los dispositivos de control, tales como las válvulas y motores. El PLC también está configurado para controlar el funcionamiento de controles especializados para el sistema generador eléctrico y el quemador de propano utilizado durante el arranque. El PLC también está configurado para dividir el sistema general en subsistemas manejables, tal como agua limpia/vapor, combustión, manejo de combustible, y generación de energía. Se disponen unas entradas de control para desconectar subsistemas entre sí en la medida deseada. Los subsistemas pueden dividirse adicionalmente en bucles de control para proporcionar puntos de ajuste para salidas individuales.

20 El subsistema de agua limpia/vapor está configurado para proporcionar a una planta de energía 22 vapor a una temperatura y una presión constantes, y para proporcionar al conjunto secador de lodo 14 calor (en forma de vapor) para generar combustible sólido suficientemente seco. Se utilizan unos bucles de control para regular la cantidad de agua de reposición que entra en el sistema, la cantidad de condensado que entra en el evaporador, la cantidad de vapor que pasa por el motor de vapor, y el calor aplicado al conjunto secador de lodo. El sistema de agua limpia/vapor también está configurado para monitorizar y tratar el agua externa que entra en el sistema, tal como el agua municipal, y para controlar el contenido total de sólidos disueltos del agua del calentador a través de un sistema de purgado.

30 El subsistema de combustión está configurado para proporcionar suficiente calor para mantener el sistema de agua limpia/vapor produciendo la cantidad y temperatura correctas de vapor. Se proporcionan unos bucles de control que regulan el flujo de aire a través de lecho fluidizado, para accionar el quemador de propano durante el arranque y para controlar la presión del aire en la cámara de combustión. Este sistema también controlará las emisiones de combustión y las tareas de mantenimiento y manejo de gases de descarga, tales como la extracción y sustitución del material de lecho fluidizado.

35 El subsistema de manejo de combustible está configurado para proporcionar la cantidad correcta de combustible seco al proceso de combustión y controlar las aguas residuales generadas por el proceso de secado. Se utilizan unos bucles de control para proporcionar la cantidad correcta de combustible húmedo, para regular el tiempo de permanencia del material combustible sólido en el conjunto secador de lodo, para medir el material combustible sólido seco en la cámara de combustión, y para manejar el proceso de condensación y tratamiento del agua.

40 El subsistema de generación de energía está configurado para proporcionar energía a la red cuando está disponible. Este subsistema tiene unos bucles de control que regulan la salida de energía eléctrica y regulan la velocidad y el par del motor a través de la modulación del acelerador del motor. Los subsistemas de control y unos bucles de bajo nivel pueden integrarse en un controlador de nivel superior para manejar secuencias de arranque y apagado y para manejar situaciones de emergencia y alarma de manera adecuada.

50 A partir de lo anterior, se apreciará que se han descrito aquí unas realizaciones específicas de la invención con fines ilustrativos, pero que pueden realizarse diversas modificaciones sin apartarse de la invención. Adicionalmente, aspectos de la invención descritos en el contexto de unas realizaciones o ejemplos particulares pueden combinarse o eliminarse en otras realizaciones. Aunque se han descrito en el contexto de esas realizaciones ventajas asociadas a determinadas realizaciones de la invención, otras realizaciones también pueden presentar tales ventajas. La invención está definida únicamente por las reivindicaciones adjuntas. Cualquier realización de la invención comprende por lo menos todas las características de la reivindicación independiente.

REIVINDICACIONES

1. Sistema multifuncional de procesamiento de residuos húmedos para generación de electricidad y agua potable, que comprende:
- 5 un conjunto secador de combustible (14) que presenta una trayectoria de combustible con una entrada de combustible configurada para recibir un flujo de lodo húmedo orgánico que comprende una mezcla de agua y material combustible sólido,
- 10 presentando el conjunto secador de combustible (14) una parte de calefactor configurada para hervir el lodo y separar térmicamente agua del material combustible sólido para proporcionar combustible seco,
- presentando el conjunto secador de combustible (14) una primera salida de vapor, una salida de combustible seco, y una parte de condensador que tiene una trayectoria de fluido con una entrada de vapor y una salida de fluido,
- 15 estando la trayectoria del fluido aislada de la trayectoria del combustible;
- un conjunto condensador de agua dulce (16) acoplado a la primera salida de vapor y configurado para condensar agua vaporizada del lodo en agua líquida limpia;
- 20 un conjunto de cámara de combustión de combustible seco (18) acoplado a la salida de combustible seco del conjunto secador de combustible (14), presentando el conjunto de cámara de combustión de combustible seco (18) una parte de cámara de combustión y presentando un calentador configurado para recibir calor de la parte de cámara de combustión, presentando el calentador una primera entrada de agua y una segunda salida de vapor;
- 25 un generador a vapor (22) acoplado a la segunda salida de vapor del calentador y configurado para generar electricidad, presentando el generador a vapor (22) una tercera salida de vapor acoplada a la entrada de vapor de la parte de condensador; y
- 30 una bomba de agua (196) que tiene una segunda entrada de agua acoplada a la salida de fluido de la parte de condensador del conjunto secador de combustible (14); y presentando la bomba de agua (196) una salida de agua acoplada a la primera entrada de agua del calentador;
- en el que el calentador está configurado para convertir un flujo de agua que entra en el calentador en un flujo de vapor para alimentar el generador a vapor,
- 35 en el que el conjunto condensador de agua dulce (16) está configurado para condensar agua evaporada del lodo a agua líquida limpia;
- 40 en el que el conjunto de cámara de combustión (18) está configurado para recibir el combustible seco, el conjunto de cámara de combustión (18) está configurado para recibir y quemar el material combustible seco, y el calentador está configurado para crear vapor en una trayectoria de fluido que se extiende entre la entrada de agua y una segunda salida de vapor; y
- 45 en el que el generador a vapor es accionado por el motor de vapor que está acoplado a la segunda salida de vapor del calentador para recibir vapor del mismo;
- en el que el calor del vapor descargado desde el motor de vapor (22) hierve el agua del lodo en el conjunto secador de combustible (14); y
- 50 en el que el vapor descargado desde el motor de vapor (22) se condensa a un flujo de agua líquida, caracterizado por el hecho de que
- 55 el conjunto secador de combustible (14) es un secador de dos etapas que tiene una primera y una segunda etapa de secado secuenciales (200, 220), en el que la primera etapa de secado (200) genera vapor del lodo, y la segunda etapa de secado (220) utiliza el vapor del lodo de la primera etapa de secado para secar el lodo.
2. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el conjunto secador de combustible comprende un sinfín calentado por vapor (38) en el transportador de combustible y configurado para desplazar y calentar el lodo durante el proceso de secado.
- 60
3. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la primera etapa de secado (200) genera un primer vapor de secado a partir de agua vaporizada del lodo, y la segunda etapa de secado (220) tiene una primera parte de transportador de vapor acoplada a la primera etapa de secado (200) y configurada para transportar el primer vapor

de secado adyacente al lodo fecal y la segunda etapa de secado (220) que tiene la segunda parte de transportador de vapor aislada de la primera parte de transportador de vapor y configurada para transportar el vapor descargado del generador a vapor adyacente al lodo, en el que el calor de la primera y la segunda parte de transportador de vapor seca el lodo que se desplaza en el mismo.

5 4. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la parte de condensador del conjunto secador de combustible (14) está configurada para recibir vapor descarga del generador a vapor (22) a través de la primera entrada de vapor, y presentando el conjunto secador de combustible (14) una parte de secado conectada a la entrada de combustible y adyacente a la parte de condensador, la parte de secado está configurada para vaporizar agua desde el lodo utilizando el calor desde el vapor de descarga del condensador.

10 5. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el conjunto de cámara de combustión (18) es un conjunto de cámara de combustión de lecho fluidizado.

15 6. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el conjunto secador de combustible (14), el condensador de agua dulce (16), el conjunto de cámara de combustión de combustible (18), el generador a vapor (22), y la bomba de agua (196) están montados en un bastidor y son transportables con el bastidor como una unidad.

20 7. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el generador a vapor es un motor de vapor de simple efecto refrigerado por líquido.

25 8. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la parte de calentador del conjunto secador de combustible (14) comprende una parte de transportador de lodo a través de la cual se desplaza el lodo, un transportador de vapor adyacente al transportador de lodo y colocado adyacente al lodo para el suministro de calor desde el vapor en el transportador de vapor al lodo, y una pluralidad de elementos de propulsión dispuestos de manera móvil en el interior del transportador de combustible y configurados para desplazar el lodo en el transportador de combustible respecto al transportador de vapor.

30 9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la primera etapa de secado (200) comprende primer transportador de combustible, un primer transportador de vapor adyacente al primer transportador de combustible, una pluralidad de elementos de propulsión dispuestos de manera móvil en el interior del primer transportador de combustible y configurados para desplazar el lodo a través del primer transportador de combustible más allá del primer transportador de vapor; y la segunda etapa de secado (220) comprende un segundo transportador de combustible, una pluralidad de elementos calentados por vapor en el interior del segundo transportador de combustible, y que son fijos respecto al segundo transportador de combustible, y un segundo conjunto transportador de vapor dispuesto de manera giratoria en el interior del segundo transportador de combustible y configurado para desplazar el lodo en el interior del segundo transportador de combustible y más allá de los elementos calentados por vapor.

40 10. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el conjunto de cámara de combustión (18) es un conjunto de cámara de combustión de lecho fluidizado con una caja de combustión que tiene un lecho de cámara de combustión para combustión de combustible seco y una rejilla de aire configurada para proporcionar aire de combustión al lecho de la cámara de combustión, y comprendiendo el calentador un primer intercambiador de calor conectado a la entrada de agua y configurado para calentar el agua que fluye a través del mismo, un tambor de vapor acoplado al primer intercambiador de calor, un evaporador acoplado al tambor de vapor y configurado para recibir fluido calentado y saturado desde el mismo, estando configurado el tambor de vapor para recibir un flujo de vapor desde el evaporador, y un segundo intercambiador de calor acoplado al tambor de vapor y configurado para recibir vapor seco desde el tambor de vapor, el segundo intercambiador de calor conectado a la segunda salida de vapor.

50 11. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende, además, un depósito de contención de lodo (102), un transportador de lodo (38) conectado al depósito de contención de lodo (102) y configurado para suministrar el lodo desde el depósito de contención de lodo (102) hacia la entrada de lodo del conjunto secador de lodo (14).

55 12. Sistema de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el depósito de contención de lodo (102) es un depósito de contención de lodo fecal, y el transportador de lodo está configurado para suministrar lodo fecal a la entrada de lodo del conjunto secador de lodo.

60 13. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende, además, un sistema de filtrado de agua acoplado al conjunto condensador de agua dulce y configurado para recibir el agua limpia, presentando el sistema de filtrado de agua uno o más filtros que filtra el agua limpia y proporciona agua potable.

14. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la entrada de fluido del conjunto secador de lodo (14) está configurada para recibir un flujo de lodo fecal.

5 15. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el conjunto secador de lodo (14) comprende un sinfín giratorio hueco en una parte de calefactor y configurado para recibir vapor descargado del motor de vapor para calentar el sinfín, en el que el sinfín está configurado para desplazar y calentar el lodo durante el proceso de secado.

