



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

(11) PI 1006872-4 B1



(22) Data do Depósito: 11/01/2010

(45) Data de Concessão: 10/03/2020

(54) Título: PROCESSO PARA A RECUPERAÇÃO DE AMÔNIA CONTIDA EM UMA CORRENTE GASOSA, E, EQUIPAMENTO PARA REALIZAR O PROCESSO

(51) Int.Cl.: B01D 53/14; B01D 53/58; C01C 1/10; C01C 1/12; B01D 61/36.

(30) Prioridade Unionista: 13/01/2009 IT MI2009A 000025.

(73) Titular(es): SAIPEM S.P.A..

(72) Inventor(es): PAOLO CASARA; ALESSANDRO GIANAZZA; IVANO MIRACCA.

(86) Pedido PCT: PCT EP2010000189 de 11/01/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/081707 de 22/07/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 11/07/2011

(57) Resumo: PROCESSO PARA A RECUPERAÇÃO DE AMÔNIA CONTIDA EM UMA CORRENTE GASOSA, E, EQUIPAMENTO PARA REALIZAR O PROCESSO É descrito um processo para a recuperação de amônia contida em uma corrente gasosa, dito processo compreendendo as seguintes fases: (a) submeter a corrente gasosa contendo amônia a uma lavagem (S) com uma solução aquosa de lavagem (5a) tendo um pH variando de 5 a 6,5, com a formação de uma corrente gasosa purificada (6) e uma solução aquosa (7) contendo um sal de amônio; (b) submeter a solução aquosa contendo o sal de amônio proveniente da fase (a) a um processo de destilação (MD) com uma membrana microporosa hidrofóbica em uma temperatura variando de 100 a 200°C e uma pressão variando entre a pressão atmosférica e 2 MPa absoluta com a formação de uma solução de lavagem regenerada (16) e uma corrente gasosa (18) compreendendo NH₃ e H₂O; (c) reciclar dita solução de lavagem gerada para a fase (a). O equipamento para realizar o processo acima também é descrito.

“PROCESSO PARA A RECUPERAÇÃO DE AMÔNIA CONTIDA EM UMA CORRENTE GASOSA, E, EQUIPAMENTO PARA REALIZAR O PROCESSO”

[0001] A presente invenção refere-se a um processo para a recuperação de amônia de uma corrente gasosa.

[0002] O processo, o objetivo da presente invenção, é particularmente adequado para a recuperação de amônia de uma corrente gasosa proveniente de um processo de síntese de ureia.

[0003] Emissões de amônia gasosa para a atmosfera produzida por numerosas atividades industriais representam um problema ambiental particularmente significativo.

[0004] Com o propósito de limitar o impacto ambiental associado com este poluente, regulações ambientais nacionais e internacionais estão impondo limites crescentemente restritivos para emissões para atmosfera provenientes de processos industriais. A necessidade é, portanto, fortemente sentida para a descoberta de novas soluções técnicas para abater a amônia em emissões industriais ou para recuperar amônia destas correntes, considerando o valor comercial alto desta substância como matéria-prima em numerosos processos industriais.

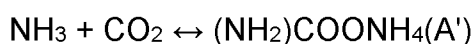
[0005] Em particular, o processo de síntese de ureia é um processo industrial que geral volumes altos de correntes gasosas contendo amônia.

[0006] A síntese de ureia é realizada pela reação de amônia e dióxido de carbono em temperatura e pressão altas, e pela subsequente separação da ureia da mistura contendo os produtos não reagidos e pelo reciclo dos mesmos para o reator.

[0007] Todos os processos industriais para a preparação de ureia são por conseguinte baseados em síntese direta de acordo com a seguinte reação:



[0008] Esta síntese ocorre em duas etapas de reação distintas:



[0009] Na primeira etapa (A') ocorre uma reação exotérmica em equilíbrio tendo uma velocidade de reação alta na temperatura ambiente, que contudo, nas

temperaturas elevadas exigidas pela etapa (A''), exige pressões altas para alcançar um equilíbrio favorável.

[0010] Na segunda etapa (A'') ocorre uma reação endotérmica, que apenas alcança uma velocidade significativa em temperaturas altas (> 150°C), com um estado de equilíbrio que, a 185°C, partindo de uma mistura de reagentes em uma proporção estequiométrica, leva a uma conversão de CO₂ um pouco mais elevada do que cerca de 50%. Esta conversão insatisfatória pode ser convenientemente aumentada pela elevação da proporção de NH₃/CO₂.

[0011] Processos para a produção de ureia pela síntese direta partindo de amônia e dióxido de carbono têm sido amplamente ilustrados e descritos na literatura específica do campo. Uma revisão extensa dos processos mais comuns para a produção de ureia pode ser encontrada, por exemplo, em "Encyclopedia of Chemical Technology" Ed. Kirk Othmer, Wiley Interscience, fourth ed. (1998), Supplement, páginas 597-621.

[0012] Processos industriais para a produção de ureia normalmente realizam a síntese em um reator com NH₃, CO₂ e com as soluções aquosas de carbonato de amônio e/ou carbamato de amônio provenientes das correntes de reciclo dos reagentes não convertidos, em temperaturas variando de 150 a 215°C, em pressões de pelo menos 13,3 MPa, com uma proporção molar de NH₃/CO₂ entre 2,5 e 5, calculada com respeito à soma das correntes de alimentação, incluindo amônia na forma do sal de amônio. Em adição à água formada e a alimentação de NH₃ em excesso, o efluente do reator ainda contém quantidades consideráveis de CO₂, principalmente na forma de carbamato de amônio não convertido.

[0013] A ureia fundida é solidificada na seção final da fábrica, em uma forma granular, em torres de peloteamento ou em granuladores, pelo esfriamento com ar.

[0014] Muitos dos problemas associados com as fábricas de produção de ureia estão especificamente ligados às seções de peloteamento ou de granulação acima mencionadas.

[0015] Os processos que são realizados nesta seção, na verdade, atualmente causam a emissão para a atmosfera de quantidades grandes de ar contaminado

com amônia (cerca de 50-250 mg/Nm³ de ar), ureia (cerca de 20-200 mg/Nm³ de ar) e traços de formaldeído.

[0016] Amônia também está contida, também em concentrações relativamente altas, até 10 g/Nm³, em correntes gasosas industriais tais como aquelas produzidas na destilação de coque, da qual ela pode ser convenientemente extraída e usada como uma matéria-prima na indústria.

[0017] O estado da técnica descreve vários processos de abatimento da amônia contida em correntes gasosas. Também têm sido desenvolvidos vários processos industriais, que permitem não apenas a separação mas também a recuperação de amônia pura. Para a recuperação de amônia de gases de coqueificação, por exemplo, a patente US 3.024.090 descreve um processo no qual os gases são submetidos a uma lavagem com uma solução ácida de fosfato de amônio (mistura de fosfato monoácido e fosfato diácido), seguida por uma extração da solução. Este método contudo não alcança taxas de eficiência altas e não pode ser aplicado às correntes gasosas com teores baixos de amônia.

