

REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO CON SEPARACIÓN MULTIFÁSICA

Campo de la invención

- 5 La presente invención se relaciona con reactores de lecho fluidizado, específicamente con reactores de lecho fluidizado que incluyen unidades de clarificación y separación líquido-sólido-vapor.

Descripción del estado de la técnica

10

En el estado de la técnica existen diferentes tipos de reactores de lecho fluidizado con separación multifásica que incluyen unidades de clarificación y separación líquido-sólido-vapor, como los divulgados en los documentos US 6,531,058 B1 y US 4,618,418 A.

15

El documento US 6,531,058 B1 divulga un aparato de lecho fluidizado que comprende un tanque apoyado en un soporte de acero. El aparato tiene una unidad de separación sólido-líquido-gas localizada en la parte superior de tanque y un clarificador. Adicionalmente, el aparato incluye una bomba de recirculación para arrastrar una suspensión sólido-líquido desde la unidad de separación sólido-líquido-gas hacia un distribuidor ubicado en el fondo del tanque. También, el aparato posee una salida de gas ubicada en la parte superior del tanque, y tiene una salida de líquido localizada por encima del nivel del líquido.

20

25

Sin embargo, el documento se limita al tratamiento de aguas residuales por medios biológicos, en donde hay microorganismos anaeróbicos que se alimentan de la materia orgánica del agua residual, y producen como desecho gas. Por otro lado, el documento divulga que se recircula una mezcla sólido-líquido a través del distribuidor, mas no se recirculan mezclas líquido-gas. Lo anterior impide que el aparato pueda usarse para reacciones, donde los sólidos sean difíciles de bombear, pues podrían obstruir el distribuidor, o donde sea importante recircular la fase líquida y gaseosa.

30

35

Por otra parte, el documento US 4,618,418 A, divulga un aparato de lecho fluidizado con un tanque y un distribuidor ubicado en el fondo del tanque. El aparato contiene una salida de gases en la parte superior del tanque y posee una tubería de recirculación de sedimentación (sólido-líquido) hacia la parte inferior del tanque. También, el aparato incluye una bomba unida a una tubería de succión conectada a la descarga del tanque, donde, la descarga del tanque se ubica en la parte superior del tanque, por debajo del nivel líquido. Además, el aparato cuenta con una entrada de gas en la parte inferior de tanque, y a su vez es independiente a la tubería de descarga proveniente de la bomba.

De acuerdo con el documento mencionado anteriormente (i.e., US 4,618,418 A), para inyectarle gas a su distribuidor de líquido-gas lo hacen de manera independiente, es decir que el líquido entra por un costado y el gas entra directamente al tanque en su parte inferior.

- 5 De acuerdo con lo anterior, el estado de la técnica no divulga reactores de lecho fluidizado con separación multifásica que operen para distintos tipo de procesos reactivos, ya sean químicos o biológicos, y que eviten el uso de compresores y líneas presurizadas para suministrar gases al proceso reactivo.

10 Breve descripción de la invención

La presente invención corresponde a un reactor de lecho fluidizado con separación multifásica, y a una unidad de reacción por fluidización con separación multifásica. El reactor comprende un tanque con un nivel de líquido y un distribuidor líquido-gas
15 localizado en el fondo del tanque. También, el reactor incluye una unidad de separación sólido-líquido-gas localizada dentro del tanque encima del distribuidor líquido-gas. La unidad de separación sólido-líquido-gas comprende una entrada de líquido localizada debajo del nivel de líquido y una tubería de salida de líquido localizada entre el nivel de líquido y la entrada de líquido. También, la unidad de separación sólido-líquido-gas tiene
20 una salida para sólidos localizada en el fondo de la unidad de separación sólido-líquido-gas y una salida de gas localizada encima del nivel del líquido. Adicionalmente, el reactor incluye una bomba con una tubería de succión conectada a la tubería de salida de líquido, y una tubería de descarga conectada al distribuidor líquido-gas. Además, el reactor tiene una unidad de suministro de gas conectada a la tubería de descarga a través de una tubería para
25 transporte de gas que tiene un Venturi; y tiene una tubería de salida para gas conectada al tanque localizada encima del nivel de líquido.

Por otro lado, la unidad de reacción por fluidización con separación multifásica comprende un primer reactor de lecho fluidizado y un segundo reactor de lecho fluidizado. Cada
30 reactor tiene un tanque con un nivel de líquido; un distribuidor líquido-gas localizado en el fondo del tanque; y una unidad de separación sólido-líquido-gas localizada dentro del tanque encima del distribuidor líquido gas. La unidad de separación sólido-líquido-gas tiene una entrada de líquido localizada debajo del nivel de líquido y una tubería de salida de líquido localizada entre el nivel de líquido y la entrada de líquido. También, la unidad de
35 separación sólido-líquido-gas tiene una salida para sólidos localizada en el fondo de la unidad de separación sólido-líquido-gas; y una salida de gas localizada encima del nivel de líquido. Además, cada reactor incluye una bomba con una tubería de succión conectada a la tubería de salida de líquido, y una tubería de descarga conectada al distribuidor líquido-gas; y una unidad de suministro de gas conectada a la tubería de descarga a través de una
40 tubería para transporte de gas que tiene un Venturi. Adicionalmente, cada reactor incluye

una tubería de salida de gas conectada al tanque y localizada encima del nivel de líquido; y una tubería de ingreso de sólidos con una salida ubicada debajo de la salida para sólidos.

5 El primer reactor de lecho fluidizado y el segundo reactor de lecho fluidizado pueden conectarse para fluyan al menos dos de las tres fases (líquido, sólido y gas) en co-corriente, en contracorriente, en serie, o en paralelo.

Breve descripción de las figuras

10 La FIG. 1 hace referencia a una modalidad de un reactor de lecho fluidizado con separación multifásica.

La FIG. 1A hace referencia a los componentes de la unidad de separación sólido-líquido-gas de una modalidad de un reactor de lecho fluidizado con separación multifásica

15 La FIG. 2 hace referencia a una modalidad de un reactor de lecho fluidizado con separación multifásica como el de la FIG. 1, al cual se le conecta una tubería de salida de líquido que comunica un separador líquido-sólido-gas a un primer punto externo; y se le conecta una unidad de suministro de fluido a una tubería de succión de una bomba.

20 La FIG. 3 hace referencia a una modalidad de un reactor de lecho fluidizado con separación multifásica como el de la FIG. 1, al cual se le conecta una tubería de ingreso de sólidos, y se conecta una tubería de transporte de solido a la salida para sólidos.

25 La FIG. 4 hace referencia a una modalidad de una unidad de reacción por fluidización que tiene dos reactores de lecho fluidizado con separación multifásica funcionando en contracorriente.

30 La FIG. 5. hace referencia a una modalidad de una unidad de reacción por fluidización que tiene dos reactores de lecho fluidizado con separación multifásica funcionando en co-corriente.

35 La FIG. 6 hace referencia a una modalidad de una unidad de reacción por fluidización que tiene dos reactores de lecho fluidizado con separación multifásica funcionando en co-corriente para una fase líquida y una fase sólida.

La FIG. 7 hace referencia a una modalidad de una unidad de reacción por fluidización que tiene dos reactores de lecho fluidizado con separación multifásica funcionando en paralelo.

40 La FIG. 8 hace referencia a una modalidad de una unidad de reacción por fluidización que tiene dos reactores de lecho fluidizado con separación multifásica funcionando en serie.

Descripción detallada

La presente invención corresponde a un reactor de lecho fluidizado con separación multifásica (en adelante reactor), y a una unidad de reacción por fluidización con separación multifásica (en adelante unidad de reacción).

Haciendo referencia a la FIG.1, el reactor comprende:

- un tanque (1) con un nivel de líquido (L);
- un distribuidor liquido-gas (2) localizado en el fondo del tanque (1);
- una unidad de separación sólido-líquido-gas (4) localizada dentro del tanque (1) encima del distribuidor líquido gas (2), la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) tiene:
 - una entrada de líquido (12) localizada debajo del nivel de líquido (L);
 - una tubería de salida de líquido (8) localizada entre el nivel de líquido (L) y la entrada de líquido (12);
 - una salida para sólidos (13) localizada en el fondo de la unidad de separación sólido-líquido-gas (4); y
 - una salida de gas (11) localizada encima del nivel de líquido (L);
- una bomba (3) con una tubería de succión (7) conectada a la tubería de salida de líquido (8), y una tubería de descarga (10) conectada al distribuidor líquido-gas (2);
- una unidad de suministro de gas (14) conectada a la tubería de descarga (10) a través de una tubería para transporte de gas (5) que tiene un Venturi (6); y
- una tubería de salida de gas (9) conectada a un tanque (1) y localizada encima del nivel de líquido (L).

El tanque (1) aloja una mezcla sólido-líquido-gas que es fluidizada mediante una mezcla líquido-gas suministrada a través del distribuidor liquido-gas (2), el cual se localiza en el fondo del tanque (1). Al interior del tanque (1) pueden efectuarse reacciones donde se tengan reactivos de una fase que agotan reactivos de otra fase. Por ejemplo, en el tanque (1) se pueden efectuar reacciones de cianuración de arenas ricas en metales preciosos, como oro, plata y platino; y reacciones de tratamiento biológico de agua residuales, donde la fase sólida incluye microorganismos que consumen material orgánico presente en la fase líquida. También, se pueden efectuar reacciones de catálisis heterogénea, donde uno o más componentes de la fase líquida reaccionan con uno o más componentes de la fase gaseosa en la superficie de un catalizador contenido en la fase sólida.

Haciendo referencia a la FIG.1, en una modalidad de la invención, el tanque (1) tiene como fondo un cabezal toriesférico, esférico, de cabecera (dished head, en inglés), plano, cónico

y combinaciones de los mismos. La relación de aspecto del tanque (1), es decir, el cociente entre la altura del tanque y su diámetro, donde el diámetro puede ser interno o externo, puede ser entre 0,5 y 3. Por otro lado, el tanque (1) puede tener un segundo cabezal ubicado en su cara superior, que puede ser cabezal toriesférico, esférico, de cabecera, plano, cónico, y combinaciones de los mismos. Al tener una geometría curva en las aristas del fondo del tanque (1) (v.gr. cabezal toriesférico, esférico, o de cabecera) se evita la sedimentación, y acumulación de sólidos en la periferia de dicho fondo, mejorando así la homogeneidad de la mezcla líquido-sólido-gas.

- 5 Se entenderá en la presente invención por relación de aspecto, el cociente entre la altura del tanque y su diámetro, donde el diámetro puede ser interno o externo.

El tanque (1) puede estar abierto a la atmósfera, o puede estar sellado. En caso tal que el tanque (1) sea sellado, este puede operar bajo condiciones de vacío, o presurizado.

- 15 También, el tanque puede operar a una temperatura entre 5°C y 90°C, entre 8°C y 95°C, entre 10°C y 100°C, entre 15°C y 105°C, entre 20°C y 110°C, entre 25°C y 120°C, entre 30°C y 125°C, entre 70°C y 250°C, entre 110°C y 400°C, entre 800°C y 1100°, entre 1100°C y 1800°C.

- 20 Por otro lado, el tanque (1) puede tener una capacidad entre 5L y 100m³. También, el tanque (1) puede tener una capacidad entre 5L y 20L; entre 20L y 50L; entre 50L y 100L; entre 100L y 200L; entre 200L y 500L, entre 400L y 800L, entre 800L y 1600L, entre 2400 y 3600L. También, la capacidad del tanque puede ser entre 1m³ y 10m³, entre 1m³ y 10m³, entre 10m³ y 20m³, entre 20m³ y 30m³, entre 30m³ y 40m³, entre 50m³ y 60m³, entre 70m³ y 80m³, y entre 80m³ y 100m³, entre 200m³ y 500m³, entre 500m³ y 1000m³, entre 1000m³ y 1500m³.

