



**República Federativa do Brasil**  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0720029-3 B1**

**(22) Data do Depósito:** 04/12/2007

**(45) Data de Concessão:** 26/06/2018



---

**(54) Título:** PROCESSO PARA A CLARIFICAÇÃO POR FLOTAÇÃO DE ÁGUAS DIFÍCEIS, E, INSTALAÇÃO PARA A EXECUÇÃO DE UM PROCESSO.

**(51) Int.Cl.:** C02F 9/02; C02F 9/04

**(30) Prioridade Unionista:** 13/12/2006 FR 06 10866

**(73) Titular(es):** DEGREMONT

**(72) Inventor(es):** PATRICK VION; CÉLINE BROUTIN; CHRISTIAN GARRIOU

“PROCESSO PARA A CLARIFICAÇÃO POR FLOTAÇÃO DE ÁGUAS DIFÍCEIS, E, INSTALAÇÃO PARA A EXECUÇÃO DE UM PROCESSO”

**[0001]** A invenção é relativa a um processo para a clarificação por flotação de águas difíceis, em especial de águas de superfície carregadas ou de águas residuais urbanas, e mesmo industriais, de águas pluviais e geralmente todos os tipos de águas dificilmente flotáveis em especial com grande porcentagem de matérias minerais, ou para a clarificação de todos os tipos de águas que necessitam da injeção de um adjuvante de floculação e que precedem filtros ou tecnologias membranosas como a ultrafiltração, que compreende:

- uma etapa de coagulação no decorrer da qual uma dose de coagulante é injetada na água a tratar,
- uma etapa de floculação no decorrer da qual é efetuada uma injeção de floculante na água, depois da etapa de coagulação, para aglomerar as partículas em suspensão sob a forma de flocos,
- e depois uma etapa de flotação no decorrer da qual, em um aparelho de flotação, a água floculada é misturada com uma emulsão de microbolhas de gás, geralmente ar, que se engancham nos flocos e os fazem subir para a superfície onde eles são coletados e evacuados enquanto que a água clarificada é evacuada pelo fundo do aparelho de flotação.

**[0002]** Mais especialmente, a invenção se refere a um processo de flotação para a clarificação de águas cuja turbidez é superior a 30 NTU e a concentração em matérias em suspensão MES é superior a 30 mg/l. Além disso, tendo em vista as consequências inesperadas da invenção, sua aplicação pode ser estendida mesmo para as águas difíceis.

**[0003]** A flotação é uma tecnologia de clarificação (separação sólido-líquido) que constitui uma alternativa à decantação, pelo menos para certos tipos de água.

**[0004]** De acordo com essa tecnologia de flotação, as etapas de coagulação e de floculação permitem em um primeiro tempo aglomerar as partículas em suspensão sob a forma de flocos. E depois a água floculada é misturada com um

“leite” (quer dizer uma emulsão) de microbolhas de gás, geralmente de ar, cujo diâmetro médio está compreendido entre 40 e 50 micrometros. Essas microbolhas se engancham nos flocos que, assim tornados mais leves, têm tendência a subir na direção da superfície do aparelho de flotação (chamado flotador) onde eles se acumulam para formar uma torta ou leito de lamas. As lamas são coletadas na superfície do aparelho de flotação, enquanto a água clarificada é evacuada pelo fundo do aparelho.

**[0005]** Uma parte da água clarificada é bombeada (vazão geralmente compreendida entre 5 e 15 % da vazão de água a tratar em clarificação), a uma pressão da ordem de  $4 \times 10^5$  a  $6 \times 10^5$  Pa (4 a 6 bars) em um balão específico, chamado balão de pressurização no qual o ar se dissolve em grande quantidade, quer dizer de acordo com uma concentração igual a 3 a 5 vezes a concentração máxima do ar na água na pressão atmosférica. Por uma expansão súbita na pressão atmosférica, no aparelho de flotação, o ar é colocado em condição de supersaturação e gera microbolhas. Os sistemas de expansão são colocados em uma zona específica na qual é assegurada a mistura das microbolhas com a água floculada.

