



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

(11) PI 1013077-2 B1



(22) Data do Depósito: 09/06/2010

(45) Data de Concessão: 17/11/2020

(54) Título: MÉTODO DE RECUPERAÇÃO DE UM GÁS RÁPIDO

(51) Int.Cl.: B01D 53/22; B01D 53/30; C01B 3/50.

(30) Prioridade Unionista: 10/06/2009 US 61/185,965; 14/07/2009 US 12/502,806.

(73) Titular(es): L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE.

(72) Inventor(es): EDGAR S. SANDERS, JR.; SARANG GADRE; MICHAEL D. BENNETT; IAN C. ROMAN; DAVID J. HASSE; INDRASIS MONDAL.

(86) Pedido PCT: PCT US2010037892 de 09/06/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/144523 de 16/12/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 09/12/2011

(57) Resumo: MÉTODO E SISTEMA PARA RECUPERAÇÃO DE GÁS COM BASE EM MEMBRANA Um gás rápido é recuperado a partir de um gás de alimentação contendo um gás rápido e pelo menos um gás lento usando uma membrana de separação de gás. Um controlador pode controlar uma válvula de controle associada a uma recirculação parcial de um gás permeado a partir da membrana para combinação com o gás de alimentação. Um controlador pode controlar uma válvula de controle associada à contrapressão de um gás residual a partir da membrana.

MÉTODO DE RECUPERAÇÃO DE UM GÁS RÁPIDO

Referência Cruzada a Pedido Relacionado

Este pedido de patente reivindica o benefício do Pedido de Patente Provisória U.S. Nº 61/185.965, depositado em 10 de junho de 2009.

Antecedentes

Há numerosos processos utilizando gases em que, devido ao custo relativamente alto do gás, seria desejável recuperá-los. Muitos desses processos, contudo, produzirão quantidades variáveis do gás para recuperação. Assim, um sistema de recuperação ideal recuperará de forma eficiente e econômica o gás, embora a quantidade de gás capaz de ser recuperada varie ao longo do tempo. Dois desses processos incluem torres de resfriamento de fibra ótica para a produção de fibras óticas e também um tratamento térmico de partes em fornos a vácuo. Aqueles versados na técnica de separação de gás reconhecerão que há numerosos outros processos os quais produzem esses fluxos variáveis e para os quais uma recuperação de um gás relativamente dispendioso pode ser desejável.

Na produção de fibras óticas, um vidro fundido é extrudado através de uma matriz. O vidro fundido é rapidamente resfriado de modo brusco usando-se uma torre de resfriamento longa (torre de estiramento). Para melhoria da transferência de calor na torre de resfriamento, Hélio é usado como um meio de transferência de calor. Devido ao fato de os suprimentos de Hélio serem poucos e os preços estarem crescendo, a captura e o reciclo do Hélio são desejados.

O reciclo de Hélio a partir da torre de estiramento de

resfriamento para fiação de fibra ótica é uma aplicação demandante. Devido à adição de ar ao Hélio durante o processo de recuperação a partir da torre, o Hélio extraído pode conter tão pouco quanto 60% de Hélio em volume com o
5 restante de ar. Seria desejável ter uma recuperação alta de Hélio de alta pureza. Um produto de Hélio de alta pureza (por exemplo, >99% vol/vol) para reciclo para a torre de resfriamento é requerido para eficiência de resfriamento, enquanto uma recuperação de Hélio alta útil é requerida
10 para justificativa econômica do processo de recuperação.

As instalações de fiação de fibra ótica típicas contêm múltiplas torres. O fluxo de Hélio por torre variará, dependendo das necessidades de resfriamento da torre. De forma concebível, cada torre pode ter um fluxo de
15 alimentação de Hélio diferente. Por razões econômicas, seria preferível tratar múltiplas torres com um sistema de recuperação de Hélio único. Um sistema potencial como esse, de modo ideal seria capaz de compensar estas mudanças no fluxo. Assim, um sistema potencial como esse deve ser capaz
20 de operar com ampla variação no fluxo de alimentação, conforme torres de estiramento individuais forem adicionadas ao serviço ou removidas de serviço.

Um tipo de tecnologia de separação de gás é uma separação de gás por membranas, em particular, membranas
25 poliméricas. Uma separação de gás à base de membrana é realizada pela alimentação de um gás de alimentação para uma entrada de uma membrana de separação de gás. Dependendo da composição da membrana polimérica, alguns casos (denominados gases rápidos) permearão através da membrana
30 até um grau maior do que outros gases (denominados gases

lentos). O(s) gás(es) rápido(s) é (são) coletado(s) em uma corrente de permeado, enquanto o(s) gás(es) lento(s) é (são) coletado(s) em uma corrente de retido ou resíduo. Vários propuseram o uso de membranas para a recuperação de Hélio a partir de torres de resfriamento de fibra ótica. No caso de membranas poliméricas de vidro, o Hélio é o gás rápido, enquanto os gases de ar oxigênio e nitrogênio são os gases lentos. Os sistemas de membrana são tipicamente projetados com base em uma vazão de alimentação fixa. Em outras palavras, o número de módulos de membrana de um dado tipo de membrana é designado com base em uma vazão fixa esperada de gás de alimentação a processar. O número de módulos de membrana requerido para uma dada aplicação é diretamente proporcional ao fluxo de alimentação. Para sistemas de membrana de fluxo de alimentação alto, um grande número de módulos de membrana é requerido. A inflexão de eficiência ("turndown") é o parâmetro o qual descreve a capacidade de um processo ou sistema de lidar com mudanças no fluxo de alimentação em relação ao fluxo máximo. Ele pode ser expresso em termos da equação a seguir:

$$\text{Inflexão de eficiência} = [1 - (\text{fluxo de alimentação real}) / (\text{fluxo de alimentação máximo})] \times 100\%$$

As mudanças na inflexão de eficiência para sistemas relativamente grandes podem ser facilmente acomodadas pela ativação ou desativação de um ou mais dos múltiplos módulos de membrana. Em resumo, a área superficial de membrana total sujeita ao gás de alimentação é ajustada para compensação de mudanças no fluxo de alimentação.

Para sistemas de fluxo de alimentação relativamente

baixos, tais como colunas de estiramento de fibra ótica, esta abordagem de módulo múltiplo é desafiadora. Isto é porque no fluxo máximo a pureza de produto desejada e a recuperação podem ser obtidas com um módulo de membrana de escala comercial único. Por exemplo, uma única membrana de 1" (25,4 mm) ou 2" (50,8 mm) de diâmetro (frequentemente o menor dispositivo de membrana disponível comercialmente) pode ser suficiente para o fluxo máximo. Embora o uso de um módulo de membrana único possa ser efetivo em termos de custo, em termos de gasto de capital, uma performance inaceitável pode ser realizada em fluxos significativamente mais baixos do que o fluxo máximo. Uma solução potencial para se dirigir ao problema associado a esses fluxos baixos é utilizar a abordagem de módulo múltiplo mencionada acima.

De modo a adaptar a abordagem de módulo múltiplo a esses fluxos baixos, numerosos permeadores pequenos fabricados personalizados precisariam ser usados. Assim, isto se torna uma solução altamente personalizada e ineficiente (no sentido de custo).

No tratamento térmico de partes em fornos a vácuo, a temperatura relativamente alta das partes é rapidamente resfriada bruscamente com o uso de um gás de resfriamento inerte, tal como Hélio. Dependendo da quantidade de partes precisando de tratamento térmico, um ou mais dos fornos a vácuo podem ser colocados em operação ou retirados de operação. Enquanto isso, alguns propuseram várias estratégias para o reciclo do gás de resfriamento incluindo uma etapa de purificação a qual pode envolver o uso de membranas de separação de gás. De modo similar ao reciclo de Hélio a partir de torres de resfriamento de fibra ótica,

seria preferível, por razões econômicas, reciclar gases inertes, tal como Hélio a partir de múltiplos fornos a vácuo usando um sistema de recuperação de gás único, tal como um utilizando membranas de separação de gás. Um
5 sistema potencial como esse de modo ideal seria capaz de compensar uma ampla variação no fluxo de alimentação, conforme fornos a vácuo individuais fossem adicionados ao serviço ou removidos do serviço.

Com respeito ao Hélio em particular, vários propuseram
10 estratégias de recuperação na literatura de patente.

A Patente U.S. Nº 6.517.791 descreve um sistema de recuperação de Hélio para a formação de aspersão a frio. A membrana opera em um passe único. As metas de purificação para o sistema são aumentar o teor de Hélio para
15 aproximadamente 90% de He a 97% de He, um aumento relativamente estreito. Em contraste, uma recuperação de Hélio a partir de fiação de fibra ótica frequentemente requer um enriquecimento relativamente maior do gás.

A Patente U.S. Nº 4.448.582 usa um método criogênico
20 para a recuperação de Hélio para reciclo em uma torre de estiramento de fibra ótica.

As Patentes U.S. Nº 5.377.491 e 5.452.583 também se referem ao reciclo de Hélio a partir de uma torre de estiramento de fibra ótica. Uma membrana é descrita como um
25 de vários métodos para a purificação de Hélio para reciclo na torre de estiramento. De modo similar, as Patentes U.S. Nº 6.092.391 e 6.253.575 B1 descrevem sistemas de recuperação de Hélio mais completos para o processo inteiro de fiação de fibra ótica, incluindo consolidação, forno de
30 estiramento e resfriamento de fibra com estiramento. Um

sistema de membrana é descrito como um meio para a recuperação do Hélio.

A Patente U.S. N° 5.158.625 mostra um processo para tratamento térmico de artigos pelo endurecimento deles em
5 um meio de gás de recirculação o qual está em contato com os artigos tratados, o gás de endurecimento sendo resfriado por meio de um trocador de calor, do tipo no qual Hélio é usado como um gás de endurecimento. No fim de uma operação de endurecimento, uma carga de Hélio é extraída do
10 invólucro de tratamento, na fase final por meio de uma bomba, até um vácuo primário ser obtido. O Hélio extraído é levado para uma pressão de purificação por meio de um compressor associado a um filtro mecânico e o Hélio sob uma pressão de purificação é enviado para um purificador no
15 qual as impurezas são removidas.

A Patente U.S. N° 6.517.791 mostra um processo em três estágios para a recuperação e a purificação de um gás Hélio, e um sistema para uso do processo em três estágios. Um gás a partir de uma câmara de formação de aspensão a
20 frio é introduzido em um aparelho de remoção de particulado para a formação de um gás Hélio sem particulados. Uma primeira porção do gás Hélio sem particulado é reciclada de volta para a câmara. Uma segunda porção do gás Hélio sem particulado é passada para um primeiro compressor, antes da
25 passagem por uma membrana de purificação de gás Hélio para a formação de um gás Hélio purificado e um gás de exaustão. O gás Hélio purificado então é passado para mistura com a primeira porção de gás Hélio sem particulado para a câmara. Uma terceira porção do gás Hélio sem particulado é passada
30 para um aparelho separador de líquido para a remoção de

água e um receptor para amortecer qualquer pulsação para a formação de um gás Hélio sem líquido. O gás Hélio sem líquido é reciclado para a câmara de formação de aspersão a frio.

5 Embora a literatura de patente acima mostre várias soluções, nenhuma mostra os métodos se dirigindo satisfatoriamente à questão de uma faixa ampla de vazão de alimentação.

10 Assim, é um objetivo prover um método melhorado e um sistema para recuperação à base de membrana de um gás os quais são adaptados para se obter uma pureza suficientemente alta por uma faixa ampla de vazões de alimentação.

