

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 612 057**

51 Int. Cl.:

C02F 1/24	(2006.01)
B03D 1/02	(2006.01)
B03D 1/24	(2006.01)
C12N 1/02	(2006.01)
B03D 1/14	(2006.01)
B03D 1/20	(2006.01)
C02F 1/40	(2006.01)
C02F 1/52	(2006.01)
C12M 1/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.06.2008 PCT/US2008/007613**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **24.12.2008 WO08156795**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2008 E 08768604 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.10.2016 EP 2167431**

54 Título: **Proceso y aparato para separación de burbujas adsorbentes**

30 Prioridad:

19.06.2007 US 944813 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.05.2017

73 Titular/es:

**RENEWABLE ALGAL ENERGY, LLC (100.0%)
225 ROSEHAVEN COURT
KINGPORT, TN 37663, US**

72 Inventor/es:

**CLAYTON, ROBERT, L.;
FALLING, STEPHEN, N.;
KANEL, JEFFREY, S. y
CHURN, CALVERT, C.**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 612 057 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

Proceso y aparato para separación de burbujas adsorbentes

Antecedentes

5 La separación de burbujas adsorbentes (que incluye la flotación de espuma, flotación, fraccionamiento de burbujas, flotación de aire disuelto y eliminación de disolvente) es un proceso en el cual un material molecular, coloidal o
 10 particulado es adsorbido selectivamente a la superficie de las burbujas de gas que se elevan a través de un líquido, y de este modo se concentra o se separa. Un tipo de uso común de proceso de separación de burbujas adsorbentes es la flotación de espuma en donde los aglomerados de burbujas-partículas se acumulan sobre la superficie líquida como espuma flotante. La espuma con partículas adsorbidas (es decir, unidas o recolectadas) se trata de una de
 15 varias formas para colapsar la espuma y aislar el material. Véase, por ejemplo, Flotation Science and Engineering, K. A. Mattis, Editor, páginas 1 a 44, Marcel Dekker, Nueva York, NY, 1995; y Adsorptive Bubble Separation Techniques, Robert Lemlich, Editor, páginas 1 a 5, Academic Press, Nueva York, NY, 1972.

Este importante proceso se utiliza comercialmente en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo: aislamiento de
 15 minerales y metales de una suspensión de mineral-agua, deshidratación de microalgas, levadura o celdas bacterianas, eliminación de aceite del agua, eliminación de cenizas del carbón, eliminación de partículas en corrientes de tratamiento de aguas residuales, purificación de agua potable y eliminación de tinta y adhesivos durante el reciclaje del papel. En la mayoría de las aplicaciones, es necesario añadir reactivos, conocidos como "colectores", que selectivamente hacen que una o más de las especies de partículas en la alimentación sean hidrófobas, ayudando así en el proceso de recolección por las burbujas de gas. Tampoco es inusual añadir agentes
 20 espumantes para ayudar en la formación de una espuma estable sobre la superficie del líquido. El proceso de admisión de estos diversos reactivos al sistema se conoce como acondicionamiento. La alimentación para el proceso de separación de burbujas adsorbentes puede ser una mezcla, dispersión, emulsión, suspensión espesa o suspensión de un material molecular, coloidal y/o particulado en un líquido y se denomina en lo sucesivo dispersión de líquido-partículas. Cuando el líquido es agua, como suele ser el caso, la alimentación se puede denominar una
 25 dispersión acuosa de partículas.

Debido a la importancia de los procesos de separación de burbujas adsorbentes, ha habido muchos intentos de mejorar la eficiencia y selectividad de la captura de partículas de una dispersión acuosa de partículas con el fin de aumentar el rendimiento y la pureza del producto.

30 Las Patentes de Estados Unidos 4.668.382, 4.938.865, 5.332.100 y 5.188.726 describen un procedimiento y un aparato de separación de burbujas adsorbentes (comúnmente conocido como "celda Jameson") en donde una dispersión acuosa de partícula entra en la parte superior de un conducto vertical (vertedero) y pasa a través de una placa con orificio para formar un chorro de líquido de alta velocidad dirigido hacia abajo. Un gas, normalmente aire introducido en el hueco del tubo descendente, se dispersa en la mezcla a medida que el chorro de líquido impacta una columna de espuma dentro del tubo descendente. El volumen dentro del tubo descendente se denomina la zona
 35 de recolección donde la mayor parte de las partículas se adsorben a la superficie de las burbujas. La dispersión de gas-líquido-partícula resultante sale por el fondo del tubo descendente hacia la zona de separación donde las burbujas se separan de las colas (agua y materiales no adsorbidos). En la zona de separación, la dispersión de gas-líquido-partículas tiene suficiente tiempo de residencia para permitir que las diminutas burbujas con partículas recogidas se combinen (se combinan y agrandan) y se eleven a la superficie líquida formando una espuma flotante rica en partículas en la zona de espuma. La espuma se recoge permitiendo que flote hacia afuera del perímetro del aparato y desborde en un lavadero abierto (colector de recolección). En estas patentes se prevén incorporaciones de lavado de espuma en la zona de espuma mediante la introducción de un líquido en la espuma desde arriba, creando así un flujo líquido hacia abajo y lavando la ganga arrastrada (partículas sólidas no deseadas) y las partículas no adsorbidas lejos de la espuma. Este lavado produce una espuma más pura, y por tanto una separación más
 40 selectiva. En el diseño descrito en estas patentes, el lavado ocurre sobre toda la superficie de la espuma en lugar de en una región enfocada de la espuma.

Además, la Patente de Estados Unidos 4.668.382 cambia la configuración de un tanque con paredes verticales a paredes convergentes, de manera que la espuma se comprime (aglomera) cuando se acumula sobre la superficie líquida. Esto permite una profundidad de espuma mayor que la que normalmente se produciría, permitiendo así una
 50 mejor selectividad de recolección en la porción de espuma que desborda al interior del lavadero de recolección. Sin embargo, este diseño requiere un costoso proceso de fabricación para fabricar los lados convergentes.

La Patente Estadounidense 6.832.690 también describe un método para comprimir la espuma en una geometría compleja, mientras que la Patente Estadounidense 5.251.764 describe un complejo sistema accionado hidráulicamente. La suciedad de la superficie de la zona de la espuma puede ser problemática en estas
 55 modificaciones del diseño original de la celda de Jameson.

En las celdas de flotación en columna, tales como las MICROCEL™, las Patentes Estadounidenses 4.981.582 y 5.167.798, La celda de columna de Deister, Patente Estadounidense 5.078.921, y la columna de Flotación de Flujo en bucle DE múltiples etapas (MSTLFLO), Patente Estadounidense 5.897.772, las zonas de recolección, separación

y espuma y el lavado de espuma se combinan en un tanque cilíndrico alto, que es menos efectivo y más costoso de construir. En estas celdas de flotación de columna, la espuma en la parte superior de la columna desborda en un lavadero externo que rodea la columna. Se añade un lavadero central adicional para incrementar el área de descarga de espuma cuando es necesario conseguir una rápida eliminación de la espuma voluminosa.

5 Las celdas de flotación mecánica usan típicamente un mecanismo de rotor y estator para la inducción del gas, generación de burbujas, y circulación del líquido proporcionando así la colisión de burbujas y partículas. La relación entre la altura del recipiente y el diámetro, denominada "relación de aspecto", varía usualmente de aproximadamente 0,7 a 2. Típicamente, se disponen en serie cuatro o más celdas donde cada una tiene un mecanismo de rotor y estator centralmente montado. La dispersión de líquido-partículas se alimenta a la celda y el aire es aspirado dentro
10 de la celda a través de un agitador de eje hueco. La corriente de aire se rompe mediante el impulsor giratorio, de modo que se emiten pequeñas burbujas desde el extremo de las palas del impulsor. También se puede usar un soplador auxiliar para proporcionar un flujo de gas suficiente a la celda. Las burbujas ascendentes junto con partículas unidas forman una capa de espuma en la parte superior de la superficie líquida. La capa de espuma desborda o se desprende mecánicamente de la parte superior. Los componentes no flotantes se extraen del fondo
15 de la celda. Las celdas de flotación mecánica se usan a menudo en sistemas de procesamiento de minerales; sin embargo tienen la desventaja de requisitos de espacio grandes, largos tiempos de residencia de líquido y alto consumo de energía.

Por ejemplo, las Patentes Estadounidenses 4.425.232 y 4.800.017 describen la separación mecánica de flotación utilizando una celda de flotación provista de un ensamblaje de rotor-estator sumergido en una suspensión y en la
20 cual las palas del rotor agitan la suspensión mezclando a fondo los sólidos y líquido e introduciendo aire a la mezcla para aireación y generación de espuma sobre la superficie líquida. Las partículas de minerales se adhieren a las burbujas de aire portador que son naturalmente flotantes y forman la espuma, siendo este el mecanismo efectivo para la recuperación de minerales. La espuma flotante se separa de la parte superior de la suspensión junto con las partículas minerales unidas que se recuperan cuando la espuma colapsa y se deshidrata.

25 En todos estos procedimientos previamente descritos, las partículas deseadas que se han desacoplado prematuramente (es decir, desorbidas o separadas) de las burbujas se ponen en contacto ineficientemente con burbujas de gas ascendentes sobre toda el área de sección transversal del tanque, disminuyendo así la posibilidad de recuperarlas. Además, estos diseños suelen tener lavaderos de recolección de espuma alrededor del perímetro, lo que reduce la densidad de la espuma, ya que la espuma se extiende desde el centro hacia afuera (desde la
30 superficie baja a la superficie alta) reduciendo así la espuma y la selectividad del desbordamiento de espuma.

Compendio de la invención

Se describe un proceso y aparato altamente eficiente (celda de flotación) para aumentar la efectividad de recolección de burbujas y mejorar la pureza de la espuma producida en un proceso de separación de burbujas adsorbentes, en el que los materiales hidrófobos recogidos (partículas) se unen a las burbujas. Estos materiales típicamente incluyen
35 sólidos, líquidos o ambos. Por encima de la interfaz espuma-líquido dentro de la celda de flotación está la zona de espuma en donde los aglomerados de burbuja-partícula forman una capa de espuma flotante. Por el diseño descrito aquí, esta espuma flota naturalmente hacia un lavadero de recolección de espuma central abierto en el que desborda. La acción de las burbujas ascendentes en el perímetro que empuja la capa de espuma hacia la superficie reducida del centro comprime (aglomera) la espuma causando la coalescencia de burbujas y un incremento en el
40 drenaje líquido consiguiendo así una concentración creciente de materiales recolectados.

El diseño de separación de burbujas adsorbentes mejorado puede ser utilizado en cualquier celda de flotación forzando la espuma flotante a fluir sobre la superficie de líquido a una región de área de superficie inferior antes de desbordarse en un lavadero de recolección. Este diseño de recolección de espuma mejorado puede utilizarse en el
45 funcionamiento de celdas de flotación mecánicas, celdas de flotación neumáticas tales como la celda de Jameson, columnas de flotación de flujo de bucle múltiple y columnas de flotación de burbujas (también conocidas como "columnas canadienses") mediante el reemplazo del lavadero de recolección perimetral con un lavadero de recolección central.