En una modalidad de la invención el tanque (1) tiene una capacidad de 208,2L (55USgal).

- 30 En una modalidad de la invención, el tanque (1) opera una presión manométrica entre 0 y 689,746 Kpa, entre 137,895 Kpa y 1034,21 Kpa, entre 206,843 Kpa y 1378,95 Kpa, entre 275,79 Kpa y 1723,69 Kpa, entre 413,685 Kpa y 2068,43 Kpa, entre 551,581 Kpa y 2757,9 Kpa.

- 35 En una modalidad de la invención, el tanque (1) opera en condiciones de vacío de 304,8 mmHg (VAC) y 0 Kpa, entre 508 mmHg y 103,421 Kpa, entre 1270 mmHg y 206,843 Kpa, entre 2032 mmHg y 413,685 Kpa.

- 40 Se entenderá que las condiciones de temperatura, presión y capacidad volumétrica del tanque (1) son variables de operación que se seleccionan según los tipos de reactivos que se utilicen y los flujos que se requieren. Estas variables de operación son definidas y

calculadas por un técnico medianamente versado en ingeniería química, ingeniería de procesos y campos técnicos afines.

5 En una modalidad de la invención, el tanque (1) es de un material que se selecciona entre acero inoxidable, acero al carbono, aluminio, cobre, bronce, latón, aleaciones austeníticas de base níquel-cromo, poliacrilatos, resinas plásticas (v.gr. poliéster, vinil éster, epóxicas) reforzadas con fibras (v.gr. de vidrio, aramida, carbono, poliéster), polipropileno, polietileno, poliamidas, hormigón, concreto reforzado y combinaciones de los anteriores.

10 En una modalidad de la invención, el tanque (1) tiene aislamiento térmico, el cual se selecciona entre lana de roca, mantas de vidrio, recubrimientos textiles, cerámicos, y combinaciones de los anteriores. También, el tanque (1) puede tener un recubrimiento externo, como pintura electrostática, epóxica, o vinílica, que evita la corrosión del tanque (1) si se expone a la intemperie. Por otro lado, el tanque (1) puede tener un recubrimiento
15 interno, como pintura electrostática, epóxica, o vinílica que impida que el contenido del tanque (1) ataque químicamente la superficie interna del tanque. También, el tanque (1) puede tener un recubrimiento como materiales cerámicos depositados químicamente o físicamente por vapor; galvanizado, anodizado, tropicalizado, cementado, nitrurado, sinterización de recubrimientos cerámicos y combinaciones de los anteriores.

20 En una modalidad de la invención, el tanque (1) es de una aleación ferrosa austenítica base níquel cromo.

En una modalidad de la invención, el tanque (1) puede fabricarse a partir de placas
25 metálicas unidas entre sí mediante soldadura (v.g. SMAW, GMAW, GTAW, FCAW, y otros métodos de soldadura aceptados por la American Welding Society).

En una modalidad de la invención, el tanque (1) tiene medios de calentamiento y/o medios de enfriamiento dispuestos operacionalmente para controlar la temperatura de la mezcla
30 sólido-líquido-gas contenida en el tanque (1).

En una modalidad de la invención, los medios de calentamiento se seleccionan entre serpentines, chaquetas, resistencias eléctricas, calentadores de inducción, quemadores, tubos radiantes, calentadores solares, intercambiadores de tubos, de placas,
35 intercambiadores con aletas, y combinaciones de los mismos.

En una modalidad de la invención, los medios de enfriamiento se seleccionan entre serpentines, chaquetas, intercambiadores de tubos, de placas, intercambiadores con aletas, y combinaciones de los mismos.

40

En una modalidad de la invención, el tanque (1) tiene una chaqueta que lo rodea. A través de la chaqueta se puede hacer pasar un fluido de servicio, donde el fluido de servicio puede tener un temperatura mayor o menor a la temperatura de la mezcla sólido-líquido-gas contenida en el tanque (1). La chaqueta incluye conexiones para gas, vapor o líquido.

5 También, la chaqueta puede incluir una trampa de vapor.

La chaqueta puede suministrar calor a la mezcla sólido-líquido-gas contenida en el tanque (1), lo cual, es importante para mantener la temperatura de reacción de dicha mezcla, por ejemplo, en reacciones endotérmicas. Para suministrar calor, se hace pasar un vapor que
10 condensa en la chaqueta, aportando el calor de condensación a la mezcla sólido-líquido-gas contenida en el tanque (1). También, puede hacerse pasar un líquido que pierde calor en la chaqueta para transferírsele a la mezcla sólido-líquido-gas contenida en el tanque (1), por ejemplo, un aceite térmico.

15 También, la chaqueta puede extraer calor de la mezcla sólido-líquido-gas contenida en el tanque (1), lo cual, es importante para mantener la temperatura de reacción de dicha mezcla, por ejemplo, en reacciones exotérmicas. Para extraer calor, se puede hacer pasar un fluido líquido que cambie de fase dentro de la chaqueta, por ejemplo, agua. También, se puede hacer pasar un fluido que no necesariamente cambie de fase, por ejemplo, agua, o
20 aceites térmicos.

En una modalidad de la invención, el tanque (1) tiene un serpentín en su interior el cual sigue una trayectoria helicoidal. A través del serpentín se puede pasar un fluido de servicio de diferente temperatura al de la mezcla sólido-líquido-gas contenida en el tanque (1). El
25 serpentín incluye conexiones para gas, vapor o líquido

En una modalidad de la invención, el serpentín es de un material que se selecciona entre cobre, acero inoxidable, hierro fundido y combinaciones de las mismas.

30 El serpentín puede seleccionarse entre tuberías de sección transversal circular, rectangular, cuadrada, poligonal regular, poligonal irregular y combinaciones de las mismas.

En una modalidad de la invención, el serpentín tiene aletas, las cuales pueden ser interiores y/o exteriores. Las aletas mejoran la transferencia de calor entre el fluido de servicio que
35 fluye a través del serpentín y la mezcla sólido-líquido-gas contenida en el tanque (1). Las aletas pueden ser láminas cuadradas o circulares conectadas a la superficie externa o interna del serpentín.

Se entenderá en la presente invención que la superficie interna del serpentín es la superficie
40 que está en contacto con el fluido de servicio, y que la superficie externa del serpentín, es la superficie que está en contacto con la mezcla sólido-líquido-gas.

En una modalidad de la invención, el distribuidor líquido-gas (2) puede ser un difusor, una tubería perforada, boquillas de inyección, platos perforados y combinaciones de las mismas.

5

En una modalidad de la invención (no ilustrada), el distribuidor líquido-gas (2) se conforma de una tubería con una pluralidad de tees dispuestas a lo largo de su longitud. Las tees tienen una de sus conexiones abiertas hacia el interior del tanque, a través de dichas conexiones abiertas ingresa la mezcla líquido-gas al interior del tanque.

10

En esta modalidad de la invención, el distribuidor líquido-gas (2) es modular, pues, sus partes se pueden cambiar y configurar de posición, con lo cual se pueden producir flujos hacia arriba, abajo, hacia el centro del tanque y hacia su periferia.

15 También, las tees pueden tener reducciones o ampliaciones que permitan tener diferentes velocidades de salida de mezcla líquido-gas, con lo cual se generan patrones de flujo que cambian la dirección de agitación para la solución líquido-sólido-gas contenida en el tanque.

20 Adicionalmente, se pueden conectar inyectores inclinados a las tees, que permitan cambiar la dirección angular del flujo de salida por cada tee, así, se pueden lograr patrones de flujo radial, axial, axial descentrado, flujo inclinado y combinaciones de los mismos.

Lo anterior permite tener un mejor control de los sólidos que tienden a sedimentarse en el tanque, y permite generar diferentes patrones de flujo. Por ejemplo, se pueden generar patrones de flujo descendente en el centro del tanque, y ascendente en la periferia del tanque, lo cual usualmente se logra con agitadores de propela marina, de curva tripala o de propela bipala, los cuales tienen mayores costos de mantenimiento y mayor consumo de energía eléctrica. Con base en lo anterior, se evidencia que la presente invención permite disminuir el consumo de energía de agitación, en comparación con los agitadores mecánicos.

30

En una modalidad de la invención, el distribuidor líquido-gas (2) se conforma de una pluralidad de tuberías dispuestas en un arreglo triangular, cuadrangular, pentagonal, hexagonal, heptagonal, octagonal, decagonal, poligonal, y combinaciones de los mismos.

35

En una modalidad de la invención, el distribuidor líquido-gas (2) se conforma de ocho tuberías conectadas entre sí de manera octagonal. Al menos cuatro tuberías tienen una tee; a su vez, la tee se conecta un nipple que extiende hacia el centroide del octágono que conforman las tuberías. En el extremo del nipple se conecta un accesorio (v.gr. codo,

40

semicodo) que apunta hacia la cara superior del tanque (1), con una inclinación, que puede ser 30°, 45°, 60° o 90° respecto a la horizontal.

5 En una modalidad de la invención, el distribuidor líquido-gas (2) se conforma de ocho tuberías conectadas entre sí con semi-codos a 45°, conformando un anillo octagonal para distribuir la mezcla líquido-gas proveniente de la bomba (3). Por otro lado, se conecta una pluralidad de tubos dispuestos de manera simétrica dentro del anillo octagonal. Los tubos tienen perforaciones a lo largo de su longitud, las perforaciones se distribuyen por pares, donde cada par tiene un ángulo respecto a la horizontal de 45°. Las perforaciones permiten
10 tener un flujo homogéneo.

Esta modalidad puede utilizarse para tratamiento aerobio de aguas residuales, captura biológica de CO₂, hidrodesulfuración; aplicaciones de catálisis heterogénea, por ejemplo, funcionalización de arcillas por activación hidrotermal ácida, donde las arcillas pueden ser
15 bentonita cálcica, caolinita, feldespatos, y/o combinaciones de las mismas. Los ácidos para la activación hidrotermal pueden ser ácido nítrico, sulfúrico, clorhídrico, sulfuroso, y/o combinaciones de los mismos.

Haciendo referencia a la FIG.1, en una modalidad de la invención, la unidad de separación
20 sólido-líquido-gas (4) puede ser un tanque de sedimentación, un ciclón, un hidrociclón, un sedimentador de placas y combinaciones de los mismos.

En una modalidad de la invención, la relación de aspecto de la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) puede ser entre 0,5 y 2. También, el material de la unidad de separación
25 sólido-líquido-gas (4) que se selecciona entre acero inoxidable, acero al carbono, aluminio, cobre, bronce, latón, aleaciones austeníticas de base níquel-cromo, poliacrilatos, resinas plásticas (v.gr. poliéster, vinilester, epóxicas) reforzadas con fibras (v.gr. de vidrio, aramida, carbono, poliéster), polipropileno, polietileno, poliamidas, y combinaciones de los anteriores.

30 Por otro lado, la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) tiene un recubrimiento, que puede ser interno y/o externo, como pintura electrostática, epóxica, o vinílica, que impide que el contenido del tanque (1) ataque químicamente la superficie interna de la unidad de separación sólido-líquido-gas (4).

35 En una modalidad preferida de la invención, la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) tiene un fondo cónico que favorece la precipitación de sólidos.

