



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0807331-7 B1



(22) Data do Depósito: 26/02/2008

(45) Data de Concessão: 06/10/2020

(54) Título: MÉTODO DE SEPARAÇÃO DE PARTÍCULAS

(51) Int.Cl.: B03D 1/00.

(30) Prioridade Unionista: 26/02/2007 AU 2007900962.

(73) Titular(es): NEWCASTLE INNOVATION LIMITED.

(72) Inventor(es): GRAEME JOHN JAMESON.

(86) Pedido PCT: PCT AU2008000252 de 26/02/2008

(87) Publicação PCT: WO 2008/104022 de 04/09/2008

(85) Data do Início da Fase Nacional: 25/08/2009

(57) Resumo: MÉTODO DE SEPARAÇÃO DE PARTÍCULAS, MÉTODO DE REMOÇÃO DE PARTÍCULAS, APARELHO PARA SEPARAR PARTÍCULAS HIDROFÓBICAS E APARELHO PARA A REMOÇÃO DE PARTÍCULAS HIDROFÓBICAS. A separação de partículas hidrofóbicas de uma mistura de partículas em um fluido é executada mediante a provisão de um leito fluidizado (18) como um mecanismo de contato relativamente não turbulento em uma célula de flotação que incorpora uma câmara de sedimentação (30) localizada imediatamente acima do leito fluidizado. Partículas hidrofóbicas se ligam às bolhas no leito fluidizado (18) e ascendem para a interface (19) com a câmara de sedimentação (30) onde as partículas não hidrofóbicas (22) fluem sobre a virola (20) de uma pia interna e são removidas como refugos (21). As partículas hidrofóbicas unidas às bolhas flutuam ascendentemente na câmara de sedimentação relativamente plácida (30) onde a gangue não desejada pode cair de volta na interface (19). As bolhas formam uma camada de espuma na superfície superior da câmara de sedimentação, e fluem sobre a virola da pia (32) que suporta as partículas hidrofóbicas. Uma operação do aparelho é mantida estável ao recircular o fluido da câmara de sedimentação (30) através da tubulação (40) e da bomba (41) para misturar com a nova carga que entra no duto (2).

MÉTODO DE SEPARAÇÃO DE PARTÍCULAS

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se ao processo de flotação de espuma para a separação de partículas. Em particular ela se refere ao aprimoramento da recuperação de partículas graúdas nas máquinas de flotação de espuma.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

A flotação de espuma é um processo conhecido para separar os minerais valiosos do material sem valor, ou para a recuperação de partículas finamente dispersas das suspensões em água. Tipicamente, um minério, quando escavado, consiste em uma proporção relativamente pequena de mineral valioso disseminado por uma rocha principal de baixo valor comercial (ganga). A rocha é moída ou finamente triturada para liberar as partículas valiosas (valores). As partículas finamente trituradas ficam suspensas em água, e reagentes podem ser adicionados para tornar as superfícies dos valores não umedecidas ou hidrofóbicas, deixando as partículas de ganga não desejadas em um estado em que elas podem ser umedecidas. Bolhas de ar são então introduzidas na suspensão, que também é referida como polpa ou pasta. Um agente formador de espuma pode ser adicionado para ajudar na formação de bolhas finas e também para garantir que uma espuma estável seja formada enquanto as bolhas sobem e se separam do líquido.

Na célula de flotação, os valores se unem as bolhas, que carregam os mesmos para a superfície e para a camada de espuma estável. A espuma é derramada sobre a boca da célula, carregando os valores. A ganga sem valor permanece no líquido da célula e é derramada com o líquido em uma instalação para eliminação de refugos. A finalidade principal

do processo de flotação é a separação ou remoção das partículas selecionadas, que são naturalmente hidrofóbicas ou podem se tornar hidrofóbicas através da adição dos reagentes apropriados (condicionamento), de uma mistura de partículas hidrofóbicas e não hidrofóbicas (partículas misturadas), em uma suspensão em água.

A formação de uma camada de espuma é uma característica importante do processo de flotação de espuma. Em uma camada de espuma estável, a espuma é derramada sobre a boca da célula de flotação, sendo continuamente substituída por bolhas com partículas ligadas e partículas arrastadas da polpa ou da pasta na célula abaixo. Ao se mover na direção da boca de transbordamento, os drenos de espuma e as partículas arrastadas podem retornar à polpa, melhorando a pureza ou o grau do produto da flotação.

É reconhecido que há um limite para o tamanho das partículas que respondem bem à flotação. Acima de um determinado tamanho, que é da ordem de 100 micra para as partículas de sulfetos de metal base, ou de 350 micra para as partículas de carvão, a recuperação das partículas em uma célula de flotação diminui à medida que o tamanho da partícula aumenta. Tais partículas são referidas como partículas "graúdas".

É bem estabelecido o fato que as partículas graúdas são difíceis de flutuar por causa do efeito de turbulência nas máquinas de flotação em uso atualmente. Nas células mecânicas, as partículas são mantidas em suspensão pela ação de um propulsor rotatório na base da célula. O propulsor também é utilizado para aplicar um fluxo de ar nas bolhas, o que é essencial para o processo de flotação. Pelas suas qualidades inerentes, o propulsor faz com que o movimento do fluido na célula seja de natureza altamente turbulenta, caracterizado pela existência de vórtices ou de redemoinhos

com uma ampla faixa de diâmetros e de velocidades de rotação. Nas colunas de flotação, os movimentos turbulentos aumentam com a convecção das correntes estabelecidas pelas bolhas que se elevam do líquido na coluna. Em ambos os exemplos, quando
5 uma bolha fica presa no centro de um redemoinho, ela vai girar à frequência rotatória do redemoinho, e se uma partícula grande, acima de um determinado tamanho crítico, ficar unida à bolha, ela será arremessada para fora pela força centrífuga que rompe o agregado de bolha-partícula.
10 Existe uma teoria para calcular o diâmetro flutuável máximo de uma partícula com propriedades físicas conhecidas (Schulze, HJ (1977). New theoretical and experimental investigations on stability of bubble/particle aggregates in flotation: a theory on the upper particle size of
15 floatability. Int. J. Miner. Process., 4, 241-259. Vide também Schulze HJ (1982). Dimensionless number and approximate calculation of the upper particle size of floatability in flotation machines. Int. J. Miner. process., 9, 321-328.)

20 Fica claro que as tecnologias existentes apresentam uma séria limitação com respeito à sua capacidade de recuperar partículas graúdas. É necessária uma maneira de executar a flotação que elimine substancialmente a turbulência do ambiente em que ocorre a captação das
25 partículas pelas bolhas. Um objetivo da presente invenção consiste na redução da turbulência em uma célula de flotação.

Diversos termos que se referem ao fenômeno da fluidização serão agora definidos, com referência a uma
30 coluna cilíndrica vertical que contém partículas sólidas e um líquido, tal como a água. Uma corrente de líquido que contém partículas em suspensão flui para cima na coluna, sendo distribuída uniformemente no plano de entrada na base. A vazão de carga é mantida constante, enquanto o diâmetro ou a