**[0006]** De acordo com a técnica de decantação, um floco deve ser denso e/ou de grande tamanho para ser fisicamente separado da água em um decantador, caindo para isso na direção do fundo.

**[0007]** Em contrapartida, de acordo com a tecnologia de flotação, basta que o floco seja bem formado para que ele possa ser separado por flotação, daí a importância das etapas preliminares de coagulação e de floculação.

**[0008]** A coagulação consiste na adição de um reagente, o coagulante (em geral, cátions trivalentes), notadamente sais de ferro ou de alumínio, que permitem a desestabilização das partículas coloidais presentes na água e a neutralização de todas as cargas eletronegativas dessas partículas. No decorrer dessa etapa, as partículas neutralizadas começam a se aglomerar para formar microflocos. Esses microflocos são pequenos demais para decantar e mesmo pequenos demais para se engancharem nas microbolhas.

**[0009]** Em todos os casos, uma etapa de floculação é necessária para fazer esses flocos aumentarem. Uma etapa de floculação por agitação mecânica ou de floculação estática permite atingir o tamanho de floco crítico para que ele se enganche nas microbolhas.

**[0010]** Por ocasião dessa etapa de floculação, a injeção de um adjuvante de floculação (polímero, polímero mineral tal como sílica ativada, polímero natural tal como amido ou alginato, ou mais geralmente polímero de síntese) é às vezes necessária, mas ele é indispensável para a clarificação das águas de superfície carregadas. O adjuvante de floculação permite favorecer a aglomeração dos flocos pequenos demais de maneira a formar flocos de tamanho suficiente para flotar, mas permite também dar coesão ao floco. Assim depois de flotação desses flocos, as lamas formadas são mais estáveis. No entanto, a adição de um adjuvante de floculação pode acarretar a decantação de flocos nos floculadores e às vezes mesmo na zona de flotação, especialmente se a carga que entra em matérias em suspensão (MES) é grande demais.

**[0011]** Devido a isso, as aplicações da flotação são com freqüência limitadas à clarificação das águas pouco carregadas (quer dizer cuja turbidez é inferior a 30 NTU e a concentração em matérias em suspensão MES é inferior a 30 mg/l) em especial a águas de lago, de perfuração, à água de mar ou à clarificação dos efluentes industriais específicos ou à clarificação das águas de lavagem de filtros biológicos. Até agora, a técnica de flotação não pôde estender eficazmente seu domínio de aplicação ao vasto domínio das águas de superfície carregadas em matérias em suspensão com mais de 30 mg/l, com grande porcentagem em matérias minerais de cerca de 50 %, como as águas de rio, mas também ao domínio das águas residuais, das águas de lavagem, das águas pluviais. De fato, é difícil e mesmo impossível “flotar” partículas densas e/ou de grande tamanho.

**[0012]** Tentativas no entanto foram efetuadas.

- Flotadores clássicos foram equipados com raspadores de fundo para recuperar as lamas decantadas. No entanto, a água clarificada é carregada e a passagem do raspador degrada ainda mais a qualidade

da água flotada recolocando para isso em suspensão uma parte das lamas decantadas.

- Novos flotadores, notadamente de acordo com o pedido de patente FR 2 837 197, integram um pré-decantador no floculador e podem responder em parte ao problema. A taxa de matérias em suspensão que entram no flotador é reduzida devido à eliminação de uma grande parte dessas matérias no pré-decantador.

**[0013]** Ora, nos dois casos precedentes, é verificado que acima de um limite crítico de matérias que entram no flotador em torno de 30 mg/l para os flotadores clássicos e de 100 mg/l para os flotadores que integram um pré-decantador, as microbolhas têm dificuldade para se engancharem nos flocos. De fato, essas lamas compostas por uma alta taxa de matérias minerais são densas e apresentam assim pouca superfície para o enganchamento das microbolhas. As lamas flotadas são instáveis, elas têm tendência a se desprender e pedaços de torta poluem ainda mais a água clarificada.

