

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 494**

51 Int. Cl.:

B03D 1/02 (2006.01)

C02F 1/24 (2006.01)

C12N 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.06.2008 PCT/US2008/007708**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.12.2008 WO08156835**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2008 E 08768675 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017 EP 2203255**

54 Título: **Proceso para la separación por burbujas de adsorción usando una espuma densa**

30 Prioridad:

19.06.2007 US 944813 P

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

05.12.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KANEL, JEFFREY, S. y
CLAYTON, ROBERT, L.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 645 494 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 para la separación por burbujas de adsorción usando una espuma densa

Antecedentes

5 La separación por burbujas de adsorción (que incluye flotación por espuma, fraccionamiento de burbujas, flotación de aire disuelto y supresión de disolvente) es un proceso al cual un material molecular, coloidal o en partículas es adsorbido selectivamente en la superficie de burbujas de gas que se elevan a través de un líquido y de ese modo se concentra o se separa. Un tipo comúnmente utilizado de proceso de separación por burbujas de adsorción es la flotación de espuma donde los aglomerados de burbujas-partícula se acumulan en la superficie del líquido como una espuma flotante. La espuma con partículas adsorbidas (es decir, adheridas o recolectadas) es tratada en una de las
10 diversas maneras para colapsar la espuma y aislar las partículas. Véase, por ejemplo, Flotation Science and Engineering, K. A. Mattis, Editor, páginas 1-44. Marcel Dekker, Nueva York, NY, 1995; y Adsorptive Bubble Separation Techniques, Ruben Lemlich, Editor, páginas 1-5. Academic Press, Nueva York, NY, 1972.

15 Este importante proceso se utiliza comercialmente en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo: aislamiento de minerales y metales de una suspensión de mineral -agua, deshidratación de microalgas, levadura o células 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 reciclado de papel. En muchas aplicaciones, es necesario añadir reactivos, conocidos como "colectores", que selectivamente hacen que a una o más de las especies de partículas en la alimentación sean hidrófobas, asistiendo de esta manera en el proceso de recolección por burbujas de gas. También, pueden añadirse agentes
20 espumantes para ayudar a 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.

25 En la ingeniería de procesos bioquímicos, la separación por burbujas de adsorción encuentra utilidad en el aislamiento o concentración de productos naturales valiosos como los que son producidos, por ejemplo, por microalgas. Frecuentemente en tales aplicaciones el organismo o producto bioquímico deseado está presente en concentraciones muy bajas. En tales casos es necesario por lo tanto alimentar grandes volúmenes de una dispersión acuosa muy diluida del material deseado a través de un proceso de separación por burbujas de adsorción. Véase, por ejemplo, "Harvesting of Algae by Froth Flotation", G. V. Levin, et al. Applied and Environmental Microbiology, volumen 10, páginas 169-175 (1962). Las Patentes estadounidenses 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.

30 La alimentación de partícula para el proceso de separación por burbujas de adsorción puede ser una mezcla, dispersión, emulsión, barro o suspensión de un material molecular, coloidal y / o particulado en un líquido portador y se denomina en lo sucesivo alimentación de dispersión de líquido-partículas. Cuando el líquido es agua, como suele ser el caso, la alimentación se puede denominar una dispersión acuosa de partículas.

35 Un elemento de los procesos de burbujas de adsorción es la generación de burbujas, típicamente realizada por la introducción de un gas en un líquido. La eficiencia de un proceso de burbujas de adsorción depende del área superficial de la burbuja disponible para el contacto con las partículas hidrófobas. Las pequeñas burbujas (de una espuma) tienen una mayor área superficial disponible para el contacto con partículas hidrófobas que las burbujas más grandes para un volumen dado de gas. Sin embargo, las burbujas que son demasiado pequeñas no subirán dentro del líquido portador hasta que se unan, lo que lleva tiempo. Así, existe un equilibrio entre el tamaño de las
40 burbujas y el tamaño de la zona de separación requerida para dar el tiempo necesario para que las burbujas suban dentro del líquido portador. Se ha demostrado que las burbujas de 0,5 a 2 milímetros funcionan bien dentro de la técnica, aunque las características del líquido portador y las partículas hidrófobas pueden influir en el diseño. Generar burbujas consistentemente del tamaño óptimo y en cantidad suficiente ha sido un área desafiante de estudio continuo, y se han propuesto y probado muchos procedimientos.

45 Habiendo generado las burbujas, las partículas hidrófobas se ponen en contacto con ellas con suficiente probabilidad y energía para que las partículas hidrófobas penetren en la capa límite del líquido que rodea las burbujas y se unan a la superficie de las burbujas. Una densa población de burbujas da lugar a películas delgadas del líquido portador entre las burbujas y mayores oportunidades de interacción y recolección. La población de burbujas dentro de un líquido se conoce como la "fracción de vacío", y las fracciones de alto vacío favorecen la
50 recolección de partículas hidrófobas, ya que hay muchas burbujas, y las capas que las rodean se vuelven más delgadas y la unión se vuelve más fácil.

55 Debido a la importancia de los procesos de separación por burbujas de adsorción, se han hecho muchos intentos para mejorar la eficacia y la selectividad de la captura de partículas a partir de una dispersión acuosa de partículas con el fin de aumentar el rendimiento y la pureza del producto. En todas estas aplicaciones, existe la necesidad de contactar eficazmente partículas o gotitas de una dispersión líquida con un gas y luego unir las partículas hidrófobas a las burbujas.

Actualmente, los sistemas de procesos de separación por burbujas de adsorción en columnas se dividen en dos grandes categorías: (I) aquellas en las que el gas y la alimentación fluyen en contracorriente en un sistema columnar,

y (II) aquellas en los que el gas y la alimentación fluyen en paralelo con la corriente, como en una celda compacta del tipo Jameson.

En los sistemas en columnas, las zonas de recolección y separación se combinan en un único tanque o columna cilíndrica grande y alto. La alimentación de dispersión de líquido-partículas se introduce cerca de la parte superior de la columna, y las partículas hidrófobas tienden a sedimentarse hacia abajo. El aire presurizado o líquido aireado se introduce cerca del fondo formando un flujo de burbujas ascendente. Las burbujas ascendentes y las partículas de sedimentación deben colisionar con suficiente energía para que las partículas penetren en la capa límite que rodea a las burbujas y las une. Como esto depende de la probabilidad de que la colisión y la energía sean suficientes, las columnas deben ser bastante altas para aumentar el tiempo de exposición y, por tanto, la recuperación. En estos dispositivos de contacto de flujo a contracorriente, se necesita un tiempo de residencia largo para facilitar una probabilidad de colisión de burbujas-partículas suficiente, haciendo que la tecnología sea relativamente costosa para la práctica.

Los ejemplos del sistema columnar de contracorriente incluyen la columna de flotación MICROCELTTM, descrita en las Patentes Estadounidenses 5.167.798 y 5.078.921, así como la columna de Chiang, Patente Estadounidense 5.897.772. Sistemas similares incluyen celdas de flotación mecánica, tales como las descritas en la Patente Estadounidense 5.205.926, cuyo contenido se incorpora en la presente memoria mediante esta referencia, en donde un mecanismo de agitación mecánica dentro de un tanque agita el líquido portador, las partículas hidrófobas y el gas para formar la zona de generación de burbujas. Las partículas hidrófobas y las burbujas se mezclan en la región que rodea al impulsor; donde las partículas hidrófobas y las burbujas chocan para formar aglomerados hidrófobos de partículas- burbujas. Al igual que los sistemas columnares estándar, estas celdas de flotación mecánica combinan las zonas de generación de burbujas, contacto, recolección, separación y espuma dentro del mismo recipiente, comprometiendo así la eficiencia de la celda de flotación, requiriendo un número de celdas de flotación operadas en serie con el fin de lograr la eficiencia deseada. Además, los sistemas columnares son típicamente bastante grandes y, por tanto, poco prácticos para moverse y almacenarse.

