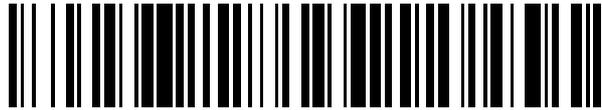


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 516**

51 Int. Cl.:

B01F 5/06	(2006.01)
B01F 11/02	(2006.01)
B01F 15/00	(2006.01)
B01F 15/06	(2006.01)
B01J 19/00	(2006.01)
B01J 19/10	(2006.01)
B01J 19/24	(2006.01)
B01J 4/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.08.2013 PCT/US2013/054739**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **27.02.2014 WO14031390**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.08.2013 E 13753377 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019 EP 2885068**

54 Título: **Sistema y procedimiento mecánicos que procesan de manera continua una combinación de materiales**

30 Prioridad:
20.08.2012 US 201261742923 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.12.2019

73 Titular/es:
**RESODYN CORPORATION (100.0%)
130 North Main Street Suite 600
Butte, Montana 59701, US**

72 Inventor/es:
**FARRAR, LAWRENCE, C.;
COGUILL, SCOTT, L.;
LUCON, PETER, A. y
LUCON, JANICE**

74 Agente/Representante:
CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 734 516 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 y procedimiento mecánicos que procesan de manera continua una combinación de materiales.

5 Campo

La presente solicitud se encuentra en el campo técnico del procesamiento continuo de materiales.

10 Antecedentes

Los procedimientos y sistemas actuales para procesar materiales de manera continua no producen materiales combinados, recubiertos, reaccionados o mezclados de manera uniforme. La utilización de reactores de flujo continuo actuales, tales como sistemas de reactores de tanque con agitación continua, pueden dar como resultado reacciones no uniformes de los materiales. De manera similar, los procedimientos actuales para combinar materiales de manera continua son costosos y requieren mucho tiempo.

El documento US3826740 divulga un procedimiento de tratamiento de un sistema de múltiples fases para aumentar la separabilidad de por lo menos una fase discontinua contenida en el mismo, comprendiendo el procedimiento someter el sistema a por lo menos dos perturbaciones propagadas dentro del sistema para formar por lo menos dos trenes de ondas a dos frecuencias diferentes dentro del rango de frecuencia de audio, mientras que se evita la cavitación dentro del sistema.

20 Breve resumen

La presente solicitud se refiere a procedimientos y sistemas mecánicos que, de manera continua, fluidifican, mezclan, recubren, secan, combinan, hacen reaccionar químicamente y/o separan materiales utilizando tecnología de agitación acústica. La aplicación de tecnología de agitación acústica y procesamiento continuo de materiales proporciona un procedimiento para combinar, hacer reaccionar, mezclar, secar y/o recubrir materiales de manera uniforme, mientras que se reduce el espacio necesario para que el equipo lleve a cabo estos procedimientos y se aumenta la eficiencia del procedimiento. Más particularmente, un agitador acústico acoplado a una cuba de procesamiento continuo puede producir energía acústica de baja frecuencia que mezcla materiales en una cuba de procesamiento continuo de un modo uniforme e igualado. Este sistema de procesamiento continuo, como se describirá en mayor detalle a continuación, también puede estar equipado con una única o con una pluralidad de opciones, tales como sensores de temperatura; presión de vacío; mecanismos de calentamiento y refrigeración; filtros; sensores de grado de mezclado; y tamices para optimizar la capacidad de la cuba de procesamiento continuo para mezclar, combinar, secar, recubrir, separar y hacer reaccionar materiales.

En un aspecto, la divulgación se refiere a un sistema para procesar de manera continua una combinación de materiales según la reivindicación 1. El sistema incluye un agitador acústico capaz de ser acoplado de manera amovible a una cuba de procesamiento y una cuba de procesamiento continuo. La cuba de procesamiento continuo incluye una primera entrada configurada para introducir por lo menos un ingrediente de procesamiento; una pluralidad de placas configuradas para dirigir un flujo de dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento a través de la cuba de procesamiento continuo y capaces de transferir energía acústica generada por el agitador acústico a dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento; y una salida para descargar un producto de dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento después de que dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento pase a través de por lo menos una parte de la cuba de procesamiento continuo mientras está expuesto a la energía acústica transferida mediante por lo menos una de entre la pluralidad de placas. El sistema también incluye un elemento de fijación para acoplar de manera amovible la cuba de procesamiento continuo al agitador acústico.

En algunas implementaciones, la primera entrada está posicionada en la parte superior de la cuba de procesamiento y la cuba de procesamiento está configurada con múltiples niveles, cada nivel incluye por lo menos una de entre la pluralidad de placas. El ángulo de placa de por lo menos dos de entre la pluralidad de placas puede disponerse formando ángulos diferentes. El ángulo de placa puede oscilar entre 1 grado y 75 grados. La superficie de la pluralidad de placas puede presentar una pluralidad de aberturas para servir como tamiz. La pluralidad de placas puede incluir además un orificio para permitir que dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento fluya al siguiente nivel en la cuba de procesamiento. El orificio puede incluir además unos medios para ajustar el tamaño del orificio. El tamaño del orificio puede oscilar entre unas pocas décimas de pulgada y varias pulgadas. El sistema puede incluir además un deflector acoplado o formado de manera solidaria con por lo menos una de entre la pluralidad de placas.

En otras implementaciones, el elemento de fijación puede estar fijado de manera sustancialmente permanente a, o formado de manera solidaria con, uno de entre el agitador acústico y la cuba de procesamiento continuo. El elemento de fijación puede incluir por lo menos uno de entre un tornillo, clavo, tuerca, perno, pinza, elemento de fijación roscado, fiador, hebilla o botón. El sistema puede incluir secciones amovibles para crear una cuba de procesamiento de tamaño ajustable. El sistema puede incluir además múltiples elementos de fijación para unir las

secciones amovibles de la cuba de procesamiento entre sí. Las secciones amovibles pueden comprender secciones de espaciador y secciones de placa.

5 Pueden disponerse unos medios de molienda dentro de la cuba de procesamiento entre por lo menos dos de entre la pluralidad de placas. En algunas implementaciones, pueden disponerse unos medios para controlar la temperatura de la pluralidad de placas dentro de la cuba de procesamiento. El sistema puede incluir una trayectoria de fluido para transportar refrigerante para refrigerar la pluralidad de placas. En otras implementaciones, el sistema puede incluir una trayectoria de fluido para transportar un fluido calentado para calentar la pluralidad de placas. En todavía otras implementaciones, el sistema puede incluir un elemento de calentamiento por resistencia. La cuba de procesamiento puede incluir una cavidad posicionada entre una pared interior y una pared exterior de la cuba de procesamiento. La cavidad puede alojar además unos medios de refrigeración o calentamiento para controlar la temperatura de la cuba de procesamiento.

15 En algunas implementaciones, el sistema puede incluir una boquilla de pulverización acoplada a la cuba de procesamiento, además de la primera entrada, para introducir la pluralidad de materiales. El sistema puede incluir múltiples boquillas de pulverización acopladas a la cuba de procesamiento y una pluralidad de orificios acoplados a la cuba de procesamiento para extraer o inyectar materiales en la cuba de procesamiento. El sistema puede incluir una válvula de salida acoplada a la cuba de procesamiento y un sensor de nivel acoplado a la cuba de procesamiento para controlar la válvula de salida.

20 En otro aspecto de la presente divulgación, se proporciona un procedimiento para procesar de manera continua una combinación de materiales según la reivindicación 12. El procedimiento incluye proporcionar, mediante un agitador acústico, energía acústica y acoplar de manera amovible una cuba de procesamiento continuo al agitador acústico. La cuba de procesamiento continuo incluye una pluralidad de placas configuradas para dirigir un flujo de por lo menos un ingrediente de procesamiento a través de la cuba de procesamiento continuo y que puede transferir la energía acústica generada por el agitador acústico a dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento. El procedimiento puede incluir además introducir, por una primera entrada, dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento y descargar, por una salida, un producto de dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento después de que dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento pase a través de por lo menos una parte de la cuba de procesamiento continuo mientras está expuesto a la energía acústica transferida por al menos una de entre la pluralidad de placas.

35 En algunas implementaciones, el procedimiento puede incluir introducir dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento desde una boquilla de pulverización acoplada a la cuba de procesamiento. El procedimiento puede incluir además inyectar dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento desde múltiples boquillas de pulverización y una pluralidad de orificios acoplados a la cuba de procesamiento. En otras implementaciones, el procedimiento puede incluir extraer dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento desde una pluralidad de orificios acoplados a la cuba de procesamiento. En todavía otras implementaciones, el procedimiento puede incluir controlar un flujo de dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento a un siguiente nivel de la cuba de procesamiento, en el que la cuba de procesamiento incluye múltiples niveles, incluyendo cada nivel por lo menos una de entre la pluralidad de placas. El procedimiento puede incluir controlar el flujo ajustando un tamaño de un orificio a través de una de entre la pluralidad de placas y/o cambiando un ángulo de placa de por lo menos una de entre la pluralidad de placas. Además, el procedimiento puede incluir moler dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento en la cuba de procesamiento. En todavía otras implementaciones, el procedimiento puede incluir cribar dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento en la cuba de procesamiento.

45 En algunas implementaciones, el procedimiento puede incluir controlar la temperatura de por lo menos una de entre la pluralidad de placas. El procedimiento puede incluir controlar la temperatura de la cuba de procesamiento.

50 En otras implementaciones, el procedimiento puede incluir configurar por lo menos dos de entre la pluralidad de placas para permitir que dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento entre en contacto con la superficie inferior de una de las dos placas y una superficie superior de la otra de las dos placas.

Breve descripción de las figuras

55 Los anteriores y otros objetos, aspectos, características y ventajas de la divulgación se pondrán más claramente de manifiesto y se entenderán mejor haciendo referencia a la siguiente descripción tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que:

60 las figuras 1 a 3 son vistas en perspectiva de un sistema de procesamiento continuo montado en un agitador acústico;

la figura 4 es una fotografía de un material de API sin recubrir recubierto mediante técnicas tradicionales;

65 la figura 5 es una fotografía de un material de API sin recubrir recubierto mediante el sistema de procesamiento continuo;

las figuras 6 a 12 son unas vistas en perspectiva en sección que dejan ver el interior de diversas implementaciones a modo de ejemplo de una cuba de procesamiento continuo;

5 las figuras 13a a 13b son unas vistas en perspectiva de diseños de orificios ajustables;

las figuras 14 a 16 son unas vistas en perspectiva en sección que dejan ver el interior de diversas implementaciones adicionales a modo de ejemplo de una cuba de procesamiento continuo;

10 las figuras 17 a 20 son unas vistas en perspectiva en sección que dejan ver el interior de diversas implementaciones a modo de ejemplo de una cuba de procesamiento continuo configurada con un pulverizador;

las figuras 21 a 22 son unas vistas en perspectiva en sección que dejan ver el interior de diversas implementaciones a modo de ejemplo de una cuba de procesamiento continuo controlada por temperatura;

15 la figura 23 muestra datos de velocidad de transferencia de masa de oxígeno obtenidos utilizando el sistema de procesamiento continuo;

20 la figura 24 muestra una implementación de los materiales que reaccionan en el sistema de procesamiento continuo;

la figura 25 muestra un gráfico de una función de lavado de la cuba de procesamiento;

25 la figura 26 muestra una comparación de las funciones escalón de la cuba de procesamiento para diferentes sistemas de CSTR;

la figura 27 muestra una comparación de funciones de lavado de tiempo de residencia utilizando diversos sistemas;

30 la figura 28 muestra una vista en despiece ordenado de una cuba de procesamiento a modo de ejemplo; y

la figura 29 representa una vista aumentada de la cuba de procesamiento a modo de ejemplo mostrada en la figura 28.

35 **Descripción detallada de la invención**

En la presente memoria se describe un sistema de procesamiento continuo que presenta características distintivas que lo separan de otros mezcladores actualmente disponibles, tales como mezcladores de régimen laminar. El sistema de procesamiento continuo funciona en resonancia mecánica que permite grandes amplitudes de vibración a bajas frecuencias, por ejemplo, en el intervalo de entre aproximadamente 30 Hz y aproximadamente 1 kHz. En algunas implementaciones, el sistema funciona a aproximadamente 60 Hz. Estas grandes amplitudes crean un campo acústico sinusoidal fuerte dentro de un reactor de mezclado o una cuba de procesamiento continuo, que proporciona un mezclado y una reacción eficaces e intensos. Adicionalmente, el desplazamiento de placas dispuestas dentro de la cuba de procesamiento continuo puede imponer grandes fuerzas de aceleración en los materiales para aumentar la eficiencia e intensidad del mezclado y la reacción. Se utiliza energía acústica de alta intensidad y baja frecuencia para crear un campo de cizallamiento casi uniforme a través de sustancialmente toda la cuba de procesamiento continuo, lo que da como resultado una rápida fluidificación, reacción y/o dispersión de los materiales. El funcionamiento a tales altas aceleraciones provoca grandes esfuerzos mecánicos en los componentes de la cuba de procesamiento, pero, dado que la cuba de procesamiento se hace oscilar en o cerca de la resonancia, el funcionamiento del dispositivo puede ser bastante eficiente. Debido a estas características, se mejora sustancialmente la fiabilidad del equipo en condiciones de funcionamiento extremas y permite ajustar a escala la tecnología. Tales sistemas son aplicables a una gran variedad de reacciones y aplicaciones de mezclado.

La agitación acústica de baja frecuencia (LFAA) difiere del mezclado por ultrasonidos en que la frecuencia de la energía acústica es órdenes de magnitud más baja. La mayoría de las energías de ultrasonidos (>20 kHz) se absorben completamente por el material inmediatamente delante del transductor de ultrasonidos. El mezclado por LFAA utiliza energía acústica, en algunas implementaciones nominalmente a 60 Hz (aunque a otra frecuencia menor de 1 kHz en otras implementaciones), que penetra completamente en sustancialmente todo el contenido de una cuba de procesamiento. La energía acústica producida por la LFAA puede oscilar entre unas pocas g y cientos de g. A diferencia de la agitación por rueda de paletas, que mezcla induciendo en un flujo en masa turbulencias generadas en los bordes de la rueda de paletas, el mezclado por LFAA se produce a escala micrométrica de manera sustancialmente uniforme a través del volumen de mezclado. Interacciones adicionales con las paredes de la cuba provocan un flujo en masa beneficioso. Las ondas de sonido que irradian desde las placas del reactor se atenúan, dispersan, reflejan o propagan a medida que se transmiten a través de unos medios no homogéneos. La atenuación crea un gradiente de energía que corresponde a una fuerza de cuerpo en los medios que están mezclándose. Esta fuerza induce un macroflujo en los medios denominado flujo acústico. El flujo acústico, junto

con la interacción entre los medios y la cuba de mezclado, da como resultado el micromezclado de los medios. Debido a que el campo acústico se forma a través de la cuba de procesamiento existen pocas y en muchos casos ninguna zona muerta de mezclado y el cizallamiento puede distribuirse de manera casi uniforme a través de la cuba de procesamiento una vez que los materiales están fluidificados. Las ondas de dispersión y reflejadas crean también fuerzas de cuerpo en subelementos de los medios con volúmenes de diferente densidad. Dependiendo de la razón de densidad y de la viscosidad del material, estas fuerzas de cuerpo pueden ser significativas o despreciables en la realización de micromezclado. En alguna implementación, tanto la parte superior como la inferior de cada placa dentro de una cuba de procesamiento, imparten energía acústica a la mezcla a medida que se desplaza por cada nivel de la cuba.

Sistema de procesamiento continuo

Las figuras 1 a 3, muestran diferentes ejemplos de un sistema de procesamiento continuo 10. El sistema de procesamiento continuo 10 puede incluir un agitador acústico 11 y una cuba de procesamiento continuo 18. La cuba de procesamiento 18 puede incluir una primera entrada 20 configurada para introducir por lo menos un ingrediente de procesamiento, una pluralidad de placas 22 configuradas para dirigir un flujo de los ingredientes de procesamiento a través de la cuba de procesamiento 18, y capaces de transferir energía acústica generada por el agitador acústico 11 a los ingredientes de procesamiento, una salida 26 para descargar un producto de los ingredientes de procesamiento después de que los ingredientes de procesamiento pasen a través de una parte de la cuba de procesamiento 18 mientras está expuesto a la energía acústica, y un elemento de fijación para acoplar de manera amovible la cuba de procesamiento 18 al agitador acústico 11. La forma de la cuba de procesamiento 18 puede configurarse en una variedad de implementaciones diferentes y puede incluir muchos componentes diferentes, tal como se comentará en mayor detalle a continuación. Las diferentes implementaciones de la cuba de procesamiento 18 pueden soportar una variedad de procedimientos, por ejemplo, el mezclado, combinación, secado, recubrimiento, separación y reacción de ingredientes de procesamiento.

La figura 1 muestra una implementación ilustrativa de un sistema de procesamiento continuo 10a. En la figura 1, el sistema de procesamiento 10a incluye una cuba de procesamiento 18a acoplada a un agitador acústico 11a. El agitador acústico 11a puede incluir un armario eléctrico 12a y un conjunto 14a de resonancia. El agitador acústico 11a puede ser un mezclador RAM® (RAM), tal como los disponibles en Resodyn Acoustic Mixers (Butte, Montana). El sistema de procesamiento 10a incluye además múltiples conductos 2a para suministrar los materiales al sistema de procesamiento y múltiples tolvas 8a para contener los materiales antes de que se introduzcan en la cuba de procesamiento 18a. Los conductos 2a pueden ser cualquier tipo de tubería, conducto o manguera utilizados para suministrar materiales, tales como un sólido, gas o fluido. Las tolvas 8a pueden presentar cualquier tipo de forma geométrica cerrada con un cuerpo hueco para contener o transferir materiales a la cuba de procesamiento 18a, por ejemplo, un contenedor, barril, embudo o cuba. Los conductos 2a y las tolvas 8a pueden estar acoplados al sistema de procesamiento 10a mediante un almacén de soporte 9a. El almacén de soporte 9a puede ser una estructura abierta para conectar y sujetar los componentes del sistema de procesamiento 10a. El almacén 9 de soporte puede estar acoplado al agitador acústico 11a, a la cuba de procesamiento 18a y a las tolvas 8a. El almacén de soporte 9a puede estar constituido por múltiples secciones.

La figura 1 muestra además una vista en sección que deja ver el interior de una implementación de la cuba de procesamiento 18a. La cuba de procesamiento 18a puede incluir múltiples niveles, cada uno de los niveles puede incluir por lo menos una de entre una pluralidad de placas 22a. Las placas 22a pueden estar configuradas para dirigir los materiales a través de la cuba de procesamiento 18a. Las placas 22a pueden estar hechas de muchos materiales diferentes, por ejemplo y sin limitación, acero inoxidable, aluminio y acero al carbono. En algunas implementaciones, las placas 22a pueden presentar un factor de rigidez de aproximadamente 5,000 lbf/in o mayor. En otras implementaciones, los materiales pueden presentar otros valores de factor de rigidez. La cuba de procesamiento 18a puede incluir una placa calentada 6a, una placa de refrigeración 6b, una pluralidad de entradas 2a-2e utilizadas para que los conductos introduzcan diferentes ingredientes de procesamiento (incluyendo, sin limitación, tampones, reactivos, recubrimientos y/o constituyentes de mezclado) en diferentes niveles de la cuba de procesamiento 18a, y un orificio de salida 4 para descargar un producto del sistema de procesamiento 10a. Las placas de calentamiento y refrigeración se comentarán en mayor detalle a continuación, con referencia a la figura 21. Las entradas 2a-2e pueden estar posicionadas a lo largo de la parte superior y/o cualquier lado de la cuba de procesamiento 18a para introducir materiales. El orificio de salida 4 puede estar posicionado a lo largo de una parte inferior de la cuba de procesamiento 18a.

En algunas implementaciones, los ingredientes de procesamiento que reaccionan y se mezclan en la cuba de procesamiento 18a pueden formar un lecho fluidificado dentro de la cuba de procesamiento 18a. El sistema de procesamiento 10a está bien adecuado para crear lechos fluidificados, con tamaños de partícula de material que oscilan entre partículas nanométricas y partículas del tamaño de comprimidos. Debido a que la fluidificación se forma mediante vibración, el sistema de procesamiento 10a puede fluidificar nanopartículas y todos los tamaños hasta comprimidos. El lecho fluidificado puede crearse en cada nivel de la cuba de procesamiento 18a.

La figura 2 muestra otro ejemplo ilustrativo de un sistema de procesamiento continuo 10b. El sistema de procesamiento 10b incluye una cuba de procesamiento 18b, un agitador acústico 11b, un armario eléctrico 12b,

una tolva 8b, un almacén de soporte 9b, un tambor 13b y un canal 26b de salida. El sistema de procesamiento 10b es similar al sistema de procesamiento 10a, sin embargo, la tolva 8b está posicionada encima del almacén de soporte 9b, y el sistema de procesamiento 10b incluye además el tambor 13b para recoger el producto del sistema 10b. Los materiales pueden introducirse en la cuba de procesamiento 18b a través de la tolva 8b. El almacén de soporte 9b puede posicionarse de manera móvil sobre la cuba de procesamiento 18b y el agitador acústico 11b en lugar de acoplarse directamente a esos componentes. Este diseño puede dar al sistema de procesamiento 10b más versatilidad durante el funcionamiento ya que diferentes tolvas 8b de materiales pueden moverse a su posición sin desmontar otras partes del sistema 10b. En algunas implementaciones, el almacén de soporte 9b puede incluir ruedas para permitir una movilidad mayor. Una vez que los materiales se han procesado y pasado a través de la cuba de procesamiento 18b, pueden descargarse por medio del canal 26b de salida y al interior del tambor 13b. El tambor 13b puede ser cualquier tipo de contenedor para contener o almacenar material. El canal 26b de salida puede ser cualquier tipo de tubo, tubería o conducto para transferir materiales desde la cuba de procesamiento 18b hasta el tambor 13b.

La figura 3 muestra otro ejemplo de un sistema de procesamiento 10c. Más particularmente, la figura 3 muestra una vista expandida del sistema de procesamiento 10c utilizado para el recubrimiento de unos principios activos farmacéuticos (API) de muestra. El sistema de procesamiento 10c incluye una cuba de procesamiento 18c, un agitador acústico 11c, una línea 132 de alimentación a partir de un tanque 128 que contiene los materiales que se van a procesar. El tanque 128 está acoplado a un armario 130 para proporcionar los controles para el tanque 128. El sistema de procesamiento 10c incluye además una cubierta 134 en la que están alojados el agitador acústico 11c, la cuba de procesamiento 18c y un pulverizador 44c. En algunas implementaciones, la cubierta 134 está montada sobre el agitador acústico 11 y sólo encierra el pulverizador 44c y la cuba de procesamiento 18c. La cubierta 134 atrapa y/o evita que cualquier gas libre introducido en o emitido desde la cuba de procesamiento 18c contamine un entorno exterior. El pulverizador 44c está configurado para introducir fluido desde el tanque 128 directamente al interior de la cuba de procesamiento 18c. Adicionalmente, la figura 3 muestra una alimentación 138 de vacío acoplada a la cuba de procesamiento 18c, que permite que cualquier reacción que se produce dentro de la cuba de procesamiento 18c se produzca a una presión reducida, o en algunos casos un vacío parcial o total.

En un experimento utilizando el sistema de procesamiento 10c, se recubrió un material de API de muestra (ibuprofeno) con un polímero (ibuprofeno 70, BASF Corporation, Bishop Texas). En la figura 4 se muestra una fotografía de material de API recubierto mediante un sistema de secado por pulverización tradicional, con una fotografía de microscopio óptico y una imagen por SEM en la parte inferior derecha. El sistema de secado por pulverización tradicional recubrió el material de API alrededor del diámetro, pero los extremos se dejaron sin recubrir y se formaron aglomeraciones de muchas partículas. Utilizando el sistema de procesamiento 10c mostrado en la figura 3, se recubrieron los cristales de ibuprofeno con el polímero y también se recubrieron los extremos. Las partículas recubiertas tampoco se aglomeraron. En la figura 5 se muestra una fotografía del ibuprofeno recubierto utilizando un microscopio óptico y se muestra una imagen por SEM en la parte inferior derecha.

Implementaciones de la cuba de procesamiento

Las figuras 6 a 16 muestran vistas en sección que dejan ver el interior de diferentes ejemplos de una cuba de procesamiento 18 apta para su utilización en un sistema de procesamiento continuo 10. La cuba de procesamiento 18 puede estar configurada con diferentes formas y tamaños y puede incluir muchos componentes diferentes basándose en los productos que se mezclan, combinan, secan, recubren, separan y/o se hacen reaccionar y el producto final deseado.

La figura 6 muestra una cuba de procesamiento 18d a modo de ejemplo. La cuba de procesamiento 18d incluye un orificio de entrada 20d, orificios de adición de material 21d, una pluralidad de placas 22d, un orificio de salida 26d y un adaptador 9d de base para acoplar la cuba de procesamiento 18d a un agitador acústico 11d. En diversas implementaciones, la cuba de procesamiento 18d presenta una capacidad que está comprendida entre aproximadamente 0.5 l y 200 l. La implementación de cuba de procesamiento 18d mostrada en la figura 6 incluye una disposición de placas en cascada mediante la cual el fluido y gas entran en la parte superior de la cuba de procesamiento 18d a través de la entrada 20d y descienden sobre las placas 22d antes de que los resultados y/o producto salgan en la parte inferior a través del orificio de salida 26d.

La cuba de procesamiento 18d está configurada para presentar un diseño de placas modular. Es decir, cada placa 22d se fija de manera retirable a las paredes de la cuba de procesamiento 18d en puntos de unión formados en las paredes. Por consiguiente, cuando se configura la cuba de procesamiento 18d para un procedimiento particular un operario de sistema puede instalar placas con características y rasgos deseados en ubicaciones deseadas dentro de la cuba de procesamiento 18d. Las características de las placas pueden incluir el ángulo de la placa 22d con respecto a la pared, el tamaño de uno o más orificios 23 formados a través de la placa 22d, diversos recubrimientos de superficie, etc. La modularidad también permite que la cuba de procesamiento 18d se configure con huecos de diferentes tamaños entre las placas 22d. Cada una de las placas 22d puede estar separada por diferentes tamaños de hueco para crear diferentes fases de procesamiento en la cuba de procesamiento 18d. La cuba de procesamiento 18d puede estar configurada de manera que todas las placas 22d presenten el mismo ángulo de placa. En otras configuraciones, por lo menos dos de las placas 22d presentan ángulos de placa

diferentes. El diseño de placas inclinadas puede configurarse para permitir que los materiales pasen más tiempo en un nivel (una fase del procedimiento) en contraposición con otro nivel en la cuba de procesamiento 18d. Cuanto más grande es el ángulo de las placas 22d en un nivel dado, más rápido se mueven los materiales a través del nivel respectivo. Con un ángulo de placa más pequeño, los materiales pueden moverse más lentamente y pasar más tiempo en un nivel de la cuba de procesamiento 18d. Los ángulos de las placas 22d pueden estar configurados para optimizar las prestaciones de reacción y/o mezclado, uniformidad y rendimiento, así como mitigar la formación de subproductos indeseables, o productos mal mezclados.

En la cuba de procesamiento 18d, la reacción puede producirse de manera uniforme en cualquier posición en cualquier placa 22f, o en cualquiera de las posiciones entre dos placas 22d. Esta uniformidad permite que el sistema se ajuste a escala según el área de contacto de superficie entre las placas 22d y los materiales que se están procesando. Por tanto, puede proporcionarse tiempo de procesamiento (tiempo de contacto) adicional aumentando el área de superficie de cada placa 22f, aumentando el número de placas 22d, o mediante una combinación de los mismos en la cuba de procesamiento 18d.

Para una amplia gama de materiales que se van a procesar, el espaciado entre las placas 22d es importante para un mezclado eficaz. Un objetivo primario de mantener el espaciado correctamente ajustado es, en algunas implementaciones, garantizar que los materiales que se están procesando se ponen agresivamente en contacto con las placas 22d tanto superior como inferior de los niveles respectivos en los que están los materiales en la cuba de procesamiento 18d. Es decir, si el espaciado de placa a placa de las placas 22d está configurado de manera que los ingredientes de procesamiento impacten en las placas 22d tanto superior como inferior del nivel actual en el que están, puede conseguirse un procesamiento potenciado para diferentes tipos de materiales.