**[0014]** De acordo com as regras da arte, nos processos anteriores evocados, o coagulante é injetado em uma vez em um misturador em linha (misturador estático, ...) ou em um misturador agitado (flash mix, ...), e sempre a montante da injeção do floculante.

**[0015]** A invenção tem como objetivo, sobretudo, fornecer um processo que permite clarificar por flotação águas carregadas em matérias em suspensão com mais de 30 mg/l (equivalente a cerca de 30 NTU) ou mais de 100 mg/l (equivalente a cerca de 100 NTU) de acordo com a integração ou não de um pré-decantador a montante da flotação, ao mesmo tempo em que conserva uma qualidade ótima de água flotada e isso qualquer que seja o tipo de flotados, clássico ou com pré-decantador integrado.

**[0016]** A invenção propõe empregar o coagulante em dois pontos:

- uma primeira dose de coagulante é injetada no topo da unidade, a montante da injeção de floculante,
- uma segunda dose de coagulante é adicionada, contrariamente às

regras da arte, depois da adição do floculante.

**[0017]** O processo de acordo com a invenção é assim caracterizado pelo fato de que a etapa de floculação compreende:

- uma zona de mistura do floculante,
- seguida por uma zona de mistura de uma segunda injeção de coagulante, efetuada a jusante da injeção de floculante e a montante da flotação,
- seguida por uma zona de formação de um tipo de floco único e estruturado adaptado a uma flotação em uma só etapa.

**[0018]** Os resultados obtidos graças à injeção em dois pontos de acordo com a invenção são surpreendentes. A taxa de eliminação das matérias em suspensão na água bruta é consideravelmente aumentada.

**[0019]** A água bruta a tratar pode apresentar uma concentração em matérias em suspensão superior a 30 mg/l (equivalente a cerca de 30 NTU) ou superior a 100 mg/l (equivalente a cerca de 100 NTU) de acordo com a integração ou não de um pré-decantador a montante da flotação.

**[0020]** O processo de acordo com a invenção pode ser aplicado a uma água bruta a tratar que é difícil e necessita da injeção de um adjuvante de floculação, o tratamento de acordo com o processo precedendo filtros e tecnologias membranosas como a ultrafiltração.

**[0021]** De preferência, a dose total de coagulante injetado é repartida da maneira seguinte:

- primeira injeção por ocasião da etapa de coagulação, a montante da floculação: 10 a 70 % em peso da dose total de coagulante,
- segunda injeção, a jusante da injeção do floculante e a montante da flotação: 30 a 90 % em peso da dose total de coagulante.

**[0022]** A repartição da dose total de coagulante pode ser efetuada a cerca de 50 % para cada uma das duas injeções.

**[0023]** Por ocasião da etapa de flotação a emulsão de microbolhas pode ser obtida bombeando-se uma fração da água clarificada e pressurizando-se a mesma

em um balão para dissolver uma grande quantidade de gás, notadamente ar, e gerar as microbolhas por expansão do líquido pressurizado no aparelho de flotação; de acordo com a invenção a pressão de pressurização dentro do balão pode ser reduzida de cerca de 1 bar (classicamente de 5 bars para 4 bars). Mais geralmente, a pressão de pressurização dentro do balão é escolhida suficientemente baixa para que o tamanho (ou diâmetro médio) das microbolhas seja pelo menos igual a 60  $\mu\text{m}$  (a priori desfavorável para a flotação).

**[0024]** A invenção se refere também a uma instalação para a execução do processo definido precedentemente, caracterizada pelo fato de que ela compreende meios de injeção de uma segunda dose de coagulante a jusante da injeção do floculante e a montante da flotação.

**[0025]** A instalação pode compreender um balão de pressurização para gerar as microbolhas por expansão do líquido pressurizado dentro do aparelho de flotação; a pressão de pressurização dentro do balão pode ser escolhida suficientemente baixa para que o tamanho das microbolhas seja pelo menos igual a 60  $\mu\text{m}$ . A pressão de pressurização dentro do balão pode ser reduzida até 4 bars.