Los sistemas de co-corriente, que se basan típicamente en un diseño de celda de Jameson, son sistemas compactos en donde la alimentación se utiliza para generar la espuma y las burbujas por medio de un chorro descendente en un tubo descendente, alimentándose toda la alimentación a través del chorro para generar la espuma / burbujas. Los ejemplos de estos sistemas incluyen los descritos en las Patentes Estadounidenses 5.332.100, 4.938.865, 4.668.382, 5.776.349, 6.092.667, WO 2006/056018 A1 y WO 2006/056018 A1. La espuma / burbujas se liberan en la cámara de flotación a través de un conducto o medios similares, donde las burbujas se unen y se desprenden de los líquidos, y suben a la parte superior de la cámara para formar una espuma. Además, un procedimiento para remover partículas y solutos discretos de líquidos, en particular aguas residuales, por flotación de espuma es conocido a partir del documento US 4.203.837. Este proceso utiliza una espuma generada previamente que se introduce en el líquido que lleva los sólidos o solutos que deben ser removidos.

Debido a que los procesos de burbujas de adsorción se usan comúnmente para separar las concentraciones bajas de partículas hidrófobas de un fluido portador, se deben inyectar grandes volúmenes de fluido a través del chorro en estos sistemas compactos. Por lo tanto, se requiere una cantidad sustancial de energía para cargar la alimentación de dispersión de líquido-partículas y el gas al proceso de burbujas de adsorción. Esta entrada de energía puede ser un costo dominante cuando el proceso de burbujas de adsorción se utiliza para la recuperación de material diluido con un valor relativamente bajo, tal como cuando las algas se están deshidratando para la producción de biocombustibles.

Compendio de la invención

La presente invención proporciona un procedimiento para concentrar partículas en una alimentación de dispersión de líquido-partículas por separación por burbujas de adsorción, donde la alimentación de dispersión de líquido-partículas es una dispersión acuosa de micro-organismos, según lo definido en la reivindicación 1. Las realizaciones preferidas se exponen en las reivindicaciones 2 a 10. En algunas realizaciones, la espuma flota naturalmente hacia un canal central abierto de recolección de espuma en el que desborda. La acción de las burbujas ascendentes que empujan la capa de espuma hacia el área superficial reducida del centro comprime (empuja) la espuma, causando la coalescencia de burbujas y un incremento en el drenaje de líquido consiguiendo así una concentración creciente de materiales recolectados.

En algunas realizaciones, las burbujas ascendentes y las partículas desplazadas que caen son dirigidas al perímetro de la cámara de flotación por medio de un deflector, provocando de este modo la compresión adicional de la espuma a medida que se desplaza una mayor distancia desde cerca del perímetro de la cámara de flotación hacia un canal central. Este deflector es beneficioso incluso cuando no se utiliza un canal central, ya que reduce el intervalo en el que las burbujas suben y en el que caen las partículas desplazadas de la espuma, aumentando así la tasa de recaptura / reabsorción de las partículas desplazadas, dando como resultado una mejor recuperación que la obtenida generalmente en la técnica anterior.

En algunas realizaciones, la espuma es arrastrada por un vacío de bucle cerrado o succión debajo de la línea de drenaje de la espuma, por ejemplo extrayendo gas del recipiente de recolección de espuma a la entrada de gas para

la cámara de aspiración, creando presión reducida dentro de la cámara que atrae la espuma a la misma. Estas realizaciones y mejoras son particularmente útiles con espuma persistente.

- 5 Como consecuencia del diseño, al menos parte de la alimentación de la dispersión de líquido-partículas se inyecta en un conducto vertical bajo presión mucho más baja (típicamente, sólo lo necesario para asegurar el flujo en la cámara), después de que se forme la espuma densa, disminuyendo así los requerimientos energéticos del sistema y preservando cualquier partícula o aglomerado floculado que preexiste en la alimentación de dispersión de líquido-partículas. Esto contrasta con los procesos de flotación compactos de la técnica anterior en donde se inyecta toda la alimentación a altas presiones, para formar la espuma.

Breve descripción de los dibujos

- 10 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 se inyecta al menos una parte de la alimentación de dispersión de líquido-partículas en una o más cámaras de mezcla.
- La FIG. 3 es una vista en sección de una parte de un aparato de separación cilíndrico que incluye el conducto (a veces denominado tubo descendente), una cámara de flotación, un canal central y un deflector.
- 15 La FIG. 4 es una vista en sección de un aparato de separación de recolección de espuma asistido por pulverización, en donde se usa un pulverizador para mejorar la recolección de espuma.

Descripción detallada de la invención

- 20 Como se muestra en la FIG. 1, el procedimiento de separación por burbujas de adsorción incluye una zona de aspiración, una zona de mezcla primaria, una zona de mezcla secundaria, un conducto, una zona de separación y una zona de espuma. La corriente líquida presurizada (o pluralidad de corrientes) y el gas entran en la zona de aspiración produciendo una dispersión aireada. La energía cinética de la dispersión aireada se disipa en la zona de mezcla primaria, produciendo una espuma densa de burbujas finas. Es deseable producir un gran número de pequeñas burbujas dentro de la espuma densa para maximizar el área superficial de gas disponible para la colisión con partículas hidrófobas en un volumen dado de la alimentación de dispersión de líquido-partículas.

- 25 La alimentación de dispersión de líquido-partículas entra en el dispositivo de flotación de espuma en la zona de mezcla primaria y / o secundaria, donde las partículas hidrófobas se mezclan con las burbujas finas de la espuma densa de una manera íntima y con suficiente energía para promover el contacto para producir una espuma secundaria que comprende una mezcla de la espuma y la alimentación de dispersión de líquido-partículas. A continuación, el conducto permite que las burbujas colisionen más con las partículas hidrófobas y formen la dispersión de gas-líquido-partículas. Es deseable generar suficiente contacto en las zonas de mezcla y en el conducto a través de una distribución fina de las partículas a lo largo de la espuma y una alta fracción de vacío para provocar una alta frecuencia de colisiones con el fin de conseguir una alta eficiencia de captura de partículas.

- 35 Después de formarse los aglomerados de burbujas-partículas en la dispersión de gas-líquido-partículas en el conducto, se separan a continuación del líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas en la zona de separación, típicamente por gravedad. La densidad del gas es generalmente al menos de dos a tres órdenes de magnitud menor que la del líquido. La diferencia de densidad favorece la flotación de los aglomerados de burbujas-partículas a la superficie del líquido (en cuyo proceso el líquido de alimentación agotado en partículas hidrófobas sigue separándose de los aglomerados de burbujas-partículas), donde los aglomerados se acumulan como espuma en la zona espuma.

- 40 La espuma, enriquecida en partículas hidrófobas, desborda la zona de espuma como una corriente rica en partículas en el canal de recolección de espuma (véase, por ejemplo, 50 de la FIG. 3). La corriente de flujo inferior (colas), que es el líquido de alimentación agotado en partículas hidrófobas, sale del dispositivo de flotación de la espuma y puede ser tratada de nuevo en una celda de flotación secundaria, reciclada o descartada.

- 45 La FIG. 2 muestra un aparato para la separación por burbujas de adsorción que se utiliza aquí, en donde una corriente de líquido presurizado 1 se inyecta como un chorro libre 3 en la cámara de aspiración 5 por medio de una boquilla de alimentación presurizada 2. La boquilla puede ser de cualquier forma o tipo capaz de producir un chorro de líquido sólido o hueco que tiene cualquier forma de sección transversal, o incluso un cono; con la condición, sin embargo, de que preferiblemente la boquilla esté diseñada y configurada dentro del aparato para producir un chorro que no choque contra las paredes de la cámara de aspiración 5 o la boquilla de aspiración 4, si la hay. La presión de la boquilla de alimentación presurizada puede generarse mediante una bomba o cualquier otro procedimiento capaz de generar un líquido presurizado (no mostrado en la FIG. 2). Los ejemplos de bombas adecuadas son conocidos por los expertos en la técnica e incluyen bombas centrífugas, de engranajes, peristálticas, de pistón y de diafragma, así como combinaciones de las mismas.