En una modalidad de la invención, la tubería de transporte de gas (5) se extiende
40 verticalmente desde el Venturi (6) hasta una altura superior de líquido (L), para evitar que

se derrame fluido a través de la tubería de transporte de gas (5), este efecto sucede por el principio de vasos comunicantes.

Además, para evitar que se derrame fluido a través de la tubería de transporte de gas (5), se puede instalar una válvula anti retorno (check valve, en inglés) en la tubería de transporte de gas (5).

Haciendo referencia a la FIG. 1A, en una modalidad de la invención, la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) es un clarificador trifásico que se conforma de:

- 10 - una sección superior cilíndrica (25)
- una entrada de líquido (12) ubicada en la superficie lateral de la sección superior cilíndrica (25), la entrada de líquido (12) se conformada de una pluralidad de colectores periféricos (26);
- un fondo cónico (27) con su base conectada a la sección superior cilíndrica (25);
- 15 - una canaleta colectora (28) dispuesta de manera concéntrica con la sección superior cilíndrica (25), la canaleta colectora (28) tiene un borde superior ubicado a nivel con el nivel de fluido (L); donde la canaleta colectora (28) se conecta a la salida para líquido (8); y
- una salida para sólidos (13) ubicada en la parte inferior del fondo cónico (27).

20

El área superficial y la altura de clarificación de la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) son factores importantes para permitir la separación de las tres fases. La separación se produce mediante un cambio de velocidad que permite que los sólidos se sedimenten y los gases suban en el seno del líquido. Dicho cambio de velocidad se produce al cambiar el

25 área de flujo, de acuerdo con la ley de conservación del momentum. Preferiblemente, el área de entrada de los colectores periféricos (26) es la adecuada para generar un flujo laminar, pues el flujo laminar facilita la sedimentación de los sólidos y reduce la posibilidad de salpicado.

30 En caso de que la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) sea un clarificador trifásico, el líquido entra por la canaleta colectora (28) hacia el interior de la sección superior cilíndrica (25), donde cae su velocidad y genera la precipitación de sólidos hacia el fondo cónico (27). Por otra parte, la fase líquida sube hasta el nivel de líquido (L) e ingresa a la canaleta colectora (28), la cual direcciona la fase líquida hacia la salida para líquido (8).

35

Haciendo referencia a la FIG.1, en una modalidad de la invención, la bomba (3) se selecciona entre bombas centrífugas y bombas de desplazamiento positivo. Por ejemplo, la bomba (3) puede ser una bomba de diafragma, de pistones, centrífuga de una etapa o de múltiples etapas y combinaciones de las mismas.

40

En una modalidad de la invención, la bomba (3) puede ser un banco de bombeo que comprende una pluralidad de bombas dispuestas en serie y/o en paralelo. El banco de bombas ayuda a tener una mayor confiabilidad del reactor.

- 5 En una modalidad de la invención, la bomba (3) es una unidad de bombeo que cuenta con dos o más bombas conectadas en paralelo, en serie o en combinación de serie-paralelo. De esta manera, se logra incrementar la cabeza de fluido equivalente a la salida de la unidad de bombeo y así lograr vencer la inercia de la solución sólido-líquido-gas dentro del tanque (1).

10

En una modalidad de la invención, la unidad de suministro de gas (14) puede ser un tanque presurizado, o una línea presurizada en la cual fluye gas.

- 15 Haciendo referencia a la FIG.2, en una modalidad de la invención, el reactor tiene la tubería de salida de líquido (8) conectada a un primer punto externo, y la tubería de succión (7) se conecta a la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) entre el nivel de líquido (L) y la entrada de líquido (12). A su vez, a la tubería de succión (7) se conecta una unidad de suministro de fluido (15).

- 20 En esta modalidad, el reactor permite que entre una fase líquida al tanque (1) que reacciona con la fase sólida y/o la fase gaseosa contenida en el tanque, y sale a través de la tubería de salida de líquido (8) hacia un primer punto externo, en donde se retira el líquido después de la reacción. Lo anterior, es útil en procesos de lixiviación, en donde se hace circular un solvente que extrae un componente presente en la fase sólida; o en procesos de activación
- 25 de arcillas, donde se suministra una lechada rica en arcillas que reacciona con una solución ácida.

La unidad de suministro de fluido (15) puede ser una tubería presurizada a través de la cual fluye un líquido, o un tanque con líquido.

30

- En una modalidad de la invención, la unidad de separación sólido-líquido-gas (4), tiene fondo cónico, en dicho fondo cónico se ubica la salida sólidos (13), la cual es un cono invertido que expulsa de manera radial la fase sólida separada en la unidad de separación sólido-líquido-gas (4). Expulsar los sólidos de manera radial permite que dichos sólidos se
- 35 repartan de manera homogénea en el tanque (1), facilitando que se mezcle con la mezcla sólido-líquido-gas. Lo anterior, es ideal cuando se trabaja en lotes, pues la fase sólida, que puede ser un reactivo o un catalizador, circula constantemente dentro del tanque (1) y la unidad de separación sólido-líquido-gas (4).

Se entenderá en la presente invención que sólidos y fase sólida, puede ser una mezcla de sólidos, una suspensión de sólidos en líquido, lodos, una suspensión de sólidos en gas, y combinaciones de los anteriores.

5 Haciendo referencia a la FIG. 3, en una modalidad de la invención, al tanque (1) se conecta una tubería de ingreso de sólidos (16) con una salida ubicada debajo de la salida para sólidos (13); y se conecta una tubería de transporte de sólido (17) a la salida para sólidos (13). En esta modalidad se ingresan sólidos a través de la tubería de ingreso de sólidos (16) que reaccionan con la fase líquida y/o la fase gaseosa que se encuentra al interior del tanque
10 (1). Luego, se retiran sólidos después que hayan reaccionado a través de la salida para sólidos (13). De esta manera, el reactor permite que la fase sólida reaccione de manera continua.

En una modalidad de la invención (no ilustrada), se dispone una tee entre la tubería de
15 transporte para sólido (17), y la salida para sólidos (13). La tee tiene una salida abierta hacia el tanque (1). De esta manera se recircula una parte de la fase sólida, y se saca otra parte hacia un punto externo.

En una modalidad de la invención, los sólidos provienen de una unidad de suministro de
20 sólidos (21), que puede ser, una tolva, un transportador de tornillo, un transportador de tornillo con salida cónica (plug feeder, en inglés), transportadores de sólidos por banda, “grizzlies”, y combinaciones de los mismos.

En una modalidad de la invención, la unidad de suministro de sólidos (21) se conforma de
25 una tolva en la cual se almacena un lodo que contiene la fase sólida que participa en la reacción al interior del tanque (1). A su vez, la tolva se conecta a la tubería de ingreso de sólidos (16), por otro lado, la tubería de ingreso de sólidos (16) incluye una válvula para lodos (v.g. unidireccional, de bola, de mariposa, de cuchilla, de guillotina, de aguja y combinaciones de las mismas).

30 Se entenderá que la tubería para transporte de gas (5), la tubería de succión (7), la salida de líquido (8), la tubería de descarga (10), la tubería de salida de gas (9) y la tubería de ingreso de sólidos (16) y la tubería de transporte para sólido (17), pueden ser tuberías de acero inoxidable 304, acero inoxidable 316, hierro galvanizado, hierro fundido, policloruro de
35 vinilo (PVC, por sus siglas en inglés), bronce cromado, cobre, cloruro de polivinilo clorado (CPVC, por sus siglas en inglés), polietileno reticulado (PEX, por sus siglas en inglés), y combinaciones de los anteriores.

En una modalidad de la invención, la tubería para transporte de gas (5), la tubería de
40 succión (7), la salida de líquido (8), la tubería de descarga (10), la tubería de salida de gas

(9) y la tubería de ingreso de sólidos (16) tienen un recubrimiento interno y/o externo, como pintura electrostática, epóxica, o vinílica.

En una modalidad de la invención, el Venturi (6) se selecciona entre diferentes dispositivos que aprovechen la energía de flujo en la tubería de descarga (10) con el fin de generar succión de gas desde la tubería para transporte de gas (5) hacia el tubo de descarga (10). Por ejemplo, el Venturi (6) puede ser un eyector de fluido con una primera entrada, una segunda entrada y una salida alineada con la segunda entrada; donde la primera entrada se conecta al tubo de transporte de gas (5), la segunda entrada se conecta a un tramo de la tubería de descarga (10) que viene de la bomba (3), y la salida se conecta al tramo de la tubería de descarga (10) que se conecta al distribuidor líquido-sólido (2).

El eyector de fluido puede ser de material como acero inoxidable 304, acero inoxidable 316, hierro galvanizado, hierro fundido, PVC, bronce cromado y combinaciones de los anteriores. Al tener un sistema Venturi se elimina la necesidad de utilizar compresores de gas, los cuales tienen mayores costos de mantenimiento y consumen más energía eléctrica.

Entre los diferentes tipos de compresores se encuentran los compresores de flujo continuo, compresores de desplazamiento positivo (v.gr. compresores de émbolo, ventiladores compresores, ventiladores no compresores), y de desplazamiento no positivo, o dinámico (v.gr. ventiladores centrífugos de flujo radial, compresores de flujo radial, compresores de flujo mixto). Con base en lo anterior, se evidencia que la presente invención permite disminuir los costos de operación y mantenimiento cambiando el sistema de compresores por un eyector de fluido.

Haciendo referencia a la FIG. 4, en una modalidad de la invención, la unidad de reacción comprende un primer reactor de lecho fluidizado (R1) y un segundo reactor de lecho fluidizado (R2), donde los reactores se disponen de manera que una fase sólida suministrada en el segundo reactor de lecho fluidizado (R2) fluye en contracorriente respecto a una fase líquida sólida suministrada en el primer reactor de lecho fluidizado (R1), cada reactor se conforma de:

- un tanque (1) con un nivel de líquido (L);
- un distribuidor líquido-gas (2) localizado en el fondo del tanque (1);
- una unidad de separación sólido-líquido-gas (4) localizada dentro del tanque (1) encima del distribuidor líquido gas (2), la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) tiene:
 - una entrada de líquido (12) localizada debajo del nivel de líquido (L);
 - una tubería de salida de líquido (8) localizada entre el nivel de líquido (L) y la entrada de líquido (12);

- una salida para sólidos (13) localizada en el fondo de la unidad de separación sólido-líquido-gas (4); y
- una salida de gas (11) localizada encima del nivel de líquido (L);
- una bomba (3) con una tubería de succión (7) conectada a la tubería de salida de líquido (8), y una tubería de descarga (10) conectada al distribuidor líquido-gas (2);
- una unidad de suministro de gas (14) conectada a la tubería de descarga (10) a través de una tubería para transporte de gas (5) que tiene un Venturi (6); y
- una tubería de salida de gas (9) conectada al tanque (1) y localizada encima del nivel de líquido (L);
- una tubería de ingreso de sólidos (16) con una salida ubicada debajo de la salida para sólidos (13).

En una modalidad de la invención, la tubería succión (7) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de fluido (15), y la tubería de salida de líquido (8) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a la tubería succión (7) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2). Además, la tubería de ingreso de sólidos (16) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a una unidad de suministro de sólidos (21); y la tubería de salida para sólidos (13) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a la tubería de ingreso de sólidos (16) del primer reactor de lecho fluidizado (R1).

Como se dijo anteriormente, los reactores se disponen de manera que una fase sólida suministrada en el segundo reactor de lecho fluidizado (R2) fluye en contracorriente respecto a una fase líquida sólida suministrada en el primer reactor de lecho fluidizado (R1). Esto es favorable en procesos reactivos donde se quiere aumentar el tiempo de contacto de un componente de la fase sólida, con un componente de la fase líquida.