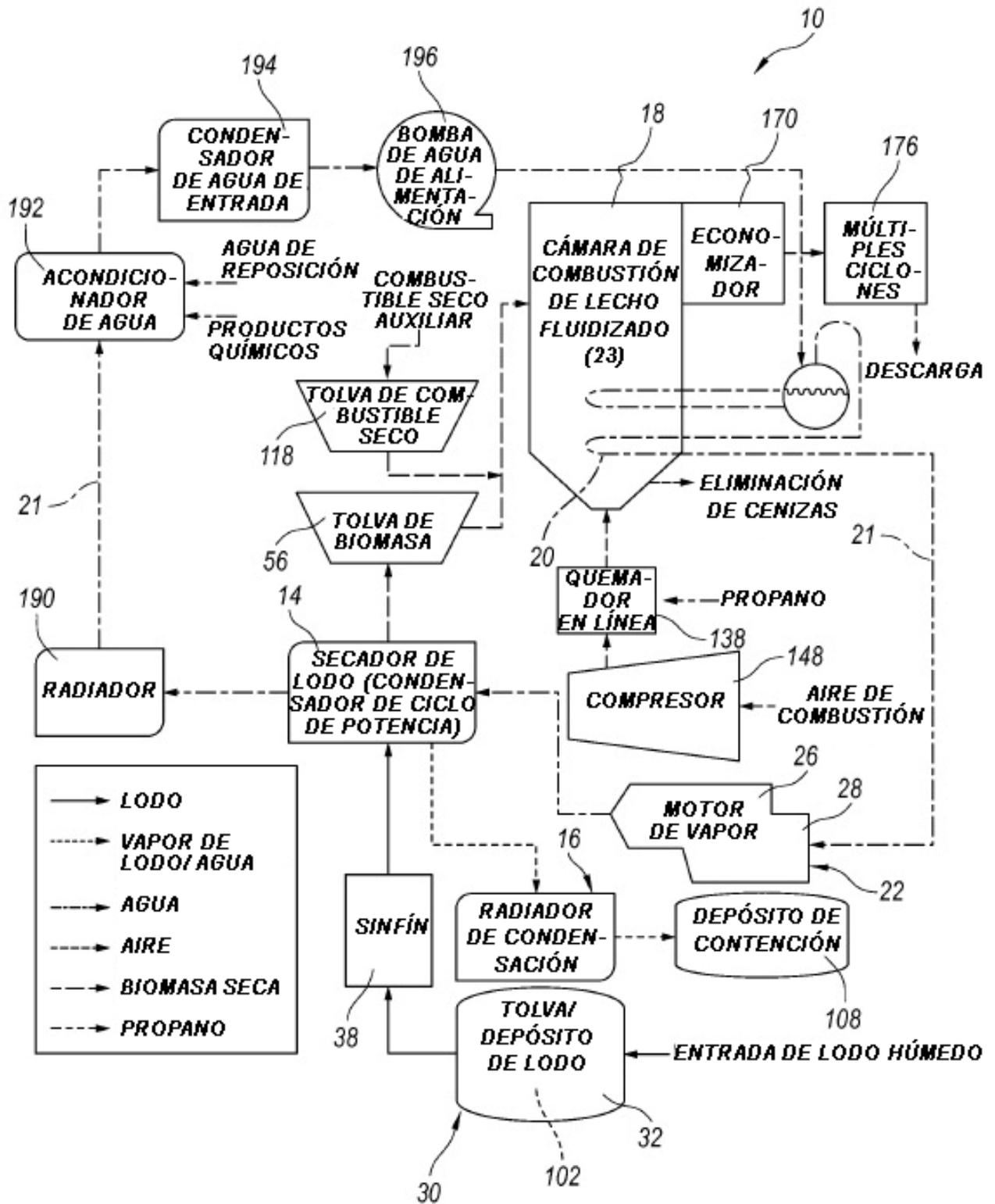


Fig. 1

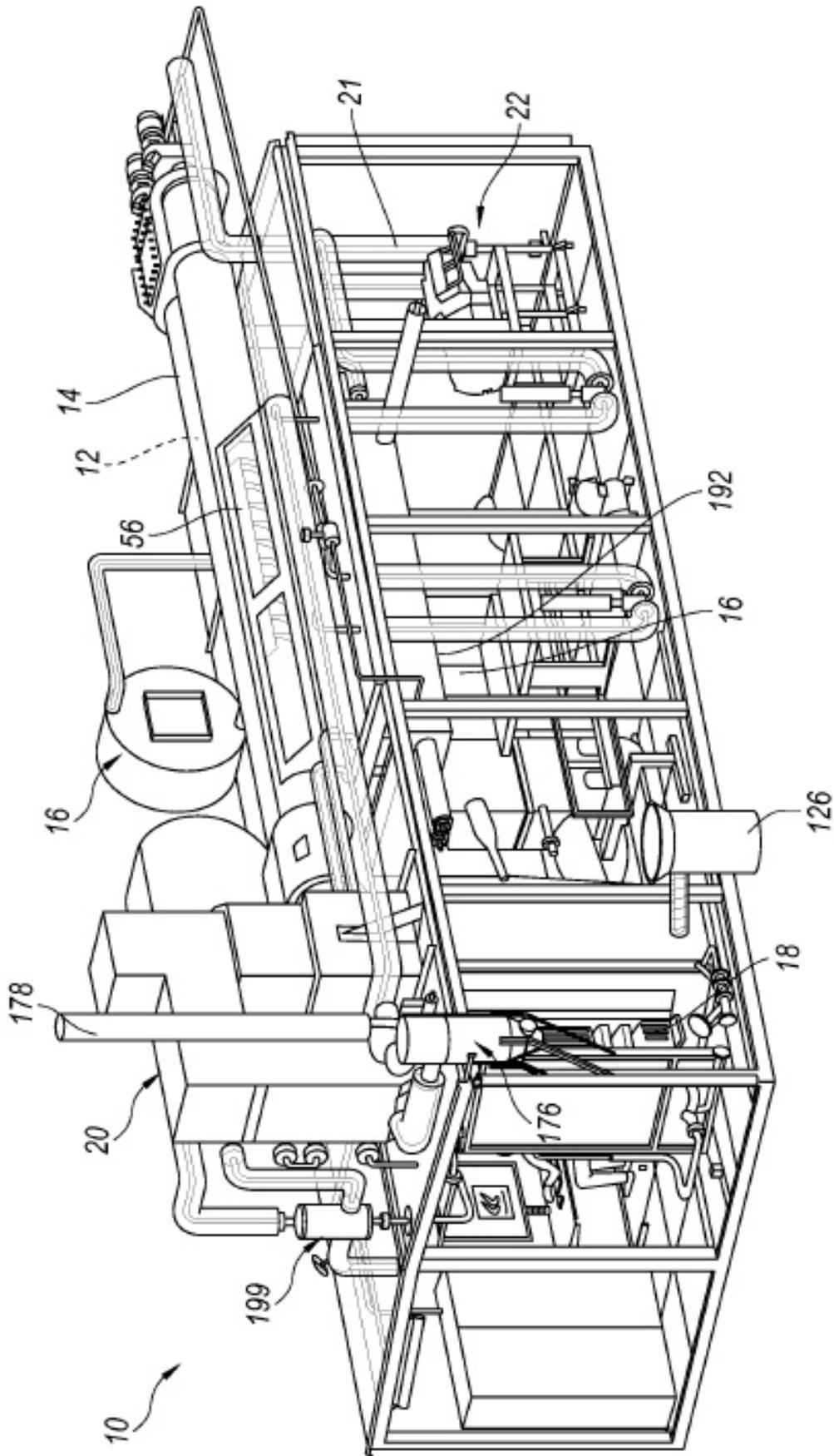


Fig. 2

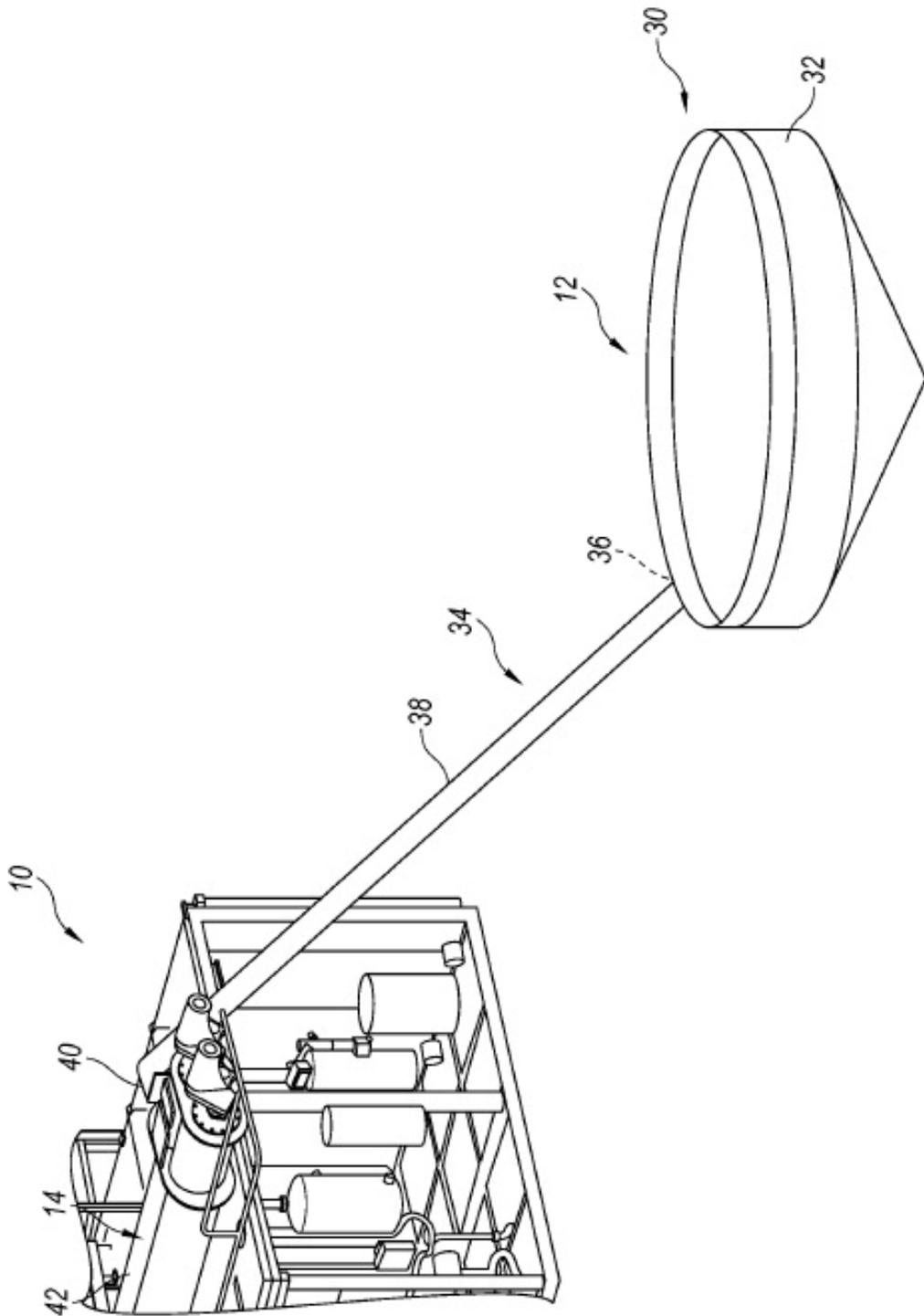


Fig. 3

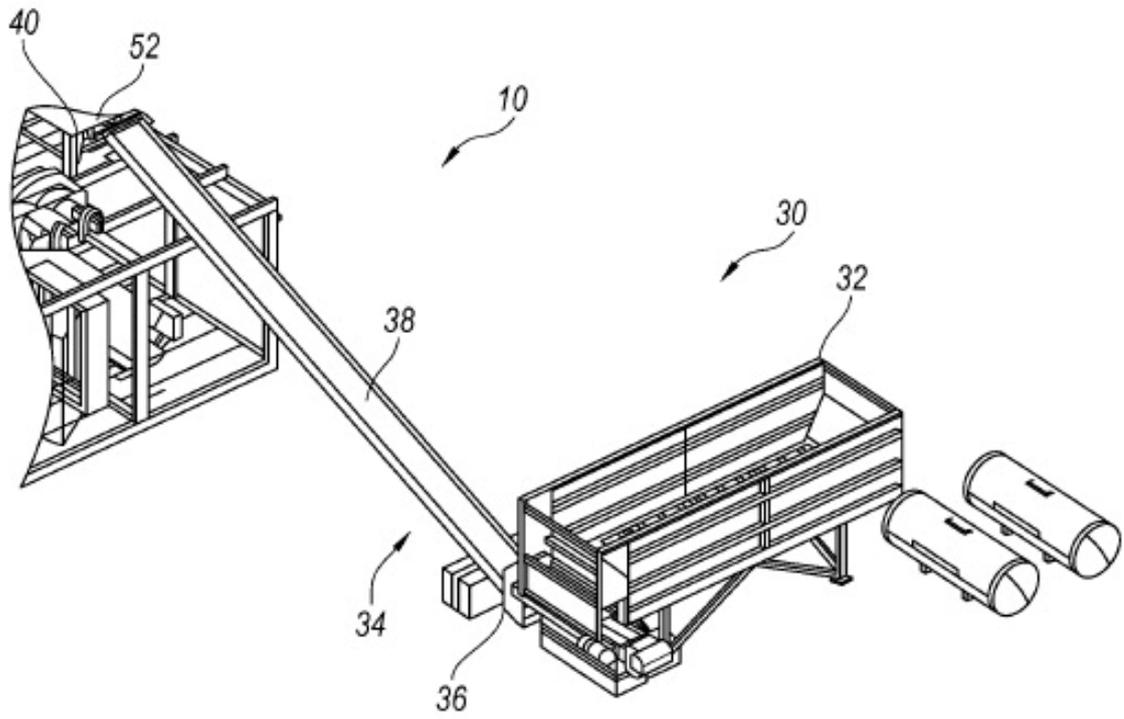


Fig. 4

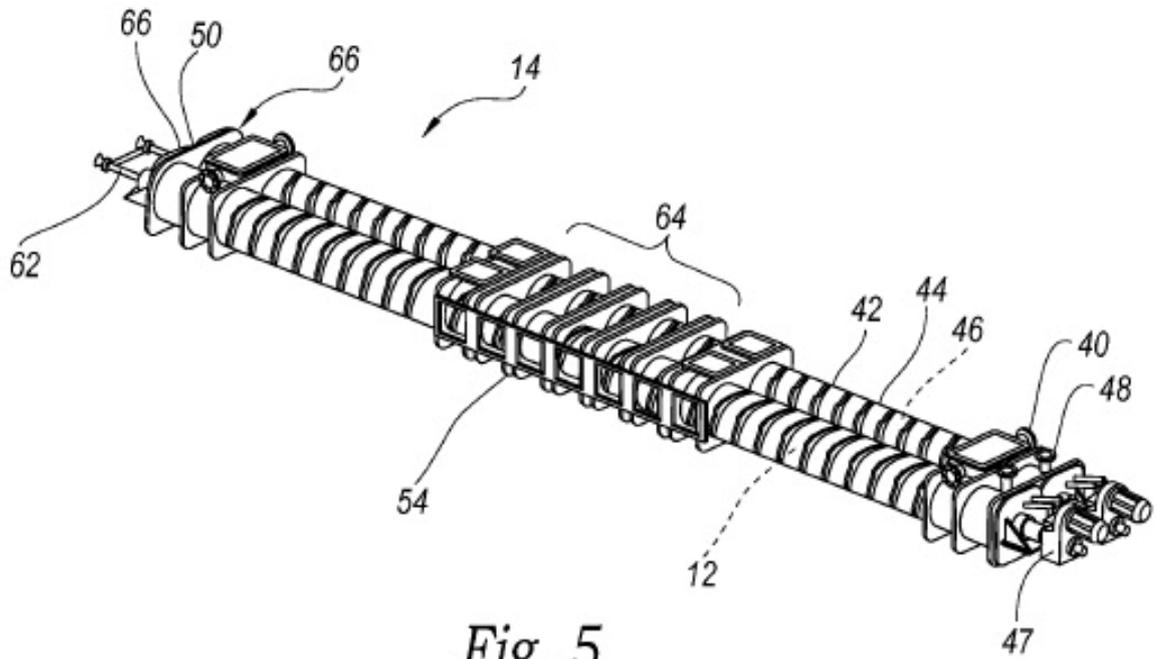