Como consecuencia del diseño, la longitud del reborde del lavadero de recolección (referido al borde del lavadero en que la espuma se derrama) es más corta que la longitud del perímetro del aparato de separación. Esto contrasta con
50 los procedimientos de la técnica anterior en donde el lavadero de recolección está situado alrededor del perímetro del aparato de manera que la longitud del reborde del lavadero es la misma longitud que el perímetro. En los diseños de la técnica anterior en los que también se utiliza un lavadero central, se aumenta adicionalmente la longitud del reborde del lavadero. El diseño de la invención es especialmente útil en la recuperación o eliminación de bajas concentraciones de materiales hidrófobos en agua. En la recuperación de aceite del agua, por ejemplo, es deseable
55 concentrar el aceite en la espuma en la mayor extensión posible antes de ser retirado de la celda de flotación. Este diseño también es útil para la deshidratación de microalgas en cultivos de microalgas muy diluidos.

En cualquier proceso de separación de burbujas adsorbentes, una porción del material hidrófobo deseado no es capturada por, o es desalojado de, las burbujas ascendentes. Una mejora de rendimiento opcional en el presente diseño proporciona un medio para forzar el re-contacto de estas partículas desprendidas con burbujas ascendentes

en el perímetro. Esta mejora se consigue mediante el uso de un deflector en el recipiente de separación que hace que las partículas desprendidas fluyan hacia abajo y hacia fuera con el líquido que drena desde la espuma para volver a contactar las burbujas ascendentes en el perímetro. Este nuevo contacto con burbujas estimula la reabsorción del material hidrófobo deseado dando como resultado una mejor recuperación que lo que se obtiene generalmente en la técnica anterior.

5 El proceso de separación de burbujas adsorbentes puede repetirse una o más veces para influir en un eficiente flujo contracorriente de espuma y líquido de drenaje para una captura de partículas altamente eficiente. El proceso de separación de burbujas adsorbentes puede ser operado por lotes o continuamente. La operación continua es preferida en la mayoría de las aplicaciones.

10 Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es un diagrama de bloques esquemático del proceso.

La FIG. 2 es una vista en sección de un aparato de separación cilíndrico en el que los conductos de introducción de dispersión de gas-líquido-partícula están dispuestos cerca del perímetro del recipiente y el lavadero de colección de espuma está en el centro.

15 La FIG. 3 es una vista superior del aparato de la FIG. 2.

La FIG. 4 es una vista en sección de un aparato de separación cilíndrico en el que los conductos de introducción de dispersión de gas-líquido-partícula están dispuestos cerca del perímetro del recipiente, el lavadero de recolección de espuma está en el centro y se utiliza un deflector para dirigir partículas desprendidas de nuevo al perímetro para re-contacto con las burbujas ascendentes.

20 La FIG. 5 es una vista en sección de un aparato de separación cilíndrico en el que está situado en el centro un único conducto de introducción de dispersión de gas-líquido-partículas y el lavadero de recolección de espuma central está unido al conducto de forma anular, se utiliza un deflector para dirigir las burbujas ascendentes al perímetro.

La FIG. 6 es una ilustración de cómo se puede modificar una columna de burbujas convencional con un lavadero de espuma central.

25 La FIG. 7 es una ilustración de cómo se puede modificar una celda de flotación mecánica con un lavadero de espuma central.

La FIG. 8 es una vista en sección que ilustra un aparato de separación rectangular con conductos de dispersión de gas-líquido-partículas dispuestos en los lavaderos diagonales y de recolección de espuma en las esquinas opuestas.

La FIG. 9 es una vista desde arriba del aparato rectangular de la FIG. 8.

30 La FIG. 10 es una vista en sección que ilustra un sistema opcional de recolección de espuma asistido por vacío y un sistema opcional de recolección de espuma asistido por pulverización.

La FIG. 11 es una vista desde arriba de una celda de flotación cilíndrica del tipo mostrado en las FIGS. 2 y 3, que ilustra cómo la espuma flotante se aglomera en zonas de superficie inferior antes de derramarse en el lavadero central de espuma.

35 Descripción detallada de la invención

Como se muestra en la FIG. 1, el dispositivo de flotación de espuma incluye una zona de generación de burbujas 3, una zona de recolección 4, una zona de separación 5 y una zona de espuma 7. Algunas o todas estas zonas pueden o no pueden ocupar el mismo recipiente. La alimentación de dispersión de líquido-partícula 1 entra en el dispositivo de flotación de espuma tanto en la zona de recolección 4 como en la zona de generación de burbujas 3 o ambas, dependiendo del equipo elegido. En cualquier caso, se dispersa un gas 2 a través de la zona de generación de burbujas 3 y/o la zona de recolección 4 para producir una dispersión de gas-líquido-partículas. Es deseable producir un gran número de pequeñas burbujas para maximizar la superficie de gas disponible para colisión con partículas hidrófobas en un volumen dado de la dispersión de alimentación 1.

45 En la zona de recolección 4, las partículas hidrófobas se mezclan con las burbujas finas en condiciones que promueven el contacto íntimo para producir la dispersión de gas-líquido-partículas. Las burbujas chocan con las partículas hidrófobas y forman aglomerados de burbujas y partículas. Es deseable generar una mezcla intensa en la zona de recolección 4 para provocar una alta frecuencia de colisiones con el fin de lograr una alta eficiencia de captura de partículas.

50 Después de que se formen los aglomerados de burbujas y partículas en la zona de recolección 4, se separan a continuación del líquido agotado en partículas en la zona de separación 5, típicamente por gravedad. La densidad del gas es generalmente al menos dos a tres órdenes de magnitud menor que la del líquido. La diferencia de densidad favorece la flotación de los aglomerados de partículas y burbujas a la superficie del líquido, donde los

aglomerados se acumulan como una espuma en la zona de espuma 7.

La espuma, enriquecida en partículas hidrófobas, desborda la zona de espuma 7 como corriente 8. La corriente de flujo inferior (colas) 6, que es el líquido empobrecido en partículas hidrófobas, sale del dispositivo de flotación de espuma y puede ser tratada nuevamente en una celda de flotación secundaria, reciclada o descartada.

5 La FIG. 2 muestra un aparato para la separación de burbujas adsorbentes en el que la dispersión de gas-líquido-partícula 10 se introduce por debajo de la superficie líquida 11 a través de conductos de introducción 12 en la zona de separación 13. El gas puede comprender aire, nitrógeno, argón, helio, dióxido de carbono, gas
 10 procedente de la combustión de material carbonoso, vapor de disolvente, dióxido de carbono de una planta de gasificación, o combinaciones de los mismos. El gas también puede ser pre-saturado con líquidos, especialmente líquidos que están contenidos en la dispersión de alimentación. La dispersión de gas-líquido-partículas 10 puede producirse por métodos conocidos en la técnica anterior tales como la aspiración del gas en la dispersión de líquido-partículas utilizando un eductor, un chorro de inmersión o un sistema agitado.

15 Los conductos de introducción 12 que introducen la dispersión de gas-líquido-partículas 10 pueden ser verticales, tener una sección vertical o ser esencialmente verticales de manera que contengan la columna de espuma de manera que se mantenga un vacío suficiente en la parte superior del conducto para mantener una columna de al menos parte de la dispersión de gas-líquido-partículas en el conducto. Alternativamente (o adicionalmente), los conductos de introducción pueden entrar en la celda de flotación a través del lado del recipiente. Esta realización puede tener también dos o más conductos de introducción 12 uniformemente espaciados cerca del perímetro del recipiente. Se prefiere tener cuatro o más conductos de introducción 12 uniformemente espaciados cerca del
 20 perímetro del recipiente.

La dispersión de gas-líquido-partículas 10 que salen de los conductos de introducción 12 se ha creado de tal manera que la alimentación de dispersión de líquido-partículas se ha puesto en contacto íntimo con el gas con suficiente energía y durante un tiempo suficiente que se ha recogido un porcentaje aceptable del material hidrófobo en las burbujas. Los conductos de introducción 12 pueden ser de forma cilíndrica, pero podrían usarse otras geometrías, incluyendo pero no limitándose a rectángulos, cuadrados, óvalos, triángulos y otros polígonos. Los conductos de
 25 introducción 12 pueden construirse a partir de cualquier material utilizado en la técnica, incluyendo, pero sin limitarse a, cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE), policarbonato, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, acero, hierro y otros metales, concreto, losa u otros materiales de construcción.

30 Los fondos de los conductos de introducción 12 están sumergidos por debajo de la superficie del líquido 11 dentro de la zona de separación 13 donde la dispersión de gas-líquido-partículas 10 que sale comienza a fundirse en burbujas 14 más grandes y se elevan hacia la superficie líquida 11 llevando los materiales recogidos. La zona de separación 13 puede configurarse en cualquier forma siempre y cuando el tiempo de permanencia sea suficientemente grande para permitir la coalescencia de las burbujas y la separación de los aglomerados de burbujas-partículas y la corriente de líquido. Aunque la zona de separación 13 puede ser de forma cilíndrica, cuadrada, rectangular, hexagonal u otra, es preferible utilizar un diseño cilíndrico. La pared exterior 15 de la celda de
 35 flotación puede estar construida a partir de cualquier material utilizado en la técnica, incluyendo pero no limitado a cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE), policarbonato, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, acero, hierro, otros metales, concreto, azulejo, tierra, piedra u otros materiales de construcción.

40 Los aglomerados de burbujas ascendentes-partículas 14 se acumulan como una espuma 17 arriba de la superficie líquida (interfaz de espuma-líquido) 11 en la zona de espuma 16. En esta zona, la espuma sigue drenando, purificando la espuma y concentrando el material recolectado. A medida que las burbujas adicionales se elevan formando más espuma, empujan la espuma acumulada en la superficie hacia el centro donde la porción superior desborda el reborde del lavadero en el lavadero de recolección de espuma 9. Este movimiento hacia la superficie reducida del centro comprime la espuma ayudando a limpiarla y drenarla. Se puede añadir agua de lavado a la
 45 espuma desde arriba si se desea purificarla adicionalmente. Se puede utilizar cualquier líquido adecuado para la operación de lavado de espuma. Los líquidos adecuados incluyen, pero no se limitan a agua, líquidos que son nativos de la dispersión de alimentación, soluciones de agentes de tratamiento y acondicionamiento de superficies y combinaciones de los mismos.

50 La espuma purificada 17 desborda en un lavadero de recolección central 9 que se extiende arriba del nivel de superficie del líquido 11. El lavadero de recolección 9 puede ser de cualquier forma, pero es preferiblemente la misma forma geométrica que la celda de flotación. El lavadero de recolección central 9 es más preferiblemente un tubo circular o una columna hueca. El lavadero de recolección 9 puede estar construido a partir de cualquier material usado en la técnica, incluyendo, pero sin limitarse a, cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE), policarbonato, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, acero, hierro, otros metales, concreto, losa u otros materiales
 55 de construcción. La espuma y la espuma colapsada 18 drenan por el lavadero de recolección 9 y luego salen de la celda de flotación a través de la parte inferior o lateral a través de una línea de drenaje 19.

El líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas (colas) 20 subyace el dispositivo de flotación a través de una línea de colas inferior o lateral 21 y puede ser tratado nuevamente en una celda de flotación secundaria, reciclada o descartada. El fondo de la celda de flotación puede ser plano, hemisférico o cónico. En

procesos en los que los sólidos se asientan en el fondo, se desea un fondo inclinado plano, hemisférico o cónico con la línea de cola inferior 21 para una eliminación de sólidos mejorada. El nivel de líquido 11 dentro de la celda de flotación puede controlarse mediante el control del flujo de líquido a través de la línea de cola 21. Opcionalmente, el control de nivel de líquido puede mantenerse convenientemente sin válvulas o dispositivos de control mediante el uso de uno o más brazos laterales de rebosamiento o brazos oscilantes.

La FIG. 3 muestra una vista desde arriba del aparato para la separación de burbujas adsorbentes de la FIG. 2 empleando cuatro conductos de introducción 12.

La FIG. 4 muestra una mejora del desempeño de acuerdo a la invención respecto del aparato para separación por burbujas adsorbentes de las FIGs. 2 y 3. Esta mejora incluye un deflector 23 para dirigir las partículas desprendidas para que fluyan hacia abajo y hacia afuera con el líquido que drena desde la espuma para volver a contactar las burbujas ascendentes en el perímetro. Este nuevo contacto con las burbujas estimula la reabsorción del material hidrófobo deseado dando como resultado una mejor recuperación de la que se obtiene por métodos en la técnica anterior.

Un deflector de espuma 23 dirige las burbujas 24 hacia el exterior a la separación 25 entre el deflector 23 y la pared perimetral 26 donde luego se elevan hacia la superficie líquida 27. Igualmente las partículas desprendidas que se hunden se dirigen hacia el exterior por el deflector 23 hasta la separación 25 donde se volverán a poner en contacto con burbujas ascendentes. El deflector de espuma 23 puede ser de cualquier forma que dirija las burbujas ascendentes y las partículas hundidas a un lugar próximo al perímetro. El deflector 23 puede ser cónico, plano, ahusado o inclinado y construido a partir de cualquier material utilizado en la técnica, incluyendo pero sin limitarse a PVC, HDPE, policarbonato, caucho, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, acero, hierro, concreto, losa u otros materiales de construcción.

La FIG. 5 muestra un aparato de acuerdo a la invención para la separación de burbujas adsorbentes en el que la dispersión de gas-líquido-partículas 28 es introducida debajo de la superficie líquida 29 a través de un conducto de introducción central 30 a la zona de separación 31. Un deflector de espuma 32 dirige las burbujas 33 hacia el exterior a la separación 34 entre el deflector 32 y la pared perimetral 35 donde luego se elevan hacia la superficie líquida 29. Del mismo modo, las partículas desprendidas 36 que se hunden están dirigidas hacia fuera por el deflector 32 hasta la separación 34 donde se volverán a poner en contacto con burbujas ascendentes. El deflector de espuma 32 puede ser de cualquier forma que dirija las burbujas ascendentes y las partículas hundidas a un lugar próximo al perímetro. El deflector puede ser cónico, plano, cónico o inclinado y construido a partir de cualquier material utilizado en la técnica, incluyendo pero no limitado a PVC, HDPE, policarbonato, caucho, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, acero, hierro, otros metales, hormigón, losa u otros materiales de construcción.

Los aglomerados de burbujas ascendentes-partículas se acumulan, como una espuma 37, arriba de la superficie líquida 29 en la zona de espuma 38. En esta zona, la espuma sigue drenando, purificando la espuma y concentrando el material recolectado. A medida que las burbujas adicionales se elevan formando más espuma, empujan la espuma acumulada en la superficie hacia el centro donde la porción superior desborda el reborde del lavadero en el lavadero de recolección 39. Este movimiento hacia la superficie reducida del centro comprime la espuma ayudando a limpiarla y drenarla. Se puede añadir agua de lavado a la espuma desde arriba si se desea purificarla más.

La espuma purificada 37 desborda en un lavadero de recolección central 39 que se extiende arriba del nivel de superficie del líquido 29. El lavadero de recolección 39 puede ser de cualquier forma, pero se prefiere que el lavadero de recolección 39 sea un anillo alrededor de un conducto de introducción tubular 30. El lavadero de recolección 39 puede construirse a partir de cualquier material utilizado en la técnica, incluyendo pero no limitado a cloruro de polivinilo (PVC), Polietileno de alta densidad (HDPE), policarbonato, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, acero, hierro, otros metales, hormigón, losa u otros materiales de construcción. La espuma o la espuma colapsada 37 drena al lavadero de recolección 39 y luego sale de la celda de flotación a través del fondo o del lado a través de una línea de drenaje 40.

El líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas (colas) 41 desborda por abajo del dispositivo de flotación a través de una línea de cola inferior o lateral 42 y puede ser tratado nuevamente en una celda de flotación secundaria, reciclado o descartado. El fondo de la celda de flotación puede ser plano, hemisférico o cónico. En procesos en los que los sólidos se asientan en el fondo, se desea un fondo inclinado plano, hemisférico o cónico con la línea de cola inferior 42 para una mejor eliminación de sólidos. El nivel de líquido 29 dentro de la celda de flotación puede controlarse mediante el control del flujo de líquido a través de la línea de colas 42. Opcionalmente, el nivel de líquido 29 puede mantenerse mediante el uso de uno o más dispositivos de autonivelación, tal como un brazo lateral de desborde o brazo oscilante.

Uno de los parámetros de diseño en el diseño de celda de flotación es J_g (la tasa de elevación de gas superficial), y se calcula típicamente dividiendo el caudal de gas que entra en la celda por el área de celda. Las altas tasas de J_g (mayores de 1 cm por segundo) típicamente producirán alta recuperación ya que una tasa rápida de elevación de burbuja deja menos tiempo para que las burbujas se unan y las partículas se desprendan. En esta corriente ascendente, la ganga y el líquido pueden ser arrastrados en el flujo también. Las tasas de J_g inferiores (menos de 1

centímetro por segundo) permiten más tiempo para la coalescencia de la burbuja y el drenaje de la espuma para producir una espuma más pura. Se supone una elevación uniforme de burbujas en el cálculo de J_g . En la técnica anterior, se entiende que la uniformidad en el camino de flujo de la espuma da como resultado un tratamiento uniforme de la espuma y da un rendimiento más predecible. Con un deflector central de espuma en un tanque cilíndrico, la distribución de la espuma tiene lugar en una dirección radial con distancias constantes y una trayectoria uniforme de flujo de espuma hacia adentro a 360 grados.

La FIG. 6 muestra una columna de flotación en la que la recolección, separación y zona de espumas y el lavado opcional de espuma se combinan en un tanque cilíndrico alto 43. Este diseño es una mejora de la columna de burbujas convencional que también se conoce como la "Columna Canadiense". La sección transversal puede ser circular, cuadrada o hexagonal. La dispersión de líquido-partículas entra en la columna en un punto por debajo de la superficie líquida (interfaz de espuma-líquido) 44 a través de la tubería 45. El gas entra en la base de la columna a través de la tubería 46 y se dispersa en burbujas finas, típicamente por medio de un rociador 47 o se introduce como un líquido aireado.

El flujo a contracorriente de gas y dispersión de alimentación da lugar a colisión de burbujas y partículas en la zona de recolección 48 que se define como la región por debajo del distribuidor de alimentación 49. La zona de separación 50 para la columna está por encima del distribuidor de alimentación 49 y por debajo de la interfaz de espuma - líquido 44.

Los aglomerados de burbujas ascendentes-partículas se acumulan como una espuma 51 arriba de la superficie líquida 44 en la zona de espuma 52. En esta zona la espuma sigue drenando, purificando la espuma y concentrando el material recolectado. A medida que las burbujas adicionales se elevan formando más espuma, Empujan la espuma acumulada en la superficie hacia la superficie reducida del centro donde la porción superior desborda el reborde del lavadero en el lavadero de recolección 53. Este movimiento hacia el centro comprime la espuma ayudando a limpiarla y drenarla. Se puede añadir agua de lavado a la espuma desde arriba si se desea purificarla adicionalmente.

La espuma purificada 51 desborda en un lavadero de recolección central 53 que se extiende sobre la interfaz espuma-líquido 44. El lavadero de recolección 53 puede ser de cualquier forma, pero es preferiblemente la misma forma geométrica que la celda de flotación. El lavadero de recolección central 53 es más preferiblemente un tubo circular o una columna hueca. El lavadero de recolección 53 puede estar construido a partir de cualquier material utilizado en la técnica, incluyendo, pero sin limitarse a, cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE), policarbonato, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, acero, hierro y otros metales, concreto, losa u otros materiales de construcción.

La espuma o la espuma colapsada 51 drena hacia abajo del lavadero de recolección 53 y luego sale de la celda de flotación a través de la parte inferior o el lateral a través de una línea de drenaje 54. Las colas, empobrecidas en partículas hidrófobas, desborda por debajo de la columna a través de una línea de cola lateral o inferior 55 y pueden ser tratadas de nuevo en una celda de flotación secundaria, reciclada o descartada. El fondo de la celda de flotación puede ser plano, hemisférico o cónico. En procesos en los que los sólidos se asientan en el fondo, se desea un fondo inclinado plano, hemisférico o cónico con la línea de cola inferior 55 para una mejor eliminación de sólidos. El nivel de líquido 44 dentro de la celda de flotación puede ser controlado mediante el control del flujo de líquido a través de la línea de colas 55. Opcionalmente, el nivel de líquido 44 puede mantenerse mediante el uso de uno o más dispositivos de nivelación automática, tal como un brazo lateral de desbordamiento o brazo oscilante.

La FIG. 7 muestra una celda de flotación mecánica en la que se combinan la zona de generación de burbuja 57, la zona de recolección 58, la zona de separación 59 y la zona de espuma 60 en un único tanque grande 56. Las celdas mecánicas emplean típicamente un mecanismo de rotor y estator 61 para la inducción de gas, generación de burbujas y circulación de líquidos que proporcionan la colisión de burbujas y partículas. Típicamente, cuatro o más celdas similares a las de la FIG. 7, cada una de las cuales tiene un mecanismo de rotor y estator montado centralmente 61, están dispuestas en serie para mejorar la eficiencia. Un ventilador auxiliar se instala ocasionalmente para proporcionar suficiente flujo de gas a la celda.

El gas se dispersa en burbujas finas por un impulsor giratorio 62, que sirve como generador de burbujas. El impulsor giratorio crea una zona de baja presión que induce a que el gas fluya a través de un tubo de aspiración 63 a la zona de recolección 58 donde se dispersa en burbujas finas y se mezcla con la dispersión de líquido-partículas mientras circula en el fondo de la celda.