**[0026]** A invenção consiste, postas à parte as disposições expostas acima, em um certo número de outras disposições das quais será mais explicitamente questão abaixo a propósito de exemplos descritos com referência aos desenhos anexos, mas que não são de nenhuma forma limitativos. Nesses desenhos:

**[0027]** Fig. 1 é um esquema de uma linha de tratamento de acordo com o estado da técnica para clarificar águas de superfície carregadas ou não.

**[0028]** Fig. 2 é um esquema de uma linha de tratamento de acordo com a invenção para clarificar águas de superfície carregadas ou não, e

**[0029]** Fig. 3 é um esquema que ilustra os fenômenos do tratamento de acordo com a invenção.

**[0030]** Referindo-se à Fig. 1, é possível ver uma linha de tratamento clássica para clarificar águas de superfície. Essa linha de tratamento executa um processo habitual que se decompõe da maneira seguinte:

- uma etapa de coagulação A com adição de um coagulante 1 à água

bruta EB a tratar,

- uma etapa de floculação B' que recebe a água que sai da etapa de coagulação, e que compreende uma zona B'1 de mistura do floculante 2, e uma zona B'2 de aumento dos flocos 3 favorecido por uma agitação mecânica ou por sistemas estáticos (não representados),
- e finalmente, uma etapa C de separação por flotação, com emulsão de microbolhas de gás. As lamas são recuperadas na superfície, e a água tratada ET é recuperada na parte baixa do flotador.

**[0031]** Fig. 2 ilustra esquematicamente uma linha de tratamento que executa o processo de acordo com a invenção que se decompõe da maneira seguinte:

- uma etapa de coagulação A1 com adição de um coagulante 1 à água bruta a tratar EB,
- uma etapa de floculação B que compreende:  
uma zona B1 de mistura do floculante 2, seguida por  
uma zona de mistura A2 de uma segunda injeção de coagulante 1a,  
seguida por uma zona B2 de aumento dos flocos 3 favorecido por uma agitação mecânica ou por sistemas estáticos,
- e finalmente, uma etapa C de separação por flotação.

**[0032]** No caso das águas de superfície pouco carregadas, quer dizer que têm uma turbidez inferior a 30 NTU com uma concentração em MES inferior a 30 mg/l, a utilização da linha de tratamento da Fig. 1 com uma só injeção de coagulante é satisfatória. Em contrapartida essa linha de tratamento não dá resultados aceitáveis para as águas de superfície carregadas, que têm uma turbidez superior a 30 NTU, e uma concentração em MES superior a 30 mg/l.

**[0033]** A linha de tratamento de acordo com a Fig. 2, de acordo com a invenção, permite um tratamento eficaz de tais águas de superfície carregadas, que têm uma turbidez superior a 30 NTU e uma concentração em MES superior a 30 mg/l, graças à injeção suplementar A2 de coagulante.

**[0034]** Os comentários que se seguem propõem uma explicação possível para o resultado surpreendente obtido com referência à Fig. 3.

**[0035]** Uma água carregada contém colóides 4 e muitas matérias minerais 5 (porcentagem superior a 50 %). Por ocasião da adição do coagulante 1, as cargas negativas dos colóides 4 são neutralizadas pelos cátions trivalentes do coagulante 1. E depois os colóides neutralizados assim como as matérias minerais, são incluídos em precipitados de hidróxido para formar microflocos 6 mais densos devidos à presença das matérias minerais 5.

**[0036]** Durante a floculação e pela adição do floculante 2, os flocos se aglomeram e aumentam para formar no final flocos mais densos e mais compactos 7.

