



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional de Propriedade Industrial

(21) PI 1107440-0 A2



(22) Data de Depósito: 04/05/2011

(43) Data da Publicação: 28/07/2015
(RPI 2325)

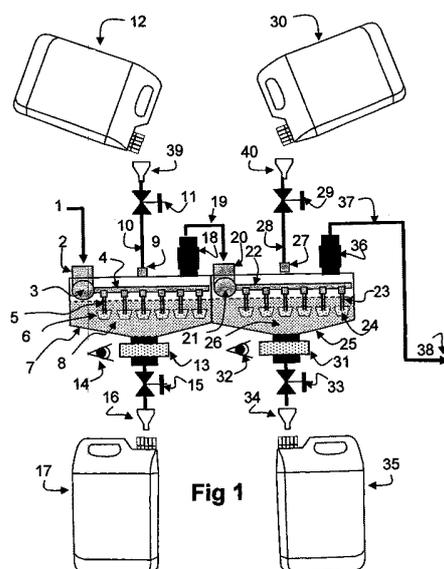
(54) **Título:** SISTEMA PARA REMOÇÃO DO GÁS SULFÍDRICO E DO GÁS CARBÔNICO CONTIDO NO BIOGÁS RESULTANTE DA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

(51) **Int.Cl.:** B01D45/16; C02F11/04

(73) **Titular(es):** Universidade Estadual do Oeste do Paraná

(72) **Inventor(es):** CAMILO FREDDY MENDOZA MOREJON, CLEBER ANTÔNIO LINDINO, JANDIR FERRERA DE LIMA, REINALDO APARECIDO BARICCATTI, ROSANGELA DALA POSSA, WEIMAR FREIRE DA ROCHA JR

(57) **Resumo:** SISTEMA PARA REMOÇÃO DO GÁS SULFÍDRICO E DO GÁS CARBÔNICO CONTIDO NO BIOGÁS RESULTANTE DA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS. Patente de invenção referente a um sistema que possibilita a remoção do gás sulfídrico e do gás carbônico contido no biogás resultante da biodigestão anaeróbica de resíduos orgânicos, cujo único requisito é a presença dos contaminantes (H₂S e CO₂) no biogás e a sua necessidade da remoção para viabilizar o melhor aproveitamento do biogás nas diversas aplicações. O sistema abrange método/tecnologia diferenciada para alimentação do biogás no dispositivo purificador, método/tecnologia diferenciada para a retenção dos contaminantes (H₂S e CO₂), método/tecnologia diferenciada para a substituição dos elementos purificadores (sem comprometer a continuidade operacional) e uma configuração diferenciada dos elementos que compõem o dispositivo purificador garantindo o aproveitamento do sistema num nível máximo de eficiência com baixos níveis de perdas de carga ao ponto de dispensar a necessidade de dispositivos pressurizadores. O tamanho, a quantidade e o arranjo dos módulos de purificação dependem do teor de H₂S e CO₂ contido na composição do biogás, bem como da vazão (produção) de biogás a ser purificada



Relatório descritivo da Patente de Invenção “SISTEMA PARA REMOÇÃO DO GÁS SULFÍDRICO E DO GÁS CARBÔNICO CONTIDO NO BIOGÁS RESULTANTE DA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS”

5

Campo da técnica

Esta invenção refere-se a um sistema que purifica o metano contido no biogás, que é um produto gasoso obtido por meio da digestão anaeróbica de matéria orgânica proveniente das atividades domésticas, agropecuárias e/ou industriais. Especificamente, o sistema abrange um método e tecnologia diferenciada para a remoção do gás sulfídrico (H_2S) e do gás carbônico (CO_2), principais contaminantes do biogás. Esse sistema visa a viabilização da utilização do metano contido no biogás em diversas aplicações, seja como combustível alternativo dos motores de combustão interna estacionários veiculares e correlatos (turbinas acopladas a geradores de energia elétrica, sistemas motor-bomba, etc.) ou como matéria-prima nos processos de produção de amônia, hidrogênio, bem como para não comprometer a eficiência e a vida útil dos equipamentos.

15

Fundamentos da invenção

Os processos de biodigestão anaeróbica de resíduos orgânicos provenientes da atividade doméstica, rural e industrial, amplamente utilizados como método de tratamento de resíduos orgânicos, tem como produtos principais o material digerido, comumente utilizado como biofertilizante, e o produto gasoso, denominado de biogás. O biogás é uma mistura gasosa composta, principalmente de gás metano (CH_4), gás sulfídrico (H_2S), gás carbônico (CO_2) e umidade (na forma de vapor de água). O componente principal do biogás é o metano, para o qual identificam-se várias aplicações, seja como combustível, como gás de síntese e/ou como mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), por meio da queima e a conseqüente geração de créditos de carbono. Para essas finalidades, o biogás precisa passar por processos de purificação, principalmente para a remoção do gás sulfídrico (H_2S), do gás carbônico (CO_2) e da umidade. A presença do gás sulfídrico (gás incolor, mais pesado do que o ar, com odor desagradável de ovos podres) na corrente de biogás, devido à toxicidade, irritabilidade e elevado poder corrosivo, tem vários efeitos negativos para as pessoas, os equipamentos e o meio ambiente. Do ponto de vista de saúde dos seres vivos, dependendo da concentração

20

25

30

do gás no ar, da duração, da frequência, do tempo de exposição e da suscetibilidade individual, a intoxicação por essa substância pode ser aguda, subaguda ou crônica. O H₂S inibe as enzimas que contêm metais essenciais, tais como: ferro (Fe) e cobre (Cu). É um gás volátil, e a principal via de penetração nos seres vivos é a respiratória. Em concentrações de 0,0005 a 0,13 ppm durante 1 minuto é possível a percepção do odor e no intervalo de concentrações de 1800 a 3700 ppm o gás é fatal. O H₂S, além de ser um gás tóxico, apresenta propriedades corrosivas quando em contato com partes metálicas. Ele compromete a vida útil dos equipamentos e/ou dispositivos alimentados com biogás, que tenham na sua composição H₂S, ao ponto de inviabilizar o aproveitamento deste nas diversas aplicações. A utilização do biogás como combustível, com a presença do H₂S na sua combustão, forma o dióxido de enxofre (SO₂), o qual, em contato com a umidade do ar contribui para a formação de chuvas ácidas, comprometendo desta forma a qualidade do solo, da flora da fauna e da saúde das pessoas. Por outro lado, a presença do gás carbônico (CO₂) contido no biogás inibe o processo de combustão, comprometendo desta forma a eficiência do seu aproveitamento como combustível. Já a presença da umidade no biogás, dependendo do teor, da forma de transporte, do diâmetro dos dutos, da pressão, da temperatura e da forma de aplicação pode comprometer a eficiência do transporte e a sua utilização nas mais diversas aplicações. Com base no exposto, a utilização do biogás, sem tratamento adequado, é alvo de freqüentes questionamentos, pois ainda não foi possível o desenvolvimento de um método e tecnologia eficiente que permita a remoção contínua dos contaminantes presentes no biogás. Assim, a presente invenção abrange especificamente uma metodologia e tecnologia para a remoção do gás sulfídrico e do gás carbônico contido no biogás.