15 É um outro objetivo prover um método melhorado e um sistema para uma recuperação à base de membrana de um gás os quais são adaptados para se obter uma recuperação suficientemente alta por uma faixa ampla de vazões de alimentação.

20 É ainda um outro objetivo prover um método melhorado e um sistema para uma recuperação à base de membrana de um gás os quais são adaptados para funcionarem satisfatoriamente por uma ampla faixa de vazões de alimentação, enquanto se incorre satisfatoriamente em baixos custos de capital.

25 **Sumário**

 É mostrado um método de recuperação de um gás rápido a partir de um processo produzindo uma vazão variável de um gás de exaustão compreendendo um gás rápido e pelo menos um gás lento. O método inclui as etapas a seguir. Uma
30 pluralidade de fontes de uma mistura de gás é provida, em

que a mistura de gás compreende gases rápidos e lentos. Uma corrente de gás de alimentação é obtida a partir de uma ou mais fontes, em que a corrente de gás de alimentação compreende os gases rápidos e lentos, e a corrente de gás de alimentação tem uma vazão variável com base em quantas da pluralidade de fontes estão ativamente produzindo a mistura de gás. A corrente de gás de alimentação é comprimida. O gás de alimentação comprimido é alimentado para uma membrana de separação de gás primário. Uma corrente de permeado primário é enriquecida no gás rápido e uma corrente de resíduo primário deficiente no gás rápido é retirada da membrana de separação de gás primário. Uma primeira porção da corrente de permeado primário é dirigida para o compressor, em que a primeira porção é combinada e comprimida com a corrente de gás de alimentação. Uma porção remanescente da corrente de permeado primário é retirada para a provisão de um gás de produto. Um grau até o qual a corrente de permeado primário é alocada entre a primeira porção e a porção remanescente é ajustada com base em um parâmetro de operação do método.

Também é mostrado um sistema para a recuperação de um gás de interesse a partir de um processo produzindo uma vazão variável de um gás de exaustão. O sistema inclui: uma pluralidade de fontes de um gás de exaustão; um conduto de gás de alimentação em comunicação de fluido seletiva com a pluralidade de fontes; um compressor que tem uma entrada em comunicação de fluido com o conduto de gás de alimentação e uma saída; uma membrana de separação de gás primário que tem uma entrada, uma saída de permeado e uma saída de resíduo; um conduto de permeado primário em comunicação de

fluido com a saída de permeado da membrana de separação de gás primário; um conduto de gás de produto em comunicação de fluido com o conduto de permeado primário; um conduto de reciclo em comunicação de fluido entre o conduto de permeado primário e a entrada de compressor; uma válvula de controle de reciclo em comunicação de fluido com o conduto de permeado primário, o conduto de reciclo e o conduto de gás de produto; e um controlador adaptado para controlar o ajuste proporcional pela válvula de controle de reciclo. O gás de exaustão inclui um gás rápido e pelo menos um gás lento. A válvula de controle de reciclo é adaptada para ajustar uma proporção do gás permeado que tem permissão para fluir a partir do conduto de permeado primário para o conduto de reciclo versus o conduto de gás de produto. A entrada da membrana de separação de gás primário está em comunicação de fluido com a saída de compressor. A membrana de separação de gás primário é preferencialmente permeável ao gás rápido versus pelo menos um gás lento.

O método e/ou o sistema podem incluir um ou mais dos aspectos a seguir:

- o parâmetro de operação é selecionado a partir do grupo que consiste em um número da pluralidade de fontes a partir das quais a corrente de gás de alimentação é obtida, uma pureza do gás de produto, uma recuperação do gás de interesse obtido pela execução do referido método, uma vazão da corrente de gás de alimentação, e uma pressão da corrente de gás de alimentação e uma primeira porção combinadas da corrente de permeado primário.

- a pluralidade de fontes compreende uma pluralidade de torres de resfriamento de fibra ótica, o gás rápido é

Hélio e o gás lento é ar.

- a pluralidade de fontes compreende uma pluralidade de fornos de Hélio e o gás rápido é Hélio.

- o método ainda compreende as etapas de:

- 5 • alimentação da corrente de resíduo primário para uma membrana de separação de gás secundário;
- retirada a partir da membrana de separação de gás secundário de uma corrente de permeado secundário e uma corrente de resíduo secundário; e

- 10 • direcionamento da corrente de permeado secundário para o compressor, em que a corrente de permeado secundário é comprimida com a primeira porção e a corrente de gás de alimentação.

- a referida etapa de obtenção de uma corrente de gás de alimentação compreende as etapas de:

- 15 • combinação de correntes de gás de exaustão a partir de uma ou mais da pluralidade de fontes;
- compressão das correntes de gás de exaustão combinadas;
- 20 • alimentação das correntes de gás de exaustão combinadas comprimidas para uma membrana de separação de gás secundário; e

- retirada a partir da membrana de separação de gás secundário de uma corrente de permeado secundário enriquecida no gás rápido e uma corrente de resíduo secundário deficiente no gás rápido, em que o permeado secundário é a corrente de gás de alimentação.

- o método ainda compreende as etapas de:

- 30 • provisão de uma válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de permeado

primário; e

- envio de um sinal para um controlador representativo do número da pluralidade de fontes a partir das quais a corrente de gás de alimentação é obtida, em que:

- o parâmetro de operação é o número da pluralidade de fontes a partir das quais a corrente de gás de alimentação é obtida; e

- o controlador controla a alocação da corrente de permeado primário para a primeira porção e a porção remanescente através da válvula de controle com base no sinal.

- o método ainda compreende as etapas de:

- provisão de uma válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de permeado primário, a válvula de controle sendo adaptada para seletivamente ajustar uma pressão da corrente de resíduo primário;

- medição de uma pureza do gás rápido no gás de produto; e

- envio de um sinal para o controlador representativo da pureza medida, em que o controlador controla o ajuste da pressão da corrente de resíduo primário com base na pureza medida através da válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de resíduo primário.

- a referida etapa de obtenção de uma corrente de gás de alimentação compreender as etapas de:

- combinação de correntes de gás de exaustão a partir de uma ou mais da pluralidade de fontes;

- compressão das correntes de gás de exaustão combinadas;

- alimentação das correntes de gás de exaustão combinadas comprimidas para uma membrana de separação de gás secundário; e

- retirada a partir da membrana de separação de gás secundário de uma corrente de permeado secundário enriquecida no gás rápida e uma corrente de resíduo secundário deficiente no gás rápido, em que o permeado secundário é a corrente de gás de alimentação; e

- o método compreende adicionalmente as etapas de:

- provisão de uma válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de resíduo secundário, a válvula de controle sendo adaptada para seletivamente ajustar uma pressão da corrente de resíduo secundário;

- determinação de uma pureza do gás rápido no gás de produto; e

- envio de um sinal para o controlador representativo da pureza medida, em que o controlador controla o ajuste da pressão da corrente de resíduo secundário com base na pureza medida através da válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de resíduo secundário.

- o método compreende adicionalmente as etapas de:

- provisão de uma válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de permeado primário;

- determinação de uma recuperação do rápido obtido pela execução do referido método;

- envio de um sinal para um controlador representativo da recuperação determinada, em que:

- o parâmetro de operação é a recuperação do gás de interesse obtida pela execução do referido método;

5 - o controlador controla a alocação da corrente de permeado primário para a primeira porção e a porção remanescente com base no sinal através da válvula de controle.

- o método compreende adicionalmente as etapas de:

10 • provisão de uma válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de resíduo primário, a válvula de controle sendo adaptada para seletivamente ajustar uma pressão da corrente de resíduo primário;

15 • medição de uma pureza do gás rápido no gás de produto;

 • envio de um sinal para um controlador representativo da pureza medida, em que o controlador controla o ajuste da pressão de corrente de resíduo primário com base no sinal de pureza de gás de produto através da válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de resíduo primário.

20

- a etapa de obtenção de uma corrente de gás de alimentação compreende as etapas de:

25 • combinação de correntes de gás de exaustão a partir de uma ou mais da pluralidade de fontes;

- compressão das correntes de gás de exaustão combinadas;

- alimentação das correntes de gás de exaustão combinadas comprimidas para uma membrana de separação

30

de gás secundário;

- retirada a partir da membrana de separação de gás secundário de uma corrente de permeado secundário enriquecida no gás rápido e uma corrente de resíduo secundário deficiente no gás rápido, em que o permeado secundário é a corrente de gás de alimentação; e

- o método compreende adicionalmente as etapas de:

- provisão de uma válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de resíduo secundário, a válvula de controle sendo adaptada para seletivamente ajustar uma pressão da corrente de resíduo secundário;

- medição de uma pureza do gás rápido no gás de produto;

- envio de um sinal para o controlador representativo da pureza medida, em que o controlador controla o ajuste da pressão da corrente de resíduo secundário com base na pureza medida através da válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de resíduo secundário.

- o método compreende adicionalmente as etapas de:

- provisão de um controlador;
- execução das referidas etapas de método enquanto a corrente de gás de alimentação tem uma primeira vazão;

- mudança do número de torres de resfriamento a partir das quais a corrente de gás de alimentação é obtida, desse modo mudando a vazão da corrente de gás de alimentação;

- envio de um sinal para o controlador

representativo do novo número de torres de resfriamento a partir das quais o gás de alimentação é obtido;

• ajuste com o controlador do grau até o qual a corrente de permeado primário é alocada entre a primeira porção e a porção remanescente com base no sinal.

- o método compreende adicionalmente as etapas de:

• medição de uma pressão da corrente de gás de alimentação e da primeira porção de corrente de permeado combinadas;

• provisão de uma válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de permeado primário; e

• envio de um sinal para um controlador representativo da pressão medida, em que:

- o parâmetro de operação é a pressão da corrente de gás de alimentação e da primeira porção de permeado primário combinadas; e

- o controlador controla a alocação da corrente de permeado primário para a primeira porção e a porção remanescente através da válvula de controle com base no sinal.

- o gás rápido e o gás lento são selecionados a partir do grupo que consiste em: H_2 e Ne, H_2 e CO_2 , H_2 e CH_4 , H_2 e N_2 , H_2 e O_2 , H_2 e O_2/N_2 , CO_2 , e N_2 , CO_2 e O_2 , CO_2 e N_2/O_2 , CO_2 e CH_4 , Ne e N_2 , Ne e O_2 , Ne e N_2/O_2 , He e N_2 , He e O_2 , He e N_2/O_2 .

- o gás rápido é Hélio e o gás lento é ar.

- uma membrana de separação de gás secundário tem uma

entrada em comunicação de fluido com a saída de resíduo da membrana de separação de gás primário, uma saída de resíduo secundário e uma saída de permeado secundário; e

5 - um conduto de permeado secundário está em comunicação de fluido entre a saída de permeado da membrana de separação de gás secundário e o conduto de reciclo.

 - uma membrana de separação de gás secundário tem uma entrada em comunicação de fluido seletiva com a pluralidade de fontes, uma saída de resíduo secundário e uma saída de permeado secundário em comunicação de fluido com o conduto de gás de alimentação.

10

 - um dispositivo detectando se uma ou mais das fontes estão ou não ativamente produzindo o gás de exaustão é incluído, em que o controlador é adicionalmente adaptado para receber um sinal a partir do dispositivo de detecção representativo do número de fontes que estão ativamente produzindo o gás e controlar o ajuste proporcional pela válvula de controle de reciclo com base no sinal.