**[0037]** A segunda injeção de coagulante 1a provoca a formação de precipitados de hidróxido que se aglomeram então em torno do floco para lhe dar uma estrutura espacial 8 mais volumosa no final da etapa de floculação. A estrutura desse floco assim formado permite o enganchamento de um número maior de microbolhas 9 facilitando a flotação e assegurando na sequência a estabilidade das lamelas flotadas 10.

**[0038]** A importância dos resultados obtidos é concretizada pelos exemplos que se seguem.

Exemplos:

**[0039]** Os ensaios seguintes foram realizados em uma água de Sena carregada ou dopada (de 50 a 300 NTU aproximadamente).

**[0040]** As características da água bruta são:

- Turbidez água bruta EB = 50 a 300 NTU,
- MES água bruta EB = 70 a 300 mg/L,
- temperatura = 10 a 18°C.

**[0041]** Esses ensaios foram efetuados em uma unidade piloto de flotação a uma vazão de 12 m<sup>3</sup>/h que compreende:

- uma etapa de coagulação com mistura do coagulante,
- a injeção de floculante em uma cuba agitada,
- a injeção do coagulante na zona agitada formada pelo sobreverso que alimenta o floculador estático,

- uma etapa de floculação estática,
- uma célula de flotação com seção de 0,4 m<sup>2</sup> que corresponde a uma velocidade de 30 m/h.

**[0042]** o sistema de pressurização/expansão (ver a Fig. 2) é composto por um balão de pressurização P no qual é pressurizada por uma bomba Q uma parte da água clarificada retirada no flotor, para ser em seguida reinjetada no flotor, de acordo com uma expansão súbita na pressão atmosférica. O balão P funciona a 4 bars, e é ligado a sistemas de expansão que asseguram a formação de microbolhas de tamanho de cerca de 40 – 50  $\mu\text{m}$ . Nessas condições, a taxa de recirculação é de cerca de 10 %.

**[0043]** Os resultados obtidos são:

- Para turbidez água bruta EB = 350 NTU // MES EB = 330 mg/L

**[0044]** 1) De acordo com o estado da técnica

**[0045]** Dose de coagulante = 40 ppm – com uma só injeção

**[0046]** Dose de polímero = 0,4 ppm

- ⇒ Turbidez da água tratada ET = 140 NTU

**[0047]** MES da água tratada ET = 78 mg/L

**[0048]** 2) De acordo com a invenção

**[0049]** Dose de coagulante = 20 ppm (1ª injeção) + 20 ppm (2ª injeção)

**[0050]** Dose de polímero = 0,4 ppm

- ⇒ Turbidez da água tratada ET = 4,9 NTU

**[0051]** MES da água tratada ET = 9,7 mg/L

- Para turbidez água bruta EB = 100 NTU // MES EB = 100 mg/L

**[0052]** 1) De acordo com o estado da técnica

**[0053]** Dose de coagulante = 40 ppm (uma só injeção)

**[0054]** Dose de polímero = 0,4 ppm

- ⇒ Turbidez da água tratada ET = 4,5 NTU

**[0055]** MES da água tratada ET = 9,2 mg/L

**[0056]** 2) De acordo com a invenção

**[0057]** Dose de coagulante = 20 ppm (1ª injeção) + 20 ppm (2ª injeção)

**[0058]** Dose de polímero = 0,4 ppm

⇒ Turbidez da água tratada ET = 1,3 NTU

**[0059]** MES da água tratada ET = 4,4 mg/L

**[0060]** Os resultados dos ensaios mostram que a injeção do coagulante em dois pontos permite favorecer o enganchamento bolhas-flocos, aumentar a velocidade ascensional dos flocos e estabilizar as lamas flotadas. A taxa de eliminação das matérias em suspensão da água bruta é assim superior a 95 % com como consequências ou vantagens inesperadas:

**[0061]** 1/ Uma melhoria da qualidade da água flotada pois é possível diminuir a pressão dentro do balão de pressurização P previsto para a formação das bolhas dentro da célula de flotação. Contrariamente às regras da arte que preconizam um aumento da pressão e da taxa de pressurização no caso da clarificação das águas de superfície carregadas, é observada uma melhoria da qualidade da água flotada reduzindo-se para isso a pressão dentro do balão, essa pressão podendo ser reduzida até 4 bars. A qualidade da água flotada é melhorada de cerca de 20% traduzindo uma maior estabilidade das lamas flotadas. Essa redução de pressão acarreta um tamanho maior das bolhas (velocidade ascensional maior) que só podem se enganchar em flocos mais volumosos e mais estruturados.