O atual estágio dos métodos e da tecnologia convencional de remoção de contaminantes do biogás, principalmente para o caso da remoção do gás sulfídrico (H₂S) e do gás carbônico (CO₂), possuem particularidades. No caso do gás sulfídrico evidenciou-se as seguintes características comuns: A grande maioria tem como base a utilização do ferro como elemento retentor, o qual é disposto num leito, por meio do qual, flui o biogás. Nesse leito, o biogás com H₂S em contato com o ferro reage para formar Fe₂S₃ e H₂O, conforme a seguinte estequiometria: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Fe}_2\text{S}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$. Nesses modelos, as variações encontradas radicam na geometria dos leitos (prevalecendo a

geometria cilíndrica), nas formas e nos mecanismos de contato fluido-gás. Por exemplo: para aumentar a eficiência implementaram-se dispositivos que maximizam a área de contato, seja por meio da utilização do ferro fragmentado (esponja de ferro, limalha de ferro e/ou ferro granulado), seja pela forma de distribuição nos leitos e/ou geometria dos

5 fragmentos. Porém, os resultados não têm sido muito favoráveis, tendo em vista que dependendo do teor de H_2S contido no biogás e da vazão, o leito constituído de ferro não consegue atender aos tempos de residência necessários para a remoção total do H_2S e devido ao efeito acumulativo, a eficiência da retenção tem comportamento decrescente atingindo a condição de saturação (eficiência zero) rapidamente. Nessa condição, o leito

10 não exerce mais a sua função purificadora, justificando-se desta forma a necessidade de sua freqüente troca, o que nem sempre é possível de se realizar, devido às grandes quantidades de ferro fragmentado requeridos e as dificuldades na substituição/troca do leito. Neste último caso é necessário parar o processo para substituir o leito de ferro, o que compromete a continuidade operacional no uso do biogás. Quando o biogás apresenta

15 elevados teores de H_2S é necessário um maior número de substituições em instantes de tempo cada vez menores, inviabilizando a sua contínua e correta utilização. Exemplo desta metodologia e tecnologia está descrito no pedido de patente PI0804787-1. Outra forma de remoção do H_2S presente no biogás contempla a utilização de líquidos absorventes (com ou sem reação química), dispostos em colunas de absorção, nas quais, durante a passagem

20 do biogás, o H_2S em contato com a solução seletiva é retido na coluna de absorção. Da mesma forma que o caso anterior, dependendo do teor de H_2S contido no biogás e da sua vazão, o leito constituído de líquido absorvente pode não atender os tempos de residência necessários para a remoção do H_2S e pelo efeito acumulativo (na absorção de H_2S), a eficiência do leito de adsorção tem comportamento decrescente até atingir a condição de

25 saturação (eficiência zero) rapidamente. Nessa condição, o leito não exerce mais a sua função purificadora, justificando uma troca, a qual nem sempre é possível de se realizar, devido aos grandes volumes de absorvente requeridos e a dificuldade de troca do leito. De forma análoga ao caso anterior, faz-se necessário parar o processo, substituir o absorvente e devido ao maior número de manutenções em instantes de tempo cada vez menores se

30 inviabiliza a contínua e correta utilização do biogás nas diversas aplicações. Neste caso, essas limitações foram parcialmente resolvidas por meio da implementação de sistemas de

regeneração de líquido absorvente. Porém, surgiu um novo problema, a necessidade de elevadas pressões na corrente de biogás, principalmente para garantir a passagem deste por todos os dispositivos que compõem o sistema de purificação em fase líquida (dutos, colunas de absorção, acessórios etc.). Nesses sistemas, a perda de carga originada pelo
5 leito e demais componentes é muito elevada. Para contornar essa limitação alguns sistemas prevêem a utilização de compressores, os quais garantem a pressão de alimentação que vence as perdas de carga originadas pelos componentes do dispositivo purificador. Neste caso, o problema da presença do H₂S no biogás é transferido para o dispositivo gerador de pressão (compressor), localizado antes do sistema de purificação, comprometendo assim a
10 sua vida útil. Exemplos desta tecnologia estão descritos nos pedidos de patente PI 0705916-7 A2, PI0804416-3, PI0703011-8, PI0400658-5, PI9107117-8 e PI0504929-6. Outras metodologias e tecnologias contemplam algumas combinações das anteriores, porém ainda prevalecem os mesmos fatores limitantes, mencionados anteriormente, assim: a impossibilidade de garantir a continuidade operacional, a necessidade de freqüentes
15 manutenções em menores intervalos de tempo, a necessidade de grandes quantidades de absorventes, a geração de grandes volumes de resíduos (adsorventes e absorventes saturados) e o aumento na perda de carga que requer maiores pressões na corrente de biogás auferem elevados custos operacionais. Portanto, o desenvolvimento, consolidação e implementação de novos métodos, processos e de tecnologia para a remoção dos
20 contaminantes do biogás, em particular do H₂S e do CO₂, objeto da presente invenção, devem merecer especial atenção, justificando assim a presente invenção.

Com relação aos métodos e tecnologia específica para remoção de CO₂ contido no biogás resultante da biodigestão de matéria orgânica, nada foi encontrado nos bancos de patentes.

25 Nesse contexto, os objetivos da presente inovação são: incorporar a utilização correta dos fundamentos teóricos e práticos para gerar um modelo de sistema mais eficiente para a remoção de H₂S e CO₂ contido no biogás; garantir a continuidade operacional dos processos que utilizam o biogás; facilitar a sua manutenção; minimizar as perda de carga, ao ponto de dispensar a necessidade de dispositivos de
30 pressurização da corrente de biogás; e, apresentar uma maior eficiência de purificação/remoção de contaminantes, quando comparado com os modelos convencionais.