Cada superficie de las placas 22d puede actuar como un transductor para impartir aceleración en los materiales que se están procesando. Las fuerzas de aceleración pueden oscilar entre unas pocas g de aceleración potenciado más de 200g de aceleración. Por tanto, el espaciado también está correlacionado con el nivel de aceleración combinado y el desplazamiento de las placas 22d. Se ha observado que mayores fuerzas de aceleración combinadas y mayores desplazamientos permiten un mayor espaciado, lo que también puede proporcionar una mayor capacidad de tratamiento de la cuba de procesamiento 18d.

La interacción entre partículas puede contribuir al micromezclado que induce fenómenos similares a la difusión e integración de las partículas. Los fenómenos similares a la difusión son el movimiento de lado a lado y arriba y abajo de las partículas. Las colisiones entre partículas se producen a altas velocidades y altas aceleraciones, dando como resultado la fluidificación de los materiales. El micromezclado, así como el mezclado en masa, permiten añadir nuevos materiales a esta mezcla caótica de materiales en diversos niveles de la cuba de procesamiento 18d.

En este diseño de la cuba de procesamiento 18d, puede utilizarse el mismo agitador acústico 11 para agitar las diferentes cubas de procesamiento 18. Para adaptarse a diferentes diseños, el adaptador 9d de base puede acoplar de manera amovible diferentes cubas de procesamiento 18, de diversos tipos y tamaños, al agitador acústico 11. En algunas implementaciones, el adaptador 9d de base puede acoplar de manera retirable la cuba de procesamiento 18 al agitador acústico utilizando un elemento de fijación 36. El elemento de fijación 36, como se comentará en mayor detalle con respecto a la figura 7, puede acoplar de manera segura, pero reversible, diferentes componentes del sistema de procesamiento 10 entre sí. Los elementos de fijación 36 pueden ser cualquier tipo de herramienta que une o fija mecánicamente de manera segura dos o más objetos entre sí, incluyendo por ejemplo, una tuerca, perno, pinza o elemento de fijación roscado. El adaptador 9d de base y el elemento de fijación 36 permiten que un operario configure un sistema de procesamiento 10 según sus necesidades específicas permitiendo al operario seleccionar y acoplar una cuba de procesamiento 18 apta para el agitador acústico 11 para formar un sistema de procesamiento personalizado 10. La cuba de reacción 18 apropiado puede depender del tipo de procedimiento que va a soportarse, por ejemplo, mezclado, combinación, secado, recubrimiento, separación y/o reacción de materiales. Esto proporciona diversas aplicaciones, lo que disminuye el espacio y la cantidad de grandes equipos utilizados en una instalación polivalente.

Además de las diferentes configuraciones de placas, la superficie de las placas 22d puede estar configurada de diversas maneras para adaptarse a diferentes tipos de materiales que se van a procesar en la cuba de procesamiento 18d. Una implementación es configurar las placas 22d con orificios 23, como se comentará con respecto a las figuras 13a y 13b a continuación, para permitir que los materiales fluyan de un nivel al siguiente en la cuba de procesamiento 18d. Los tamaños de orificio pueden oscilar entre unas pocas décimas de pulgada y varias pulgadas. A medida que los materiales se mueven de una manera aleatoria a lo largo de cada placa 22d, se dirigen hacia los orificios 23 por la forma y diseño de la cuba de procesamiento 18d. En algunas implementaciones, el orificio 23 puede estar posicionado en el extremo de una placa 22d. El ángulo de las placas 22d dirige los materiales hacia el orificio 23. La velocidad de movimiento hacia y a través de un orificio 23 de una placa 22d en un nivel de la cuba de procesamiento 18d depende, por ejemplo, del ángulo de las placas 22d con respecto a una pared de la cuba de procesamiento 8d, el número de placas 22d en la cuba de procesamiento 18d, el tamaño de uno o más orificios 23 formados a través de la placa 22d, el número de orificios 23 formados a través de la placa 22d y la colocación de los orificios 23 en la placa 22d. En algunas aplicaciones, cuanto mayor es el

ángulo de la placa 22d hacia el orificio 23, así como cuanto mayor es el orificio 23, más rápido pueden fluir los materiales a través de la cuba de procesamiento 18d.

El tiempo de residencia de un conjunto de ingredientes de procesamiento en un nivel dentro de la cuba de procesamiento 18d se define como el tiempo que los materiales que fluyen a través de la cuba de procesamiento 18d están en contacto con las placas 22d de ese nivel. El tiempo de residencia depende de las propiedades de los materiales, el diseño de placa 22d, el diseño de orificio 23 y las condiciones de funcionamiento del agitador acústico 11a especificadas anteriormente. Los factores que pueden ajustarse para cambiar los tiempos de residencia incluyen un ángulo de pendiente de placa, el número de placas 22d, el tamaño de orificio, el número de orificios 23 y la colocación de orificio en las placas 22d.

La figura 7 muestra una cuba de procesamiento 18e expansible a modo de ejemplo. La cuba de procesamiento 18e incluye múltiples niveles. Cada nivel está formado por una sección de cuba 34e. Cada sección de cuba 34e incluye por lo menos una placa 22e que presenta uno o más orificios 23e en un extremo. Una sección de cuba inferior 34e sirve como base de cuba que presenta una salida 26e, mientras que una sección de cuba superior 34e incluye una entrada de ingrediente de procesamiento 20e. La cuba de procesamiento 18e puede estar configurada para provocar que por lo menos un ingrediente de procesamiento, cuando se introduce a través de la entrada 20e, se someta a flujo a través de cada sección de cuba 34e, sobre las placas 22e. Los ingredientes de procesamiento pueden transitar de un nivel al siguiente nivel de la cuba de procesamiento 18e a través de los orificios 23e de cada una de las placas 22e. El número de secciones de cuba 34e y placas 22e en la cuba de procesamiento 18e puede oscilar entre dos y varios cientos.

Las placas 22e pueden transferir energía acústica generada por un agitador acústico, tal como el agitador acústico 11a en la figura 1, a los ingredientes de procesamiento que pasan a través de la cuba de procesamiento 18e. Los múltiples niveles pueden crearse utilizando elementos de fijación 36e para acoplar de manera segura, pero reversible, múltiples secciones de cuba 34e entre sí, para crear una cuba de procesamiento continuo 18e de tamaño deseado. Los elementos de fijación 36e pueden ser cualquier tipo de herramienta que une o fija mecánicamente de manera segura dos o más objetos entre sí, incluyendo, por ejemplo, una tuerca, perno, pinza o elemento de fijación roscado. En algunas implementaciones, los elementos de fijación 36e pueden estar configurados para acoplar de manera retirable la cuba de procesamiento continuo 18e a un agitador acústico, tal como el agitador acústico 11a mostrado en la figura 1. Los elementos de fijación 36e pueden unir la base 40e de la cuba de la cuba de procesamiento 18d al agitador acústico 11. La base 40e de cuba puede incluir la salida 26e para descargar un producto de la cuba de procesamiento 18e. La cuba de procesamiento 18e permite que un operario configure un sistema de procesamiento 10 según sus necesidades específicas permitiendo que el operario seleccione y acople un conjunto apropiado de secciones de cuba 34e entre sí para formar una cuba de procesamiento 18e personalizada.

La figura 8 muestra otra cuba de procesamiento 18f a modo de ejemplo. La cuba de procesamiento 18f es sustancialmente similar a la cuba de procesamiento 18f mostrada en la figura 7. Sin embargo, en lugar de presentar secciones de cuba 34e acopladas mediante elementos de fijación de soporte 36e, la cuba de procesamiento 18f está formada a partir de secciones de cuba 34f que integran elementos de fijación directamente en su estructura, específicamente los extremos de la sección de cuba 34f están roscados. Tal como se muestra en la figura 8, en algunas implementaciones, ambos extremos de cada sección de cuba 34f están roscados, y las secciones de cuba 34e se acoplan "enroscando" los extremos de secciones de cuba adyacentes 34f en una junta 35 roscada. En otras implementaciones, las secciones de cuba 34f presentan un extremo "macho" roscado y un extremo "hembra" roscado opuesto, de manera que las secciones de cuba adyacentes 34f puedan enroscarse directamente entre sí.

La figura 9 muestra otro ejemplo de cubas de procesamiento 18g. La cuba de procesamiento 18g incluye una entrada 20g, múltiples placas 22g y una salida 26g. La cuba de procesamiento 18g es similar a la cuba de procesamiento 18d, pero las placas 22g están configuradas con ángulos de placa variables 90g y tamaños 91g de hueco diferentes entre por lo menos dos de las placas 22g. Los ángulos de placa 90g de las placas 22g pueden oscilar entre 1 grado y 75 grados. La cuba de procesamiento 18f puede incluir tamaños 91g de hueco diferentes entre diferentes pares de placas 22g. El tamaño 91g de hueco y los ángulos de placa 90g en la cuba de procesamiento 18h pueden estar configurados para permitir que los materiales se acumulen en diferentes niveles o ubicaciones de mezclado específicas. En alguna implementación, el tamaño 91g de hueco y el ángulo de placa 90g pueden estar configurados para permitir que los materiales se acumulen en el fondo de la cuba de procesamiento continuo 18g.

Tal como se muestra, los ángulos de placa 90g de las placas 22g aumentan desde la parte superior de la cuba hasta el fondo de la cuba de procesamiento 18g. Los ángulos de placa que aumentan, en las mismas implementaciones, ayudan a proporcionar una velocidad de flujo constante de ingredientes de procesamiento introducidos, a medida que la viscosidad de los ingredientes de procesamiento y los productos aumentan como resultado del procedimiento inducido. En otras implementaciones, los ángulos de placa 90g que aumentan sirven para aumentar la velocidad de flujo de ingredientes de procesamiento a medida que avanza la reacción.

La figura 10 muestra otro ejemplo de cuba de procesamiento 18h. La cuba de procesamiento 18h puede incluir una entrada 20h, múltiples placas 22h y una salida 26h. La cuba de procesamiento 18h es similar a la cuba de procesamiento 18f mostrado en la figura 8, pero la cuba de procesamiento 18g incluye unas placas 22g configuradas con ángulos de placa 92h pronunciados pero constantes. Los ingredientes de procesamiento pueden introducirse en la cuba de procesamiento 18h a través de la entrada 20h e interactuar con las placas 22h. Los ángulos de placa 92h pronunciados pueden proporcionar más área de pared para hacer reaccionar y procesar pastas, suspensiones y otros materiales viscosos. La cuba de procesamiento 18h, como con cualquiera de las cubas de procesamiento 18 descritas en la presente memoria, puede adaptarse a diferentes disposiciones de las placas 22h, dependiendo de los tipos de materiales que se van a procesar, tal como se muestra en las figuras 9 y 10, así como en las figuras 11 y 12 comentadas a continuación.

La figura 11 muestra otra cuba de procesamiento 18i a modo de ejemplo. La cuba de procesamiento 18i incluye una entrada 20i, una placa helicoidal 22i y una salida 26i. La placa helicoidal 22i de la cuba de procesamiento 18i puede estar configurada para incluir un plano 54i inclinado continuo. La placa 22i puede estar configurada además para incluir un espaciado 56i variable entre por lo menos dos niveles de la placa 22i. La placa 22i también puede estar configurada con unos ángulos de paso variables en diferentes posiciones en la cuba de procesamiento 18i. El plano 54i inclinado continuo puede estar configurado en la cuba de procesamiento 18i para crear una formación de hélice. En lugar de pasar de un nivel al siguiente a través de un orificio 23, tal como se muestra en la figura 6, los materiales introducidos en la cuba de procesamiento 18i a través de la entrada 20i pueden moverse en espiral hacia abajo por la cuba de procesamiento 18i y a través de los diferentes niveles a lo largo de la placa helicoidal 22i individual. Cuando los materiales alcanzan el fondo de la cuba de procesamiento 18i y se han procesado, hecho reaccionar y/o mezclado sustancialmente, pueden descargarse a través de la salida 26i. Además, el espaciado de los diferentes niveles de la configuración en hélice puede ser diferente debido al espaciado variable anteriormente mencionado. El espaciado variable puede crear diferentes fases de procesamiento dentro de la cuba de procesamiento 18i y adaptarse a diferentes parámetros de procedimiento para una variedad de aplicaciones, por ejemplo, aplicaciones de mezclado, combinación, secado, recubrimiento, separación y/o reacción.

En todavía otra implementación a modo de ejemplo de una disposición de placas diferente, la figura 12 muestra una cuba de procesamiento 18j a modo de ejemplo. En lugar de estar configurada la cuba de procesamiento 18j con unas placas 22g, tal como se muestra en las figuras 6 a 11, la cuba de procesamiento 18j incluye unas tuberías 70 enrolladas para procesar los materiales. La cuba de procesamiento 18j incluye una entrada 20j, las tuberías 70 enrolladas y una salida 26j. Los materiales pueden introducirse en la cuba de procesamiento 18j a través de la entrada 20i y pasar a través de la cuba de procesamiento 18j a través de las tuberías 70 enrolladas. Las tuberías enrolladas pueden estar configuradas en una formación de hélice o espiral dentro de la cuba de procesamiento 18i. En algunas implementaciones, la cuba de procesamiento 18i puede incluir tuberías enrolladas compactas para ahorrar espacio y maximizar la longitud de la reacción y/o el procedimiento de mezclado. Las tuberías enrolladas compactas pueden permitir más longitud de tubería enrollada en la cuba de procesamiento 18j para permitir que los materiales estén en procedimiento más tiempo. Una vez que los materiales se han hecho reaccionar sustancialmente, pueden descargarse a través de la salida 26j.

Las figuras 13a y 13b muestran ejemplos de dos diseños de orificios ajustables. Tal como se describió anteriormente, en muchas implementaciones, las placas 22 incluidas en la cuba de procesamiento 18 incluyen unos orificios 23 en un extremo. Con el fin de aumentar la configurabilidad de las cubas de procesamiento 18, en algunas implementaciones, los orificios están configurados para ser ajustables.

En la figura 13A, una cuba de procesamiento 18 incluye múltiples placas 22k, conjuntos de orificios ajustables 23k y una salida 26k. Las placas 22k pueden estar configuradas con los orificios ajustables 23k para permitir que los materiales se muevan de un nivel de la cuba de procesamiento 18 al siguiente nivel a una velocidad configurable hasta que los materiales alcanzan la salida 26k y se descargan. Cada una de las placas 22k en la cuba de procesamiento 18 puede presentar por lo menos un orificio ajustable 23k. En algunas implementaciones, las placas 22k pueden presentar múltiples orificios ajustables 23k. Las placas 22k pueden incluir una placa de orificio ajustable 32k y un elemento de bloqueo de placa de orificio 30k. El elemento de bloqueo de placa de orificio 30k asegura mecánicamente la placa de orificio ajustable 32k a las placas 22k para crear los orificios ajustables 23k. Los tamaños de los orificios ajustables 23k pueden configurarse cambiando las posiciones y colocación de la placa ajustable 32. El orificio ajustable 23k puede configurarse antes del funcionamiento de la cuba de procesamiento 18, dependiendo de los tipos de materiales que se van a hacer reaccionar y/o mezclar. El orificio ajustable 23k en la placa 22k en un nivel puede presentar un tamaño diferente del orificio ajustable 23k en la placa 22k en un nivel diferente en la cuba de procesamiento 18.

La figura 13B muestra otro orificio ajustable 23l a modo de ejemplo. El orificio ajustable 23l es similar al orificio ajustable 23k, mostrado en la figura 13a. El orificio ajustable 23l incluye una placa de orificio 22l, una placa de orificio ajustable 32l y un elemento de bloqueo de placa de orificio 30l. El elemento de bloqueo de placa de orificio 30l puede asegurar mecánicamente la placa de orificio ajustable 32l a la placa 22l. El tamaño del orificio ajustable 23l puede estar configurado para presentar desde unas pocas décimas de pulgada hasta varias pulgadas. El tamaño del orificio ajustable 23l puede ajustarse basándose en la velocidad de flujo deseada de los materiales a través de la cuba de procesamiento 18.

En algunas implementaciones, la placa de orificio 32l puede estar acoplada a un accionador, en lugar de a un elemento de bloqueo de placa de orificio 30l. En tales implementaciones, el tamaño del orificio 23l puede ajustarse durante el funcionamiento del sistema de procesamiento continuo 10. Por ejemplo, durante la puesta en marcha inicial, los orificios ajustables 23l a lo largo de una parte de la totalidad de la cuba de procesamiento 18l pueden cerrarse de manera que cada nivel de la cuba de procesamiento 18 pueda cargarse completamente antes de abrir un acceso al siguiente nivel. Después de cargarse completamente cada nivel de la cuba de procesamiento, el orificio ajustable 23l puede abrirse hasta un tamaño apropiado para permitir que los materiales pasen a través de la cuba de procesamiento 18. De esta manera, los materiales salen de la cuba de procesamiento 18 habiendo reaccionado y/o mezclados sustancialmente.

La figura 14 representa otra cuba de procesamiento 18m a modo de ejemplo. La cuba de procesamiento 18m incluye una entrada 20m, cinco salidas 74a-74e y múltiples placas 22m. La superficie de las placas 22m puede presentar, cada una, una pluralidad de aberturas 73 para servir de tamiz. En algunas otras implementaciones, la superficie de las placas 22m puede estar configurada para presentar una construcción en malla.

Los materiales pueden introducirse en la cuba de procesamiento 18m a través de la entrada 20m y entrar en contacto con las placas 22m. Las aberturas 73 en la superficie de las placas 22m pueden separar los materiales y permitir que sólo materiales pequeños pasen al siguiente nivel en la cuba de procesamiento 18m. Las aberturas 73 en la superficie de por lo menos dos placas 22m pueden ser de diferente tamaño. En algunas implementaciones, el tamaño de las aberturas 73 puede disminuir en cada nivel inferior de la cuba de procesamiento 18m. La primera salida 74a de la cuba de procesamiento 18m puede estar formada a través de la pared exterior de la cuba de procesamiento 18m. El tamaño A de la primera salida 74a puede estar configurado para permitir la extracción de los materiales del primer tamaño más grande. Las salidas segunda a quinta 74b-74e pueden estar configuradas y hacerse funcionar de una forma similar al tamaño A de la primera salida 74a, pero pueden formarse en la pared exterior de diferentes niveles de la cuba de procesamiento 18m para extraer partículas cada vez más finas de la cuba de procesamiento 18m. Los tamaños de salida 74a-74e pueden permitir que los materiales se extraigan en diferentes fases del procedimiento. En algunas implementaciones, cada nivel de la cuba de procesamiento 18m puede estar configurado con una salida 74 para extraer los materiales. En otras implementaciones, sólo niveles seleccionados de la cuba de procesamiento 18m pueden estar configurados con una salida 74. En algunas implementaciones, las salidas 74 en uno o más niveles de la cuba de procesamiento 18m pueden presentar un tamaño diferente.

La figura 15 muestra otro ejemplo de cuba de procesamiento 18n. La cuba de procesamiento 18n es similar a la cuba de procesamiento 18a, sin embargo, la cuba de procesamiento 18n incluye además unos medios 94 de molienda dispuestos dentro de por lo menos algunos de los niveles de la cuba de procesamiento 18n. La cuba de procesamiento 18n incluye una entrada 20n, una salida 26n, una pluralidad de placas 22n y los medios 94 de molienda. Las placas 22n pueden incluir una pluralidad de aberturas 73n. Los medios 94 de molienda pueden estar posicionados entre por lo menos dos de las placas 22n. Los medios 94 de molienda pueden estar compuestos por diversos materiales, incluyendo, pero sin limitarse a, metales o materiales cerámicos, y formas (incluyendo, pero sin limitarse a, esferas o cilindros). Los ingredientes de procesamiento pueden introducirse en la cuba de procesamiento 18n a través de la entrada 20n. En la cuba de procesamiento 18n, los materiales pueden colisionar con los medios 94 de molienda dispuestos entre las placas 22n o quedar atrapados entre los medios 94 de molienda y las placas 22n y como resultado triturarse para dar tamaños más pequeños. Tal como se muestra, los medios 94 de molienda pueden incluirse en la configuración de tamiz descrita en la figura 14. En otras implementaciones, los medios 94 de molienda pueden incluirse en la configuración de placas mostrada en la figura 6. La cantidad de medios 94 de molienda dispuestos entre las placas 22n puede variar entre poco y todo lo que quepa entre las placas 22n en la cuba de procesamiento 18n. La cantidad de medios 94 de molienda puede depender del producto deseado de los materiales que se van a hacer reaccionar. Una cantidad menor de medios 94 de molienda puede proporcionar menor procesamiento o molienda de los materiales. Una cantidad mayor de medios 94 de molienda, empaquetados entre las placas 22n, puede proporcionar una mayor cantidad de procesamiento o molienda de los materiales.

Los medios 94 de molienda también pueden utilizarse para ayudar a evitar la asociación de materiales de polvo de mezcla así como para romper materiales que pueden adherirse a las paredes de la cuba de procesamiento 18 durante el funcionamiento. Para aplicaciones en las que se requieren diferentes medios 94 de molienda para diferentes materiales o ingredientes de procesamiento, o si se tienen que limpiar los medios 94, pueden aplicarse los siguientes procedimientos. Unos pueden añadirse medios 94 de molienda magnéticos a la cuba de procesamiento 18n y después recogerse con un imán potente en la salida 26n. Esto separa los medios 94 de molienda del producto final de una reacción. Después, los medios 94 de molienda recogidos pueden recircularse y añadirse a un material entrante futuro. Otro procedimiento es disponer una puerta retirable en el fondo de la cuba de procesamiento 18n para permitir retirar los medios 94 de molienda para limpiarlos y/o cambiarlos.

La figura 16 muestra una cuba de procesamiento 18o a modo de ejemplo. La cuba de procesamiento 18o incluye una entrada 20o, una pluralidad de placas 22o, un respiradero 100o, una cámara 24o de salida, una válvula 102

de salida y un sensor de nivel 104. La cuba de procesamiento 18o es similar a la cuba de procesamiento 18a, pero incluye además el respiradero 100o, la válvula 102 de salida y el sensor de nivel 104.

5 Los materiales pueden introducirse en la cuba de procesamiento 18o a través de la entrada 20o y pueden entrar en contacto con las placas 22o. Los materiales pueden moverse de nivel al siguiente nivel en la cuba de procesamiento 18o a través de unos orificios 23o formados a través de cada placa. En algunas aplicaciones, tales como materiales que se mezclan que producen polvo, el funcionamiento requiere algo de altura o espacio libre entre las placas 22o. El espacio libre se necesita para permitir que los materiales interaccionen/colisionen entre sí y no se empaqueten fuertemente. Sin el movimiento libre permitido por el espacio libre entre las partículas, las partículas no pueden colisionar libremente y mezclarse de manera aleatoria en la cuba de procesamiento 18o. Sin embargo, si uno o más de los materiales son "polvos" mixtos y se arrastran en el aire o en el gas dentro de la cuba de procesamiento 18o, pueden transportarse indeseablemente a través de la válvula 102 de salida al fondo de la cuba de procesamiento 18o. Para evitar tales situaciones, el fondo de la cuba de procesamiento 18o puede incluir el respiradero 100o formado a través de su pared exterior. En otras implementaciones, el respiradero 100o puede estar posicionado a lo largo de cualquier parte de la cuba de procesamiento 18o. El respiradero 100o puede estar configurado para permitir que aire o gas salga de la cámara 24o de salida de manera que los materiales puedan pasar libremente a través de la cuba de procesamiento 18o sin arrastrarse en el aire o en el gas. En algunas implementaciones, el respiradero 100o puede estar configurado con un filtro para evitar que los materiales de procesamiento se escapen, tal como se muestra en la figura 16, permitiendo que sólo aire o gas salga de la cuba de procesamiento 18o, pero reteniendo los materiales dentro de la cámara 24o de salida. Reteniendo los materiales dentro de la cámara 24o de salida, pueden mantenerse las concentraciones de mezclado deseadas. El arrastre completo de los materiales en las mezclas es especialmente importante para productos que presentan pequeñas cantidades de determinados constituyentes que deben distribuirse de manera exhaustiva y uniforme a través del producto, tales como un material de principio activo en la fabricación de preparaciones farmacéuticas.

25 La cámara 24o de salida puede estar configurada para permitir que los materiales o el producto de la cuba de procesamiento 18o se acumulen antes de descargarse a través de la válvula 102 de salida. En algunas implementaciones, la cámara 24o de salida puede estar configurada para restringir que los materiales o producto se descarguen a través de la válvula 102 de salida, provocando una acumulación de materiales, de manera que sólo las partículas sólidas pueden descargarse a través de la válvula 102 de salida. La cámara 24o de salida puede estar configurada para recoger los materiales o producto en el fondo de la cuba de procesamiento 18o durante el funcionamiento. La cámara 24o de salida puede recoger los materiales o producto con el fin de evitar que se separen a medida que salen de la cuba de procesamiento 18o.

35 La cuba de procesamiento 18o puede estar configurada con el sensor de nivel 104 para controlar la válvula 102 de salida. El sensor de nivel 104 puede estar configurado para mantener la válvula 102 de salida cerrada hasta que se ha recogido una cantidad suficiente de producto final de la reacción, es decir, el material ha alcanzado el nivel del sensor. Esto limita la cantidad de tiempo que la válvula 102 de salida está abierta y ayuda a mantener los ingredientes de procesamiento en la cuba de procesamiento 18o.

40 La válvula 102 de salida puede colocarse a lo largo del fondo de la cuba de procesamiento 18o para descargar un producto de los materiales después de que los materiales pasen a través de por lo menos una parte de la cuba de procesamiento 18o mientras están expuestos a la energía acústica transferida por las placas 22o.

45 Introducción de materiales en el sistema de procesamiento continuo

50 El sistema de procesamiento 10 puede procesar una variedad de materiales diferentes en una variedad de aplicaciones diferentes. Para permitir esto, pueden utilizarse diferentes técnicas y procedimientos para introducir los materiales en la cuba de procesamiento 18. Un reto en el procesamiento de materiales en un procedimiento continuo es obtener un producto uniforme. Para ello, debe tenerse cuidado para alimentar los ingredientes de procesamiento en la cuba de procesamiento de manera uniforme. Una manera de proporcionar una uniformidad aumentada en la introducción de ingredientes de procesamiento es introducir un ingrediente de procesamiento por medio de una boquilla de pulverización.

55 La figura 17 muestra una cuba de procesamiento 18p a modo de ejemplo que incluye boquillas de pulverización para introducir ingredientes de procesamiento. La cuba de procesamiento 18p incluye una entrada 20p, una pluralidad de placas 22p, un respiradero 100p, dos pulverizadores 44p, un orificio de inyección/extracción 42, un orificio de gas de barrido 110, un sensor de temperatura 112, un sensor de infrarrojo cercano (NIR) 114 y una salida 26p. Los materiales pueden introducirse en la cuba de procesamiento 18p a través de la entrada 20p, de manera similar a la cuba de procesamiento 18d tal como se describió con referencia a la figura 6 anterior. La entrada 20p puede estar posicionada en la parte superior de la cuba de procesamiento 18p. Pueden introducirse ingredientes de procesamiento adicionales, o material de recubrimiento y/o tampones, a través de las boquillas de pulverización 44p o a través del orificio de inyección/extracción 42p. En algunas implementaciones, la propia entrada 20p puede ser una boquilla de pulverización.

5 Los pulverizadores 44p pueden introducir o inyectar los materiales en la cuba de procesamiento 20p, de manera similar a la entrada 20p, pero desde ángulos diferentes y en niveles diferentes de la cuba de procesamiento 18p. Por ejemplo, en aplicaciones de recubrimiento, pueden aplicarse recubrimientos a materiales introducidos a través de la entrada 20p añadiendo los pulverizadores 44p. El ángulo de las placas 22p puede ajustarse para adaptarse a las necesidades de flujo a través de los materiales que se van a recubrir y el tiempo necesario para conseguir un recubrimiento exhaustivo. Además, el número de placas 22p puede ajustarse para proporcionar duraciones de recubrimiento adecuadas, pero no tan largas como para continuar agitando los materiales después de haberse recubierto hasta el punto de provocar que se retiren los recubrimientos.

10 En algunas implementaciones, tal como se muestra en la figura 17, múltiples pulverizadores 44p pueden estar acoplados a la cuba de procesamiento 18p. Los pulverizadores 44p pueden estar posicionados a lo largo de cualquier parte de la cuba de procesamiento 18p. En algunas aplicaciones, puede ser necesario añadir más materiales posteriormente en el procedimiento. En otras aplicaciones, la introducción posterior de materiales puede ser ventajosa debido a que algunos materiales pueden no necesitar recubrirse con la totalidad de los recubrimientos introducidos en la cuba de procesamiento 18p y hacer esto permite que diversos materiales se añadan después de producirse una fase de recubrimiento anterior en la cuba de procesamiento 18p en un nivel más alto.