Haciendo referencia a la FIG. 4, en una modalidad de la invención, se utiliza la unidad de reacción para la activación ácida hidrotermal de arcillas. En este caso, la unidad de suministro de sólidos (21) suministra al segundo reactor de lecho fluidizado (R2) una lechada de arcilla, que comprende agua y un mineral arcilloso. Por otro lado, a través de la unidad de suministro de fluido (15) del primer reactor de lecho fluidizado (R1), se ingresa al tanque (1) de dicho reactor una solución ácida concentrada.

Al segundo reactor de lecho fluidizado (R2) ingresa una solución ácida diluida que proviene del primer reactor de lecho fluidizado (R1). La tubería de succión (7) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a la tubería de salida de líquido (8) del primer reactor de lecho fluidizado (R1). En el segundo reactor de lecho fluidizado (R2), la solución ácida diluida reemplaza iones de hidrógeno por cationes de metales pesados del mineral arcilloso presente en la lechada de arcilla. De esta manera, se produce una lechada

de arcilla parcialmente activada, la cual sale por la salida para sólidos (13) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2). Dicha salida para sólidos (13) se conecta a la tubería de ingreso de sólidos (16) del primer reactor de lecho fluidizado (R1).

- 5 En el primer reactor de lecho fluidizado (R1), reacciona la lechada de arcilla parcialmente activada con la solución de ácido concentrada, intercambiando iones de hidrógeno provenientes de la solución ácida concentrada, con cationes metálicos de la lecha de arcilla parcialmente activada (e.g., Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc.). Esta reacción da como resultado una lechada de arcilla activada, la cual se extrae a través de la salida para sólidos (13) del primer reactor de lecho fluidizado (R1), y la solución ácida diluida mencionada previamente.
- 10

El mineral arcilloso puede incluir arcillas bentonitas, arcillas caoliníferas, caolines, feldespatos, arcillas Paligroskita-Sepiolita, hidrómicas, ilitas, cloritas, haloisitas, silicatos complejos hidratados de aluminio, gibsita, boehmita, plagioclasa, piroxenas, rutilo, limonita, endelita, y combinaciones de las mismas.

15

La proporción de mineral arcilloso y agua puede ser entre el 15% de mineral arcillo y 85% de agua, entre 20% de mineral arcilloso y 80% de agua, entre 25% de mineral arcilloso y 75% de agua, entre 30% de mineral arcilloso y 70% de agua, entre 35% de mineral arcilloso y 65% de agua, entre 40% de mineral arcilloso y 60% de agua, entre 45% de mineral arcilloso y 55% de agua, entre 50% de mineral arcilloso y 50% de agua, entre 60% de mineral arcilloso y 40% de agua, entre 65% de mineral arcilloso y 35% de agua, entre 70% de mineral arcilloso y 30% de agua, entre 75% de mineral arcilloso y 25% de agua.

20

- 25 Los ácidos presentes en la solución ácida concentrada pueden ser ácido nítrico, sulfúrico, clorhídrico, sulforoso, y/o combinaciones de los mismos.

Por otra parte, en vez de suministrarse la lechada arcillosa en el segundo reactor de lecho fluidizado (R2), puede suministrarse una arena rica en metales preciosos, y en vez de suministrar la solución ácida concentrada en el primer reactor de lecho fluidizado (R1), puede suministrarse una solución cianurada, por ejemplo, una solución acuosa de cianuro de sodio, con una concentración de cianuro de sodio de entre 0,5%p/p y 20%p/p, entre 1%p/p y 2%p/p, entre 2%p/p y 3%p/p, entre 3%p/p y 4%p/p, entre 5%p/p y 8%p/p, entre 8%p/p y 12%p/p, entre 12%p/p y 15%p/p, entre 15%p/p y 18%p/p, entre 18%p/p y 20%p/p, y entre 20%p/p y 30%p/p.

30

35

La solución cianurada reacciona con la arena rica en metales preciosos, formando como producto una solución de cianuros de materiales preciosos (solución preñada o enriquecida), por ejemplo, soluciones de cianuro de oro, plata, platino y combinaciones de los mismos.

40

La disposición en contracorriente del primer reactor de lecho fluidizado (R1) y del segundo reactor de lecho fluidizado (R2), para las fases sólida y líquida, permite aumentar el tiempo de reacción que tiene la solución cianurada con la arena rica en metales preciosos.

- 5 Se entenderá que cualquier técnico versado en el campo de la presente invención, puede utilizar la disposición en contracorriente de los reactores para cualquier proceso reactivo en donde se quiere aumentar el tiempo de contacto entre la fase líquida y la fase sólida.

En una modalidad no ilustrada de la invención, se conecta un tercer reactor de lecho
10 fluidizado (R3) al segundo reactor de lecho fluidizado (R2) de la siguiente manera:

La tubería succión (7) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a una unidad de suministro de fluido (15), y la tubería de salida de líquido (8) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a la tubería succión (7) del tercer reactor (R3). Además, la tubería de ingreso de sólidos (16) del tercer reactor (R3) se conecta a una unidad de
15 suministro de sólidos (21); y la tubería de salida para sólidos (13) del tercer reactor (R3) se conecta a la tubería de ingreso de sólidos (16) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2).

En una modalidad de la invención, se conectan entre si una pluralidad de reactores de lecho fluidizado de igual manera como se conectan los reactores de lecho fluidizado (R1), (R2) y
20 (R3). De esta manera, los reactores de lecho fluidizado se comportan de manera modular.

Se entenderá que el Venturi (6) succiona aire atmosférico y lo inyecta a la tubería de descarga (10) de la bomba (3) del primer reactor de lecho fluidizado (R1). El aire actúa como ayudante de fluidización y sale por la tubería de salida de gas (9) del primer reactor
25 (R1) y del segundo reactor (R2).

Se entenderá en la presente invención que la modalidad preferida es que el distribuidor liquido-gas (2) la conforma una manguera de PVC de 1Plg de diámetro nominal dispuesta de manera anula, con perforaciones de 1 mm de diámetro hasta 5 mm de diámetro. Las
30 perforaciones se ubican en la zona de la manguera que se encuentran sumergida en el tanque (1).

En una modalidad de la invención (no ilustrada), el primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta con el segundo reactor de lecho fluidizado (R2) de manera que la fase gaseosa
35 fluye en contra-corriente con la fase líquida, y la fase sólida. Para ello, se conecta la tubería de salida de gas (9) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) a la unidad de suministro de gas (14) del primer reactor de lecho fluidizado (R1). Esta modalidad puede usarse en procesos donde se busque que reaccione, o que se absorba un componente de la fase gaseosa en la fase líquida.

40

En una modalidad de la invención haciendo referencia a la FIG. 5, el primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta con el segundo reactor de lecho fluidizado (R2) de manera que la fase gaseosa fluye en contra-corriente con la fase líquida y la fase sólida. Para ellos, la tubería para salida de gas (9) del segundo reactor de lecho fluidizado se conecta a la tubería de descarga (10) del primer reactor de lecho fluidizado (R1)

Por ejemplo, en procesos de producción de bebidas gaseosas azucaradas, la fase sólida suministrada en la unidad de suministro de sólidos (21) del primer reactor de lecho fluidizado (R1), puede ser un jarabe concentrado que incluya un vehículo líquido y sólidos, tales como azúcar; carboximetilcelulosa; espesantes, colorantes; preservativos; y combinaciones de los mismos. También, la fase sólida puede ser una mezcla de azúcar, espesantes, colorantes y preservativos sin vehículo líquido.

Por otro lado, la fase líquida suministrada en la unidad de suministro de fluido (15) del primer reactor de lecho fluidizado (R1), puede ser agua, agua destilada, agua acidificada, agua carbonatada y combinaciones de las mismas. Por otra parte, en la unidad de suministro de gas (14) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2), se suministra un gas, por ejemplo, dióxido de carbono.

En el primer reactor de lecho fluidizado (R1) se mezclan la fase líquida y la fase sólida con una corriente de dióxido de carbono que proviene del segundo reactor de lecho fluidizado (R2). De esta manera, se produce en el primer reactor de lecho fluidizado (R1) una solución parcialmente carbonatada líquido-sólido-gas, la cual es suministrada al segundo reactor de lecho fluidizado (R2) mediante la tubería de salida de líquido (8) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) que se conecta a la tubería de succión (7) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2).

Luego, la solución parcialmente carbonatada líquido-sólido-gas entra en contacto con una corriente de dióxido de carbono proveniente de la unidad de suministro de gas (14) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2), para producir una solución carbonatada líquido-sólido-gas, es decir una bebida gaseosa azucarada. Por otra parte, el dióxido de carbono que no se retiene en la solución carbonatada líquido-sólido-gas, pasa al primer reactor de lecho fluidizado (R1).

Haciendo referencia a la FIG. 6, en una modalidad de la invención, al primer reactor de lecho fluidizado (R1) se ingresa agua ionizada a través de su unidad de suministro de líquido (15). Por otra parte, se ingresa al primer reactor de lecho fluidizado (R1) una lechada de arcilla activada a través de su unidad de suministro de sólidos (21). El agua ionizada fluye en co-corriente con la lechada de arcilla activada.

En una modalidad de la invención (no ilustrada), el gas que se utiliza es el aire del medio ambiente que entra en la tubería de descarga (10) del primer reactor de lecho fluidizado (R1)

- 5 En una modalidad de la invención, la lechada de arcilla activada proviene del primer reactor de lecho fluidizado (R1), de una unidad de reacción que opera en contracorriente.

La lechada de arcilla activada se pone en contacto con la solución clarificada proveniente del segundo reactor R2 que entra a través de una unidad de suministro (15) conectada a una tubería de succión (7) para remover ácido remanente presente y diluir sales de ácidos que hubieren quedado del proceso de activación descrito en la anterior modalidad.

10

La lechada de arcilla activada sale por una salida de sólidos (13) localizada debajo de la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) del primer reactor (R1) y se conecta a la entrada de sólidos (16) del segundo reactor (R2).

15

La lechada que entró al segundo reactor (R2) sale por una tubería de salida (13) conectada a una tubería de transporte (17) y sale en forma de lechada con arcilla activada ya lavada. La solución clarificada que sale del primer reactor (R1) a través de una salida para líquido (8) y esta se conecta a una tubería de succión (7) del segundo reactor (R2). El reactor (R2) tiene una salida para líquido (8) conectada a la unidad de separación sólido-líquido-gas.

20

Haciendo referencia de la FIG. 7, en una modalidad de la invención la unidad de reacción trabaja en paralelo, la unidad de reacción tiene una tubería de succión (7) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) conectada a una unidad de suministro de fluido (15) y la tubería de salida de líquido (8) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a un primer sumidero de líquido (20); y donde la tubería de succión (7) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a la unidad de suministro de fluido (15) y la tubería de salida de líquido (8) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta al primer sumidero de líquido (20). Donde la tubería de ingreso de sólidos (16) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de sólidos (21) y la tubería de salida para sólidos (13) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta al primer sumidero de sólidos (23), y donde la tubería de ingreso de sólidos (16) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a la unidad de suministro de sólidos (21) y la tubería de salida para sólidos (13) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta al primer sumidero de sólidos (23); y donde la tubería para transporte de gas (5) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de gas (14) y la tubería de salida para gas (9) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a un primer sumidero de gas (22), y donde la tubería para transporte de gas (5) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a la unidad de suministro de gas (14) y la tubería de salida

25

30

35

40

para gas (9) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta al primer sumidero de gas (22).