A proposta em questão, que congrega os requisitos supra citados, abrange um método/tecnologia diferenciada para alimentação do biogás no dispositivo purificador, método/tecnologia diferenciada para a retenção dos contaminantes (H_2S e CO_2), método/tecnologia diferenciada para a substituição dos elementos purificadores (sem comprometer a continuidade operacional) e uma configuração diferenciada dos elementos que compõem o dispositivo purificador garantindo o aproveitamento do sistema num nível máximo de eficiência com baixos níveis de perdas de carga ao ponto de dispensar a necessidade de dispositivos pressurizadores. Assim, foi desenvolvido um sistema alternativo de purificação de biogás denominado de “Sistema para Remoção do Gás Sulfídrico e do Gás Carbônico contido no biogás resultante da Biodigestão Anaeróbica de resíduos orgânicos” (BIOGÁS LIMPO - Unioeste-V0). O sistema tem componentes modulares e dependendo do caso, pode ser implementado no local de produção do biogás ou no seu ponto de utilização.

Sumário da Invenção

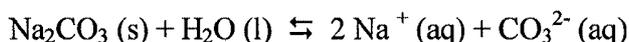
O “Sistema para Remoção do Gás Sulfídrico e do Gás Carbônico contido no biogás resultante da Biodigestão Anaeróbica de resíduos orgânicos” (BIOGÁS LIMPO - Unioeste-V0) é resultado de um conjunto de idéias implementadas e testadas, cujas reivindicações estão relacionadas com o método e tecnologia inerente com a metodologia/tecnologia de alimentação, de purificação do biogás (retenção/remoção do gás sulfídrico e do gás carbônico) e de substituição dos elementos purificadores. Esse resultado refere-se a:

Dispositivo para alimentação da corrente de biogás **caracterizado** pela tubulação 1, cujo diâmetro pode ser maior do que uma polegada e menor do que três polegadas; conector 2, de diâmetro compatível com o tubo 1, para conexão do tubo 1 ao tubo 3 de distribuição; o material da tubulação 1 e do conector 2 podem ser de PVC rígido, polietileno de alta densidade ou outros materiais que apresentem baixo coeficiente de difusividade de metano;

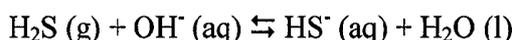
Dispositivo purificador do biogás por meio da retenção/remoção do H_2S contido no biogás **caracterizado** pelo tubo distribuidor 3, com diâmetro maior do que uma polegada e menor do que três polegadas; ao longo do comprimento do tubo 3 são conectadas as ramificações tubulares 4, dispostas de forma

horizontal e de comprimento compatível com a largura do reservatório 25 e o diâmetro maior deve ser menor do que o diâmetro da tubulação principal 3 (mais ou menos 1/3 do diâmetro da tubulação 3); ao longo do comprimento e na parte inferior das ramificações tubulares 4 são instaladas outras ramificações tubulares 5, dispostos de forma vertical, cujo comprimento pode ser maior do que 5cm e menor do que 10cm, o seu diâmetro deve ser menor do que o diâmetro das ramificações tubulares 4 (mais ou menos 1/4 do diâmetro da tubulação 4), para distribuir a corrente de biogás; tampos difusores 6 dispostos nos extremos das ramificações tubulares 5, dotados de orifícios (poros) 42 para propiciar o contato do biogás com a solução purificadora ALPHA 8, por meio do borbulhamento após a imersão das ramificações tubulares 5, cuja profundidade de imersão é resultado da regulagem obtida em função da pressão disponível na corrente do biogás e da pressão da coluna de água formada na imersão, o que deve ser vencida, assim o requisito é que a profundidade de imersão das ramificações tubulares 5 não deva comprometer o borbulhamento e a passagem do biogás pelo leito de retenção/remoção de H₂S; solução ALFA 8, para purificação do biogás por meio da retenção/remoção do H₂S, composta por solução tampão a base de carbonato/hidrogenocarbonato, na qual se dissolve ferrocianeto de potássio cujas concentrações, em geral são calculadas em função do teor de H₂S contido no biogás podendo, por exemplo ser obtida por meio da dissolução de 2,092 g de hidrogeno carbonato, 2,640 g de carbonato de sódio em um litro de solução e 82,315 g de ferrocianeto de potássio; no processo de retenção/remoção de H₂S ocorrem as reações químicas do sulfeto em meio básico com hexacianoferrato, conforme:

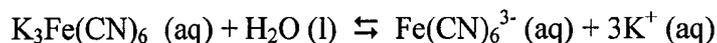
Reação 1:



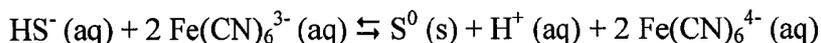
25 Reação 2:



o qual, na seqüência, o gás reage com a solução básica de carbonato, formando a espécie predominante de sulfeto em pH = 10 (tampão carbonato) como o HS⁻:



30 Reação 3:



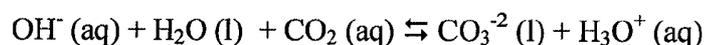
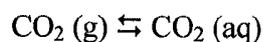
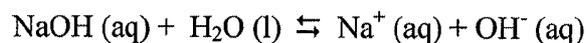
as reações acima se processam em temperatura ambiente (25 °C) com cinética muito rápida (instantânea), no qual comprovou-se que o aumento da temperatura não provoca alterações na cinética da reação; nessas reações a espécie HS⁻ é oxidada a enxofre elementar pelo hexacianoferrato, reduzindo o Fe III para Fe II na molécula; o enxofre elementar é gerado na forma sólida e é monitorado pelo índice de turbidez, com o uso de um turbidímetro ou pelo monitoramento do nível de transparência da solução no tubo transparente 13 por meio da visualização 14; reservatório 7 de geometria combinada, prevalecendo o volume de um paralelepípedo dotado na base de uma pirâmide quadrangular em material que pode ser de PVC rígido, polietileno de alta densidade ou outros materiais que apresentem baixo coeficiente de difusividade do metano, disposto de forma horizontal, para abrigar os elementos de purificação (tubulações, acessórios e solução purificadora 8) e garantir o contato fluido-gás; conector 18 e tubulação 19 para conduzir o biogás após a passagem pelo leito de retenção e remoção de H₂S.