El mecanismo de rotor y estator, adecuadamente diseñado, arrastra la cantidad adecuada de gas, la dispersa en burbujas finas y mezcla el gas con el líquido para lograr suficiente contacto entre las partículas y las burbujas. Se necesita un buen mezclador y un tiempo de residencia de líquido suficiente en la región de mezcla de dos fases para proporcionar una alta eficiencia de colisión de burbujas y partículas y un buen comportamiento de flotación. Los mecanismos de rotor y estator incluyen los producidos por Don-Oliver Incorporated de Millford, CT; Denver Equipment Company, que es una división de Svedala de Colorado Springs, CO.; Productos Wemco de Salt Lake City, UT; y Outomec Oy de Espoo, Finlandia.

La dispersión de líquido entra en la celda mecánica como una corriente de alimentación 64 a través de una caja de alimentación 65. El contacto de las burbujas y partículas resulta de la turbulencia generada por el impulsor rotativo 62. Las burbujas con partículas unidas pasan de la zona de recolección 58 a la zona de separación 59, que es relativamente quiescente, donde flotan a la superficie y se separan de la fase líquida.

5 Las burbujas ascendentes se acumulan como una espuma 66 arriba de la superficie líquida (interfaz de espuma-líquido) 67 en la zona de espuma 60. En esta zona la espuma sigue drenando, purificando la espuma y concentrando el material recolectado. A medida que las burbujas adicionales se elevan formando más espuma, empujan la espuma acumulada en la superficie hacia la superficie reducida del centro donde la porción superior desborda el reborde del lavadero en el lavadero de recolección 68. Este movimiento hacia el centro comprime la
10 espuma ayudando a limpiarla y drenarla. Se puede añadir agua de lavado a la espuma desde arriba si se desea purificarla más.

La espuma purificada 66 desborda en un lavadero de recolección central 68 que se extiende arriba del nivel de superficie del líquido 67. El lavadero de recolección 68 puede ser de cualquier forma, pero se prefiere que el lavadero de recolección 68 sea un anillo alrededor de un tubo de aspiración circular 63 y el eje de rotor 69. El
15 lavadero de recolección 68 puede estar construido a partir de cualquier material utilizado en la técnica, incluyendo pero no limitado a PVC, HDPE, policarbonato, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, acero, hierro, otros metales, hormigón, losas u otros materiales de construcción. La espuma o espuma colapsada drena por el lavadero de recolección 68 y luego sale de la celda de flotación a través del fondo o el lado a través de una línea de drenaje 70.

La fase líquida recircula en la zona de recolección 58, pero finalmente sale de la celda como una corriente de flujo inferior 71 a través de una línea de cola inferior o lateral 72. Las colas pueden ser tratadas de nuevo en una celda de flotación secundaria, recicladas o descartadas. El fondo de la celda de flotación puede ser plano, hemisférico o cónico. En procesos en los que los sólidos se asientan en el fondo, se desea un fondo inclinado plano, hemisférico o cónico con la línea de cola inferior 72 para una eliminación mejorada de sólidos. El nivel de líquido 67 dentro de la celda de flotación puede ser controlado mediante el control del flujo de líquido a través de la línea de colas 72.
20 Opcionalmente, el nivel de líquido 67 puede mantenerse mediante el uso de uno o más dispositivos de autonivelación, tal como un brazo lateral de desbordamiento o brazo oscilante.

La FIG. 8 muestra un ejemplo de cómo nuestro descubrimiento para mejorar la pureza de la espuma al hacer que la espuma se comprima en una región del área superficial inferior puede ser utilizado en geometrías alternativas de celdas de flotación. La FIG. 8 muestra una celda de flotación rectangular o preferentemente cuadrada en la que la dispersión de gas-líquido-partículas 73 se introduce por debajo de la superficie líquida (interfaz de espuma-líquido) 74 a través de dos o más conductos de introducción 75 en la zona de separación 76. En esta realización se prefiere tener dos o más conductos de introducción 75 uniformemente espaciados a lo largo de una diagonal del recipiente. Los conductos de introducción 75 pueden construirse a partir de cualquier material utilizado en la técnica, incluyendo, pero sin limitarse a, cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE), policarbonato, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, acero, hierro y otros metales, concreto, losa u otros materiales de construcción.
30
35

Los fondos de los conductos de introducción 75 están sumergidos por debajo de la superficie del líquido 74 dentro de la zona de separación 76 donde la dispersión de gas-líquido-partículas 73 comienza a unirse en burbujas mayores y subir llevando los materiales recogidos. La zona de separación 76 en esta realización es cuadrada o rectangular y de tal altura que permite la coalescencia de las burbujas y la separación de las corrientes de espuma y líquido. La pared exterior 77 de la celda de flotación puede estar construida a partir de cualquier material usado en la técnica, incluyendo pero no limitado a PVC, HDPE, policarbonato, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, acero, hierro, otros metales, concreto, losa, tierra, piedra u otros materiales de construcción.
40

Los aglomerados de burbujas ascendentes-partículas se acumulan como una espuma 78 arriba de la superficie líquida (interfaz de espuma-líquido) 74 en la zona de espuma 79. En esta zona la espuma sigue drenando, purificando la espuma y concentrando el material recolectado. A medida que las burbujas adicionales se elevan formando más espuma, empujan la espuma acumulada en la superficie hacia las dos esquinas donde la porción superior desborda el reborde de los lavaderos en los lavaderos de recolección 80. Este movimiento hacia las esquinas de área superficial inferior comprime la espuma ayudando a limpiarla y drenarla. Se puede añadir agua de lavado a la espuma desde arriba si se desea purificarla más.
45

La espuma purificada 78 desborda en los lavaderos de recolección de las esquinas 80 que se extienden por encima del nivel de superficie líquida 74. El lavadero de recolección 80 puede tener cualquier forma, aunque se prefieren formas que encajan firmemente en la esquina. Estas formas incluirían cuadrado, rectangular, triangular, cuarto de círculo y circular. El lavadero de recolección 80 puede construirse a partir de cualquier material utilizado en la técnica, incluyendo pero no limitado a PVC, HDPE, policarbonato, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, acero, hierro, otros metales, hormigón, losa u otros materiales de construcción. La espuma o espuma colapsada 78 drena a los lavaderos de recolección 80 y luego sale de la celda de flotación a través del fondo o el lado a través de las líneas de drenaje 81. Alternativamente, los lavaderos de recolección en esta realización rectangular también pueden ser exteriores a la celda de flotación mediante el uso de una muesca de esquina que sirve como reborde del lavadero de recolección de espuma.
50
55

El líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas (colas) 82 desborda por debajo del dispositivo de flotación a través de una línea de cola inferior o lateral 83 y puede ser tratado nuevamente en una celda de flotación secundaria, reciclado o descartado. El fondo de la celda de flotación puede ser plano, hemisférico o cónico. En procesos en los que los sólidos se asientan en el fondo, se desea un fondo inclinado plano, hemisférico o cónico con la línea de cola inferior 83 para una eliminación de sólidos mejorada. El nivel de líquido 74 dentro de la celda de flotación puede controlarse mediante el control del flujo de líquido a través de la línea de colas 83. Opcionalmente, el control de nivel de líquido puede mantenerse convenientemente sin válvulas o dispositivos de control mediante el uso de uno o más brazos laterales de rebosamiento o brazos oscilantes.

La FIG. 9 muestra una vista desde arriba de la realización de la celda de flotación de la FIG. 8 empleando tres conductos de introducción 75. En el proceso la dispersión de alimentación comprende partículas y un fluido portador, usualmente agua. Las partículas pueden comprender partículas sólidas o gotitas líquidas, o combinaciones de las mismas. Los ejemplos de las partículas sólidas incluyen, pero no se limitan a minerales, ganga, microorganismos, carbón, tintas, pigmentos o combinaciones de los mismos. Los ejemplos de gotitas líquidas incluyen, pero no se limitan a disolventes orgánicos, disolventes de extracción de metales, colorantes, tintas, aceites, hidrocarburos, combustibles, triglicéridos, carotenoides, productos naturales, biodiesel u otros fluidos que están por encima de su punto de fusión y por debajo de su punto de ebullición en la presión y temperatura del sistema. Los ejemplos prácticos de las dispersiones de alimento que requieren la separación incluyen pero no se limitan a minerales y ganga, dispersiones acuosas de microorganismos (microalgas, bacterias, hongos y/o virus), dispersiones acuosas de gotitas de aceite y partículas no deseadas, dispersiones acuosas de triglicéridos, carbón y materiales no deseados (por ejemplo, cenizas), partículas en corrientes de tratamiento de aguas residuales y tintas y/o adhesivos en papel para reciclaje, o combinaciones de los mismos. Los microorganismos de la alimentación pueden estar vivos o muertos, enteros o rotos. El aparato y el procedimiento de esta invención son especialmente útiles para la concentración (deshidratación) de células de microalgas rotas y componentes celulares de microalgas en agua. Se pueden introducir aditivos para facilitar la flotación de células de microorganismos tales como alumbre, cloruro férrico, poli-electrolitos, polímeros y otros floculantes conocidos en la técnica. El líquido de transporte puede ser agua, salmuera, agua de mar, soluciones acuosas, medios de cultivo para las microalgas o reactivos o una combinación de cualquiera de estos.

En la ingeniería de procesos bioquímicos, la separación de burbujas adsorbentes encuentra utilidad en el aislamiento o concentración de productos naturales valiosos como los que se producen, por ejemplo, por microalgas. Frecuentemente en tales aplicaciones el organismo o producto bioquímico deseado está presente en muy baja concentración. En tales casos es necesario por lo tanto alimentar grandes volúmenes de una dispersión acuosa muy diluida del material deseado. Véase, por ejemplo, "Harvesting of Algae by forth flotation", G. V. Levin, et al., Applied and Environmental Microbiology, volumen 10, páginas 169-175 (1962). Las Patentes de Estados Unidos 5.776.349 y 5.951.875 describen el uso de una celda de Jameson para deshidratar una dispersión acuosa de células de microalgas rotas.

Las microalgas pueden ser cualquier especie de microalgas que uno desee separar del líquido portador. Estas especies incluyen, pero no se limitan a *Anabaena*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Arthrospira* (*Espirulina*) *obliquus*, *Arthrospira* (*Espirulina*) *platensis*, *Botryococcus braunii*, *Chaetoceros gracilis*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorococcum littorale*, *Cyclotella cryptica*, *Dunaliella bardawil*, *Dunaliella sauna*, *Dunaliella tertiolecta*, *Dunaliella viridis*, *Euglena gracilis*, *Haematococcus pluvialis*, *Isochrysis galbana*, *Nannochloris*, *Nannochloropsis sauna*, *Navicula saprophila*, *Neochloris oleoabundans*, *Nitzschia laevis*, *Nitzschia alba*, *Nitzschia communis*, *Nitzschia paleacea*, *Nitzschia closterium*, *Nostoc commune*, *Nostoc flagellaforme*, *Pleurochrysis carterae*, *Porphyridium cruentum*, *Prymnesium*, *Pseudochoricystis ellipsoidea*, *Scenedesmus obliquus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus dimorphus*, *Skeletonema costatum*, *Spirogyra*, *Espirulina*, *Synechococcus*, *Amphora*, *Fragilaria*, *Schizochytrium*, *Rhodomonas*, y variedades genéticamente modificadas de estas especies de microalgas. Debe entenderse que una razón adicional para la separación de microalgas puede ser limpiar el líquido portador, en lugar de sólo con el propósito de concentrar la biomasa de microalgas.