Haciendo referencia a la FIG. 8, en una modalidad de la invención a unidad de reacción trabaja en serie, donde la tubería de succión (7) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de fluido (15) y la tubería de salida de líquido (8) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a la tubería de succión (7) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) y la tubería de salida del líquido (8) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a un punto externo. donde la tubería de ingreso de solido (16) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de sólido (21) y la tubería de salida de sólidos (13) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a la tubería de ingreso de sólidos (16) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) y la tubería de salida de solido (13) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta un punto externo. Donde la tubería para transporte de gas (5) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de gas (14) y la tubería de salida para gas (9) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a la tubería de gas (5) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) y una tubería de salida para gas (9) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a un punto externo.

Ejemplo 1: reactor de lecho fluidizado con separación multifásica para cianuración de arenas ricas en metales preciosos.

Se diseñó y construyó un reactor de lecho fluidizado con separación multifásica para cianurar arena rica en oro y plata proveniente de minas de la región del nordeste de Antioquia, Colombia.

El reactor funciona por lotes. Al inicio del lote, se ingresa 5000L de fluido, y 1500kg de sólido. Durante la reacción, se suministran aproximadamente 19scfm de aire atmosférico. El fluido es una solución acuosa de cianuro de sodio al 3,0%p/p. Por otro lado, el sólido es arena concentrada, la cual previamente fue concentrada por algún método de separación, por ejemplo, gravimetría o flotación.

El reactor opera entre 6horas y 12horas, y se obtiene una solución enriquecida en cianuro de oro (solución preñada), la cual se trata posteriormente en una unidad para precipitar oro metálico, por ejemplo, una unidad en donde ocurre un proceso de Merrill-Crowe.

El tanque (1) es un tanque cilíndrico con fondo plano, el cual tiene las siguientes especificaciones:

- capacidad volumétrica: $7,1\text{m}^3$
- material: plástico (resina poliéster isoftálica) reforzado con fibra de vidrio
- diámetro: 1,5m

- altura: 4m

El distribuidor líquido-gas (2) tiene ocho tuberías de policloruro de vinilo (PVC, por sus siglas en inglés) de 1,5plg de diámetro conectadas entre sí de manera octagonal mediante
5 codos a 45°. También, a cuatro de las tuberías se conecta una tee con un niple, y un semicodo a 45° conectado en el extremo distal del niple.

La unidad de separación sólido-líquido-gas (4) es clarificador trifásico con las siguientes características:

- 10 - área superficial: 0,78m²
- fondo: cónico a 45°
- altura de clarificación: 70cm
- colectores periféricos: 6
- área de entrada de los colectores para régimen laminar:
- 15 - material: plástico (resina poliéster isoftálica) reforzado con fibra de vidrio

La bomba (3) es una bomba centrífuga de 1HP y 5gpm.

La unidad de suministro de gas (14) es la atmósfera, y la tubería de transporte de gas (5) es
20 una tubería de policloruro de vinilo (PVC, por sus siglas en inglés) de 1plg de diámetro, dispuesta verticalmente, con una altura máxima de 5m.

Ejemplo 2: Activación ácida hidrotermal de arcillas por flujo en contracorriente

25 Se diseñó y construyó una unidad de reacción por fluidización para la activación ácida hidrotermal de arcillas, la cual tiene las siguientes características:

- configuración de los reactores: Flujo en contracorriente la fase líquida respecto a la fase sólida;
- fase sólida cruda: lechada de arcilla (mineral arcilloso en agua)
- 30 - fase sólida preactivada: lechada de arcilla parcialmente activada
- fase sólida procesada: lechada de arcilla activada;
- fase líquida concentrada: solución acuosa de ácido sulfúrico al 15%p/p;
- fase líquida diluida: solución acuosa de ácido sulfúrico al 7%p/p y sales de metales pesados;
- 35 - fase líquida agotada: solución acuosa de ácido sulfúrico al 0,5% y sales de metales pesados;

Al primer reactor de lecho fluidizado (R1) ingresa la fase líquida concentrada y la fase sólida preactivada; y sale la fase líquida diluida, y la fase sólida activada. Por su parte, Al
40 segundo reactor de lecho fluidizado (R2) ingresa la fase sólida cruda y la fase líquida

diluida; y sale la fase sólida preactivada y la fase líquida agotada. La fase líquida agotada se direcciona hacia una planta de tratamiento de aguas residuales industriales.

Cada reactor tiene las siguientes características:

- 5
 - capacidad del Venturi (6): 4,9scfm;
 - unidad de suministro de gas (14): tubo de 2plg y 1,5m de altura abierto a la atmósfera.
 - tanque (1): caneca de 55gal;
 - distribuidor líquido-gas (2);
- 10
 - La unidad de separación sólido-líquido-gas (4) es un clarificador trifásico con las siguientes características:
 - área superficial: 0,07m²
 - fondo: cónico a 45°
 - altura de clarificación: 40cm
- 15
 - colectores periféricos: 4
 - área de entrada de los colectores para régimen laminar:
 - material: plástico (resina poliéster isoftálica) reforzado con fibra de vidrio
- 20
 - Bomba (3): bomba de diafragma de 10gpm y 1,5HP.

Ejemplo 3: co-corriente unidad de lavado de arcilla

Se diseñó y construyó una unidad de reacción por fluidización para el lavado de arcillas activadas, la cual tiene las siguientes características:

- 25
 - configuración de los reactores: Flujo en co-corriente de la fase líquida respecto a la fase sólida;
 - fase sólida lavada: lechada de arcilla (mineral arcilloso en agua);
 - fase sólida prelavada: lechada de arcilla parcialmente lavada;
 - fase sólida procesada: lechada de arcilla activada;
- 30
 - fase líquida concentrada: solución acuosa de ácido sulfúrico al 15%p/p;
 - fase líquida diluida: solución acuosa de ácido sulfúrico al 7%p/p y sales de metales pesados;
 - fase líquida agotada: solución acuosa de ácido sulfúrico al 0,5% y sales de metales pesados;
- 35
 - fase líquida cruda: agua cruda;

Al primer reactor de lecho fluidizado (R1) ingresa la fase líquida cruda y la fase sólida procesada; y sale la fase líquida diluida, y la fase sólida prelavada. Por su parte, al segundo reactor de lecho fluidizado (R2) ingresa la fase sólida prelavada y la fase líquida diluida; y sale la fase sólida lavada y la fase líquida agotada. La fase líquida agotada se direcciona hacia una planta de tratamiento de aguas residuales industriales.

Cada reactor tiene las siguientes características:

- capacidad del Venturi (6): 4,9scfm;
- unidad de suministro de gas (14): tubo de 2plg y 1,5m de altura abierto a la atmósfera.
- tanque (1): caneca de 55gal;
- distribuidor líquido-gas (2);
- la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) es un clarificador trifásico con las siguientes características:
 - área superficial: 0,07m²
 - fondo: cónico a 45°
 - altura de clarificación: 40cm
 - colectores periféricos: 4
 - área de entrada de los colectores para régimen laminar:
- material: plástico (resina poliéster isoftálica) reforzado con fibra de vidrio
- bomba (3): bomba de diafragma de 10gpm y 1,5HP.

Se debe entender que la presente invención no se halla limitada a las modalidades descritas e ilustradas, pues como será evidente para una persona versada en el arte, existen variaciones y modificaciones posibles que no se apartan del espíritu de la invención, el cual solo se encuentra definido por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un reactor de lecho fluidizado con separación multifásica que comprende:
 - un tanque (1) con un nivel de líquido (L);
 - 5 - un distribuidor líquido-gas (2) localizado en el fondo del tanque (1);
 - una unidad de separación sólido-líquido-gas (4) localizada dentro del tanque (1) encima del distribuidor líquido gas (2), la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) tiene:
 - una entrada de líquido (12) localizada debajo del nivel de líquido
 - 10 (L);
 - una tubería de salida de líquido (8) localizada entre el nivel de líquido (L) y la entrada de líquido (12);
 - una salida para sólidos (13) localizada en el fondo de la unidad de separación sólido-líquido-gas (4); y
 - 15 - una salida de gas (11) localizada encima del nivel de líquido (L);
 - una bomba (3) con una tubería de succión (7) conectada a la tubería de salida de líquido (8), y una tubería de descarga (10) conectada al distribuidor líquido-gas (2);
 - una unidad de suministro de gas (14) conectada a la tubería de descarga (10)
 - 20 a través de una tubería para transporte de gas (5) que tiene un Venturi (6); y
 - una tubería de salida de gas (9) conectada al tanque (1) y localizada encima del nivel de líquido (L).
2. El reactor de la Reivindicación 1, donde la tubería de salida de líquido (8) se
- 25 conecta a un primer punto externo, y la tubería de succión (7) se conecta a la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) entre el nivel de líquido (L) y la entrada de líquido (12); a la tubería de succión (7) se conecta una unidad de suministro de fluido (15).
3. El reactor de la Reivindicación 2, donde al tanque (1) se conecta una tubería de
- 30 ingreso de sólidos (16) con una salida ubicada debajo de la salida para sólidos (13); y se conecta una tubería de transporte de sólido (17) a la salida para sólidos (13).
4. El reactor de la Reivindicación 1, caracterizado porque la tubería de transporte de
- 35 gas (5) se extiende verticalmente desde el Venturi (6) hasta el nivel de líquido (L).
5. El reactor de la Reivindicación 1, donde la tubería de salida de líquido (8) se
- conecta a un primer punto externo, y la tubería de succión (7) se conecta a la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) entre el nivel de líquido (L) y la entrada de
- 40 líquido (12); a la tubería de succión (7) se conecta una unidad de suministro de fluido (15); donde al tanque (1) se conecta una tubería de ingreso de sólidos (16)

con una salida ubicada debajo de la salida para sólidos (13); y se conecta una tubería de transporte de sólido (17) a la salida para sólidos (13).

6. Una unidad de reacción por fluidización con separación multifásica que comprende:

- 5 - un primer reactor de lecho fluidizado (R1) y un segundo reactor de lecho fluidizado (R2), cada reactor se conforma de:
 - un tanque (1) con un nivel de líquido (L);
 - un distribuidor líquido-gas (2) localizado en el fondo del tanque (1);
 - una unidad de separación sólido-líquido-gas (4) localizada dentro del
- 10 tanque (1) encima del distribuidor líquido gas (2), la unidad de separación sólido-líquido-gas (4) tiene:
 - una entrada de líquido (12) localizada debajo del nivel de líquido (L);
 - una tubería de salida de líquido (8) localizada entre el nivel
 - 15 de líquido (L) y la entrada de líquido (12);
 - una salida para sólidos (13) localizada en el fondo de la unidad de separación sólido-líquido-gas (4); y
 - una salida de gas (11) localizada encima del nivel de líquido (L);
- 20 - una bomba (3) con una tubería de succión (7) conectada a la tubería de salida de líquido (8), y una tubería de descarga (10) conectada al distribuidor líquido-gas (2);
- una unidad de suministro de gas (14) conectada a la tubería de
- 25 descarga (10) a través de una tubería para transporte de gas (5) que tiene un Venturi (6); y
- una tubería de salida de gas (9) conectada al tanque (1) y localizada encima del nivel de líquido (L);
- una tubería de ingreso de sólidos (16) con una salida ubicada debajo de la salida para sólidos (13);

30 donde, la tubería succión (7) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de fluido (15), y la tubería de salida de líquido (8) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a la tubería succión (7) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2); y

 donde, la tubería de ingreso de sólidos (16) del segundo reactor de lecho fluidizado

35 (R2) se conecta a una unidad de suministro de sólidos (21); y la tubería de salida para sólidos (13) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a la tubería de ingreso de sólidos (16) del primer reactor de lecho fluidizado (R1).