Dispositivo para retirada da solução purificadora 8 denominada de ALPHA após saturação com H₂S removido do biogás **caracterizado** por tubulação 43 de diâmetro que pode ser maior do que uma polegada e menor do que 3 polegadas, disposta na parte inferior (base) do reservatório 7 conectado a um tubo transparente 13 para permitir a visualização 14 do grau de saturação da solução purificadora 8, informação que define o tempo de troca/substituição da solução purificadora ALPHA 8 contida no reservatório 7, por meio da válvula 15, tubulação 44, funil 16 e acondicionado no reservatório 17;

Dispositivo para a substituição da solução ALPHA de purificação 8, **caracterizada** pelo recipiente 12 que abriga a solução purificadora ALPHA 8, a qual é alimentada no reservatório 7 por meio do funil 39, válvula 11, tubulação 10 e conector 9;

Dispositivo para a alimentação da corrente de biogás, após a remoção do H₂S, **caracterizado** pela tubulação 19 cujo diâmetro é maior do que uma polegada e menor do que três polegadas e o conector 20, de diâmetro compatível com o tubo 19, para a conexão do tubo 19 ao tubo 21 de distribuição; o material da tubulação 19 e o conector 20 podem ser de PVC rígido, polietileno de alta densidade ou outros materiais que apresentem baixo coeficiente de difusividade do metano;

Dispositivo para a purificação do biogás, por meio da retenção/remoção do CO₂, **caracterizado** por tubo distribuidor 21 de diâmetro maior do que uma polegada e menor do que três polegadas; ao longo do comprimento do tubo 21 são conectadas ramificações tubulares 22 dispostas de forma horizontal com comprimentos compatíveis com a largura do reservatório 25 e o seu diâmetro deve ser menor do que o diâmetro da tubulação principal 21 (mais ou menos 1/3 do diâmetro da tubulação 21); ao longo do comprimento e na parte inferior das ramificações tubulares 22 são instaladas outras ramificações tubulares 23, dispostas de forma vertical, com comprimento maior do que 5cm e menor do que 10cm e o seu diâmetro deve ser menor do que o diâmetro das ramificações tubulares 22 (mais ou menos 1/4 do diâmetro da tubulação 22), para distribuir a corrente de biogás; tampos difusores 24 dispostos nos extremos das ramificações tubulares 23, dotados de orifícios (poros) 42 para propiciar o contato do biogás com a solução purificadora BETA 26, por meio do borbulhamento após imersão das ramificações tubulares 23, sendo a profundidade de imersão resultado da regulagem obtida em função da pressão disponível na corrente de biogás e da pressão de coluna de água formada pela imersão, a qual deve ser vencida sendo que a profundidade de imersão das ramificações tubulares 5 não deve comprometer o borbulhamento e a passagem do biogás pelo leito de retenção/remoção de CO₂; solução purificadora BETA 26 para retenção/remoção de CO₂ é constituída por solução de hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹ a qual é resultado da dissolução de 20,00 g de hidróxido de sódio em água; na retenção/purificação, em meio líquido, ocorrem as seguintes reações:



o gás reage com a solução básica formando a espécie predominante de carbonato solúvel; no processo de remoção/retenção do CO₂, com reação química, em fase líquida as reações se processam em temperatura ambiente (25 °C) com cinética muito rápida (instantânea), cujo aumento da temperatura não provoca alterações na cinética da reação; reservatório 25 de geometria combinada, prevalecendo o volume de um paralelepípedo dotado na base de uma pirâmide quadrangular, este último para facilitar a retirada da solução purificadora BETA 26 em material, que pode ser de PVC rígido, polietileno de alta densidade ou outros

materiais que apresentem baixo coeficiente de difusividade do metano, disposto de forma horizontal para abrigar os elementos de purificação (tubulações, acessórios e solução purificadora 26) e garantir o contato fluido-gás; conector 36 e tubulação 37 para conduzir o biogás após a passagem pelo leito de retenção e de remoção de CO₂ até o ponto de aplicação 38;

Dispositivo para a retirada da solução purificadora BETA 26 após saturação com CO₂ (removido do biogás), **caracterizado** pela tubulação 43 de diâmetro maior do que uma polegada e menor do que 3 polegadas, disposta na parte inferior (base) do reservatório 25 conectada a um tubo transparente 31 para permitir a visualização 32 do grau de saturação da solução purificadora BETA 26, informação que define o tempo de troca/substituição da solução purificadora BETA 26 contida no reservatório 25, por meio da válvula 33, tubulação 44, funil 34 e acondicionado no reservatório 35;

Dispositivo para a substituição da solução purificadora BETA 26, **caracterizado** pelo recipiente 30, que abriga a solução purificadora BETA 26, a qual é alimentada no reservatório 25 por meio do funil 40, válvula 29, tubulação 28 e o conector 27;

Breve descrição dos desenhos

Em anexo, os desenhos mostram e esquematizam todos os elementos constitutivos, a montagem e a instalação do “Sistema modular para Remoção do Gás Sulfídrico e do Gás Carbônico contido no biogás resultante da Biodigestão Anaeróbica de resíduos orgânicos” (BIOGÁS LIMPO - Unioeste-V0):

A Fig. 1 vista de frente, ilustra todos os elementos que compõem o BIOGÁS LIMPO - Unioeste-V0.

A Fig. 2 ilustra de forma ampliada os detalhes do tubo 5, que distribui o fluxo de biogás, e do tampo difusor 6 dotado de orifícios (porosidade) 42 do BIOGÁS LIMPO - Unioeste-V0.

A Fig. 3 ilustra de forma ampliada os detalhes do dispositivo (tubo transparente 13) conectado por meio do tubo 43 à base dos reservatórios 7 e 25, para visualizar o grau de saturação das soluções purificadoras de biogás BETA 8

(para retenção/remoção de H₂S) e ALPHA 26 (para retenção/remoção de CO₂), respectivamente, do BIOGÁS LIMPO - Unioeste-V0;

A Fig. 4 ilustra de forma ampliada os detalhes do dispositivo de distribuição do fluxo de biogás constituído pelo conector 2, tubo 3 (distribuidor principal), tubos 4 (distribuidor secundário), tubos de imersão 5 e dos tampos difusores 6 do BIOGÁS LIMPO - Unioeste-V0;

A Fig. 5 ilustra de forma ampliada os detalhes dos reservatórios 7 e 25 que abrigam as soluções purificadoras de biogás ALPHA 8 (para retenção/remoção de H₂S) e BETA 26 (para retenção/remoção de CO₂), respectivamente, dotados de conector 2 para a conexão do tubo 1 de alimentação, conector 18 para a conexão do tubo de saída do biogás purificado e o conector 9 para reposição de solução purificadora do BIOGÁS LIMPO - Unioeste-V0;

Descrição detalhada da invenção

De acordo com as Figuras descritas o “Sistema modular para Remoção do Gás Sulfídrico e do Gás Carbônico contido no biogás resultante da Biodigestão Anaeróbica de resíduos orgânicos” (BIOGÁS LIMPO - Unioeste-V0) funciona da seguinte forma:

O biogás produzido por meio da biodigestão de resíduos orgânicos provenientes de diversas fontes (resíduos orgânicos da atividade doméstica, rural e industrial), antes da sua aplicação e, visando a remoção do gás sulfídrico e do gás carbônico deve ser alimentado ao sistema de purificação denominado de “BIOGÁS LIMPO - Unioeste-V0”. O sistema de purificação é constituído de sistemas modulares para a retenção/remoção dos gases sulfídrico e carbônico. A entrada do biogás ocorre pela tubulação 1. A tubulação 1 e na seqüência a tubulação 3, que distribui o fluxo nos tubos secundários 4 e posteriormente pelos tubos 5 e tampos difusores 6, estão em imersão. O biogás entra em contato com a solução purificadora ALPHA 8, cuja função principal é a retenção e remoção do gás sulfídrico contido na corrente de biogás. Nessa etapa ocorre o borbulhamento, por meio dos tampos difusores 6. O borbulhamento tem por função aumentar a eficiência do processo de remoção do H₂S em fase líquida. Na seqüência, o fluido resultante (biogás livre de H₂S), segue pela tubulação 19 até o módulo de retenção/remoção de CO₂, passa pelo conector e 20 e entra no tubo 21 sendo distribuído

por meio dos tubos 22, dispostos de forma horizontal e acoplados na parede lateral do tubo 21. Na seqüência e, de forma análoga ao caso anterior, o fluxo de biogás entra em contato com a solução responsável pela retenção/remoção de CO₂ (solução purificadora BETA), por meio dos tubos de distribuição 23, após a imersão e borbulhamento originado pelos

5 tampos difusores 24. No contato fluido-gás ocorre a retenção/remoção do CO₂. Em seguida, o fluxo de biogás sai do módulo de purificação sendo conduzido ao longo da tubulação 37 até o ponto de aplicação em 38. No ponto 38 o biogás deve estar purificado. Nos processos de remoção do H₂S e do CO₂ contidos no biogás podem ser utilizados um ou mais módulos de purificação. O número de módulos para a separação do H₂S e do CO₂

10 e a forma do arranjo (série, paralelo) dependerá da vazão de biogás, composição (teor de H₂S e de CO₂) e o grau de purificação desejado. Tanto no processo de retenção/remoção do H₂S, quanto no processo de retenção/remoção do CO₂ as correspondentes soluções purificadoras ALPHA 8 e BETA 26 terão um comportamento decrescente na eficiência de depuração, como consequência do efeito acumulativo da retenção/remoção dos

15 contaminantes (H₂S e CO₂) até a saturação total dos mesmos. Para manter o processo num nível máximo de eficiência de purificação foi implementado os dispositivos 13 e 31 que permitem, por meio da visualização das soluções purificadoras, identificar o momento apropriado para a substituição das mesmas. Isto ocorre por meio das válvulas 15 e 33, tubos 44 e funis 16 e 34 sendo no final as soluções acondicionadas nos recipientes 17 e 35,

20 respectivamente. Após a retirada das soluções purificadoras deve ser realizada a reposição da solução purificadora ALPHA 8, para a retenção/remoção de H₂S, e da solução BETA 26, para a retenção/remoção de CO₂, as quais estão contidas nos recipientes 12 e 30, respectivamente. A reposição é realizada utilizando-se os funis 39 e 40, as válvulas 11 e 29, os tubos 10 e 28 nos pontos 9 e 27, respectivamente. Na seqüência, o biogás purificado,

25 cujo principal componente é o gás metano, segue para sua utilização nas suas diversas aplicações: como combustível para geração de energia térmica; para o acionamento de motores veiculares e/ou correlatos; para o acionamento de sistemas motor-bomba; para a co-geração de energia elétrica; e, para a geração de créditos de carbono, bem como matéria prima para a produção de amônia e/ou hidrogênio.

30 A metodologia/tecnologia apresentada denominada de BIOGÁS LIMPO - Unioeste-V0 tem sua principal aplicação na remoção do gás sulfídrico

e do gás carbônico contido no biogás produzido pela digestão anaeróbica de biomassa (resíduos orgânicos) proveniente da atividade doméstica, dos aterros sanitários, das atividades agropecuárias, dos resíduos orgânicos de origem industrial e dos resíduos orgânicos das estações de tratamento de efluentes. Em todos esses casos, o único requisito

5 é a presença dos contaminantes (H_2S e CO_2) no biogás e a sua necessidade da remoção destes para viabilizar o melhor aproveitamento do biogás como combustível para o acionamento de conjuntos motor-turbina que visam a geração alternativa de energia elétrica, para a geração e aproveitamento da energia térmica e/ou como matéria

10 prima/insumos dos processos de agregação de valor (produção de amônia e hidrogênio). O tamanho, a quantidade e o arranjo dos módulos de purificação dependerão do teor de H_2S e CO_2 contido na composição do biogás, bem como da vazão (produção) de biogás a ser purificado.

REINVINDICAÇÕES

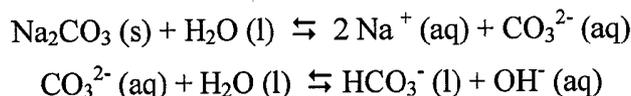
1. “Sistema para remoção do gás sulfídrico e do gás carbônico contido no biogás resultante da biodigestão anaeróbica de resíduos orgânicos” CARACTERIZADO
5 por um método e tecnologia diferenciada para alimentação do biogás no dispositivo purificador; método/tecnologia diferenciada para a retenção e remoção do gás sulfídrico (H₂S) e do gás carbônico (CO₂) contido no biogás produzido por meio da biodigestão anaeróbica de resíduos orgânicos provenientes da atividade doméstica, rural e/ou industrial; método/tecnologia diferenciada para a retirada e reposição das soluções
10 purificadoras (sem comprometer a continuidade operacional); e, uma configuração diferenciada dos elementos que compõem o dispositivo purificador os quais garantem o funcionamento do sistema num nível máximo de eficiência com baixos valores de perdas de carga ao ponto de dispensar a necessidade de dispositivos pressurizadores no fluxo de biogás; o sistema de purificação é constituído de sistemas modulares para a
15 retenção/remoção dos gases sulfídrico e carbônico e o número de módulos, a forma do arranjo (série, paralelo) dependerá da vazão de biogás, composição (teor de H₂S e de CO₂) e o grau de purificação desejado e dependendo do caso, o sistema pode ser implementado no local de produção do biogás ou no seu ponto de utilização.

2. Dispositivo para alimentação da corrente de biogás, de acordo com a
20 reivindicação 1, CARACTERIZADO por tubulação 1 para entrada do biogás, com diâmetro maior do que uma polegada e menor do que três polegadas e comprimento que depende da distância entre os ponto de produção e o ponto de purificação do biogás; conector 2, de diâmetro compatível com o tubo 1 de alimentação, para conexão do tubo
1 de alimentação ao tubo 3 de distribuição; o material da tubulação 1 e do conector 2
25 podem ser de PVC rígido, polietileno de alta densidade ou outros materiais que apresentem baixo coeficiente de difusividade de metano.