Fig. 5

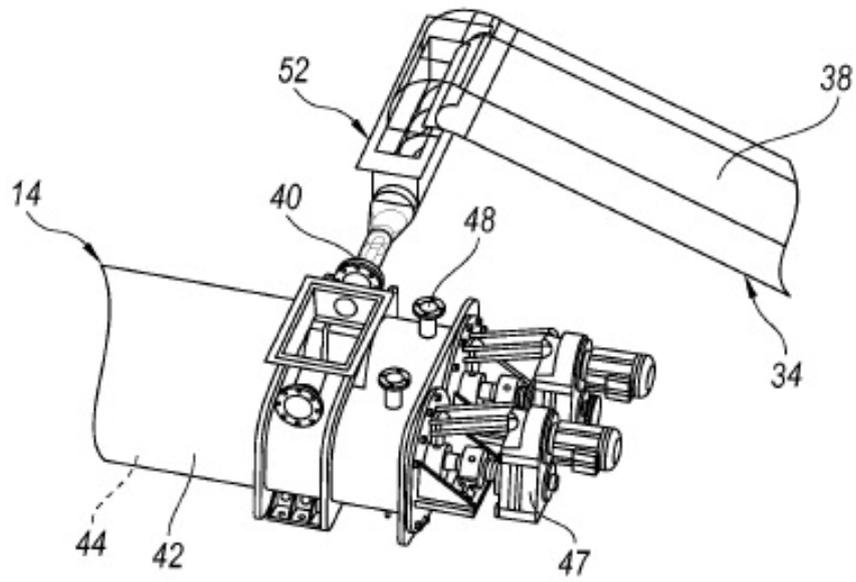


Fig. 6

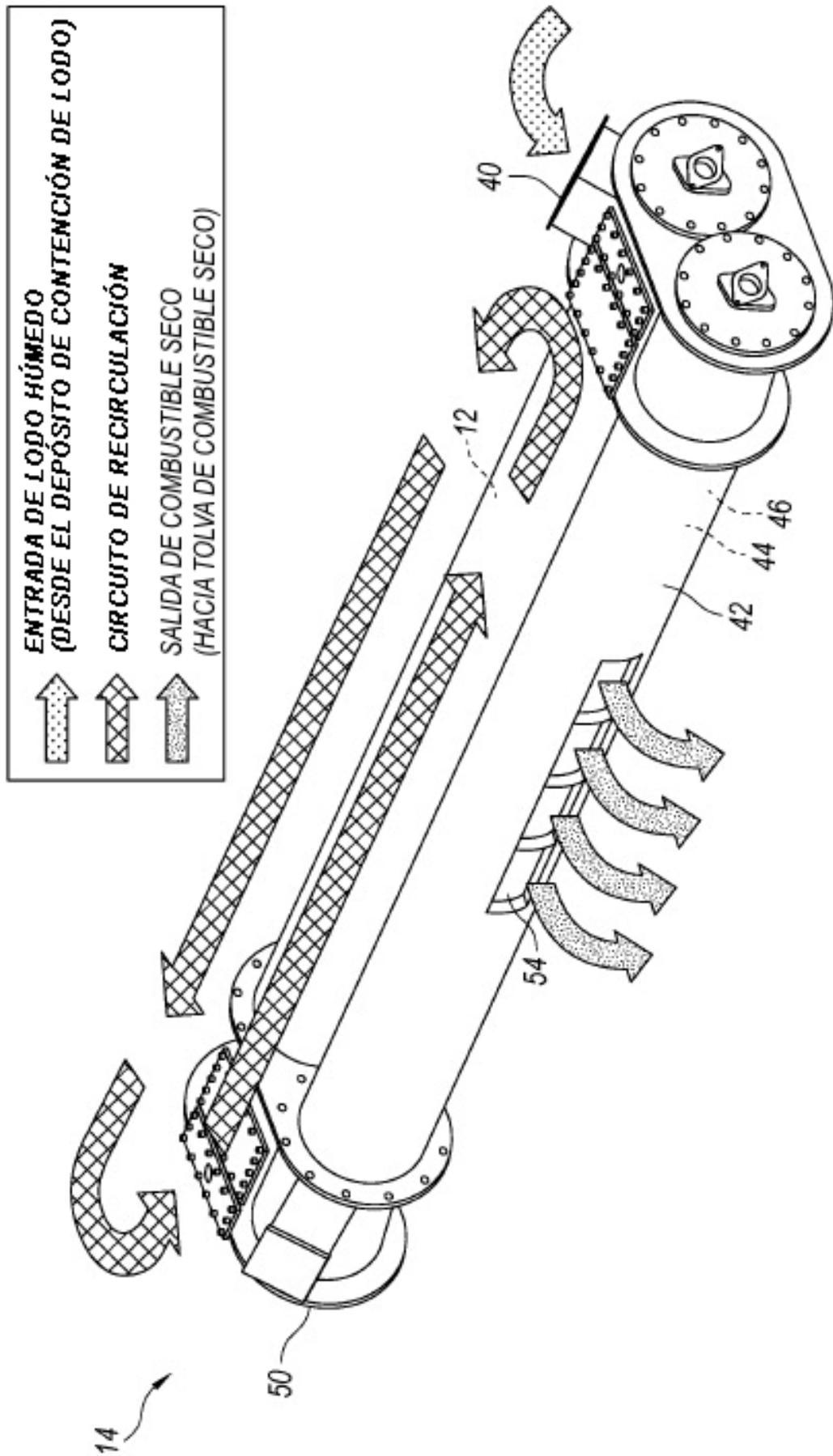


Fig. 7

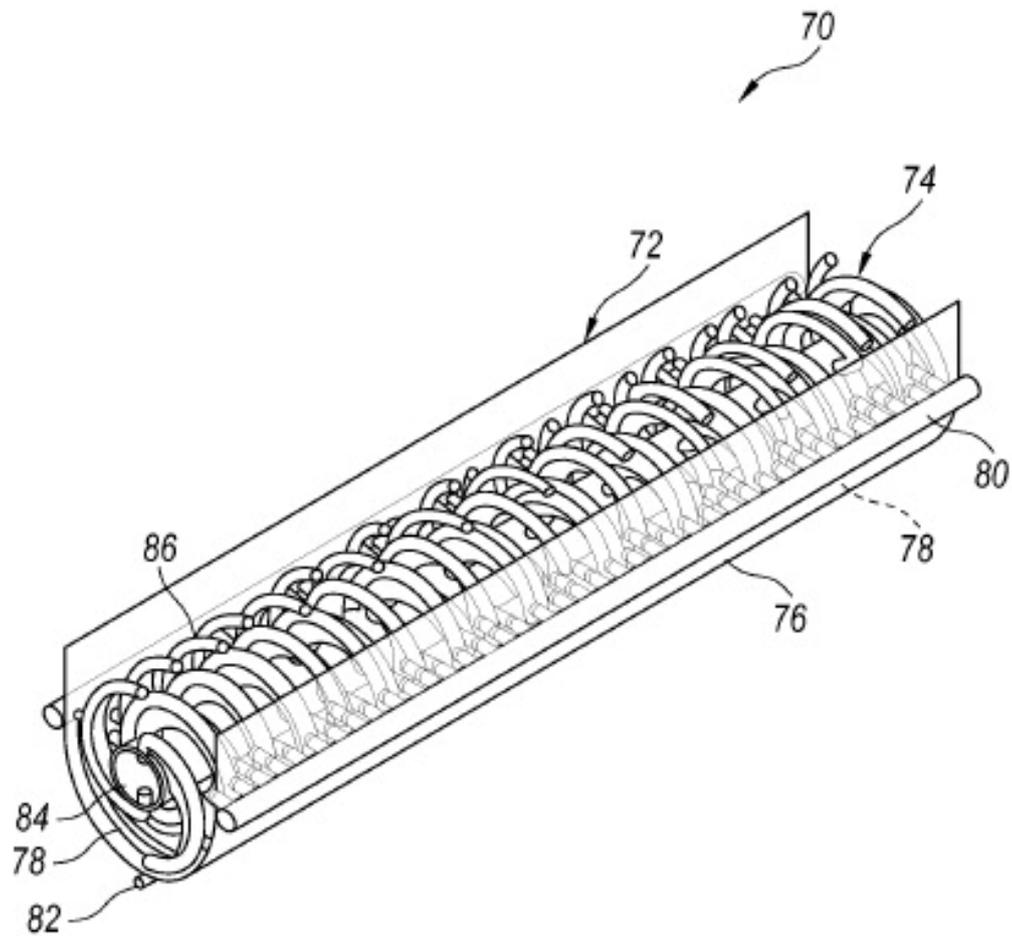


Fig. 8

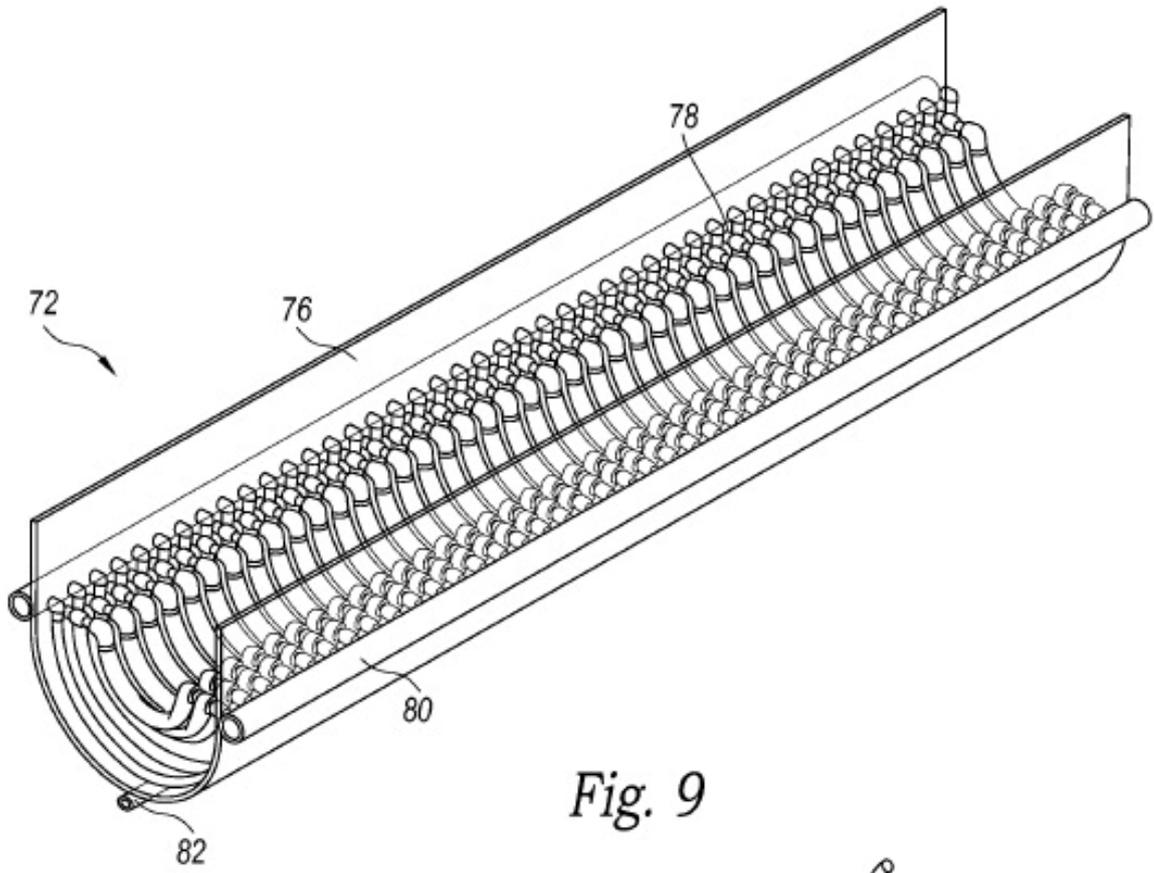


Fig. 9

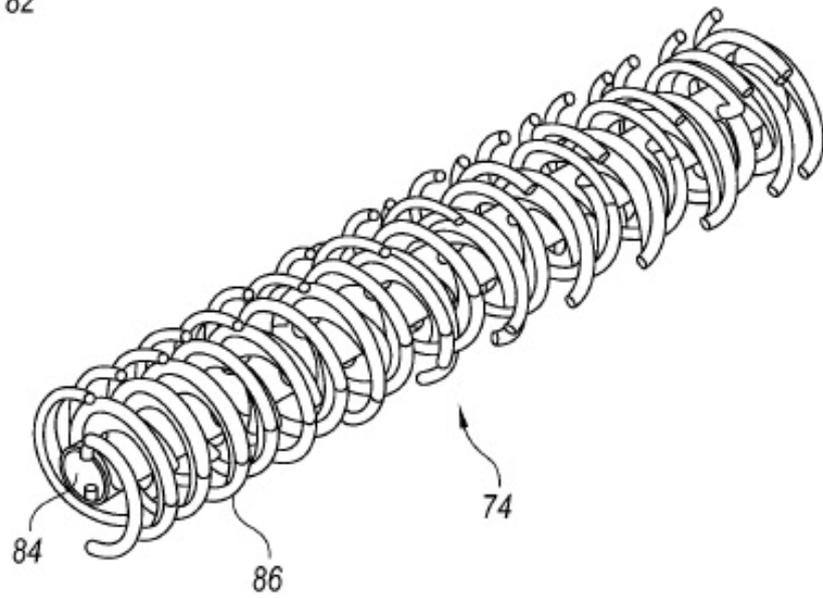