- 55 El flujo del chorro libre 3 empuja el gas 7 hacia la cámara de aspiración 5, a través de la restricción de la corriente de gas 6. De este modo, la presión debería generar un chorro libre que tenga velocidad suficiente para arrastrar el gas

- al chorro libre para formar una dispersión aireada 8 a medida que el chorro libre y el gas salen de la cámara de aspiración 5. Preferiblemente, la velocidad de chorro libre es mayor de 30 pies por segundo, pero la velocidad estará dictada por las características de la dispersión aireada. Por lo tanto, si la composición de la dispersión aireada es tal que es capaz de mantener espumas estables, son posibles velocidades más bajas. El aumento de la velocidad del chorro para un volumen dado imparte más energía a la dispersión aireada y puede generar espuma en líquidos que no son aptos para espumas estables sin la adición de agentes químicos. Debido a que posteriormente se añade la alimentación de dispersión de líquido-partículas en el proceso, el aumento de la relación de gas-líquido de la dispersión aireada es sostenible dentro del sistema, ya que estarán disponibles líquidos adicionales para soportar las burbujas de la espuma densa.
- 5 La corriente líquida presurizada comprende una porción de la alimentación de dispersión de líquido-partículas.
- Además, el gas empujado a la cámara de aspiración 5 puede comprender aire, nitrógeno, argón, helio, dióxido de carbono, gas de la combustión de material carbonoso, vapor de disolvente, dióxido de carbono de una planta de gasificación o combinaciones de los mismos. El gas no contiene reactivos que ayuden en la generación de espuma. La restricción de la corriente de gas 6 mantiene un vacío dentro de la cámara de aspiración 5 y controla la tasa de flujo del gas a la cámara. Un mayor vacío dentro de la cámara de aspiración 5, y por lo tanto la cámara de mezcla primaria 9, genera burbujas más pequeñas en la espuma densa 10 (dando por resultado una mayor área superficial para que las partículas se adhieran). Además, la presión requerida para generar el chorro libre 3 depende de la presión dentro de la cámara de aspiración 5, de acuerdo con el principio de Bernoulli.
- 15 Por lo tanto, se crea un sistema de autoaspiración y no es necesario un compresor o ventilador para formar la espuma densa 10 (reduciendo significativamente los costos de capital y de funcionamiento del dispositivo y permitiendo una introducción robusta de gas sin problemas de obturación o fallas mecánicas). La restricción de la corriente de gas 6 puede ser fija, ajustable o automáticamente variable, y puede ser una válvula (por ejemplo, una válvula de compuerta, válvula de globo o válvula de bola) o cualquier otra restricción capaz de controlar el paso de un gas 7 y crear una resistencia al flujo, incluyendo orificios y constricciones en la línea de gas.
- 20 Se puede incorporar una boquilla de aspiración 4 entre la cámara de aspiración 5 y la cámara de mezcla primaria 9 para detener el flujo de retorno potencial desde la cámara de mezcla primaria a la cámara de aspiración y para facilitar el arrastre de gas adicional a la dispersión aireada 8. Si se usa más de un chorro, preferiblemente hay correspondientes boquillas de aspiración 4 alineadas con cada chorro. Alternativamente, si se usa más de un chorro, la boquilla de aspiración debe acomodar todo el patrón de chorro. Las boquillas de aspiración 4 pueden tener cualquier forma en sección transversal, incluyendo circular, ovalada o rectangular, y puede ser ahusada, curva, de borde afilado, o de otra manera.
- 25 La energía cinética de la dispersión aireada 8 se disipa en la cámara de mezcla primaria 9 cuando choca con el codo de la cámara de mezcla primaria, para formar una espuma densa 10. La energía cinética también se puede disipar de la dispersión aireada 8 cuando la dispersión encuentra una resistencia al flujo dentro de la cámara de mezcla primaria 9 de manera que choque contra sí misma, deflectores, una pared, malla o tamiz, embalaje estructurado u otros objetos estacionarios, o combinaciones de los mismos. También se pueden utilizar otros medios para disipar la energía cinética de la dispersión aireada 8 y crear la espuma densa 10. La presión en el interior de la cámara de mezcla primaria 9 es menor que la atmosférica debido al vacío creado en la cámara de aspiración 5 y, por lo tanto, parte de la espuma densa 10 puede ser retenida dentro de la cámara de mezcla primaria 9 a medida que algo pasa a la cámara de mezcla secundaria 11. Si se desea aumentar el tiempo de residencia de la espuma densa (por ejemplo, cuando partículas muy pequeñas son recolectadas por las burbujas) dentro de la cámara de mezcla primaria, se puede aumentar el volumen de la cámara.
- 30 Una vez producida, la espuma densa 10 pasa a la cámara de mezcla secundaria 11, donde se introduce y distribuye la alimentación de dispersión de líquido-partículas 12 en la espuma densa. Como se muestra en la FIG. 2, la alimentación de dispersión de líquido-partículas 12 también se puede inyectar en la cámara de mezcla primaria 9. La presión utilizada para inyectar la alimentación de dispersión de líquido-partículas 12 a las cámaras de mezcla 9, 11 es preferiblemente sólo la necesaria para asegurar el flujo en la cámara y es preferiblemente mucho menor que la corriente líquida presurizada 1 que entra en la cámara de aspiración 5, reduciendo de ese modo la cantidad de energía requerida para introducir la alimentación de dispersión de líquido-partículas 12 en el aparato de separación por burbujas de adsorción y también preservando cualesquiera "flóculos" o aglomerados que preexistan en la alimentación de dispersión de líquido-partículas. En ciertas aplicaciones en las que el líquido presurizado forma espumas de burbujas muy estables y finas, debe utilizarse una menor presión del líquido presurizado, ya que el recipiente de separación completo puede llenarse con espuma sin formar una interfaz de espuma-líquido definida para la separación de espuma. En tales casos, se requiere muy poca energía para generar la dispersión aireada, y la presión del líquido presurizado puede ser tan baja como aproximadamente 5 psi.
- 35 La alimentación de dispersión de líquido-partículas 12 puede introducirse en las cámaras de mezcla **9, 11** a través de boquillas, distribuidores de alimentación, almohadillas de malla, difusores, un medio poroso, o combinaciones de los mismos. La presión con la que la alimentación de dispersión de líquido-partículas entra en las cámaras de mezcla será menor que aquella con la que el líquido presurizado entra en la cámara de aspiración. Alternativamente, como se muestra en la FIG. 2, la alimentación de dispersión de líquido-partículas 12 puede ser inyectada en una
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

cámara 29 anular a la cámara de mezcla, donde la pared de separación entre las dos cámaras tiene una pluralidad de orificios u otros medios para permitir que la alimentación de dispersión de líquido-partículas sea introducida en la cámara de mezcla con suficiente energía para facilitar el contacto íntimo y relativamente inmóvil de las burbujas de la espuma densa 10 y la alimentación de dispersión de líquido-partículas 12. Las cámaras de mezcla 9, 11 pueden contener placas, tubos, tuberías o cualquier otro sistema para distribuir la alimentación de dispersión de líquido-partículas a través de la espuma densa. Estas placas, tubos o tuberías pueden ser perforados, de diferente longitud, o pueden estar en movimiento de tal manera que la alimentación de dispersión de líquido-partículas se distribuya dentro de la espuma densa. Preferiblemente, los componentes de introducción y mezcla, si los hay, no obturan ni aumentan significativamente el requerimiento de presión de la introducción de alimentación de dispersión de líquido-partículas, y por diseño distribuyen la alimentación de dispersión de líquido-partículas a lo largo de la espuma densa.

A partir de la cámara de mezcla secundaria 11, la espuma secundaria 13 pasa a un conducto 14, donde las partículas hidrófobas de la alimentación de dispersión de líquido-partículas siguen siendo capturadas por las burbujas de la espuma y se convierten en la dispersión de gas-líquido-partículas 15. El fondo del conducto 14 está sumergido por debajo de la superficie del líquido (interfaz espuma-líquido) 21 de la cámara de flotación 16. El conducto 14 puede ser vertical, tener una sección vertical o estar inclinado desde la vertical de manera que contenga la columna de espuma de manera que se mantenga un vacío suficiente en las cámaras de mezcla 9, 11 y el conducto 14 para mantener una columna de al menos parte de la dispersión de gas-líquido-partículas 15 en el conducto, y mantener el vacío necesario en la cámara de aspiración 5.