15

 - o controlador é adicionalmente adaptado para:

20 • receber um sinal a partir de um dispositivo de detecção que é representativo de uma recuperação do gás rápido que é obtido pela separação do referido sistema; e

 • controlar o ajuste proporcional pela válvula de controle de reciclo com base no sinal de recuperação.

25

 - um dispositivo de detecção é incluído, que é adaptado para medir uma concentração do gás rápido no gás de produto no conduto de gás de produto e enviar um sinal para o controlador representativo da concentração medida, em que o controlador é adicionalmente adaptado para:

30

- receber o sinal de concentração a partir do dispositivo de detecção; e
- controlar o ajuste proporcional pela válvula de controle de reciclo com base no sinal de concentração.

5 - uma membrana de separação de gás secundário é incluída que tem uma entrada em comunicação de fluido com a saída de resíduo da membrana de separação de gás primário uma saída de resíduo secundário e uma saída de permeado secundário.

10 - um conduto de permeado secundário está em comunicação de fluido entre a saída de permeado da membrana de separação de gás secundário e o conduto de reciclo, em que as fontes são torres de resfriamento de fibra ótica e o gás rápido é Hélio.

15 **Breve Descrição dos Desenhos**

Para um entendimento adicional da natureza e dos objetivos da presente invenção, uma referência deve ser feita à descrição detalhada a seguir, tomada em conjunto com os desenhos associados, nos quais elementos iguais
20 recebem os mesmos números de referência ou análogos, e em que:

a figura 1 é um esquema de uma modalidade do processo e do sistema para a recuperação de um gás de interesse a partir de um processo produzindo uma ampla variação de
25 vazões.

A figura 2 é um esquema de uma outra modalidade do processo e do sistema para a recuperação de um gás de interesse a partir de um processo produzindo uma ampla variação de vazões.

30 A figura 3 é um esquema de uma outra modalidade do

processo e do sistema para a recuperação de um gás de interesse Hélio a partir de um processo produzindo uma ampla variação de vazões.

5 A figura 4 é um esquema de uma modalidade do processo e do sistema para a recuperação de Hélio a partir de um processo de produção de fibra ótica.

A figura 5 é um esquema de uma outra modalidade do processo e do sistema para a recuperação de Hélio a partir de um processo de produção de fibra ótica.

10 A figura 6 é um esquema de uma outra modalidade do processo e do sistema para a recuperação de Hélio a partir de um processo de produção de fibra ótica.

Descrição de Modalidades Preferidas

O presente método e o sistema são dirigidos ao uso de um ou mais estágios de membrana de separação de gás em série, usando um reciclo parcial da corrente de permeado que é capaz de obter uma pureza suficientemente alta de um gás rápido de interesse em uma recuperação suficientemente alta a partir de um processo produzindo fluxos amplamente variáveis de uma mistura de gás incluindo o gás rápido e um ou mais gases lentos.

Aqueles versados na técnica de separação de gás à base de membrana reconhecerão que há numerosas combinações de misturas de gás e membranas de separação de gás que separam a mistura de gás em uma corrente de permeado compreendendo um gás rápido e uma corrente de resíduo compreendendo um ou mais gases lentos. Eles entenderão que o método e o sistema mostrados podem ser aplicados em qualquer combinação como essa. Os exemplos específicos de combinações de gás rápido e de gás lento incluem, mas não estão limitados a: H_2 e Ne,

H₂ e CO₂, H₂ e CH₄, H₂ e N₂, H₂ e O₂, H₂ e O₂/N₂, H₂ e ar, CO₂, e N₂, CO₂ e O₂, CO₂ e N₂/O₂, CO₂ e ar, CO₂ e CH₄, Ne e N₂, Ne e O₂, Ne e N₂/O₂, Ne e ar, He e N₂, He e O₂, He e N₂/O₂, He e ar.

5 A mistura de gás contendo os gases rápidos e lentos vem a partir de um processo que produz a mistura de gás em vazões variáveis. Embora aqueles versados na técnica de separação de gás à base de membrana reconheçam que há numerosos tipos desses processos, os exemplos específicos
10 desses processos incluem, mas não estão limitados a processos de produção de fibra ótica utilizando um resfriamento com Hélio em uma pluralidade de torres de resfriamento e processos utilizando um resfriamento com Hélio a partir de uma pluralidade de fornos a vácuo.

15 Independentemente de a partir de qual processo em particular a mistura de gás é derivada, a mistura de gás contendo os gases rápidos e lentos é coletada a partir de uma ou mais fontes da mistura de gás (tais como torres de resfriamento ou fornos a vácuo) para a provisão de uma
20 corrente de gás de alimentação para tratamento por uma ou mais membranas de separação de gás. O presente método e o sistema utilizam uma área de membrana fixa. Isto significa que nenhuma porção da área superficial de membrana total é adicionada ou removida quando a vazão de gás de alimentação
25 diminui ou aumenta. O presente método e o sistema são capazes de manterem ou excederem a purezas de produto úteis (por exemplo, >99+ %) e manterem ou excederem recuperações de produto úteis (por exemplo, >90%) sob uma faixa de inflexão de eficiência tão ampla quanto 0 a 87,5%. Esta
30 flexibilidade inesperadamente boa é obtida por um reciclo

parcial da corrente de permeado.

O presente método e o sistema são especialmente aplicáveis a uma pluralidade de torres de resfriamento ou fornos de plasma, cada um dos quais não necessariamente operando todo o tempo. Por exemplo, durante momentos de produção de pico de fibra ótica ou de operação de forno, todas as torres de resfriamento (por exemplo, 6) ou fornos podem estar em operação. Por outro lado, durante momentos de produção mínima, menos do que todas as torres de resfriamento (por exemplo, 1) ou fornos podem estar em operação.

Uma descrição de um primeiro conjunto de três modalidades agora se segue, com referência às figuras 1 a 3.

Com referência à figura 1, o sistema 100 inclui uma corrente de alimentação FS que compreende os gases rápidos e lentos que tem uma vazão variável e é coletada a partir de uma pluralidade de fontes (não mostradas) da mistura de gases rápidos e lentos. Por um período de tempo, a vazão pode variar tanto quanto um fator de 8:1 com 8 representando a vazão máxima e 1 representando a vazão mínima. Isto corresponde a uma inflexão de eficiência de 87,5%. A corrente de alimentação FS pode estar à pressão ambiente, acima da ambiente ou abaixo da ambiente, dependendo do processamento a montante.

A corrente de alimentação FS é dirigida para a entrada de um compressor C, onde é comprimida para em torno da pressão de operação da membrana de separação de gás GSM1. Na membrana de separação de gás GSM1, o gás rápido de interesse (tal como Hélio) preferencialmente permeia

através da membrana. A corrente de permeado resultante PERM1 é enriquecida no gás rápido e deficiente nos gases lentos (tais como os gases de ar oxigênio e nitrogênio). A porção não de permeado da mistura de gás deixa a membrana GSM1 como a corrente de resíduo RES1.

Alguém de conhecimento comum na técnica reconhecerá que o tamanho relativo da membrana GSM1 (ou os tamanhos relativos das membranas GSM1, GSM2 nas modalidades das figuras 2 a 3 e 5 a 6) pode ser calculado com base na área superficial total da membrana GSM1 (ou na área superficial total das membranas GSM1, GSM2 nas modalidades das figuras 2 a 3 e 5 a 6), o que é um fator da vazão máxima esperada da corrente de alimentação FS. Em outras palavras, a quantidade da corrente de alimentação FS que é obtida quando todas as fontes da mistura de gases rápidos e lentos (tais como torres de resfriamento ou fornos de Hélio) estão sendo operadas à plena capacidade comandarão o tamanho da membrana GSM1 (ou o tamanho das membranas GSM1, GSM2) utilizada. Alguém de conhecimento comum no campo de separação de gás reconhecerá que, com base na composição da corrente de alimentação FS (daí, dos gases rápidos e lentos), um tipo adequado de material para a membrana GSM1 (e, no caso de sistemas 200, 300, a membrana GSM2) pode ser selecionado.

A corrente de permeado PERM1 é dividida em dois fluxos. Um fluxo é combinado com a corrente de alimentação FS e enviada de volta para o compressor C. O outro fluxo é dirigido através da válvula de controle CVb para a provisão de uma corrente de produto PS. Uma pequena porção da corrente de produto PS é retirada continuamente ou em

intervalos pelo analisador A e a concentração do gás rápido de interesse (ou um parâmetro equivalente correspondente à concentração do gás de interesse, tal como a condutividade térmica) é medida. Em uma operação normal, a corrente de produto PS tem uma pureza útil para um produto (por exemplo, de mais de 99%). Um sinal representativo da pureza medida é enviado pelo analisador A para o controlador lógico programável PLC.

Conforme ilustrado na figura 2, o sistema 200 difere do sistema 100, porque ele provê uma segunda membrana de separação de gás GSM2 colocada em série a jusante da membrana de separação de gás GSM1. A corrente de resíduo RES1 é dirigida à entrada da segunda membrana GSM2. A corrente de resíduo RES2 a partir da segunda membrana GSM2 é enviada para ventilação através da válvula de controle CVa. Como antes, uma porção da corrente de permeado PERM1 é dirigida diante da válvula de controle CVb e retirada como a corrente de produto PS, enquanto uma outra porção é combinada com a corrente de alimentação FS para compressão no compressor C. Toda a corrente de permeado PERM2 a partir da segunda membrana de separação de gás GSM2 também é combinada com a corrente de alimentação FS e a porção mencionada acima da corrente de permeado de primeiro estágio PERM1. Deve ser notado que as posições das duas correntes de permeado PERM1, PERM2 em relação à válvula de controle CVb e ao compressor C devem ser separadas por uma distância suficiente. Isto permite que toda a corrente de permeado PERM2 seja dirigida para o compressor C, ao invés de fluir em direção à válvula de controle CVb.

O arranjo em série do sistema 200 é vantajoso pelo

fato de prover uma recuperação maior do gás rápido em comparação com apenas um estágio de membrana de separação de gás. Deve ser notado que mais de dois estágios de separação de gás à base de membrana podem ser implementados. Se três membranas de separação de gás forem usadas em série, a corrente de resíduo GSM2 será dirigida para a terceira membrana de separação de gás, ao invés de ser ventilada e a corrente de permeado a partir da terceira membrana de separação de gás será combinada com aquelas das primeira e segunda membranas de separação de gás GSM1, GSM2. Este conceito pode ser expandido para estágios adicionais, por meio do que da segunda à última corrente de resíduo é dirigida para a entrada do último estágio e tudo, menos as primeiras corrente de permeado PERM1 é reciclado de volta para o compressor C. O limite para o número de estágios será largamente determinado pela capacidade do compressor C de comprimir os fluxos de permeado combinados para a obtenção de uma alimentação para a entrada da primeira membrana de separação de gás GSM1 que tem uma pressão suficientemente alta o bastante.

Conforme mais bem mostrado na figura 3, o sistema 300 é similar ao sistema 100, exceto pelo fato de duas membranas de separação de gás GSM1, GSM2 serem usadas. A corrente de alimentação FS é alimentada para a entrada da segunda membrana GSM2, onde o gás rápido de interesse (tal como Hélio) preferencialmente permeia através dali, em comparação com gás(es) lento(s) (tais como os gases do ar oxigênio e nitrogênio). A corrente de resíduo RES2 a partir da segunda membrana GSM2 é ventilada de uma maneira controlada pela válvula de controle CVc, enquanto a

corrente de permeado PERM2 é combinada com uma porção da corrente de permeado PERM1 a partir da primeira membrana GSM1 e dirigida para o compressor C. A válvula de controle CVc pode ser ajustada pelo controlador PLC para ajudar na
5 obtenção de uma pureza de gás rápido desejada e uma recuperação.