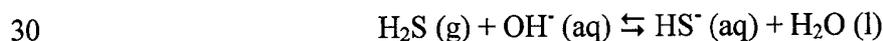
3. Dispositivo purificador do biogás por meio da retenção/remoção do H₂S contido no biogás, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO por tubo distribuidor 3, com diâmetro maior do que uma polegada e menor do que três polegadas,
30 o qual ao longo do seu comprimento, na parede lateral, são conectadas as ramificações tubulares primárias 4, dispostas de forma horizontal com comprimentos compatíveis com a largura do reservatório 7 (carça) que serve de abrigo e o diâmetro destas

ramificações tubulares primárias 4 deve ser menor do que o diâmetro do tubo distribuidor 3 (mais ou menos 1/3 do diâmetro da tubulação 3 de distribuição); ao longo do comprimento das ramificações tubulares primárias 4, e na sua parte inferior, são conectadas as ramificações tubulares secundárias 5, dispostos de forma vertical, cujo comprimento pode ser maior do que 5cm e menor do que 10cm de modo a permitir a regulagem da altura de imersão, o seu diâmetro deve ser menor do que o diâmetro das ramificações tubulares primárias 4 (mais ou menos 1/4 do diâmetro dos tubos utilizados nas ramificações tubulares primárias 4), para distribuir a corrente de biogás; tampos difusores 6 dispostos nos extremos das ramificações tubulares secundárias 5, dotados de orifícios ou poros 42 para propiciar o contato do biogás com a solução purificadora 8 denominada de ALPHA que tem a função de reter e remover o H₂S contido no biogás, por meio da solubilização seguida de reação química, cuja eficiência é maximizada por meio do borbulhamento, após a imersão das ramificações tubulares secundárias 5, cuja profundidade de imersão é resultado da regulagem obtida em função da pressão disponível na corrente do biogás e da pressão da coluna de água formada na imersão, a qual deve ser vencida, assim o requisito é que a profundidade de imersão das ramificações tubulares secundárias 5 não deva comprometer o borbulhamento nem a passagem do biogás pelo leito de retenção/remoção de H₂S; solução ALPHA 8 para purificação do biogás por meio da retenção/remoção do H₂S composta por solução tampão a base de carbonato/hidrogenocarbonato, na qual se dissolve ferrocianeto de potássio cujas concentrações, em geral são calculadas em função do teor de H₂S contido no biogás podendo, por exemplo ser obtida por meio da dissolução de 2,092 g de hidrogeno carbonato, 2,640 g de carbonato de sódio em um litro de solução e 82,315 g de ferrocianeto de potássio; no processo de retenção/remoção de H₂S ocorrem as reações químicas do sulfeto em meio básico com hexacianoferrato, conforme:

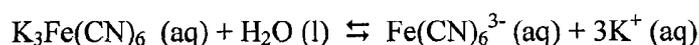
Reação 1:



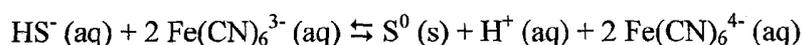
Reação 2:



o qual, na seqüência, o gás reage com a solução básica de carbonato, formando a espécie predominante de sulfeto em pH = 10 (tampão carbonato) como o HS⁻:



Reação 3:



as reações acima se processam em temperatura ambiente (25 °C) com cinética muito rápida (instantânea), no qual comprovou-se que o aumento da temperatura não provoca alterações na cinética da reação; nessas reações a espécie HS^- é oxidada a enxofre elementar pelo hexacianoferrato, reduzindo o Fe III para Fe II na molécula; o enxofre elementar é gerado na forma solida e é monitorado pelo índice de turbidez, com o uso de um turbidímetro ou pelo monitoramento do nível de transparência da solução no tubo transparente 13 por meio da visualização 14; reservatório 7 de geometria combinada, prevalecendo o volume de um paralelepípedo dotado na base de uma pirâmide quadrangular, este último para facilitar a retirada da solução purificadora ALPHA 8 em material que pode ser de PVC rígido, polietileno de alta densidade ou outros materiais que apresentem baixo coeficiente de difusividade do metano, disposto de forma horizontal, para abrigar os elementos de purificação (tubo distribuidor 3, ramificação tubular primária 4, ramificação tubular secundária 5, acessórios de conexão, tampos difusores 6 e solução purificadora ALPHA 8 para retenção/remoção de H_2S) e garantir o contato fluido-gás; deste por meio do conector 18 e tubulação 19 segue o fluxo de biogás para o próximo módulo de purificação, após a passagem pelo leito de retenção e remoção de H_2S .

4. Dispositivo para retirada da solução purificadora ALPHA após saturação com H_2S removido do biogás, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO por tubulação 43 de diâmetro que pode ser maior do que uma polegada e menor do que 3 polegadas, disposta na parte inferior (base) do reservatório 7 (carcaça) que abriga todos os elementos que compõem o módulo de purificação conectado em série a um tubo transparente 13 para permitir a visualização 14 do grau de saturação da solução purificadora ALPHA 8, informação que define o tempo de troca/substituição da solução purificadora ALPHA 8 contida no reservatório 7 (carcaça), por meio da válvula 15 (registro), tubulação 44, funil 16 e acondicionado num reservatório 17 (recipiente com tampa).

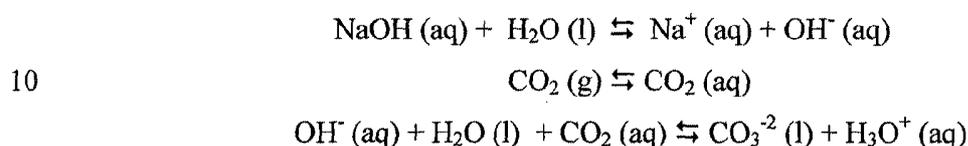
5. Dispositivo para a substituição da solução ALPHA de purificação 8, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO por recipiente 12 que abriga a

solução ALPHA utilizada para a retenção/remoção de H₂S contido no biogás, a qual é alimentada no reservatório 7 (carcaça) por meio do funil 39, válvula 11, tubulação 10 de alimentação e conector 9 que conecta o tubo de alimentação ao reservatório 7 (carcaça).

5 6. Dispositivo para alimentação da corrente de biogás, após passagem pelo módulo de retenção/remoção do H₂S, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO por tubulação 19 para entrada do biogás, com diâmetro maior do que uma polegada e menor do que três polegadas e comprimento que depende da distância entre os ponto de produção e o ponto de purificação do biogás; conector 20, de 10 diâmetro compatível com o tubo 19 de alimentação, para conexão do tubo 19 de alimentação ao tubo 21 de distribuição; o material da tubulação 19 e do conector 20 podem ser de PVC rígido, polietileno de alta densidade ou outros materiais que apresentem baixo coeficiente de difusividade de metano.