área em seção transversal da coluna podem mudar. A concentração de partículas na corrente de carga é tal que as partículas ficam livres para se mover umas em relação às outras, e a fração de volume das partículas na carga é inferior à fração de volume dos sólidos em um leito compactado, que é tipicamente da ordem de 0,4. (Um leito compactado se forma quando os sólidos se sedimentam em uma camada líquida estacionária na coluna, isto é, onde não há nenhuma entrada de líquido fresco). Quando a área da coluna é grande, a velocidade ascendente do líquido é muito baixa, e as partículas se sedimentam sobre o líquido ascendente. (A velocidade aqui é a velocidade superficial, que é a vazão volumétrica do líquido (ou da água ou das partículas sólidas, tal como apropriado) dividida pela área em seção transversal horizontal da coluna). Um leito de partículas, em que cada partícula é sustentada pelas partículas adjacentes com as quais estão em contato, se move lentamente para cima na coluna. Isto é referido como *leito móvel*. Se a área da coluna for reduzida, as partículas no leito ainda tendem a se sedimentar sobre o fluxo ascendente de líquido na corrente de carga. Através do leito, na direção vertical, uma queda da pressão de atrito é criada devido à velocidade relativa entre as partículas e o líquido. A uma determinada velocidade do líquido, a queda da pressão torna-se suficiente para sustentar a massa efetiva de todas as partículas, de modo que cada partícula seja sustentada pelo movimento ascendente do líquido, e não pelas partículas adjacentes. A velocidade do líquido superficial na qual isso ocorre é referida como *velocidade de fluidização mínima*. Com outra redução na área da coluna, as partículas se separam. A fração de volume dos sólidos é menor do que aquela em um leito compactado, e um leito fluidizado expandido ou um *leito expandido* é criado. À medida que a área da coluna é reduzida ainda mais, a fração

de volume dos sólidos diminui, até que se iguale à fração de volume no fluxo de carga. Em um fenômeno relacionado, em um leito fluidizado onde não há nenhum fluxo de entrada de partículas livre, quando a velocidade líquida é menor do que a velocidade terminal das partículas, elas irão permanecer no vaso circundante e um *leito estático* é formado, o qual pode ou não estar em um estado expandido. Quando a velocidade do líquido ascendente excede a velocidade terminal das partículas, elas são arrastadas para o fluxo, à base do processo conhecido como *elutriação*.

Um conceito importante nos estudos de fluidização é o de *deslizamento*, que significa a diferença nas velocidades superficiais dos fluidos em suspensão e das partículas sólidas. Considera-se o sistema acima, no qual há uma carga contínua de sólidos e de água para a coluna. A carga é relativamente diluída, portanto, a fração de volume dos sólidos é muito menor do que a fração de volume que deve existir em um leito compactado dos mesmos sólidos. Se houver uma grande diferença de velocidade superficial entre os sólidos e o líquido, ocasionando uma elevada velocidade de deslizamento, as partículas irão se acumular no leito, e a fração de volume dos sólidos irão aumentar, o que corresponde a uma queda na fração líquida. A fração líquida representa a fração de seção transversal do leito que está disponível para fluxo do líquido. Desse modo, um aumento na fração de sólidos conduz a uma redução na área de fluxo disponível para o líquido, e desse modo a um aumento na força de arrasto exercida sobre as partículas, o que conduz finalmente à formação de um leito fluidizado. Em uma operação em estado estável, a fração de sólidos no leito quando ele é fluidizado será mais alta do que a fração de sólidos no fluxo de carga. Quando as partículas são muito pequenas para que a sua velocidade terminal de sedimentação seja muito menor do que a

velocidade líquida no leito, haverá um deslizamento muito pequeno entre o líquido e as partículas, de modo que a fração de sólidos na coluna será essencialmente a mesma que a fração de sólidos na carga. Tal fluxo na coluna é referido como um
5 fluxo *concorrente*. Em um fluxo *concorrente*, todas as partículas em suspensão fluem de forma ascendente no líquido.

Um *leito esguichado* é um leito de partículas através do qual um jato em ascensão vertical de fluido é injetado centralmente através da base do leito. Para formar
10 um esguicho, o fluido de entrada deve exceder uma velocidade de esguicho mínima. Na operação em estado estável, um padrão de circulação é estabelecido no leito em que os sólidos arrastados pelo jato de entrada de movimento rápido ascendem para cima. Se o leito for relativamente raso, o jato penetra
15 na verdade na superfície superior do leito, e as partículas ascendem acima dessa superfície e retornam para a área anular que circunda o jato. Se o leito de partículas for profundo, um leito esguichado recirculante pode se formar na base do leito, e ascender até uma determinada altura (a altura de
20 esguicho máxima) antes que a sua energia seja gasta, e um leito fluidizado normal é formado acima da zona de esguicho. Os leitos esguichados podem se formar em um cilindro reto simples com uma base plana, em um cilindro reto com uma base cônica ou em um cone.

25 Para as finalidades deste relatório descritivo, líquido tem geralmente o significado de um líquido sozinho, tal como a água, ou pode oportunamente se referir a uma suspensão diluída de sólidos em água. Uma suspensão concentrada de partículas em um líquido de suporte tal como a
30 água é referida como uma pasta ou uma polpa. Se uma polpa estiver fluindo em uma tubulação a uma determinada vazão, fica claro que irá haver vazões correspondentes aos componentes constituintes, o líquido e os sólidos. Onde for

necessário distinguir entre líquidos e sólidos em uma carga ou em um leito fluidizado, o componente líquido da pasta será descrito como água. Fluido tem o significado de qualquer coisa que flui, incluindo um gás tal como o ar, um líquido tal como a água, e uma suspensão de partículas em um líquido, tal como a suspensão de carga de partículas que é carregada para uma célula de flotação. Por causa do deslizamento que existe em um leito fluidizado, a velocidade superficial das partículas no leito relativa ao espaço é geralmente diferente daquela do líquido de suporte, que é geralmente a água.

Há diversas invenções anteriores que tentaram melhorar a recuperação de partículas graúdas na flotação. McNeill (Patente norte-americana nº 4.960.509) modificou uma célula de flotação mecânica através da incorporação de um defletor vertical que dividiu a célula em dois compartimentos, uma zona de carga e uma zona de flotação. Uma polpa de minério moído suspensa em água passa da zona de carga através um propulsor onde é colocada em contato com bolhas de ar. A polpa aerada então se eleva através de uma placa perfurada na direção do alto da célula, onde as bolhas se separam do líquido e passam para a camada de espuma, carregando todas as partículas ligadas a elas. O propulsor na célula tem a função dupla de decompor a corrente de ar em bolhas pequenas, e também de manter as partículas da carga em suspensão, de modo que elas não sedimentem no fundo da célula. Este dispositivo apresenta uma deficiência importante com relação à flotação das partículas graúdas, uma vez que depende da ação de suspensão do propulsor, que irá inevitavelmente introduzir altas taxas de dissipação de energia por toda a célula de flotação e criar elevados níveis de turbulência que farão com que as partículas graúdas se separem das bolhas. Para maximizar a recuperação da partícula graúda é preferível abolir os propulsores rotatórios ou

qualquer outro dispositivo que crie altos níveis de turbulência nos locais em que tais partículas possam ser separadas das bolhas. Um objetivo da presente invenção é a criação de um ambiente que contribua para a captação e a
5 retenção de partículas graúdas e que não requeira agitação mecânica.

A patente norte-americana n° 6.425.485 (Mankosa et al.) descreve um separador hidráulico em que a densidade de um tipo de partícula é diminuída pela aderência de bolhas de
10 ar, facilitando desse modo a separação de tais partículas de outras densidades mais altas, em um separador de leiteo fluidizado. A invenção é de fato uma extensão de um dispositivo de uso comum para a separação da gravidade, conhecido como separador de leiteo 'teeter'. Uma carga que
15 contém partículas em suspensão é introduzida perto do alto de uma célula retangular. Esse suprimento é feito para retirar sólidos e líquido de um cone de desidratação na base da célula, e também de uma calha coletora no alto da célula. Um leiteo fluidizado conhecido como leiteo 'teeter' é formado na
20 célula, de modo que as partículas cuja densidade é menor do que a densidade média das partículas no leiteo flutuam no alto. O leiteo 'teeter' é fluidizado com água fresca, dentro do qual bolhas de ar são injetadas. As bolhas se ligam a todas as partículas no leiteo que são hidrofóbicas e carregam
25 as mesmas para a superfície do vaso e para a calha coletora, juntamente com todos os materiais de baixa densidade que possam existir na carga. O dispositivo é descrito em termos de sua capacidade de separar partículas com base em sua densidade. No entanto, a presente invenção apresenta sérias
30 limitações se for utilizada para flotação. Conforme pode ser observado, há duas correntes de descarga na pasta, uma que não se encontra no fundo da célula e outra que não se encontra no alto da mesma. Se houver ou não partículas

hidrofóbicas na carga da célula, as partículas mais claras serão removidas no alto do vaso. Se a carga contiver partículas hidrofóbicas ligadas às bolhas, elas também irão fluir para o alto do vaso, misturadas com as partículas hidrofílicas de baixa densidade. Na flotação, é desejada a separação das partículas hidrofóbicas das partículas hidrofílicas, e o dispositivo de Mankosa não pode fazer isso. A incapacidade de distinguir entre partículas provenientes da calha coletora devido ao fato que elas apresentam densidade mais baixa do que aquelas na descarga do fluxo subjacente daquelas que estão presentes porque são hidrofóbicas e se ligaram às bolhas de ar é uma limitação muito séria do ponto de vista do processo de flotação. Um outro ponto fraco dessa invenção é a necessidade de utilizar água limpa como fluido fluidizante. Em muitos locais de mineração, a água é escassa e cara e é desejável minimizar as necessidades de água limpa de muitas operações de processamento de minérios.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DA INVENÇÃO