[0018] US 4.424.072 descreve um processo de abatimento de amônia contida em uma concentração baixa em uma corrente gasosa por meio de lavagem ácida, por exemplo com ácido nítrico, para obter um sal de amônio em solução aquosa.

[0019] Em particular, quando a corrente gasosa contendo amônia que é submetida à lavagem ácida, é uma corrente gasosa proveniente da seção de granulação ou de peloteamento final de um processo de síntese de ureia, a solução aquosa contendo o sal de amônio também contém ureia e traços de formaldeído.

[0020] A solução aquosa contendo o sal de amônio não pode ser reciclada para as seções de síntese e/ou de concentração de ureia, porque as últimas poderiam ser por conseguinte contaminadas pelos sais de amônio, que são absolutamente indesejáveis para os propósitos de certos usos subsequentes de ureia, por exemplo para a síntese de melamina.

[0021] Ademais, o sal de amônio assim obtido teria tais especificações que o tornariam inutilizável, porque não é de nenhum modo adequado para os propósitos de interesse comercial.

[0022] O tratamento da solução aquosa compreendendo o sal de amônio com um processo eletrolítico de membrana (MEP), é conhecido de EP 1.695.755. Este tratamento permite a recuperação do ácido usado para a remoção de amônia, evitando o reciclo da solução aquosa contendo o sal de amônio para a fábrica de ureia, superando assim o problema de possíveis contaminações.

[0023] A solução sugerida em EP 1.695.755 contempla o tratamento da solução aquosa compreendendo o sal de amônio com um processo eletrolítico de membrana (MEP) que permite a recuperação do ácido usado para lavagem da amônia presente na corrente gasosa, que pode ser adequadamente reciclada. Também é obtida uma solução aquosa de hidróxido de amônio, que pode ser termicamente tratada para obter uma corrente de amônia gasosa que pode ser reciclada para a fábrica de síntese de ureia.

[0024] A solução sugerida em EP 1.695.755, contudo, tem várias desvantagens, em particular a produção de amônia da célula de eletrodialise na forma de uma solução diluída de hidróxido de amônio, que exige tratamento de extração térmica caro e específico antes de ser reciclada em uma forma suficientemente concentrada para a fábrica de síntese de ureia.

[0025] Ademais, o tratamento da solução aquosa compreendendo o sal de amônio com um processo eletrolítico de membrana (MEP), como descrito em EP 1.695.755, também pode permitir a passagem de íons indesejáveis que levam a uma solução aquosa de hidróxido de amônio que não pode ser completamente reciclada, ou a um decréscimo na eficiência do processo devido à retro-migração indesejada de NH_3 neutra através da membrana.

[0026] Uma técnica alternativa que permite a recuperação de amônia gasosa das soluções na qual ela está dissolvida, é a destilação em membrana por meio de dispositivos de membrana microporosa, conhecidos como "contactadores de membrana" (MC).

[0027] Dispositivos MC são dispositivos com os quais é possível contatar uma fase gasosa com uma fase líquida para permitir uma transferência de massa controlada das espécies químicas presentes nas mesmas, evitando a dispersão de

uma fase dentro da outra.

[0028] Em destilação em membrana, o processo de transferência de massa ocorre na superfície de uma membrana microporosa hidrofóbica, mais especificamente na saída dos poros da membrana. A força motriz da difusão de uma espécie química do fluido sobre um lado da membrana (corrente ou fluido de alimentação) para aquele situado sobre o lado oposto (corrente ou fluido de transporte) é o gradiente de temperatura, de pressão ou de concentração existente entre os dois fluidos.

[0029] Processo de separação por meio de dispositivos MC difere de processos de osmose inversa, microfiltração, nanofiltração, e ultrafiltração porque não exigem a aplicação de diferenças de pressão altas entre os dois fluidos sobre os lados opostos da membrana.

[0030] Em processos de destilação em membrana, membranas hidrofóbicas tendo configurações diferentes podem ser usadas, tais como por exemplo membranas planas, membranas espiraladas ou fibras ocas.

[0031] Graças à porosidade alta da membrana, este tipo de processo de destilação opera com uma superfície de contato muito maior entre os dois fluidos com respeito àquela de uma destilação tradicional, com vantagens óbvias do ponto de vista de produtividade e de redução no tamanho do equipamento usado.

[0032] O tratamento de soluções contendo amônia por meio de destilação em membrana é conhecido, por exemplo, da publicação "Application of vacuum membrane distillation for ammonia removal" de EL-Bourawi et al. (Journal of Membrane Science 301 (2007), 200-209).

[0033] Este documento mostra que a recuperação de amônia é sobremaneira influenciada pelo pH da solução, provando ser eficaz apenas se aplicado para soluções contendo amônia nas quais o pH é elevado para valores ao redor de 11 pela adição de agentes alcalinizadores. Em uma escala industrial, a separação de amônia realizada sob as condições acima, tem a clara desvantagem do uso de até grandes quantidades de agente alcalinizador, com um conseqüente aumento nos custos do processo de recuperação de amônia.

[0034] O requerente agora tem encontrado um processo que permite que as desvantagens da arte conhecida descritas acima sejam superadas, adicionalmente aperfeiçoando o processo de recuperação de amônia de uma corrente gasosa.

[0035] Um objetivo da presente invenção portanto refere-se a um processo para a recuperação de amônia contida em uma corrente gasosa, dito processo compreendendo as fases de:

(a) submeter a corrente gasosa contendo amônia a uma lavagem com uma solução aquosa de lavagem tendo um pH variando entre 5 a 6,5, com a formação de uma corrente gasosa purificada e uma solução aquosa contendo um sal de amônio;

(b) submeter a solução aquosa contendo o sal de amônio proveniente da fase (a) a um processo de destilação com uma membrana microporosa hidrofóbica em uma temperatura variando de 100 a 200°C e uma pressão variando de uma pressão atmosférica a 2 MPa absoluta com a formação de uma solução de lavagem regenerada e uma corrente gasosa compreendendo NH_3 e H_2O ;

(c) reciclar dita solução de lavagem regenerada para a fase (a).

[0036] Em uma modalidade preferida do processo acima, a corrente gasosa compreendendo NH_3 e H_2O deixando a fase (b) é reciclada para uma fábrica de síntese de ureia.

[0037] Um objetivo da presente invenção também se refere ao equipamento para realizar o processo acima, compreendendo:

uma unidade de lavagem (depurador) na qual uma corrente gasosa contendo amônia é contatada com uma solução aquosa de lavagem,

uma unidade para submeter uma corrente aquosa de um sal de amônio à destilação com uma membrana microporosa hidrofóbica, com a formação de uma corrente gasosa compreendendo amônia e H_2O e uma solução de lavagem regenerada, dita unidade de destilação estando conectada na unidade de lavagem da qual ela recebe a corrente aquosa de um sal de amônio. A corrente gasosa tratada de acordo com o processo da presente invenção pode derivar de vários processos industriais, e é preferivelmente uma corrente de purga gasosa

proveniente de um processo de síntese de ureia.