7. La unidad de reacción por fluidización de la Reivindicación 6, donde la tubería

40 succión (7) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de fluido (15), y la tubería de salida de líquido (8) del primer reactor de

lecho fluidizado (R1) se conecta a la tubería succión (7) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2); y donde, la tubería de ingreso de sólidos (16) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de sólidos (21); y la tubería de salida para sólidos (13) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a la tubería de ingreso de sólidos (16) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2), y la tubería para transporte de gas (5) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta con una unidad de suministro de gas (14), y la tubería para transporte de gas (5) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta con una unidad de suministro de gas (14).

8. La unidad de reacción por fluidización de la Reivindicación 6,

- donde la tubería de succión (7) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de fluido (15) y la tubería de salida de líquido (8) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a un primer sumidero de líquido (20); y donde la tubería de succión (7) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a la unidad de suministro de fluido (15) y la tubería de salida de líquido (8) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta al primer sumidero de líquido (20);

- donde la tubería de ingreso de sólidos (16) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de sólidos (21) y la tubería de salida para sólidos (13) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta al primer sumidero de sólidos (23), y donde la tubería de ingreso de sólidos (16) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a la unidad de suministro de sólidos (21) y la tubería de salida para sólidos (13) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta al primer sumidero de sólidos (23); y

- donde la tubería para transporte de gas (5) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de gas (14) y la tubería de salida para gas (9) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a un primer sumidero de gas (22), y donde la tubería para transporte de gas (5) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a la unidad de suministro de gas (14) y la tubería de salida para gas (9) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta al primer sumidero de gas (22).

9. La unidad de reacción por fluidización de la Reivindicación 6,

- donde la tubería de succión (7) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de fluido (15) y la tubería de salida de líquido (8) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a la tubería de succión (7) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) y la tubería de

salida del líquido (8) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a un punto externo.

- donde la tubería de ingreso de solido (16) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de sólido (21) y la tubería de salida de sólidos (13) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a la tubería de ingreso de sólidos (16) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) y la tubería de salida de solido (13) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta un punto externo.

- donde la tubería para transporte de gas (5) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a una unidad de suministro de gas (14) y la tubería de salida para gas (9) del primer reactor de lecho fluidizado (R1) se conecta a la tubería de gas (5) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) y una tubería de salida para gas (9) del segundo reactor de lecho fluidizado (R2) se conecta a un punto externo.

Resumen

La presente invención corresponde a un reactor de lecho fluidizado con separación multifásica, y a una unidad de reacción por fluidización con separación multifásica. El

5 reactor comprende un tanque con un nivel de líquido y un distribuidor líquido-gas localizado en el fondo del tanque; e incluye una unidad de separación sólido-líquido-gas localizada dentro del tanque encima del distribuidor líquido-gas. La unidad de separación sólido-líquido-gas comprende una entrada de líquido localizada debajo del nivel de líquido y una tubería de salida de líquido localizada entre el nivel de líquido y la entrada de líquido.

10 También, la unidad de separación sólido-líquido-gas tiene una salida para sólidos localizada en el fondo de la unidad de separación sólido-líquido-gas y una salida de gas localizada encima del nivel del líquido. Adicionalmente, el reactor incluye una bomba con una tubería de succión conectada a la tubería de salida de líquido, y una tubería de descarga conectada al distribuidor líquido-gas. Además, el reactor tiene una unidad de suministro de gas

15 conectada a la tubería de descarga a través de una tubería para transporte de gas que tiene un Venturi; y tiene una tubería de salida para gas conectada al tanque localizada encima del nivel de líquido. Por otro lado, la unidad de reacción comprende un primer reactor de lecho fluidizado y un segundo reactor de lecho fluidizado que pueden conectarse entre sí, para que fluyan al menos dos fases (líquido, sólido o gas) que reaccionan en dichos reactores, en

20 co-corriente, en contracorriente, en serie, o en paralelo.