La dispersión de gas-líquido-partículas 15 se introduce en la zona de separación 34 dentro de la cámara de flotación 16, donde comienza a unirse generando burbujas más grandes, se desacoplan del líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas y se elevan hacia la superficie líquida 21 llevando los materiales recogidos. La zona de separación 34 puede configurarse en cualquier forma siempre que el tiempo de residencia sea suficientemente grande para permitir la coalescencia de burbujas y la separación de los aglomerados de burbuja-partículas y el líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas 20. Aunque la zona de separación 34 puede ser de forma cilíndrica, cuadrada, rectangular, hexagonal u otra, es preferible utilizar un diseño cilíndrico.

Los aglomerados ascendentes de burbuja-partículas se acumulan como espuma 17 por encima de la superficie del líquido (interfaz espuma-líquido) 21 en la zona espuma. En esta zona, la espuma continúa drenando, purificando la espuma y concentrando el material recogido. A medida que suben las burbujas adicionales formando más espuma, las burbujas empujan la espuma acumulada sobre la superficie hacia el borde del canal 31; la porción superior de la espuma desborda el borde del canal 31 al canal de recolección de espuma 18. La FIG. 2 muestra un canal perimetral; la FIG. 3 muestra una nueva configuración para la zona de separación y el canal de recolección de espuma adecuada para su uso con las cámaras de aspiración y mezcla previamente descritas, en donde el canal está situado centralmente dentro de la cámara de flotación 16 de modo que la espuma acumulada es empujada hacia un área superficial reducida. Este movimiento hacia el área superficial reducida del centro comprime la espuma, ayudando a limpiarla y drenarla.

El líquido de lavado puede añadirse a la espuma desde arriba si se desea purificarlo 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 propios de la alimentación de dispersión de líquido-partículas, soluciones de agentes de tratamiento y acondicionamiento de superficies y combinaciones de los mismos.

La espuma y la espuma colapsada 22 drenan hacia abajo del canal de recolección de espuma 18 y luego salen de la cámara de flotación 16 a través de la parte inferior o lateral vía una línea de drenaje 32. El líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas (colas) 20 subdesborda el dispositivo de flotación a través de una línea de cola inferior o lateral 30 y puede ser tratado de nuevo en una celda de flotación secundaria, reciclado o descartado. El nivel de líquido en la cámara de flotación 16 puede mantenerse controlando el flujo del líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas 20 aunque las colas se descarguen por cualquier procedimiento conocido en la técnica, incluyendo pero sin limitarse a una válvula, un orificio o una brazo oscilante. La parte inferior de la cámara de flotación 16 puede ser plana, hemisférica o cónica. En los 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 30 para una eliminación de sólidos mejorada.

La cámara de aspiración 5, cámaras de mezcla 9, 11 y el conducto 14, pueden ser cilíndricos, esféricos, rectangulares o de cualquier forma o combinación de formas. De manera similar, el canal de recolección 18 puede ser anular o parcialmente anular a la pared exterior de la cámara de flotación, o puede tener cualquier forma dentro de la cámara de flotación 16; cuando está dentro de la cámara de flotación, el canal de recolección forma preferiblemente un anillo alrededor del conducto 14. Pueden estar contruidos de cualquier material usado en la técnica, incluyendo pero no limitado a cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE), policarbonato, otros polímeros, vidrio, fibra de vidrio, cerámica, acero, hierro, otros metales, hormigón, azulejos u otros materiales de construcción. Preferentemente, están contruidos de materiales compatibles con la dispersión aireada y la alimentación de dispersión de líquido-partículas y son resistentes a la erosión o corrosión. Además, pueden contruirse como unidades independientes, o como una unidad combinada.

La pared exterior de la cámara de flotación 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, azulejos, tierra, piedra u otros materiales de construcción.

5 Aunque la realización descrita muestra un procedimiento para producir espuma densa, pueden usarse otros medios para producir la espuma conocida, tal como la aspiración del gas en un líquido usando un eductor, un chorro de inmersión o un sistema agitado. Además, la alimentación de dispersión de líquido puede ser inyectada en la cámara de mezcla primaria además de o en lugar de la adición en la cámara de mezcla secundaria, preferiblemente a presión reducida.

10 También se ilustra en la Figura 2 un procedimiento opcional, novedoso que utiliza un vacío parcial (corriente descendente) para arrastrar la espuma y espuma colapsada a través del canal de recolección de espuma 18 y una línea de drenaje de espuma 32 a un acumulador de espuma 27. Este procedimiento ayuda mucho a la recolección de espuma (especialmente espumas persistentes), ya que la espuma puede ser arrastrada por succión a través del sistema de descarga más fácilmente de lo que puede ser drenada por gravedad o empujada a través de la línea. Este vacío parcial o succión puede ser generado por cualquier procedimiento conocido en la técnica para crear un vacío / succión, pero es parcialmente útil si el gas 7 usado para generar la dispersión aireada es arrastrado a través de la línea de drenaje de espuma 32, a través del acumulador de espuma 27 y a la cámara de aspiración. Preferiblemente, el vacío es generado por un diseño de bucle cerrado, en donde la espuma y la espuma colapsada salen de la línea de drenaje hacia el acumulador de espuma 27. El acumulador de espuma 27 está conectado a la entrada de gas para la cámara de aspiración 5, de manera que cuando la fuerza del chorro arrastra el gas 7 a la cámara de aspiración 5, el gas 24 es arrastrado desde el acumulador de espuma 27 a través de la línea de gas 23. Para controlar la presión de vacío, se coloca una válvula adicional 25 en la línea de gas fuente 26, controlando así la cantidad y reposición del gas 7 inyectado en la cámara de aspiración 5. La espuma colapsada deja el acumulador de espuma 27 a través de la línea de salida de la espuma colapsada 33.

25 La FIG. 3 muestra una vista parcial de un aparato adecuado para la separación por burbujas por adsorción como se describe en la presente memoria, con elementos opcionales que incluyen un canal central 50 y deflectores 43 incorporados en el diseño. La cámara de aspiración y las cámaras de mezcla descritas anteriormente no se muestran, sino que están destinadas a ser parte de este aparato. Como se muestra en la FIG. 3, la espuma secundaria pasa de la cámara de mezcla secundaria al conducto 41, donde las partículas hidrófobas de la alimentación de dispersión de líquido-partículas siguen siendo capturadas por las burbujas de la espuma y se convierten en la dispersión de gas-líquido-partículas 39. La dispersión gas-líquido-partículas se introduce por debajo de la superficie del líquido (interfaz espuma-líquido) 40 de la cámara de flotación 54 desde el conducto 41 hasta la zona de separación 55 de la cámara de flotación 54. El conducto 41 que introduce la dispersión de gas-líquido-partículas puede ser vertical, tener una sección vertical o estar en ángulo desde la vertical de modo que contenga la columna de espuma de manera que se mantenga un vacío suficiente en las cámaras y en el conducto para mantener una columna de al menos algo de la dispersión de gas-líquido-partículas en el conducto, y mantener el vacío requerido en la cámara de aspiración.

40 La parte inferior del conducto 41 está sumergida por debajo de la superficie del líquido 40 dentro de la zona de separación 55 donde la dispersión de gas-líquido-partículas saliente 39 comienza a unirse formando burbujas más grandes 42, se desacopla del líquido portador y sube hacia la superficie líquida que llevando los materiales recogidos. La zona de separación puede configurarse en cualquier forma siempre que el tiempo de permanencia sea suficientemente grande para permitir la coalescencia de burbujas y la separación de los aglomerados de burbujas-partículas y el líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas.

45 El deflector de espuma 43 dirige las burbujas 44 hacia afuera al espacio 45 entre el deflector 43 y la pared perimetral 46 de la zona de separación, donde suben entonces hacia la interfaz de espuma-líquido 40. Igualmente las partículas desacopladas 47 que se hunden son dirigidas hacia fuera por el deflector 43 hasta el espacio 45 en el que se pondrán en contacto nuevamente con burbujas ascendentes 42. El deflector de espuma puede tener cualquier forma que dirija las burbujas ascendentes y las partículas de hundimiento a un lugar próximo al perímetro. El deflector puede ser cónico, plano, ahusado 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, azulejos u otros materiales de construcción. El deflector puede tener forma de cuña.