Fig. 10

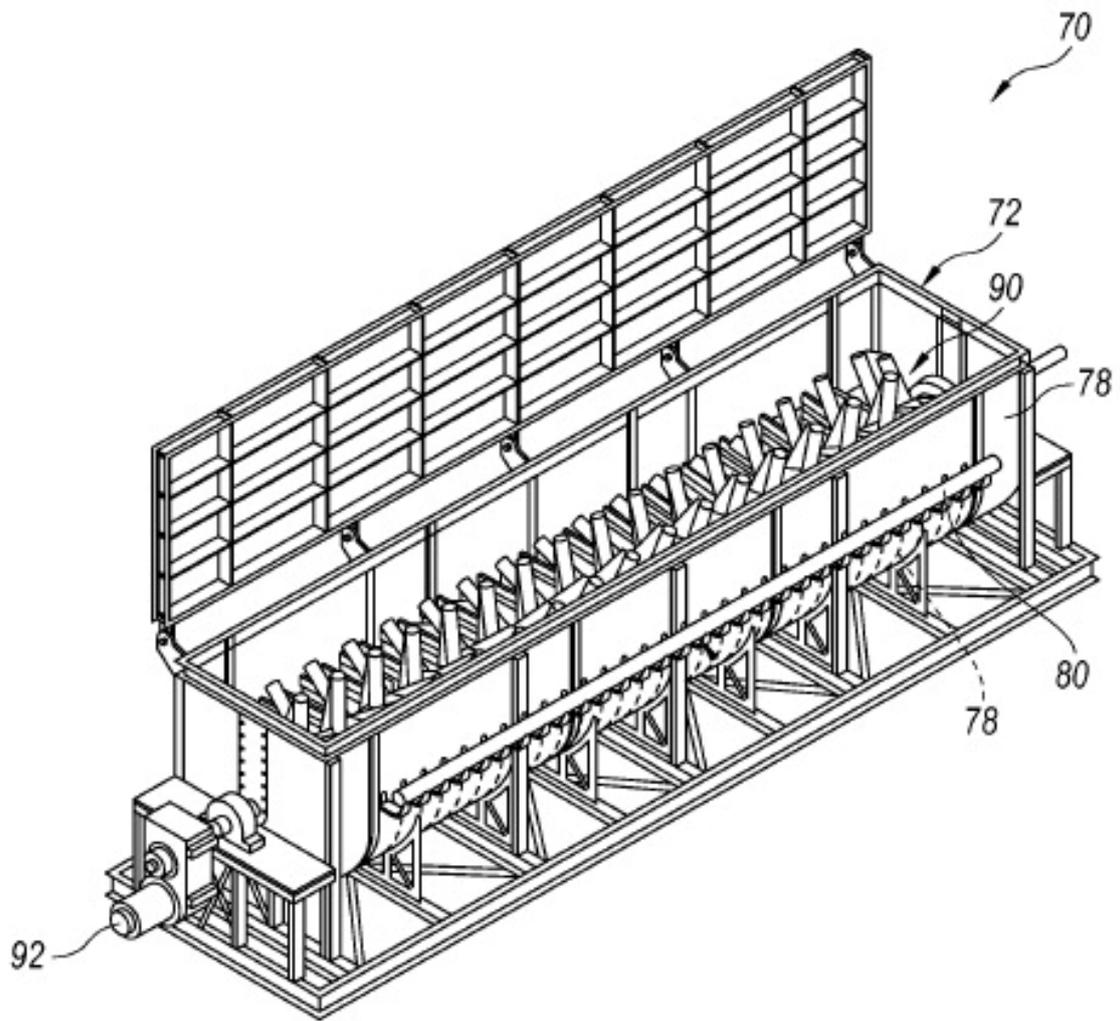


Fig. 11

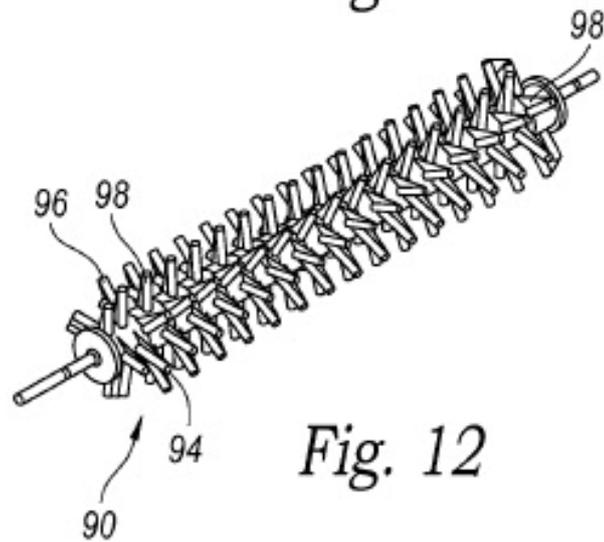


Fig. 12

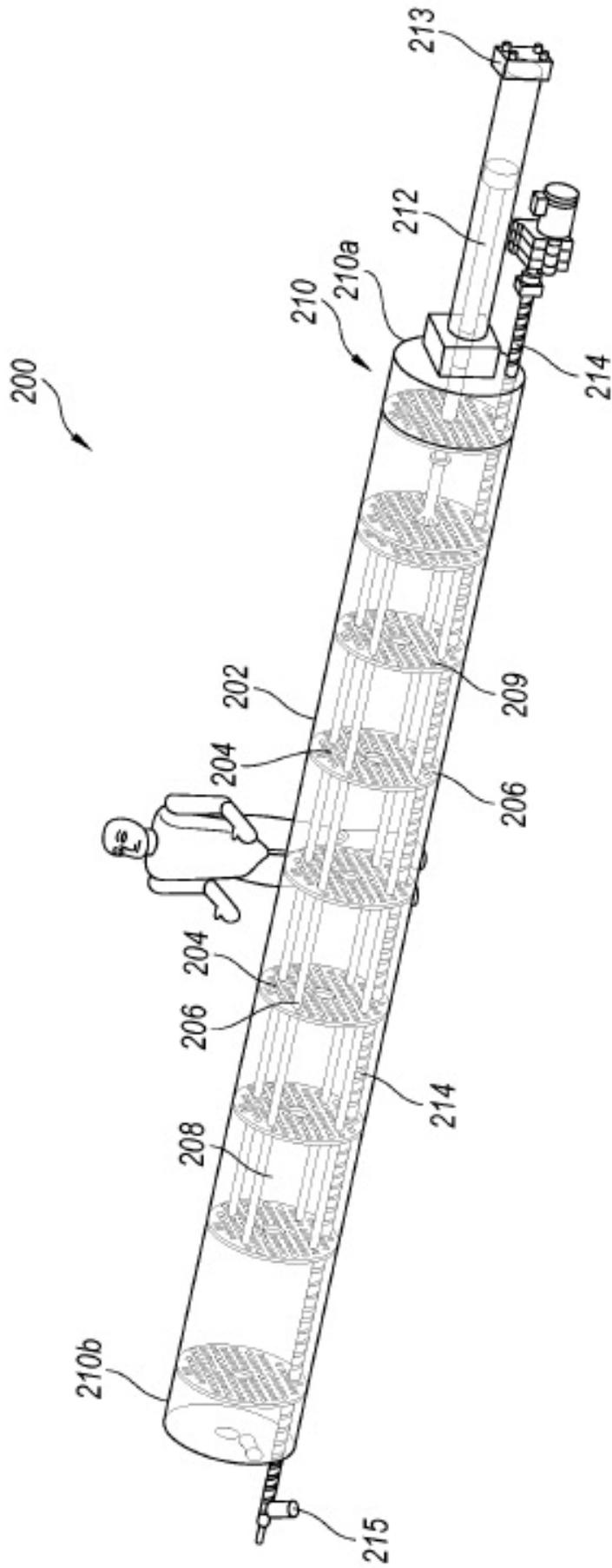


Fig. 13A

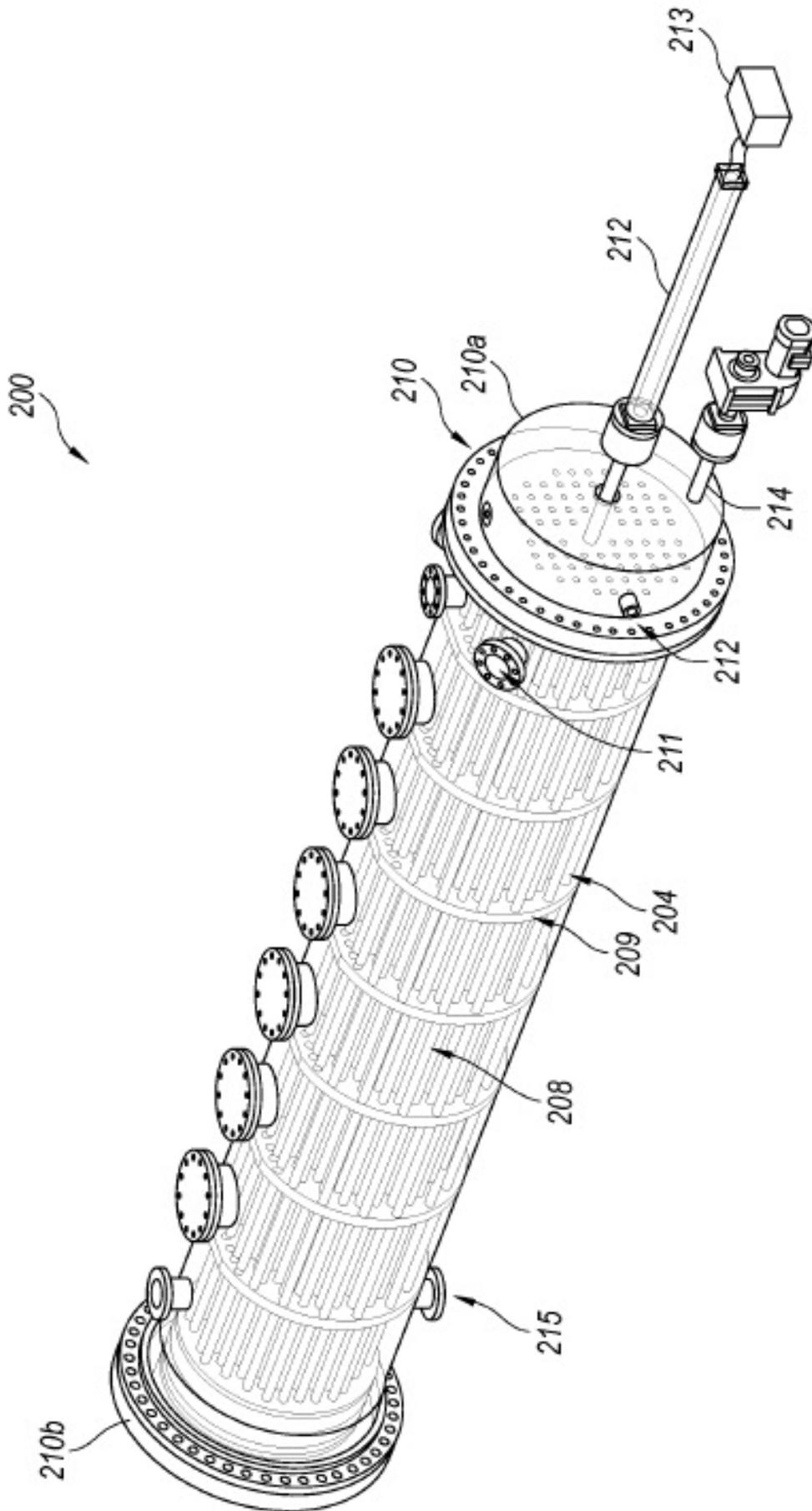


Fig. 13B

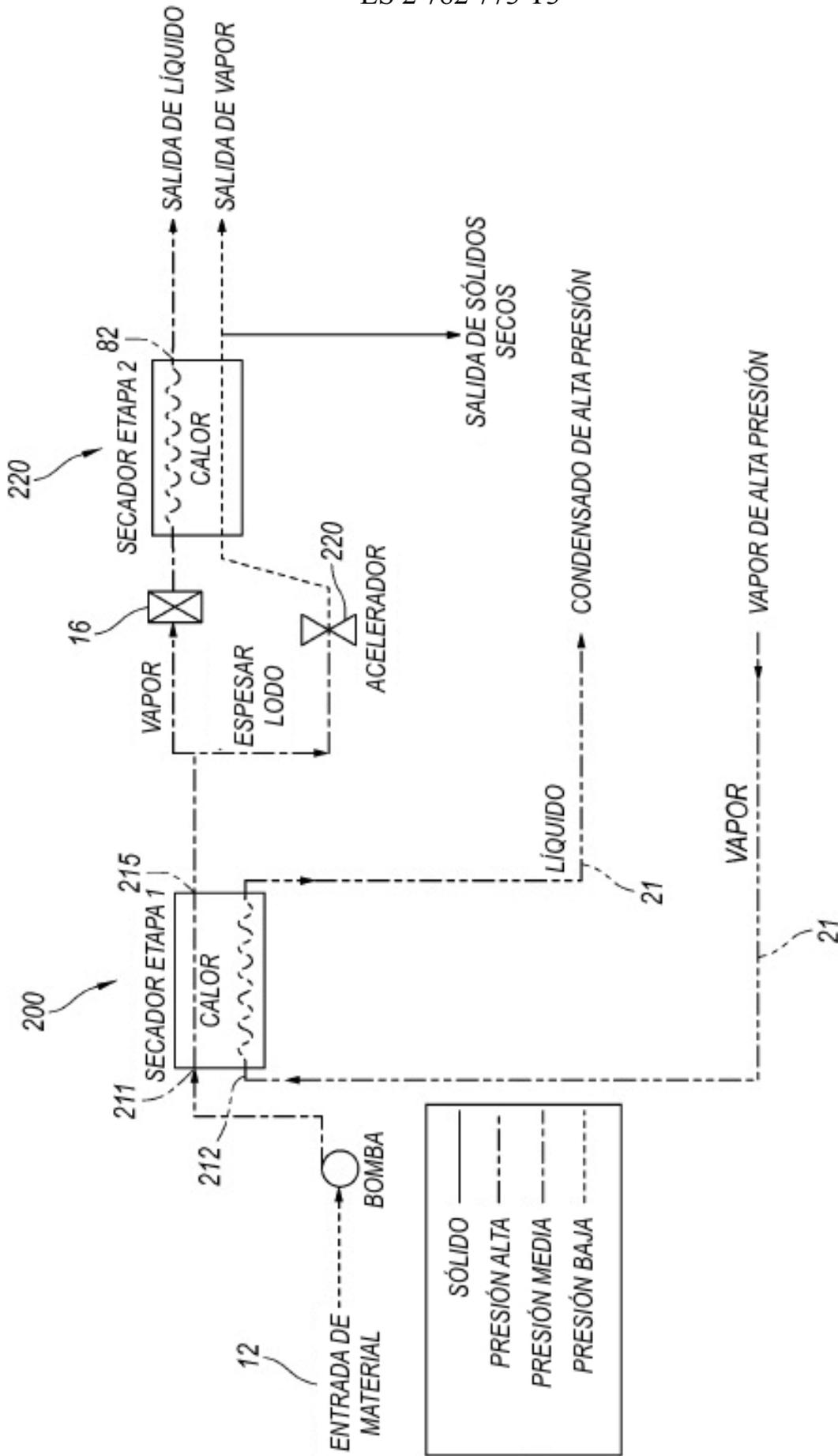