Em um aspecto, a presente invenção apresenta um método de separar partículas selecionadas de uma mistura de partículas em um fluido, o qual inclui as etapas de:

alimentação das partículas e do fluido misturados em um leito fluidizado que contém bolhas;

provisão para que as partículas selecionadas se unam às bolhas dentro do leito fluidizado e a se elevem até o alto do leito fluidizado;

provisão para que as bolhas com as partículas selecionadas unidas se elevem do leito fluidizado rumo a uma câmara de sedimentação enquanto são removidas outras partículas do leito fluidizado;

formação de uma camada de espuma de bolhas e partículas selecionadas unidas no alto da câmara de sedimentação; e

remoção das partículas selecionadas com bolhas da camada de espuma.

Preferivelmente, o leito fluidizado é arranjado e controlado de maneira tal que as bolhas com as partículas selecionadas unidas atinjam o alto do leito fluidizado de uma maneira não turbulenta suave.

Preferivelmente, as partículas selecionadas são hidrofóbicas ou condicionadas a serem hidrofóbicas e unidas às bolhas.

Preferivelmente, o fluido de reciclagem é removido da câmara de sedimentação e bombeado por uma bomba de reciclagem na carga de partículas e fluido misturados.

Em uma forma da invenção, as bolhas são formadas em um aerador a jusante da bomba de reciclagem.

Em um outro aspecto, a presente invenção apresenta um aparelho para separar partículas hidrofóbicas selecionadas de uma mistura de partículas em um fluido, em que o dito aparelho inclui:

uma câmara de fluidização arranjada para receber uma carga de uma mistura de partículas e fluido na parte inferior da câmara;

um dispositivo de fluidização arranjado para prover bolhas e carga na câmara a um razão tal que um leito fluidizado de partículas é formado dentro da câmara de fluidização;

uma câmara de sedimentação localizada diretamente acima e se comunicando com a câmara de fluidização de maneira tal que as partículas hidrofóbicas selecionadas unidas às bolhas que se elevam até o alto do leito fluidizado flutuam para cima dentro da câmara de sedimentação;

um dispositivo de separação de refugos arranjado para remover as partículas não hidrofóbicas do alto do leito fluidizado; e

uma calha de transbordamento no alto da câmara de sedimentação arranjada para remover as partículas hidrofóbicas selecionadas de uma camada de espuma formada no alto da célula de flotação.

5 Preferivelmente, são providos um duto de reciclagem e uma bomba, arranjados para remover fluido da câmara de sedimentação e para reciclar o mesmo com a carga para a parte inferior da câmara de fluidização.

10 Preferivelmente, um aerador é provido no duto de reciclagem, fornecendo uma fonte de bolhas na carga.

Em uma forma da invenção, o dispositivo de separação de refugos compreende uma calha interna entre a câmara de fluidização e a câmara de sedimentação.

15 Em uma forma alternativa da invenção, o dispositivo de separação de refugos compreende uma bomba de elevação a ar que incorpora um tubo de elevação que tem a sua extremidade inferior localizada na interface do alto da câmara de fluidização e do fundo da câmara de sedimentação.

20 Em uma realização, a extremidade inferior da câmara de fluidização é afunilada interna e para baixo na forma de um cone invertido, e o dispositivo de fluidização inclui o aparelho arranjado para propelir a carga para cima do ápice do cone invertido, formando um jato esguichado dentro da parte inferior da câmara de fluidização.

25 Em uma outra realização, a câmara de fluidização é provida com um tubo de extração verticalmente estendido localizado imediatamente acima do ápice do cone invertido e arranjado para guiar o jato esguichado para cima de uma maneira não turbulenta.

30 Em uma outra realização, a extremidade inferior da câmara de fluidização é afunilada interna e para baixo na forma de um cone invertido, e o dispositivo de fluidização inclui um aparelho arranjado para fornecer a carga na câmara

de fluidização no ápice do cone invertido, e em que bolhas são introduzidas na parte inferior da câmara de fluidização mediante a provisão de um tubo descendente que se estende para baixo através da câmara de sedimentação e da câmara de fluidização para um ponto acima do ápice do cone invertido, em que a extremidade superior do tubo descendente incorpora um bocal e um suprimento de ar, e o aparelho também inclui um duto arranjado para remover fluido da câmara de sedimentação e uma bomba arranjada para bombear fluido através desse duto sob pressão para a extremidade superior do tubo descendente onde o fluido é forçado sob pressão através do bocal, formando um jato penetrante descendente que insere o ar do suprimento de ar e alimenta a mistura de bolhas resultante para baixo através do tubo descendente para desembocar no leito fluidizado adjacente ao ápice do cone invertido onde se mistura com a carga.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A invenção será descrita agora com referência às figuras anexas, nas quais:

a Figura 1 é uma elevação em seção transversal esquemática de um dispositivo de flotação de acordo com a invenção,

a Figura 2 é uma vista de planta em seção transversal da linha A-A da Figura 1,

a Figura 3 é uma elevação em seção transversal esquemática similar à Figura 1, incluindo uma corrente de reciclagem aerada,

a Figura 4 é uma vista de planta em seção transversal da Figura 3, similar à Figura 2,

a Figura 5 é uma elevação em seção transversal esquemática similar à Figura 1, mas incorporando um leito esguichado,

a Figura 6 é uma vista de planta em seção

transversal da Figura 5, similar à Figura 2,

a Figura 7 é uma elevação em seção transversal esquemática similar à Figura 5, mas incorporando um leito esguichado com um tubo de extração

5 a Figura 8 é uma vista de planta em seção transversal da Figura 7, similar à Figura 2,

a Figura 9 é uma elevação em seção transversal esquemática, similar à Figura 5, mas mostrando uma realização que inclui um tubo descendente para introduzir o líquido de
10 reciclagem na base de um leito esguichado, e

a Figura 10 é uma elevação em seção transversal esquemática, similar à Figura 9, que mostra um leito fluidizado esguichado em contato com o dispositivo de acordo com a invenção que incorpora uma bomba de elevação a ar para
15 o controle de nível.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA REALIZAÇÃO PREFERIDA DA INVENÇÃO E
VARIAÇÕES DA MESMA

As Figuras 1 e 2 mostram elevação em seção transversal e uma vista de planta, respectivamente, de uma
20 primeira realização preferida de acordo com a invenção. A carga líquida que contém as partículas a ser separadas pela flotação é preparada e condicionada com os reagentes de coletor e de espuma apropriados antes da entrada no vaso ou na coluna I. Para conveniência, é suposto que o vaso é uma
25 coluna com simetria rotatória em torno do eixo geométrico vertical. A base da coluna é uma seção cilíndrica vertical 13, no alto da qual é disposta uma calha interna 14. A carga da coluna entra na entrada 2, onde se mistura com um suprimento de líquido de reciclagem que entra do duto 11. As
30 duas correntes se combinam e entram em um sistema de distribuição 3 que alimenta várias tubulações de entrada 4 na base da célula de flotação. A vazão de água total é tal que a velocidade superficial da água na célula excede o valor

mínimo necessário para a fluidização. O ar é introduzido na célula através de um duto 5, do qual passa para um distribuidor 6, do qual se divide para entrar no leito fluidizado através de várias tubulações verticais pequenas 7.