20 La velocidad de flujo, el tipo de boquilla, el número de boquillas, la ubicación del/de los pulverizador(es) 44p, intensidad de mezclado, así como muchas otras propiedades del sistema y del material afectan al mezclado y al resultado de mezclado. Por ejemplo, si la velocidad de flujo de adición de fluido es demasiado alta entonces existe una alta probabilidad de que se formen grumos. Para mitigar este problema, pueden añadirse más boquillas y separarse aguas abajo en la cuba de procesamiento 18p.

25 La boquilla del pulverizador 44p puede ser de diversos tipos incluyendo, por ejemplo y sin limitación, un cono, un anillo y una boquilla de chorro recto. Los diferentes tipos de pulverizadores 44p pueden provocar diferentes patrones de flujo, por ejemplo, un patrón de flujo plano o un patrón de flujo de chorro recto. Los tamaños de partícula producidos por el pulverizador 44p pueden oscilar entre tamaño nanométrico y un tamaño de gota de agua. Pueden utilizarse con la cuba de procesamiento 18p atomizadores o pulverizadores 44p convencionales
30 industriales incluyendo atomizadores a presión (orificio simple, turbulencia de presión, pulverizador cuadrado, doble, retorno de derrame y pulverizador en abanico), atomizadores giratorios, atomizadores de asistencia neumática, atomizadores de ráfaga de aire, atomizadores electroestáticos, y por ultrasonidos, sónicos, de molino, capilares vibratorios, de chorros de líquido intermitentes, efervescentes y piezoeléctricos. El tipo de boquilla así como los parámetros de fluido de densidad, viscosidad, y tensión superficial pueden desempeñar un papel
35 importante en el tamaño de partículas de fluido que se pulverizan desde el pulverizador 44p. En algunas implementaciones, el pulverizador 44p puede pulverizar un fluido, polvo o cualquier combinación de los mismos. Debido a que el sistema de procesamiento 10 no utiliza elementos neumáticos para crear un lecho fluidificado, la cuba de procesamiento 18p que contiene el lecho fluidificado puede cerrarse, lo que permite que pequeños polvos, tales como materiales nanométricos, se pulvericen en el lecho fluidificado sin que los gases de fluidificación intenten extraerlos del lecho fluidificado. En algunas implementaciones, el pulverizador 44p puede estar
40 configurado para pulverizar gotas de líquido para recubrir partículas así como para añadir gotas de líquido pulverizado para incorporar líquidos en la cuba de procesamiento 18p.

45 En otras aplicaciones que utilizan la cuba de procesamiento 18p, tal como aplicaciones de vaporización de pulverización, se pulverizan líquidos dispersados finamente sobre sólidos (povos) para formar una pasta. Cuando se intenta recubrir y/o mezclar líquidos y sólidos entre sí, pueden surgir problemas si todos los componentes se añaden a la cuba de procesamiento 18p al mismo tiempo. Los sólidos pueden recubrirse por el líquido y permanecer en grumos secos sin mezclar. Los grumos secos pueden romperse aplicando suficiente cizalladura, pero algunos polvos son muy sensibles a la cizalladura y si se forman estos grumos, entonces las partículas se romperán durante la rotura de los grumos. Mediante la difusión, el líquido puede penetrar en el interior de los grumos secos a lo largo del tiempo, los que normalmente hace que los grumos sean mucho más duros y más
50 difíciles de romper. Cuando se forman grumos duros y húmedos utilizando polvos sensibles a la cizalladura, se producirá daño si se rompen estos grumos después de haberse formado. Por tanto, cuando se utilizan materiales sensibles a la cizalladura, es crítico que no se formen grumos durante el mezclado. Utilizando la cuba de
55 procesamiento 18p configurada con los pulverizadores 44p, pueden añadirse los polvos lentamente mientras el líquido está desplazándose en la cuba de procesamiento 18p y permitir que el polvo pase al líquido sin formar grumos.

60 Durante el calentamiento, si todos los líquidos se añaden a los sólidos (povos) y después se mezclan, el resultado final tendrá posiblemente grumos de polvo seco o regiones altamente viscosas. Utilizando la cuba de procesamiento 18p configurada con los pulverizadores 44p para añadir los líquidos continuamente en diferentes niveles o en adiciones pulsadas mientras se combinan los sólidos y líquidos, puede evitarse que se formen los grumos y las regiones altamente viscosas. Además de las aplicaciones descritas anteriormente, la cuba de
65 procesamiento 18p configurada con los pulverizadores 44p puede utilizarse en muchas otras aplicaciones.

La cuba de procesamiento 18p configurada con el pulverizador 44p puede utilizarse para el recubrimiento por pulverización de polvos sobre un polvo, tal como en la industria de polímeros en la que se forman aleaciones de materiales poliméricos. Todos los materiales de los que se forman aleaciones deben alimentarse en una prensa extrusora de polímeros a una velocidad de constituyente de material constante o de lo contrario el material polimérico variará en cuanto a propiedades materiales y mecánicas. Muchos de los materiales de aleación están en pequeñas cantidades y pueden presentar un tamaño de partícula pequeño. La cuba de procesamiento 18p puede utilizarse para recubrir las cantidades más pequeñas de materiales de aleación sobre el material original con la utilización de los pulverizadores 44p para pulverizar sobre el lecho fluidificado del material original dentro de la cuba de procesamiento 18p. Esto permite que se alimente la cantidad correcta de material en la prensa extrusora para componer el material de aleación. La cuba de procesamiento 18p también puede aplicarse en la industria farmacéutica añadiendo pequeñas cantidades de API a un material original. Además, la cuba de procesamiento 18p también puede utilizarse en la industria del colorante así como en las industrias alimentaria y de las especias.

Haciendo todavía referencia a la figura 17, la cuba de procesamiento 18p puede incluir el orificio de inyección/extracción 42p. El orificio de inyección/extracción 42p puede utilizarse para extraer materiales de la cuba de procesamiento 18p. En algunas implementaciones, la cuba de procesamiento 18p puede incluir múltiples orificios de inyección/extracción 42p. La cuba de procesamiento 18p puede incluir múltiples niveles y fases de reacción, presentando cada nivel por lo menos una placa 22p. Algunos materiales pueden terminar de reaccionar en diferentes niveles de la cuba de procesamiento 18p y pueden extraerse utilizando el orificio de inyección/extracción 42p antes de alcanzar la salida 26p. El orificio de inyección/extracción 42p puede estar posicionado a lo largo de cualquier lado y ubicación de la cuba de procesamiento 18p y puede extraer materiales desde cualquier nivel o fase en la cuba de procesamiento 18p. En otras implementaciones, el orificio de inyección/extracción 42p puede utilizarse para introducir materiales en la cuba de procesamiento 18p, además de la entrada 20p y los pulverizadores 44p.

La cuba de procesamiento 18p también puede incluir el respiradero 100p. El respiradero 100p puede estar posicionado a lo largo de cualquier ubicación en la cuba de procesamiento 18p, o tal como se muestra en la figura 17, en la parte superior de la cuba de procesamiento 18p. En aplicaciones tales como la pulverización de un recubrimiento sobre por lo menos un ingrediente de procesamiento, el respiradero 100p permite que el usuario trabaje en condiciones atmosféricas. El respiradero 100p puede ser una abertura, una salida u orificio que permite aire hacia dentro o hacia fuera de la cuba de procesamiento 18p. En algunas implementaciones, una válvula de alivio de presión (no mostrada) puede estar acoplada a la cuba de procesamiento 18p para controlar los niveles de presión en la cuba de procesamiento 18p en lugar del respiradero 100p. La válvula de alivio de presión puede estar configurada para permitir que el operario haga funcionar la cuba de procesamiento 18p a presión total o presión parcial y mantenga la presión constante mientras que los materiales pasan a través de la cuba de procesamiento 18p.

En otras implementaciones, la cuba de procesamiento 18p puede incluir un orificio de vacío (no mostrado) en lugar del respiradero 104. El orificio de vacío puede estar acoplado a una fuente de vacío y estar configurado para crear un entorno de vacío total o parcial en la cuba de procesamiento 18p. Las condiciones de vacío pueden reducir o eliminar el arrastre mientras se introducen los materiales mediante los pulverizadores 44p en el interior de la cuba de procesamiento 18p. El orificio de vacío puede estar acoplado en cualquier posición o ubicación en la cuba de procesamiento 18p. En una implementación, el orificio de vacío puede estar posicionado en la parte superior de la cuba de procesamiento 18p. En algunas aplicaciones, tales como recubrimiento por pulverización de un líquido con polvo pulverizando una fina neblina de gotas en un lecho fluidificado de polvo, las gotas tienden a permanecer separadas y no juntarse para dar partículas más grandes durante el procedimiento de pulverización. Cada gota penetra en el lecho de polvo fluidificado y se recubre antes de que gotas de líquido añadidas más recientemente tengan oportunidad de alcanzar a y unirse con las gotas pulverizadas previamente.

En la figura 17, la cuba de procesamiento 18p incluye el orificio de gas de barrido 110. El orificio de gas de barrido 110 puede inyectar gas en el interior de la cuba de procesamiento 18p. En aplicaciones de secado, puede utilizarse un gas, en bajo volumen, para reaccionar con los materiales en la cuba de procesamiento 18p. El gas puede introducirse o inyectarse a través del orificio de gas de barrido 110. En esta implementación, no se necesita un exceso de gas de reacción para la fluidificación de las partículas, porque la fluidificación es mecánica y no requiere gases, que se desperdiciarían utilizando un fluidificador de gas tradicional. Además, el pulverizador 44p, el orificio 42p, el respiradero 104, la entrada 20p y la salida 26p pueden utilizarse en combinación con el orificio de gas de barrido 110 para hacer reaccionar los materiales en la cuba de procesamiento 18p. El gas de barrido puede ubicarse a lo largo de cualquier parte de la cuba de procesamiento 18p. En una implementación, tal como se muestra en la figura 17, el orificio de gas de barrido se forma a través de la sección de fondo de la cuba de procesamiento 18p. El gas puede aplicarse a cualquier nivel o fase de la cuba de procesamiento 18p. Pueden utilizarse otras formas de secado y pulverización en diferentes configuraciones junto con otros procedimientos de pulverización, tales como el procedimiento de Wurster. El procedimiento utiliza los pulverizadores 44p para pulverizar un recubrimiento sobre partículas que se han separado unas de otras con una corriente de gas a velocidad mayor que la que se utiliza para fluidificar las partículas. El procedimiento utiliza una división en la cuba de procesamiento 18p para separar las partículas separadas que acaban de pulverizarse y las que se han pulverizado. Las partículas se secan cuando caen de nuevo al lecho fluidificado para evitar la aglomeración.

La cuba de procesamiento 18p configurada con el orificio de gas de barrido 110 puede utilizarse en muchas industrias, pero las industrias principales son los sectores alimentario, farmacéutico e industrial. Algunos ejemplos de productos producidos por cada industria son leche en polvo, café, té, cereales y especias para la industria alimentaria; antibióticos, ingredientes médicos y aditivos para la industria farmacéutica; y pigmentos de pintura y materiales cerámicos para la industria industrial. Las aplicaciones de secado por pulverización pueden utilizar equipamiento similar, si no el mismo, al especificado anteriormente para aplicaciones de recubrimiento.

La cuba de procesamiento 18p puede incluir además el dispositivo 112 de medición de temperatura. El dispositivo 112 de medición de temperatura puede estar dispuesto dentro de la cuba de procesamiento 18p. La cuba de procesamiento 18p puede estar configurada con un dispositivo 112 de medición de temperatura o múltiples dispositivos 112 de medición de temperatura. Múltiples dispositivos 112 de medición de temperatura pueden monitorizar la temperatura de los materiales dentro de la cuba de procesamiento 18p o las condiciones dentro de la cuba de procesamiento 18p. El dispositivo 112 de medición de temperatura puede estar dispuesto en diferentes niveles y fases de la cuba de procesamiento 18p y puede estar alineado con diferentes placas 22p dentro de la cuba de procesamiento 18p. La temperatura puede indicar si los materiales están fluidificándose, recubriéndose, reaccionando o mezclándose de manera sustancialmente uniforme. El dispositivo 112 de medición de temperatura puede incluir cualquier tipo de dispositivo que mide la temperatura, por ejemplo y sin limitación, termopares, detectores de temperatura por resistencia (RTD), termistores y detectores de infrarrojos.

En algunas implementaciones, el sensor de infrarrojo cercano (NIR) 114 puede utilizarse para monitorizar la cuba de procesamiento 18p durante el funcionamiento. El sensor de NIR 114 puede monitorizar el procedimiento de reacción y/o mezclado en tiempo real. El sensor de NIR 114 puede ser similar a los detectores disponibles de Goodrich ISR Systems (Princeton, NJ) que se utilizan para realizar espectroscopía por NIR. El sensor de NIR 114 puede visualizar los materiales en la cuba de procesamiento 18p a través de un material transparente a NIR. Después, puede utilizarse espectroscopía por NIR para determinar el grado de mezclado y la fase actual del procedimiento. Por ejemplo, la espectroscopía por NIR puede utilizarse para determinar si los materiales en la cuba de procesamiento 18p están suficientemente recubiertos, húmedos, secos o reaccionados.

La figura 18 muestra una cuarta cuba de procesamiento 18q a modo de ejemplo. La cuba de procesamiento 18q es similar a la cuba de procesamiento 18a, pero incluye un deflector 120 acoplado a por lo menos una de las placas 22q. La cuba de procesamiento 18q incluye además una entrada 20q, dos pulverizadores 44q, un orificio de inyección/extracción 42q, una pluralidad de placas 22q y una salida 20q. Los materiales pueden introducirse en el interior de la cuba de procesamiento 18q a través de la entrada 20q, los pulverizadores 44p y/o el orificio de inyección/extracción 42p y entrar en contacto con las placas 22q. El deflector 20q puede estar acoplado a las placas 22q para dirigir y afectar al patrón de flujo de los materiales mientras que pasan a través de la cuba de procesamiento 18q. Los deflectores 120 pueden crear una reacción y mezclado adicionales de los materiales en la cuba de procesamiento 18q debido a que hay más colisiones entre partículas. La configuración de los deflectores 120 en la cuba de procesamiento 18q puede estar diseñada basándose en los materiales que se van a mezclar y el producto final deseado.

La figura 19 muestra otra cuba de procesamiento 18r a modo de ejemplo. La cuba de procesamiento 18r incluye una entrada 20r, una pluralidad de placas 22r, dos pulverizadores 44r, un orificio de inyección/extracción 42r, una salida 26r y un respiradero blindado 122. Los materiales pueden introducirse en el interior de la cuba de procesamiento 18r a través de la entrada 20r, los pulverizadores 44p y/o el orificio de inyección/extracción 42p. Cuando los materiales entran en contacto con las placas 22r pueden desviarse en una variedad de direcciones. El respiradero blindado 122 evita que los materiales que pueden salpicar durante el funcionamiento se salgan de la cuba de procesamiento 18r en la fase errónea del procedimiento, por ejemplo, antes de que los materiales alcancen la salida 26r. En otras implementaciones, los deflectores 120 desde la cuba de procesamiento 18q pueden estar configurados para blindar el pulverizador 44r, los orificios 42r y la válvula de alivio de presión para evitar que entren materiales puedan salpicar durante el procesamiento.

La figura 20 muestra otra cuba de procesamiento 18s a modo de ejemplo. La cuba de procesamiento 18s incluye una entrada 20s, una pluralidad de placas 22s, dos pulverizadores 44s, un orificio de inyección/extracción 42s y una salida 26s. Los materiales pueden introducirse en el interior de la cuba de procesamiento 18s a través de la entrada 20s, los pulverizadores 44p y/o el orificio de inyección/extracción 42p y entran en contacto con las placas 22s. En lugar de que los materiales fluyan desde un nivel en la cuba de procesamiento 18s a través de un orificio 23e tal como se muestra en la figura 7, cada una de las placas 22s puede estar configurada con un borde 126 con forma de bisel para dirigir los materiales al siguiente nivel en la cuba de procesamiento 18s. Los bodes 126 de bisel pueden incluir un borde o esquina recortado y en ángulo recto para formar un borde con pendiente simétrico. En algunas implementaciones, las placas 22s pueden estar configuradas con una esquina con forma de radio (no mostrada), en lugar del orificio 23e o el borde 126 con forma de bisel. Las esquinas de radio pueden estar configuradas para mitigar las zonas muertas y el apelmazamiento en las esquinas de una cuba de procesamiento cilíndrica 18s.

Controlar la temperatura en el sistema de procesamiento continuo

El sistema de procesamiento 10 puede utilizarse para mezclar una variedad de procedimientos, por ejemplo, mezclado, combinación, secado, recubrimiento, separación y/o reacción de materiales que requieren adición de calor o retirada de calor. El calor puede disiparse como resultado del trabajo que se ejerce sobre materiales durante el procedimiento en la cuba de procesamiento 18. El calor puede ser indeseado, y por tanto puede ser deseable refrigerar los materiales en la cuba de procesamiento 18 o la cuba de procesamiento 18 para algunas reacciones.

Haciendo ahora referencia a la figura 21, se muestra una cuba de procesamiento controlada por temperatura 18t a modo de ejemplo. La cuba de procesamiento 18t incluye una entrada 20t, una pluralidad de placas 22t, una entrada de fluido 42t, una salida de fluido 43t y una salida 26t. La cuba de procesamiento 18t es similar a la cuba de procesamiento 18a, pero la cuba de procesamiento 18t incluye además una trayectoria 50 de fluido para controlar la temperatura de las placas 22t. La trayectoria 50 de fluido puede estar dispuesta dentro de las placas 22t para controlar la temperatura de la superficie de las placas 22t.

Los ingredientes de procesamiento pueden introducirse en el interior de la cuba de procesamiento 18t a través de la entrada 20t y entrar en contacto con las placas 22t. Durante el funcionamiento, puede generarse calor como resultado del procesamiento de los materiales en la cuba de procesamiento 18t. La trayectoria 50 de fluido puede llevar un refrigerante para refrigerar las placas 22t a través de las que pasa. En otras implementaciones, la trayectoria de fluido puede estar configurada para llevar un fluido calentado para calentar las placas 22t. En todavía otras implementaciones, la pluralidad de placas 22t puede incluir un elemento de calentamiento por resistencia (no mostrado) para controlar la temperatura de las placas 22t.

El fluido llevado por la trayectoria 50 de fluido puede introducirse a través de la entrada de fluido 42t. La entrada de fluido 42t puede estar posicionada a lo largo de por lo menos un lado de la cuba de procesamiento 18t. En algunas implementaciones, la cuba de procesamiento 18t puede incluir múltiples entradas de fluido 42t. El fluido puede descargarse fuera de la trayectoria 50 de fluido a través del orificio de salida de fluido 43t. El orificio de salida de fluido 43t puede ser similar a la salida 26t. El orificio de salida 43t puede estar posicionado a lo largo de por lo menos un lado de la cuba de procesamiento 18t. En algunas implementaciones, el orificio de salida 43t puede estar posicionado a lo largo del fondo de la cuba de procesamiento 18t. La cuba de procesamiento 18t puede incluir además múltiples orificios de salida 43t.

En algunas implementaciones, un sistema que incluye la cuba de procesamiento 18t puede incluir una bomba para captar el fluido a través de la trayectoria 50 de fluido. El sistema puede incluir también un calentador o un refrigerador para calentar o refrigerar el fluido antes de que se introduzca en la entrada de fluido 42t.

La figura 22 muestra otra cuba de procesamiento controlada por temperatura 18u a modo de ejemplo. La cuba de procesamiento 18u incluye una entrada 20u, una pluralidad de placas 22u, un orificio de entrada de fluido 42u, un orificio de salida de fluido 43u, una salida 26u y una cavidad 52. Durante algunas operaciones puede ser importante controlar la temperatura de la cuba de procesamiento 18u. La cuba de procesamiento 18u está configurada con la cavidad 52 posicionada entre una pared interior de la cuba de procesamiento 18u y una pared exterior de la cuba de procesamiento 18u. La cavidad 52 puede estar configurada para proporcionar una capa de camisa para la cuba de procesamiento 18u. La cavidad 52 puede ser una camisa de refrigeración o una camisa calefactora y puede estar dispuesta alrededor de la cuba de procesamiento 18u para mantener los materiales de dentro a una temperatura deseada durante el procedimiento. En algunas implementaciones, la cavidad 52 puede estar configurada para proporcionar una interfaz de transferencia de calor para la cuba de procesamiento 18u. Pueden introducirse fluidos calentados o refrigerados en el interior de la cavidad 52 de la cuba de procesamiento 18u a través del orificio de entrada de fluido 42u. En algunas implementaciones, los fluidos calentados o refrigerados pueden extraerse desde la cavidad 52 de la cuba de procesamiento 18u a través del orificio de salida de fluido 43u además de la salida 26u. Además, la cavidad 52 puede estar configurada entre la pared interior y la pared exterior de cualquier sección de extensión 34e o sección de base 40e, tal como se muestra en la figura 7, para controlar la temperatura de esas secciones.

Ejemplos de utilización del sistema de procesamiento continuo

Tal como se comentó anteriormente, el sistema de procesamiento 10 puede utilizarse para procesar una amplia gama de materiales en una variedad de aplicaciones. En una implementación, el sistema de procesamiento 10 puede estar configurado para inyectar diversas sustancias y combinaciones de estas sustancias, por ejemplo, líquidos, gases o sólidos en cualquier nivel de una cuba de procesamiento 18. Esta capacidad permite una eficiencia aumentada en la formación de materiales a partir de diversos productos químicos. En particular, un principal apoyo de la industria de procesamiento químico en el reactor de tanque con agitación continua (CSTR). En este tipo de reactor se inyectan productos químicos simultáneamente en el interior de una cuba, después se mezclan con una rueda de paletas. En función de los productos químicos utilizados como materia prima en la reacción, las reacciones pueden ser bastante complejas y dar como resultado una creación de productos indeseables o bajos rendimientos. El sistema de procesamiento 10 puede utilizarse para proporcionar la funcionalidad de un CSTR de manera más eficiente y con menor ocupación de espacio.

Por ejemplo, se considera un procedimiento para formar una mezcla de múltiples componentes de materiales incluyendo constituyente A, constituyente B, constituyente C y constituyente D. Se supone un constituyente A combinado con el constituyente B, esto da como resultado un producto E. Si el constituyente A no se ha mezclado completamente con el constituyente B y a su vez reacciona con otros constituyentes C y/o D, esto puede dar como resultado un subproducto indeseado. Adicionalmente, si los materiales se inyectan simultáneamente en el interior de una cuba, después se mezclan, esto puede dar como resultado una creación de un producto indeseable. La única manera de que esto pueda evitarse en un sistema de CSTR es disponer múltiples reactores de CSTR en serie, en los que el constituyente A se mezcla con el constituyente B en una cuba separada y después el producto, el constituyente E, se mezcla con el constituyente C en una cuba separada. En cambio, con el sistema de procesamiento 10, el constituyente A puede combinarse con el constituyente B para producir el producto E hasta que se completa en una fase superior de una cuba de procesamiento 18, después, en una fase inferior en la cuba de procesamiento 18, puede añadirse constituyente C al producto E sin que el constituyente C reaccione individualmente con el constituyente A o el constituyente B, ya que se han consumido anteriormente para formar el producto E sin formar el subproducto indeseable. De manera similar, puede hacerse lo mismo con el constituyente D, reduciendo así la cantidad de equipamiento necesario para producir el producto final deseado. Además, esta misma capacidad puede continuarse a través de toda la longitud del reactor para un número "n" de constituyentes y un número "n-1" de productos. Esta capacidad única evitará la necesidad de múltiples, por ejemplo, "n-1", CSTR, dando como resultado ahorros de coste significativos.

En otras implementaciones, el sistema de procesamiento 10 puede utilizarse con materiales difíciles de fluidificar que incluyen polvos cohesivos que tienden a formar huecos de rata y mostrar flujo de pistón si se fluidifica con fluidificadores convencionales. A medida que los materiales se hacen cada vez más pequeños, tienden a hacerse más cohesivos. Los materiales farmacéuticos son normalmente muy cohesivos. Los principios activos farmacéuticos (API) típicos se encuentran dentro del tamaño de partícula y grupos de Geldart de polvos. Los agrupamientos de Geldart de polvos se utilizaron por primera vez por el profesor Geldart para describir y caracterizar diferentes polvos en función de cómo se fluidifican en fluidificadores accionados neumáticamente. Los polvos del grupo C son polvos que son cohesivos de cualquier manera. Es extremadamente difícil fluidificar polvos del grupo C utilizando fluidificadores convencionales tales como un lecho neumático y un lecho neumático vibratorio debido a que los polvos se elevan como un pistón en tubos o canales de pequeño diámetro (forman huecos de rata). Puede aplicarse agitación mecánica para ayudar a evitar los fenómenos anteriormente mencionados, pero no se garantiza que este enfoque funcione. El flujo de pistón no provoca fluidificación y los canales sólo provocan fluidificación local y ambos son indeseables para aplicaciones de recubrimiento por pulverización debido a que, sin una renovación uniforme y constante del material, el pulverizador provocará zonas ricas en líquido que forman grumos.

Utilizando el sistema de procesamiento 10 para fluidificar de manera uniforme el material, puede utilizarse una cuba de procesamiento 18 configurada con un pulverizador 44 tal como se muestra en la figura 17, para pulverizar continuamente sobre material nuevo y evitar la formación de grumos. Puesto que el sistema de procesamiento 10 no se basa en elementos neumáticos para formar el lecho fluidificado, la pulverización también puede aplicarse en condición casi de vacío. Además, el modo de fluidificación provocado por este procedimiento de mezclado puede hacer reaccionar y mezclar incluso partículas muy pequeñas, por ejemplo, partículas micrométricas, submicrométricas y nanométricas, que tenderían a transportarse fuera de la cuba por el aire de fluidificación, utilizado en otros sistemas de procesamiento.

El solicitante sometió a prueba varias aplicaciones del sistema de procesamiento 10. Se describen brevemente a continuación. En todos los ejemplos a continuación, se utilizó el sistema de procesamiento 10a, tal como se muestra en la figura 1. El sistema de procesamiento 10a incluye la cuba de procesamiento 18a acoplada de forma amovible al agitador acústico 11a.

Mezclado de sistemas de polvo-polvo

En un primer ejemplo, el sistema de procesamiento 10a puede utilizarse para mezclar sistemas de polvo-polvo. Es frecuente en tales procedimientos de mezclado que cada polvo sea similar en cuanto a densidad pero presente intervalos de tamaño de partícula muy diferentes. Se realizó un experimento para cuantificar la eficacia de mezclado cuando se mezcla el 95 por ciento en peso (% en peso) de azúcar granulado y el 5% en peso de polvo de D-glucosa (dextrosa). El polvo de D-glucosa contenía a su vez el 0.25 por ciento en peso de un aditivo de flujo. El azúcar granulado presentaba un tamaño de partícula nominal de 600 micrómetros (μm) mientras que el polvo de D-glucosa presentaba un tamaño de partícula nominal de 100 μm . La densidad aparente del azúcar granulado era de 0.80-0.88 gramos por centímetro cúbico (g/cc). La densidad aparente de la D-glucosa era de 0.64 g/cc.

Cada material se añadió al sistema de procesamiento 10a utilizando un alimentador de polvo volumétrico independiente. El constituyente minoritario, la D-glucosa, se añadió a una velocidad de 15 ± 0.5 gramos por minuto (g/min) mientras que el componente mayoritario, el azúcar granulado, se añadió a una velocidad de 283.4 ± 5 g/min. El sistema de procesamiento 10 se hizo funcionar con $f = 60$ g de aceleración, siendo una g de aceleración la fuerza de la gravedad. Se utilizaron tazas de muestreo para capturar muestras de dos segundos de duración de material

que salía de la cuba de procesamiento 18a. Se recogieron diez muestras para análisis para determinar la sistematicidad de la concentración de D-glucosa.

5 El procedimiento de prueba utilizado para cuantificar las concentraciones de D-glucosa (dextrosa) en muestras de polvo utiliza el analizador de bioquímica YSI 2700 Select (Yellow Springs, OH). El principio de funcionamiento del ensayo se basa en la conversión enzimática (glucosa oxidasa) de la glucosa para dar peróxido de hidrógeno y un subproducto (D-glucono- δ -lactona). El peróxido de hidrógeno se oxida electroquímicamente en el ánodo del sensor de sonda, produciendo una corriente de señal indicativa de la concentración original de D-glucosa. Después se analizaron estadísticamente los resultados de concentración para determinar la desviación estándar relativa (% de DER) que es una medida habitual utilizada para describir la calidad de mezclado para sistemas de polvo-polvo. Este experimento produjo una DER del 6.7% para la mezcla de azúcar granulado-polvo de glucosa.