Fig. 14

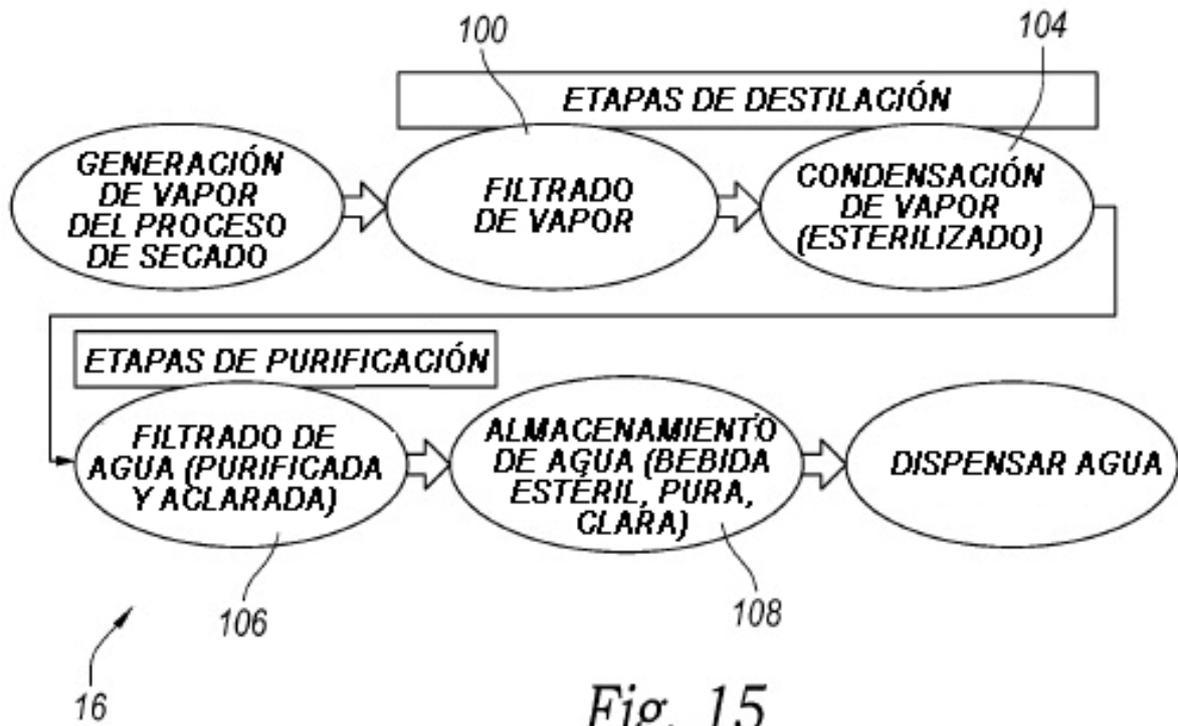


Fig. 15

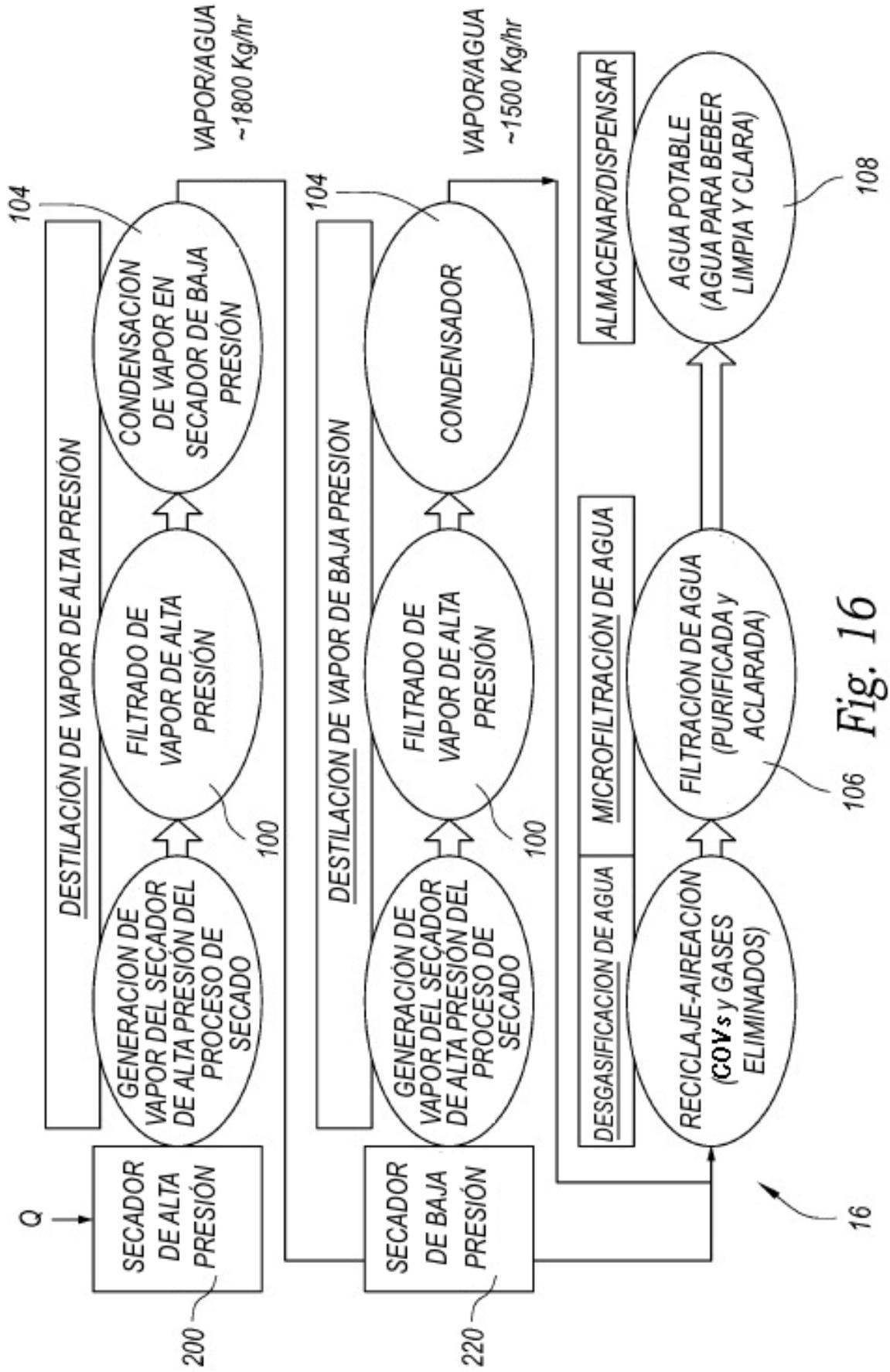


Fig. 16

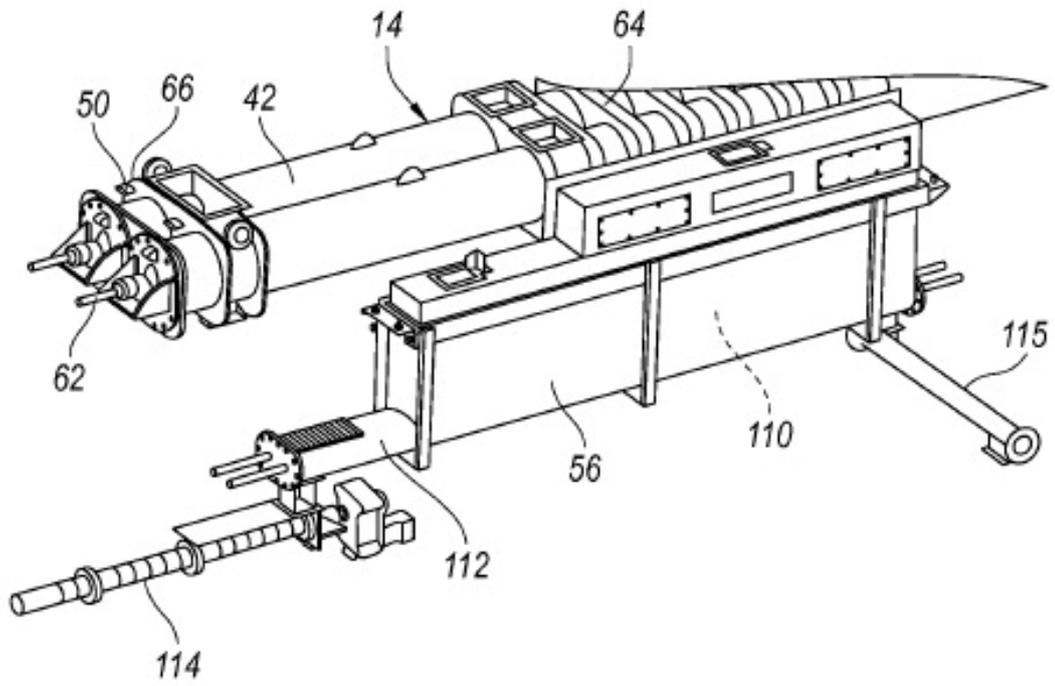
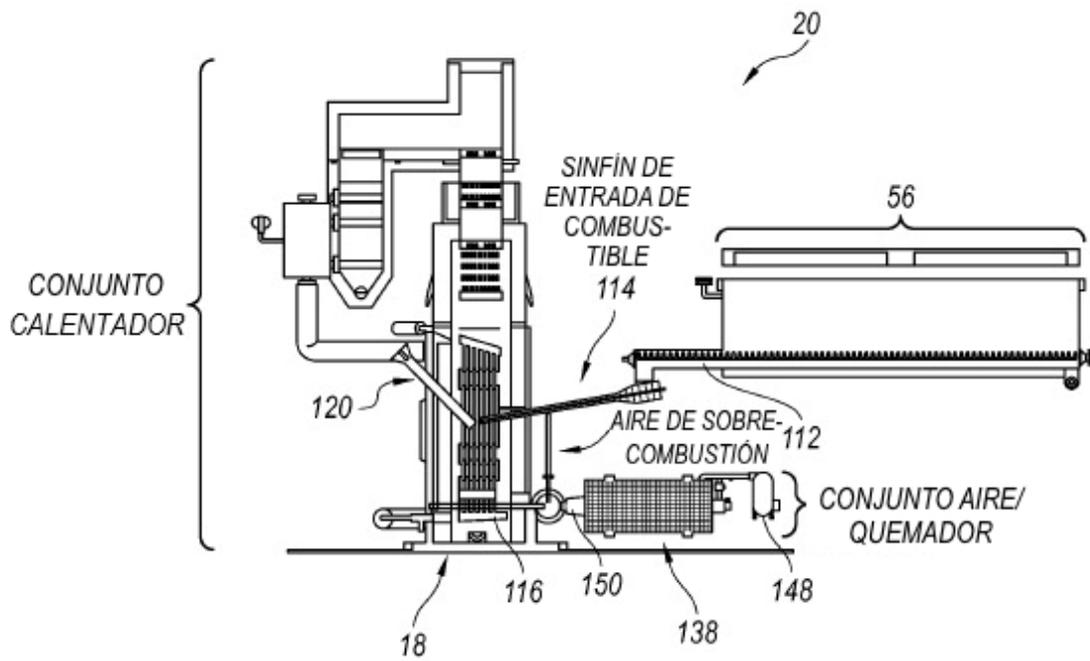
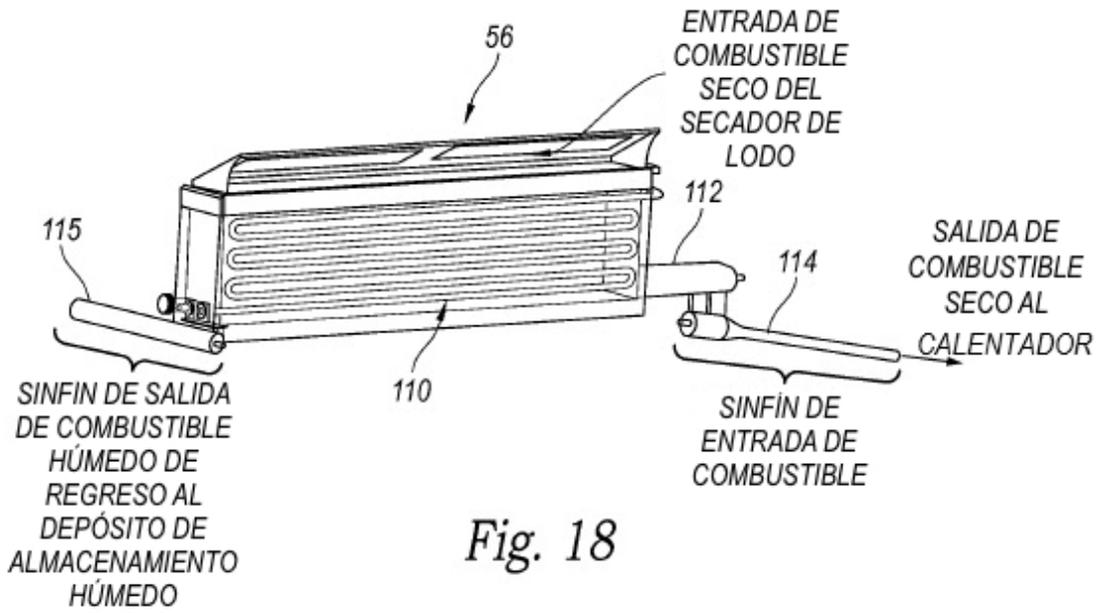