50 Los aglomerados ascendentes de burbujas-partículas se acumulan como espuma 48 por encima de la interfaz espuma-líquido 40 en la zona espuma 49. En esta zona, la espuma continúa drenando, purificando la espuma y concentrando el material recogido. A medida que las burbujas adicionales ascienden formando más espuma, empujan la espuma acumulada 48 hacia el borde del canal 50, y la parte superior de la espuma desborda el borde al canal de recolección de espuma 50. Como se muestra en la FIG. 3, el canal puede estar situado centralmente dentro de la cámara de flotación 16, de manera que la espuma acumulada sea empujada hacia un área superficial reducida. Este movimiento hacia el área superficial reducida del centro comprime la espuma, ayudando a limpiar y drenar la espuma.

60 Se puede añadir agua de lavado a la espuma 56 en el canal desde arriba si se desea purificarla adicionalmente.

Puede utilizarse cualquier líquido apropiado para la operación de lavado de la espuma. Los líquidos adecuados incluyen, pero no se limitan a agua, líquidos que son propios de la alimentación de dispersión de líquido-partículas, soluciones de agentes de tratamiento y acondicionamiento de superficies y combinaciones de los mismos.

5 La espuma y la espuma colapsada 56 drenan hacia abajo del canal de recolección 50 y luego salen de la cámara de flotación a través de la parte inferior o lateral vía una línea de drenaje 51. El líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas (colas) 52 subdesborda el dispositivo de flotación a través de una línea de cola inferior o lateral 53 y puede ser tratado de nuevo en una celda de flotación secundaria, reciclado o descartado. El nivel de líquido 40 en la cámara de flotación 54 puede mantenerse controlando el flujo del líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas 52 a través de la línea de colas 53 por cualquier procedimiento conocido en la técnica, incluyendo pero no limitándose a una válvula, un orificio, o un brazo oscilante. La parte inferior de la cámara de flotación 54 puede ser plana, hemisférica o cónica. En los procesos en los que los sólidos se asientan en el fondo, se desea un fondo inclinado plano, hemisférico o cónico con una línea de cola inferior para una eliminación de sólidos mejorada.

15 Uno de los parámetros de diseño en el diseño de celdas de flotación es J_g (la velocidad de ascenso de gas superficial), y se calcula típicamente dividiendo la tasa de flujo de gas que entra en la celda por el área de la celda. Las altas tasas de J_g (mayores de 1 cm por segundo) típicamente producirán alta recuperación ya que una rápida tasa de ascenso 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 las burbujas y el drenaje de la espuma para producir una espuma más pura. Se supone un ascenso uniforme de burbujas en el cálculo de J_g . En la técnica anterior, se entiende que la uniformidad en la trayectoria de flujo de la espuma da como resultado un tratamiento uniforme de la espuma y proporciona 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 de flujo de espuma hacia dentro uniforme en 360 grados.

25 En el procedimiento descrito, la alimentación de dispersión de líquido-partículas comprende partículas (uno o más tipos) y un fluido portador, usualmente agua. Las partículas pueden comprender partículas sólidas.

Las partículas sólidas son microorganismos.

30 La alimentación de dispersión de líquido-partículas que requiere separación incluye microorganismos (microalgas, bacterias, hongos y virus). Los microorganismos presentes en la alimentación pueden estar vivos y / o muertos, enteros y / o rotos. El procedimiento de esta invención es especialmente útil 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.

35 Cualquier especie de microalga puede separarse de un líquido portador por medio del procedimiento o aparato de la invención. Estas especies incluyen, pero no se limitan a *Anabaena*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Arthrospira (Spirulina) obliquus*, *Arthrospira (Spirulina) platensis*, *Botryococcus braunii*, *Chaetoceros gracilis*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorococcum littorale*, *Cyclotella cryptica*, *Dunaliella bardawil*, *Dunaliella salina*, *Dunaliella tertiolecta*, *Dunaliella viridis*, *Euglena gracilis*, *Haematococcus pluvialis*, *Isochrysis galbana*, *Nannochloris*, *Nannochloropsis salina*, *Navicula saprophila*, *Neocloris oleoabundans*, *Nitzschia laevis*, *Nitzschia alba*, *Nitzschia communis*, *Nitzschia paleacea*, *Nitzschia closterium*, *Nostoc commune*, *Nostoc flagellaforme*, *Pleurochrysis carterae*, *Porphyridium cruentum*, *Prymnesium*, *Pseudochorocystis ellipsoidea*, *Scenedesmus obliquus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus dimorphus*, *Skeletonema costatum*, *Spirogyra*, *Spirulina*, *Synechococcus*, *Amphora*, *Fragilaria*, *Schizochytrium*, *Rhodomonas*, y variedades genéticamente modificadas de estas especies de microalgas. Debe entenderse que una razón adicional para la separación de las microalgas puede ser limpiar el líquido portador, en lugar del propósito de sólo concentrar la biomasa de microalgas.

45 Las células de microalgas pueden romperse por cualquier procedimiento conocido en la técnica, incluyendo el procedimiento descrito por Kanel en la Patente Estadounidense 6.000.551 y poniendo en contacto íntimo las microalgas y los medios de molienda en un aparato de molienda. Los aparatos de molienda adecuados incluyen molinos vibratorios, molinos de bolas agitadas (molino de medios agitados) o una cámara de sonicación que contiene medios de molienda.

55 Además, las floraciones de algas dañinas (floraciones de algas tóxicas también denominadas HAB) pueden ser remediadas por eliminación del agua de mar usando el procedimiento o aparato de la invención. El término HAB se utiliza para describir una floración tóxica si el alga es roja (por ejemplo, "marea roja"), amarilla, dorada, marrón o azul-verde. Las HAB se han asociado con floraciones de Rhodophytes, Chysophytes, y Synurophytes, etc. El agente HAB más conocido es una cianobacteria, *Microcystis aeruginosa*, una alga de agua dulce azul-verde. Pero otras verdes-azules incluyen *Anabaena*, *Aphanizomenon*, y *Cytindrospermopsis*. *Karenia brevis* es la HAB prevalente fuera de las costas de Florida, Carolina del Norte, Alabama, Misisipi, Louisiana y Texas. En Nueva Inglaterra, el dinoflagelado tóxico *Alexandrium* ha sido problemático a lo largo de la costa. El dinoflagelado heterotrófico,

Protoperidinium crassipes, ha estado implicado en algunas HAB recientes. Algunas pesquerías agrícolas han sido plagadas por un raphidophyte, Heterosigma akashiwo.

Debido a la dificultad de transportar espuma en conductos y tuberías, es preferible colapsar la espuma purificada en el canal de recolección. La espuma purificada que desborda en el canal de recolección se colapsa naturalmente o es tratada en una de varias formas conocidas para colapsar la espuma y aislar el material concentrado. Con espumas más persistentes, se deben tomar medidas más agresivas para colapsarlas. Se pueden utilizar pulverizadores en el canal de recolección de espuma. 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. Las boquillas de pulverización pueden ser de un diseño para evitar la obstrucción. El aire o el gas seleccionado de los utilizados para la creación de la espuma también se pueden utilizar para romper la espuma. Cuando se permite que la espuma fluya hacia el perímetro del recipiente de separación para su recolección en los canales, 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 por burbujas de adsorción se utiliza comúnmente para la concentración de un material hidrófobo. Por lo tanto, se prefiere el canal central de recolección, ya que tiene un área superficial inferior y requiere menos volumen de pulverización.

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

Los procedimientos mecánicos para romper la espuma incluyen, pero no se limitan a, procedimientos de sonicación, objetos vibratorios o giratorios 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 que se deben separar de la corriente líquida. Estos procedimientos mecánicos son también aplicables para su uso en la presente invención y el área superficial inferior del canal central de recolección puede usar equipo más pequeño y menos costoso.

Una segunda mejora opcional, recolección de espuma asistida por pulverización, ilustrada en la Fig. 4, se puede usar con o sin la anterior recolección de espuma asistida por vacío. También se puede utilizar con el canal central o con un canal periférico. En esta mejora opcional, se usa un pulverizador 93 para mejorar la recolección de espuma. Se utiliza una bomba 92 para generar la pulverización a partir de los líquidos de espuma colapsada 28 en el acumulador de espuma. El pulverizador 93 acciona la espuma persistente en el canal de recolección de espuma 18. El uso de líquidos de espuma colapsada para esta pulverización evita la dilución de los materiales recogidos. Aquí se muestra una bomba de gas 84 para eliminar gas del acumulador de espuma.