Mezclado de sistemas de polvo-polvo para la industria farmacéutica

15 En un segundo ejemplo, el sistema de procesamiento 10a puede utilizarse para el procesamiento de sistemas de polvo-polvo para productos farmacéuticos. En la industria farmacéutica, el polvo de celulosa microcristalina es uno de los excipientes habituales utilizados para portar principios activos farmacéuticos (API). Se realizó un experimento para cuantificar la eficacia de mezclado del sistema de procesamiento cuando se mezcló el 95% en peso de polvo de celulosa microcristalina Avicel® PH-200 con el 5% en peso de polvo de D-glucosa (dextrosa) que contenía el 0.25% en peso de aditivo de flujo. Avicel® PH-200 presenta una mediana del tamaño de partícula de 210 μ m mientras que el tamaño de partícula del polvo de D-glucosa es nominalmente de 100 μ m. Avicel® PH-200 presenta una densidad aparente de 0.29-0.36 g/cc en comparación con una densidad aparente de 0.64 g/cc para la D-glucosa.

25 Cada material se añadió al sistema de procesamiento 10a utilizando un alimentador de polvo volumétrico independiente. El constituyente minoritario, la D-glucosa, se añadió a una velocidad de 4.5 ± 0.1 g/min mientras que el componente mayoritario, Avicel® PH-200, se añadió a una velocidad de 102 ± 1 g/min. El sistema de procesamiento 10a se hizo funcionar con aproximadamente 60 g de aceleración. Se utilizaron tazas de muestreo para recoger muestras de dos segundos de duración de material que salía de la cuba de procesamiento 18a. Se recogieron diez muestras para análisis para determinar la sistematicidad de la concentración de D-glucosa.

35 El procedimiento de prueba utilizado para cuantificar las concentraciones de D-glucosa (dextrosa) en muestras de polvo utiliza el analizador de bioquímica YSI 2700 Select (Yellow Springs, OH). El principio de funcionamiento del ensayo se basa en la conversión enzimática (glucosa oxidasa) de la glucosa para dar peróxido de hidrógeno y un subproducto (D-glucono- δ -lactona). El peróxido de hidrógeno se oxida electroquímicamente en el ánodo del sensor de sonda, produciendo una corriente de señal indicativa de la concentración original de la D-glucosa. Después se analizaron estadísticamente los resultados de concentración para determinar la desviación estándar relativa (% de DER) que es una medida habitual utilizada para describir la calidad de mezclado para sistema de polvo-polvo. Este experimento produjo una DER del 2.7% para la mezcla de polvo de celulosa microcristalina-polvo de glucosa.

Mezclado de sistema de polvo-polvo con salida restringida

45 En un tercer ejemplo, el sistema de procesamiento 10a puede utilizarse para el procesamiento de sistemas de polvo-polvo en los que la cuba de procesamiento 18a presenta una salida 26a restringida. Se realizó un experimento para cuantificar las características de mezclado del mezclado de polvo-polvo cuando la cuba de procesamiento 18a se configuró con la salida 26a restringida. El experimento utilizó el 95% en peso de polvo de celulosa microcristalina Avicel® PH-200 y el 5% en peso de polvo de D-glucosa (dextrosa) que contenía el 0.25% en peso de aditivo de flujo. Avicel® PH-200 presenta una mediana del tamaño de partícula de 210 μ m mientras que el tamaño de partícula de polvo de D-glucosa es nominalmente de 100 μ m. Avicel® PH-200 presenta una densidad aparente de 0.29-0.36 g/cc en comparación con una densidad aparente de 0.64 g/cc para la D-glucosa.

55 Cada material se añadió a la cuba de procesamiento 18a utilizando un alimentado de polvo volumétrico independiente. El constituyente minoritario, la D-glucosa, se añadió a una velocidad de 4.5 ± 0.1 g/min mientras que el componente mayoritario, Avicel® PH-200, se añadió a una velocidad de 102 ± 1 g/min. El sistema de procesamiento 10 se hizo funcionar con una aceleración de aproximadamente 60 g. La cuba de procesamiento 18a se hizo funcionar durante 12 minutos para establecer una condicionar de estado estacionario. En ese momento, mientras todavía se hacía funcionar, se colocó un tapón en la salida de la cuba de procesamiento 18a para bloquear completamente el flujo. El sistema de procesamiento 10a se hizo funcionar durante cuatro minutos adicionales para permitir una acumulación de material dentro de la cuba de procesamiento 18a en la fase más baja antes de la salida 26a. En este punto en el tiempo, se paró el sistema de procesamiento 10a mientras que simultáneamente se paraban los flujos de polvo de entrada. Se retiraron los lados del sistema de procesamiento 10a para exponer el material en el fondo del aparato. Se utilizó un captador de muestras para recoger muestras de dos gramos en cinco ubicaciones a través del material que se acumuló en el fondo de la cuba de procesamiento 18a. Después se utilizaron estas muestras para determinar la sistematicidad de la concentración de D-glucosa.

El procedimiento de prueba utilizado para cuantificar las concentraciones de D-glucosa (dextrosa) en muestras de polvo utiliza el analizador de bioquímica YSI 2700 Select (Yellow Springs, OH). El principio de funcionamiento del ensayo se basa en la conversión enzimática (glucosa oxidasa) de la glucosa para dar peróxido de hidrógeno y un subproducto (D-glucono- δ -lactona). El peróxido de hidrógeno se oxida electroquímicamente en el ánodo del sensor de sonda, produciendo una corriente de señal indicativa de la concentración original de D-glucosa. Después se analizaron estadísticamente los resultados de la concentración para determinar la desviación estándar relativa (% de DER) que es una medida habitual utilizada para describir la calidad de mezclado para sistemas de polvo-polvo. Este experimento produjo una DER del 4.6% para la mezcla de polvo de celulosa microcristalina-polvo de glucosa que se mantuvo en la salida.

Establecer transporte de masa mejorado

En un cuarto ejemplo, el sistema de procesamiento 10a puede utilizarse para establecer un transporte mejorado de materiales. Se realizó un experimento para cuantificar un indicador importante para llevar a cabo reacciones químicas, por ejemplo, transporte de masa de gas-líquido. Con el fin de ilustrar que esta implementación produce unas condiciones de procesamiento químico atractivas, se llevaron a cabo algunas pruebas preliminares. Estas pruebas, cuyos resultados se muestran en la figura 23, implicaron medir la velocidad de transferencia de oxígeno de la siguiente manera. Se utilizó nitrógeno que fluía en co-corriente a 10 ó 20 l/min para expulsar oxígeno en agua que fluía a 61 l/min a través de un prototipo de mezclador continuo diseñado originalmente para mezclado de polvo-polvo y mostrado en la figura 23, que muestra un gráfico de los datos de velocidad de transferencia de masa de oxígeno preliminares obtenidos durante esta prueba. Aunque la cuba de procesamiento utilizada en estas pruebas no estaba diseñada específicamente para el flujo de líquido y la razón de agua con respecto a nitrógeno utilizada en estos experimentos no estaba optimizada, los valores de $k_L a$ de 0.5 s^{-1} son muy buenos, (los puntos de datos más altos representados como triángulos blancos conectados a través de líneas discontinuas estaban demasiado desoxigenados en la salida como para calcular los valores de $k_L a$). Los valores de $k_L a$ obtenidos en estos experimentos preliminares superan en gran medida los valores que pueden alcanzarse en CSTR, que normalmente están comprendidos entre 0.01 y 0.05 s^{-1} , logrando los valores notificados más altos tan sólo 0.2 s^{-1} . Esta implementación puede utilizarse como una cuba de procesamiento específicamente para sistemas de múltiples fases basados en líquido que presentarán condiciones de funcionamiento optimizadas (velocidad de flujo, aceleración, razón de gas/líquido y tiempo de retención). Debido a la alta área entre fases producida por la naturaleza turbulenta de la agitación, la optimización de las condiciones de prueba dará como resultado aumentos de $k_L a$ con respecto a los resultados presentados en la figura 23.

La figura 24 muestra un ejemplo ilustrativo de materiales durante el funcionamiento del sistema de procesamiento 10a. La figura 24 muestra la capacidad del sistema de procesamiento 10a para crear una espuma reforzadora para transporte de masa superior a través de fases. Adicionalmente, el sistema de procesamiento 10a permite el mezclado de dos o tres fases (gas/líquido/sólido o líquido/gas). La implementación mostrada en la figura 24 utiliza una canalización acústica para inducir un campo de velocidad de disipación de energía uniforme a través de una cuba de procesamiento, tal como la cuba de procesamiento 18a tal como se muestra en la figura 1, para un transporte de masa mejorado. Tal como se ilustra en la figura 24, la canalización acústica crea flujo en masa mientras que la interacción de los materiales de dos o tres fases con las ondas acústicas crea movimiento caótico a escala micrométrica dando como resultado una condición de espuma. La espuma es esencialmente espuma transitoria que maximiza la superficie de contacto de gas/líquido mientras que se rompe y reforma constantemente para mantener gas y líquido nuevos en la superficie de contacto.

Establecer flujo de materiales mejorado

En un quinto ejemplo, el sistema de procesamiento 10a puede utilizarse para procedimientos de líquido-líquido en los que la cuba de procesamiento 18a presenta una salida 26a restringida. En este ejemplo, el sistema de procesamiento 10a incluía dos tolvas 8a, un armazón de soporte 9a y una cuba de procesamiento 18a acoplada a un agitador acústico 11a. El agitador acústico 11a incluía un armario eléctrico 12a y un ensamblaje 14a de resonancia. La cuba de procesamiento 18a estaba configurada con 12 placas 22a de 8" x 8" y cada placa presentaba una pendiente de aproximadamente 1.43° . Adicionalmente, cada una de las placas 22a estaba configurada con 8 orificios 23a cortados en un extremo de la placa 22a para permitir que la disolución acuosa fluyera al siguiente nivel en la cuba de procesamiento 18a. Los orificios 23a estaban configurados para estar abiertos al 100%.

Se realizó un experimento para cuantificar las características de mezclado del mezclado de líquido a líquido cuando la cuba de procesamiento 18a estaba configurada con la salida 26a restringida. La corriente de líquido principal utilizada en este experimento era agua de grifo local con una conductividad de referencia de entre 150 y $250 \mu\text{S}$. Se colocó una segunda disolución acuosa que contenía $100,000 \text{ ppm}$ de cloruro de sodio en la tolva 8a alimentada por gravedad de dos válvulas. La conductividad de la corriente de líquido que salía de la cuba de procesamiento se monitorizó directamente en la corriente de salida utilizando una sonda de conductividad en línea (Cole-Parmer 19500-45) y una caja de control AlphaCon 200 (Cole-Parmer).

La corriente de líquido principal se reguló con un caudalímetro a 17 l/min con una primera entrada de flujo 2a fijada en la parte superior de la cuba de procesamiento 18a, mientras que la disolución salina concentrada se añadió a través de una segunda entrada de flujo 2b, también fijada en la parte superior de la cuba de procesamiento 18a. La velocidad de flujo inicial del concentrado se estableció a 150 g/min y se ajustó hasta que el líquido que salía de la cuba de procesamiento presentaba una conductividad sistemática de 1600 a 1700 μS . El sistema de procesamiento 10a se hizo funcionar con una amplitud pico de aproximadamente 50 g de aceleración. La cuba de procesamiento 18a se hizo funcionar durante 3 minutos para establecer una condición de estado estacionario. En este momento, mientras que aún se hacía funcionar, se apagó la alimentación de disolución de sal concentrada. El sistema de procesamiento 10a se hizo funcionar durante 2 minutos adicionales para permitir lavar toda la disolución de sal que permanecía en la cuba de procesamiento 18a. Se midió y registró la conductividad a intervalos de 0.5 s a lo largo de la ventana de 4 minutos descrita anteriormente para producir una función escalón, en este caso la función de lavado, $W(t)$. La integración de esta curva (ec. 1, proporcionada a continuación) proporcionó el tiempo de residencia promedio (\bar{t}) de un paquete de partículas que estaba presente en la cuba de procesamiento 18. Para este experimento, se determinó que era de 17.5 s.

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} W(t) dt \quad \text{ec. 1}$$

Dividiendo el tiempo medido entre el tiempo de residencia promedio, se obtuvieron unidades de tiempo adimensionales y la función de lavado $W(t)$ representada gráficamente en estas unidades está contenida en la figura 25. Esta medición permite comparar la cuba de procesamiento 18a con otros sistemas, por ejemplo, CSTR, reactor de flujo de pistón (PFR), y sistemas de flujo de tuberías laminares, independientemente del tamaño de los sistemas relativos. Utilizando los datos de la función de lavado y la ecuación 2 (proporcionada a continuación) se determinó que la variancia adimensional era de 0.023, lo que indica que la distribución de flujo se aproxima a las prestaciones de flujo de pistón ($\sigma^2 = 0$).

$$\sigma^2 = \frac{\int_0^{\infty} t^2 W(t) dt}{(\bar{t})^2} - 1 \quad \text{ec. 2}$$

Una manera de modelar la forma de la función de lavado u otras funciones escalón es ajustar la curva como si fuera de algún número, N , de reactores de tanque con agitación continua de igual volumen dispuestos en serie. La función escalón teórica que corresponde a N reactores en serie puede describirse mediante la ecuación 3 (proporcionada a continuación), donde $F(t)$ es la función escalón, N es el número de reactores de tanque con agitación equivalentes, y $\theta = t/\bar{t}$ es el tiempo adimensional.

$$F(t) = 1 - e^{-N\theta} \left[1 + N\theta + \frac{(N\theta)^2}{2!} + \dots + \frac{(N\theta)^{N-1}}{(N-1)!} \right] \quad \text{ec. 3}$$

La función escalón medida se representa gráficamente en comparación con un intervalo de N tanques con agitación teóricos equivalentes en la figura 26. A partir de la representación gráfica en la figura 26, está claro que la combinación líquido a líquido de materiales fluyen a través de la cuba de procesamiento 18a a una velocidad que se aproxima al flujo de pistón con una curva de lavado equivalente a aproximadamente 30 reactores de tanque con agitación continua en serie. El límite práctico para la utilización de reactores de tanque con agitación continua en serie, independientemente de la configuración, es de cinco. La cercanía del reactor acústico continuo 18a al flujo de pistón ideal ($N > 5$), a la vez que se proporciona mezclado axial caótico, es un parámetro deseable y puede esperarse que dé como resultado una conversión mejorada en el mezclado de líquido reactivo. Las modificaciones en la entrada y salida de la cuba de procesamiento pueden tener un impacto sobre la forma exacta de la curva de la función de lavado empujándola adicionalmente hacia flujo de pistón o mixto según requiera la aplicación.

La figura 27, que muestra una comparación de la función de lavado del tiempo de residencia del sistema de procesamiento 10a, utilizando datos a partir de experimentos similares, en comparación con un sistema de CSTR, un sistema de PFR y un sistema de tubería laminar, en condiciones similares. La función de lavado del sistema de procesamiento 10a estaba más cerca de la ideal que los otros sistemas, pero con más carácter de flujo de pistón que el sistema de CSTR, el sistema de PFR sistema y el sistema de flujo laminar. Para un experimento, el sistema de procesamiento 10a estuvo funcionando a una aceleración de 50 g y la velocidad de flujo de entrada de agua se estableció a 3.0 gpm. Para el segundo experimento, el sistema de procesamiento 10a seguía funcionando a una aceleración de 50 g, pero la velocidad de entrada de agua se ajustó a 4.5 gpm. Tal como se muestra en la figura 27, el sistema de procesamiento 10a presentó buena repetitividad, ya que ambos experimentos dieron como resultado perfiles de curva de lavado similares a pesar de velocidades de entrada de agua diferentes.

Los datos a partir de las figuras 25-27 muestran que el sistema de procesamiento 10a presentan mejores propiedades de flujo y mezclado y una velocidad de flujo más cercana a la ideal que otros reactores en la industria.

La mayor velocidad de flujo puede utilizarse para reducir el retomezclado, cuando sea necesario, y permite que el sistema de procesamiento 10a funcione cercano a un reactor de flujo de pistón ideal. Como resultado, el sistema de procesamiento 10a es beneficioso para llevar a cabo reacciones químicas normalmente adecuadas para reacciones de flujo de pistón, por ejemplo, reacciones competitivas-consecutivas y reacciones competitivas-paralelas. Las reacciones competitivas-consecutivas son reacciones que implican dos reacciones que compiten. Una primera reacción produce un producto final deseado, y la segunda reacción indeseada consume el producto final deseado de la primera reacción proporcionando un subproducto indeseado. En reacciones competitivas-paralelas, dos reacciones simultáneas compiten por un reactivo limitante, formando un producto deseado y uno indeseado. Ambas clases de reacciones son particularmente sensibles al tiempo de mezclado y la completitud.

La eficiencia y completitud de reacciones competitivas-consecutivas y competitivas-paralelas dependen de la rapidez y completitud con las que se combinen los reactivos. Como tal, se desean reactores que presentan un alto grado de micromezclado y juntan la mayor cantidad de reactivo en un corto periodo de tiempo. Estas funciones se caracterizan por un número de Peclet.

Para reacciones químicas, se define que el número de Peclet es la razón de la velocidad de transporte de masa por convección con respecto a la velocidad de transporte de masa por difusión, o dispersión. El número de Peclet, Pe , se describe por la ec. 4 a continuación, donde D es el coeficiente de dispersión para el sistema y u y L son la velocidad lineal y la longitud de trayectoria a través del reactor, respectivamente.

$$Pe = \frac{uL}{D} \quad \text{ec. 4}$$

Por tanto, un número de Pe mayor indica que el sistema presenta menos dispersión y presenta más carácter de flujo de pistón que un sistema con un número de Pe más pequeño. El número de Pe está relacionado con la variancia adimensional, σ^2 , según la ecuación 5, de manera que en la práctica los datos de lavado descritos anteriormente proporcionan suficiente información para obtener el número de Pe .

$$Pe = \frac{2}{\sigma^2} \quad \text{ec. 5}$$

En el sistema de procesamiento 10a descrito anteriormente la variancia adimensional era de 0.023, de manera que el número de Pe correspondiente para el sistema es de 87. Los sistemas con números de Pe mayores que 78 pueden modelarse como que sólo presentan una pequeña desviación con respecto al flujo de pistón ideal. Esto demuestra que el sistema de procesamiento 10a, y otros sistemas que presentan una arquitectura similar son particularmente adecuados para reacciones competitivas, incluyendo reacciones tanto competitivas-consecutivas como competitivas-paralelas.

La figura 28 muestra una vista en despiece ordenado de una cuba de procesamiento 18v. La figura 29 representa una vista aumentada de la cuba de procesamiento 18v para mostrar mayor detalle. La cuba de procesamiento 18v es similar a la cuba de procesamiento 18d mostrada en la figura 6a. Sin embargo, la cuba de procesamiento 18v incluye además secciones de cuba para ajustar el tamaño de hueco entre niveles y para aumentar la adaptabilidad de la cuba de procesamiento 18v. Las secciones de cuba pueden incluir secciones de placa de cuba 22v. La superficie de las secciones de placa de cuba 22v pueden estar configuradas de diversas maneras para adaptarse a diferentes tipos de materiales que se van a mezclar o hacer reaccionar en la cuba de procesamiento 18v. En algunas implementaciones, la superficie de las secciones de placa de cuba 22v puede estar configurada con orificios 23v formados a través de la placa 22v para permitir que los materiales fluyan a un siguiente nivel en la cuba de procesamiento 18v. Los orificios 23v pueden estar formados en el extremo de las placas de sección de cuba 22v. El ángulo de las secciones de placa de cuba 22v puede estar configurado para dirigir los materiales hacia los orificios 23v, el ángulo de las placas 22v de sección de cuba puede variar de una sección de placa de cuba 22v a otra. Los ángulos de las secciones de placa de cuba 22v pueden estar configurados dependiendo de los materiales que se van a reaccionar y del producto final deseado.

Las secciones de cuba pueden incluir además las secciones de divisor de cuba 24v. Las secciones de divisor de cuba 24v pueden estar ubicadas entre las secciones de placa de cuba 22v y pueden ser de diversos tamaños dependiendo del tamaño de hueco deseado entre los niveles en la cuba de procesamiento 18v. El número de secciones de divisor de cuba ubicadas entre las secciones de placa de cuba puede variar desde cero, hasta uno, hasta tantas como se requieran para crear el tamaño de hueco deseado. Los diferentes tamaños de hueco crean diferentes fases de reacción en la cuba de procesamiento 18v, de manera que el número de secciones de divisor de cuba 24v utilizadas entre cada sección de placa de cuba 22v adyacente pueda depender también del producto final deseado. Las secciones de divisor de cuba 24v pueden incluir orificios formados a través de un lado o borde para introducir o extraer materiales a partir de la cuba de procesamiento 18v en diversos niveles. En algunas implementaciones, las secciones de divisor de cuba 24v pueden presentar orificios formados a través de un lado o borde de la cuba de procesamiento 18v para introducir dispositivos de medición de temperatura y/o sensores de NIR. En otras implementaciones, las secciones de divisor de cuba 24v pueden presentar respiraderos formados a

ES 2 734 516 T3

través de un lado o un borde para permitir que entre y salga aire o gas de la cuba de procesamiento 18v. En todavía otras implementaciones, las secciones de divisor de cuba 24v pueden presentar un orificio de vacío formado a través de un lado o un borde para crear condiciones de vacío en la cuba de procesamiento 18v. En una implementación, las secciones de divisor de cuba 24v pueden presentar una válvula de alivio de presión formada a través de un lado o un borde para controlar la presión en la cuba de procesamiento 18v.

La cuba de procesamiento 18v puede incluir además una sección de base 40v, una salida 26v, una sección de salida inferior 29v, varillas 25v de alineamiento, elementos de fijación 36v, una placa superior 27v y una entrada 20v. La sección de base 40v puede estar configurada con orificios roscados previamente perforados para recibir un extremo de las varillas 25v de alineamiento. Las varillas 25v de alineamiento pueden utilizarse para soportar la sección de salida inferior 29v, las secciones de placa de cuba 22v, las secciones de divisor de cuba 24v y la placa superior 27v en su lugar. Las varillas 25v de alineamiento se enroscan en los orificios previamente perforados de, o se fijan de otra manera de forma segura a, la sección de base 40v y sobresalen una altura predeterminada.

Una vez que las varillas 25v de alineamiento están en su lugar, la sección de salida inferior 29v puede situarse en la sección de base 40v utilizando las varillas 25v de alineamiento. La sección de salida inferior 40v puede estar configurada con múltiples orificios de alineación previamente moldeados, colados o perforados para insertar las varillas 25v de alineamiento a través de los mismos, deslizar hacia abajo la sección de salida inferior 29v, y acoplar la sección de salida inferior 29v a la sección de base 40v. Después, una sección de placa de cuba 22v puede situarse en la parte superior de sección de salida inferior 29v utilizando las varillas 25v de alineamiento. Las secciones de placa de cuba 24v pueden estar configuradas con múltiples orificios de alineamiento previamente moldeados, colados o perforados para insertar las varillas 25v de alineamiento a través de los mismos, deslizar hacia abajo las secciones de placa de cuba 22v y acoplar la sección de placa de cuba 22v a la sección de salida inferior 29v, a otra sección de placa de cuba 22v o a las secciones de divisor de cuba 24v. Después, una sección de divisor de cuba 24v puede situarse en la parte superior de las secciones de placa de cuba 22v utilizando las varillas 25v de alineamiento. Las secciones de divisor de cuba pueden estar configuradas con orificios previamente moldeados, colados o perforados para insertar las varillas 25v de alineamiento a través de los mismos, de manera similar a las secciones de placa de cuba 22v, la sección de salida inferior 29v y la sección de base 40v. Las secciones de divisor de cuba 24v pueden deslizarse hacia abajo por las varillas 25v de alineamiento hasta estar situadas encima de una de las secciones de placa de cuba 22v. En algunas implementaciones, puede situarse más de una sección de divisor de cuba encima de las secciones de placa de cuba 22v para crear un tamaño de hueco más grande entre por lo menos dos de las secciones de placa de cuba 22v en la cuba de procesamiento 18v.

Una vez que se ha creado el tamaño de hueco deseado, otra sección de placa de cuba 22v puede situarse en la parte superior sección de divisor de cuba 24v utilizando las varillas 25v de alineamiento. La sección de placa de cuba 22v puede deslizarse hacia abajo por las varillas de alineamiento hasta estar situada en la parte superior de la sección de divisor de cuba 24v.

Estas etapas pueden repetirse, añadiendo secciones de placa de cuba 22v y secciones de divisor de cuba 24v hasta que la cuba de procesamiento 18v está configurada al tamaño deseado. Una vez que la cuba de procesamiento 18v ha alcanzado el tamaño deseado, una placa superior 27v puede situarse en la parte superior de la configuración de secciones de placa de cuba 22v y secciones de divisor de cuba 24v instaladas anteriormente. Una entrada 20v puede estar formada a través de la placa superior 27v para introducir materiales en la cuba de procesamiento 18v. La placa superior 27v puede estar configurada con múltiples orificios de alineamiento previamente moldeados, colados o perforados para insertar las varillas 25v de alineamiento a través de los mismos. Después, un conjunto de elementos de fijación 36v pueden asegurar la placa superior 27v a las varillas 25v de alineamiento. Haciendo esto, los elementos de fijación 36v pueden asegurar la configuración de secciones de placa de cuba 22v y secciones de divisor de cuba 24v entre sí para crear la cuba de procesamiento 18v. En algunas implementaciones, las varillas 25v de alineamiento pueden presentar extremos roscados para enroscar un elemento de fijación 36v en las mismas. Los elementos de fijación 36v pueden incluir una combinación de pernos y arandelas para asegurar la placa superior 27v a la cuba de procesamiento 18v. En algunas otras implementaciones, una o más secciones de divisor de cuba 24v pueden estar posicionadas entre la sección de salida inferior 40v y la primera sección de placa de cuba 22v. Adicionalmente, pueden colocarse unas juntas tóricas entre dos secciones de cuba cualesquiera para crear un sello mejor entre las secciones.

A los expertos en la materia se les ocurrirán muchas variaciones de la presente solicitud. Algunas variaciones incluyen la aplicación con calentamiento posterior. Otras variaciones requieren la aplicación utilizando pulverización térmica. Se pretende que todas estas variaciones estén dentro del alcance y espíritu de la presente solicitud.

Aunque se muestra que algunas implementaciones incluyen determinadas características o etapas, los solicitantes contemplan específicamente que cualquier característica o etapa divulgada en la presente memoria puede utilizarse junto o en combinación con cualquier otra característica o etapa en cualquier implementación de la presente solicitud. También se contempla que cualquier característica o etapa puede excluirse específicamente de cualquier implementación de la presente solicitud.

Aunque la divulgación se ha divulgado en relación con las implementaciones mostradas y descritas en detalle, diversas modificaciones y mejoras de las mismas resultarán fácilmente evidentes para los expertos en la materia.

REIVINDICACIONES

1. Sistema (10) para procesar de manera continua una combinación de materiales, comprendiendo el sistema:

5 un agitador acústico (11) capaz de ser acoplado de manera amovible a una cuba de procesamiento (18);

una cuba de procesamiento (18) continuo que comprende:

10 una primera entrada (20) configurada para introducir por lo menos un ingrediente de procesamiento;

una pluralidad de placas (22) configuradas para dirigir un flujo de dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento hacia abajo a través de la cuba de procesamiento continuo y capaces de transferir energía acústica generada por el agitador acústico a dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento;

15 una salida (26) para descargar un producto de dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento después de que dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento pase a través de por lo menos una parte de la cuba de procesamiento continuo mientras está expuesto a la energía acústica transferida por al menos una de entre la pluralidad de placas; y

20 un elemento de fijación para acoplar de manera amovible la cuba de procesamiento continuo al agitador acústico;

en el que el agitador acústico está configurado para hacer oscilar la cuba de procesamiento continuo de manera que la energía acústica penetre en todo el contenido de la cuba de procesamiento continuo mientras dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento fluye hacia abajo a través de la cuba de procesamiento continuo por medio de por lo menos una fuerza gravitatoria; y

en el que la energía acústica generada por el agitador acústico presenta una frecuencia de menos de 1 kHz.

30 2. Sistema según la reivindicación 1, en el que la primera entrada está posicionada en la parte superior de la cuba de procesamiento.