[0038] A corrente de purga gasosa pode derivar de várias seções e equipamento do processo de síntese de ureia. No caso mais preferido e mais relevante, como um resultado dos volumes de gás normalmente envolvidos, ela provém da seção de solidificação de ureia que, como é sabido, representa a parte da fábrica de síntese na qual a ureia, fundida ou em uma solução concentrada, é esfriada e solidificada em uma forma geralmente granular, adequada para transporte e uso em agricultura. Várias tecnologias de solidificação são possíveis, as mais comuns e preferidas, como previamente descritas, sendo conhecidas como granulação e peloteamento, que usam, como agente de esfriamento, uma corrente gasosa em volumes grandes.

[0039] Também há, contudo, outras fontes de correntes gasosas de purga ou de respiradouro contendo amônia como agente poluente em fábricas de ureia, que não podem ser liberadas sem um tratamento de recuperação adequado, tais como as correntes nos dutos de sucção localizados em áreas diferentes da instalação, nas áreas de armazenagem, ou as correntes para purga dos produtos inertes. Todas estas correntes podem ser tratadas de acordo com a presente invenção, obtendo a vantagem dupla de um aperfeiçoamento no impacto ambiental e uma recuperação adicional de amônia a ser reciclada para a fábrica.

[0040] A corrente de purga gasosa proveniente do processo de síntese de ureia geralmente consiste de um gás contaminado com amônia (cerca de 50 - 7.250 mg/Nm³ de gás), ureia (cerca de 30 - 200 mg/Nm³ de gás) mais traços de formaldeído.

[0041] Este gás normalmente consiste de ar, mas processos que usam um gás inerte diferente de ar não estão excluídos do escopo da presente invenção; nestes casos, dita corrente de purga gasosa consiste principalmente de dito gás inerte.

[0042] A corrente de purga gasosa preferivelmente provém da fábrica de síntese de ureia em uma temperatura de cerca de 45-100°C e é submetida a uma lavagem preliminar com água para eliminar a maior parte da ureia e do formaldeído presentes. Também neste caso, contudo, a corrente de purga gasosa que é submetida à fase a) do processo de acordo com a presente invenção, ainda contém

ureia e traços de formaldeído.

[0043] Por intermédio do tratamento na fase b) subsequente, a ureia pelo menos parcialmente hidrolisa para dar CO_2 e NH_3 ; isto representa uma vantagem específica com respeito ao processo do estado da técnica, porque o acúmulo de ureia na solução de lavagem, como um resultado do reciclo (fase (c)) da solução de lavagem regenerada proveniente da destilação em membrana, pode progressivamente reduzir a eficiência do depurador. Ademais, graças à hidrólise parcial da ureia, é possível recuperar mais amônia da ureia, ao mesmo tempo evitando-se sua liberação para o ambiente.

[0044] Fase (a) é preferivelmente realizada com uma solução aquosa de lavagem tendo um pH variando de 5 a 6,5, apesar da presença ou da ausência de ureia na corrente gasosa a ser tratada. A temperatura da solução de lavagem é convenientemente mantida em 15 a 70°C.

[0045] A solução aquosa de lavagem usada em fase (a) é preferivelmente uma solução tampão consistindo de um par de ácido-base conjugado cujo pH cai dentro da faixa definida acima. Soluções tampão típicas adequadas para o propósito são, por exemplo, aquelas consistindo de um par de ácido-base conjugado derivado de ácido ftálico, ácido oxálico, ácido fosfórico, ácido cítrico, ácidos aril- e alquil-fosfônicos. A proporção molar entre o ácido e a base conjugados é determinada baseando-se no pH desejado de acordo com a lei do equilíbrio químico.

[0046] A lavagem em fase (a) é mais preferivelmente realizada com uma solução tampão consistindo do par de ácido-base conjugados $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ (doravante também indicado como "par de fosfato diácido / fosfato monoácido"), em uma temperatura variando de 40 a 60°C.

[0047] Neste caso, durante o tratamento da corrente gasosa em fase (a), as espécies do par de ácido-base conjugados $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ reage com a amônia gasosa, deslocando o equilíbrio para a formação de $(\text{NH}_4)\text{HPO}_4^-$. Ainda mais preferivelmente, a solução tampão consiste de uma mistura em equilíbrio dos mesmos sais de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ e $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$, presentes na solução aquosa em fase (a) em forma dissociada. A absorção de amônia, contudo, causa formação

adicional de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ e a solução deixando a fase (a) está, portanto, enriquecida com a amônia presente na corrente gasosa tratada.

[0048] A concentração molar total do par de ácido-base conjugados na solução de lavagem usada em fase (a) preferivelmente varia de 0.5 M a 5 M, mais preferivelmente de 1 M a 4 M. Soluções tampão adequadas consistindo do par de ácido-base fosfato diácido / fosfato monoácido têm uma concentração total das espécies H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} variando de 20 a 40% em peso, preferivelmente de 30 a 35% em peso.

[0049] Quando o processo de acordo com a presente invenção é aplicado a uma corrente gasosa contendo amônia proveniente da fábrica de síntese de ureia, a solução aquosa contendo o sal de amônio deixando a fase (a) também contém ureia e traços de formaldeído.

[0050] A corrente gasosa deixando a fase (a) do processo de acordo com a presente invenção é uma corrente substancialmente livre de amônia. A corrente gasosa deixando a fase (a) consiste de substancialmente ar puro ou de outro gás inerte (por exemplo nitrogênio). Se a corrente gasosa tratada em fase (a) provém do processo de síntese de ureia, por exemplo, a corrente gasosa deixando a mesma fase (a) tipicamente tem um teor de amônia variando de 10 a 25 mg/Nm^3 de gás e um teor de ureia variando de 5 a 30 mg/Nm^3 de gás. Se a corrente gasosa purificada consiste de ar ou nitrogênio, ela pode ser liberada para a atmosfera sem tratamento adicional porque ela está de acordo com os regulamentos ambientais em vigor.

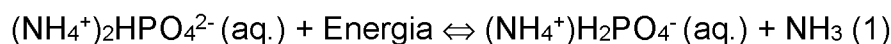
[0051] Em fase (b) do processo de acordo com a presente invenção, a solução aquosa contendo o sal de amônio proveniente da fase (a) é submetida a um processo de destilação em membrana hidrofóbica (MD) em uma temperatura variando de 100 a 200°C e uma pressão variando de pressão atmosférica a 2 MPa absoluta, com a formação de uma solução de lavagem regenerada, i.e. substancialmente sem amônia, e uma corrente gasosa compreendendo amônia, que tem sido passada através da membrana microporosa em forma de vapor. A corrente gasosa também compreende água na forma de vapor.