**[0062]** Essa técnica de baixa de pressão é portanto adaptada à invenção e a todos os flocos de estrutura espacial grande como:

- os flocos formados com um excesso de coagulante e sem injeção de floculante,
- os flocos de natureza biológica, etc...

**[0063]** 2/ Um alongamento dos ciclos de filtração tipo filtros de areia atrás do flotor: a segunda injeção de coagulante permite estruturas o floco (estrutura espacial do floco volumosa) mas também neutralizar o polímero residual com poder de colmatagem muito grande, ele próprio injetado a montante da segunda injeção de coagulante. As durações de ciclos de filtração (entre duas lavagens) são assim aumentadas. A título de exemplo, a duração de um ciclo em filtro de areia

inicialmente de 18 h foi alongada para 30 h.

**[0064]** 3/ Certas tecnologias com membrana (ultrafiltração) proíbem a utilização do polímero em seu pré-tratamento devido a seu poder de colmatagem. Assim a em casos difíceis como as águas carregadas. A invenção permite então utilizar a flotação em pré-tratamento da ultrafiltração e isso mesmo em águas carregadas.

**[0065]** A invenção pode ser aplicada qualquer que seja o tipo de floculador a montante da flotação. No entanto, os riscos de decantação nos floculadores estáticos ou agitados de baixa energia são grandes. É conveniente prever sistemas ou de recolocação em suspensão com hélices de grandes velocidades, ou de recuperação de lamas tais como raspadores ou zona de decantação com bombas de extração.

## REIVINDICAÇÕES

1. Processo para a clarificação por flotação de águas difíceis, dita água tendo uma turbidez superior a 30 NTU e a concentração em matérias em suspensão MES superior a 30mg/L, em especial de águas de superfície carregadas, ou de águas residuais urbanas, ou industriais, de águas pluviais e todos os tipos de águas dificilmente flotáveis em especial com grande porcentagem de matérias minerais, ou para a clarificação de todos os tipos de águas que necessitam da injeção de um adjuvante de floculação e que precedem filtros ou tecnologias membranosas como a ultrafiltração, caracterizado pelo fato de que compreende:

- uma etapa de coagulação (A1) no decorrer da qual uma dose de 10 a 70% em peso da dose total do coagulante (1) é injetada na água a tratar, o coagulante consistindo de cátions trivalentes, em particular sais de ferro ou de alumínio,

- uma etapa de floculação (B) no decorrer da qual é efetuada uma injeção de floculante (2) na água depois da etapa de coagulação, para aglomerar as partículas em suspensão sob a forma de flocos, essa etapa de floculação compreendendo:

- a injeção do floculante na zona (B1) para mistura do floculante 2;

- seguida por uma segunda injeção de coagulante (1a) de 30 a 90% em peso da dose total, efetuada a jusante da injeção de floculante, em uma zona de mistura (A2);

- aumento dos flocos (3) adequado para flotação em uma só etapa, em uma zona (B2), seguinte de uma zona de mistura (A2); e finalmente

- uma etapa de flotação (C) no decorrer da qual, em um aparelho de flotação, a água floculada é misturada com uma emulsão de microbolhas de gás, geralmente microbolhas de ar, que se engancham nos flocos e os fazem subir para a superfície onde eles são coletados e evacuados enquanto que a água clarificada é evacuada pelo fundo do aparelho de flotação.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a água bruta a tratar para os flotores precedidos de um pré-decantador

apresenta uma turbidez superior a 100 NTU e uma concentração em matérias em suspensão MES superior a 100 mg/L.

3. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizado pelo fato de que a água bruta a tratar é difícil de tratar, necessitando da injeção de um adjuvante de floculação e precede filtros ou tecnologias membranosas como a ultrafiltração.

4. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a repartição da dose total de coagulante é efetuada a cerca de 50 % para cada uma das duas injeções.

5. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, de acordo com o qual, por ocasião da etapa de flotação, a emulsão de microbolhas é obtida bombeando-se uma fração da água clarificada e pressurizando-se a mesma em um balão (P) para dissolver uma grande quantidade de gás, notadamente ar, e gerar as microbolhas por expansão do líquido pressurizado no aparelho de flotação, caracterizado pelo fato de que a pressão de pressurização dentro do balão (P) é reduzida até 4 bars.

6. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, de acordo com o qual por ocasião da etapa de flotação, a emulsão de microbolhas é obtida bombeando-se uma fração da água clarificada e pressurizando-se a mesma em um balão (P) para dissolver uma grande quantidade de gás, notadamente ar, e gerar as microbolhas por expansão do líquido pressurizado no aparelho de flotação, caracterizado pelo fato de que a pressão de pressurização dentro do balão (P) é escolhida suficientemente baixa para que o tamanho das microbolhas seja pelo menos igual a 60  $\mu\text{m}$ .

FIG.1

Técnica Anterior

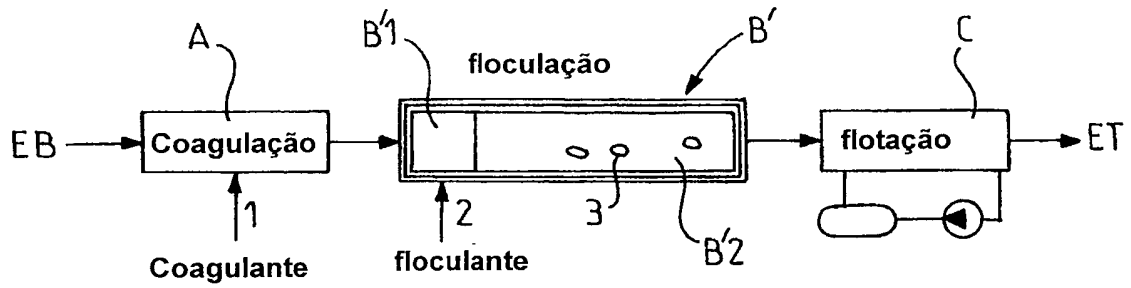


FIG.2

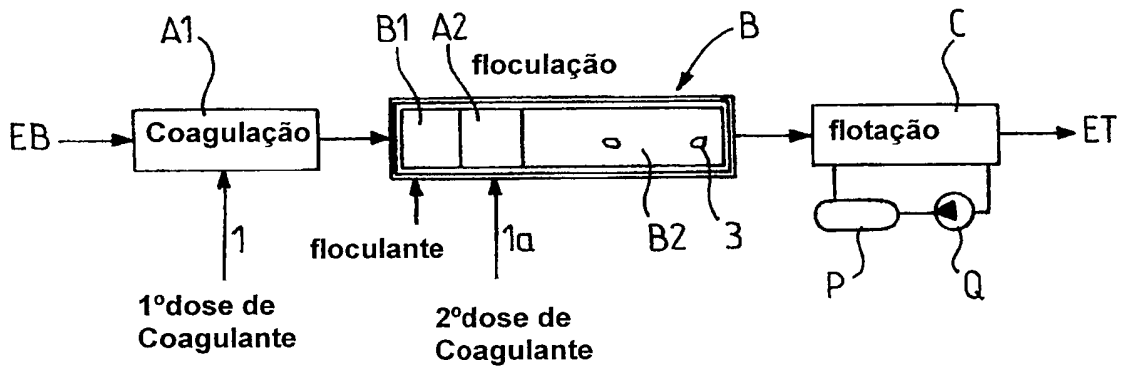


FIG.3