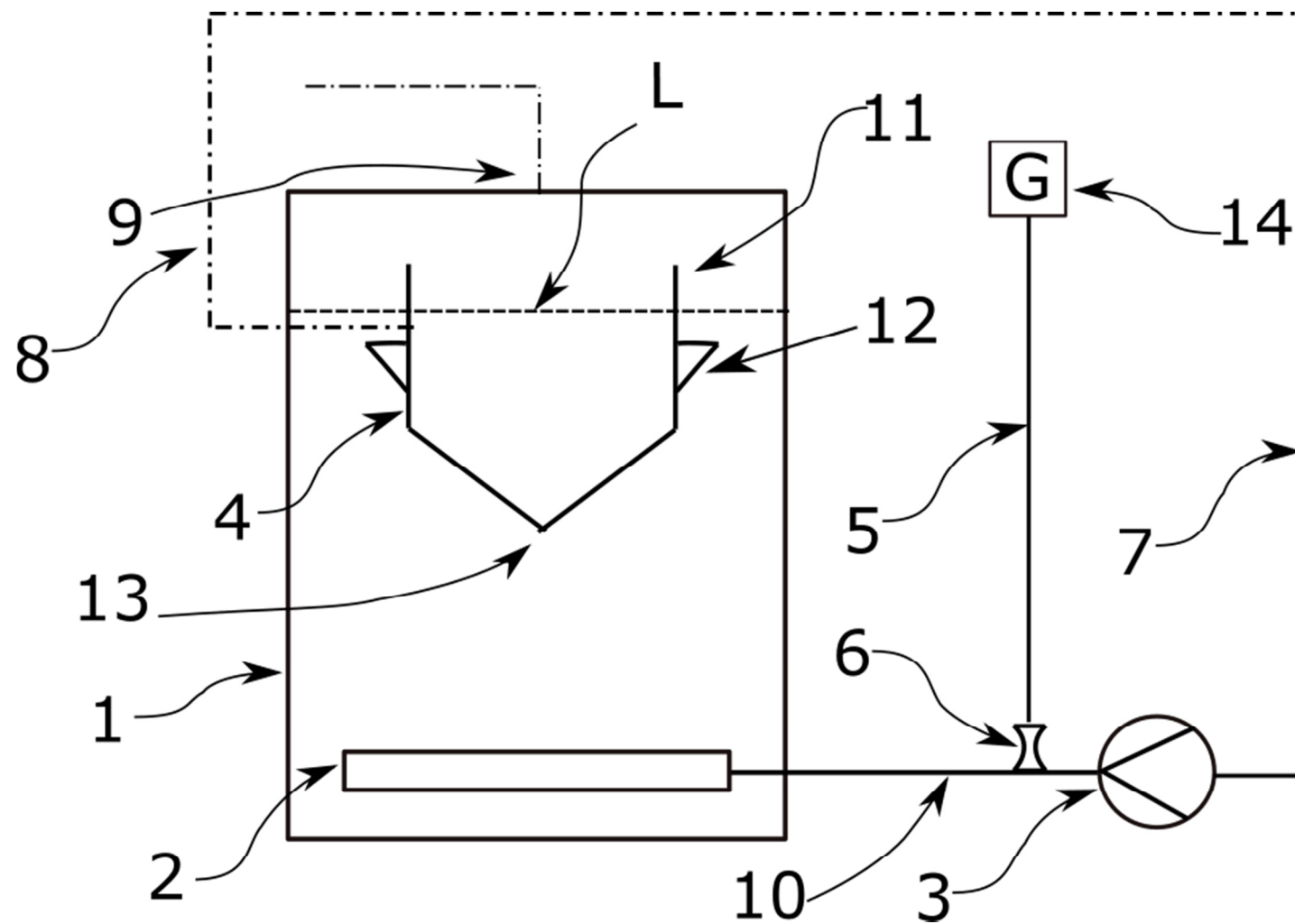


FIG. 1

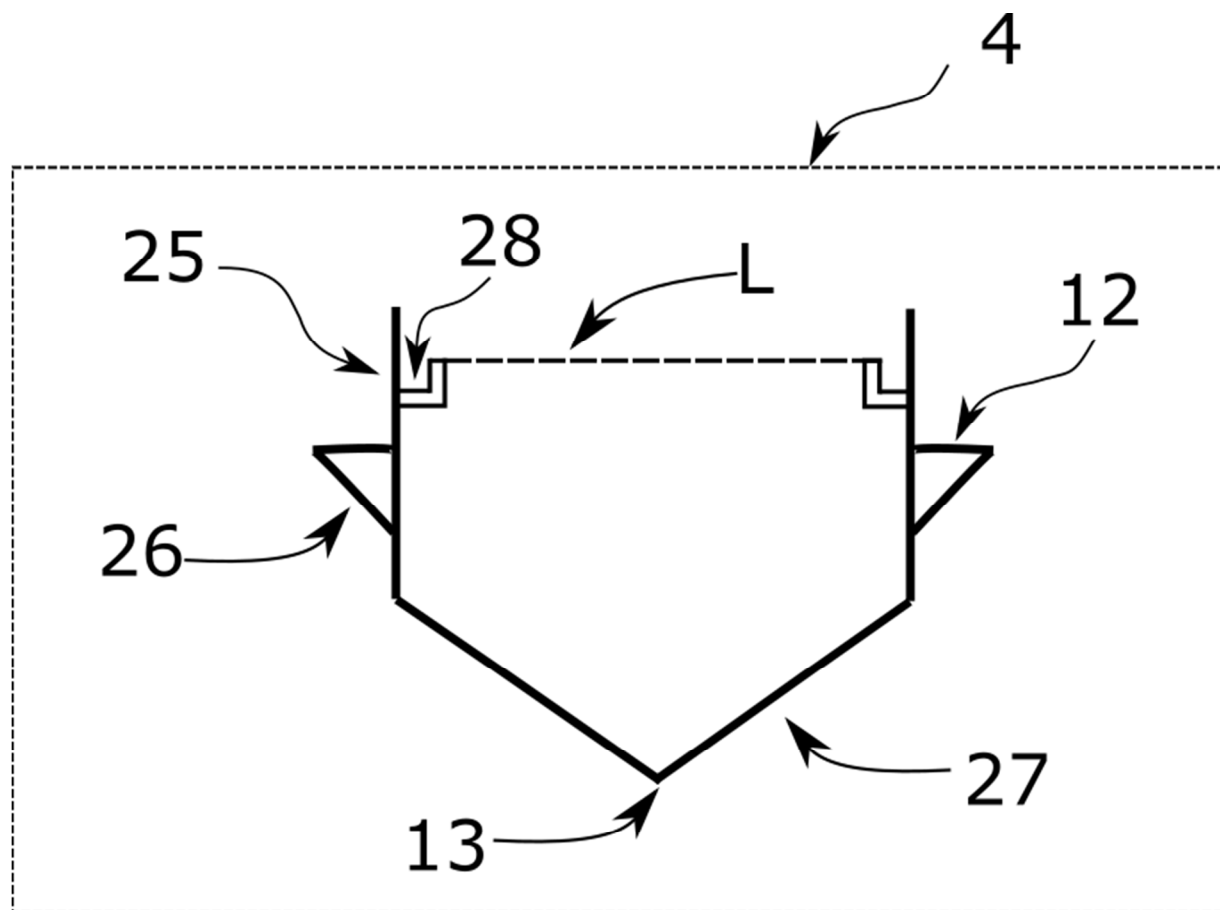


FIG. 1A

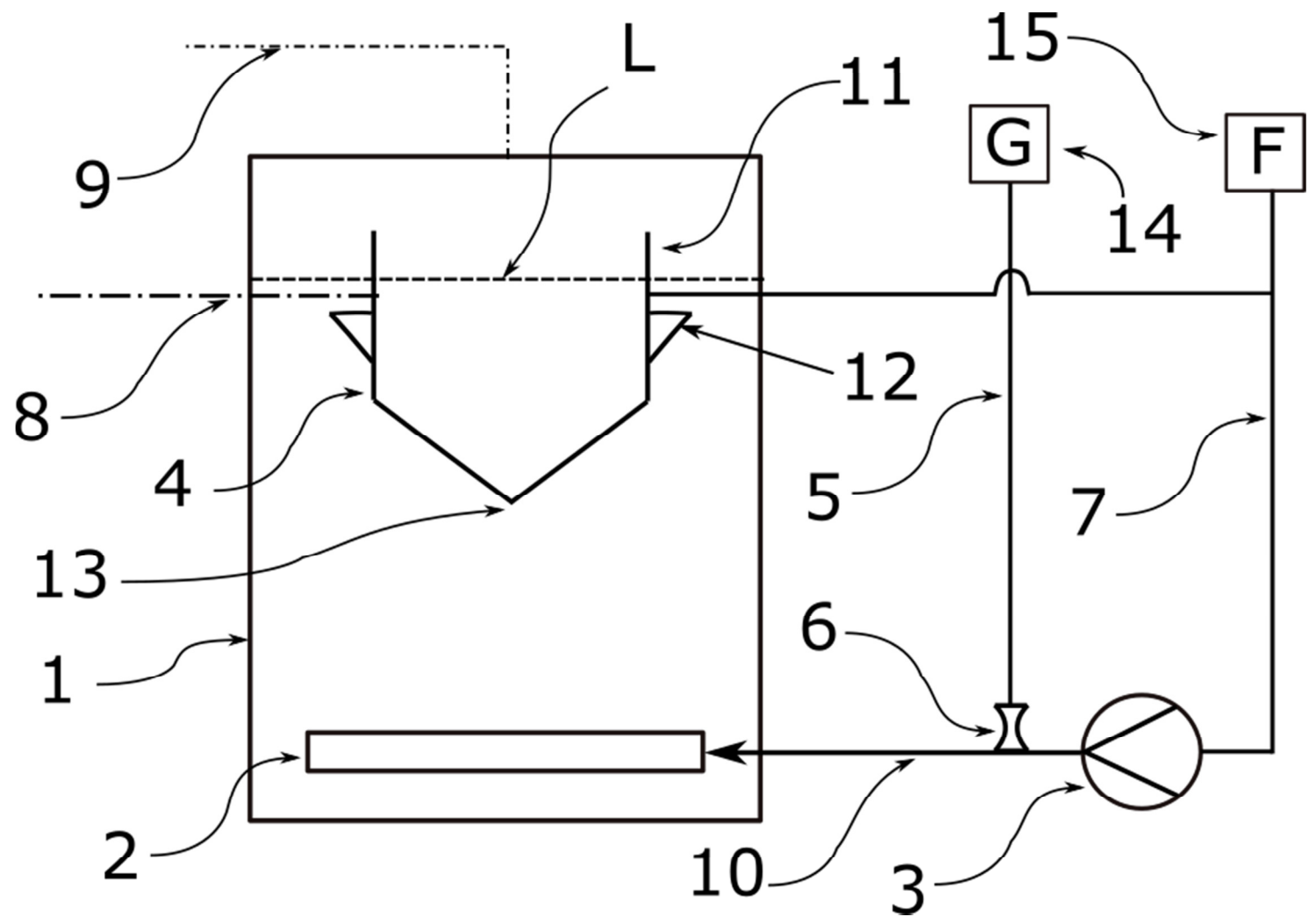


FIG. 2

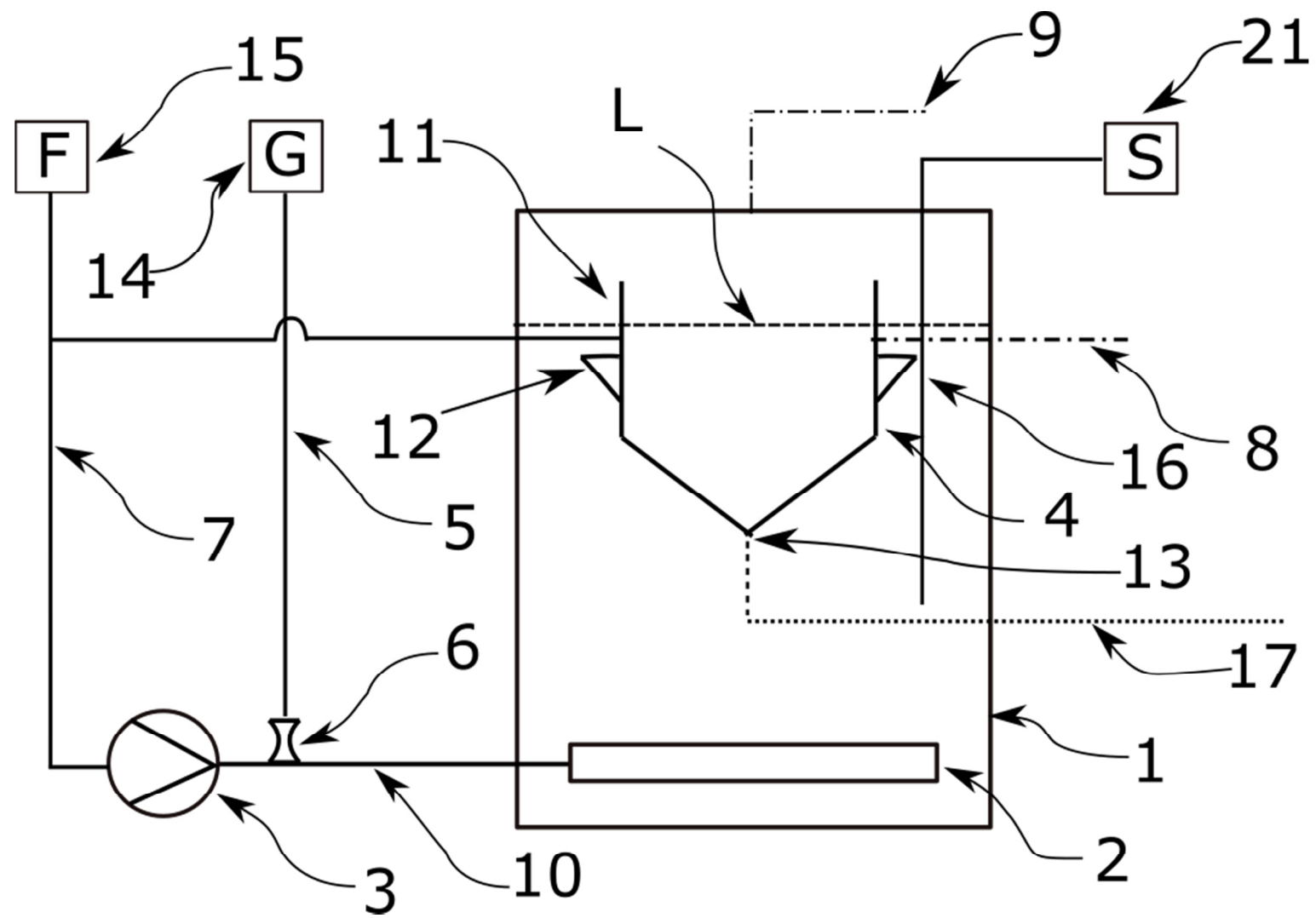


FIG. 3