[0052] Se a corrente gasosa alimentada à fase (a) é uma corrente de purga de

uma fábrica de síntese de ureia, a corrente gasosa deixando a fase (b) preferivelmente também compreende CO₂.

[0053] Em fase (b), devido às condições de tratamento aplicadas, o deslocamento do equilíbrio do par de ácido-base conjugados da solução tampão ocorre, junto com a formação de amônia neutra que é liberada em forma gasosa através dos poros da membrana.

[0054] No caso não limitante no qual uma solução aquosa de lavagem é usada em fase (a), consistindo de uma solução tampão contendo o par de ácido-base conjugados H₂PO₄⁻/HPO₄²⁻, a seguinte reação (1) ocorre em fase (b):



na qual o termo "Energia" representa a energia total fornecida à solução contendo o sal de amônio submetido à destilação em membrana em fase (b), dita energia dependendo das condições operacionais de temperatura, pressão, irradiação com ondas eletromagnéticas, etc., que contribuem para deslocar o equilíbrio na direção da formação da íon fosfato diácido e amônia livre.

[0055] As condições operacionais de fase (b) são selecionadas pelo perito no campo de modo a garantir o deslocamento de equilíbrio da reação (1) na direção da formação de amônia livre em forma gasosa.

[0056] A amônia livre obtida pelo deslocamento de equilíbrio dos íons fosforoso e amônio em solução aquosa, migra em fase vapor de acordo com o equilíbrio de fases sob condições de pressão e temperatura do processo e é separada como uma corrente gasosa.

[0057] Fase (b) é preferivelmente realizada pelo aquecimento da unidade de destilação em membrana para favorecer o alcance da temperatura desejada e remoção da amônia.

[0058] As condições de temperatura e de pressão em fase (b) precisam ser selecionadas de modo a levar à formação da solução de lavagem regenerada e a corrente gasosa contendo amônia. Em particular, as condições operacionais precisam ser tais de modo a se obter a evolução de amônia gasosa.

[0059] Se a corrente gasosa da qual a amônia é recuperada não contém ureia,

fase (b) é preferivelmente realizada em uma temperatura variando de 100 a 140°C e uma pressão variando desde a pressão atmosférica até cerca de 200 kPa absoluta.

[0060] Se a corrente gasosa alimentada à fase (a) também contém ureia (por exemplo, uma corrente de purga proveniente de uma fábrica de síntese de ureia), fase (b) é preferivelmente realizada em uma temperatura variando de 100 a 200°C, mais preferivelmente de 130 a 180°C, e em uma pressão variando desde a pressão atmosférica até 2 MPa absoluta, preferivelmente de 0,15 a 1.5 MPa absoluta.

[0061] Em uma modalidade preferida da presente invenção, pela realização da fase de destilação em membrana de uma solução aquosa também compreendendo ureia a cerca de 0,3 MPa e uma temperatura de cerca de 150°C, é possível obter uma corrente compreendendo NH₃, H₂O e CO₂ caracterizada por uma concentração de amônia variando de 5 a 35% em peso, mais preferivelmente de 10 a 25% em peso.

[0062] Em fase (b), a pressão da corrente gasosa compreendendo amônia, que flui sobre um lado da membrana (lado de vapor), precisa ser mantida em um valor menor do que ou igual ao da pressão da solução a ser tratada que flui sobre o lado oposto (lado de líquido). Ademais, a diferença entre a pressão do lado de líquido e aquela do lado de vapor precisa ser menor do que a pressão de umectação de poro, com o propósito de se evitar a passagem do solvente na fase líquida (água) através dos poros da membrana e a subsequente misturação da mesma com a corrente gasosa compreendendo amônia. A pressão de umectação de poro é variável e depende das características de construção da membrana e do tipo de material formando a própria membrana.

[0063] O processo de destilação em membrana microporosa é preferivelmente realizado por meio de dispositivos MC compreendendo qualquer forma de membranas microporosas hidrofóbicas, tais como por exemplo fibras ocas, membranas planas, membranas espiraladas, etc.

[0064] O processo de destilação em membrana microporosa é preferivelmente realizado por auto-extração, i.e. na ausência de uma corrente de transporte adicional. Com o propósito de se obter uma extração maior de NH₃, uma corrente

líquida ou gasosa pode ser possivelmente usada como corrente de transporte, mantida em uma pressão próxima daquela da solução contendo o sal de amônio (corrente de alimentação). Embora, neste caso, a corrente de transporte seja preferivelmente uma corrente de vapor de água, ela também pode ser uma corrente de CO₂ ou de outro gás inerte, ou uma corrente de líquido (por exemplo água), desde que as condições de pressão acima sejam garantidas.

[0065] As membranas usadas para os propósitos da presente invenção tipicamente consistem de materiais baseados em polímeros hidrofóbicos, por exemplo polímeros e copolímeros fluorados, tais como poli(tetrafluoro-etileno) (PTFE), poli(fluoreto de vinilideno) ou Nafion®, certas poliolefinas com uma cristalinidade alta, tal como polipropileno isotático, poliacrilonitrila, polissulfonas. Estes materiais oferecem uma resistência térmica alta (até 220-250°C), resistências químicas e mecânicas elevadas. A diferença de pressão máxima que pode ser suportada por estas membranas é de aproximadamente 100 kPa. Este tipo de membrana está comercialmente disponível na forma de dispositivos MC modulares.

[0066] No processo de acordo com a presente invenção, o aquecimento do dispositivo MC é preferivelmente realizado por irradiação com radiações eletromagnéticas tendo uma frequência dentro da faixa de micro-ondas. Para este propósito, dispositivos geradores de micro-ondas conhecidos no estado da técnica podem ser usados. A vantagem da utilização de micro-ondas é que aquecimento seletivo das moléculas de água, amônia e outras moléculas polares presentes na fase líquida pode ser obtido, evitando-se um aquecimento significativo das moléculas presentes na fase vapor. Isto permite que energia térmica seja fornecida à corrente de alimentação, favorecendo a permeação subsequente de amônia gasosa e possivelmente de CO₂ através da membrana.

[0067] Ademais, o uso de micro-ondas também previne a umectação dos poros da membrana. No caso de ocorrência de inundação dos poros devido a uma sobrepressão sobre o lado da membrana no qual a solução a ser tratada flui, o aquecimento seletivo das moléculas de água líquida por meio de micro-ondas permite que a água líquida que tem penetrado dentro dos poros, evapore,

regenerando assim a membrana in situ sem interrupção do funcionamento do equipamento e evitando a aplicação de contra-pressões.

[0068] Ademais, tem sido verificado que o uso de micro-ondas para aquecer o líquido tem a vantagem adicional de favorecer a dispersão da amônia na possível corrente gasosa de transporte, sem causar seu aquecimento indesejado e aumentar o consumo de energia.

[0069] Com o objetivo de fornecer calor por irradiação com micro-ondas, precisam ser usados os dispositivos MC nos quais o envoltório externo consiste de materiais transparentes às micro-ondas, por exemplo materiais tais como PTFE, vidro, Pyrex, etc.