5 Na extremidade superior das tubulações as correntes de ar formam pequenas bolhas que se desprendem e se elevam no leito fluidizado.

No leito fluidizado as partículas são separadas umas das outras e suportadas pelo líquido ascendente, embora a fração do volume de água não seja elevada, sendo da ordem
10 de 0,5 a 0,6. O espaço entre as partículas é de fato geralmente menor do que os diâmetros das bolhas introduzidas através das tubulações de entrada 7, de modo que à medida que as bolhas se elevam no leito fluidizado elas empurram as
15 partículas para um lado e são colocadas em contato íntimo com as mesmas. Se as partículas forem hidrofóbicas há uma grande probabilidade de elas serem capturadas pelas bolhas, ao passo que as partículas hidrofílicas não são coletadas. No alto da coluna 13, uma interface 19 é formada entre o leito
20 fluidizado e o líquido acima. As partículas 22 que não se unem às bolhas fluem sobre a boca interna 20 e são removidas do vaso através da tubulação de descarga de refugos 21. As bolhas que se elevam para fora do leito fluidizado 18 passam por uma zona relativamente plácida 30, carregando com elas
25 algumas partículas hidrofóbicas que coletaram no leito. A zona 30 age como uma zona de sedimentação em que as partículas de ganga que podem ter sido arrastadas pelas bolhas que se elevaram para fora do leito fluidizado podem, devido à gravidade, retornar ao alto do leito 19. As bolhas
30 com partículas hidrofóbicas unidas se elevam para o alto da coluna, passando pela camada de espuma 31 que é formada aqui. A espuma flui sobre a boca superior 32 da célula de flotação, para uma calha 33 que é descarregada através de um duto 34

como produto da flotação. A profundidade da camada de espuma 31 é mantida em um nível apropriado ao controlar a interface 35 por meios que não são mostrados.

Para manter o leito fluidizado 18, é necessário que 5 a vazão de água que entra através das tubulações de distribuição 4 seja sempre suficiente para manter a velocidade superficial da água no leito acima da velocidade de fluidização mínima. Devido a razões práticas, isso nem sempre pode ser possível ao se confiar unicamente na água 10 contida na carga fresca de entrada 2. Por exemplo, se houver uma unidade de recalque a montante da célula de flotação, o fluxo da carga nova pode cessar completamente, ou a fração de água na carga pode variar consideravelmente. Para superar este problema, é provida uma corrente de reciclagem de 15 líquido. Uma corrente de líquido da zona de sedimentação 30 acima do leito fluidizado é extraída através de uma abertura 39 na parede do vaso para uma tubulação 40 pela bomba 41. A corrente de reciclagem entra através da ramificação da tubulação 11 onde se mistura com a carga nova que entra 20 através do duto 2, e continua até o distribuidor 3 e as tubulações de distribuição 4. Uma vez que o líquido de reciclagem é extraído da zona de sedimentação acima do leito fluidizado, ele é predominantemente água.

Deve ser considerado que as bolhas de ar podem ser 25 introduzidas em um leito fluidizado de partículas através de um pulverizador poroso, ou carregadas para a corrente de carga antes da descarga no leito. No entanto, o uso da corrente de reciclagem confere flexibilidade extra à operação do leito fluidizado, em que a vazão do líquido de fluidização 30 é essencialmente independente da vazão do líquido de carga na célula.

Uma desvantagem das pequenas tubulações 7 que são utilizadas para distribuir o ar no leito fluidizado é que

para formar bolhas pequenas o diâmetro interno dessas tubulações deve ser muito pequeno, da ordem de um milímetro ou menos, para formar bolhas pequenas. As tubulações de dimensões tão pequenas são predispostas a bloqueios por partículas ou por produtos da corrosão, e seria vantajoso se fosse provido um dispositivo alternativo não tão predisposto a bloqueios. Em uma realização alternativa mostrada na Figura 3 e na Figura 4, a corrente de reciclagem passa através de um aerador apropriado 42 onde se mistura com um suprimento de ar controlado que entra através da porta 43. O aerador 42 pode conter convenientemente um aspersor ou dispositivo de mistura em linha para dispersar o suprimento de ar no líquido na forma de pequenas bolhas de tamanho conveniente para a flotação, antes da injeção na base da coluna através da ramificação da tubulação 11. Alternativamente, as bolhas de ar poderiam ser espargidas na corrente de carga, ou diretamente no próprio leito, mas é mais vantajoso inserir o ar na linha de reciclagem, cuja vazão pode ser controlada independentemente das condições no leito fluidizado.

Em uma realização alternativa tal como aquela mostrada nas Figuras 5 e 6, a carga líquida é condicionada com reagentes de coletor e de espuma apropriados antes da entrada no vaso ou na coluna I. Para fins de conveniência, será suposto que a coluna é um vaso com simetria rotatória em torno do eixo geométrico vertical. A base da coluna tem a forma de um cone invertido 12, unido a uma seção cilíndrica vertical 13, no alto da qual fica localizada uma calha interna 14. A carga da coluna entra na entrada 10, onde se mistura com um suprimento de líquido de reciclagem aerado que entra de um duto 11. As duas correntes escoam essencialmente em uma direção vertical na coluna, movendo-se em combinação a uma velocidade suficiente para formar um leito fluidizado esguichado 15 no cone invertido 12. As partículas e as bolhas

fluem para cima no centro do leito, e o momentum difunde as
mesmas gradual e radialmente para fora. Um fluxo de
circulação padrão é desenvolvido, no qual as partículas do
leito fluidizado são arrastadas no jato de carga na região de
5 entrada 16 ou próximo dela. Elas se elevam, carregadas pela
energia do jato. À medida que o jato se eleva no cone, o seu
momentum é transferido gradualmente para as partículas e o
líquido circundantes, e quando o jato alcança o alto do cone
17 à energia que entra é essencialmente distribuída de modo
10 uniforme através da seção transversal do leito fluidizado, e
acima deste ponto é formado um leito fluidizado uniforme 18.
As partículas que entraram na base do leito esguichado em 16
são substituídas por outras partículas das camadas superiores
na célula, que deslizam para baixo na parede interna do cone
15 12 para a região de entrada 15.

Na zona de sedimentação acima do cone, todos os
rompimentos turbulentos que podem ter sido associados com o
leito esguichado são dispersos, e o leito tem uma influência
suavizante no fluxo. No alto da coluna de lados paralelos 13,
20 uma interface 19 é formada entre o leito fluidizado e o
líquido acima. As partículas que não se unem às bolhas fluem
sobre a boca interna 20 e são removidas do vaso através da
tubulação de descarga de refugos 21. As bolhas que se elevam
do leito fluidizado 18 passam para uma zona relativamente
25 plácida 30, carregando com elas algumas partículas
hidrofóbicas que coletaram no leito. Nesta zona, as
partículas de ganga que podem ter sido arrastadas pelas
bolhas que se elevaram para fora do leito fluidizado podem,
devido à gravidade, recuar para o alto do leito 19. As bolhas
30 com partículas hidrofóbicas unidas se elevam para o alto da
coluna, passando pela camada de espuma 31 que é aqui formada.
A espuma flui sobre a boca superior 32 da célula de flotação,
para uma calha 33 que é descarregada através de um duto 34

como produto da flotação. A profundidade da camada de espuma 31 é mantida em um nível apropriado ao controlar a interface 35 por meios que não são mostrados.

Para manter o leito fluidizado 18 acima da
5 velocidade de fluidização mínima, uma corrente de líquido da zona de sedimentação 30 acima do leito fluidizado é extraída através de uma abertura 39 na parede do vaso para uma tubulação 40 pela bomba 41, passando através de um aerador apropriado 42 onde se mistura com um suprimento controlado de
10 ar pressurizado que entra através da porta 43. O aerador 42 pode conter convenientemente um aspersor ou dispositivo de mistura em linha para dispersar o suprimento de ar no líquido na forma de bolhas pequenas de um tamanho conveniente para a flotação, antes da injeção na base da coluna através
15 da tubulação 11. Alternativamente, as bolhas de ar poderiam ser espargidas na corrente de carga, ou diretamente no próprio leito, mas é mais vantajoso inserir o ar na linha de reciclagem, cuja vazão pode ser controlada independentemente das condições no leito fluidizado.