Fig. 17



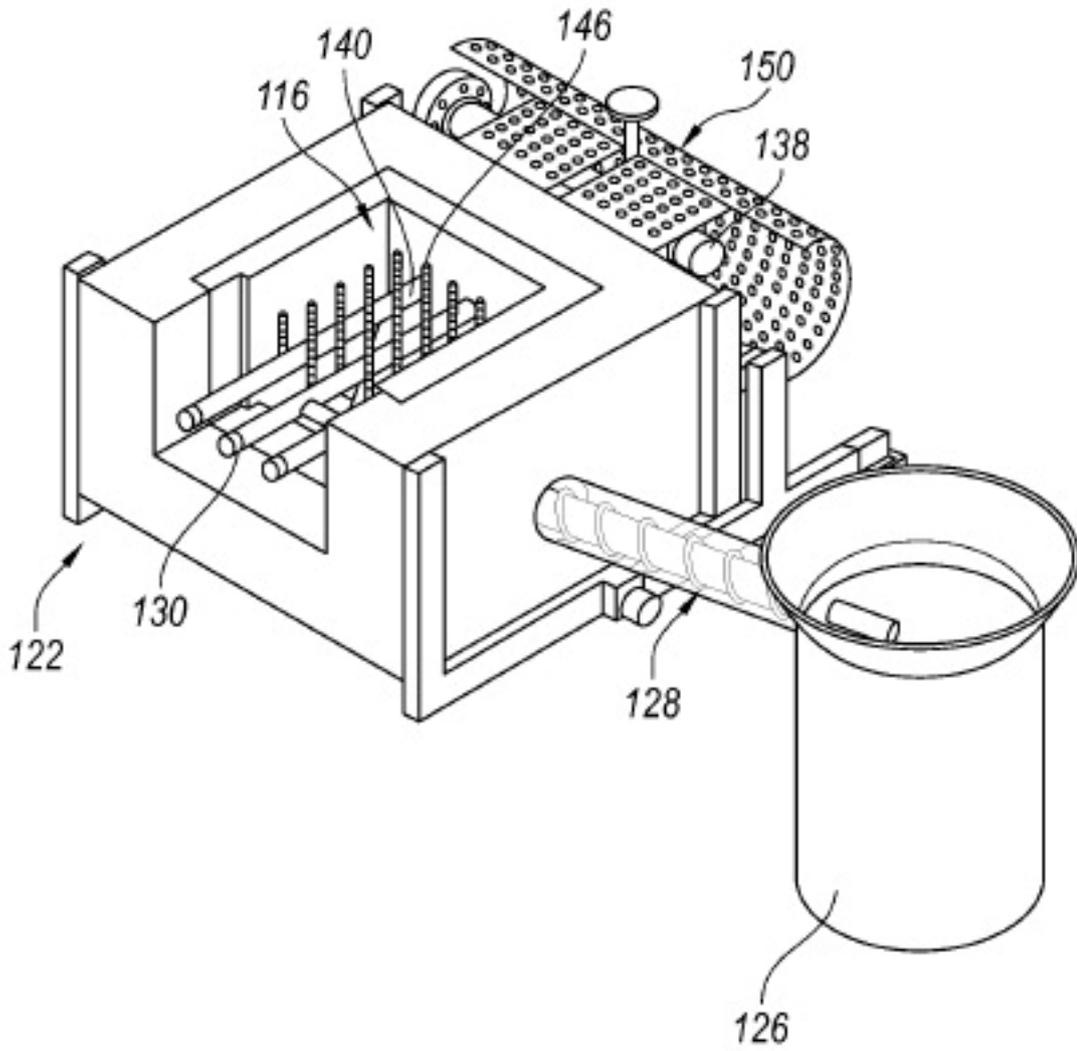


Fig. 20

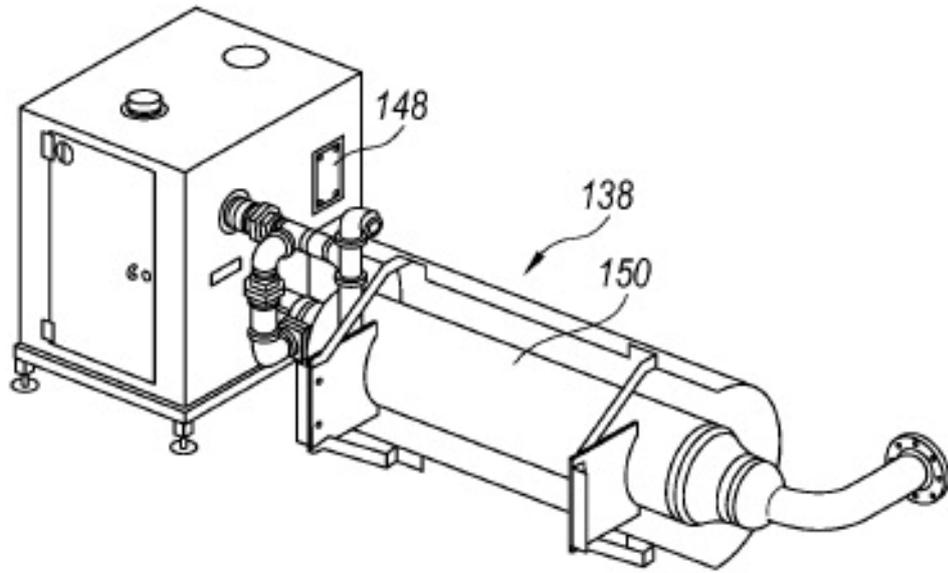


Fig. 21

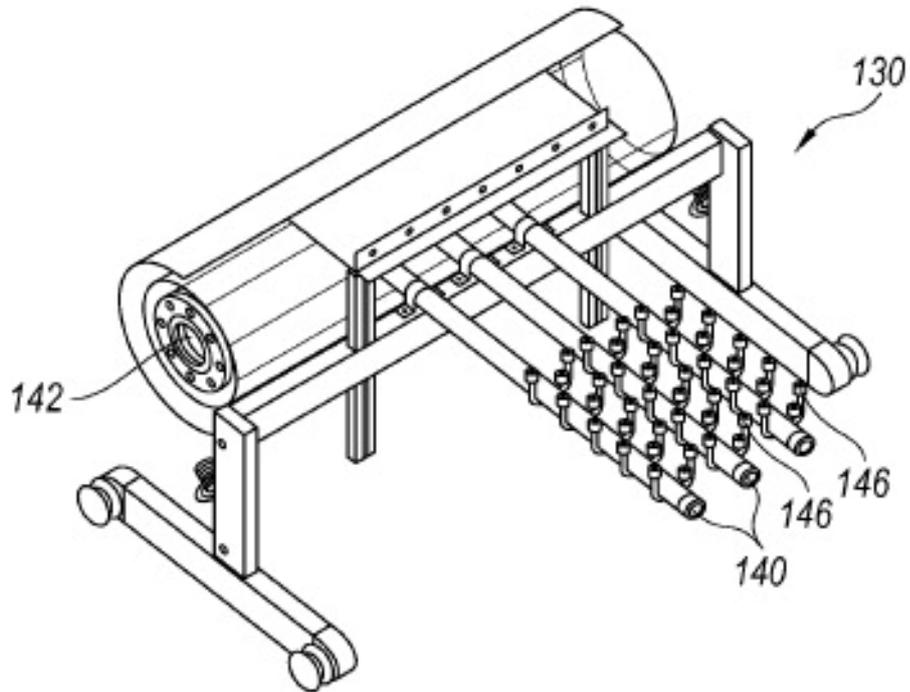


Fig. 22

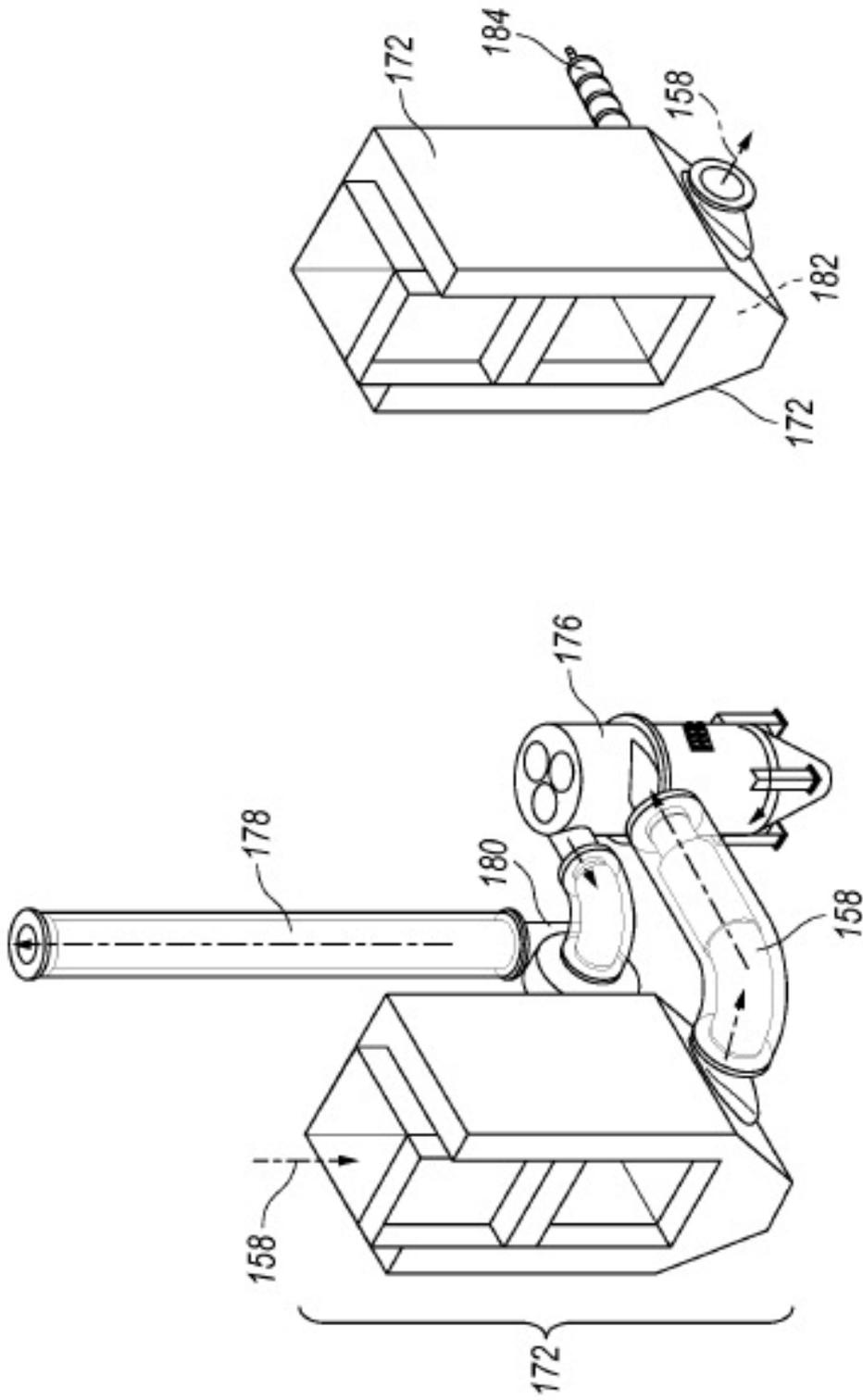


Fig. 25

Fig. 24