[0070] Aquecimento por meio de micro-ondas é de aplicação não apenas fácil mas também permite que a energia térmica fornecida ao dispositivo de destilação em membrana seja acuradamente modulada. Dispositivos de aquecimento por micro-ondas, tendo eficiências de conversão de energia elétrica em micro-ondas da ordem de cerca de 70%, contribuem para obter um rendimento de energia mais alto total do processo de recuperação de amônia.

[0071] A destilação em membrana em fase (b) retorna os seguintes produtos: uma solução de lavagem regenerada, preferivelmente com um pH variando de 5 a 6,5 e uma corrente gasosa contendo amônia e possivelmente CO₂ derivado da hidrólise de ureia.

[0072] A solução aquosa de lavagem regenerada é subsequentemente usada para abater amônia adicional da corrente gasosa inicial em fase (a) do processo de acordo com a presente invenção, i.e. ela é reciclada (fase c) para a denominada fase de depurador, após recuperação possível do calor e/ou da concentração contido(a) na mesma, por exemplo por meio de evaporação sob vácuo. Antes de ser reciclada para a fase (a), a solução aquosa de lavagem regenerada pode exigir a adição da quantidade de água e ácido ou solução tampão necessária para manter a concentração e o pH desejados (solução de reposição).

[0073] A amônia contida na corrente gasosa deixando a fase (b) pode ser usada em maneiras diferentes. Em uma modalidade preferida do processo acima, a

corrente gasosa compreendendo NH_3 , H_2O e possível CO_2 proveniente da hidrólise de traços de ureia, deixando a fase (b), é reciclada para um processo de síntese de ureia. Alternativamente, a corrente gasosa acima pode ser alimentada a um processo de síntese de amônia. Em ambos os casos, antes de ser alimentada para estas fábricas, a corrente gasosa compreendendo amônia pode ser opcionalmente submetida à recuperação do calor contido nela por meio de um trocador de calor adequado. A corrente gasosa compreendendo amônia deixando a fase (b) também pode ser condensada para formar uma solução aquosa de amônia que pode ser reciclada para outros processos industriais.

[0074] Em uma modalidade preferida que contempla uso na fase (a) de uma solução de lavagem consistindo de uma solução tampão na qual o par de ácido-base conjugados é $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$, a solução de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ e $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ proveniente da fase (a) e enviada para a destilação em membrana tem uma concentração em íons NH_4^+ que varia de 3 a 12% em peso.

[0075] Em uma modalidade, o dispositivo MC usado para a destilação retorna os seguintes produtos principais:

- uma solução aquosa de lavagem regenerada consistindo de uma solução tampão contendo as espécies HPO_4^{2-} e H_2PO_4^- , em uma quantidade variando de 20 a 40% em peso, preferivelmente de 30 a 35% em peso, que é reciclada para a denominada fase de depuração, após a possível adição da quantidade exigida de água e solução de reposição;

- uma corrente gasosa compreendendo de 5 a 35%, preferivelmente de 15 a 25%, em peso de amônia. O processo aperfeiçoado de acordo com a presente invenção portanto permite a recuperação de produtos poluentes tais como amônia e ureia contidos em uma corrente gasosa, vantajosamente permitindo que soluções concentradas de amônia sejam obtidas. Estas soluções conseqüentemente não exigem tratamento térmico específico antes de serem recicladas para outros processos industriais, tal como por exemplo a síntese de ureia. O processo portanto tem uma eficiência energética alta.

[0076] Ademais o processo de acordo com a presente invenção tem as seguintes

vantagens adicionais derivadas do uso de destilação em membrana:

- uma alta eficiência de separação de amônia também em soluções diluídas, porque, devido ao fato de que a superfície de interface consiste de poros da membrana, ela não muda com uma variação nas condições de fluxo da corrente de transporte e da corrente de alimentação;

- ausência da formação de emulsões porque não há fenômeno de dispersão entre os fluidos;

- os fluidos em contato não necessitam ter uma densidade diferente;

- os procedimentos de aumento de escala de processos de destilação em membrana são simplificados, porque um aumento no volume da corrente de alimentação a ser tratada corresponde a um aumento linear no número de módulos (dispositivos MC);

- não há arrasto de parte da solução a ser regenerada ou regenerada para dentro da corrente gasosa contendo amônia possivelmente alimentada à fábrica de ureia: isto evita que as correntes de processo da fábrica de ureia sejam poluídas com substâncias não relacionadas com o mesmo processo;

- não há partes mecânicas móveis sujeitas ao desgaste ou à possível quebra;

- carga reduzida do equipamento necessária para a destilação.

[0077] Ademais, com respeito aos processos de destilação em membrana conhecidos no estado da técnica, aquele usado no processo de recuperação de amônia de acordo com a presente invenção oferece a vantagem de ser capaz de ser realizado sem soluções substancialmente não-básicas, com consequentes consumos reduzidos de compostos alcalinizadores.

[0078] O processo de acordo com a presente invenção também tem uma eficiência energética alta derivada do uso preferido de micro-ondas para aquecer os dispositivos de destilação em membrana.

[0079] No caso da aplicação do processo de acordo com a presente invenção para a recuperação de amônia de uma corrente gasosa também compreendendo ureia, uma outra vantagem também pode ser encontrada na possibilidade de

substancialmente eliminar toda a ureia presente: em fase (b), na realidade, as condições de temperatura e de pressão causam a hidrólise de uma fração da ureia, enquanto que, à medida que a fração restante é reciclada para a fase (a), ela não é dispersada no ambiente.

[0080] Uma modalidade preferida do processo de acordo com a presente invenção é ilustrada na Figura 1 anexada, que esquematicamente representa as etapas de tratamento de uma corrente de purga gasosa deixando a seção de granulação ou de peloteamento de um processo de síntese de ureia.

[0081] Os detalhes funcionais, tais como bombas, válvulas e outros itens de equipamento não significativos para um entendimento total dos processos esquematizados, não são mostrados na Figura 1 supracitada. O processo, objetivo da presente invenção, em nenhum caso deve ser considerado como limitado ao que é descrito na figura anexada, que tem uma função puramente ilustrativa.

[0082] Ademais, com o propósito de simplificar a presente descrição, o termo "líquida" é usado indiferentemente com referência às correntes ou misturas consistindo de uma única fase líquida ou uma fase líquida-vapor mista. O termo "gasosa" é usado para correntes ou misturas nas quais a fase líquida está substancialmente ausente.

[0083] O esquema mostrado em Figura 1 ilustra a uma seção de granulação ou de peloteamento P, conectada através da linha 1 em uma seção de lavagem aquosa A, possivelmente proveniente da fábrica de ureia e contendo impurezas de amônia e ureia. Esta seção A contém uma linha de entrada de água 2, uma linha de saída 3, e está conectada, através da linha 4, na seção depuradora S. A seção depuradora S contém uma linha de entrada 5a, uma linha de saída de ar 6 e é, por sua vez, conectada em um tanque de acumulação SA, através da linha 7. O tanque de acumulação SA é conectado, através das linhas 5 e 5a, no depurador S e através da linha 10a em um trocador de calor SC.