35 3. Sistema según la reivindicación 1, en el que la cuba de procesamiento está configurada con múltiples niveles, comprendiendo cada nivel por lo menos una de entre la pluralidad de placas.

40 4. Sistema según la reivindicación 1, en el que un ángulo de placa de por lo menos dos de entre la pluralidad de placas están dispuestas formando ángulos diferentes.

45 5. Sistema según la reivindicación 4, en el que el ángulo de placa está comprendido entre 1 grado y 75 grados.

50 6. Sistema según la reivindicación 1, en el que la superficie de por lo menos una de entre la pluralidad de placas presenta una pluralidad de aberturas (73) formadas a través de las mismas para servir como tamiz.

55 7. Sistema según la reivindicación 1, en el que por lo menos una de entre la pluralidad de placas comprende asimismo un orificio (23) para permitir que dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento fluya al siguiente nivel en la cuba de procesamiento.

60 8. Sistema según la reivindicación 1, que comprende asimismo unos deflectores (120) acoplados a la pluralidad de placas o formados de manera solidaria con las mismas.

65 9. Sistema según la reivindicación 1, en el que el elemento de fijación está fijado de manera sustancialmente permanente a, o formado de manera solidaria con, uno de entre el agitador acústico y la cuba de procesamiento.

70 10. Sistema según la reivindicación 1, en el que el elemento de fijación comprende por lo menos uno de entre un: tornillo, tuerca, perno, pinza, elemento de fijación roscado, o fiador.

75 11. Sistema según la reivindicación 1, en el que el agitador acústico está configurado para generar un campo de cizallamiento casi uniforme a través de sustancialmente toda la cuba de procesamiento continuo.

80 12. Procedimiento para procesar de manera continua una combinación de materiales, comprendiendo el procedimiento:

85 acoplar de manera amovible una cuba de procesamiento (18) a un agitador acústico (11), comprendiendo la cuba de procesamiento una pluralidad de placas (22) configuradas para dirigir un flujo de por lo menos un ingrediente de procesamiento a través de la cuba de procesamiento y capaces de transferir la energía acústica generada por el agitador acústico a dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento;

introducir, por una primera entrada (20), dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento;

5 proporcionar, mediante un agitador acústico, energía acústica a la pluralidad de placas haciendo oscilar la cuba de procesamiento continuo de manera que la energía acústica penetre en todo el contenido de la cuba de procesamiento continuo mientras dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento fluye hacia abajo a través de la cuba de procesamiento continuo por medio de por lo menos una fuerza gravitatoria; y

10 descargar, a través de una salida (26), un producto de dicho por lo menos uno de entre el ingrediente de procesamiento, después de que dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento pase hacia abajo a través de por lo menos una parte de la cuba de procesamiento mientras está expuesto a la energía acústica transferida al mismo mediante dicha por lo menos una de entre la pluralidad de placas;

15 en el que la energía acústica generada por el agitador acústico presenta una frecuencia de menos de 1 kHz.

20 13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que la cuba de procesamiento comprende múltiples niveles, comprendiendo cada nivel por lo menos una de entre la pluralidad de placas y comprendiendo asimismo: controlar el flujo de dicho por lo menos un ingrediente de procesamiento de un nivel al siguiente nivel de la cuba de procesamiento cambiando un ángulo de placa de por lo menos una de entre la pluralidad de placas.

14. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que el procesamiento comprende una reacción química y el ingrediente de procesamiento comprende un reactivo químico.

25 15. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que el procesamiento comprende una de entre una reacción química competitiva-consecutiva y una competitiva-paralela.