En el caso de flotación parcial, donde el material de ganga es más denso que el líquido en la alimentación de dispersión de líquido-partículas, se necesitará un fondo inclinado y una descarga de alivio de sólidos para eliminar los sólidos del recipiente de separación. Si la tasa de alimentación de la alimentación de dispersión de líquido-partículas es algo constante, esta descarga de alivio de sólidos puede ser controlada por el uso de un pequeño juego de válvulas para descargar desde el fondo inclinado y eliminar los sólidos en una suspensión pesada. En otro aspecto, esta eliminación podría ser a través de una pequeña bomba de manipulación de sólidos.

El procedimiento para la separación por burbujas de adsorción se describe adicionalmente mediante los siguientes Ejemplos ilustrativos.

Ejemplo 1 (no inventivo): Limpieza electrolítica para extracción con disolvente de cobre.

Se construye una celda de flotación a escala piloto de acuerdo con el diseño de la FIG. 2 donde la alimentación de dispersión de líquido-partículas tiene 0,1% en peso de gotitas del disolvente de extracción arrastrado en la alimentación a una unidad electrolítica. La tasa de flujo de la corriente de líquido presurizado es de 2 litros por minuto y la velocidad del chorro en la cámara de aspiración es de 20 metros por segundo. La corriente líquida presurizada está constituida por una porción del líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas de la descarga de colas de la zona de separación. El gas es el aire ambiente y la restricción de la corriente de gas es una válvula ajustada para mantener una tasa de flujo de 2 litros por minuto. El chorro pasa a través de la boquilla de aspiración y se convierte en la dispersión aireada, que entra a la cámara de mezcla primaria donde su energía cinética es sustancialmente eliminada al contacto con el codo de la cámara, así como al contacto con la espuma densa que reside en la cámara. El volumen de la cámara de mezcla primaria es de 0,6 litros, por lo que el tiempo de residencia de esta espuma densa es de 9 segundos. La espuma densa sale de la cámara de mezcla primaria a la cámara de mezcla secundaria, donde se introducen 10 litros por minuto de la alimentación de dispersión de líquido-partículas. La espuma secundaria entra en el conducto donde las gotas del disolvente de extracción son recogidas por las burbujas de la espuma para formar la dispersión de gas-líquido-partículas, que es posteriormente descargada en la zona de separación. El diámetro interior del conducto es 1,96 cm, y es de 300 cm de largo. El

tiempo de residencia en el conducto es de 3,9 segundos. Al salir del conducto hacia la zona de separación, las burbujas de la dispersión de gas-líquido-partículas (con las gotas recogidas de disolvente de extracción sobre ellas) se unen y suben hasta la superficie líquida, creando una espuma rica en partículas hidrófobas que contiene 85% del disolvente de extracción alimentado a la unidad. La espuma rica en partículas hidrófobas se recoge en el canal de recolección de espuma. El líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas sale de la zona de separación y de la celda de flotación de una manera controlada para mantener el nivel de líquido dentro de la zona de separación por encima del extremo de descarga del conducto.

Ejemplo 2 [no inventivo]: Recuperación de disolvente del refinado para la extracción con disolvente de cobre

Se construye una celda de flotación a escala piloto de acuerdo con el diseño de la FIG. 2 con la tasa de flujo de la corriente de líquido presurizado a 10 litros por minuto y una velocidad de 20 metros por segundo. La corriente líquida presurizada se compone de una parte de la alimentación de dispersión de líquido-partículas que contiene 0,1% de gotitas del extractante en la fase acuosa. El líquido presurizado entra a la cámara de aspiración arrastrando el gas en la corriente creando una dispersión aireada. La tasa de flujo del gas es de 5 litros por minuto. El volumen de la cámara de mezcla primaria es de 1,0 litros, y por lo tanto el tiempo de residencia de la dispersión aireada es de 4 segundos. La espuma densa sale de la cámara de mezcla primaria a la cámara de mezcla secundaria, donde se añaden 15 litros por minuto de la alimentación de dispersión de líquido-partículas restante. Esta dispersión de líquido-partículas y espuma entra al conducto donde las gotas de extractante son recogidas por las burbujas de la espuma y sale del conducto como la dispersión de gas-líquido-partículas que se descarga en la zona de separación. El diámetro interior del conducto es de 2,52 cm, y es de 300 cm de largo. El tiempo de residencia en el conducto es de 3 segundos. Al salir del conducto en la zona de separación, las burbujas de la dispersión de gas-líquido-partículas (con las gotas recogidas de extractante sobre ellas) se unen y suben hasta la superficie líquida, formando la espuma rica en partículas hidrófobas. Esta espuma se recoge en el canal de recolección de espuma. La tasa de flujo de la espuma es de 0,5 litros por minuto y contiene 4,25% en peso de las gotitas de extractante. De ese modo, 85% de las gotitas arrastradas se recuperan en la espuma y se concentran en un factor de 43. El líquido de alimentación empobrecido en partículas hidrófobas fluye desde la zona de separación y la celda de flotación de una manera controlada para mantener el nivel de líquido dentro de la zona de separación por encima del extremo de descarga del conducto.

Ejemplo 3: Deshidratación de una dispersión de algas

Se construye una celda de flotación de espuma de tamaño comercial de acuerdo con el diseño de la FIG. 2, la tasa de flujo de la corriente de líquido presurizado es de 150 litros por minuto y la velocidad es de 20 metros por segundo. La alimentación de dispersión de líquido-partículas comprende 100 ppm de algas *Dunaliella sauna* que se han roto. La corriente líquida presurizada está formada por el líquido de alimentación empobrecido en algas de la zona de separación y representa una recirculación de una parte de dicha descarga. La tasa de flujo del gas es de 100 litros por minuto. La corriente de líquido presurizado pasa a través de la boquilla de aspiración a la cámara de mezcla primaria. El volumen de la cámara de mezcla primaria es de 47 litros, por lo que el tiempo de residencia de esta mezcla es de 11,3 segundos. La espuma densa sale de la cámara de mezcla primaria a la cámara de mezcla secundaria, donde se añade 750 litros por minuto de la alimentación de dispersión de líquido-partículas a través de una boquilla de distribución. La dispersión de líquido-partícula y la espuma fluyen a través del conducto donde las algas son recogidas por las burbujas de la espuma para formar la dispersión de gas-líquido-partículas que se descarga en la zona de separación. La espuma rica en algas se recoge en el canal de recolección de espuma. El diámetro interior del conducto es 20,3 cm, y es de 300 cm de largo. El tiempo de residencia en el conducto es de 5,8 segundos. La tasa de flujo de la espuma es de 31,9 litros por minuto y contiene 0,2% de biomasa de algas. Esto representa un factor de concentración de 20 veces y una recuperación del 85% de las algas en la espuma.

Ejemplo 4 (no inventivo): Recuperación de mineral

En este Ejemplo se utiliza La misma celda de flotación de escala piloto del Ejemplo 1. La tasa de flujo de la corriente de líquido presurizado es de 4 litros por minuto y la velocidad es de 20 metros por segundo. Esta corriente consiste en agua con 10 ppm de polipropilenglicol como promotor de la espuma. La tasa de flujo del gas es de 8 litros por minuto. La dispersión aireada resultante entra en la cámara de mezcla primaria a través de la cámara de aspiración y la boquilla de aspiración para formar una espuma densa. El volumen de la cámara de mezcla primaria es de 0,6 litros, y por tanto el tiempo de residencia de esta mezcla es de 3 segundos. La alimentación de dispersión de líquido-partículas es una suspensión acuosa de 25% en peso de sólidos de las partículas de calcocita de mineral de sulfuro de cobre (Cu₂S) con un tamaño medio de partícula de 80 micrómetros. La densidad de las partículas de mineral de sulfuro de cobre es 5.5 g/ml, y los sólidos contienen 0,1% de calcocita. La alimentación de dispersión de líquido-partículas ha sido tratada con un tipo de colector de xantato. La espuma densa se mezcla en la cámara de mezcla secundaria con 2,5 kilogramos por minuto (8 litros por minuto) de la alimentación de dispersión de líquido-partículas, que se introduce a través de una boquilla de distribución. Esta dispersión de líquido-partículas y espuma entra en el conducto donde las partículas de calcocita son recogidas por las burbujas de aire para formar la dispersión de gas-líquido-partículas. Esta dispersión de gas-líquido-partículas es descargada del conducto y entra en la zona de separación donde las partículas recogidas de calcocita se elevan con las burbujas para su recolección. El diámetro interior del conducto es de 3,53 cm, y es de 300 cm de largo. El tiempo de residencia en el conducto es de 6 segundos. Al entrar en la zona de separación, las burbujas en la dispersión de gas-líquido-partículas se unen y se