[0084] O trocador de calor SC é por sua vez conectado através da linha 10b em uma unidade de destilação em membrana MD, que contém dispositivos MC baseados em membranas microporosas (não visíveis em Figura 1). A unidade MD é

conectada por meio de linhas 16 e 16a e 5a na seção de depuração S. A unidade MD também contém uma linha de saída 18 dos vapores contendo a amônia recuperada da corrente de purga gasosa por meio do processo da presente invenção.

[0085] Com referência à Figura 1, uma possível modalidade do processo da presente invenção é descrita abaixo, mesmo que esta descrição não limite o escopo geral da própria invenção.

[0086] A corrente de purga gasosa proveniente da linha 1 da seção de granulação ou peloteamento P, consiste de ar contaminado com amônia (cerca de 50-150 mg/Nm³ de ar), ureia (cerca de 100-200 mg/Nm³ de ar) e traços de formaldeído. Esta corrente é enviada a uma seção de lavagem aquosa A. Esta seção A tem duas correntes de alimentação, uma corrente consistindo de água, que é alimentada através da linha 2 e uma corrente de purga gasosa proveniente da seção P, através da linha 1. A corrente gasosa na saída da seção de lavagem aquosa A, através da linha 4, consiste de ar, amônia, ureia e traços de formaldeído. Parte da ureia presente na corrente gasosa inicial tem sido, portanto, eliminada pela lavagem aquosa e pode ser encontrada em uma solução aquosa na saída através da linha 3. Esta é preferivelmente enviada para a seção de concentração a vácuo (não mostrada na figura) da fábrica de síntese de ureia, para a recuperação da última.

[0087] A corrente gasosa na saída da seção de lavagem aquosa A, através da linha 4, é enviada para a seção depuradora S, onde ela é submetida a uma lavagem com uma solução aquosa ácida de (NH₄)₂HPO₄ e (NH₄)H₂PO₄ tendo uma concentração total de íons fosfato variando de 30 a 40% em peso, um pH variando de 5 a 6 e uma temperatura variando de 30 a 50°C, com a formação de uma corrente gasosa compreendendo ar substancialmente puro que é liberada para a atmosfera através da linha 6 e uma solução aquosa enriquecida em (NH₄)₂HPO₄, que é alimentada através da linha 7 para um tanque de acumulação SA. Na seção de lavagem aquosa A, a quantidade de solução de lavagem que é usada, é suficiente para reduzir o teor de amônia para o valor desejado, normalmente para

um valor menor do que 20 mg/m^3 , e possível ureia, normalmente para um valor menor do que 30 mg/m^3 , em uma corrente gasosa. O volume da solução de lavagem usada preferivelmente varia de 0,5 a 3 litros por Nm^3 de corrente gasosa.

[0088] A seção de lavagem aquosa A também pode estar ausente e neste caso corrente de purga gasosa 1 proveniente da seção P é enviada diretamente para a seção depuradora S.

[0089] O tanque de acumulação SA, quando presente, permite que um volume maior de solução de lavagem esteja disponível para ser reciclado através das linhas 5 e 5a para seção depuradora S. O processo pode, portanto, ser operado, de acordo com os modos de operação habituais com reciclo, com uma solução mais concentrada do par de ácido-base conjugados. A solução aquosa regenerada proveniente da seção MD através das linhas 16 e 16a, é adicionada na solução de lavagem deixando o tanque de acumulação SA, através da linha 5, após a adição de água, através da linha 21, para compensar aquela evaporada no depurador e na destilação em membrana na seção MD. Correntes 5 e 16a, assim unidas, são recicladas por meio de linha 5a para o depurador S.

[0090] Uma parte, mais preferivelmente de 0,2 a 5% da corrente usada no depurador, da solução aquosa ácida contendo $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ e $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$, é enviada, através das linhas 10a e 10b, do tanque de acumulação SA para a seção de destilação em membrana MD, após aquecimento para uma temperatura variando de 80 a 100°C no trocador de calor SC, por exemplo por troca térmica com a corrente deixando a seção MD através da linha 16 (o uso da corrente deixando a seção MD no trocador de calor SC através da linha 16 não é mostrado em Figura 1).

[0091] Na unidade MD, a solução aquosa contendo $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ e $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ é tratada em uma temperatura variando de 120 a 180°C e uma pressão variando de $0,2$ a $1,5 \text{ MPa}$ absoluta, com a formação de uma corrente gasosa compreendendo NH_3 , H_2O e CO_2 que é removida da linha de saída 18 e pode ser reciclada para a seção de síntese do processo de ureia ou alternativamente para um processo de síntese de amônia.

[0092] A unidade de destilação em membrana da seção MD pode consistir de um

aparelho cilíndrico posicionado horizontalmente, no qual uma série de elementos tubulares está alinhada, consistindo de membranas microporosas hidrofóbicas de forma cilíndrica, conectadas nas extremidades com uma câmara de distribuição e uma câmara de coleta. A solução tampão a ser regenerada é preferivelmente passada fora dos elementos tubulares i.e. no espaço sobre o lado de casco. Neste caso preferido, os vapores de água, amônia e possível dióxido de carbono, são liberados, através das membranas, para dentro do espaço dentro dos elementos tubulares, e então coletados na saída em linha 18.

[0093] O diferencial de pressão entre a solução tampão sobre o lado de casco e os vapores sobre o lado interno dos tubos microporosos é convenientemente mantido em 40 a 150 kPa e em qualquer caso é menor do que o limite de umectação de poro, para evitar o fenômeno de umectação de poro. Com o propósito de se ter uma tolerância maior de diferencial de pressão, as membranas microporosas podem estar possivelmente suportadas com um material rígido permeável aos vapores, que no caso preferido acima consiste de um tubo oco sobre o qual as membranas estão enroladas, enquanto que pode ser um tubo contendo as membranas em seu interior, se a solução a ser regenerada é passada sobre o lado de tubo do aparelho na unidade MD.

[0094] Calor pode ser fornecido à unidade MD, por exemplo por intermédio de vapor de pressão média ou alta, enviado da linha 11, que passa através de um feixe de tubos ou de uma camisa de aquecimento e sai, condensado, através da linha 12. Mais convenientemente, contudo, o calor necessário pode ser fornecido por irradiação adequada da solução em contato com as membranas microporosas por meio de um dispositivo MO gerando um feixe de micro-ondas em uma frequência dentro da faixa de 2.300 a 2.700 MHz, preferivelmente de 2.400 a 2.600 MHz. As frequências mais adequadas para uma absorção ótima das moléculas polares presentes na solução tratada, podem ser facilmente selecionadas por um perito no campo em relação à composição e à temperatura da solução, tendo por base as características de absorção indicadas na literatura ou simples testes de varredura preliminares. Neste caso, os materiais rígidos formando o aparelho (manta e

possíveis suportes cilíndricos feitos de material permeável ao vapor), precisam ser selecionados daqueles transparentes às micro-ondas dentro da faixa de frequências utilizada.