O uso de dois estágios de separação de gás à base de membrana no sistema 300 permite que uma maior pureza seja obtida na corrente de produto PS e permite uma redução no
10 tamanho do compressor C. Também permite uma recuperação melhorada do gás rápido, porque a eficiência da recuperação pela membrana de separação de gás GSM1 é intensificada pela concentração mais alta de gás rápido resultante da utilização da corrente de permeado PERM2 a partir da
15 membrana de separação de gás GSM2 como a corrente de alimentação FS.

Com referência a cada uma das modalidades das figuras 1 a 3, o método e o sistema podem ser controlados de várias formas. Muitos tipos diferentes de parâmetros de operação
20 podem ser controlados através de uma manipulação das válvulas de controle Cva, CVb. Aqueles versados na técnica de separação de gás à base de membrana reconhecerão que um controle de um parâmetro terá um efeito sobre outros parâmetros. Por exemplo, um ajuste de pureza de corrente de
25 produto PS par acima pode ter um efeito prejudicial sobre a recuperação. Assim, pode ser preferível controlar de forma simultânea ou contemporânea mais de um parâmetro de operação de cada vez.

A pureza da corrente de produto PS pode ser
30 controlada. A pureza da corrente de produto PS é a mesma

que a pureza de PERM1 e, preferencialmente, pode ser controlada através do ajuste pelo controlador PLC de válvula de controle CVa para aumento ou diminuição da contrapressão na corrente de resíduo RES1 (ou no caso do sistema 200, a corrente de resíduo RES2). Quando o controlador PLC determina que a pureza está abaixo do ponto de regulagem, ele abre CVa para aumentar a contrapressão na corrente de resíduo RES1 (ou na corrente de resíduo RES2, no caso do sistema 200). Isto aumenta a força de acionamento para o gás rápido através da membrana GSM1 e, desse modo, a pureza na corrente de permeado PERM1 e na corrente de produto PS. Até a pureza do gás rápido a ser recuperado e usado atingir um ponto de regulagem desejado, a corrente de produto PS pode ser ventilada ou suplementada com um gás rápido puro. Uma vez que a pureza atinja o ponto de regulagem desejado, a válvula de controle CVa pode ser mantida em sua regulagem atual. O técnico versado reconhecerá que o ajuste de pureza para cima terá o efeito de ajustar a recuperação para baixo. Se a pureza for bem além acima do ponto de regulagem de pureza, a válvula de controle CVa poderá ser ajustada para baixo para aumento da contrapressão na corrente de resíduo RES1 (ou, no caso do sistema 200, da corrente de resíduo RES2) e, desse modo, reduzir a pureza das correntes PERM1 e PS.

Alternativamente, a pureza pode ser controlada de uma forma menos preferida pelo ajuste do grau até o qual a válvula de controle CVb desvia uma porção da corrente de permeado PERM1 para ser reciclada de volta para combinação com a corrente de gás de alimentação FS (ou, no caso do sistema 200, também com a corrente de permeado PERM2 a

partir da segunda membrana GSM2). Quando a pureza é baixa demais, o controlador PLC ajusta a válvula de controle CVb para diminuir a fração da corrente de permeado PERM1 para a corrente de produto PS, desse modo reciclando uma porção maior para combinação com a corrente de gás de alimentação FS. Uma vez que a pureza da corrente de produto PS atinja o ponto de regulação desejado, a válvula de controle CVb pode ser mantida em sua regulação atual, e o grau até o qual a corrente de permeado PERM1 é reciclada poderá ser fixado.

A recuperação do gás rápido pode ser controlada. Enquanto alguém de conhecimento comum na técnica reconhecerá que a recuperação do gás rápido pode ser calculada de uma ampla variedade de formas e que numerosas derivações matemáticas podem ser feitas a partir desses cálculos, duas formas típicas de cálculo da recuperação incluem as fórmulas a seguir:

$$1) \quad R = \frac{\text{MFR}_{\text{product}} \times C_{\text{product}}}{(\text{MFR}_{\text{product}} \times C_{\text{product}}) + (\text{MFR}_{\text{residue}} \times C_{\text{residue}})} \quad ; \text{ ou}$$

$$2) \quad = \frac{\text{MFR}_{\text{product}} \times C_{\text{product}}}{\text{MFR}_{\text{feed}} \times C_{\text{feed}}}$$

em que MFR é a vazão em massa e C é a concentração.

Alternativamente, se o método e o sistema estiverem funcionando apropriadamente, as concentrações da corrente de alimentação FS e da corrente de produto PS podem ser assumidas como sendo constantes. Assim, a recuperação seria calculada como a vazão em massa da corrente de produto PS dividida pela vazão em massa da corrente de alimentação FS. Em ainda uma outra alternativa, quando a corrente de

produto PS é suplementada com gás rápido puro e reciclada de volta para a fonte de vazão variável, preferencialmente a recuperação é calculada com uma vazão em massa da corrente de produto PS dividida pela vazão em massa do
5 fluxo de corrente de produto PS e gás rápido puro de constituição. Independentemente de qualquer que seja a forma de recuperação definida, os sinais representativos dos parâmetros sobre os quais a recuperação é calculada são enviados para o controlador PLC para a derivação da
10 recuperação e a comparação dela com a recuperação de ponto de regulação.

Com referência continuada às modalidades das figuras 1 a 3, a recuperação pode ser controlada pelo ajuste do grau até o qual a válvula de controle CVb desvia uma porção da
15 corrente de permeado PERM1 a ser reciclada de volta para combinação com a corrente de gás de alimentação FS (ou no caso do sistema 200 também com a corrente de permeado PERM2 a partir da segunda membrana GSM2). Quando a recuperação é baixa demais, o controlador PLC ajusta a válvula de
20 controle CVb para a diminuição da fração da corrente de permeado PERM1 para a corrente de produto PS, desse modo reciclando uma porção maior para combinação com a corrente de gás de alimentação FS. Uma vez que a recuperação da corrente de produto PS atinja o ponto de regulação
25 desejado, a válvula de controle CVb pode ser mantida em sua regulação atual e o grau até o qual a corrente de permeado PERM1 é reciclada pode ser fixada.

Alternativamente, a recuperação pode ser controlada de uma forma menos preferida através do ajuste pelo
30 controlador PLC de válvula de controle CVa para aumento ou

diminuição da contrapressão na corrente de resíduo RES1. Quando o controlador PLC determina que a recuperação está abaixo do ponto de regulagem, ele ajusta CVa para aumentar a contrapressão na corrente de resíduo RES1 (ou na corrente de resíduo RES2, no caso do sistema 200). Isto aumenta a quantidade total do gás rápido permeando através da membrana GSM1 e, desse modo, a recuperação na corrente de permeado PERM1 e na corrente de produto PS. Uma vez que a recuperação atinja o ponto de regulagem desejado, a válvula de controle CVa pode ser mantida em sua regulagem atual. O técnico versado reconhecerá que o ganho na recuperação pode vir à custa da pureza, uma vez que relativamente mais permeação do(s) gás(es) lento(s) através da membrana GSM1 (ou da membrana GSM2 no caso do gás lento 200) ocorrerá, após um aumento na contrapressão da corrente de resíduo RES1 (ou da corrente de resíduo RES2 no caso do sistema 200). Se a recuperação for bem além acima do ponto de regulagem de recuperação, a válvula de controle CVa poderá ser ajustada para baixo para diminuição da contrapressão na corrente de resíduo RES1 e, desse modo, reduzir a recuperação de gás rápido na corrente de permeado PERM1 (e, conseqüentemente, na corrente de produto PS). Como resultado, a pureza da corrente de permeado PERM1 e da corrente de produto PS será aumentada.

Conforme discutido acima, como uma consequência do aumento da recuperação para um nível além do ponto de regulagem de recuperação, a pureza poderá cair abaixo de um ponto de regulagem desejado e vice-versa. Assim, a pureza e a recuperação poderão ser controladas em consonância, e várias iterações de ajustes de pureza e de recuperação

podem precisar ser feitas.

A pureza e a recuperação também podem ser controladas com um esquema que é otimizado para certas vazões observadas regularmente na corrente de alimentação FS. Os
5 sistemas 100, 200, 300 encontrarão várias vazões regulares correspondentes ao número de fontes produzindo a mistura de gás de gases rápidos e lentos. Por exemplo, no processo de fabricação de fibra ótica, tão poucas quanto uma ou tantas quanto todas de várias (tal como seis) torres de
10 resfriamento podem estar em operação em qualquer dado tempo. Como resultado, o gás de alimentação de Hélio diluído em ar terá várias vazões regulares (tais como seis) que correspondem ao número de torres de resfriamento. De modo a otimizar o sistema 100, 200, 300, cada combinação de
15 regulagens para as válvulas de controle CVa, CVb (e, opcionalmente, CVc) correspondendo aos níveis desejados de pureza e recuperação para uma vazão em particular é armazenada no controlador PLC.

Assim, como um exemplo, para uma aplicação a um
20 processo de produção de fibra ótica de seis torres de resfriamento ou um processo de tratamento térmico com seis fornos a vácuo, haverá seis vazões para a corrente de alimentação FS e seis combinações de regulagens para as válvulas de controle CVa, CVb (e, opcionalmente, CVc).
25 Quando uma torre de resfriamento ou um forno a vácuo é colocado em operação ou retirado de operação, um sinal é enviado para o controlador PLC, o qual automaticamente ajusta as válvulas de controle CVa, CVb (e, opcionalmente, CVc), de acordo com as regulagens armazenadas
30 correspondendo à vazão que é produzida pelo novo número de

torres de resfriamento ou fornos.

Alguém de conhecimento comum na técnica reconhecerá que um sinal como esse pode ser gerado de várias formas diferentes conhecidas no campo de controle de processo. O

5 sinal pode ser determinado quanto a sinais a partir de medidores de fluxo associados às fontes da mistura de gás (contendo os gases rápidos e lentos) a partir dos quais a corrente de gás de alimentação é obtida. Conforme um medidor de fluxo em particular mede um fluxo não nulo, o

10 sinal que ele produz será representativo de se a fonte da mistura de gás associada ao medidor de fluxo está ativamente produzindo a mistura de gás a partir da qual a corrente de gás de alimentação é derivada. Alternativamente, o sinal pode ser determinado a partir de

15 sinais de um medidor de fluxo associado a um coletor de suprimento para reciclo de um fluxo combinado do gás de produto e do gás rápido puro suplementar de volta para as fontes a partir das quais o gás de alimentação é obtido. Conforme o fluxo detectado aumenta ou diminui, o sinal será

20 representativo de quantas das fontes estão sendo supridas com o gás de produto e, assim, a partir de quantas fontes a corrente de alimentação está sendo obtida.

Uma descrição de um segundo conjunto de três modalidades (e particularmente preferidas) se segue, agora,

25 com referência às figuras 4 a 6.

Conforme mais bem mostrado na figura 4, o sistema 400 inclui as torres de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6. Dependendo de menos de todas elas estarem sendo operadas, um coletor de gás MAN provê um gás resfriante

30 contendo uma concentração relativamente alta do gás rápido

Hélio (tipicamente 99+%) para cada uma das torres CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6 que estiver atualmente em operação. O Hélio é usado para o resfriamento da fibra ótica quente atravessando ali. Devido à velocidade relativamente rápida da passagem da fibra ótica, uma quantidade de ar (primariamente gases lentos oxigênio e nitrogênio) é aspirada para a extremidade a montante da torre de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6.