ES 2 645 494 T3

elevan a la superficie líquida formando una espuma rica en partículas de calcocita. Esta espuma fluye hacia el canal de recolección de espuma a una velocidad de 0,94 kilogramos por minuto que contiene 2% en peso de calcocita. Esto representa un 75% de recuperación de la calcocita y una mejora de 20 veces en el grado.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para concentrar partículas en una alimentación de dispersión de líquido-partículas por separación por burbujas de adsorción, comprendiendo el procedimiento:
- 5 - poner en contacto íntimamente un gas con una corriente presurizada de líquido que comprende una primera porción de una alimentación de dispersión de líquido-partículas en una cámara para formar una dispersión aireada que retenga al menos alguna energía cinética de la corriente presurizada, en donde el gas no contiene reactivos que ayuden en la generación de espuma;
- remover al menos algo de la energía cinética de la dispersión aireada para formar una espuma densa;
- 10 - introducir una segunda porción de la alimentación de dispersión de líquido-partículas en la espuma densa bajo una presión inferior que aquella de la corriente presurizada de líquido para formar una dispersión de gas-líquido-partícula; and
- introducir la dispersión de gas-líquido-partículas en una cámara de flotación en un punto debajo de una superficie de un líquido concentrado en la misma, donde la dispersión de gas-líquido-partículas forma burbujas que comprenden un aglomerado de gas-partícula, y las burbujas suben hasta la superficie del líquido para formar una
- 15 espuma flotante enriquecida en partículas,
- en donde la alimentación de dispersión de líquido-partículas es una dispersión acuosa de microorganismos.
2. El procedimiento de acuerdo a la reivindicación 1, que además comprende:
- dirigir la espuma hacia un canal de recolección de espuma en un área de superficie inferior que la región donde se formó la espuma; y
- 20 - recolectar la espuma en el canal de recolección de espuma.
3. El procedimiento de acuerdo a la reivindicación 1, que además comprende:
- dirigir las burbujas ascendentes a la superficie del líquido, cerca del perímetro de la cámara de flotación, por medio de uno o más deflectores.
4. El procedimiento de acuerdo a la reivindicación 1, en donde los microorganismos en la alimentación están vivos y/o muertos, enteros y/o rotos.
- 25 5. El procedimiento de acuerdo a la reivindicación 1, en donde al menos algunas de las partículas se seleccionan del grupo que consiste en microalgas, microalgas rotas, y combinaciones de las mismas.
6. El procedimiento de acuerdo a la reivindicación 5, en donde las partículas son *Dunaliella salina*.
7. El procedimiento de acuerdo a la reivindicación 6, que además comprende:
- 30 - romper las microalgas poniendo en contacto íntimo las microalgas y el medio de molienda en un aparato de molienda antes de la introducción en la espuma densa.
8. El procedimiento de acuerdo a la reivindicación 1, que además comprende:
- dirigir las burbujas ascendentes y partículas desplazadas que caen al perímetro de la cámara de flotación por un deflector.
- 35 9. El procedimiento de la reivindicación 1, que además comprende:
- inyectar al menos una porción de la alimentación de dispersión de líquido-partículas en una cámara anular a una cámara de mezcla,
- en donde las dos cámaras comprenden una pared de separación que tiene una pluralidad de orificios para permitir que la alimentación de dispersión de líquido-partículas sea introducida en la cámara de mezcla con suficiente
- 40 energía para facilitar el contacto íntimo y relativamente inmóvil de las burbujas de la espuma densa y la alimentación de dispersión de líquido-partículas.
10. El procedimiento de acuerdo a la reivindicación 1, que además comprende:
- recolectar la espuma en un canal de recolección de espuma; y
- 45 - pulverizar el líquido de espuma colapsada en el canal de recolección de espuma para conducir espuma persistente en el canal.