20 Outra realização da invenção é mostrada na elevação em seção transversal da Figura 7 e na vista de planta em seção transversal da Figura 8. Nesta realização, um tubo de extração 50 é montado na parte cônica da coluna de flotação mostrada na Figura 5 para fornecer a estabilidade direcional
25 ao jato que jorra. Em alguns casos é observado que o jato é instável e pode se mover para um lado ou outro dentro da coluna. A provisão de um tubo de extração assegura que o fluxo em ascensão guiado pelo momentum do jato de entrada e também pelo poder de flutuação das bolhas que se elevam com o
30 fluxo seja controlado e compelido a se elevar ao longo do eixo da coluna.

Uma outra realização da invenção é mostrada na Figura 9. Um leito fluidizado esguichado é formado na coluna

1 tal como mostrado anteriormente na Figura 5. Uma corrente de reciclagem da zona de sedimentação 30 acima do leito fluidizado é extraída através de uma abertura 39 na parede do vaso para uma tubulação 40 pela bomba 41, passando para o
5 topo de um tubo descendente 60. O tubo descendente mostrado na Figura 9 consiste em um duto que é essencialmente vertical, posicionado coaxialmente com a coluna de flotação I. No alto do tubo descendente, a carga é forçada através de um bocal 61 para formar um jato vertical de alta velocidade
10 do líquido 62 que entra em uma câmara 63 onde encontra um fluxo de ar ou um outro gás apropriado que entra através de uma porta 64 e se mistura com o mesmo. No tubo descendente, as partículas que flutuam na corrente de reciclagem são colocadas em contato íntimo com as bolhas de ar finas criadas
15 pela ação de corte do jato penetrante, e as partículas hidrofóbicas se unem às bolhas. A mistura das bolhas e da pasta de carga se move para baixo através do tubo descendente 60, desembocando em sua extremidade inferior 64 na base do leito esguichado 16, onde se mistura com a pasta de carga que
20 entra na entrada 10. O fluxo combinado da pasta e das bolhas de ar então se eleva, criando e mantendo o leito esguichado 15. A relação entre a vazão volumétrica do ar e a vazão da pasta de reciclagem fica tipicamente compreendida na faixa de 0,1 a 5, e mais especificamente de 0,5 a 2, calculada à
25 pressão atmosférica.

Uma vantagem do tubo descendente vertical 60 é que é menos provável que as partículas graúdas de minério possam se sedimentar e se acumular dentro do mesmo. Quando o líquido contiver partículas grandes que se sedimentam rapidamente, os
30 dispositivos de aeração tais como aqueles mostrados na Figura 5 podem ficar propensos ao bloqueio ou à sedimentação no duto horizontal 11 que conduz à base do leito esguichado 16, um efeito que é exacerbado na presença de bolhas de ar. Deve ser

considerado que outras formas de tubo descendente do tubo de aeração são conhecidas e podem ser utilizadas no lugar do tubo descendente aqui mostrado, uma vez que o duto que fornece a corrente líquida aerada à base do leito esguichado
5 seja essencialmente vertical.

Nas realizações mostradas nas Figuras 1, 3, 5, 7 e 9, os refugos fluidizados fluem sobre uma boca interna 20 e para a calha 14. A posição da boca 20 define essencialmente a extensão superior do leito fluidizado. No entanto, tal como
10 mostrado nas figuras, a posição da boca 20 é fixa e não pode ser facilmente alterada. Um método alternativo de retirar os refugos e de manter o leito em uma altura fixa, que é aplicável a algumas das realizações mostradas nas figuras acima, é mostrado na Figura 10 a título de exemplo. Uma bomba
15 de elevação a ar é utilizada para extrair os refugos fluidizados do leito. Ela consiste em um duto vertical 70 em que uma corrente de ar de baixa pressão é impelida para uma porta conveniente 71. Quando o ar entra no duto 70, ele se dispersa nas bolhas 77 que se elevam devido à gravidade. Por
20 causa da diferença na densidade entre a pasta na zona de sedimentação 30 e a corrente aerada dentro do duto ascendente 70, um fluxo que força os refugos para cima no tubo ascendente é estabelecido. A densidade média do leito fluidizado que tem um elevado teor de sólidos é maior do que
25 aquela do líquido na zona de sedimentação 30. A interface 19 apresenta similaridades com a superfície de um corpo de água exposto à atmosfera. Desse modo, a pasta fluidizada flui na direção da base 72 do duto ascendente 70, mantendo desse modo a altura do leito fluidizado em um nível particular. A pasta
30 arrastada pelas bolhas de ar no tubo ascendente 70 flutua sobre a boca 73 e sai do vaso como uma corrente de refugos 74. As bolhas de ar se separam da corrente da pasta e escapam através da ramificação superior 75. A bomba de elevação a ar

tem diversas vantagens, é simples de construir e de operar e não é propensa a bloqueios por partículas grandes de refugos. O fluxo de ar é ajustado em relação à área do duto, de modo a manter o fluxo dos refugos a uma taxa determinada. Um controlador de fluxo (não mostrado) que responde a um sinal de um dispositivo apropriado que detecta a posição da superfície superior do leito fluidizado pode ser ajustado à linha de suprimento de ar 76. Desse modo, um sistema de controle automático pode ser instalado a fim de manter a altura do leito fluidizado em um nível determinado, ao variar a vazão do ar, conforme necessário. Deve ser considerado que outros dispositivos com exceção da bomba de elevação a ar podem ser utilizados para extrair a pasta de refugos do leito fluidizado. No entanto, dispositivos tais como uma bomba de pasta não tem as características inerentes de uma bomba de elevação a ar, tais como a simplicidade de operação e manutenção e a resistência a bloqueio por partículas graúdas.

Uma característica importante de todas as realizações da invenção é a criação da zona de sedimentação 18, que age para eliminar a turbulência que poderia, de outra maneira, fazer com que os agregados bolha-partícula se decomponham ao se elevar na zona de sedimentação 30. Ao operar o leito com velocidades de fluidização que só estejam ligeiramente acima da velocidade mínima de fluidização, os canais no leito ficam muito pequenos, da mesma ordem da magnitude do diâmetro das partículas no leito. Consequentemente, o número de Reynolds, que é um indicador dos níveis de turbulência em um fluido, é muito pequeno. O ambiente de baixa turbulência acima do leito fluidizado é muito favorável ao transporte de partículas graúdas do leito para a zona de espuma 31.

O uso do fluido de reciclagem como fonte de água para fluidização é uma vantagem importante da invenção. Se o

único líquido disponível para fluidizar as partículas sólidas for a água da carga, não será possível efetuar a operação estável da coluna, a menos que a vazão da carga e a concentração de sólidos na carga sejam constantes. O uso da corrente de reciclagem desfaz a conexão com o líquido da carga. A vazão da corrente de reciclagem é independente da vazão da carga, portanto, se o fluxo da coluna for interrompido, por exemplo, por um mau funcionamento da unidade, os sólidos no leito ainda podem ser mantidos em um estado fluidizado até a reinicialização da unidade, ao manter o fluxo na corrente de reciclagem.

Nas realizações da invenção mostradas nas figuras, a corrente de refugos, que contém as partículas não hidrofóbicas ou hidrofílicas, é extraída do alto do leito fluidizado. Isto é feito para fins de conveniência, porque os dispositivos para a remoção dos refugos - a boca de transbordamento 20 ou a extremidade inferior 70 da bomba de elevação a ar - também servem para determinar a altura do leito fluidizado. No entanto, é possível remover os refugos de uma posição dentro do leito fluidizado ao propiciar um sistema de controle por instrumentos que consiste em dispositivos tais como um flutuador para detectar a posição da interface 19 entre o leito fluidizado e a zona de sedimentação; e dispositivos para variar ou controlar a vazão dos refugos da célula de flotação em resposta aos sinais do dispositivo para detecção do nível da interface para manter o topo do leito fluidizado em um nível desejado.