Uma mistura de gás incluindo o ar e o Hélio gasto é retirada de uma torre CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6 por tampões de recuperação de gás associados. Os tampões de recuperação de gás são bem conhecidos por aqueles versados na técnica como sendo adaptados para melhoria da recuperação de gás resfriante. Os tampões de recuperação de gás particularmente adequados incluem aqueles mostrados no Pedido de Patente Publicada U.S. Nº 20070113589. Devido à diferença de pressão entre o interior da torre de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6 e o vácuo que é aplicado aos tampões de gás, a mistura de gás forma liberável através de uma válvula de fechamento SV1, SV2, SV3, SV4, SV5, SV6 e uma válvula de agulha NV1, NV2, NV3, NV4, NV5, NV6 e para o vaso tampão V1. Quando uma das torres de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6 não está em operação, a válvula de fechamento SV1, SV2, SV3, SV4, SV5, SV6, obviamente, está fechada, de modo a se evitar uma infiltração desnecessária de ar no vaso V1.

A mistura de gás de ar/Hélio no vaso V1 então flui através de um filtro F1, de modo a remover matéria particulada e para a entrada de um primeiro compressor C1.

A pressão (em termos relativos, o vácuo) no vaso V1 é

controlada através da operação de um laço de reciclo associado ao primeiro compressor C1. Um transdutor de pressão PT1 mede a pressão no vaso V1 e a transmite para um controlador lógico programável PLC1 tendo um ponto de
5 regulagem de pressão (tipicamente de em torno de 850 mbara ou milibar absoluto (85 kPa)). Quando a pressão no vaso V1 é alta demais (em termos relativos, o nível de vácuo é baixo demais), o controlador PLC1 ajusta a primeira válvula de controle CV1 para diminuir o reciclo da mistura de gás
10 de ar/Hélio a partir da saída do compressor C1 para a entrada. Quando a pressão é baixa demais, o controlador PLC1 ajusta a válvula CV1 para aumentar o reciclo da mistura de gás a partir da saída do compressor C1 para a entrada. Pelo controle da pressão no vaso V1, o grau de
15 vácuo aplicado a cada um dos tampões de gás (e, assim, a quantidade de mistura de gás retirada das torres de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6) pode ter uma sintonia fina com as válvulas de válvulas de agulha NV1, NV2, NV3, NV4, NV5, NV6. A pressão na mistura de gás de
20 ar/Hélio a jusante do laço de reciclo associada ao primeiro compressor C1 pode ser monitorada no indicador de pressão PI1.

A corrente de alimentação FS feita da mistura de gás de ar/Hélio é combinada, então, com uma porção de uma
25 corrente de permeado PERM1 a partir da membrana de separação de gás GSM1 e dirigida para a entrada do segundo compressor C2. A jusante do compressor C2, a corrente de alimentação FS/corrente de permeado PERM1 combinadas são resfriadas no trocador de calor HE1, secas em um primeiro
30 secador D1, e dirigidas para o filtro F2. No filtro F2,

particulados e condensados são separados da mistura de gás/do permeado combinados e dirigidos para um separador S1 para remoção. A mistura de gás comprimida, resfriada e filtrada saindo do filtro F2 é adicionalmente limpa de
5 particulados no filtro F3.

A pressão da corrente de gás comprimida, resfriada e filtrada à jusante do filtro F3 é controlada, pelo menos parcialmente, por um laço de reciclo associado ao compressor C2. Um terceiro transdutor de pressão PT3 mede
10 uma pressão da corrente de gás e envia um sinal representativo da pressão medida por ele para o controlador PLC2. Se a pressão medida for mais baixa do que o ponto de regulagem do controlador PLC2, o controlador PLC2 ajustará a segunda válvula de controle CV2 para restrição do reciclo
15 da mistura de gás combinada através de um laço de reciclo associado ao compressor C2. De modo similar, se a pressão da corrente de gás for alta demais, o PLC2 ajustará a válvula CV2 para permitir maior reciclo através do laço de reciclo. Se a pressão atingir um nível alto não controlado,
20 poderá ser aliviada no primeiro disco de ruptura RD1. Uma pressão da corrente resfriada, seca e da corrente de gás limpa pode ser observada no terceiro indicador de pressão PI3.

A corrente de gás limpa então é dirigida para a
25 entrada da primeira membrana de separação de gás GSM1, onde o gás rápido Hélio preferencialmente permeia através da corrente de permeado PERM1. A porção não de permeado da corrente de gás limpa (enriquecida nos gases de ar lentos oxigênio e nitrogênio e deficiente em Hélio) sai pela porta
30 de resíduo da membrana GSM1 e é ventilada através da

terceira válvula de controle CV3 como uma corrente de resíduo RES1.

A membrana GSM1 pode ser feita de qualquer material conhecido por aqueles versados na técnica de separação de gás como sendo adequados para a separação de Hélio de ar.

A corrente de permeado PERM1 é dividida em dois fluxos. A primeira porção é combinada com a corrente de alimentação FS a jusante do indicador de pressão PI1 e dirigida para a entrada do compressor C2. A segunda porção flui através da quarta válvula de controle CV4 e para a entrada do terceiro compressor C3. Se a pressão a jusante do compressor C3 atingir um nível alto não controlado, poderá ser aliviada no segundo disco de ruptura RD2. A pressão pode ser monitorada no quarto indicador de pressão PI4.

Uma pequena amostra do gás de produto é retirada e dirigida para o analisador A/C, onde a concentração de Hélio (pureza) é medida. Adicionalmente, algum outro parâmetro indicativo de concentração de Hélio (tal como condutividade térmica) pode ser medido. A pureza serve para controle de controladores PLC3, PLC5. O restante do gás de produto flui para uma válvula de três vias TV1. O controlador PLC5 pode atuar brevemente a válvula TV1 para ventilar a corrente de produto de uma maneira controlada através de uma válvula de agulha NV7 e de um regulador de pressão PR2, até a pureza alvo ser atingida. A vazão em massa do gás de produto é medida no medidor de fluxo em massa MF1 e a pressão é ajustada com o regulador de pressão PR3. O gás de produto é coletado em um vaso tampão V2. O gás de produto é suplementado, conforme necessário com

Hélio de alta pureza a partir da fonte de Hélio de constituição através do regulador de pressão PR5. O Hélio recuperado então é recirculado como parte da corrente combinada CS, a qual é dirigida a partir do vaso V2 para o
5 coletor MAN.

Conforme mais bem ilustrado na figura 5, o sistema 500 é similar ao sistema 400, uma diferença sendo que uma segunda membrana de separação de gás GSM2 é colocada a jusante da membrana de separação de gás GSM1. No sistema
10 500, a corrente de resíduo RES1 a partir da membrana de separação de gás GSM1 é dirigida para uma entrada da segunda membrana de separação de gás GSM2. O gás rápido Hélio a partir da corrente de resíduo RES1 preferencialmente permeia através da segunda membrana de
15 separação de gás GSM2 em comparação com os gases de ar lentos oxigênio e nitrogênio. A porção inteira da corrente de permeado PERM2 a partir da segunda membrana de separação de gás GSM2 é combinada com uma porção da corrente de permeado PERM1 e da corrente de alimentação FS para
20 compressão no compressor C2. Uma outra porção da corrente de permeado PERM1 a partir da membrana GSM1 é dirigida diante da quarta válvula de controle CV4 e ainda processada para a provisão da corrente de produto PS. A membrana GSM2 pode ser feita de qualquer material conhecido por aqueles
25 versados na técnica de separação de gás como sendo adequados para a separação de Hélio de ar. Deve ser notado que as posições das duas correntes de permeado PERM1, PERM2 em relação à válvula de controle CV4 e ao compressor C2 devem ser separadas por uma distância suficiente. Isto
30 permite que toda a corrente de permeado PERM2 seja dirigida

para o compressor C2, ao invés de fluir em direção à válvula de controle CV4.

O arranjo em série de sistema 500 é vantajoso pelo fato de prover maior recuperação do gás rápido em comparação com apenas um estágio de membrana de separação de gás. Dois estágios de separação de gás baseada em membrana proveem uma corrente de permeado PERM1 de primeiro estágio que tem uma pureza mais alta de Hélio do que a corrente de permeado PERM2 de segundo estágio. Deve ser notado que mais de dois estágios de separação de gás à base de membrana podem ser implementados. Se três membranas de separação de gás em série forem usadas, a corrente de resíduo GSM2 será dirigida para a terceira membrana de separação de gás, ao invés de ser ventilada e a corrente de permeado a partir da terceira membrana de separação de gás será combinada com aquelas das primeira e segunda membranas de separação de gás GSM1, GSM2. Este conceito pode ser expandido para estágios adicionais, por meio do que da segunda à última corrente de resíduo são dirigidas para a entrada do último estágio e tudo menos a primeira corrente de permeado PERM1 é reciclado de volta para o compressor C2. O limite para o número de estágios será largamente determinado por: a) a capacidade do compressor C2 para compressão dos fluxos de permeado combinados para a obtenção de uma alimentação para a entrada da primeira membrana de separação de gás GSM1 que tem uma pressão suficientemente alta o bastante, e b) a pureza do último permeado (o último permeado deve ter uma pureza mais alta do que aquela da corrente de alimentação FS).

Conforme mais bem mostrado na figura 6, o sistema 600

é similar ao sistema 400, uma diferença sendo que duas membranas de separação de gás GSM1, GSM2 são usadas. A mistura de gás de ar/Hélio fluindo a jusante do laço de reciclo associado ao compressor C1 é alimentada para a
5 entrada da segunda membrana GSM2, onde Hélio preferencialmente permeia através dali, em comparação com oxigênio e nitrogênio. A corrente de resíduo RES2 a partir da segunda membrana GSM2 é ventilada, enquanto a corrente de permeado PERM2 (que forma a corrente de alimentação FS)
10 é combinada com uma porção da corrente de permeado PERM1 a partir da primeira membrana GSM1 e dirigida para o compressor C2. A membrana GSM2 pode ser feita de qualquer material conhecido por aqueles versados na técnica de separação de gás como sendo adequados para a separação de
15 Hélio de ar.

O uso de dois estágios de separação de gás à base de membrana no sistema 600 permite que maior pureza seja obtida na corrente de produto PS e permite uma redução no tamanho do compressor C2. Também permite uma recuperação
20 melhorada do gás rápido, porque a eficiência da recuperação pela membrana de separação de gás GSM1 é intensificada pela concentração mais alta de gás rápido resultante da utilização da corrente de permeado PERM2 a partir da membrana de separação de gás GSM2 como a corrente de
25 alimentação FS. Em contraste, quando o sistema 100 recebe uma pureza relativamente mais baixa de Hélio a partir das torres de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, às vezes pode ser difícil obter a pureza desejada na corrente de produto PS durante períodos de fluxos baixos na corrente
30 de alimentação FS, sem se afetar de forma prejudicial à

recuperação. O sistema 300 se dirige a este problema pela intensificação da pureza inicial da corrente de alimentação FS através do uso da membrana de separação de gás GSM2.