En aplicaciones de procesamiento de minerales, la dispersión de alimentación se acondiciona usando tratamientos de química superficial como son conocidos en la técnica que hacen que el mineral deseado sea hidrófobo. Cuando la dispersión de alimentación se pone en contacto con gas, los materiales hidrófobos se unen y se elevan con las burbujas. El material de ganga indeseado fluye entonces hacia abajo con el líquido. Esta invención es también útil en aquellos casos en los que el material no deseado se vuelve hidrófobo y se elimina con la espuma. En tales casos, el flujo inferior contiene el material deseado.

Debido a la dificultad en el transporte de espuma en conductos y tuberías, es fundamental colapsar la espuma purificada en el lavadero de recolección. La espuma purificada que desborda en el lavadero de recolección se colapsa naturalmente o se trata en una de las diversas formas conocidas en la técnica para colapsar la espuma y aislar el material concentrado. Con espumas más persistentes, se deben tomar medidas más agresivas para colapsarlas. El uso de pulverizadores de espuma en el lavadero de recolección de espuma es común en la técnica anterior. El líquido utilizado para los pulverizadores puede ser agua o cualquier otro líquido. Con el fin de no diluir el material recogido, la parte líquida de la espuma colapsada puede ser recirculada a través de las boquillas de pulverización. Es importante que las boquillas de pulverización sean de un diseño para evitar el atascamiento. El aire o el gas seleccionado de los utilizados para la creación de la espuma también se puede utilizar para romper la

espuma.

Las espumas persistentes (que no se colapsan fácilmente) se descomponen normalmente mediante el uso de pulverizadores de líquido en los lavaderos de recolección después de que la espuma se haya desbordado en ellos. Cuando se deja fluir a espuma al perímetro del recipiente de separación para su recolección en lavaderos, el área que necesita tratamiento es todo el perímetro del recipiente. Esta adición de líquido de pulverización puede ser grande, diluyendo así la espuma y destruyendo parcialmente el propósito de la operación. Esta dilución es indeseable porque la separación de burbujas adsorbentes se utiliza comúnmente para la concentración de un material hidrófobo. Por lo tanto, la presente invención proporciona una mejora en que el lavadero de recolección central tiene un área de superficie inferior y requiere menos volumen de pulverización.

5 Los métodos químicos para romper la espuma son también conocidos en la técnica anterior e incluyen, pero no se limitan a, el uso de antiespumantes químicos. Estos líquidos antiespumantes pueden ser rociados sobre la superficie de espuma o distribuidos dentro de una almohadilla húmeda que entra en contacto con la espuma mientras fluye hacia el lavadero de recolección de espuma. Estos métodos químicos son también aplicables para su uso en la presente invención y el área superficial inferior del lavadero de recolección central puede dar lugar al uso de menos antiespumante químico.

10 Los métodos mecánicos para romper la espuma incluyen, pero no se limitan a métodos de sonicación, objetos vibratorios o de centrifugación en la región de la espuma, etc. También se pueden usar combinaciones de técnicas de coalescencia química y mecánica para unir las burbujas y formar una región enriquecida en las partículas a separar de la corriente líquida. Estos métodos mecánicos son también aplicables para su uso en la presente invención y la superficie inferior del lavadero de recolección central puede utilizar equipo más pequeño y menos costoso.

15 Se describen procesos de separación de flotación de espuma mejorados que utilizan vacío parcial (es decir, succión o corriente descendente) para arrastrar la espuma y/o de la espuma colapsada hacia y desde el lavadero de recolección de espuma y la línea de drenaje de la espuma. Esta mejora ayuda en gran medida a la recolección de espuma (especialmente con espuma persistente) porque la espuma puede ser arrastrada por la succión a través del sistema de recolección más fácilmente que puede ser drenada por gravedad o empujada. Este vacío parcial o succión puede ser generado por cualquier método conocido en la técnica, pero es particularmente útil si se crea como resultado de la necesidad de suministrar gas para generar la dispersión de gas-líquido-partículas. Al suministrar el gas para la producción de gas-líquido-partícula desde el hueco de un tanque que recibe la espuma recolectada y la espuma colapsada, se crea el vacío parcial o la succión. Esta realización de recolección de espuma asistida por vacío se ilustra en la FIG. 10 en integración con el aparato anteriormente descrito en la FIG. 2, pero puede utilizarse en cualquier celda de flotación utilizando un lavadero de recolección de espuma.

20 La fuente de vacío para este aumento de rendimiento opcional puede ser generada por el soplador o compresor de gas 84 que proporciona el gas de flotación 85, ya sea para rociar en la celda de flotación o para mezclarse con la dispersión de líquido-partículas 86 para dar la dispersión de gas-líquido-partículas 87. Esto puede lograrse mediante el uso de una trampa de espuma colapsada 88 a partir de la cual el soplador de gas o compresor 84 obtiene su suministro de gas 89 a través de la línea de suministro 90. Alternativamente, el vacío puede ser auto-generado por el uso de un aireador de aspiración (por ejemplo, aspirador, venturi o educor) 91 que se utiliza para crear la dispersión de gas-líquido-partículas 87. En el caso de los aireadores de autoaspiración, no se necesita soplador de gas o compresor 84 sino que el vacío es proporcionado por el efecto Venturi del aireador de aspiración 91. Otros beneficios de esta realización de recolección de espuma asistida por vacío son la pre-saturación del gas de flotación con el líquido en uso y la capacidad de utilizar una celda de flotación cerrada con un gas inerte.

25 Una segunda mejora opcional, la recolección de espuma asistida por pulverización, ilustrada en la FIG. 10, se puede usar con o sin la anterior recolección de espuma asistida por vacío. En esta mejora opcional, se utiliza una pulverización para mejorar la recolección de espuma. La bomba 92 se utiliza para generar la pulverización 93 a partir de los líquidos 94 de espuma colapsados en la trampa 88. La pulverización 93 lleva la espuma persistente al lavadero de recolección de espuma 95. El uso de líquidos espumosos colapsados para esta pulverización evita la dilución de los materiales recogidos.

30 En el caso de la flotación en partículas, donde el material de ganga es más denso que el líquido en la dispersión de alimentación, se necesitará un fondo inclinado y una descarga de relleno de sólidos para eliminar los sólidos del recipiente de separación. Si la velocidad de alimentación de la dispersión de alimentación es algo constante, esta descarga de relleno de sólidos puede controlarse mediante el uso de un conjunto de válvulas pequeñas para descargar desde el fondo inclinado y retirar los sólidos en una suspensión pesada. En otro aspecto, esta eliminación podría ser a través de una pequeña bomba de manipulación de sólidos.

35 Se puede utilizar cualquier líquido adecuado para la operación opcional de lavado con espuma. Los líquidos adecuados incluyen, pero no se limitan a agua, líquidos que son nativos de la dispersión de alimentación, soluciones de agentes de tratamiento y acondicionamiento de superficies y combinaciones de los mismos.

La FIG. 11 ilustra el efecto de aglomeración de espuma que se produce cuando la espuma flotante viaja desde una

5 zona de superficie líquida donde se forma a una región de superficie líquida de área inferior antes de derramarse en el lavadero de recolección. Esta vista superior de una celda de flotación cilíndrica 96 del tipo mostrado en las Figs. 2 y 3 enfatiza cómo la espuma en, por ejemplo, la región 97 debe aglomerarse en la región 98 y luego en la región 99 antes de derramarse en el lavadero de recolección de espuma central 100. Las líneas radiales imaginarias 101 y 102 y los círculos concéntricos 103 y 104 se muestran sólo con fines ilustrativos.

El proceso y el aparato para la separación de burbujas adsorbentes se ilustra adicionalmente mediante los siguientes Ejemplos.

Ejemplos

Ejemplo 1: Recuperación extractiva del refinado de extracción de cobre.

10 Se construye una celda de flotación a escala piloto con el diseño mostrado en la FIG. 5 con las dimensiones generales de la sección de la zona de separación cilíndrica que tiene 0,3 metros de diámetro y 1,3 metros de altura. El espacio anular entre el deflector de espuma y el exterior es de 1,25 centímetros y el diámetro del reborde del lavadero de recolección de espuma es de 11,5 centímetros. La zona de separación se alimenta a través de un
15 conducto de introducción de 5 cm de diámetro con una dispersión de alimentación acuosa que contiene 0,02% en peso de queroseno (disolvente) con 0,005% en peso de extractante de Cyanex. La velocidad de dispersión de alimentación es de 35 litros por minuto y el caudal de gas (aire) es de 8 litros por minuto. El Jg en la zona de separación es 0.62 centímetros/segundo, y este muestra una tasa moderada de transporte de material recogido de la zona de separación a la zona de espuma. El tiempo de residencia de los aglomerados de burbuja-partículas en la zona de separación es 168 segundos, mientras que el tiempo de residencia de la espuma en la zona de espuma es
20 562 segundos. Noventa por ciento del queroseno alimentado a la celda de flotación es recuperado en la espuma.

Ejemplo 2: Recuperación extractiva del refinado de extracción de cobre.

Se construye una celda de flotación a escala piloto con el diseño mostrado en la FIG. 5 con las dimensiones generales de la zona de separación cilíndrica que tiene 0,3 metros de diámetro y 1,3 metros de altura. El espacio anular entre el deflector de espuma y el exterior es 1,25 centímetros y el diámetro del reborde del lavadero de
25 recolección de espuma es de 8,9 centímetros. la zona de separación se alimenta a través de un conducto de 7,5 centímetros de diámetro con una dispersión de alimentación acuosa que contiene 0,02% en peso de queroseno con 0,005% en peso de extractante de Cyanex. La velocidad de alimentación es de 53 litros por minuto y el caudal de gas (aire) es de 13 litros por minuto. El Jg en la zona de separación es 1 centímetro/segundo, y este muestra una alta tasa de transporte de material recogido de la zona de separación a la zona de espuma. El tiempo de residencia de los aglomerados de burbuja-partículas en la zona de separación es 96 segundos, mientras que el tiempo de
30 residencia de la espuma en la zona de espuma es 321 segundos. El ochenta y cinco por ciento del queroseno alimentado a la celda de flotación se recupera en la espuma.

Ejemplo 3: Deshidratación de una dispersión de algas

Una celda de flotación de tamaño comercial se construye con el diseño mostrado en la FIG. 5 con las dimensiones generales de la zona de separación cilíndrica que tiene 1.25 metros de diámetro y 2,5 metros de altura. El espacio anular entre el deflector de espuma inferior y la pared exterior es 0,125 metros y el reborde de la espuma está 0,58 metros del deflector superior de espuma. La zona de separación se alimenta a través de un conducto de 0,2 metros de diámetro con una dispersión acuosa de gas que contiene 0,05% en peso de microalgas Dunaliella salina rotas. La velocidad de alimentación es de 750 litros por minuto y el caudal de gas es de 190 litros por minuto. El Jg en la zona de separación es de 0.71 centímetros/segundo, lo que muestra una alta tasa de transporte de material recogido de la zona de separación a la zona de espuma. El tiempo de residencia de los aglomerados de burbuja-partículas en la zona de separación es 117 segundos, mientras que el tiempo de residencia de la espuma en la zona de espuma es 390 segundos. La espuma recogida después del colapso muestra un aumento de veinte veces en la concentración de microalgas rotas.