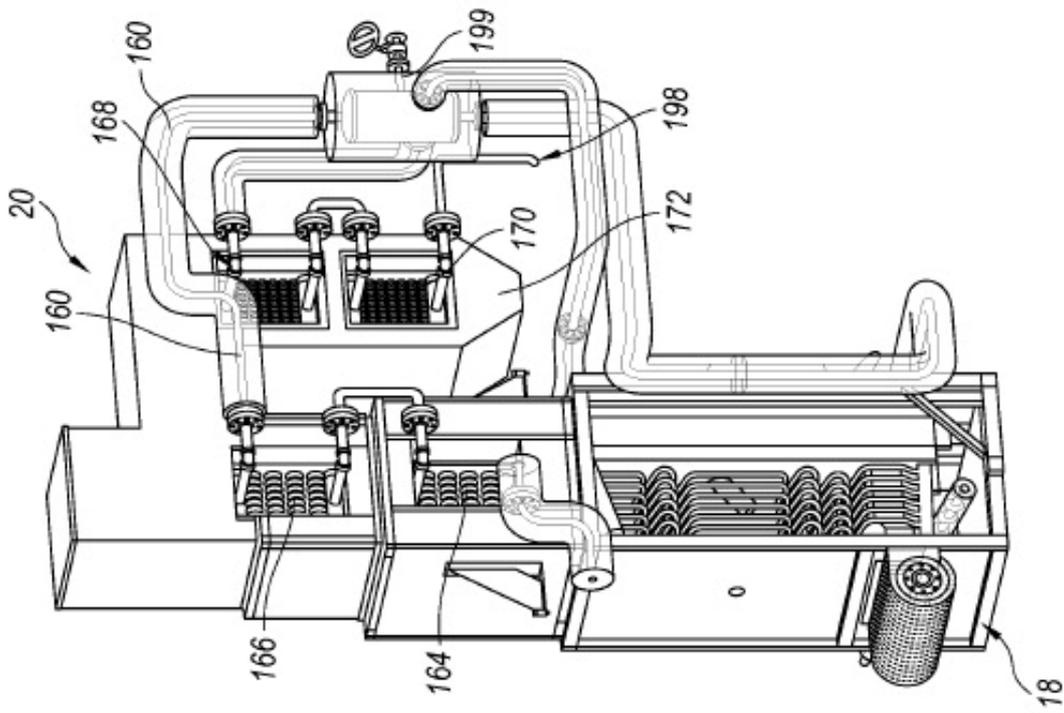


Fig. 26

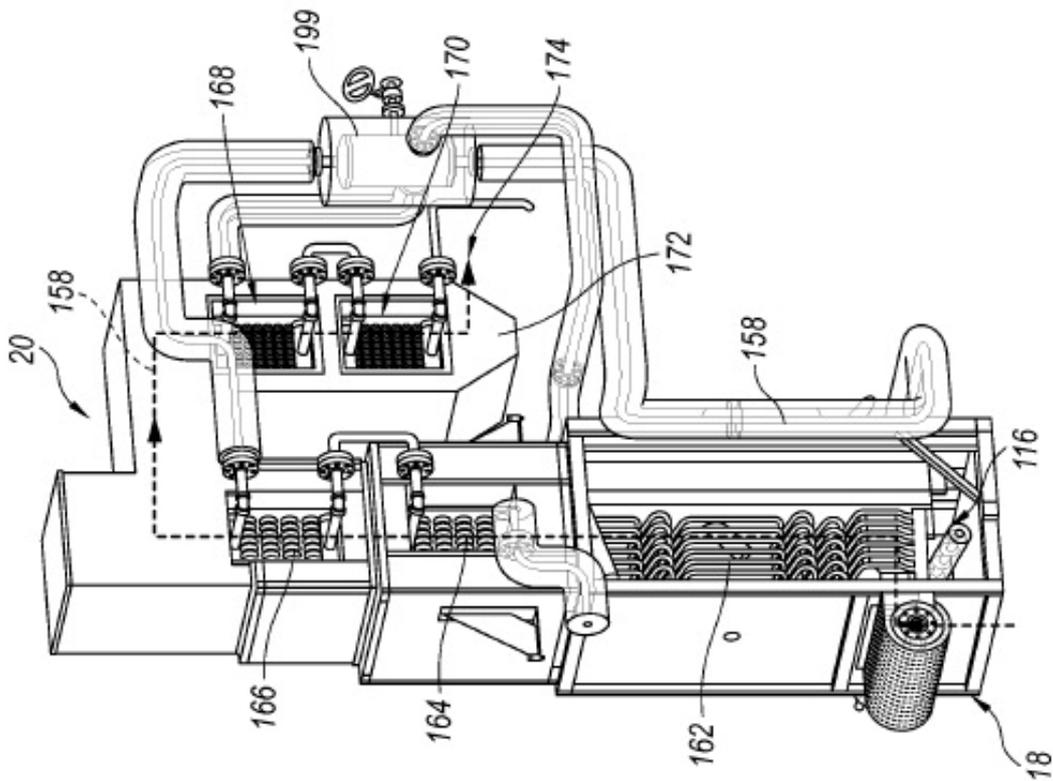


Fig. 23

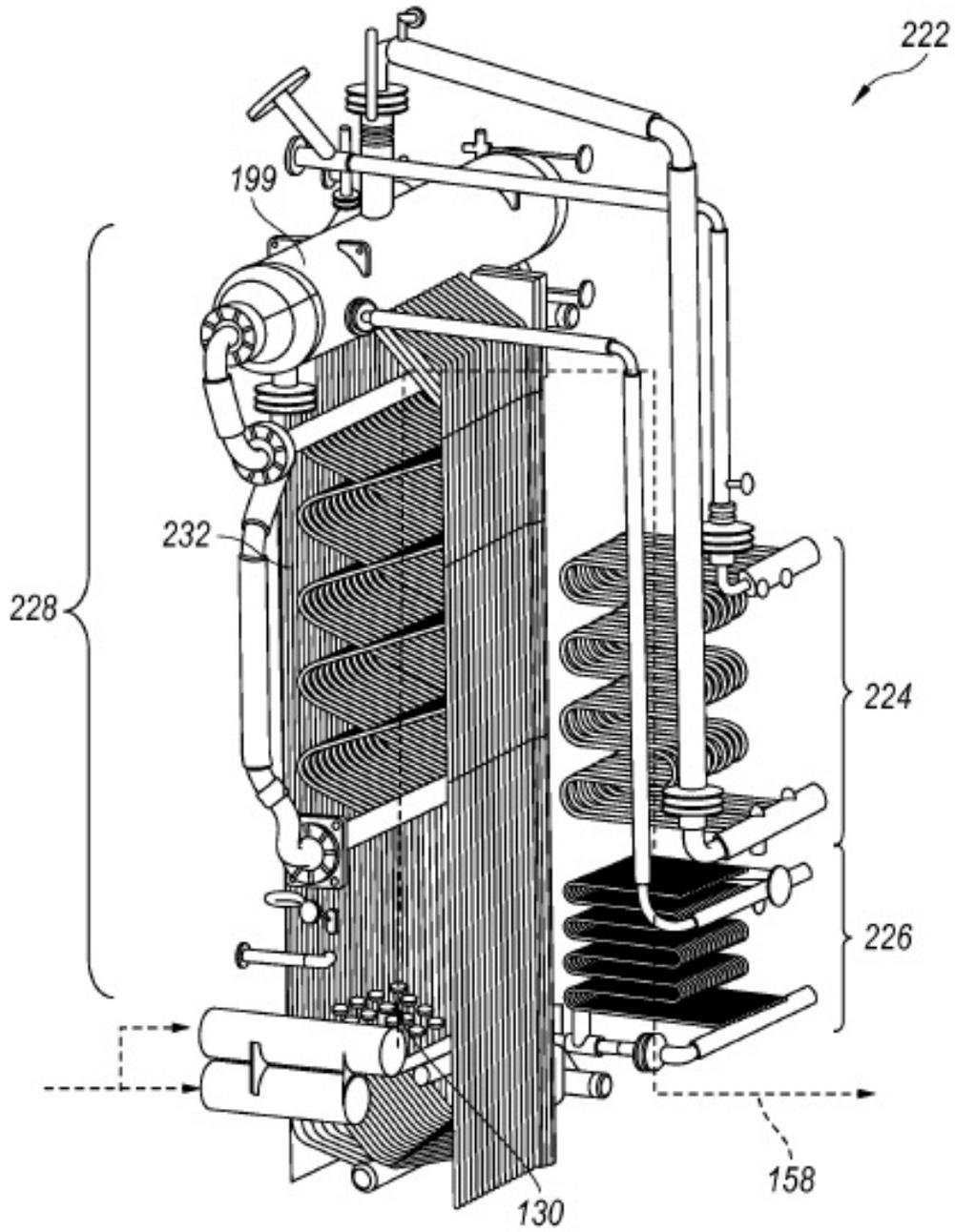


Fig. 27

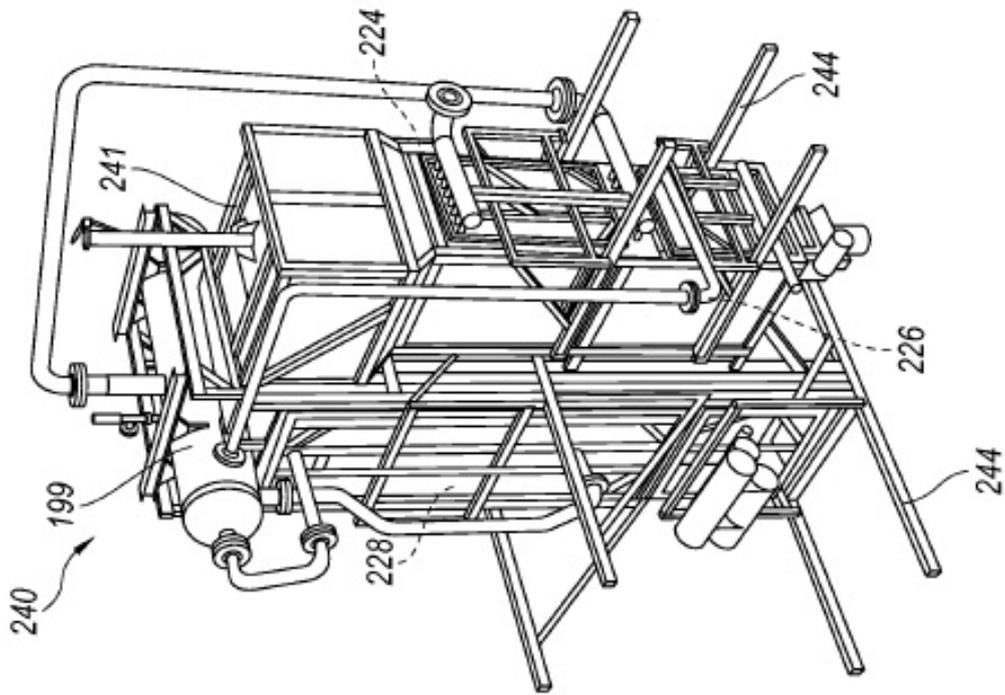


Fig. 29

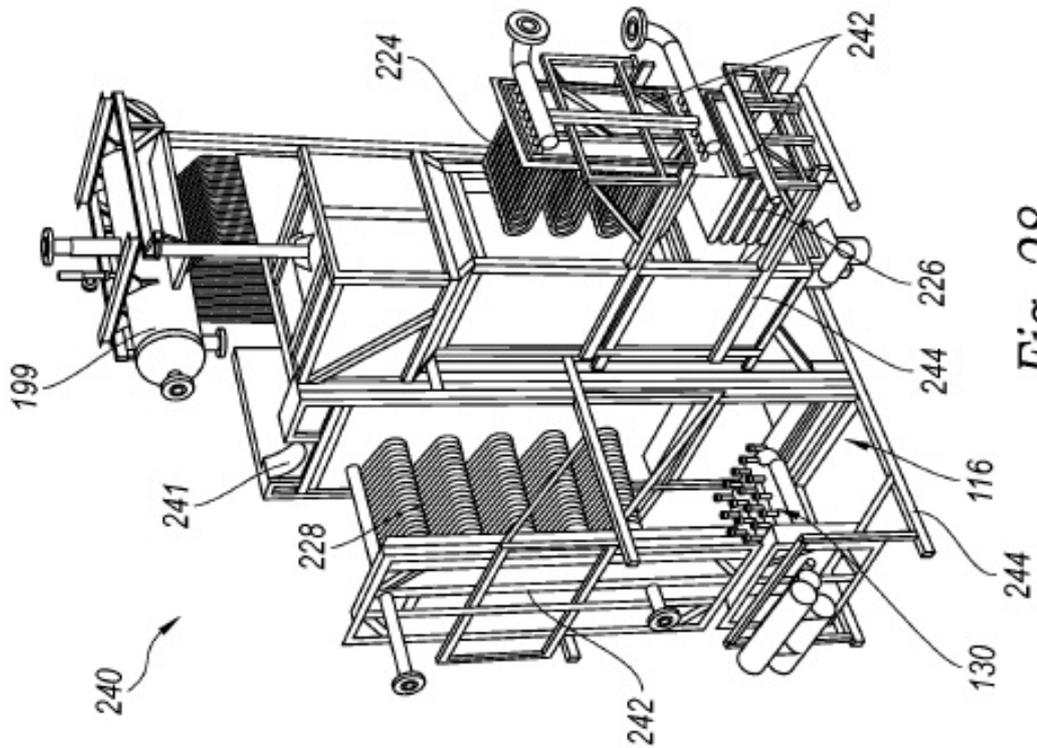