Embora os sistemas 400, 500, 600 ilustrem apenas seis
5 torres de resfriamento, deve ser notado que mais pode ser usado. O número máximo que se pode manipular dependerá dos fluxos a partir das torres de resfriamento. Se os fluxos forem relativamente pequenos, então, os sistemas 400, 500, 600 poderão lidar com mais de seis. Falando geralmente,
10 quanto mais alto o fluxo total das torres, menor será a recuperação. Assim, o número máximo de torres é regulado pela recuperação mais baixa que for considerada aceitável. Conforme o fluxo total das torres sobe, contudo, a válvula de controle CV3 precisará ser apropriadamente dimensionada.
15 Se o fluxo total produzir um corrente de resíduo RES1 (ou RES2) que seja alto de mais para a válvula de controle CV3, um par de válvulas de controle poderá ser usado, ao invés disso.

O controle o método e do sistema de recuperação de
20 Hélio nas modalidades das figuras 4 a 6 pode ser feito de várias formas. Muitos tipos diferentes de parâmetros de operação podem ser controlados através da manipulação das válvulas de controle CV3, CV4. Aqueles versados na técnica de separação de gás à base de membrana reconhecerão que o
25 controle de um parâmetro terá um efeito sobre os outros parâmetros. Por exemplo, um ajuste da pureza da corrente de produto PS para cima pode ter um efeito prejudicial sobre a recuperação. Assim, pode ser preferível controlar de forma simultânea ou contemporânea mais de um parâmetro de
30 operação de cada vez.

A pureza da corrente de produto PS pode ser controlada. A pureza da corrente de produto PS é a mesma que a pureza de PERM1 e, preferencialmente, pode ser controlada através do ajuste pelo analisador/controlador A/C de válvula de controle CV3 para aumento ou diminuição da contrapressão na corrente de resíduo RES1 (ou, no caso do sistema 500, da corrente de resíduo RES2). Quando o analisador/controlador A/C determina que a pureza está abaixo do ponto de regulagem, ele abre CV3 para a diminuição da contrapressão na corrente de resíduo RES1 (ou na corrente de resíduo RES2 no caso do sistema 500). Isto aumenta a força de acionamento para o gás rápido através da membrana GSM1 e, desse modo, a pureza na corrente de permeado PERM1 e na corrente de produto PS. Até a pureza do gás rápido a ser recuperado e reusado atingir um ponto de regulagem desejado, a corrente de produto PS pode ser ventilada ou suplementada com um gás rápido puro. Uma vez que a pureza atinja o ponto de regulagem desejado, a válvula de controle CV3 pode ser mantida em sua regulagem atual. O técnico versado reconhecerá que um ajuste da pureza para cima pode ter o efeito de ajustar a recuperação para baixo. Se a pureza for longe demais acima do ponto de regulagem de pureza, a válvula de controle CV3 poderá ser ajustada para baixo para aumento da contrapressão na corrente de resíduo RES1 (ou, no caso do sistema 500, a corrente de resíduo RES2) e, desse modo, reduzir a pureza das correntes PERM1 e PS.

Alternativamente, a pureza pode ser controlada de uma forma menos preferida pelo ajuste do grau até o qual a válvula de controle CV4 desvia uma porção da corrente de

permeado PERM1 para ser reciclada de volta para combinação com a corrente de gás de alimentação FS (ou, no caso do sistema 500, também com a corrente de permeado PERM2 a partir da segunda membrana GSM2). Quando a pureza é baixa demais, o analisador/controlador A/C ajusta a válvula de controle CV4 para diminuir a fração da corrente de permeado PERM1 para a corrente de produto PS, desse modo reciclando uma porção maior para combinação com a corrente de gás de alimentação FS. Uma vez que a pureza da corrente de produto PS atinja o ponto de regulação desejado, a válvula de controle CV4 pode ser mantida em sua regulação atual, e o grau até o qual a corrente de permeado PERM1 é reciclada poderá ser fixado.

A recuperação do gás rápido pode ser controlada. Qualquer uma das formas acima de cálculo de recuperação pode ser usada. Preferencialmente, a recuperação é calculada como a vazão em massa da corrente de produto PS dividida pela vazão em massa da corrente combinada CS. Independentemente de por qual forma a recuperação é definida, os sinais representativos dos parâmetros quanto aos quais a recuperação é calculada são enviados para o analisador/controlador A/C para a derivação da recuperação e comparação dela com a recuperação de ponto de regulação.

Com referência continuada às modalidades das figuras 1 a 3, a recuperação pode ser controlada pelo ajuste do grau até o qual a válvula de controle CV4 desvia uma porção da corrente de permeado PERM1 para ser reciclada de volta para combinação com a corrente de gás de alimentação FS (ou, no caso do sistema 500, também com a corrente de permeado PERM2 a partir da segunda membrana GSM2). Quando a

recuperação é baixa demais, o analisador/controlador A/C ajusta a válvula de controle CV4 para a diminuição da fração da corrente de permeado PERM1 para a corrente de produto PS, desse modo reciclando uma porção maior para
5 combinação com a corrente de gás de alimentação FS. Uma vez que a recuperação da corrente de produto PS atinja o ponto de regulagem desejado, a válvula de controle CV4 pode ser mantida em sua regulagem atual e o grau até o qual a corrente de permeado PERM1 é reciclada pode ser fixada.

10 Alternativamente, a recuperação pode ser controlada de uma forma menos preferida através do ajuste pelo controlador PLC de válvula de controle CV3 para aumento ou diminuição da contrapressão na corrente de resíduo RES1. Quando o analisador/controlador A/C determina que a
15 recuperação está abaixo do ponto de regulagem, ele ajusta CV3 para aumentar a contrapressão na corrente de resíduo RES1 (ou na corrente de resíduo RES2, no caso do sistema 500). Isto aumenta a quantidade total do gás rápido permeando através da membrana GSM1 e, desse modo, a
20 recuperação na corrente de permeado PERM1 e na corrente de produto PS. Uma vez que a recuperação atinja o ponto de regulagem desejado, a válvula de controle CV3 pode ser mantida em sua regulagem atual. O técnico versado reconhecerá que o ganho na recuperação pode vir à custa da
25 pureza, uma vez que relativamente mais permeação do(s) gás(es) lento(s) através da membrana GSM1 (ou da membrana GSM2 no caso do sistema 500) ocorrerá, após um aumento na contrapressão da corrente de resíduo RES1 (ou da corrente de resíduo RES2 no caso do sistema 500). Se a recuperação
30 for bem além acima do ponto de regulagem de recuperação, a

válvula de controle CV3 poderá ser ajustada para baixo para diminuição da contrapressão na corrente de resíduo RES1 e, desse modo, reduzir a recuperação de gás rápido na corrente de permeado PERM1 (e, conseqüentemente, na corrente de produto PS). Como resultado, a pureza da corrente de permeado PERM1 e da corrente de produto PS será aumentada.

Conforme discutido acima, como uma consequência do aumento da recuperação para um nível além do ponto de regulagem de recuperação, a pureza poderá cair abaixo de um ponto de regulagem desejado e vice-versa. Assim, a pureza e a recuperação poderão ser controladas em consonância, e várias iterações de ajustes de pureza e de recuperação podem precisar ser feitas.

Com referência continuada às modalidades das figuras 4 a 6, uma outra forma de controle do método e do sistema é dirigida ao controle de uma pressão associada ao compressor C2 através do ajuste do grau até o qual a válvula de controle CVb desvia uma porção da corrente de permeado PERM1 a ser combinada com a corrente de alimentação FS a jusante do indicador de pressão PI1 e comprimida no compressor C2 versus permitir que a corrente de permeado PERM1 se torne a corrente de produto PS. Em contraste com os dois esquemas de controle descritos acima. A terceira forma utiliza a variável da pressão de corrente de alimentação FS a jusante do indicador de pressão PI1 como medido pelo transdutor de pressão PT2. O transdutor de pressão PT envia um sinal representativo da pressão medida para o analisador/controlador A/C. Quando a pressão é baixa demais (abaixo de um ponto de regulagem baixo), o analisador/controlador A/C ajusta a válvula de controle CV4

para aumento da quantidade da corrente de permeado PERM1 que é reciclada. Quando a pressão é alta demais (acima de um ponto de regulação alto), o analisador/controlador A/C ajusta a válvula de controle CV4 para diminuição da
5 quantidade da corrente de permeado PERM1 que é reciclada. Quando a pureza é controlada nesta terceira forma, a recuperação pode ser controlada da primeira forma mencionada acima.

A performance dos sistemas 400, 500, 600 pode ser
10 otimizada para certas vazões observadas regularmente a partir das torres de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6. Por exemplo, os sistemas 400, 500, 600 encontrarão várias vazões regulares correspondentes ao número de torres de resfriamento em operação CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6.
15 Por exemplo, uma primeira vazão corresponderá a quando apenas uma das seis está em operação, enquanto uma segunda vazão corresponderá a quando duas das seis estiverem em operação, e assim por diante. De modo a otimizar os sistemas 400, 500, 600, cada combinação de regulagens para
20 as válvulas de controle CV3, CV4 (e, opcionalmente, CV5) correspondendo aos níveis otimizados de pureza e recuperação para uma vazão em particular é armazenada no analisador/controlador A/C. Alguém versado na técnica de separação de gás à base de membrana reconhecerá que esta
25 combinação de regulagens pode ser determinada de forma empírica através de uma experimentação de rotina. Em uma continuação da discussão do exemplo, haverá seis vazões e seis combinações de regulagens para as válvulas de controle CV3, CV4 (e, opcionalmente, CV5). Quando uma torre de
30 resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6 é colocada em

operação ou retirada de operação, um sinal é enviado para o analisador/controlador A/C, o qual automaticamente ajusta as válvulas de controle CV3, CV4 (e, opcionalmente, CV5) de acordo com as regulagens armazenadas correspondentes à vazão que é produzida pelo novo número de torres de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6.

Alguém de conhecimento comum na técnica reconhecerá que um sinal como esse pode ser gerado de várias formas diferentes conhecidas no campo de controle de processo. O sinal pode ser determinado a partir de sinais de medidores de fluxo associados às torres de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6. Conforme o medidor de fluxo detecta um fluxo não nulo, o sinal será representativo de se as torres de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6 associadas ao medidor de fluxo estão ou não ativamente produzindo o gás de exaustão de Hélio/ar a partir do qual a corrente de gás de alimentação é derivada. Alternativamente, o sinal pode ser determinado a partir de sinais de um medidor de fluxo associado a um coletor de suprimento para o reciclo do gás de produto de volta para as torres de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6. Conforme o fluxo detectado aumenta ou diminui, o sinal será representativo de quantas das torres de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6 estão sendo supridas com o gás de produto e, assim, a partir de quantas torres de resfriamento CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6 a corrente de alimentação está sendo obtida.

Os métodos e sistemas mostrados apresentam várias vantagens. Eles são capazes de obterem 99+% de pureza de gás de produto (em particular, Hélio) a mais de 90% de recuperação a partir de fluxos variando amplamente na

corrente de gás de alimentação. A economia de recuperação de gás é melhorada, porque um sistema de separação de membrana tendo uma área superficial de membrana fixa é usado (incluindo um ou dois estágios de membranas de separação de gás em série) para o tratamento de múltiplas torres de resfriamento, sem uma queda inaceitavelmente alta na pureza ou na recuperação. O sistema é capaz de pelo menos 87,5% de inflexão de eficiência, enquanto mantém ou excede a pureza de produto (>99+%) e a recuperação (>90%). Esta flexibilidade única é obtida por um reciclo parcial da corrente de permeado.