45 Ejemplo 4: Recuperación de mineral.

En la presente memoria se utiliza la misma celda de flotación a escala piloto que se describe en el Ejemplo 3. Se alimenta a la zona de separación cilíndrica desde el conducto central una suspensión acuosa al 25% en peso de partículas de chalcocita mineral de sulfuro de cobre ((Cu₂S) con un tamaño de partícula d80 de 80 micrones (es decir, 80% de las partículas son inferiores a 80 micrones). La densidad de las partículas de mineral de sulfuro de cobre es de 5,5 g/ml, y los sólidos contienen 0,1% de chalcocita. Los sólidos no fundidos son descargados a través de una línea de relleno de sólidos a una velocidad de flujo de sólidos mayor de 4 pies/segundo para evitar la deposición de los sólidos y el lijado de la línea. Por lo tanto, un alto porcentaje del flujo total de líquido fluye a través de la válvula de alivio de sólidos. El tiempo medio de residencia de las partículas de chalcocita en la zona de separación es de 156 segundos y el tiempo medio de residencia de las partículas de chalcocita en la zona de
50 espuma es de 520 segundos. Las partículas de chalcocita salen en el lavadero de recolección de espuma con 2% en peso de chalcocita y una tasa de recuperación de un solo paso del 65%.

Ejemplo 5: Deshidratación de una dispersión de microalgas sin ruptura.

5 Se construye una celda de flotación de tamaño comercial según el Ejemplo 3. La zona de separación se alimenta a través de un conducto de 0,2 metros de diámetro con una dispersión acuosa de gas que contiene 0,05% en peso de microalgas enteras de *Dunaliella salina* junto con alumbre y polímero como se conoce en la técnica. La velocidad de alimentación de líquido es de 750 litros por minuto, y el caudal de gas es de 190 litros por minuto. El Jg en la zona de separación es de 0.71 centímetros/segundo, mostrando una alta tasa de transporte de material recogido de la zona de separación a la zona de espuma. El tiempo de residencia del aglomerado de burbuja-partícula en la zona de separación es de 117 segundos, mientras que el tiempo de residencia de la espuma en la zona de espuma es de 390 segundos. La espuma recogida (después del colapso) muestra un aumento de veinte veces en la concentración de microalgas.

10

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de separación de burbujas adsorbentes del tipo que incluye la flotación de espuma en donde la espuma flotante fluye sobre una superficie líquida a un lavadero de recolección, en donde la mejora comprende:
 - 5 dirigir al menos una porción de burbujas ascendentes y hacer caer las partículas desprendidas al perímetro de una cámara flotante con uno o más deflectores para provocar el re-contacto de dichas partículas desprendidas con dichas burbujas ascendentes; y
 - obligar a la espuma flotante a fluir sobre la superficie líquida hasta una región de área superficial reducida antes de desbordar en el lavadero de recolección.
2. El proceso de acuerdo a la reivindicación 1, que comprende:
 - 10 poner en contacto íntimamente un gas con la dispersión de líquido-partículas para formar una dispersión de gas-líquido-partícula;
 - introducir la dispersión de gas-líquido-partículas en un recipiente en un punto por debajo de la superficie de un líquido contenido en el mismo;
 - formar burbujas en el líquido, donde las burbujas comprenden aglomerados de gas-partículas;
 - 15 dirigir las burbujas a la superficie del líquido con uno o más deflectores para formar una espuma flotante, en donde la espuma está enriquecida en partículas y en donde uno o más deflectores dirigen al menos una porción de las burbujas ascendentes y partículas desprendidas que caen al perímetro del recipiente;
 - dirigir la espuma hacia un lavadero de recolección de espuma en una región del área superficial inferior que la región donde se forma; y
 - 20 recolectar la espuma en el lavadero de recolección de espuma colapsando así la espuma en el mismo y concentrando las partículas en la dispersión de líquido-partículas.
3. El proceso de acuerdo a la reivindicación 2, en donde el lavadero de recolección está ubicado en el centro del recipiente.
4. El proceso de la reivindicación 2, que además comprende:
 - 25 remover una porción del líquido de la espuma colapsada y
 - reintroducir el líquido así retirado en el recipiente para colapsar más la espuma recogida en el lavadero de recolección de espuma.
5. El proceso de la reivindicación 2, en donde se utiliza un vacío para empujar la espuma y espuma colapsada a través del lavadero de recolección de espuma.
- 30 6. El proceso de la reivindicación 2, en donde la dispersión de gas-líquido-partículas es introducida debajo de la superficie del líquido y cerca del perímetro del recipiente y en donde la espuma es recolectada en un lavadero de recolección de espuma central.
7. El proceso de la reivindicación 5, en donde el vacío es generado por una bomba, compresor, aspirador, venturi, eductor y/o soplador usado para proporcionar gas introducido en el recipiente.
- 35 8. El proceso de la reivindicación 2, en donde las partículas comprenden microalgas o microalgas rotas, o una combinación de las mismas.
9. El proceso de la reivindicación 8 en donde las microalgas son Dunaliella.
10. El proceso de la reivindicación 2, que además comprende:
 - 40 hacer colapsar la espuma en el lavadero de recolección de espuma mediante el uso de antiespumantes químicos, aerosoles líquidos o gaseosos, vacío, objetos vibrantes, objetos giratorios, sonicación o cualquier combinación de los mismos.
 11. El proceso de la reivindicación 2, en donde las partículas comprenden microorganismos enteros o rotos, microalgas enteras o rotas, gotitas de una fase orgánica, partículas que contienen minerales, partículas de carbón, partículas biológicas, partículas que se adhieren a una interfase gas-líquido, o cualquier combinación de las mismas.
- 45 12. El proceso de la reivindicación 2, en donde las partículas comprenden metales, minerales metálicos, sales, minerales, disolventes orgánicos, extractantes de metales, extractantes minerales, aceites, disolventes o cualquier combinación de los mismos.

13. El proceso de acuerdo a la reivindicación 1, que comprende:
Introducir un gas y una dispersión de líquido-partículas debajo de la superficie de un líquido en una celda de flotación mecánica o celda de flotación de columna;
formar burbujas que comprenden un aglomerado de gas-partículas;
- 5 dirigir las burbujas a la superficie del líquido con uno o más deflectores para formar una espuma flotante, en donde la espuma está enriquecida con partículas y en donde uno o más deflectores dirigen al menos una porción de las burbujas ascendentes y partículas desprendidas que caen al perímetro de la celda;
forzar la espuma hacia un lavadero de recolección de espuma ubicado centralmente; y
recolectar la espuma permitiendo que la misma desborde en el lavadero de recolección.
- 10 14. El proceso de acuerdo a la reivindicación 1, que comprende:
utilizar un vacío para arrastrar y/o hacer colapsar la espuma a través del lavadero de recolección.
15. El proceso de acuerdo a la reivindicación 1, que comprende:
Introducir una dispersión de líquido-partículas en un recipiente en un punto por debajo de la superficie de un líquido contenido en el mismo;
- 15 introducir un gas en el recipiente en un punto por debajo del punto de introducción de la dispersión de líquido-partículas;
formar burbujas que comprenden un aglomerado de gas-partículas;
dirigir las burbujas a la superficie del líquido con uno o más deflectores para formar una espuma flotante, en donde la espuma está enriquecida con partículas y en donde uno o más deflectores dirigen al menos una porción de las burbujas ascendentes y partículas desprendidas que caen al perímetro del recipiente;
- 20 dirigir la espuma hacia un lavadero de recolección de espuma en una región del área superficial inferior que la región donde se forma; y
recolectar la espuma en el lavadero de recolección de espuma.
- 25 16. El proceso de acuerdo a la reivindicación 15, en donde el lavadero de recolección de espuma está ubicado en el centro del recipiente.
17. Un dispositivo de flotación de espuma del tipo en donde la flotación de espuma en un recipiente fluye a un lavadero de recolección para la recolección, donde la mejora comprende:
uno o más deflectores en el recipiente para dirigir al menos una porción de burbujas ascendentes y partículas desprendidas que caen al perímetro del recipiente para provocar el re-contacto de dichas partículas desprendidas con dichas burbujas ascendentes; y
- 30 un lavadero de recolección ubicado centralmente dentro del recipiente.
18. El dispositivo de acuerdo a la reivindicación 17, que comprende:
Medios para el contacto íntimo de un gas con una dispersión de líquido-partículas para formar una dispersión de gas- líquido-partículas;
- 35 Un puerto para introducir la dispersión de gas-líquido-partículas en dicho recipiente en un punto situado debajo de una superficie de un líquido contenido dentro del recipiente;
medios para dirigir burbujas a la superficie del líquido para formar una espuma flotante sobre el mismo, en donde los medios para dirigir las burbujas comprenden uno o más deflectores que dirigen al menos una porción de burbujas ascendentes y partículas desprendidas que caen al perímetro del recipiente; y
- 40 medios para dirigir la espuma flotante hacia un lavadero de recolección de espuma en una región del área superficial inferior que la región donde se forma, en donde el lavadero de recolección de espuma recolecta y remueve la espuma del recipiente.
- 45 19. El dispositivo de la reivindicación 18, que comprende además una bomba, un compresor, un aspirador, un venturi, un eductor y/o un soplador usados para proporcionar gas introducido en el recipiente para la preparación de burbujas para espuma y para proporcionar además un vacío para empujar la espuma al lavadero de recolección y /o hacer colapsar la espuma en el mismo.

20. El dispositivo de la reivindicación 17, que además comprende:

un dispositivo generador de vacío para arrastrar y/o contraer la espuma a través del lavadero de recolección.

21. El dispositivo de la reivindicación 20, en donde el dispositivo de de generación de vacío comprende una bomba, un compresor, un aspirador, un venturi, un eductor y/o un soplador usados para proporcionar el gas introducido en el recipiente para la preparación de burbujas para la espuma.