Fig. 28

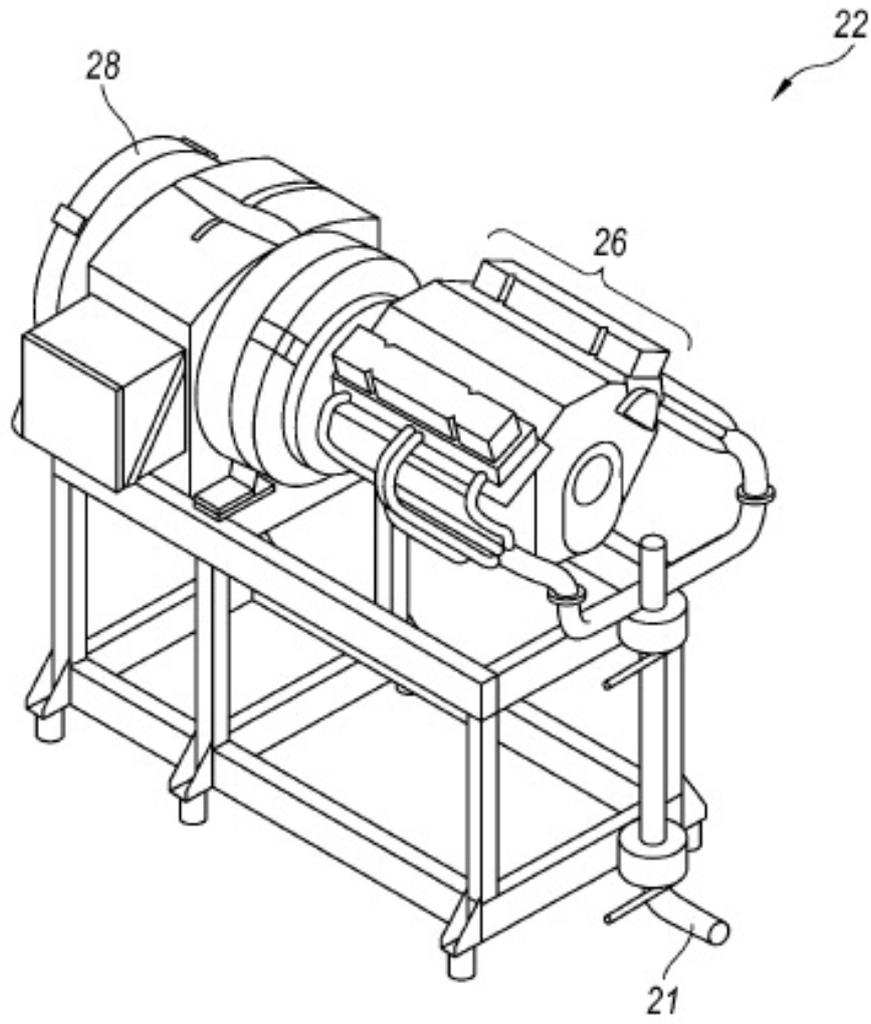


Fig. 30

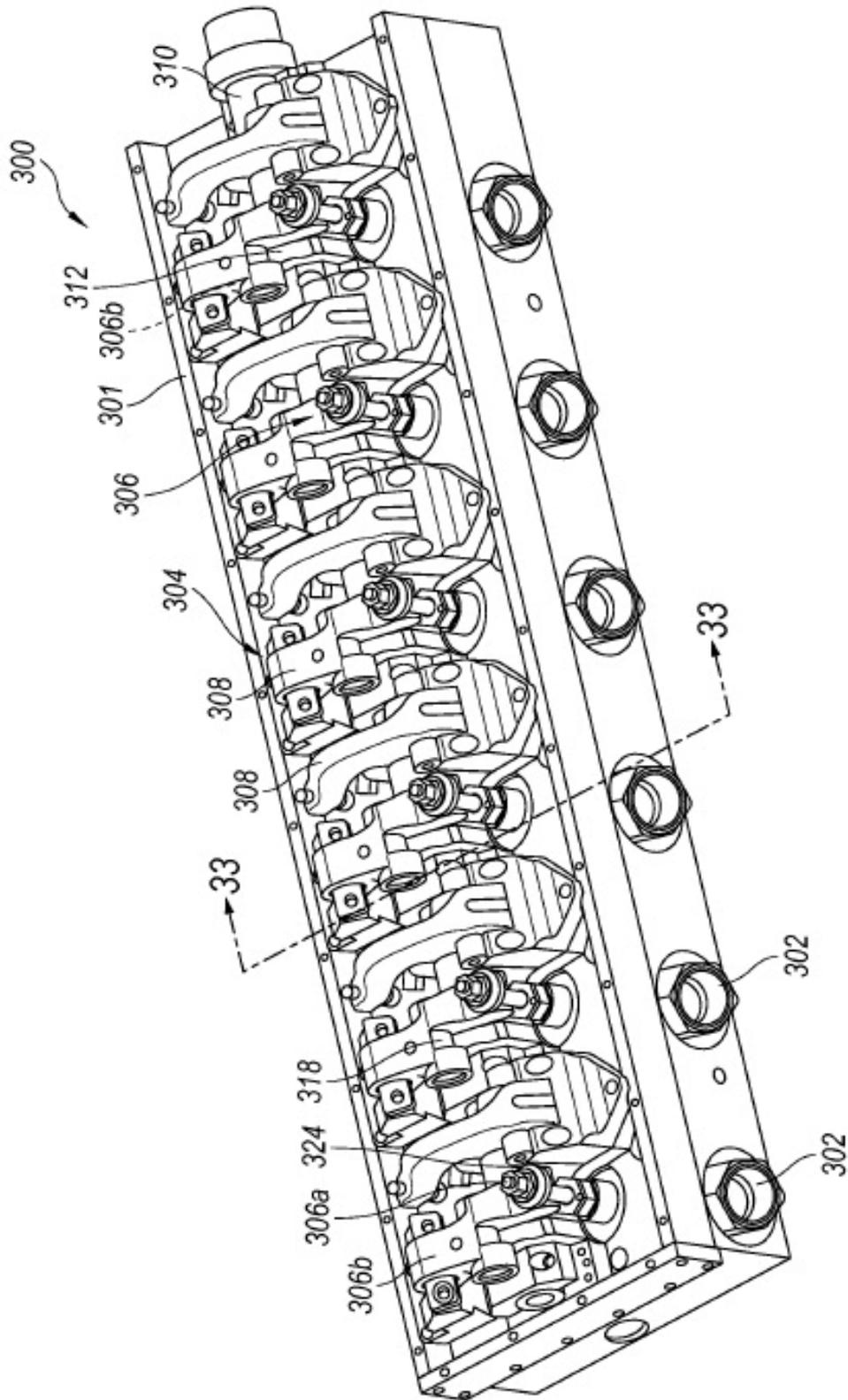


Fig. 31

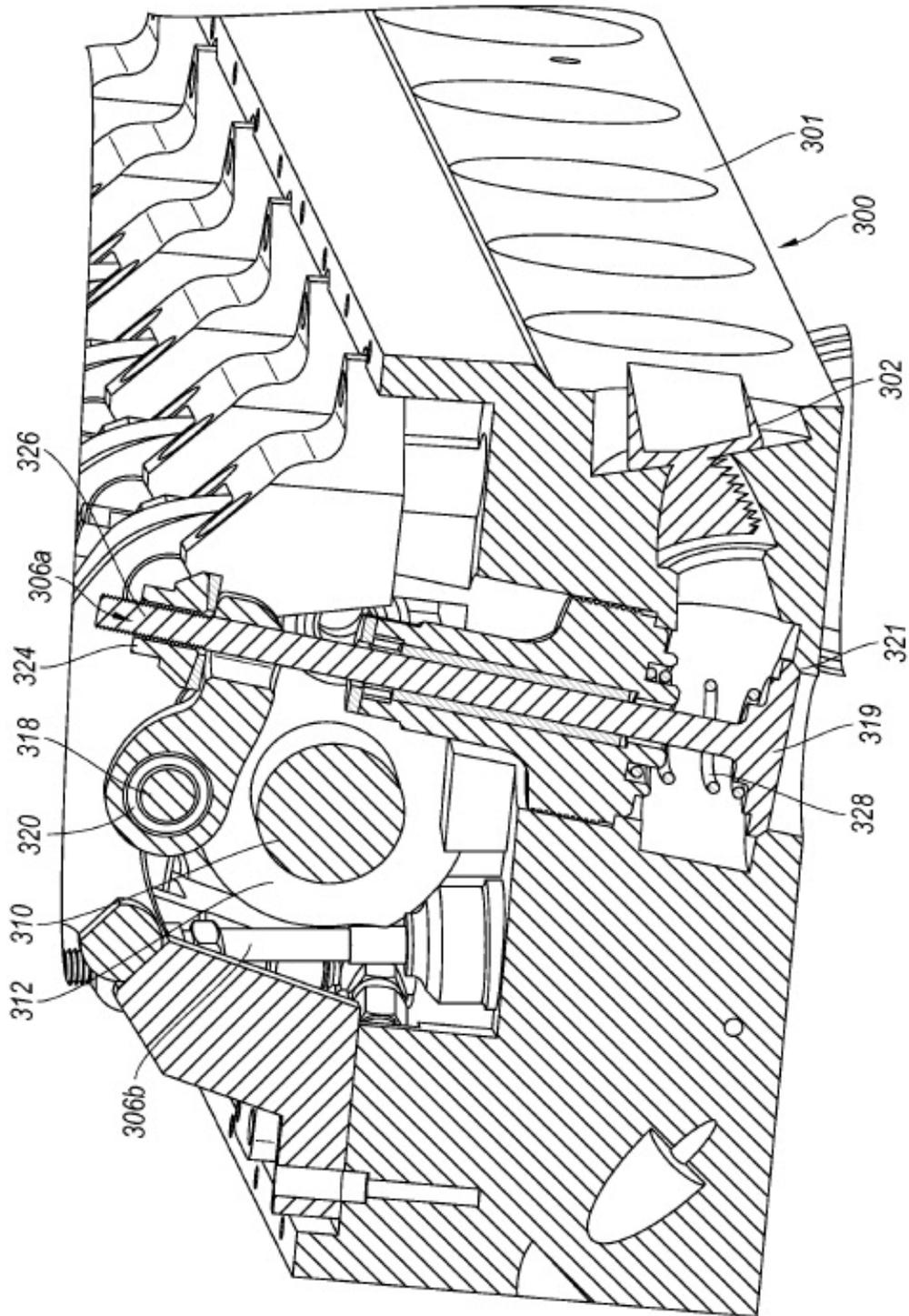


Fig. 32

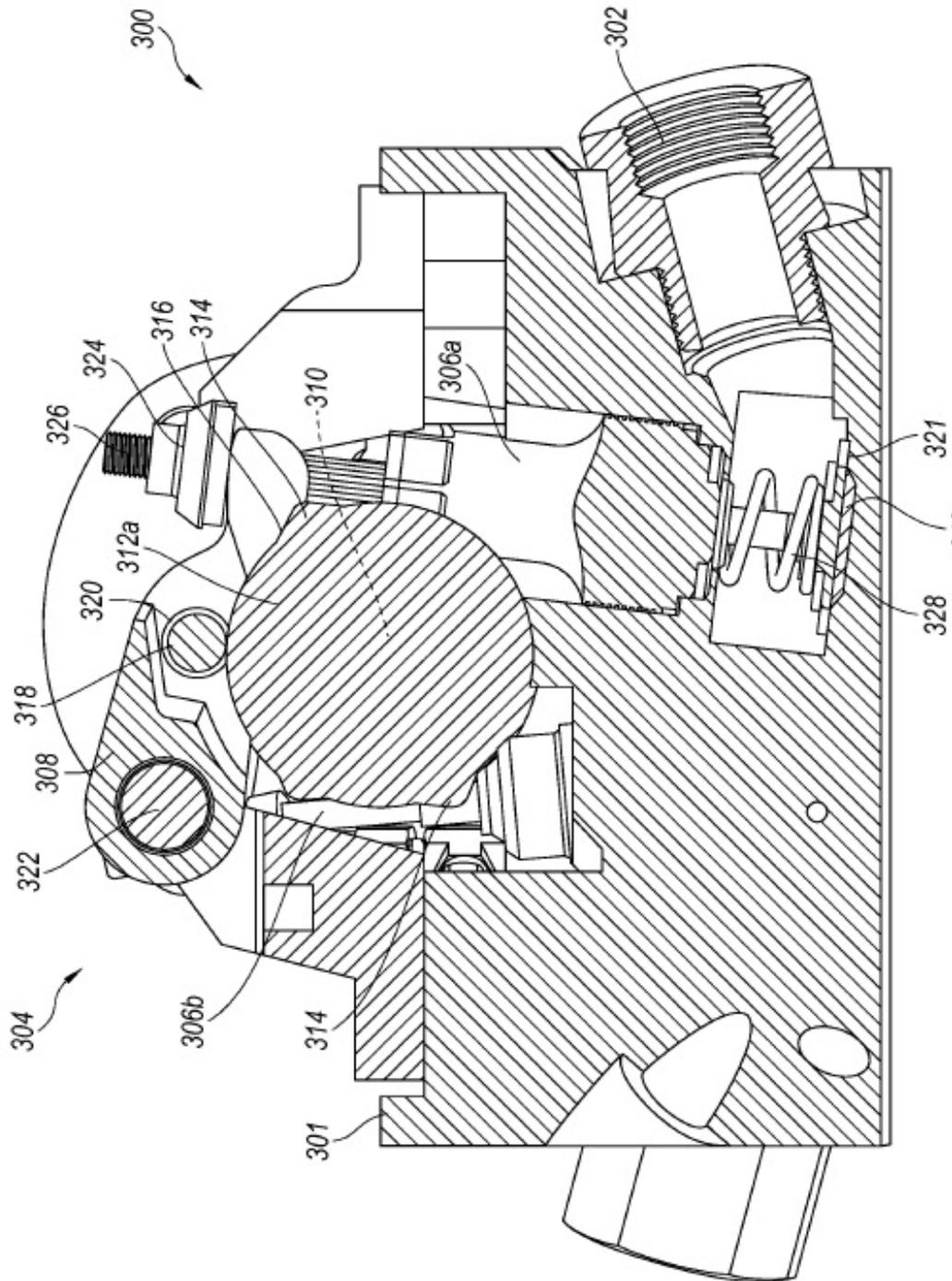


Fig. 33