Os processos e aparelhos preferidos para a prática da presente invenção foram descritos. Será entendido e prontamente evidente para o técnico versado que muitas mudanças e modificações podem ser feitas nas modalidades descritas acima, sem se desviar do espírito e do escopo da presente invenção. Por exemplo, nas modalidades das figuras 4 a 6, as válvulas de controle CV1, CV2, CV3, CV4 podem ser controladas com controladores separados PLC1, PLC2, PLC3, PLC4 ou o controle de dois ou três deles podem ser integrados em um controlador único. Adicionalmente, o conjunto de válvulas de agulha NV1, NV2, NV3, NV4, NV5, NV6 pode ser substituído por um conjunto de controladores de fluxo. O precedente é ilustrativo apenas e outras modalidades dos processos e aparelhos integrados podem ser empregadas, sem que se desvie do verdadeiro escopo da invenção definido nas reivindicações a seguir.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de recuperação de um gás rápido a partir de um processo produzindo uma vazão variável de um gás de exaustão compreendendo um gás rápido e pelo menos um gás lento, o referido método caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

provisão de uma pluralidade de fontes de uma mistura de gás compreendendo os gases rápido e lento, em que o gás rápido é Hélio e o gás lento é ar;

obtenção de uma corrente de gás de alimentação (FS) a partir de uma ou mais das fontes, a corrente de gás de alimentação (FS) compreendendo os gases rápido e lento, a corrente de gás de alimentação (FS) tendo uma vazão variável com base em quantas da pluralidade de fontes estão produzindo ativamente a mistura de gás;

compressão da corrente de gás de alimentação (FS);

alimentação do gás de alimentação comprimido para uma membrana de separação de gás primário GSM1;

retirada a partir da membrana de separação de gás primário GSM1 de uma corrente de permeado primário PERM1 enriquecida no gás rápido e uma corrente de resíduo primário RES1 deficiente no gás rápido;

direcionamento de uma primeira porção da corrente de permeado primário PERM1 para o compressor C, em que a primeira porção é mesclada e comprimida com a corrente de gás de alimentação FS;

retirada de uma porção remanescente da corrente de permeado primário para a provisão de um gás de produto PS;

ajuste de um grau até o qual a corrente de permeado primário PERM1 é alocada entre a primeira porção e a porção

remanescente com base em um parâmetro de operação do referido método, em que a pluralidade de fontes compreende uma pluralidade de torres de resfriamento de fibra ótica.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1,
5 caracterizado pelo fato do parâmetro de operação ser selecionado a partir do grupo que consiste em um número da pluralidade de fontes a partir das quais a corrente de gás de alimentação FS é obtida, uma pureza do gás de produto, uma recuperação do gás de interesse obtido pela execução do
10 referido método, uma vazão da corrente de gás de alimentação FS, e uma pressão da corrente de gás de alimentação FS e uma primeira porção da corrente de permeado primário combinadas PERM1.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1,
15 caracterizado pelo fato de ainda compreender as etapas de:

alimentação da corrente de resíduo primário RES1 para uma membrana de separação de gás secundário GSM2;

retirada a partir da membrana de separação de gás secundário GSM2 de uma corrente de permeado secundário
20 PERM2 e uma corrente de resíduo secundário RES2; e

direcionamento da corrente de permeado secundário PERM2 para o compressor C, em que a corrente de permeado secundário PERM2 é comprimida com a primeira porção e a corrente de gás de alimentação.

25 4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da referida etapa de obtenção de uma corrente de gás de alimentação FS compreender as etapas de:

combinação de correntes de gás de exaustão a partir de
30 uma ou mais da pluralidade de fontes;

compressão das correntes de gás de exaustão combinadas;

alimentação das correntes de gás de exaustão combinadas comprimidas para uma membrana de separação de gás secundário GSM2; e

retirada a partir da membrana de separação de gás secundário GSM2 de uma corrente de permeado secundário PERM2 enriquecida no gás rápido e uma corrente de resíduo secundário RES2 deficiente no gás rápido, em que o permeado secundário PERM2 é a corrente de gás de alimentação FS.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de:

uma válvula de controle CVb em comunicação de fluido com a corrente de permeado primário é provido; e

um sinal para um controlador PLC representativo do número da pluralidade de fontes a partir das quais a corrente de gás de alimentação FS obtida é enviada, em que:

o parâmetro de operação é o número da pluralidade de fontes a partir das quais a corrente de gás de alimentação é obtida; e

o controlador PLC controla a alocação da corrente de permeado primário PERM1 para a primeira porção e a porção remanescente através da válvula de controle com base CVb no sinal.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente as etapas de:

provisão de uma válvula de controle CVa em comunicação de fluido com a corrente de resíduo primário RES1, a válvula de controle CVa sendo adaptada para seletivamente

ajustar uma pressão da corrente de resíduo primário RES1;
medição de uma pureza do gás rápido no gás de produto;
e

envio de um sinal para o controlador PLC
representativo da pureza medida, em que o controlador PLC
controla o ajuste da pressão da corrente de resíduo
primário RES1 com base na pureza medida através da válvula
de controle CVa em comunicação de fluido com a corrente de
resíduo primário RES1.

7. Método, de acordo com a reivindicação 5,
caracterizado pelo fato de:

a) a referida etapa de obtenção de uma corrente de gás
de alimentação FS compreender as etapas de:

combinação de correntes de gás de exaustão de uma
ou mais da pluralidade de fontes;

compressão das correntes de gás de exaustão
combinadas;

alimentação das correntes de gás de exaustão
combinadas comprimidas para uma membrana de separação de
gás secundário GSM2; e

retirada a partir da membrana de separação de gás
secundário GSM2 de uma corrente de permeado secundário
PERM2 enriquecida no gás rápido e uma corrente de resíduo
secundário RES2 deficiente no gás rápido, em que o permeado
secundário PERM2 é a corrente de gás de alimentação FS; e

b) o referido método compreender adicionalmente as
etapas de:

provisão de uma válvula de controle em
comunicação de fluido com a corrente de resíduo secundário
RES2, a válvula de controle sendo adaptada para

seletivamente ajustar uma pressão da corrente de resíduo secundário RES2;

determinação de uma pureza do gás rápido no gás de produto; e

5 envio de um sinal para o controlador PLC representativo da pureza medida, em que o controlador PLC controla o ajuste da pressão da corrente de resíduo secundário RES2 com base na pureza medida através da válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente
10 de resíduo secundário RES2.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de:

uma válvula de controle CVb em comunicação de fluido com a corrente de permeado primário é provida;

15 uma recuperação do rápido obtido pela execução do referido método é determinada;

um sinal para um controlador PLC representativo da recuperação determinada é enviado, em que:

20 o parâmetro de operação é a recuperação do gás de interesse obtida pela execução do referido método;

o controlador PLC controla a alocação da corrente de permeado primário PERM1 para a primeira porção e a porção remanescente com base no sinal através da válvula de controle CVb.

25 9. Método, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente as etapas de:

provisão de uma válvula de controle CVa em comunicação de fluido com a corrente de resíduo primário RES1, a
30 válvula de controle CVa sendo adaptada para seletivamente

ajustar uma pressão da corrente de resíduo primário RES1;
medição de uma pureza do gás rápido no gás de produto;
envio de um sinal para um controlador PLC
representativo da pureza medida, em que o controlador
5 controla PLC o ajuste da pressão de corrente de resíduo
primário RES1 com base no sinal de pureza de gás de produto
através da válvula de controle CVa em comunicação de fluido
com a corrente de resíduo primário RES1.

10 10. Método, de acordo com a reivindicação 8,
caracterizado pelo fato de:

a) a referida etapa de obtenção de uma corrente de gás
de alimentação FS compreender as etapas de:

combinação de correntes de gás de exaustão a
partir de uma ou mais da pluralidade de fontes;

15 compressão das correntes de gás de exaustão
combinadas;

alimentação das correntes de gás de exaustão
combinadas comprimidas para uma membrana de separação de
gás secundário GSM2; e

20 retirada a partir da membrana de separação de gás
secundário GSM2 de uma corrente de permeado secundário
PERM2 enriquecida no gás rápido e uma corrente de resíduo
secundário RES2 deficiente no gás rápido, em que o permeado
secundário PERM2 é a corrente de gás de alimentação FS; e

25 b) o referido método compreender adicionalmente as
etapas de:

provisão de uma válvula de controle em
comunicação de fluido com a corrente de resíduo secundário,
a válvula de controle sendo adaptada para seletivamente
30 ajustar uma pressão da corrente de resíduo secundário RES2;

medição de uma pureza do gás rápido no gás de produto; e

envio de um sinal para um controlador PLC representativo da pureza medida, em que o controlador PLC controla o ajuste da pressão da corrente de resíduo secundário RES2 com base no sinal de pureza de gás de produto através da válvula de controle em comunicação de fluido com a corrente de resíduo secundário RES2.

11. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente as etapas de:

provisão de um controlador;

execução das referidas etapas de método enquanto a corrente de gás de alimentação FS tem uma primeira vazão;

15 mudança do número de torres de resfriamento a partir das quais a corrente de gás de alimentação FS é obtida, desse modo mudando a vazão da corrente de gás de alimentação FS;

envio de um sinal para o controlador PLC representativo do novo número de torres de resfriamento a partir das quais o gás de alimentação FS é obtido;

ajuste com o controlador PLC do grau até o qual a corrente de permeado primário PERM1 é alocada entre a primeira porção e a porção remanescente com base no sinal.

25 12. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente as etapas de:

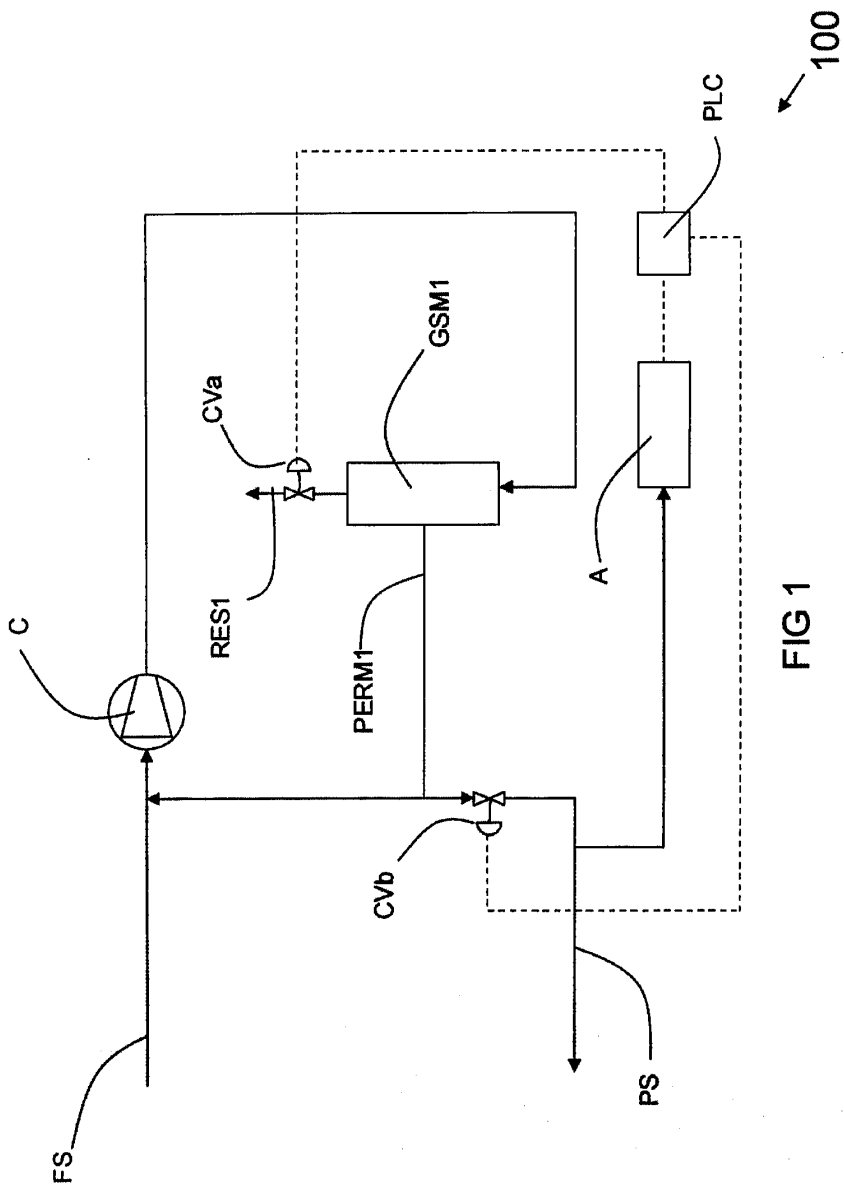
medição de uma pressão da corrente de gás de alimentação FS e da primeira porção de corrente de permeado PERM2 combinadas;