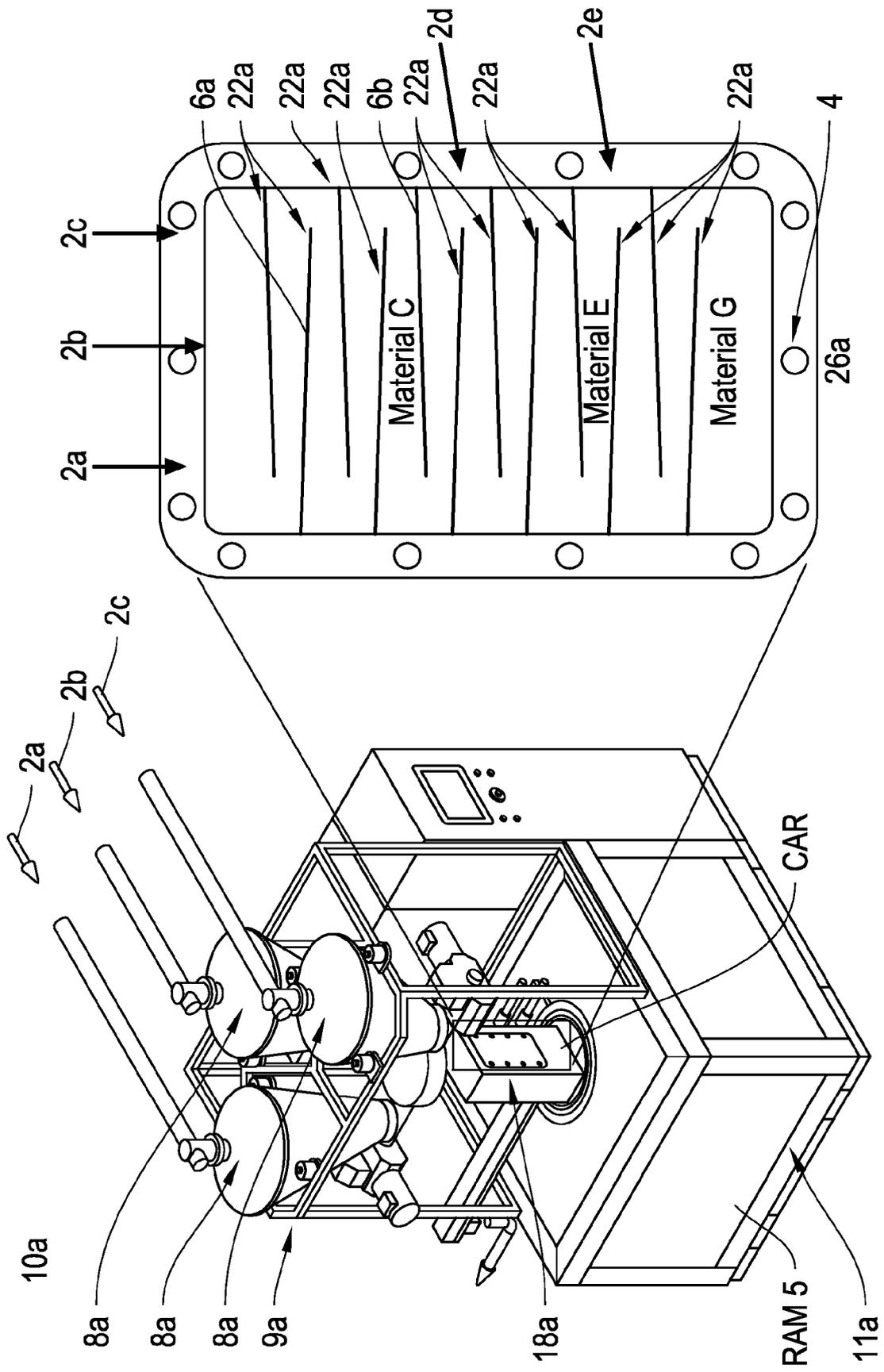


Figura 1

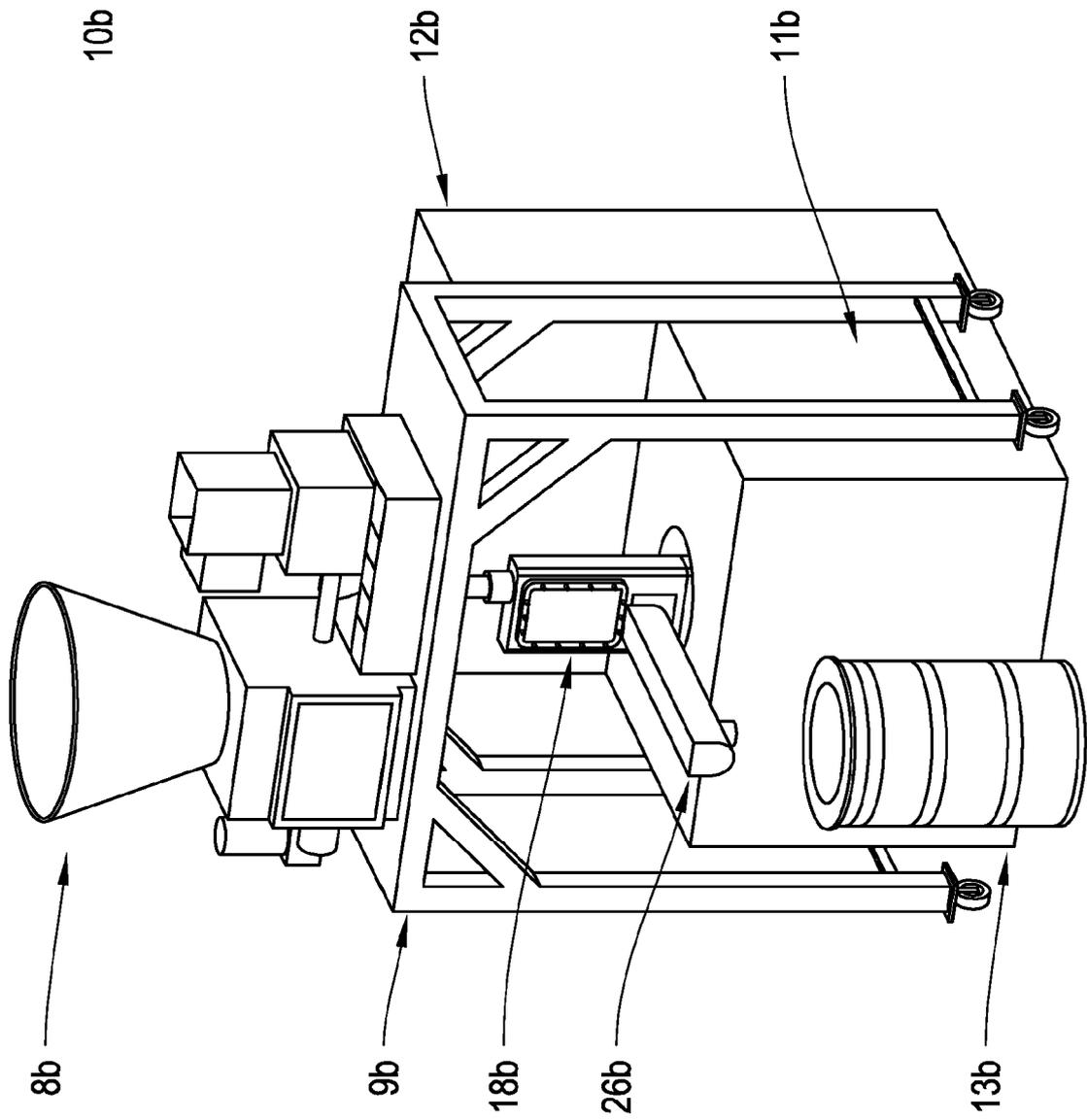


Figura 2

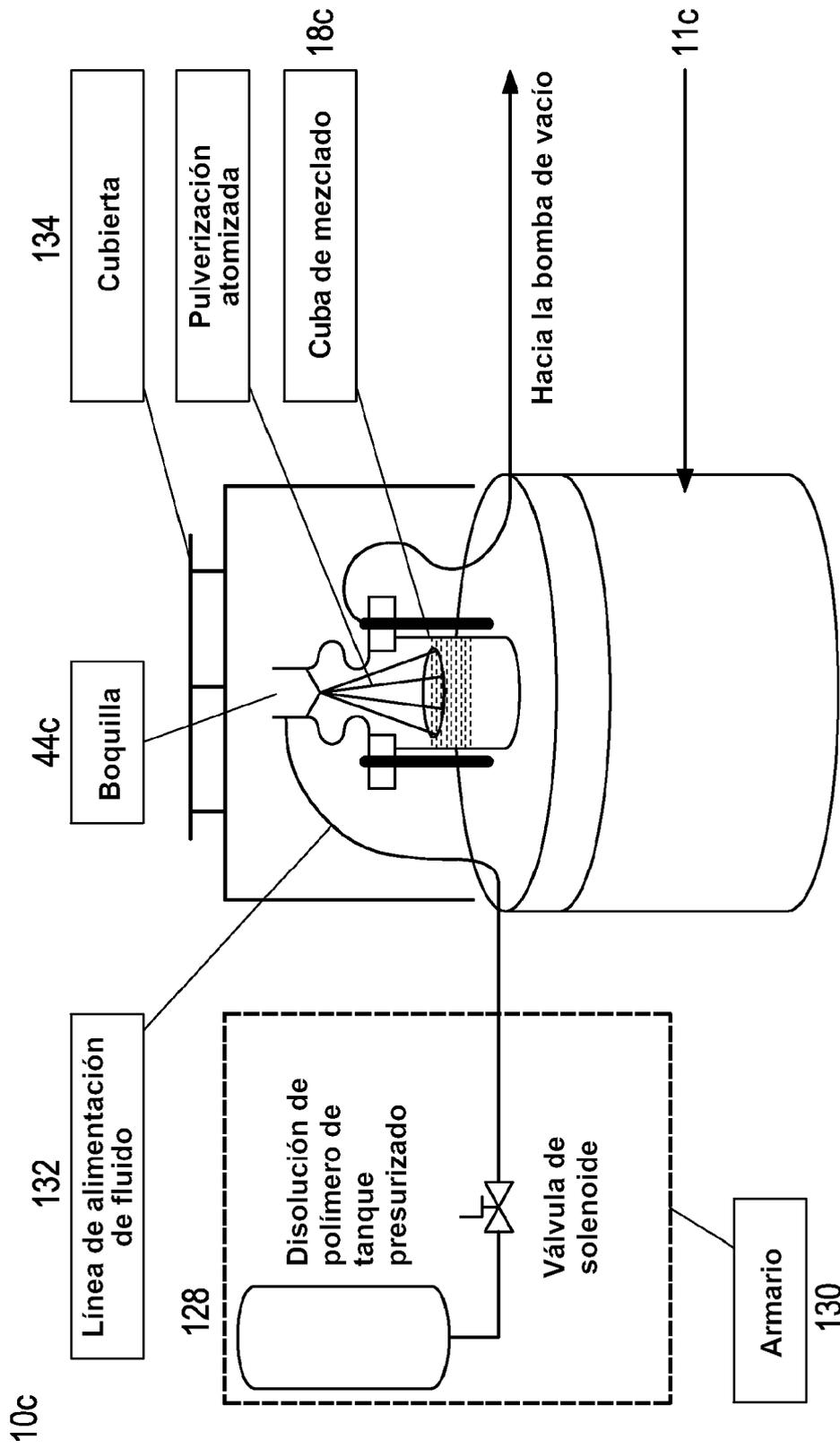


Figura 3

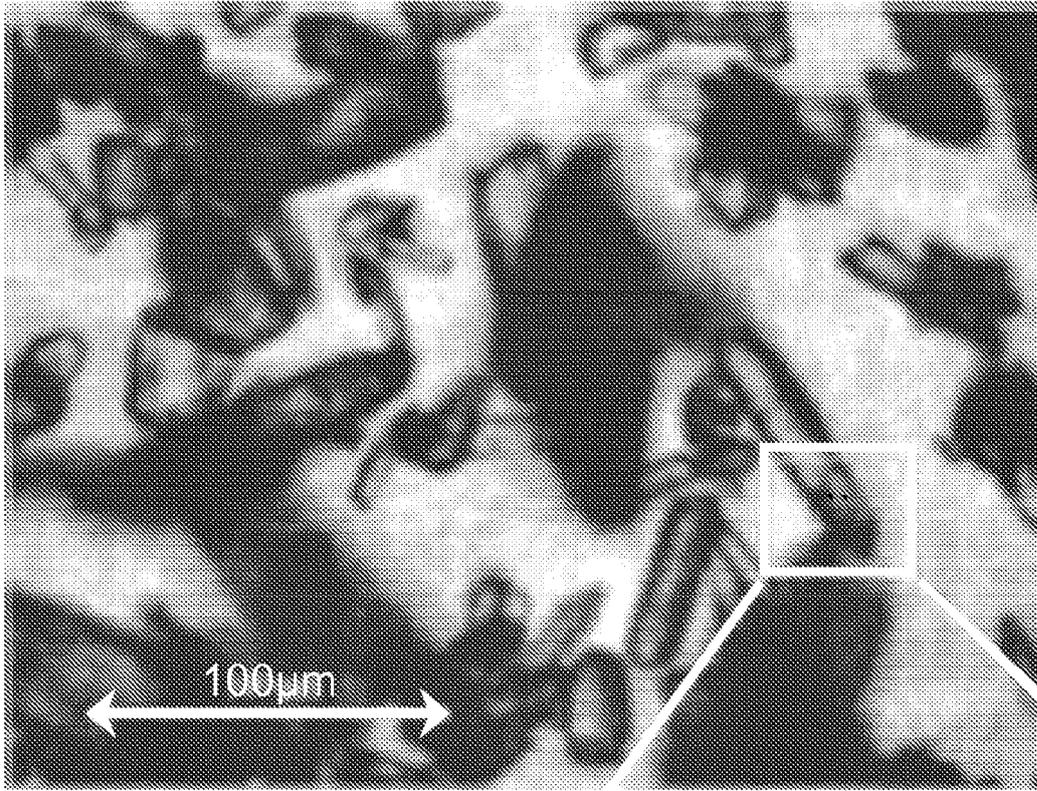


Figura 4

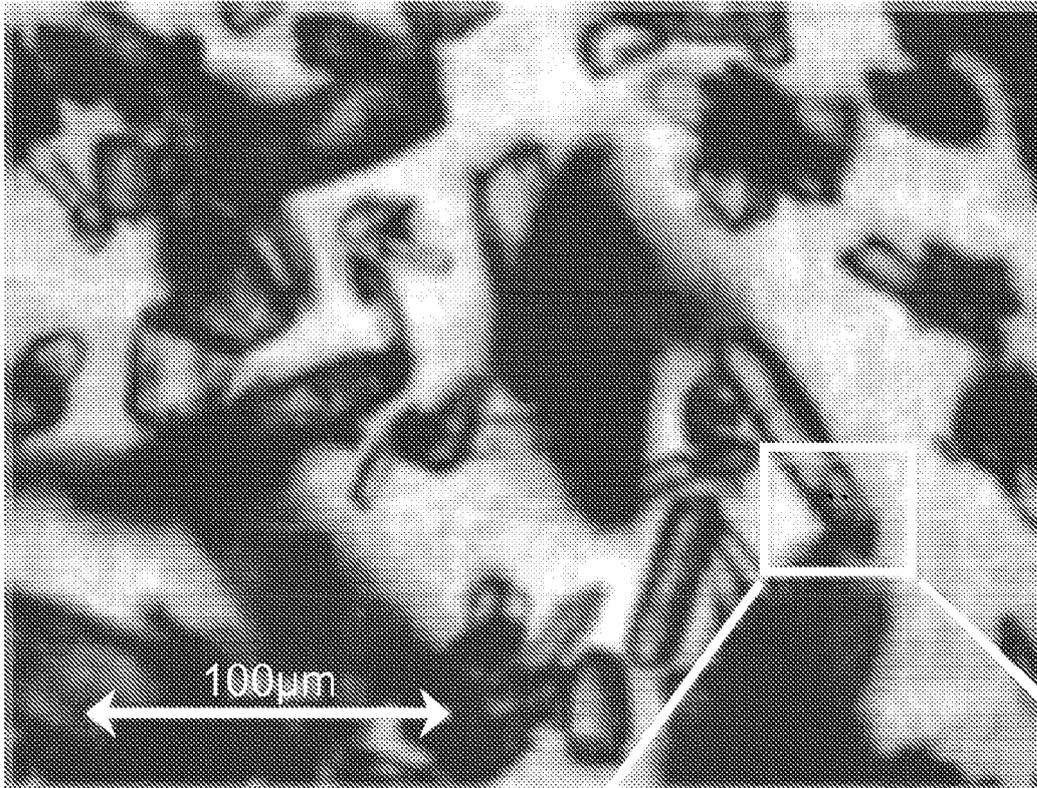


Figura 5

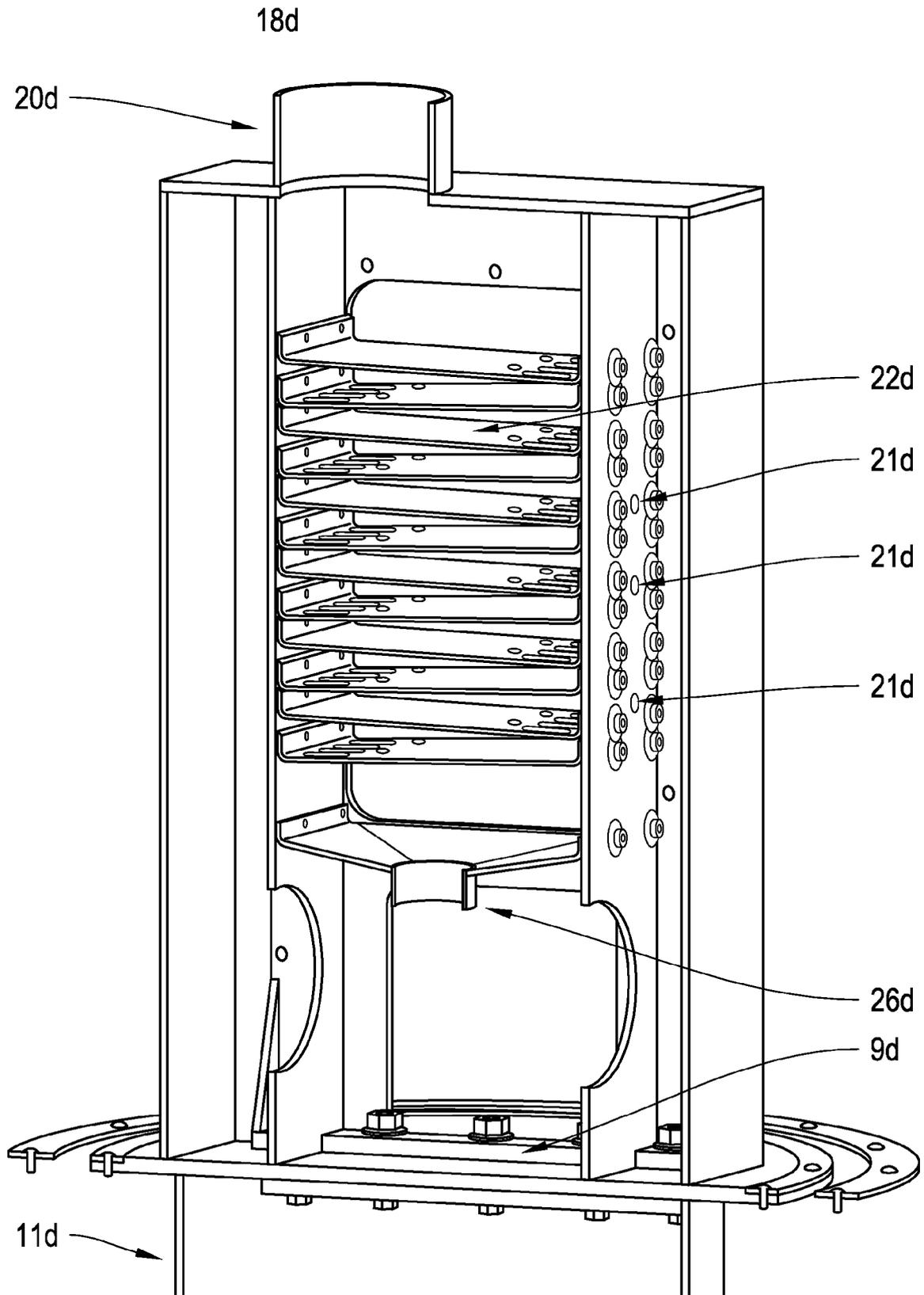


Figura 6

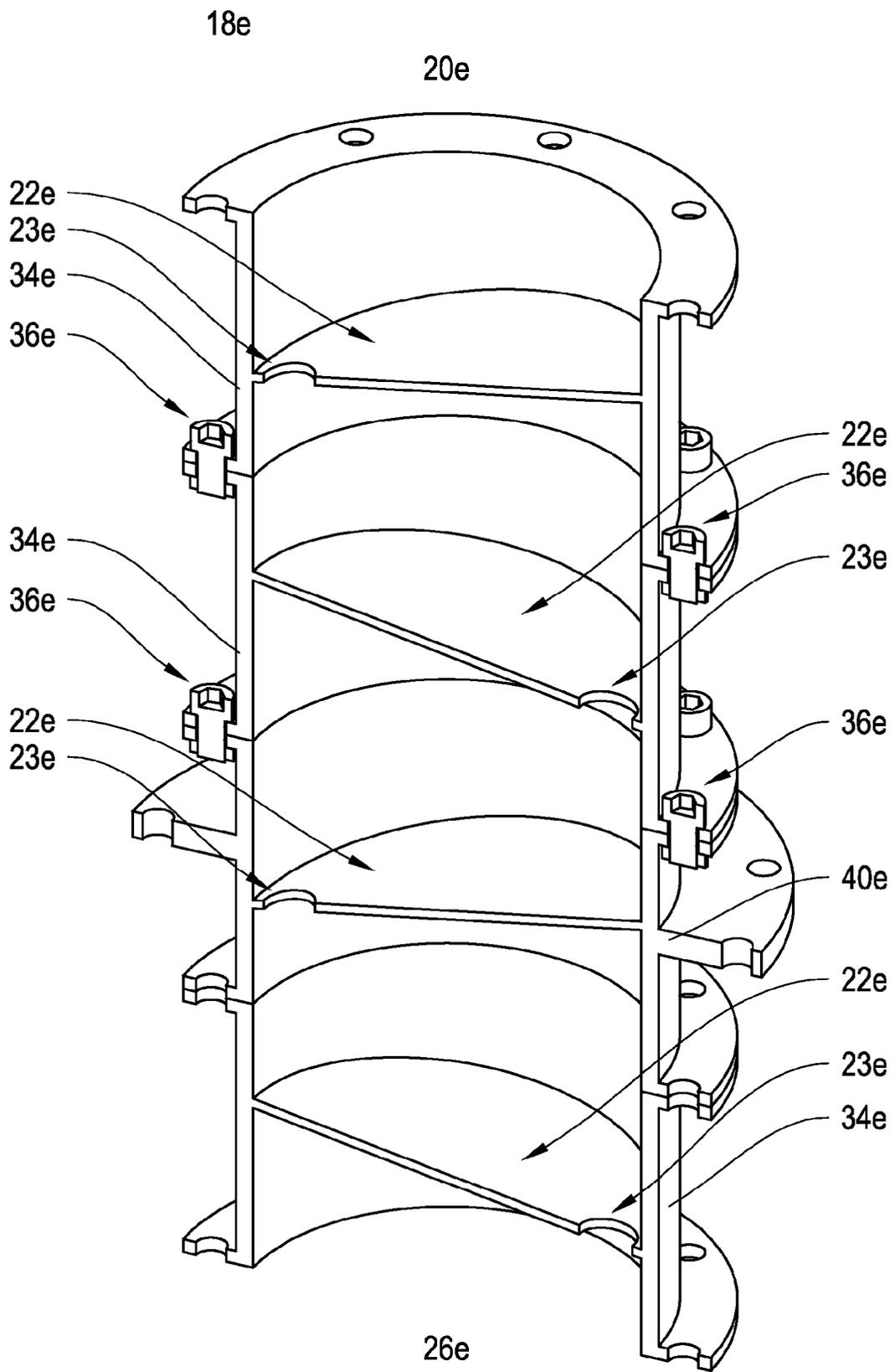


Figura 7

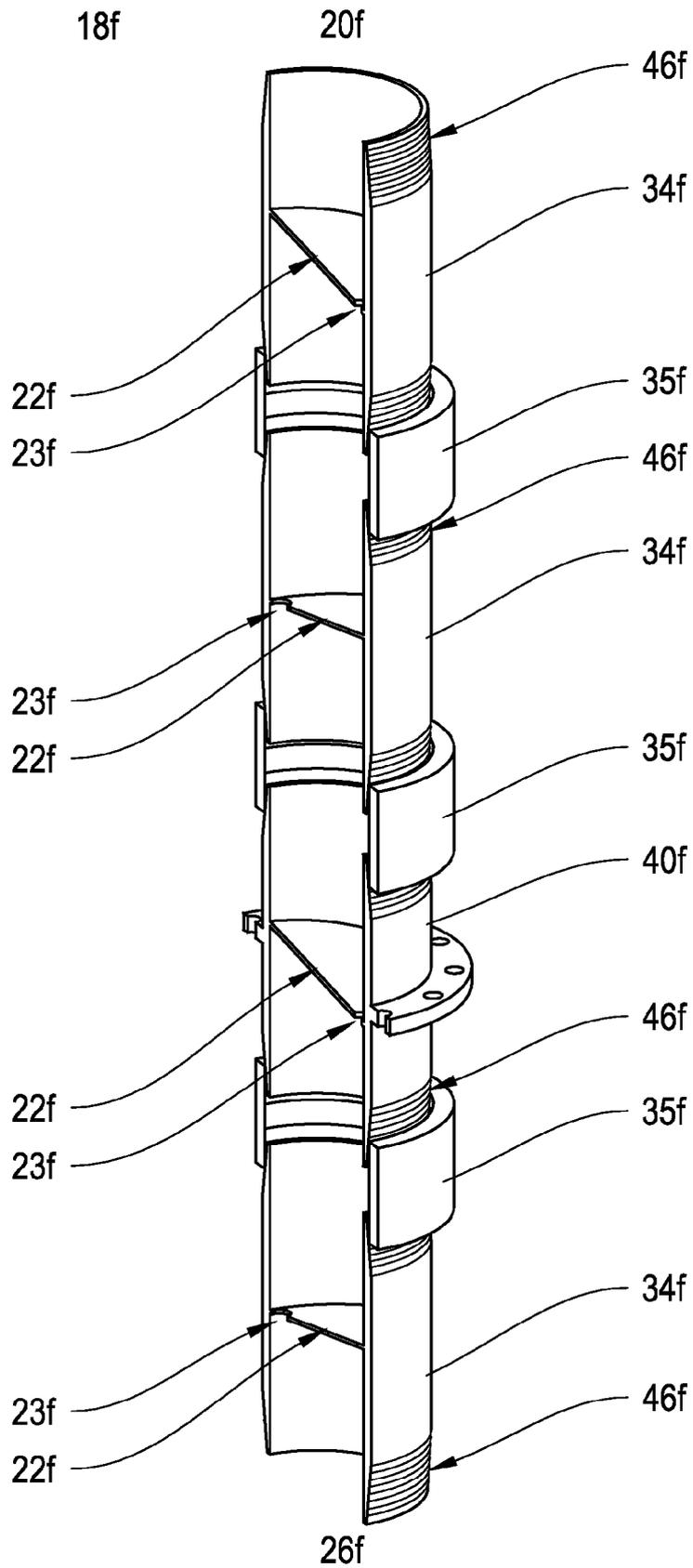


Figura 8

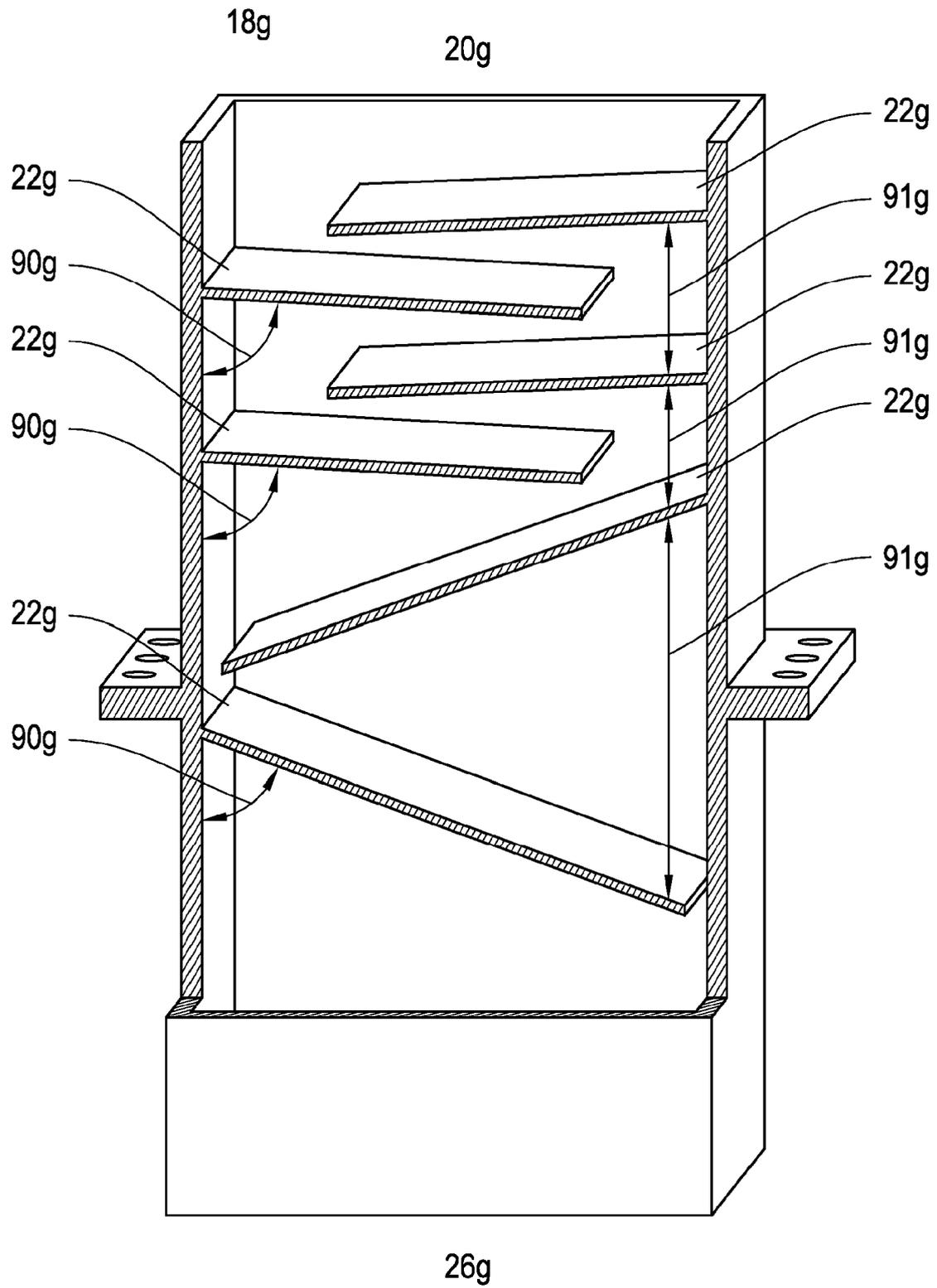


Figura 9

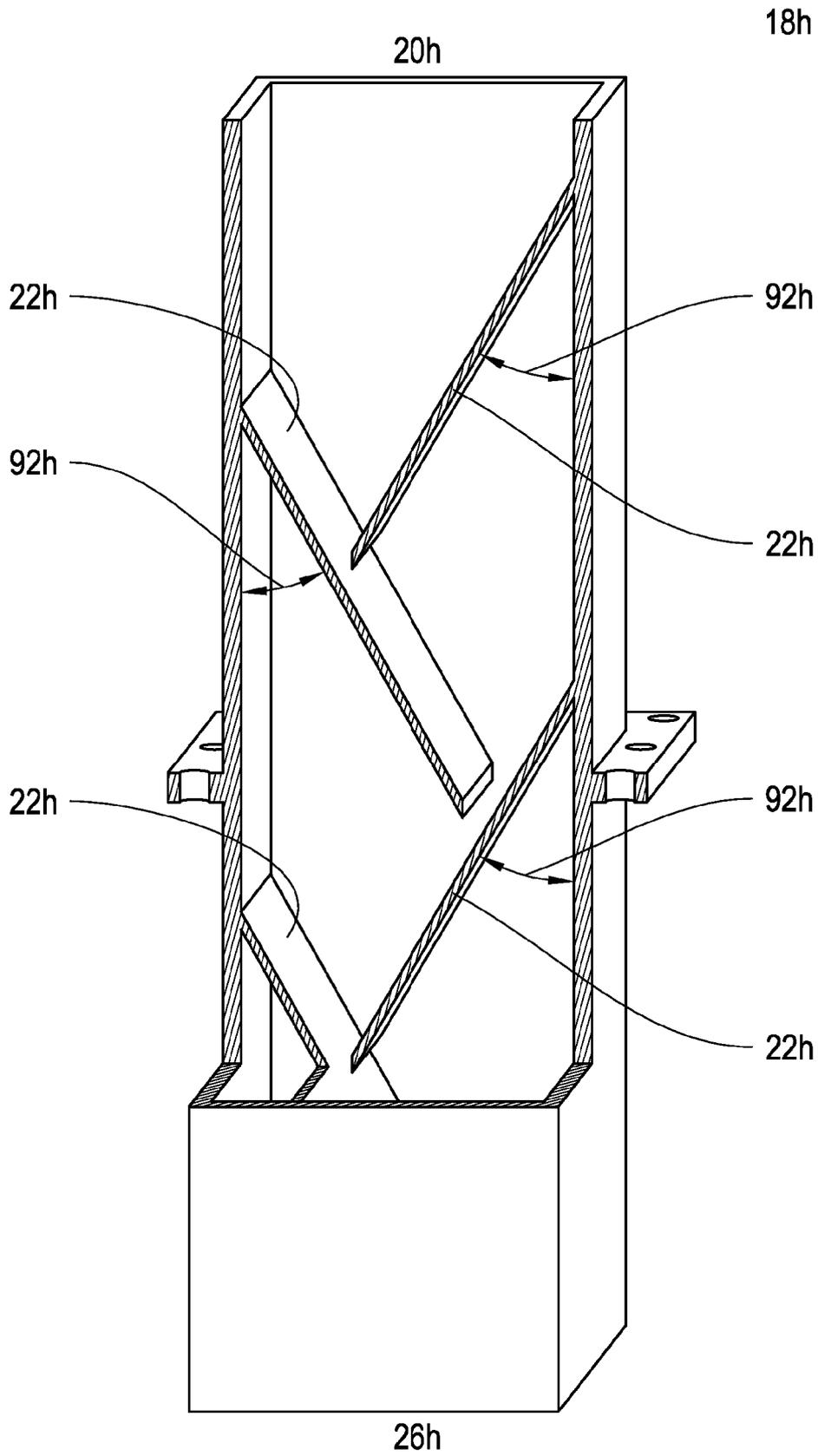


Figura 10

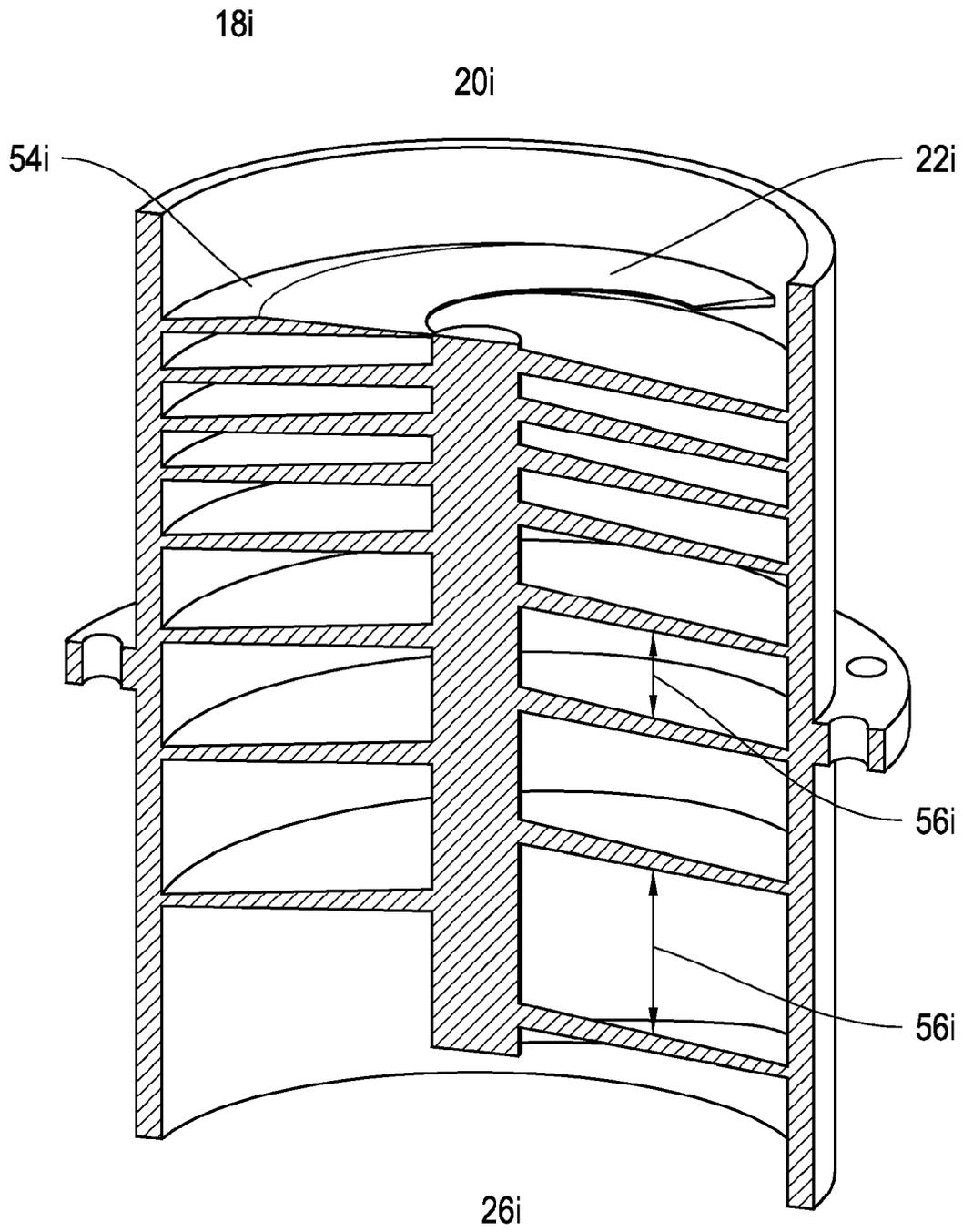