15 7. Dispositivo purificador do biogás por meio da retenção/remoção do CO₂ contido no biogás, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO por tubo distribuidor 21, com diâmetro maior do que uma polegada e menor do que três polegadas, o qual ao longo do seu comprimento, na parede lateral, são conectadas as ramificações tubulares primárias 22, dispostas de forma horizontal com comprimentos compatíveis com a largura do reservatório 25 (carcaça) que serve de abrigo e o diâmetro destas ramificações tubulares 4 deve ser menor do que o diâmetro do tubo distribuidor 3 20 (mais ou menos 1/3 do diâmetro da tubulação 3); ao longo do comprimento das ramificações tubulares primárias 22, e na sua parte inferior, são conectadas as ramificações tubulares secundárias 23, dispostos de forma vertical, cujo comprimento pode ser maior do que 5cm e menor do que 10cm de modo a permitir a regulagem da altura de imersão, o seu diâmetro deve ser menor do que o diâmetro das ramificações 25 tubulares primárias 22 (mais ou menos 1/4 do diâmetro dos tubos utilizados nas ramificações tubulares primárias 22), para distribuir a corrente de biogás; tampos difusores 24 dispostos nos extremos das ramificações tubulares secundárias 23, dotados de orifícios ou poros 42 para propiciar o contato do biogás com a solução purificadora 26 denominada de BETA que tem a função de reter e remover o CO₂ contido no biogás, 30 por meio da solubilização seguida de reação química, cuja eficiência é maximizada por meio do borbulhamento, após a imersão das ramificações tubulares secundárias 23, cuja profundidade de imersão é resultado da regulagem obtida em função da pressão

disponível na corrente do biogás e da pressão da coluna de água formada na imersão, a qual deve ser vencida, assim o requisito é que a profundidade de imersão das ramificações tubulares secundárias 23 não deva comprometer o borbulhamento nem a passagem do biogás pelo leito de retenção/remoção de CO₂; solução BETA 26 para
 5 purificação do biogás por meio da retenção/remoção do CO₂ é constituída por solução de hidróxido de sódio 0,5 mol L⁻¹ a qual é resultado da dissolução de 20,00 g de hidróxido de sódio em água; na retenção/purificação, em meio líquido, ocorrem as seguintes reações:

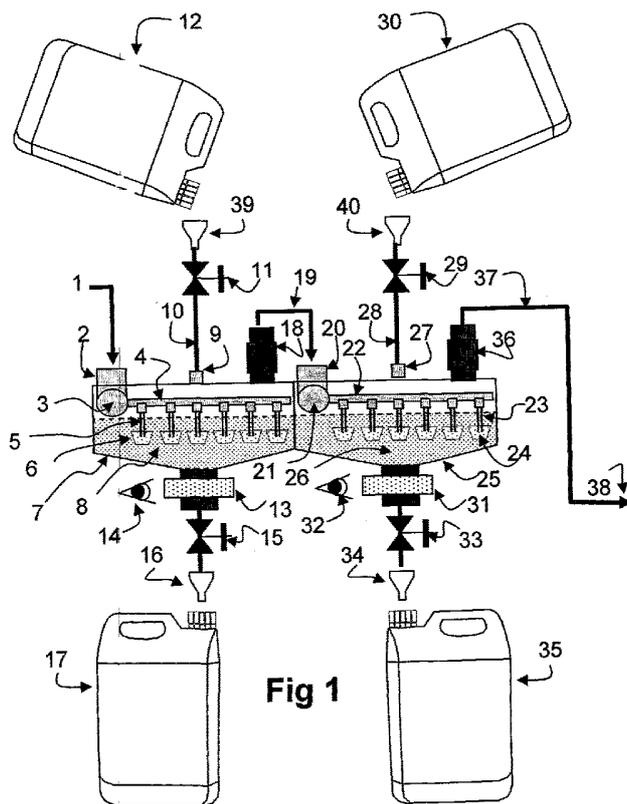


o gás reage com a solução básica formando a espécie predominante de carbonato solúvel; no processo de remoção/retenção do CO₂, com reação química, em fase líquida as reações se processam em temperatura ambiente (25 °C) com cinética muito rápida
 15 (instantânea), cujo aumento da temperatura não provoca alterações na cinética da reação; reservatório 25 de geometria combinada, prevalecendo o volume de um paralelepípedo dotado na base de uma pirâmide quadrangular, este último para facilitar a retirada da solução purificadora BETA 26 em material que pode ser de PVC rígido, polietileno de alta densidade ou outros materiais que apresentem baixo coeficiente de
 20 difusividade do metano, disposto de forma horizontal, para abrigar os elementos de purificação (tubo distribuidor 21, ramificação tubular primária 22, ramificação tubular secundária 23, acessórios de conexão, tampos difusores 24 e solução purificadora BETA 26 para retenção/remoção de CO₂) e garantir o contato fluido-gás; deste por meio do conector 36 e tubulação 37 com seu extremo no ponto 38 segue o fluxo de biogás
 25 para o próximo módulo de purificação ou dependendo do caso para sua utilização nas diversas aplicações, após a passagem pelos leitos de retenção e remoção do H₂S e do CO₂.

8. Dispositivo para retirada da solução purificadora BETA após saturação com CO₂ removido do biogás, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO
 30 por tubulação 43 de diâmetro que pode ser maior do que uma polegada e menor do que 3 polegadas, disposta na parte inferior (base) do reservatório 25 (carcaça) que abriga todos os elementos que compõem o módulo de purificação conectado em série a um

tubo transparente 31 para permitir a visualização 32 do grau de saturação da solução purificadora BETA 26, informação que define o tempo de troca/substituição da solução purificadora BETA 26 contida no reservatório 25 (carcaça), por meio da válvula 33 (registro), tubulação 44, funil 34 e acondicionado num reservatório 35 (recipiente com
5 tampa).

9. Dispositivo para a substituição da solução BETA de purificação 26, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO por recipiente 30 que abriga a solução BETA utilizada para a retenção/remoção de H_2S contido no biogás, a qual é alimentada no reservatório 26 (carcaça) por meio do funil 40, válvula 29, tubulação 28
10 de alimentação e conector 27 que conecta o tubo de alimentação 28 ao reservatório 25 (carcaça).