5

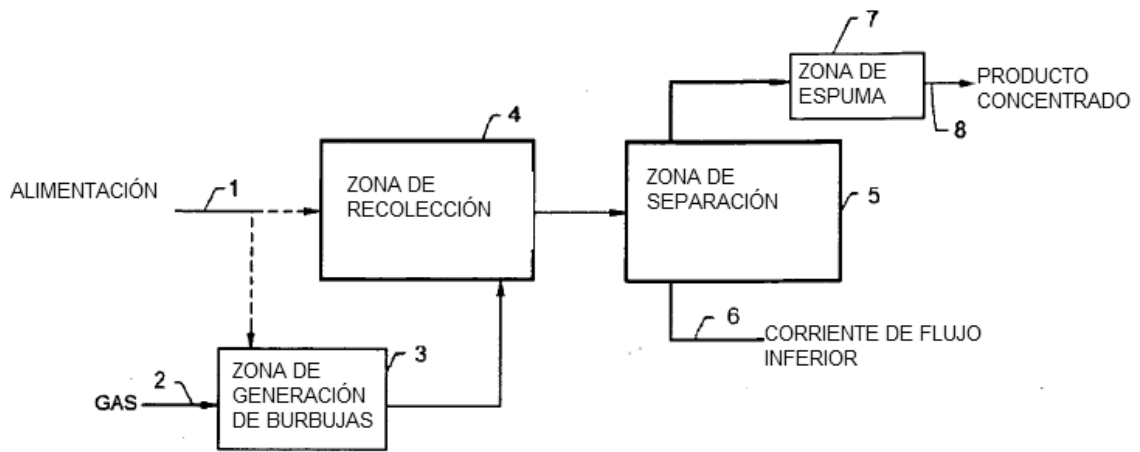


FIG. 1

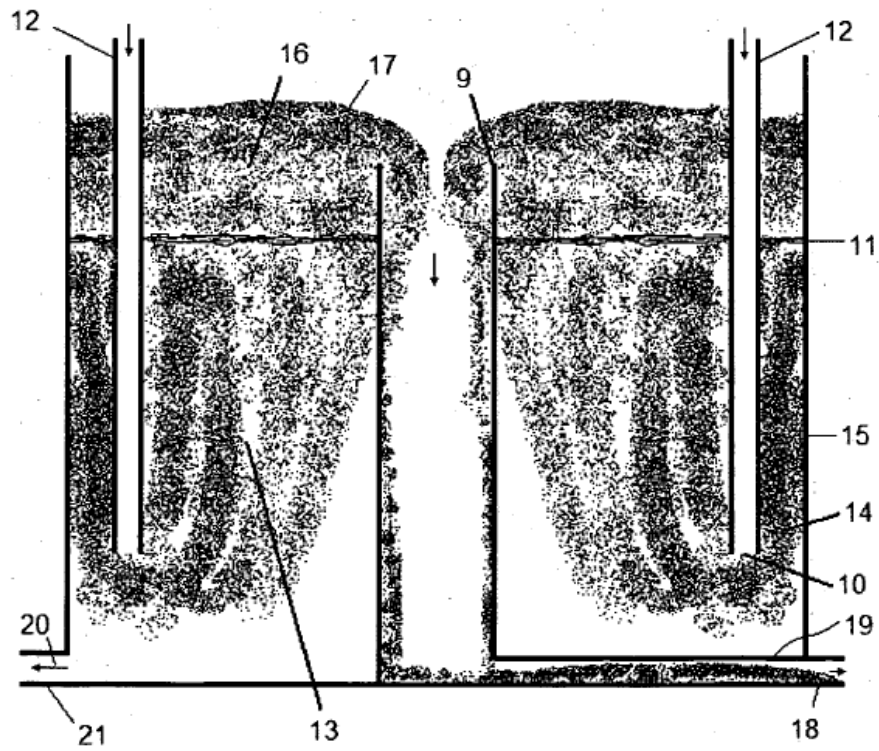


FIG. 2

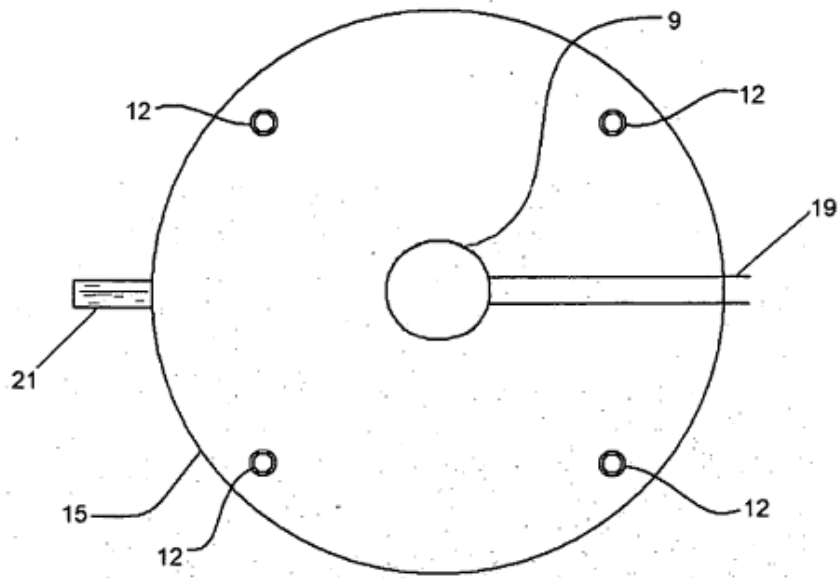


FIG. 3

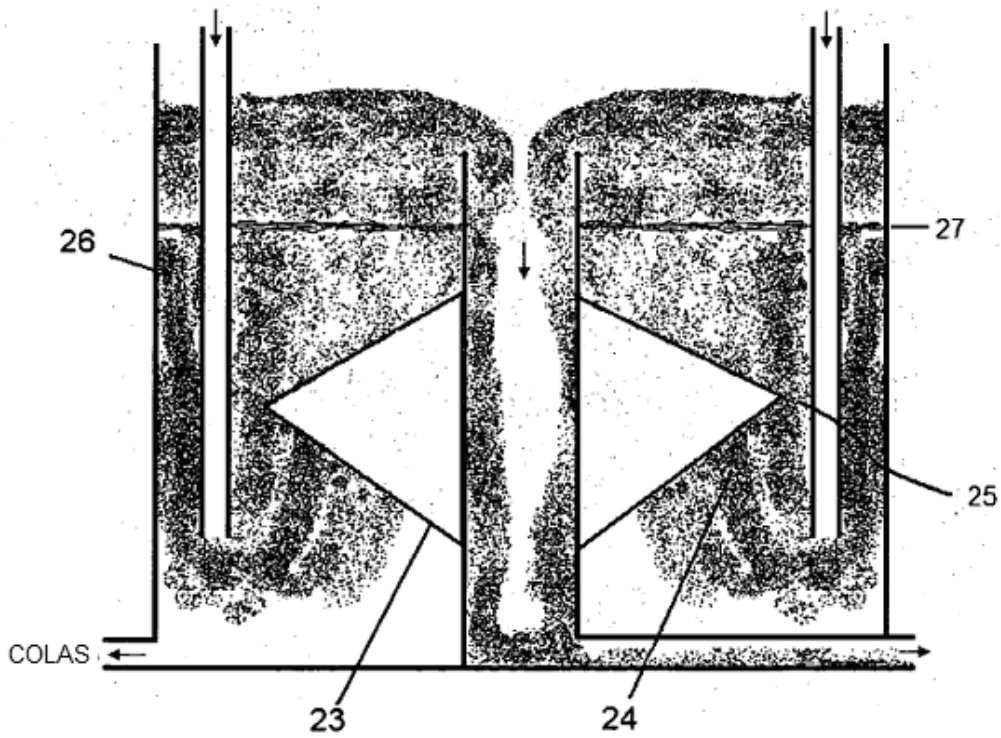


FIG. 4

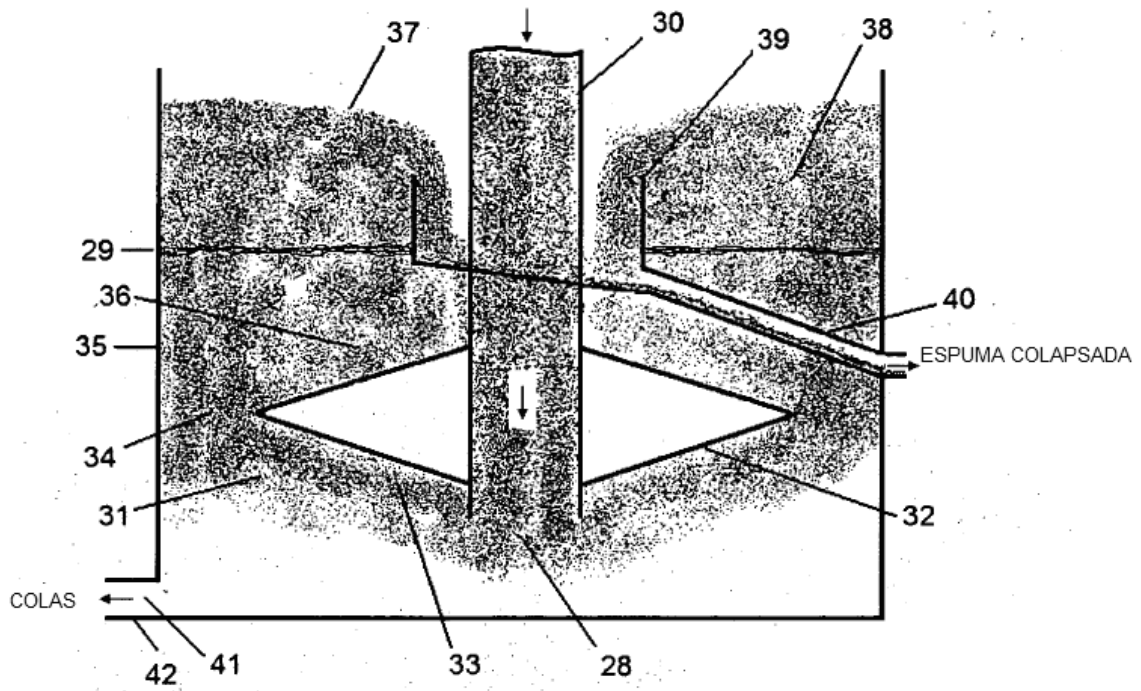


FIG. 5

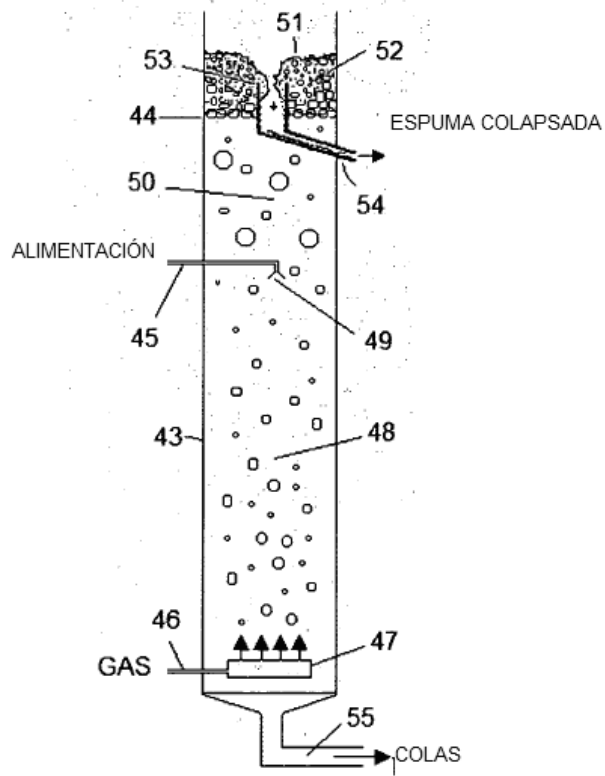