Figura 11

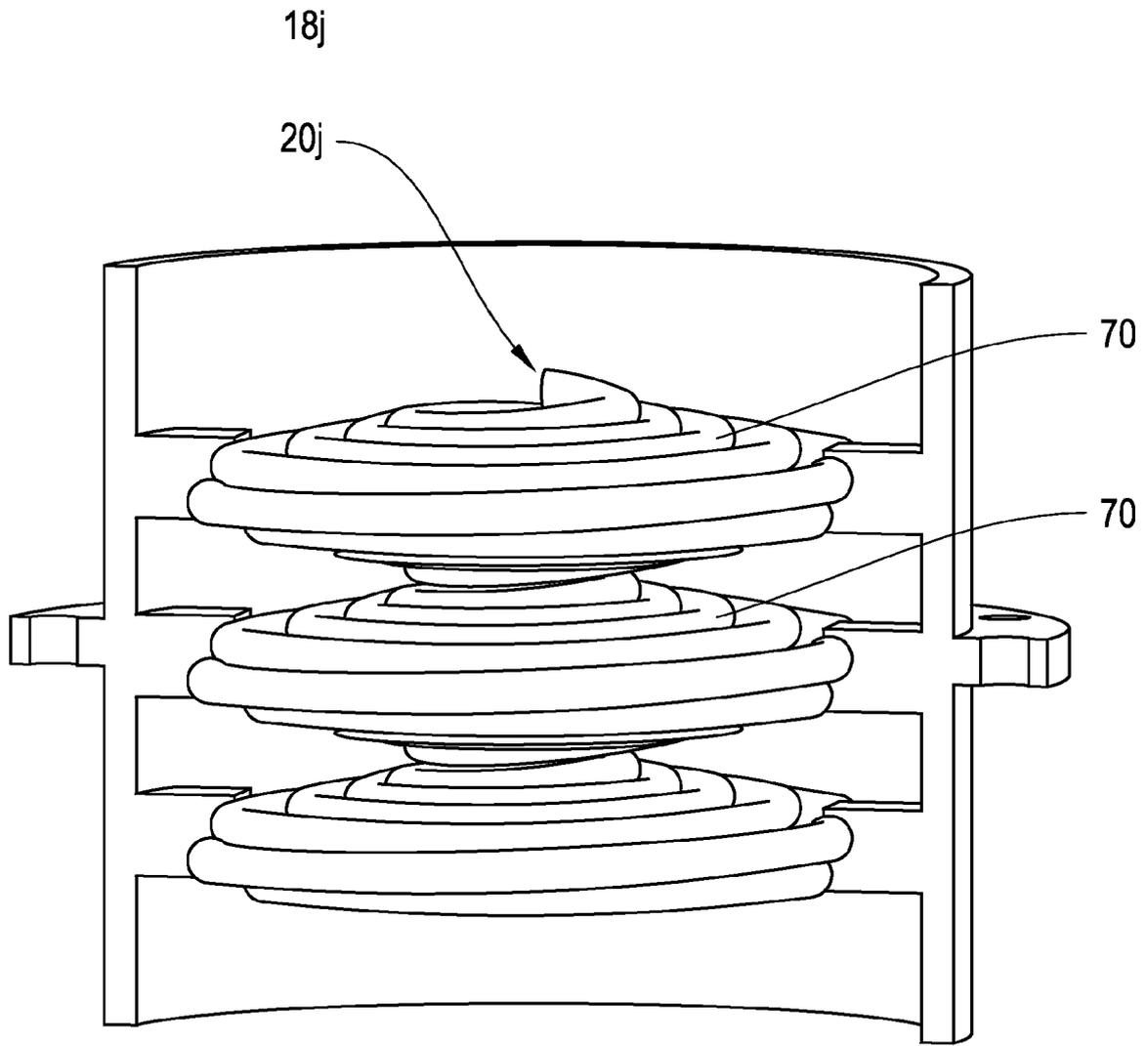


Figura 12

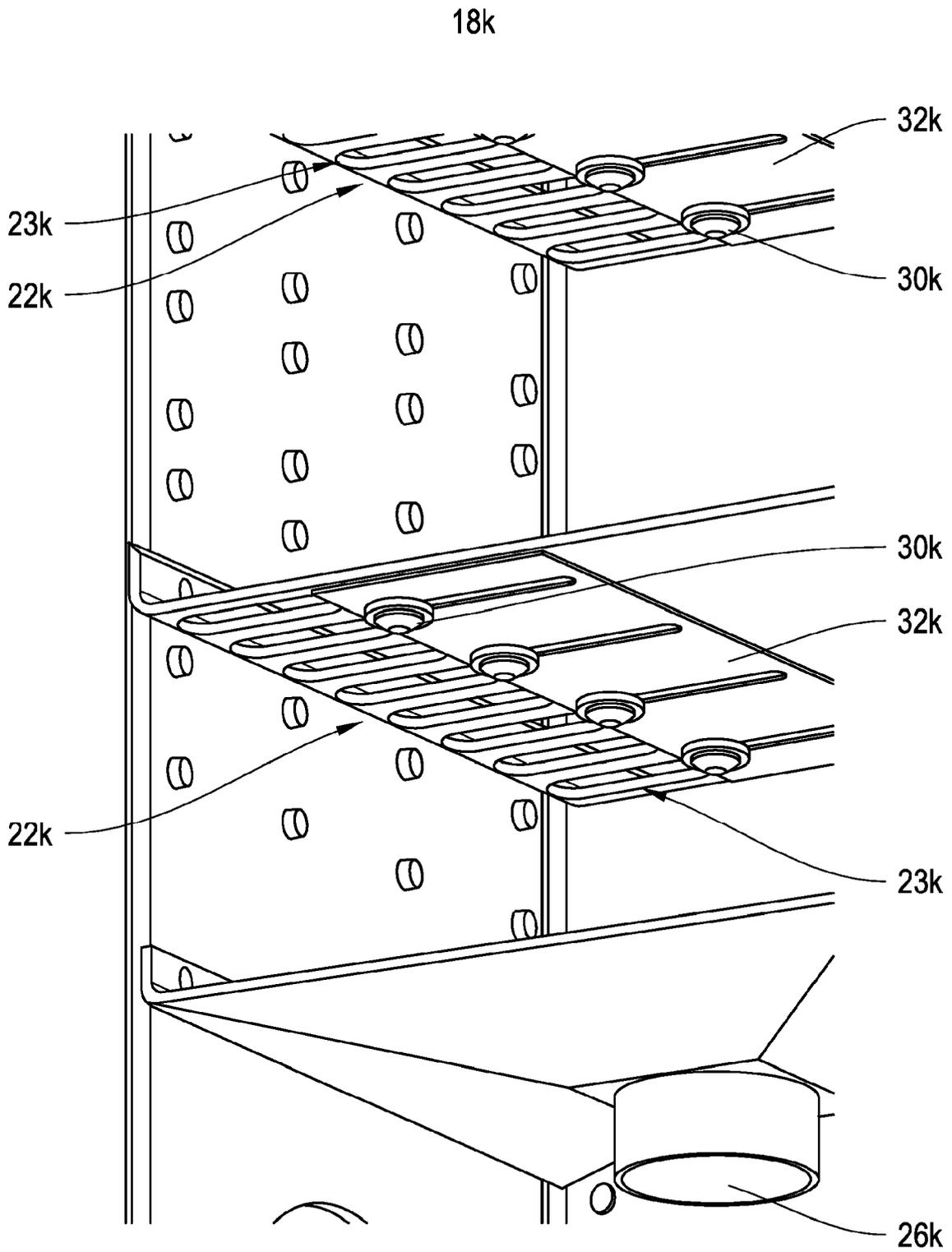


Figura 13a

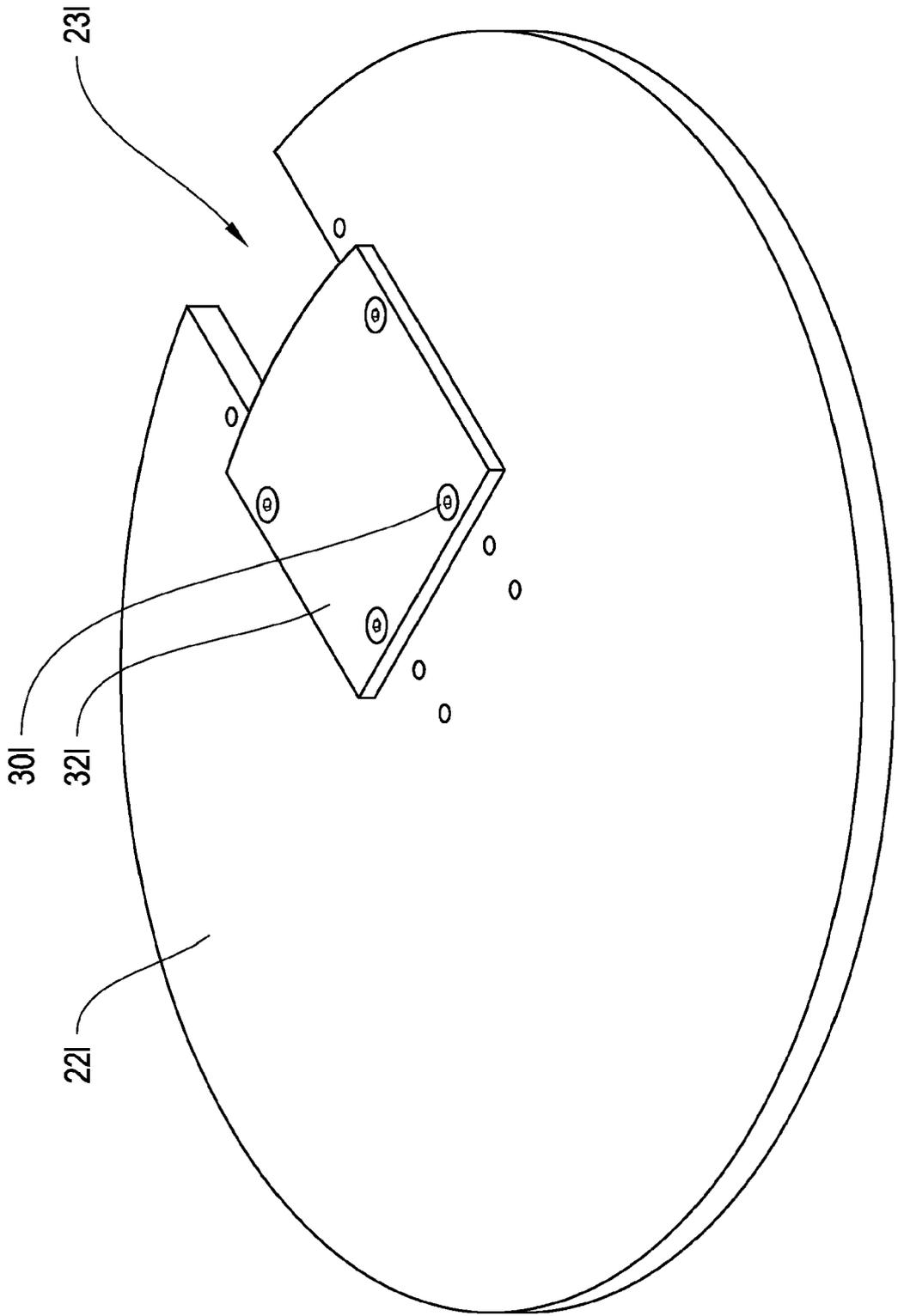


Figura 13b

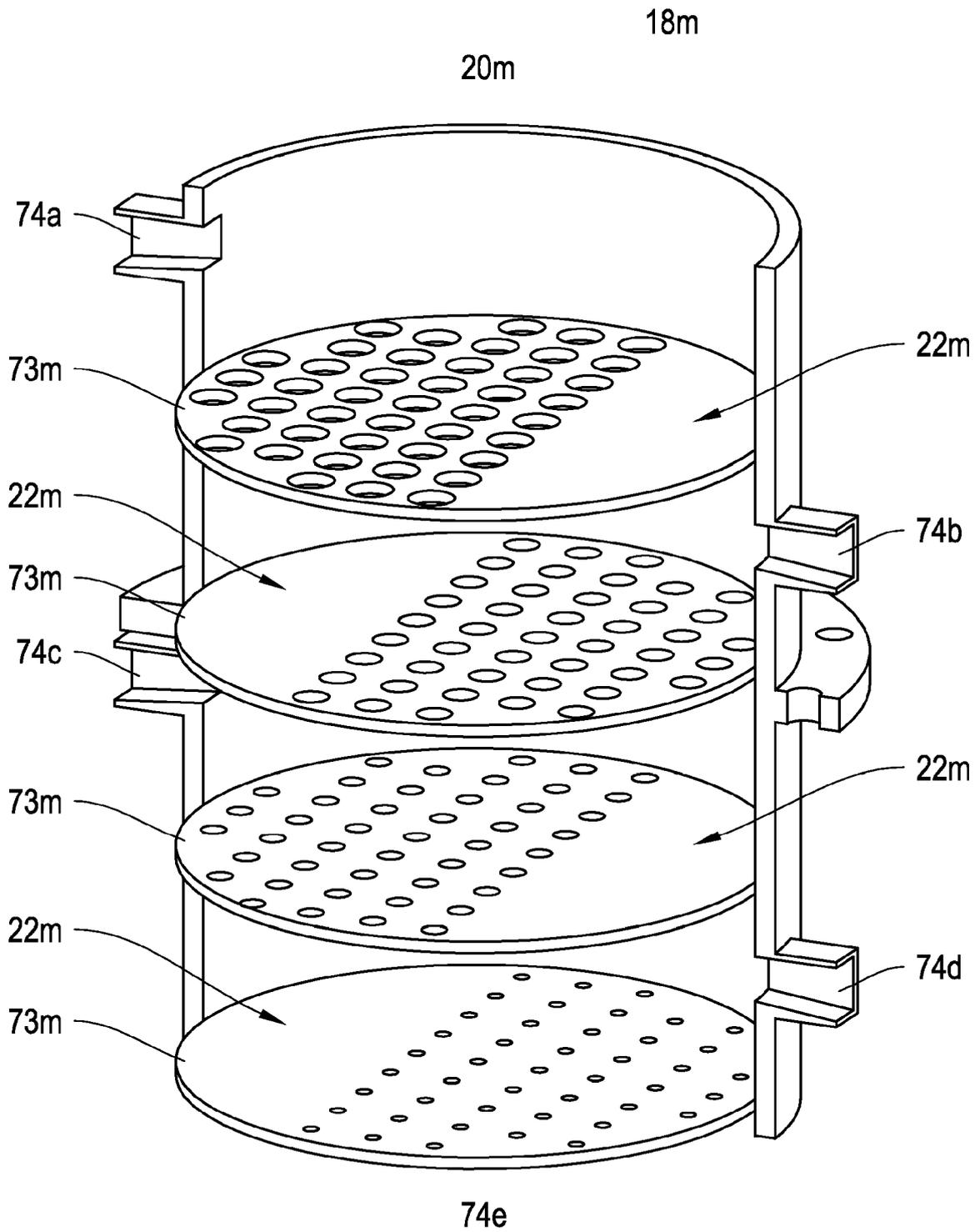


Figura 14

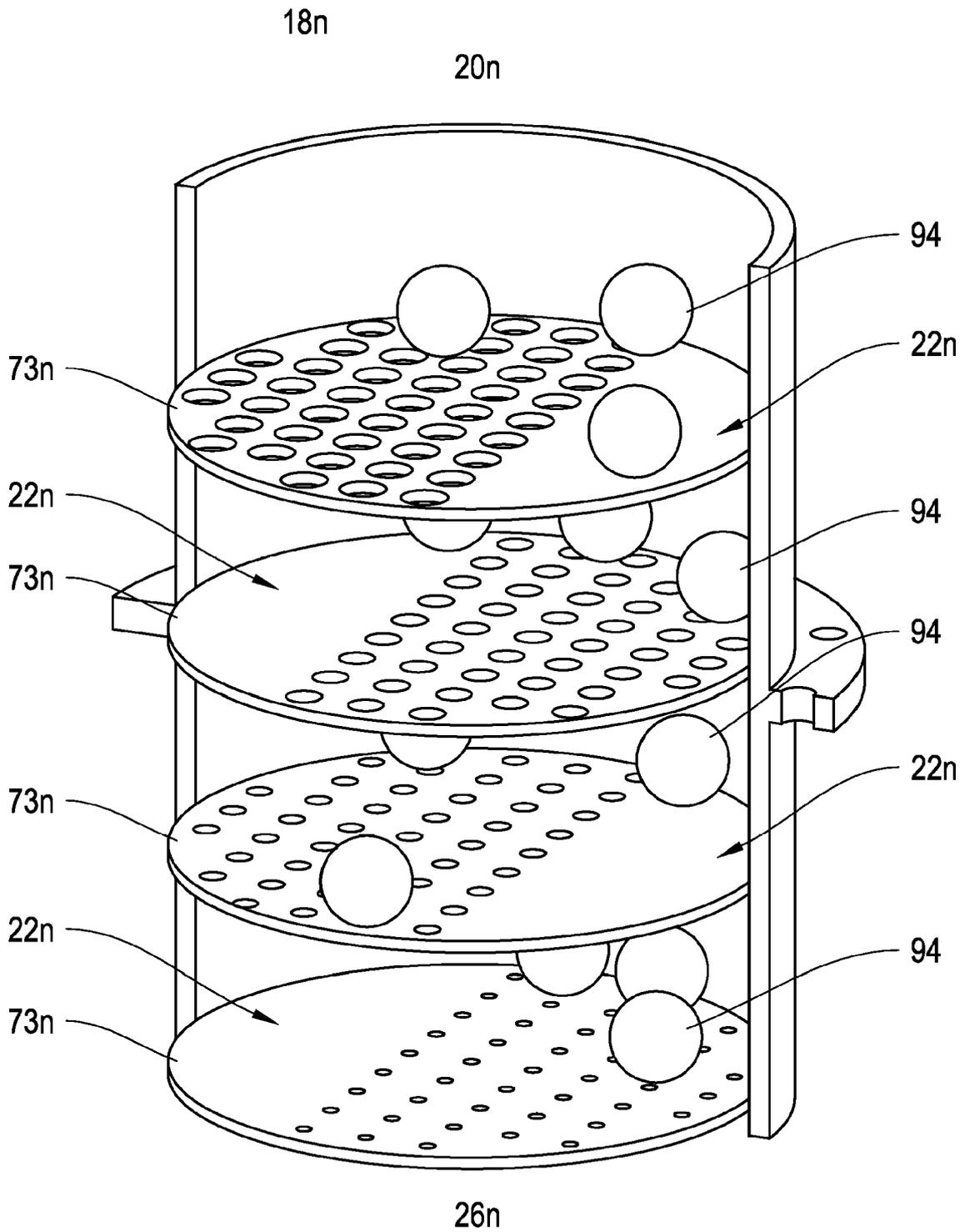


Figura 15

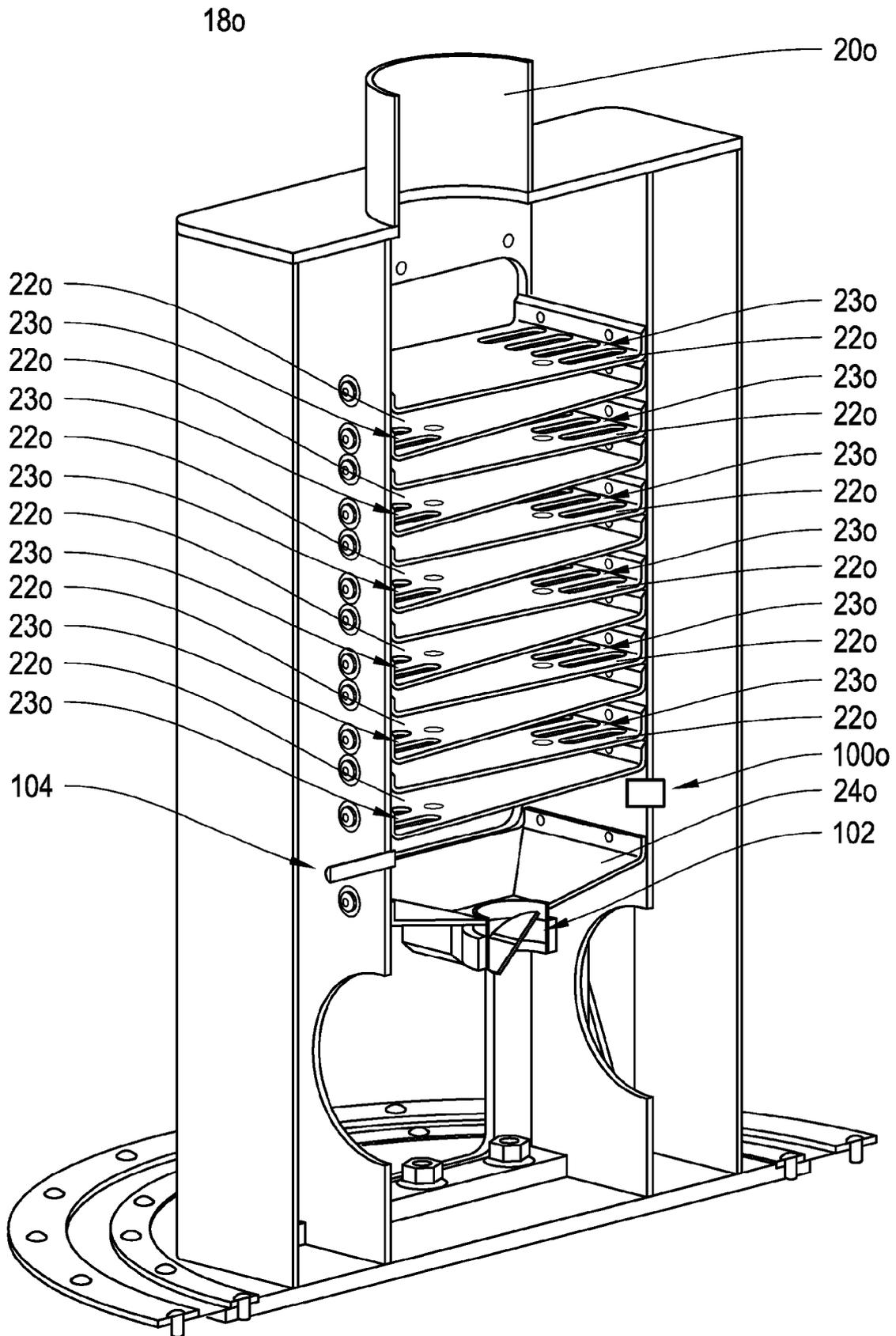


Figura 16

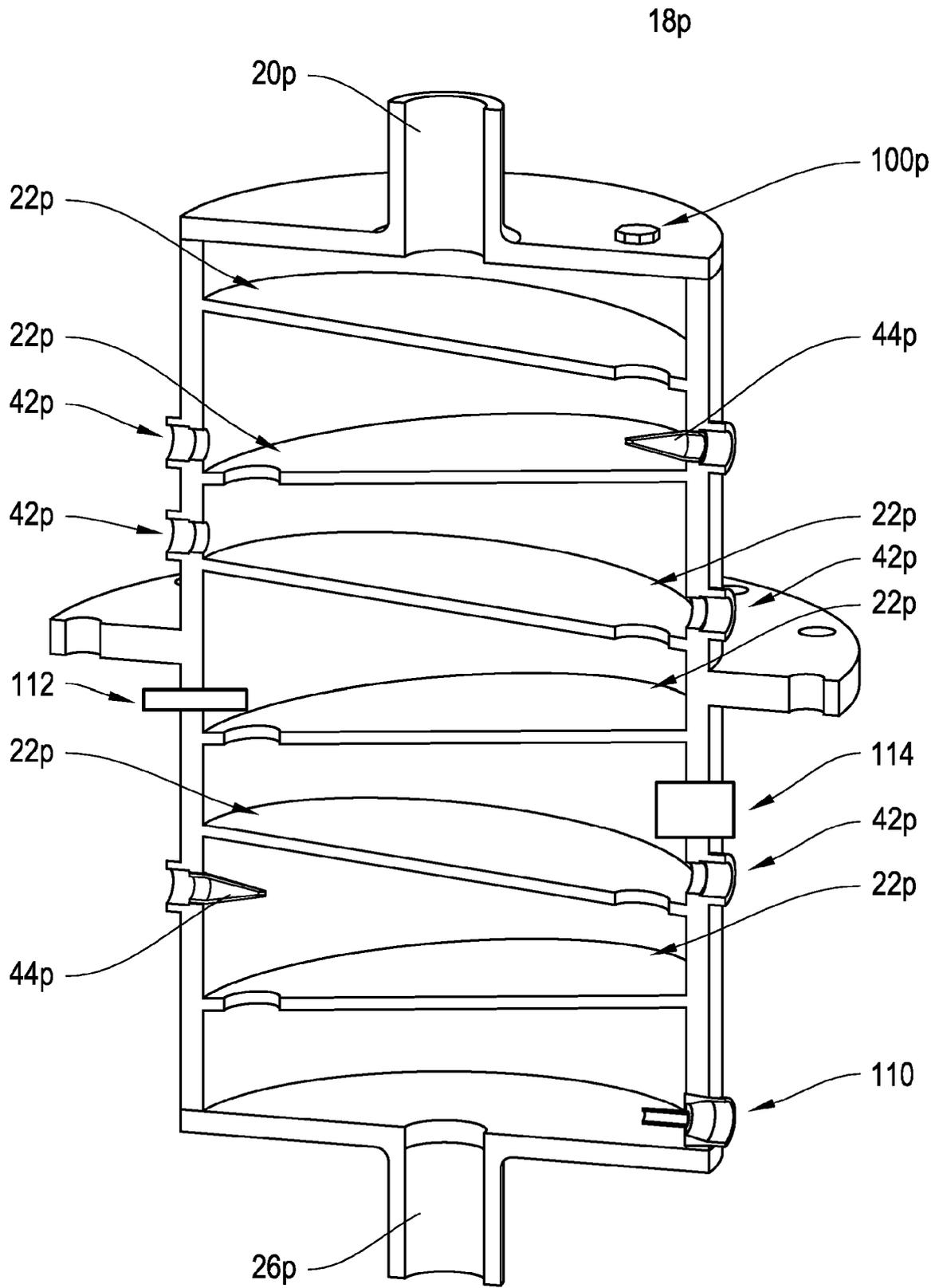


Figura 17

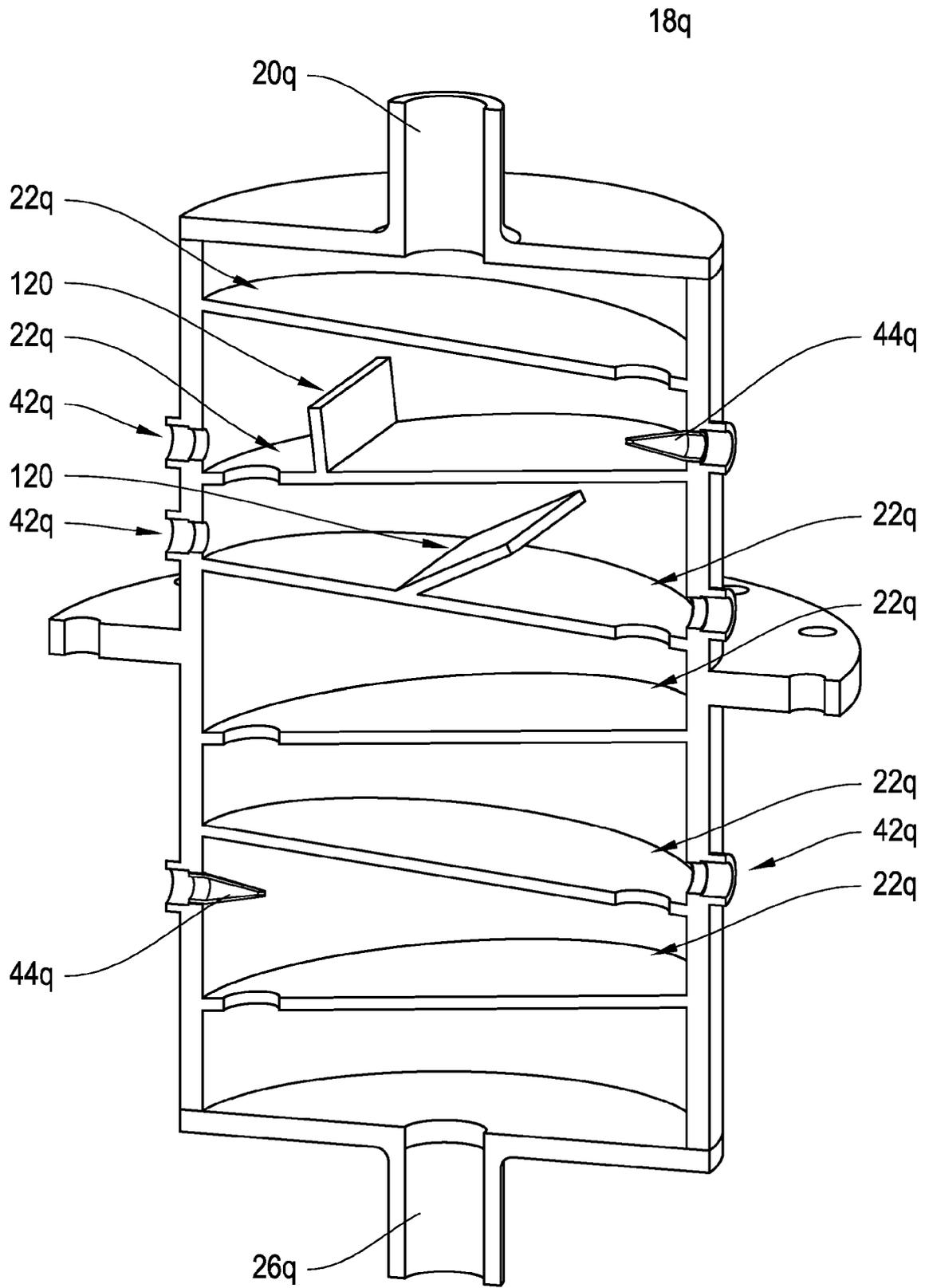


Figura 18

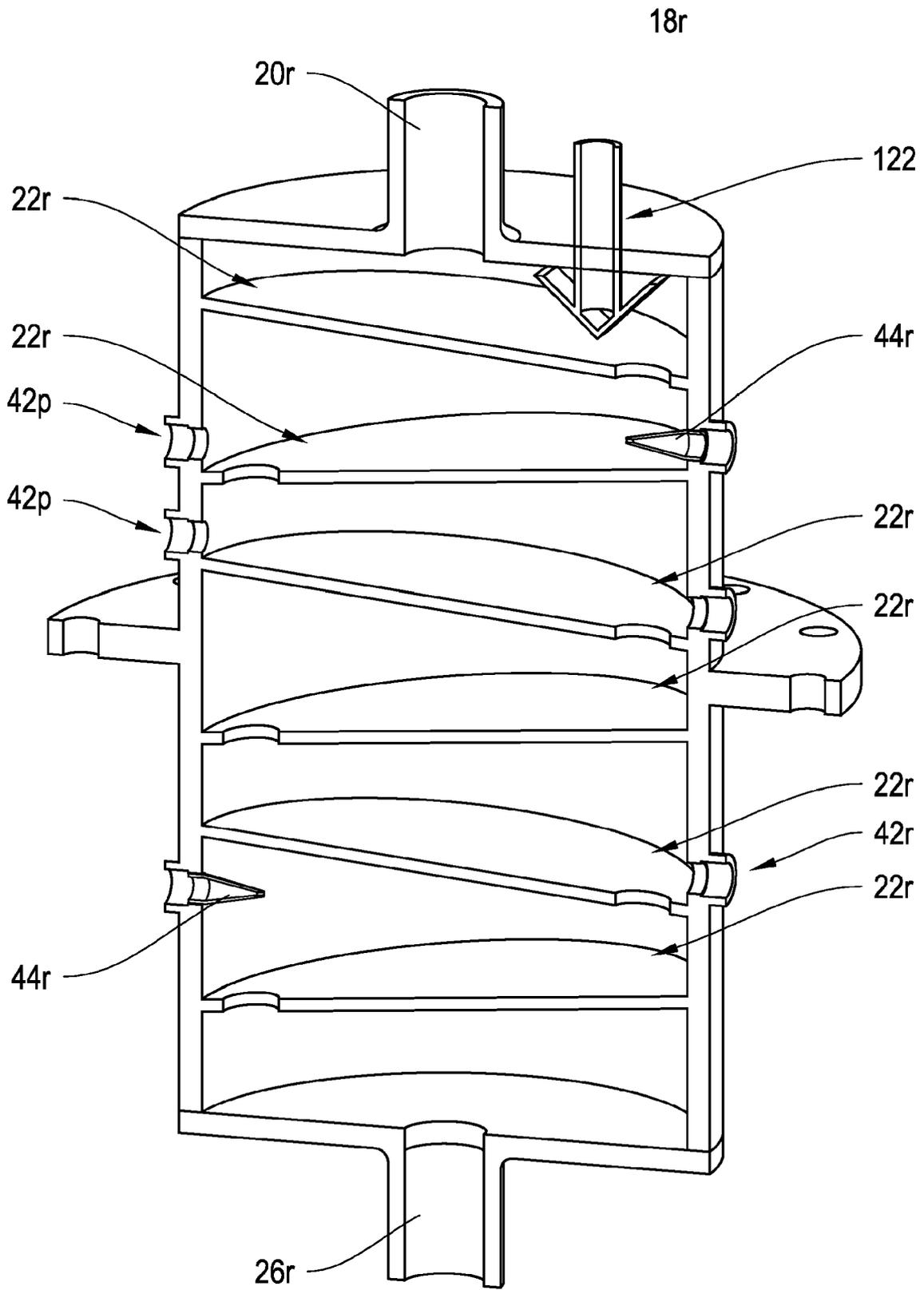


Figura 19

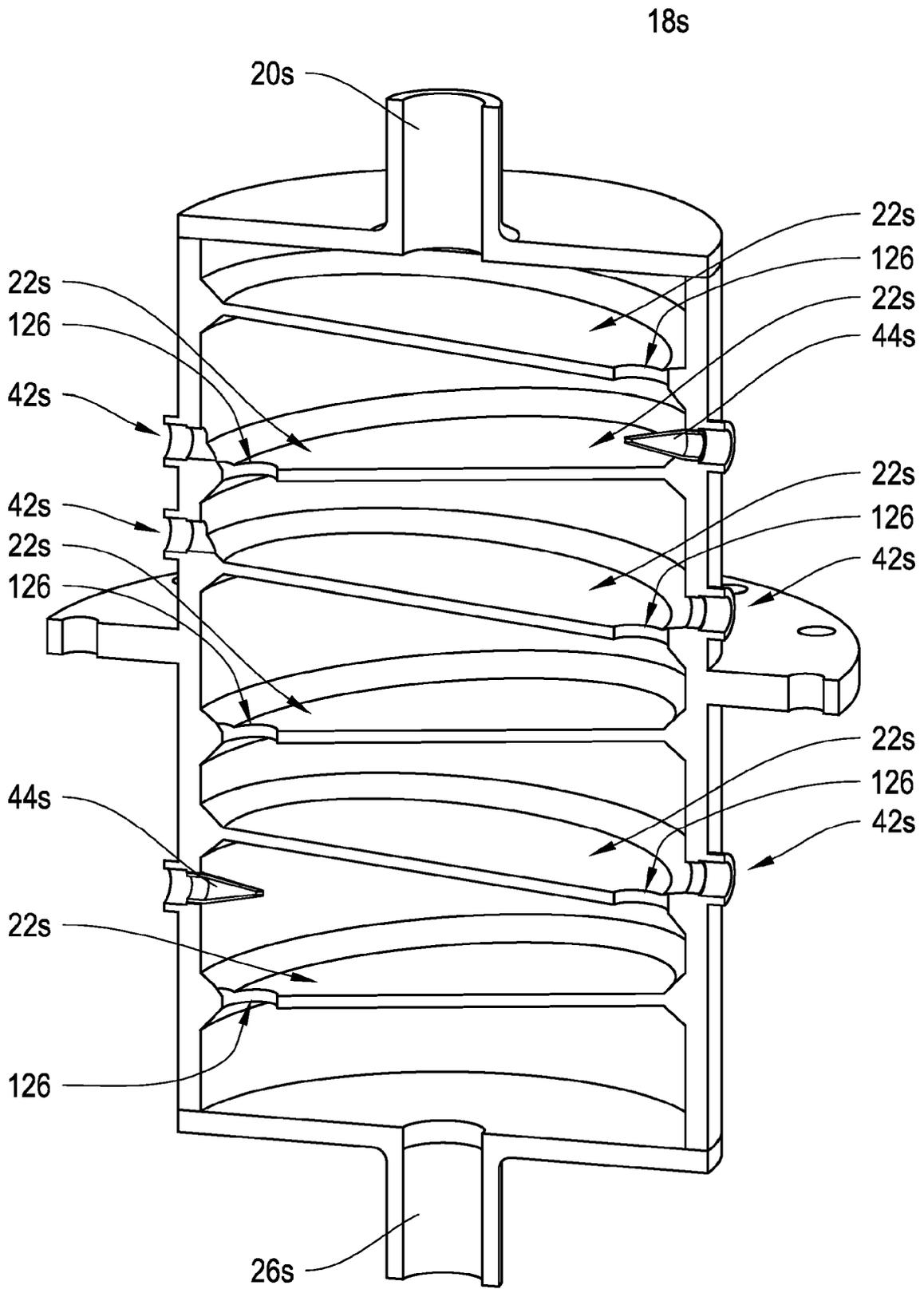


Figura 20