O fato de o contato ser feito em um leito fluidizado tem implicações importantes para a concentração de sólidos na carga. No ponto de fluidização incipiente, a fração de volume dos sólidos em um leito de partículas granulosas é tipicamente 0,6, de modo que se a densidade dos sólidos for de 2.800 kg/m^3 , que é a densidade dos minerais de

ganga silícicos encontrados frequentemente nos minérios, a concentração de sólidos em uma base em peso será de 80 por cento em peso/peso, e a massa de água por unidade de massa dos sólidos pode ser calculada como sendo 4,2 toneladas de sólidos por tonelada de água. Quando a velocidade da água é aumentada acima do mínimo necessário para fluidização, a fração do volume de sólidos diminui, mas um valor típico em um leito fluidizado é 0,5, que corresponde a 2,8 toneladas de sólidos por tonelada de água. Para a flotação em máquinas convencionais, a carga geralmente é preparada com uma fração de sólidos de 35 por cento em peso/peso, para a qual a fração de volume é 0,54, e a massa dos sólidos por unidade de massa de água é de 0,538 tonelada de sólidos por tonelada de água. Tais frações de sólidos baixos são necessárias por causa da dificuldade de processamento de cargas com fração de volume elevada nas tecnologias de flotação conhecidas. No entanto, em um leito fluidizado não há nenhum problema em preparar a carga com percentual de sólidos baixo, pois as próprias propriedades do leito garantem que a fração de sólidos aumente, por causa do deslizamento entre as partículas e o fluido. Desse modo, o teor de sólidos na carga da célula de flotação pode ser aumentado para o mesmo valor da fração de sólidos no próprio leito. Neste caso, a água necessária para a carga deve ser menor do que um fator de $2.800/0,538$ ou 5,2. Desse modo, a água necessária para a flotação deve ser reduzida até aproximadamente apenas um quinto da água necessária nas máquinas de flotação convencionais. Esta é uma economia muito significativa, especialmente nas áreas geográficas em que a água é escassa.

Dessa maneira, a presente invenção pode apresentar um processo de flotação de espuma aprimorado em que a flotação é executada em um leito fluidizado. A faixa de tamanho das partículas que podem ser capturadas na flotação

pode ser ampliada por uma ordem de magnitude comparada com as tecnologias atuais enquanto mantém uma alta eficiência na captação em relação a toda a faixa de tamanho de partículas na carga. A invenção também pode apresentar um processo de flotação que conduza a uma redução no consumo de água na flotação.

A invenção deriva de uma estimativa de que os altos níveis de turbulência criados nas tecnologias de flotação anteriores conduzam a uma redução na eficiência das partículas graúdas pela flotação. Para reduzir os níveis de turbulência, é provido um ambiente de flotação em que as partículas são capturadas por bolhas em um fluxo laminar em um leito fluidizado. A carga da flotação se eleva através do leito, que é suficientemente profundo para impedir quaisquer redemoinhos turbulentos que possam ter sido introduzidos na célula de flotação com a pasta de carga que é inserida.

Uma característica da invenção é que o campo de fluxo no leito fluidizado é muito plácido, e a turbulência que está presente em todas as tecnologias anteriores é eliminada. As condições de fluxo no leito fluidizado são altamente propensas à formação de excedentes estáveis entre as bolhas e as partículas graúdas. As bolhas que carregam as partículas a ser separadas se elevam por uma zona de sedimentação onde as partículas não desejadas e agregadas possam se separar e retornar ao leito fluidizado. A carga do processo pode apresentar um teor de sólidos muito mais elevados do que os processos previamente conhecidos.

Uma outra característica da invenção é que uma corrente de reciclagem é retirada da zona de sedimentação na célula de flotação acima do leito fluidizado e retorna à base do leito fluidizado como dispositivo para manter a velocidade superficial da água no leito acima do mínimo necessário para fluidização.

O método e o aparelho da presente invenção apresentam diversas vantagens, incluindo a capacidade de melhorar a recuperação por flotação das partículas de tamanho médio e das partículas de tamanhos relativamente grandes, quando comparados com os métodos e os aparelhos da técnica anterior. Além disso, o processo pode operar a concentrações de sólidos muito mais elevados do que as tecnologias anteriores, conduzindo a economias significativas na água necessária para preparar a carga para a flotação.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO DE SEPARAÇÃO DE PARTÍCULAS, selecionadas de uma mistura de partículas em um fluido, o método incluindo as etapas de:

5 gerar um leito fluidizado (18), fornecendo um fluxo de líquido ascendente em uma célula de flotação (1) de coluna cilíndrica contendo partículas;

fornecimento de bolhas no referido leito fluidizado (18); e

10 alimentação da mistura de partículas e fluido ascendente no leito fluidizado (18) a partir de uma localização abaixo do leito fluidizado (18);

o método caracterizado pelas etapas de:

15 arranjar apropriadas vazões de líquido, bolhas de gás e partículas para as partículas selecionadas se unirem as bolhas dentro do leito fluidizado (18) e se elevarem até o alto (13) do leito fluidizado (18), e de maneira tal que a força de arrasto nas partículas criadas pelo fluxo ascendente é suficiente para suportar o peso das partículas na célula
20 (1);

arranjar apropriadas vazões de líquido, bolhas de gás e partículas para que as bolhas com as partículas selecionadas unidas se elevem acima do leito fluidizado (18) rumo a uma câmara de sedimentação (30) enquanto são removidos
25 refugos do topo (20) do leito fluidizado;

formação de uma camada de espuma (31) de bolhas e partículas selecionadas unidas no alto da câmara de sedimentação (30);

controle da profundidade da camada de espuma (31);

30 e

arranjar apropriadas vazões de líquido, bolhas de gás e partículas para que as partículas selecionadas com

bolhas unidas fluam da camada de espuma (31) sobre uma boca (32) da célula de flotação em uma lavagem (33) para formar produto de flotação.

5 2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo leito fluidizado (18) ser arranjado e controlado de maneira tal que as partículas selecionadas são hidrofóbicas e as bolhas com as partículas selecionadas unidas atingem o alto (20) do leito fluidizado (18) de uma maneira não turbulenta suave.

10 3. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelas partículas selecionadas incluírem partículas que sobem para a câmara de sedimentação (30) e voltam para o leito fluidizado (18).

15 4. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fluido de reciclagem ser removido da câmara de sedimentação (30) e bombeado para a carga de partículas e fluido misturados por uma bomba de reciclagem (41) fornecendo fluido adicional para o leito fluidizado (18).

20 5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelas bolhas serem formadas em um aerador (42) a jusante da bomba de reciclagem (41).