FIG. 6

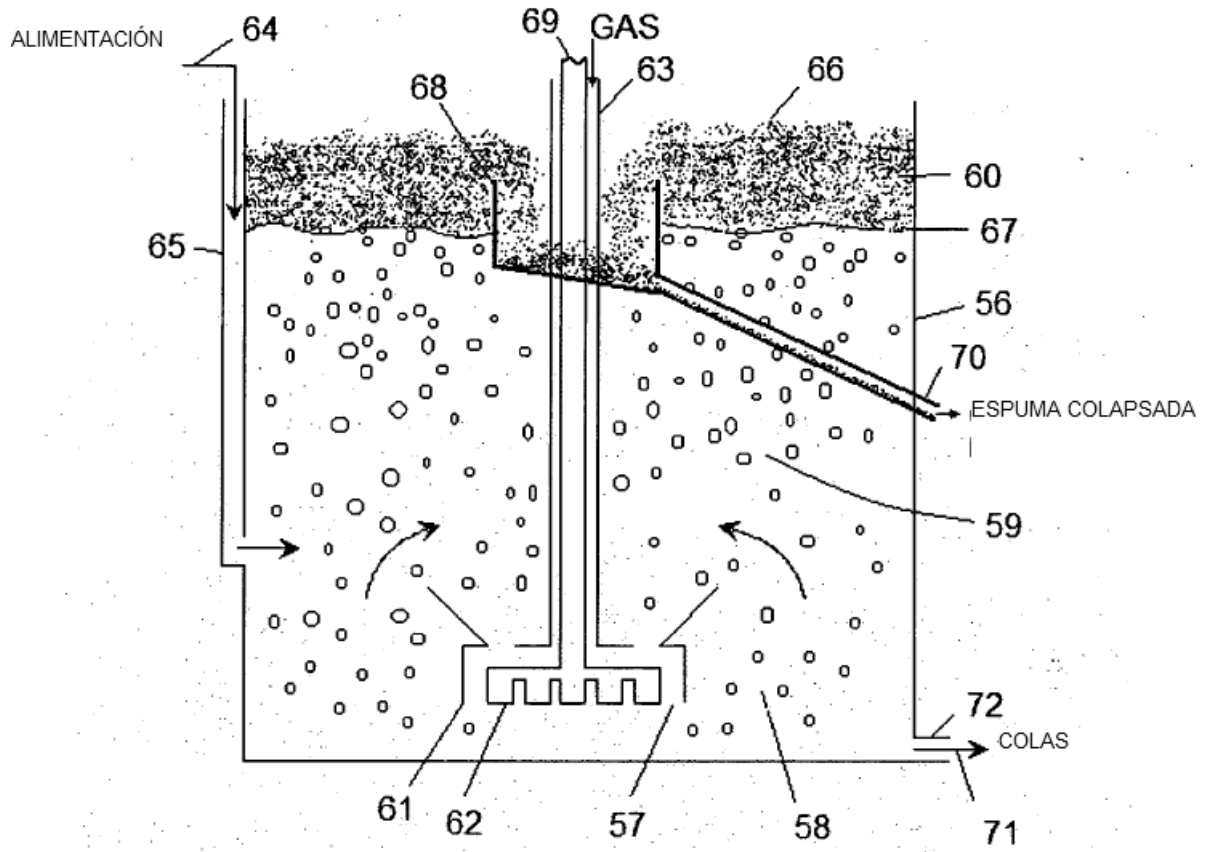


FIG. 7

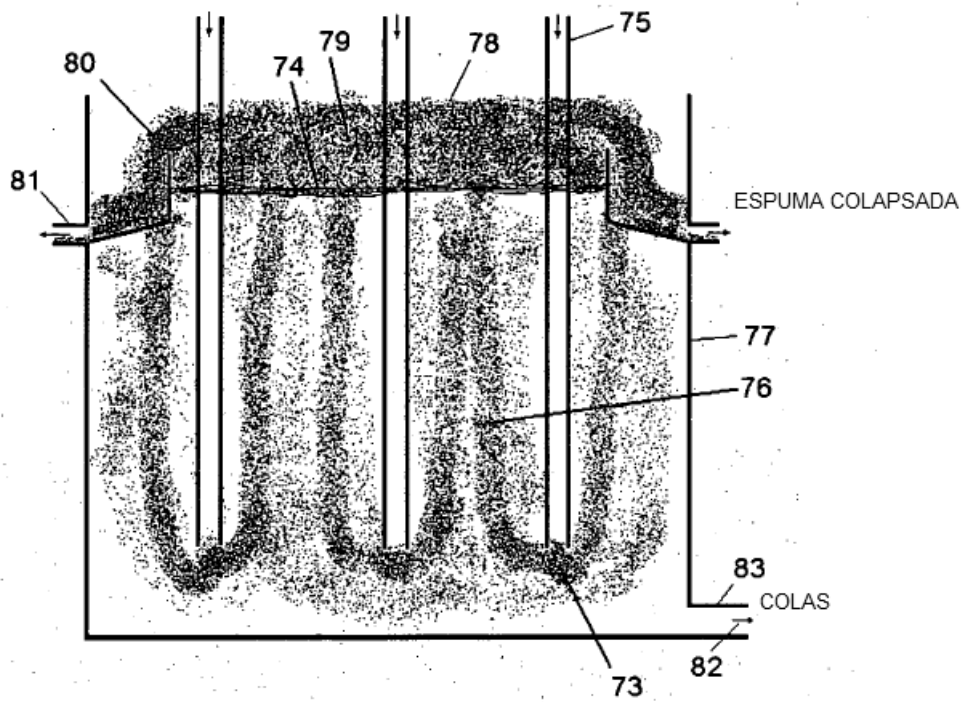


FIG. 8

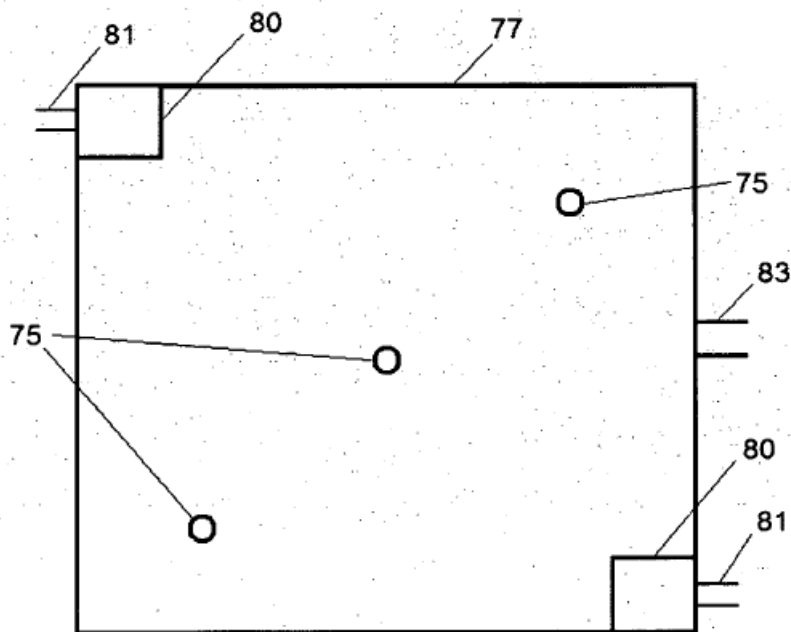


FIG. 9

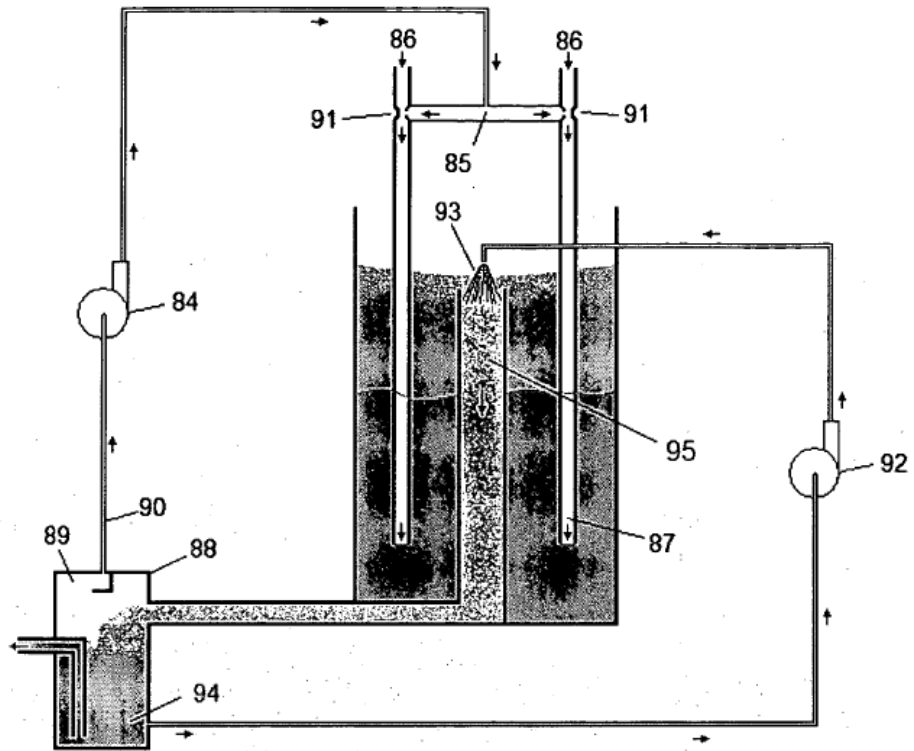


FIG. 10

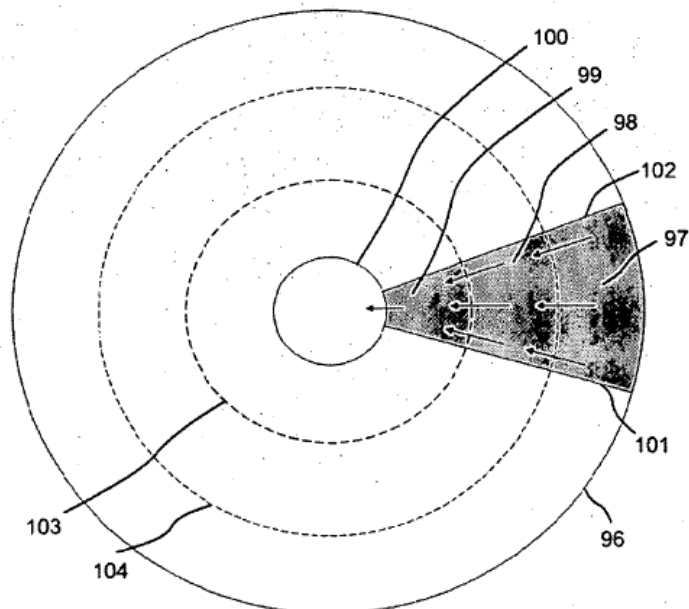


FIG. 11