[0095] A seção MD também retorna uma solução de lavagem regenerada, tendo um teor mais alto de fosfato diácido com respeito à solução aquosa entrante, mas um pH substancialmente idêntico, devido à concentração total alta de espécies HPO_4^{2-} e H_2PO_4^- e ao conseqüente efeito tampão alto. Esta solução é reciclada para a seção depuradora ácida S, através das linhas 16, 16a e 5a. Se necessário, ácido fosfórico ou fosfato de amônio podem ser adicionados nesta solução para compensarem as possíveis perdas de solução tampão, por exemplo, devido ao arrasto de microgotas de líquido na fase de lavagem (a) da corrente gasosa.

[0096] O seguinte exemplo de modalidade é fornecido para propósitos puramente ilustrativos da presente invenção e em nenhuma maneira deve ser considerado como limitante do escopo de proteção definido pelas reivindicações anexadas.

EXEMPLO 1

[0097] Uma corrente de purga gasosa proveniente de uma fábrica de produção de ureia, consistindo de ar contaminado com amônia (94 mg/Nm³ de ar), ureia (185 mg/Nm³ de ar) e traços de formaldeído, foi submetida ao processo de acordo com a presente invenção. Com a fábrica funcionando sob condições de regime, 300.000 Nm³/h da corrente acima foram enviados diretamente para um depurador operando com uma solução de lavagem consistindo de uma solução tampão de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ e $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ tendo um pH igual a cerca de 5,3.

[0098] Os seguintes produtos foram assim obtidos do depurador:

- uma corrente gasosa purificada (300.000 Nm³/h) tendo uma concentração de amônia igual a cerca de 9,4 mg/Nm³ (eficiência de abatimento do depurador igual a cerca de 90%) e uma concentração de ureia igual a cerca de 27,8 mg/Nm³ (eficiência de abatimento do depurador igual a cerca de 85%);

- uma corrente de 607.381 kg/h de solução aquosa contendo o sal de amônio consistindo de água (323.,944 kg/h), íons $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ (221.129 kg/h),

amônia na forma de NH_3 e NH_4^+ (52.638 kg/h) e ureia (10.120 kg/h).

[0099] A solução aquosa deixando o depurador foi então alimentada a um tanque de acumulação (SA) do qual uma corrente tendo a mesma composição foi extraída continuamente, e então alimentada a uma unidade de destilação em membrana hidrofóbica (unidade MD) com um fluxo de 2,34 m³/h, igual a 2831,4 kg/h (densidade da solução 1.210 kg/m³). A corrente entrando na unidade de destilação em membrana, tendo um pH igual a 5,3, consistiu de água (1.509,0 kg/h), íons $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ (1.030,1 kg/h), amônia na forma de NH_3 e NH_4^+ (245,2 kg/h) e ureia (47,1 kg/h).

[00100] A unidade MD foi mantida em uma temperatura de 150°C e uma pressão de 0,3 MPa. Os seguintes produtos foram assim separados em uma unidade MD:

-uma corrente gasosa (196,6 kg/h), contendo amônia e tendo a seguinte composição

água (vapor) =	123,2 kg/h
NH_3 =	38,8 kg/h
CO_2 =	34,6 kg/h

-uma solução de lavagem regenerada (2.635,6 kg/h) tendo um pH igual a 5,3 e a seguinte composição

água (vapor) =	1.385,8 kg/h
$\text{h}_2\text{po}_4^-/\text{hpo}_4^{2-}$ =	1.030,0 kg/h
$\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ =	219,8 kg/h

[00101] Ao se comparar a quantidade de amônia presente na corrente gasosa 18 deixando a unidade MD (38,8 kg/h) com a quantidade de amônio (NH_4^+) na corrente entrando na unidade MD (245,2 kg/h), foi observada uma eficiência de separação de etapa (b) da presente invenção igual a 15,5% em peso de amônia.

[00102] A solução de lavagem regenerada acima foi reciclada para o depurador para integrar uma corrente de solução proveniente do tanque SA (605.000 kg/h). Para este reciclo, foi necessário adicionar uma corrente de reposição de água de 2.123,2 kg/h na solução de lavagem regenerada, para compensar a quantidade de água transferida para a corrente gasosa purificada pela evaporação durante a etapa

de depuração, e também a água evaporada na etapa de destilação em membrana.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para a recuperação de amônia contida em uma corrente gasosa (4) proveniente de um processo de síntese de ureia e contendo amônia e ureia, o processo compreendendo a seguinte fase:

(a) submeter a corrente gasosa (4) contendo amônia e ureia a uma lavagem (S) com uma solução aquosa de lavagem (5a), com a formação de uma corrente gasosa purificada (6) e uma solução aquosa (7) contendo um sal de amônio;

o processo sendo caracterizado pelo fato de que a solução aquosa de lavagem (5a) na etapa (a) tendo um pH variando de 5 a 6,5, e em que o processo compreende ainda as etapas de

(b) submeter a solução aquosa (7) contendo o sal de amônio proveniente da fase (a) a um processo de destilação (MD) com uma membrana microporosa hidrofóbica em uma temperatura variando de 100 a 200°C e uma pressão variando entre a pressão atmosférica e 2 MPa absoluta com a formação de uma solução de lavagem regenerada (16) e uma corrente gasosa (18) compreendendo NH_3 e H_2O , a dita corrente gasosa (18) compreendendo NH_3 e H_2O que é formada na fase (b) sendo reciclada para um processo de síntese de ureia ou para um processo de síntese de amônia;

(c) reciclar a dita solução de lavagem regenerada (16) para a fase (a).

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a corrente gasosa (4) alimentada à fase (a) é uma corrente de purga gasosa (1) proveniente de uma seção de solidificação (P).

3. Processo de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a dita corrente de purga gasosa consiste de ar contaminado por amônia, ureia e traços de formaldeído.

4. Processo de acordo com a reivindicação 2 ou 3, caracterizado pelo fato de que a dita corrente de purga gasosa (1) está a uma temperatura de 45 a 100°C, e é submetida a uma lavagem preliminar com água (A).

5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4,

caracterizado pelo fato de que a solução aquosa de lavagem (5a) usada na fase (a) é uma solução tampão consistindo em um par de ácido-base conjugados derivando de ácido ftálico, ácido oxálico, ácido fosfórico, ácido cítrico, ácidos aril- ou alquil-fosfônicos.

6. Processo de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que a dita solução tampão tem um pH variando de 5 a 6,5 e uma concentração molar total de par de ácido-base conjugados variando de 0,5 M a 5 M.

7. Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a dita solução tampão tem uma concentração molar total de par de ácido-base conjugados variando de 1 M a 4 M.