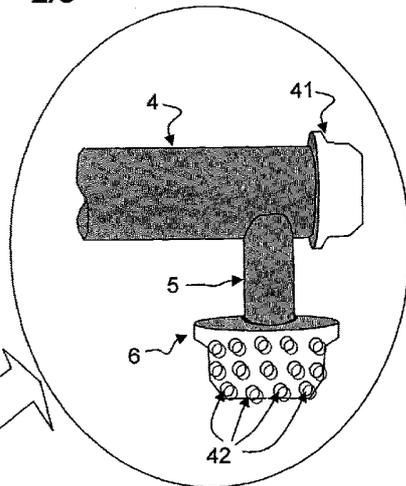
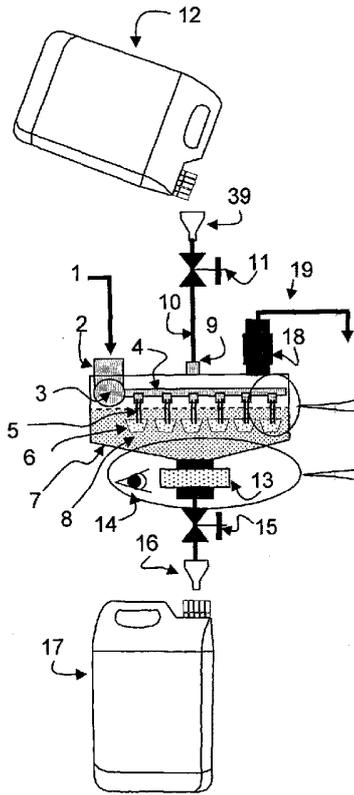


Fig 2

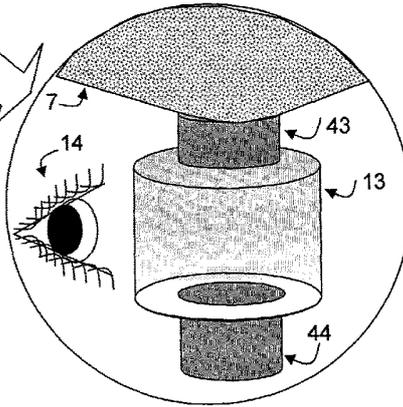


Fig 3

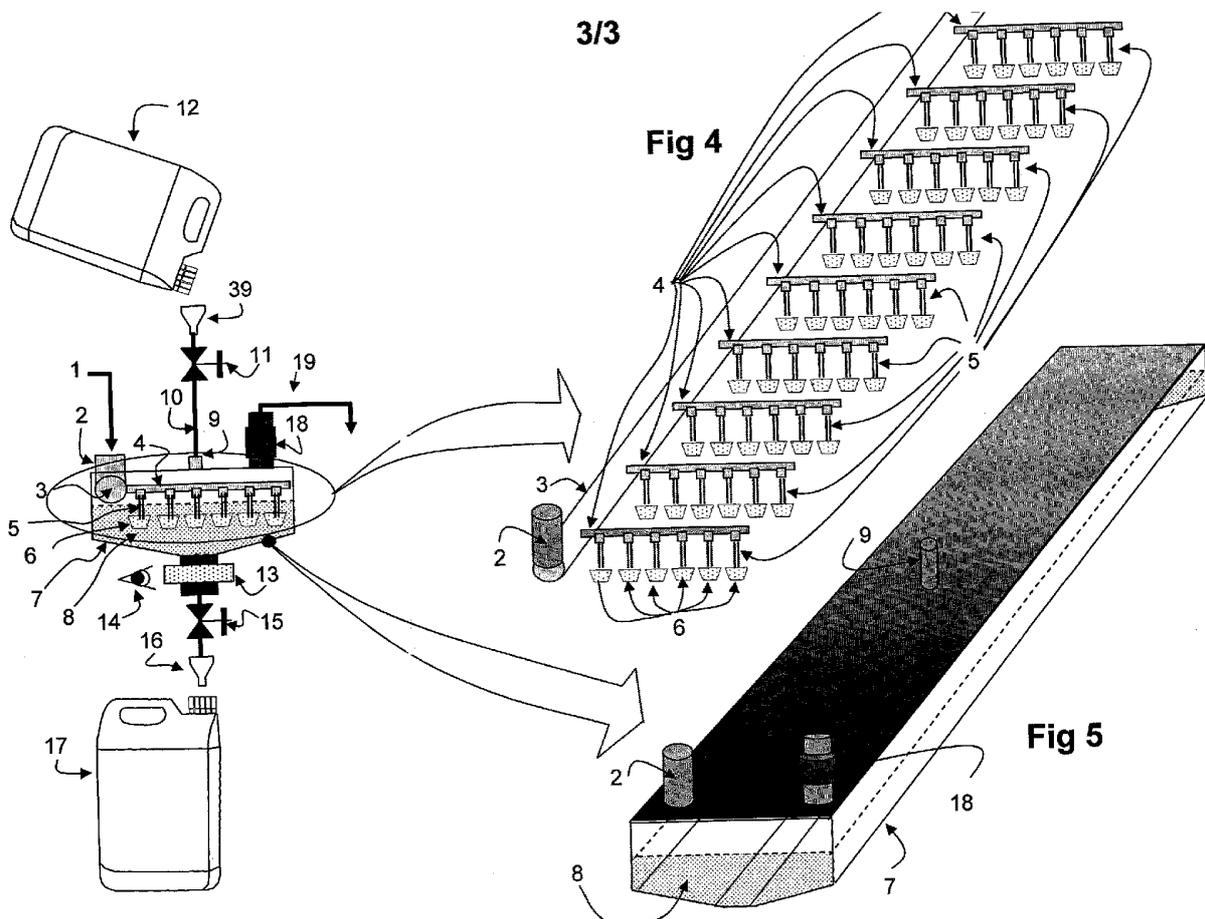


Fig 4

Fig 5

RESUMO

“SISTEMA PARA REMOÇÃO DO GÁS SULFÍDRICO E DO GÁS CARBÔNICO CONTIDO NO BIOGÁS RESULTANTE DA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DE RESÍDUO ORGÂNICOS”. Patente de invenção referente a um sistema que possibilita a remoção do gás sulfídrico e do gás carbônico contido no biogás resultante da biodigestão anaeróbica de resíduos orgânicos, cujo único requisito é a presença dos contaminantes (H_2S e CO_2) no biogás e a sua necessidade da remoção para viabilizar o melhor aproveitamento do biogás nas diversas aplicações. O sistema abrange método/tecnologia diferenciada para alimentação do biogás no dispositivo purificador, método/tecnologia diferenciada para a retenção dos contaminantes (H_2S e CO_2), método/tecnologia diferenciada para a substituição dos elementos purificadores (sem comprometer a continuidade operacional) e uma configuração diferenciada dos elementos que compõem o dispositivo purificador garantindo o aproveitamento do sistema num nível máximo de eficiência com baixos níveis de perdas de carga ao ponto de dispensar a necessidade de dispositivos pressurizadores. O tamanho, a quantidade e o arranjo dos módulos de purificação dependem do teor de H_2S e CO_2 contido na composição do biogás, bem como da vazão (produção) de biogás a ser purificada.