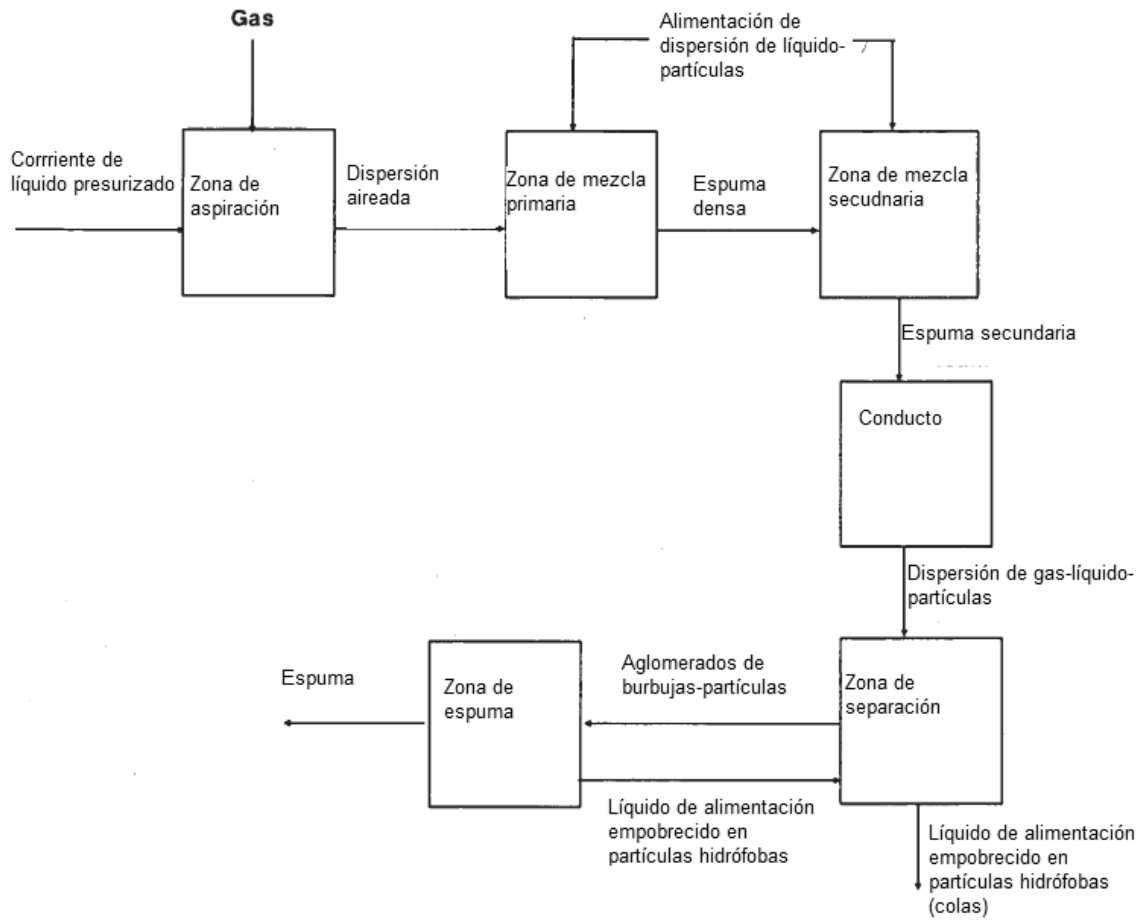


FIG. 1

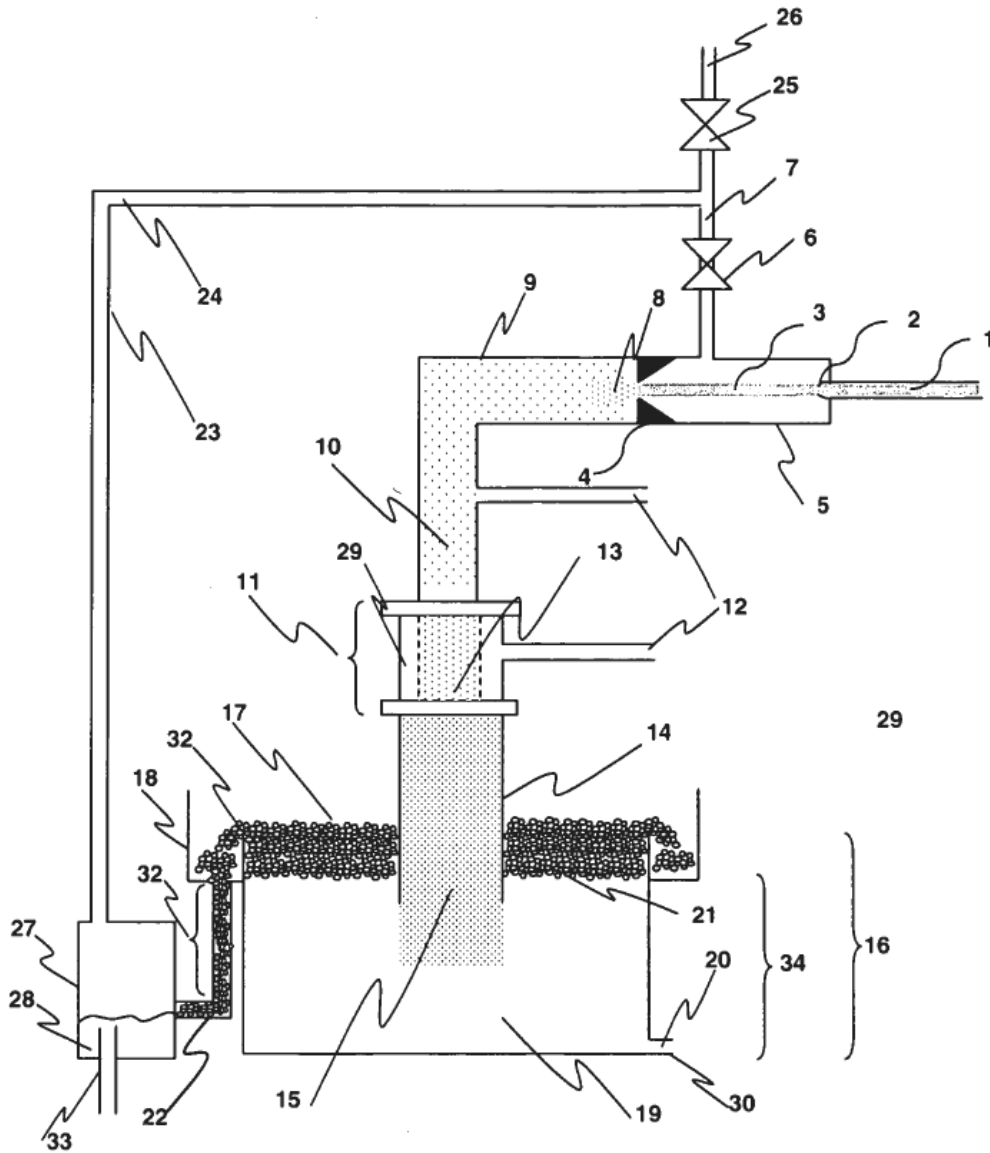


FIG. 2

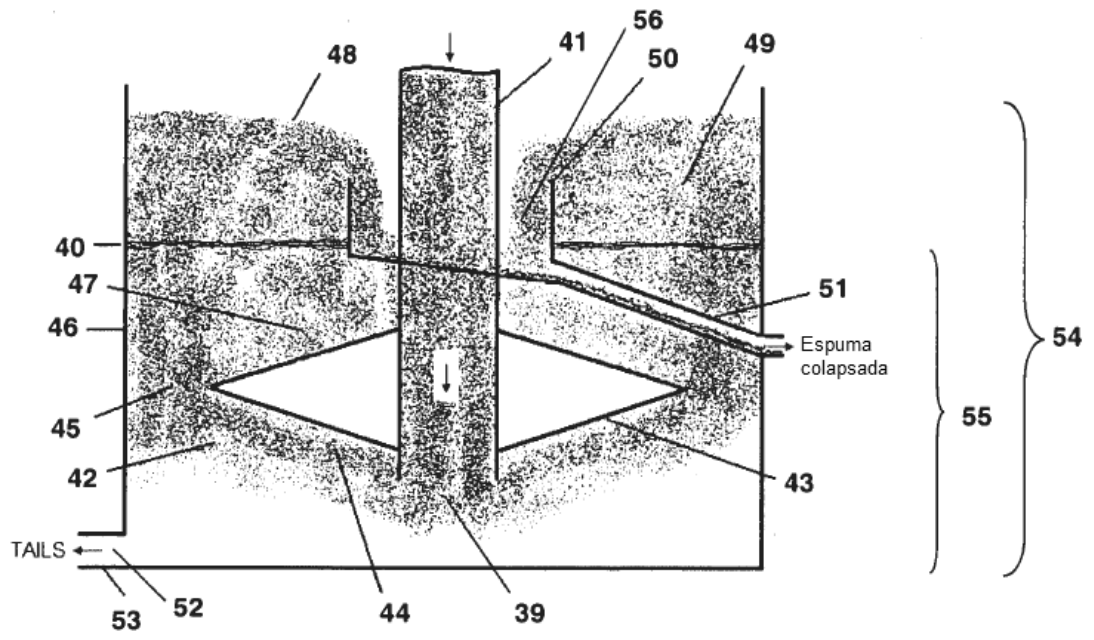


FIG. 3

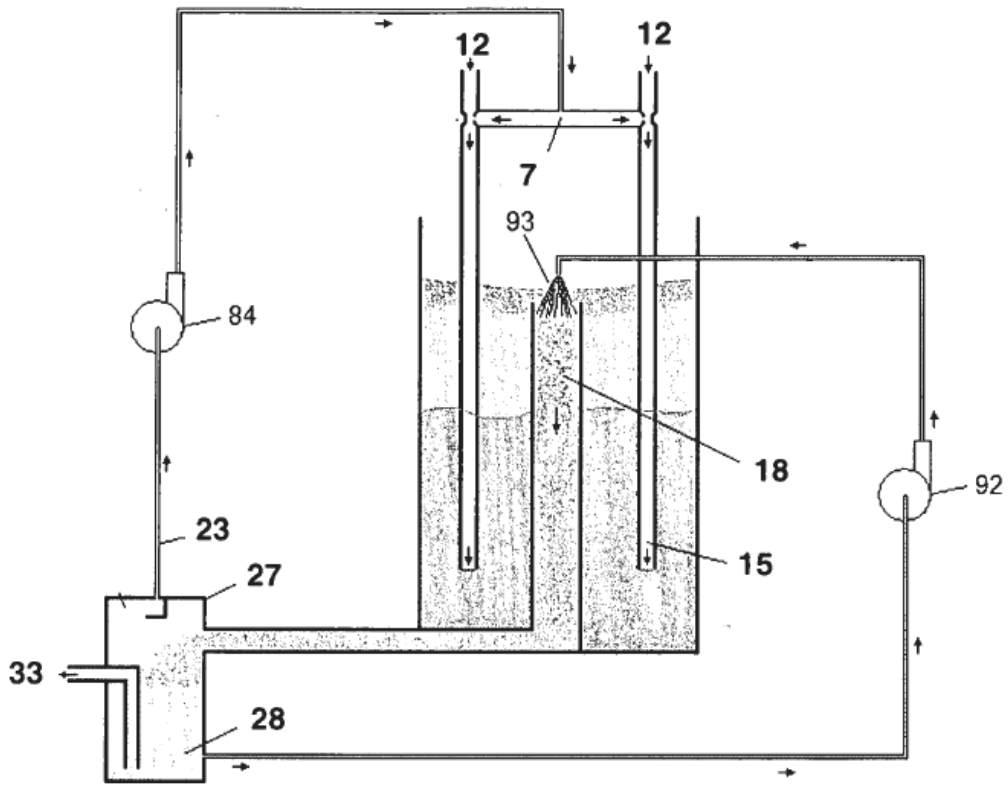


FIG. 4