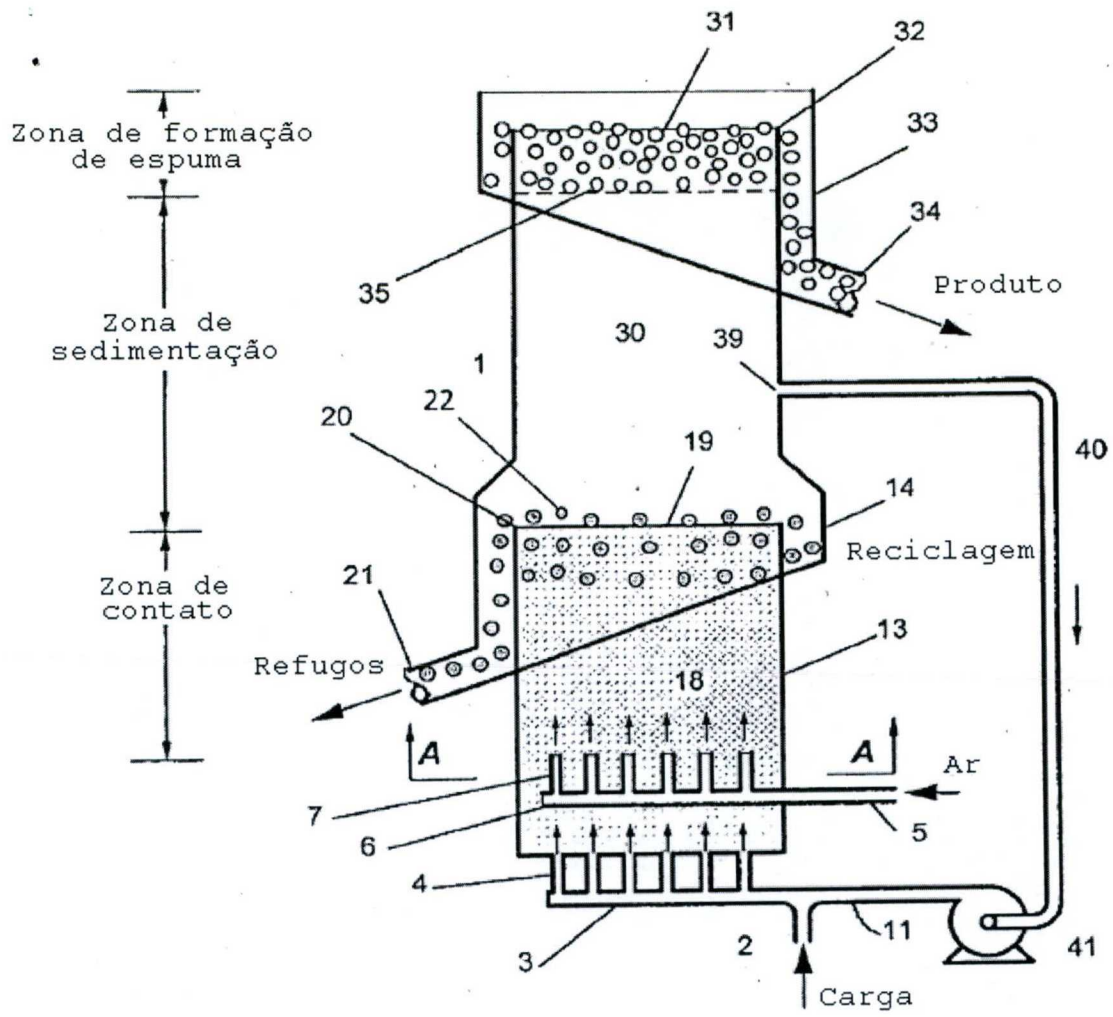


Fig. 1

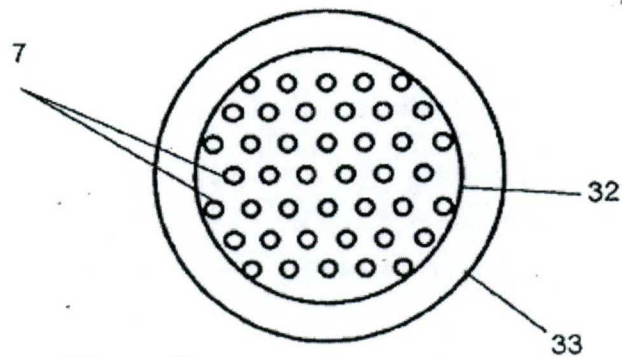


Fig. 2

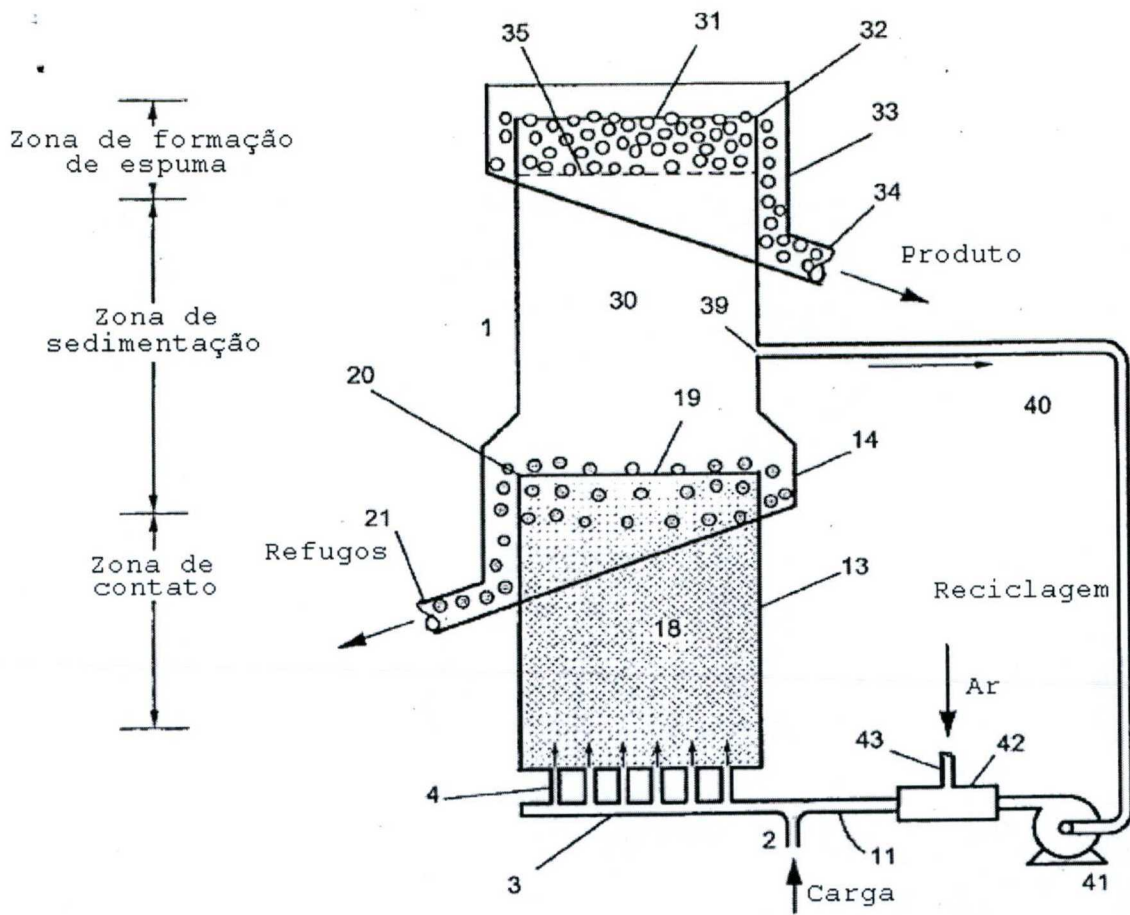


Fig. 3

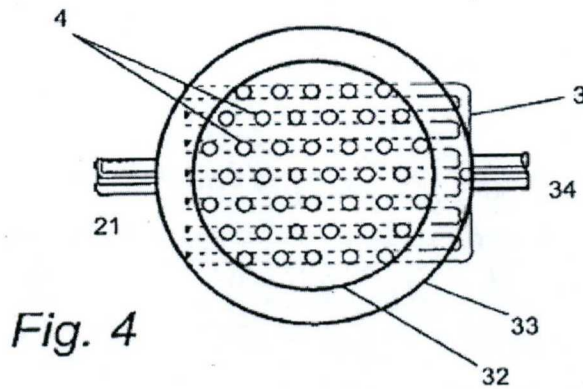


Fig. 4