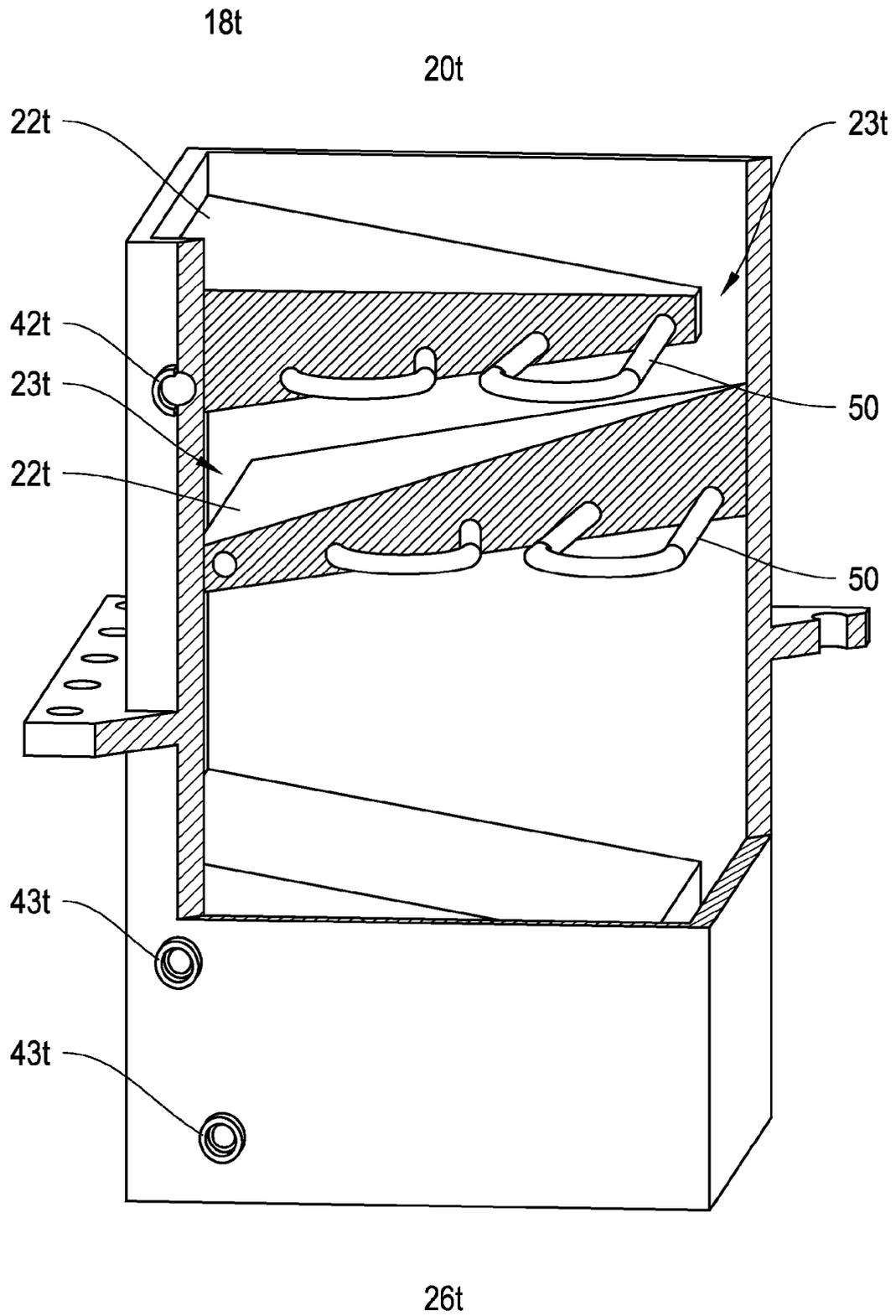


Figura 21

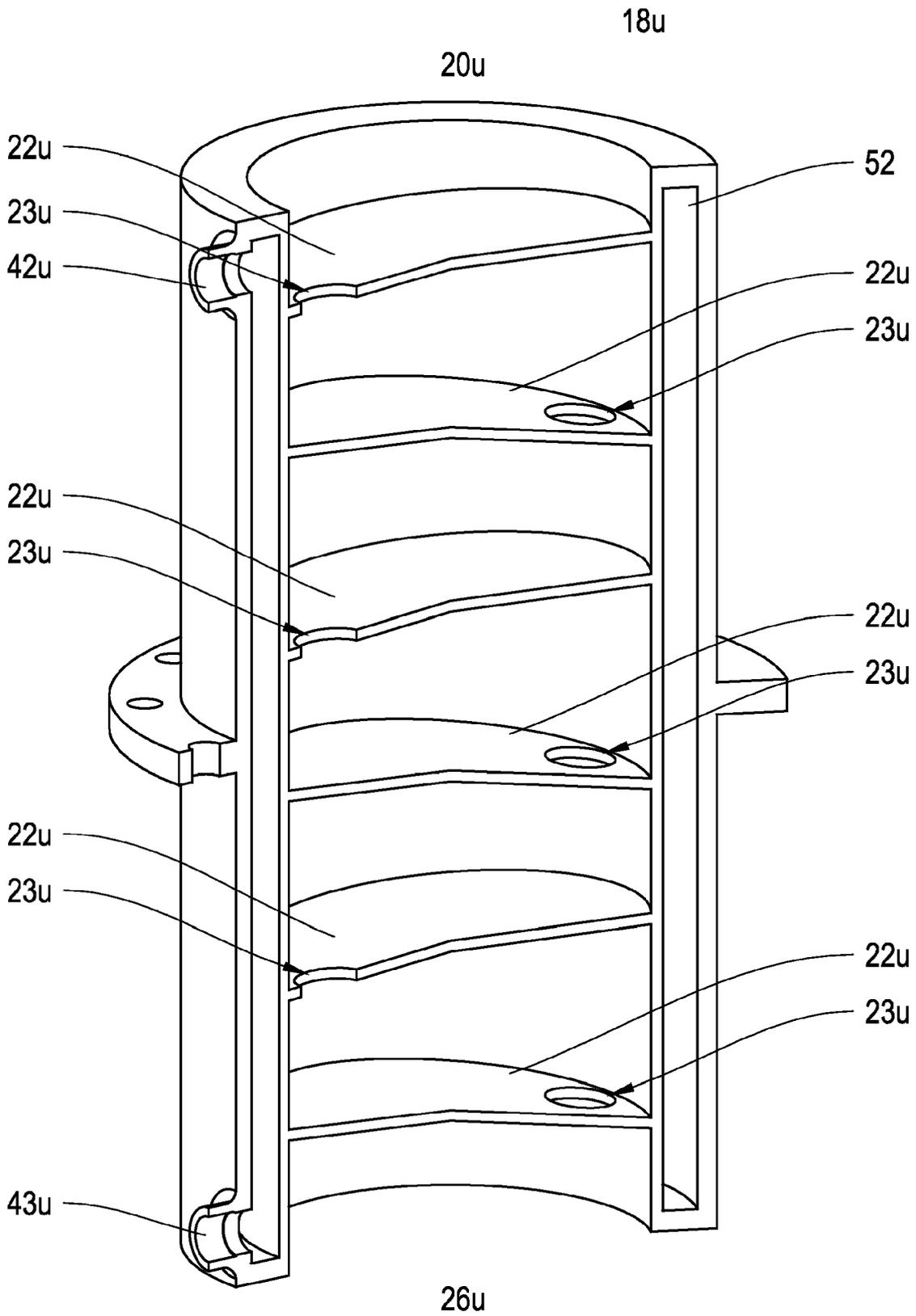


Figura 22

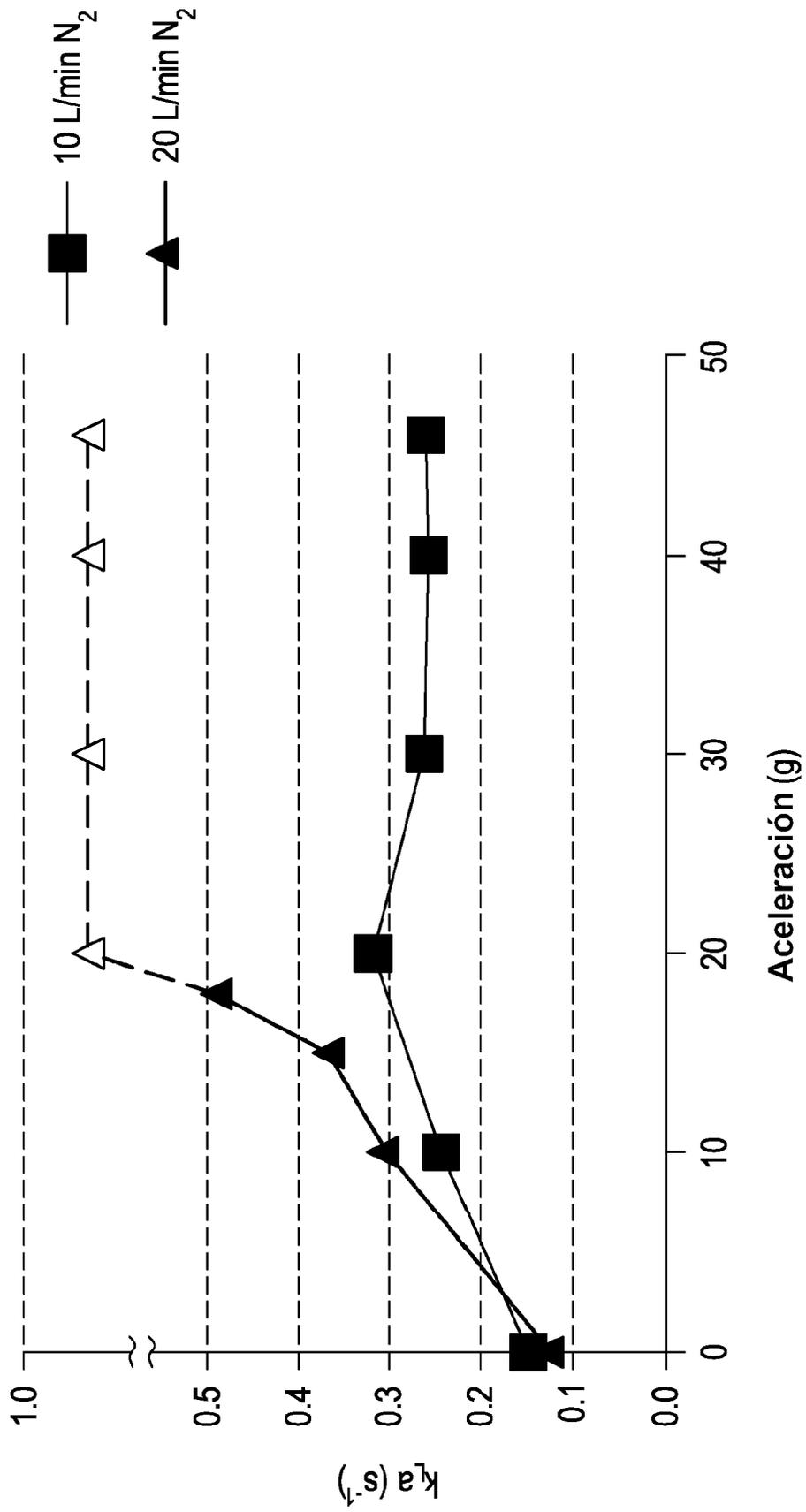


Figura 23

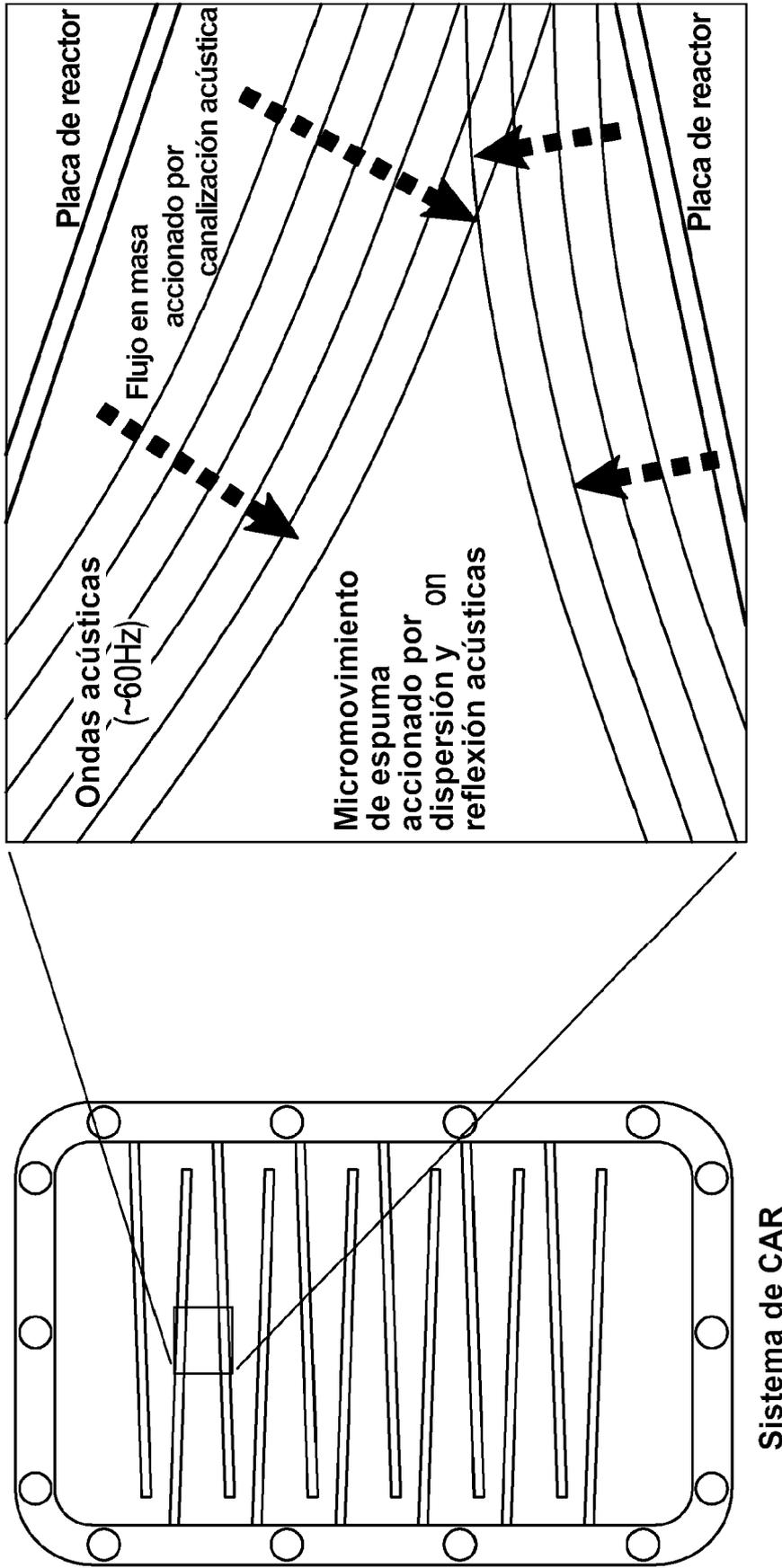


Figura 24

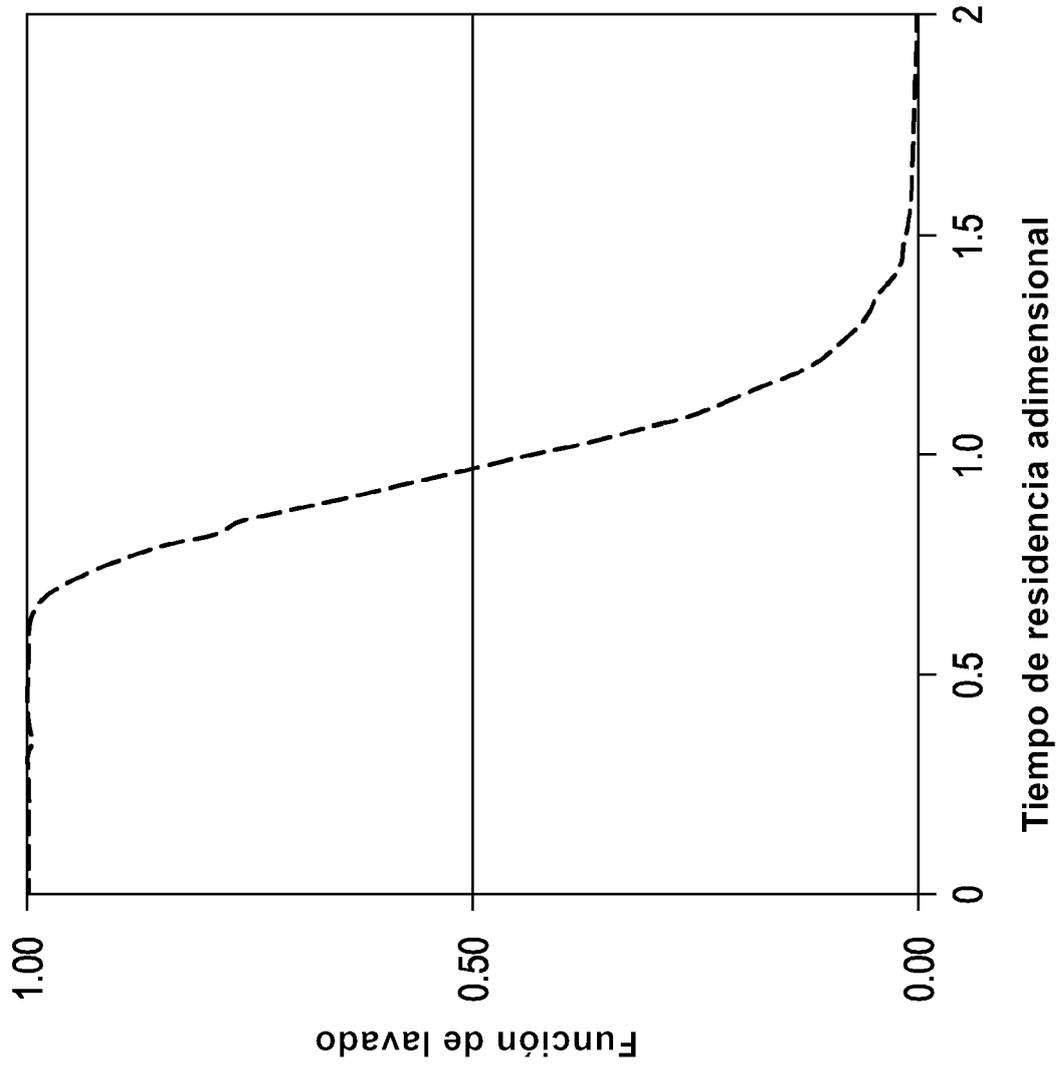


Figura 25

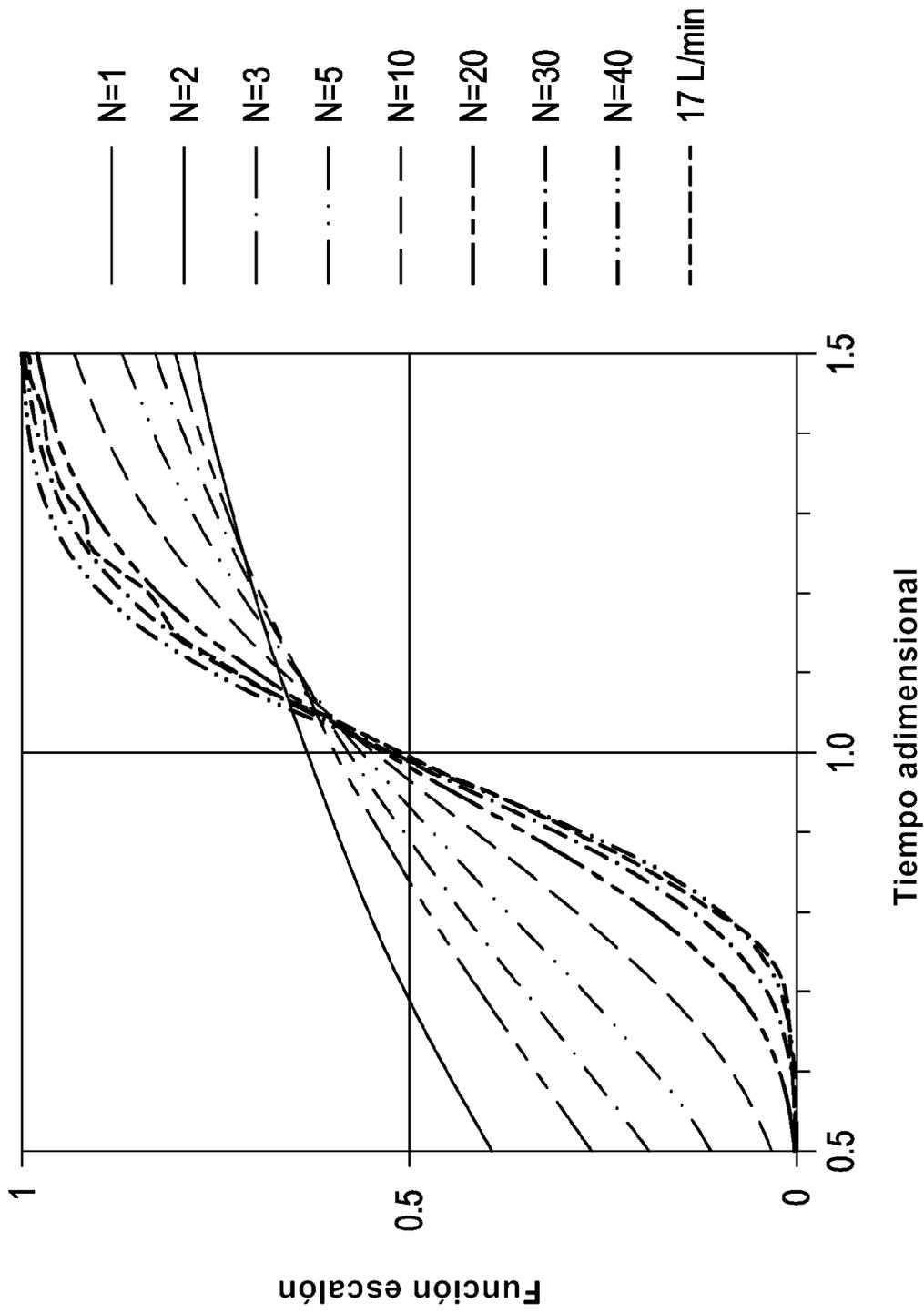
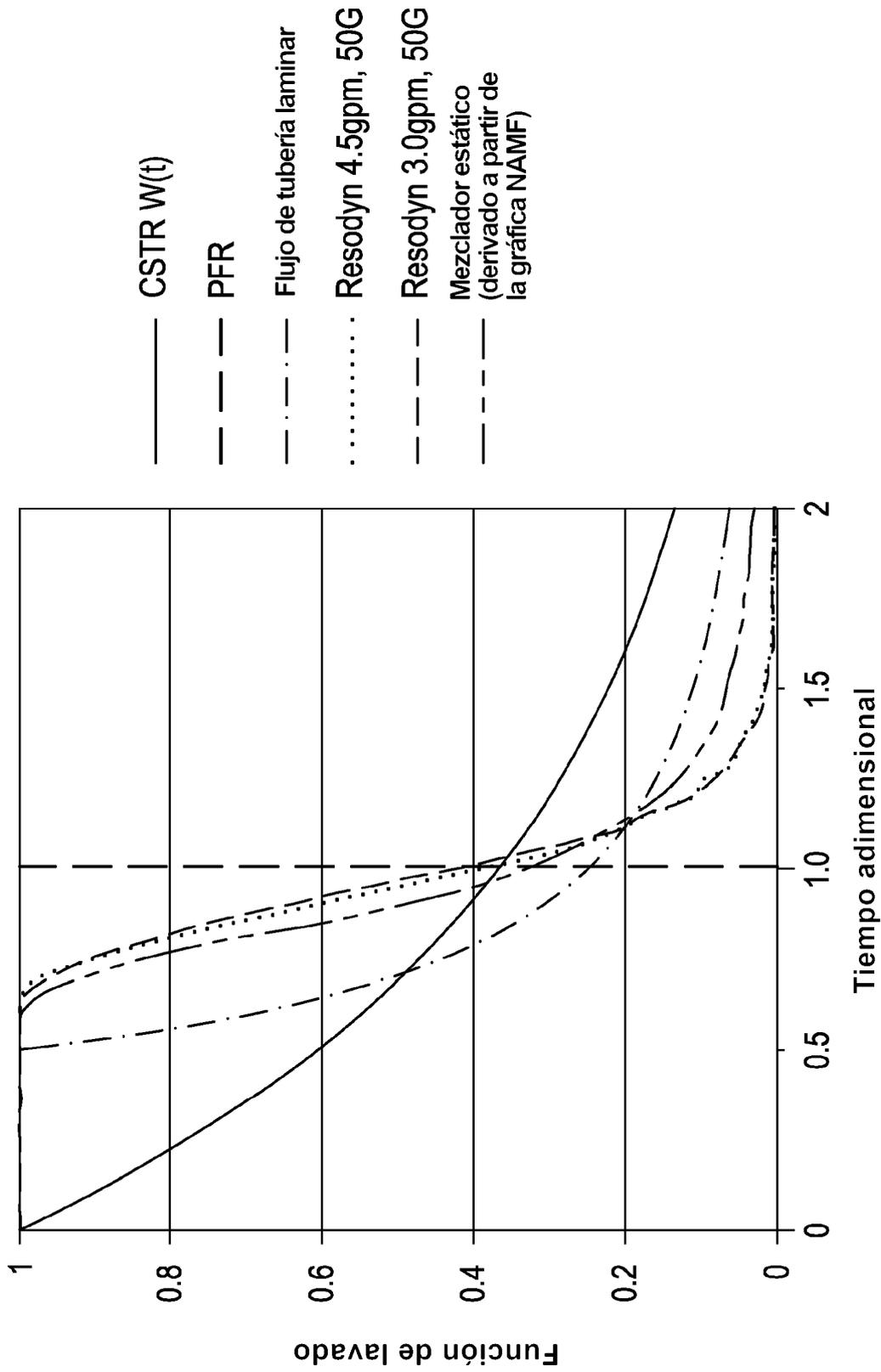


Figura 26



Función de lavado de tiempo de residencia de CAR tems.
en comparación con otros sistemas

Figura 27

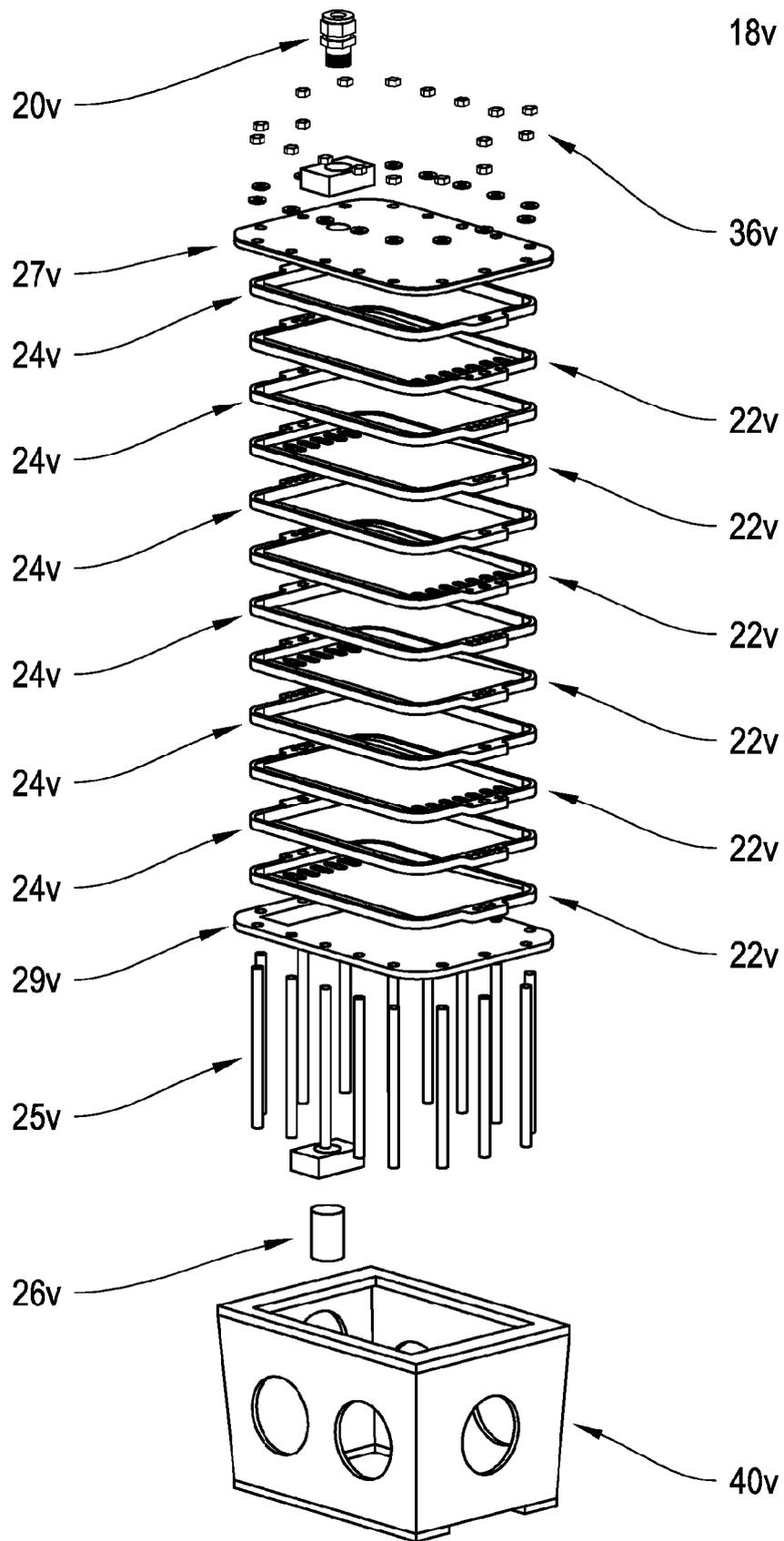


Figura 28

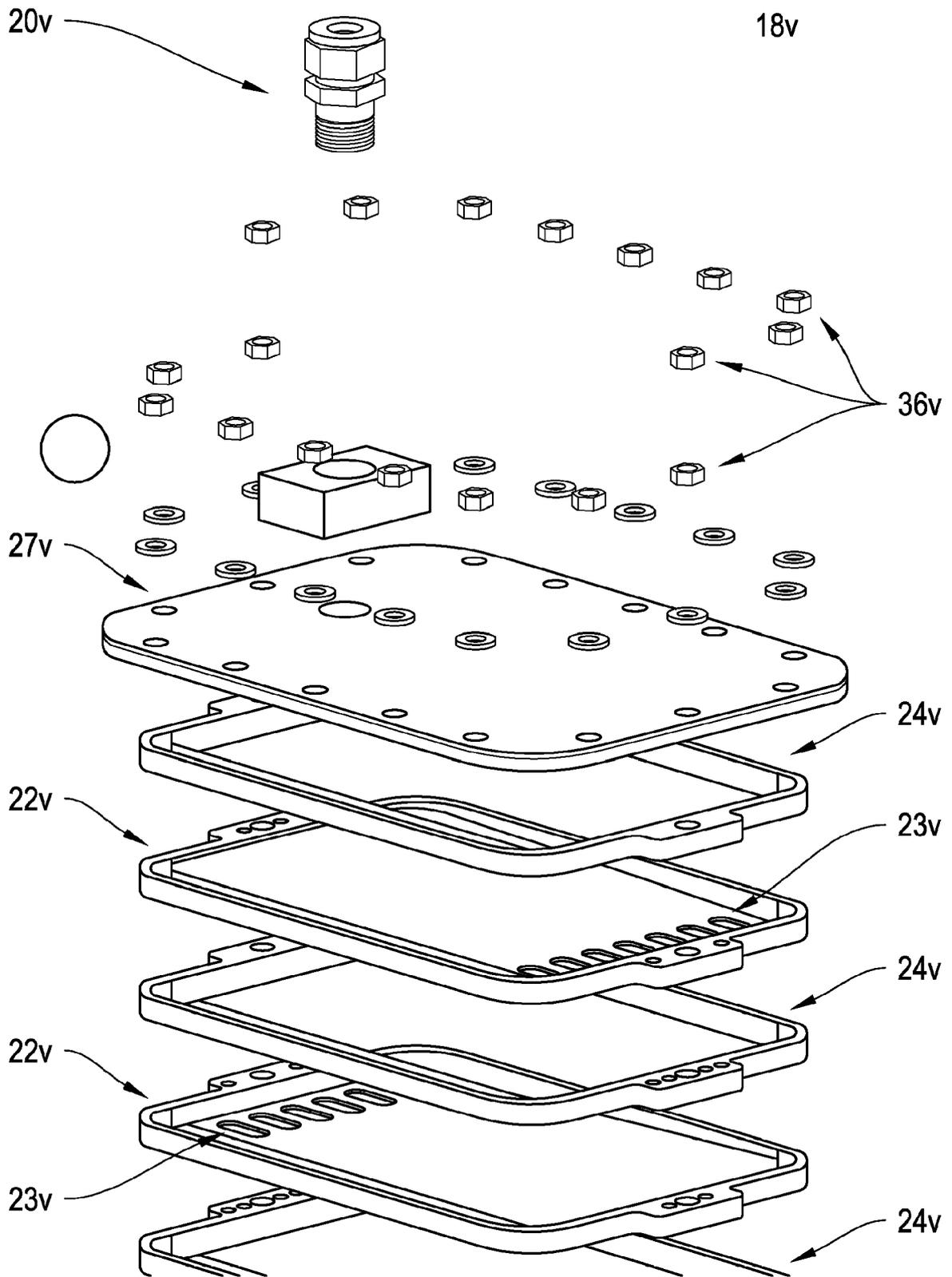


Figura 29