8. Processo de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que a solução tampão é composta do par de $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ no qual a concentração total das espécies $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ varia de 20 a 40% em peso.

9. Processo de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que a concentração total das espécies $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ varia de 30 a 35% em peso.

10. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 9, caracterizado pelo fato de que a fase (b) é realizada em uma temperatura variando de 130 a 180°C, e uma pressão variando de 0,15 a 1,5 MPa absoluta.

11. Processo de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a fase (b) é realizada a 0,3 MPa e em uma temperatura de 150°C, com a formação de uma corrente gasosa (18) compreendendo NH_3 , H_2O e CO_2 na qual a concentração de amônia varia de 5 a 35% em peso.

12. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizado pelo fato de que a dita corrente gasosa purificada (6) que é formada na fase (a) é liberada para a atmosfera.

13. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato de que a dita corrente gasosa purificada (6) que é formada na fase (a) consiste de ar ou outro gás inerte tendo um teor de amônia variando de 10 a 25 mg/Nm³ de ar e um teor de ureia que varia de 5 a 30 mg/Nm³ de ar.

14. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13,

caracterizado pelo fato de que a fase (b) é realizada através do fornecimento de calor à fase (b) por meio de ondas eletromagnéticas (MO).

15. Processo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que calor é fornecido à fase (b) por meio de micro-ondas (MO).

16. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 15, caracterizado pelo fato de que a quantidade de água ou ácido, necessária para manter a concentração e o pH desejados, é adicionada na solução aquosa de lavagem (16) regenerada proveniente da fase (b).

17. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 16, caracterizado pelo fato de que no processo de destilação em membrana hidrofóbica (MD) de fase (b), é usada uma corrente de transporte adicional (11), que é uma corrente de vapor de água.

18. Equipamento para realizar o processo do tipo definido na reivindicação 1, caracterizado pelo fato compreender:

- uma unidade de lavagem (purificador) (S) na qual uma corrente gasosa contendo amônia e ureia é contatada com uma solução aquosa de lavagem tendo um pH variando de 5 a 6,5,

- uma unidade de destilação (MD) com uma membrana microporosa hidrofóbica de uma corrente aquosa de um sal de amônio, configurada para operar a uma temperatura variando de 100 a 200°C e uma pressão variando de pressão atmosférica e 2 Mpa absoluta com a formação de uma corrente gasosa compreendendo amônia e H₂O e uma solução de lavagem regenerada, a dita unidade de destilação (MD) estando conectada a unidade de lavagem (S) via uma primeira linha (7, 10a, 10b), da qual ela recebe a corrente aquosa de um sal de amônio, e via uma linha de retorno (16, 16a, 5a), através da qual a solução de lavagem regenerada é reciclada para a dita unidade de lavagem (S); a unidade de destilação (MD) tendo uma linha de saída (18) para reciclagem da dita corrente gasosa compreendendo amônia e H₂O para um processo de síntese de ureia ou para um processo de síntese de amônia; e compreendendo meios de aquecimento (MO) da unidade de destilação em membrana consistindo em dispositivos de

geração de micro-ondas.

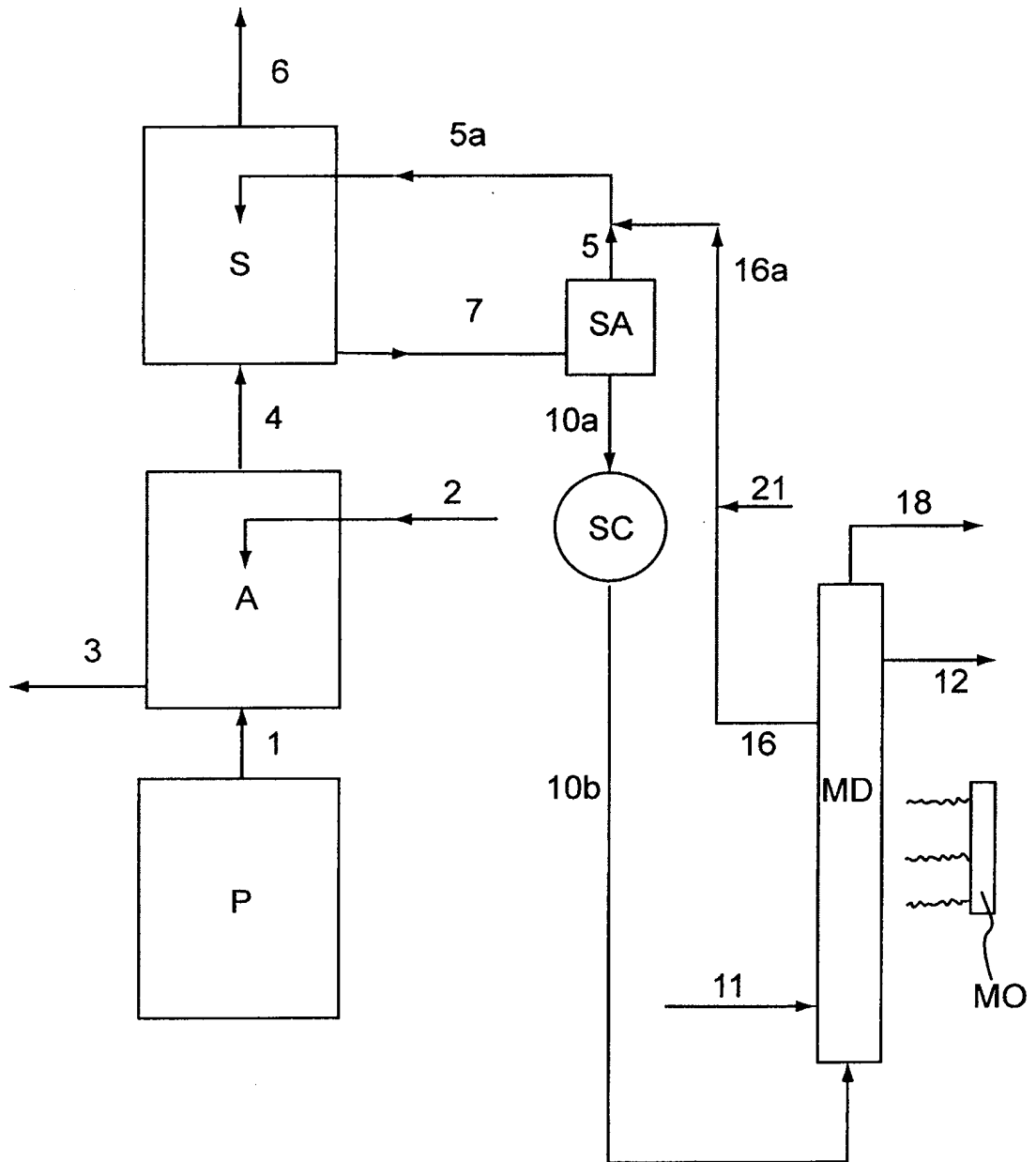


Fig. 1