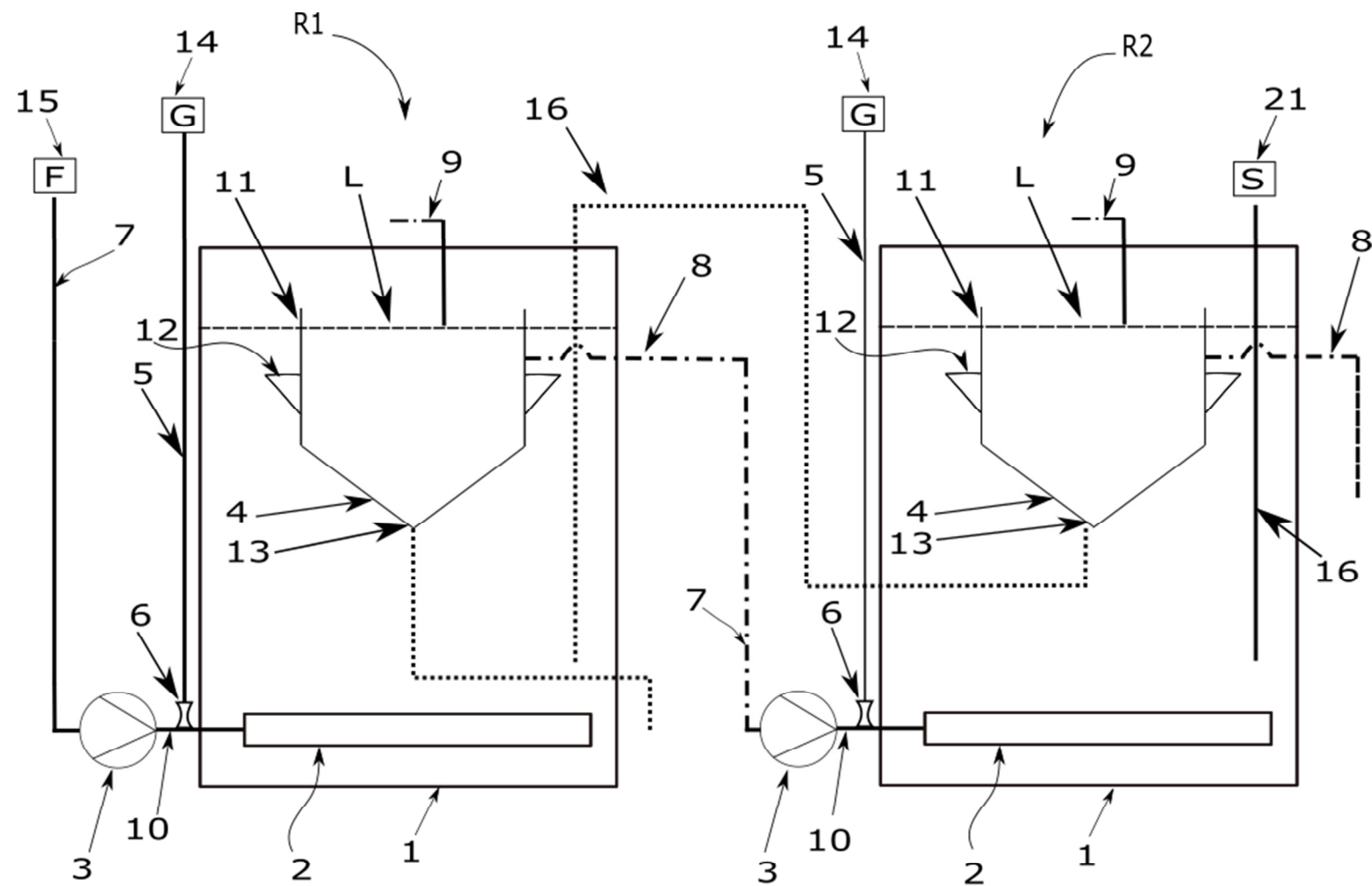


FIG. 4

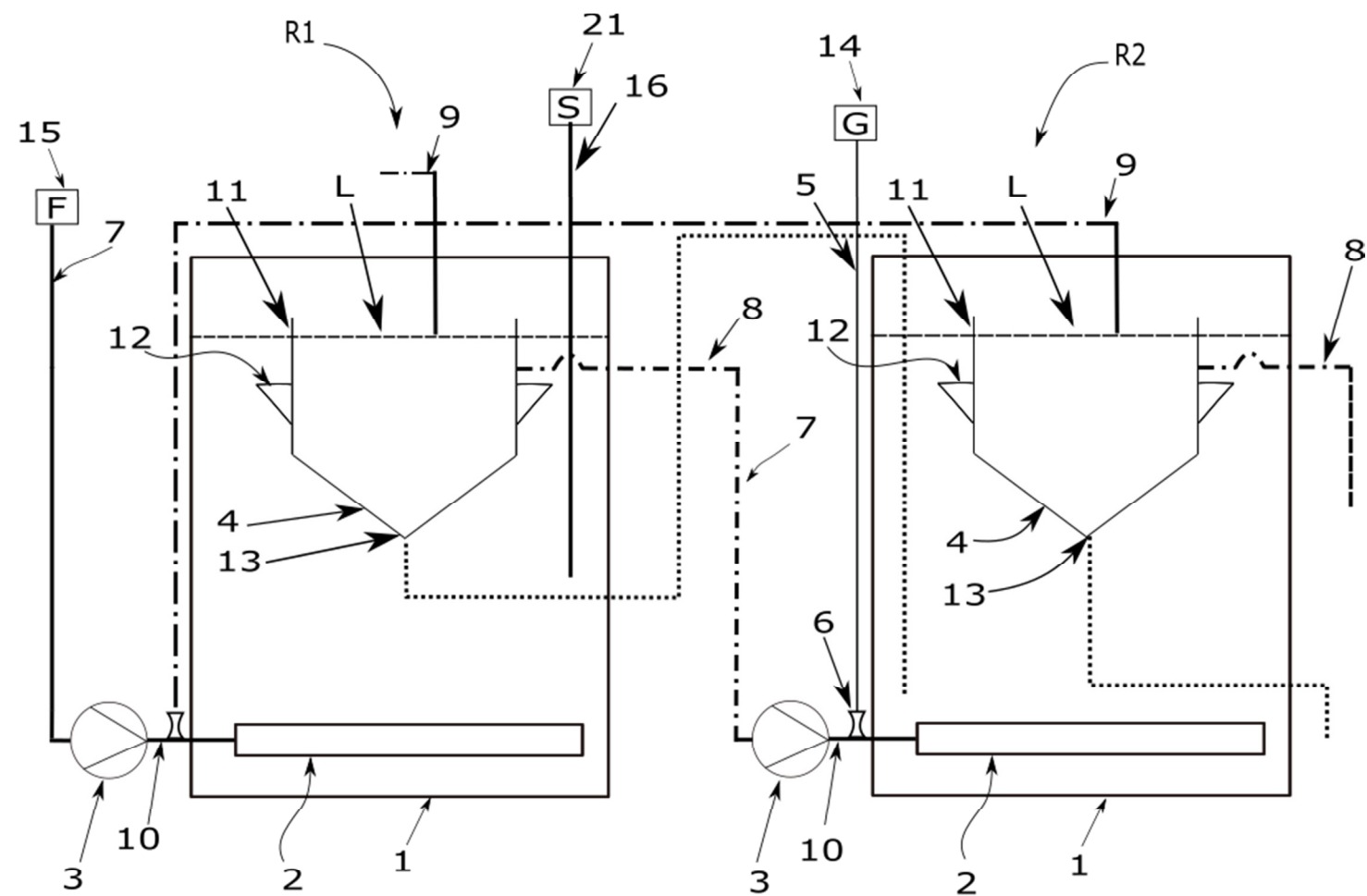


FIG. 5

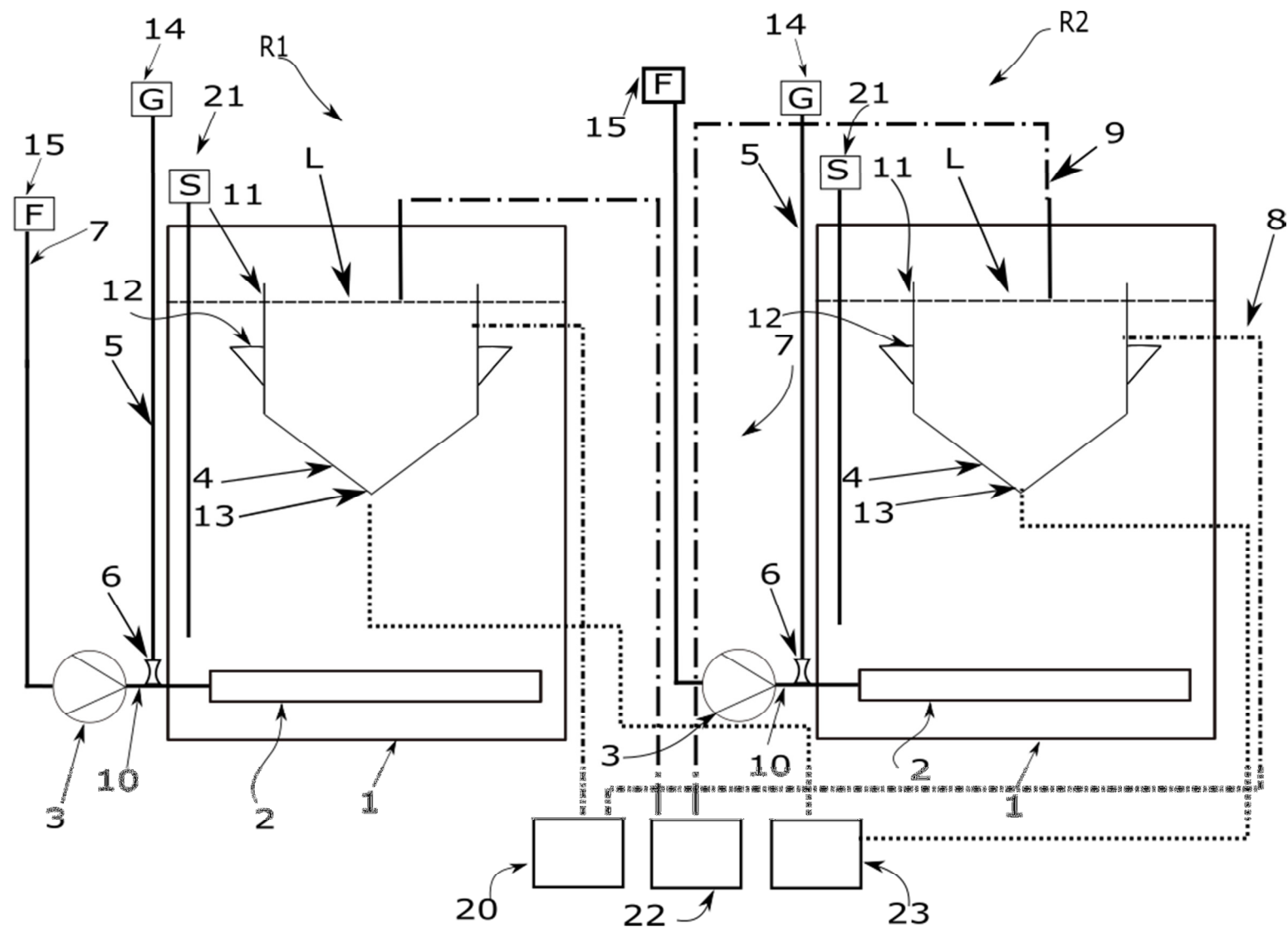


FIG. 7

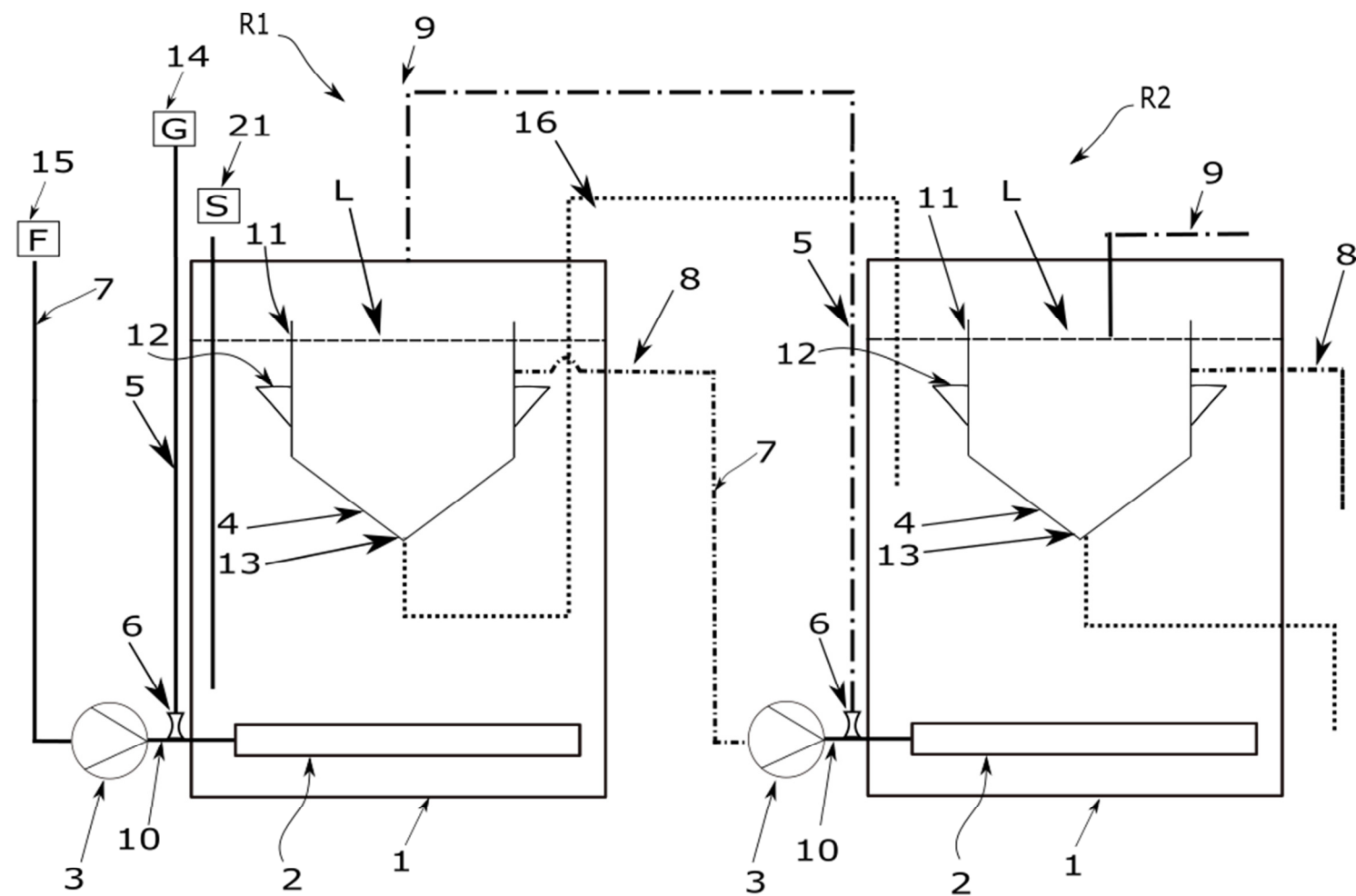


FIG. 8