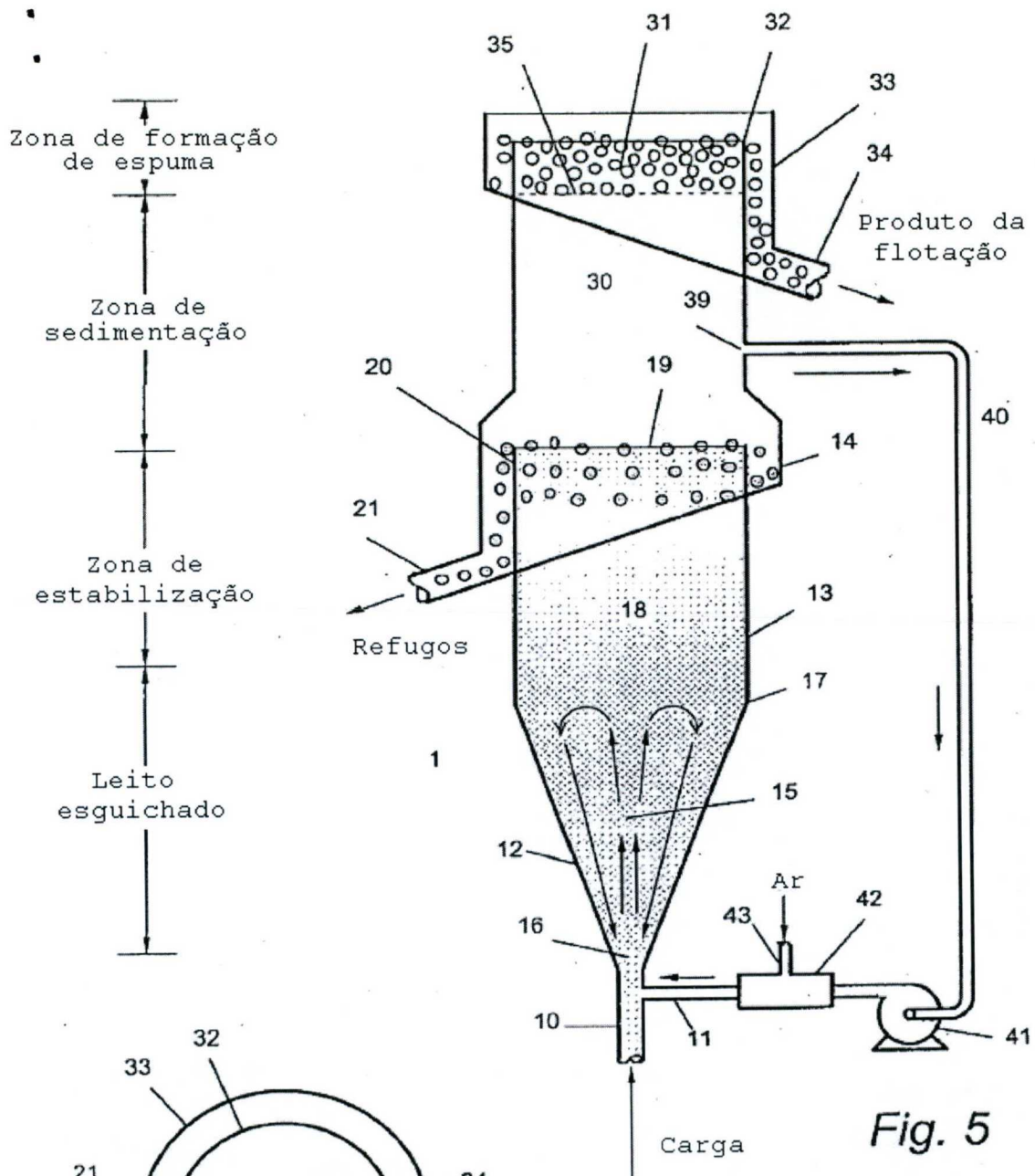


Fig. 5

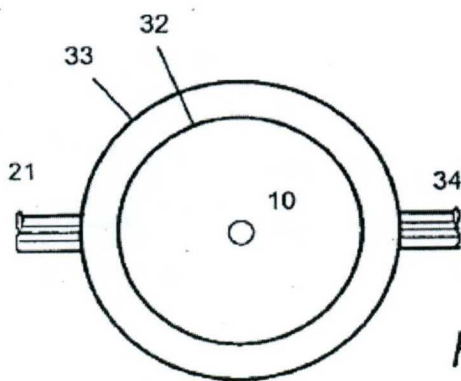


Fig. 6

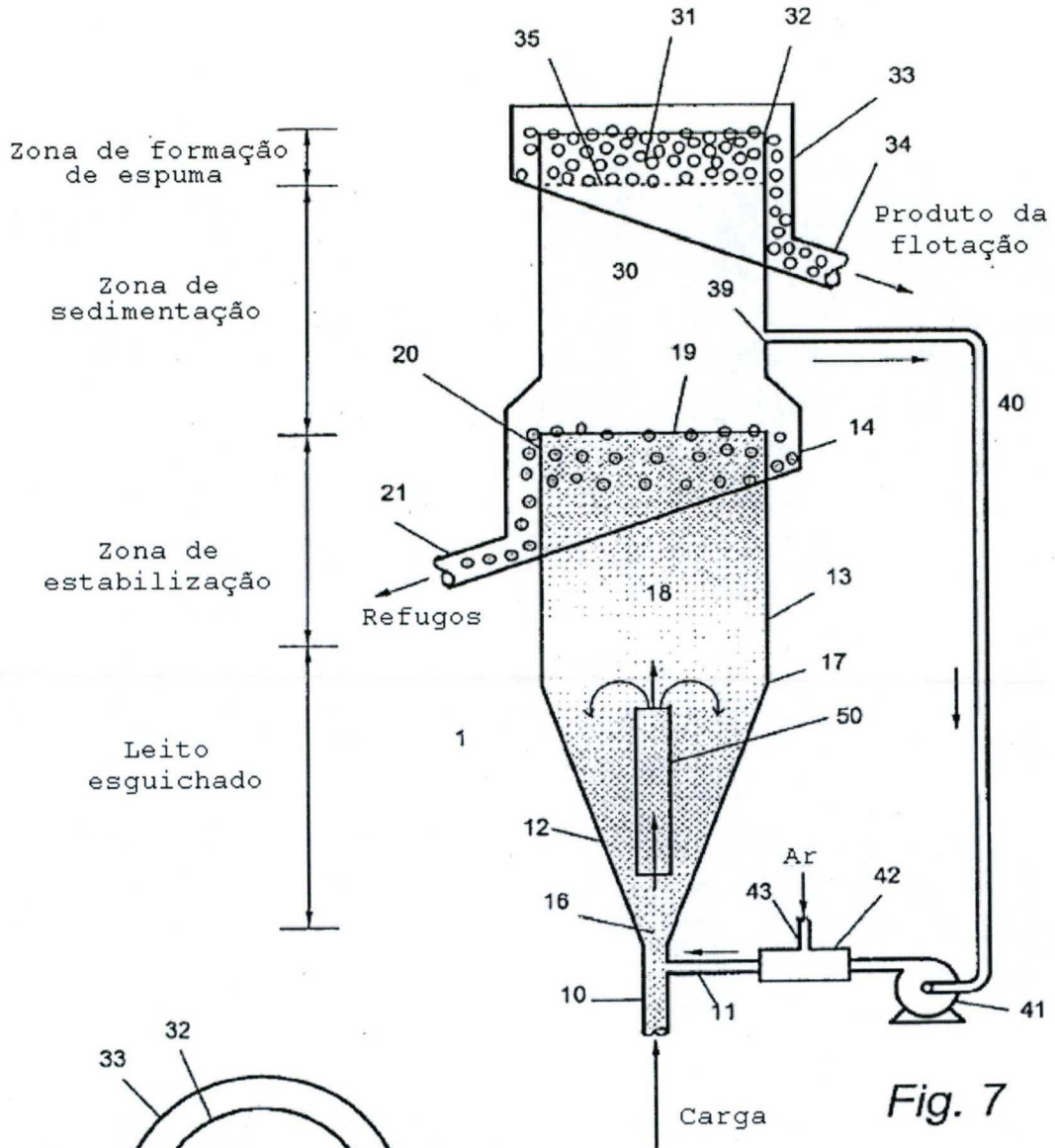


Fig. 7

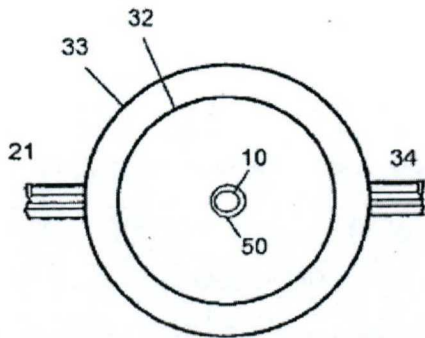


Fig. 8