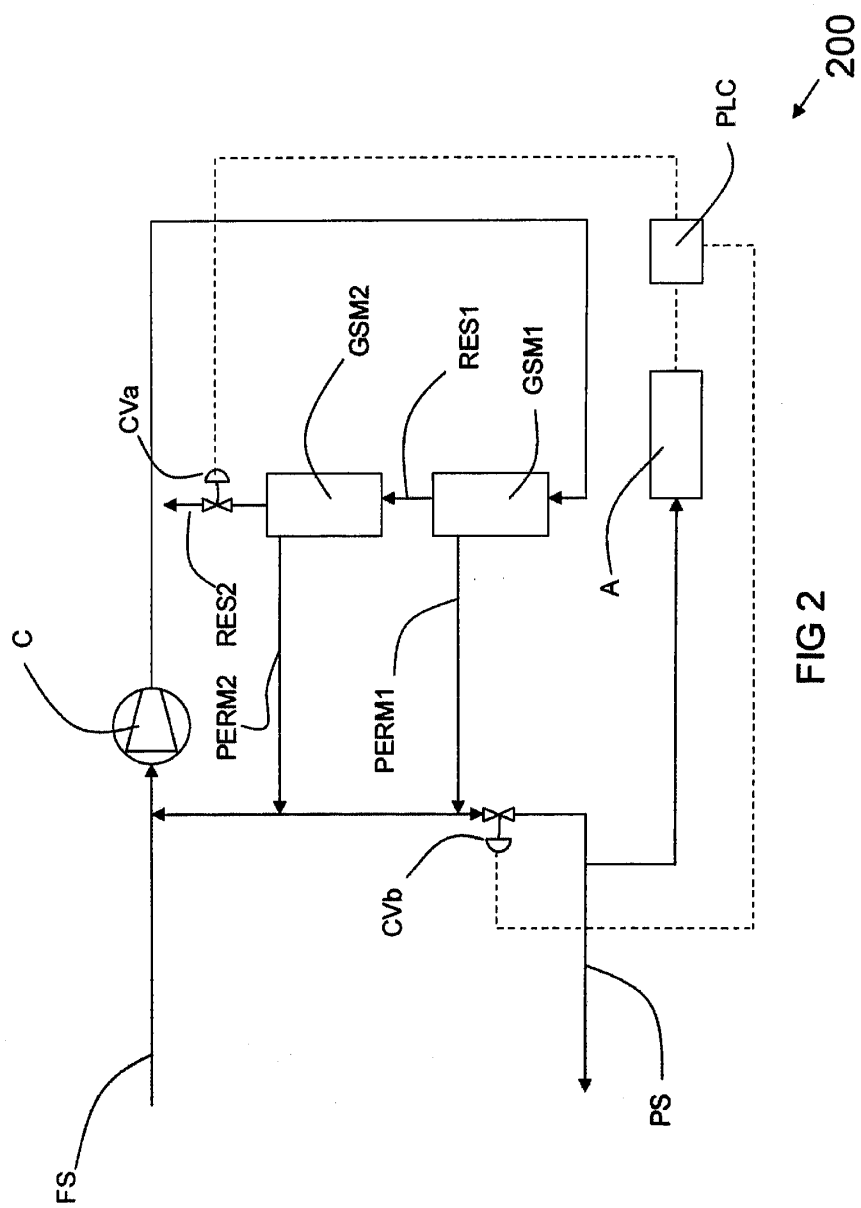
provisão de uma válvula de controle CVb em comunicação de fluido com a corrente de permeado primário PERM1; e

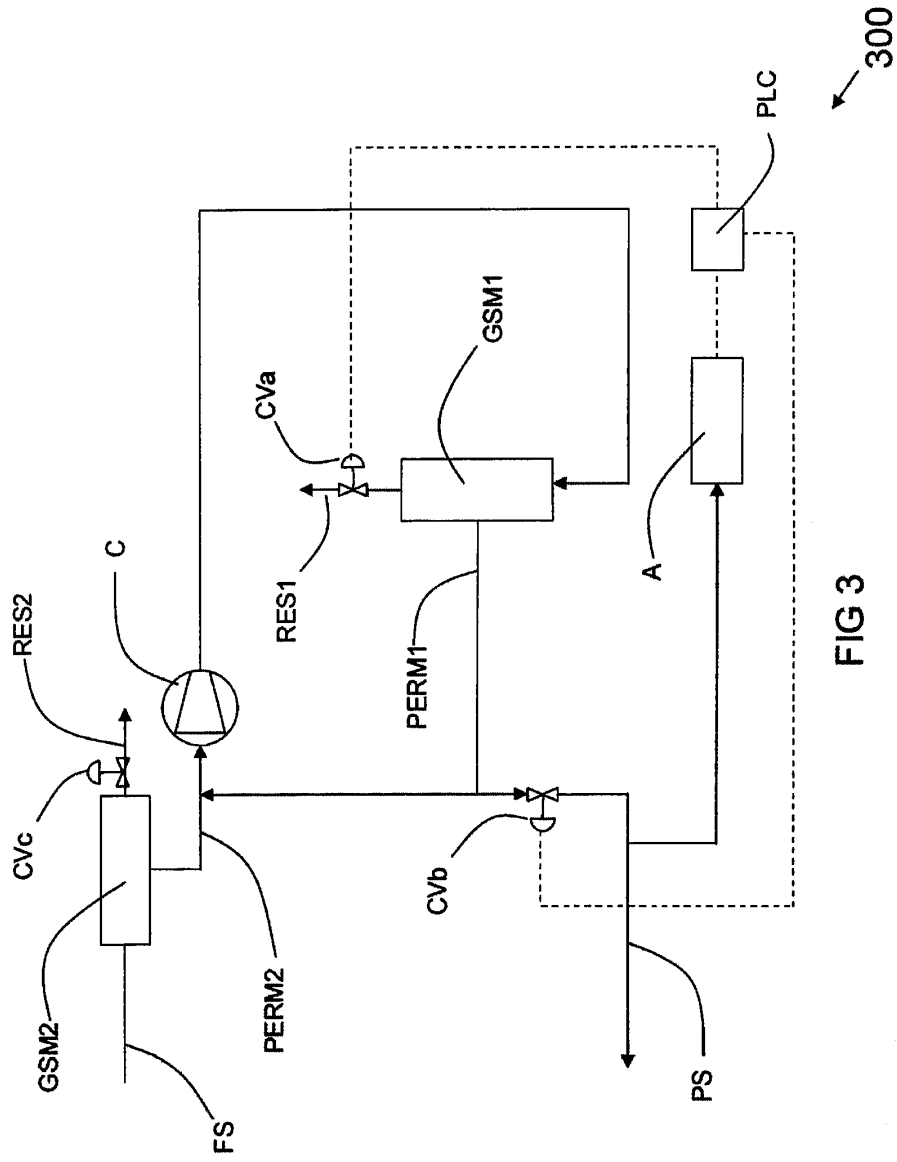
envio de um sinal para um controlador PLC representativo da pressão medida, em que:

5 o parâmetro de operação é a pressão da corrente de gás de alimentação FS e da primeira porção da corrente de permeado primário PERM1 combinadas; e

 o controlador controla a alocação da corrente de permeado primário PERM1 para a primeira porção e a porção
10 remanescente através da válvula de controle CVb com base no sinal.







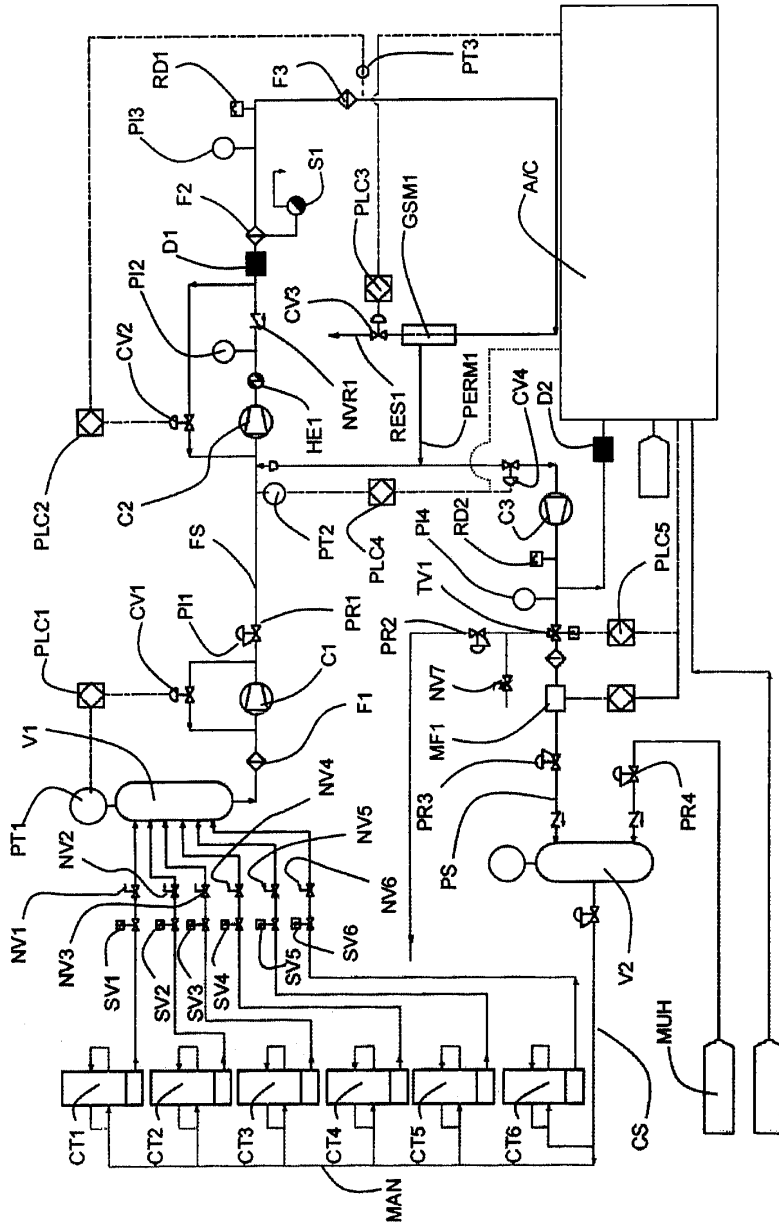
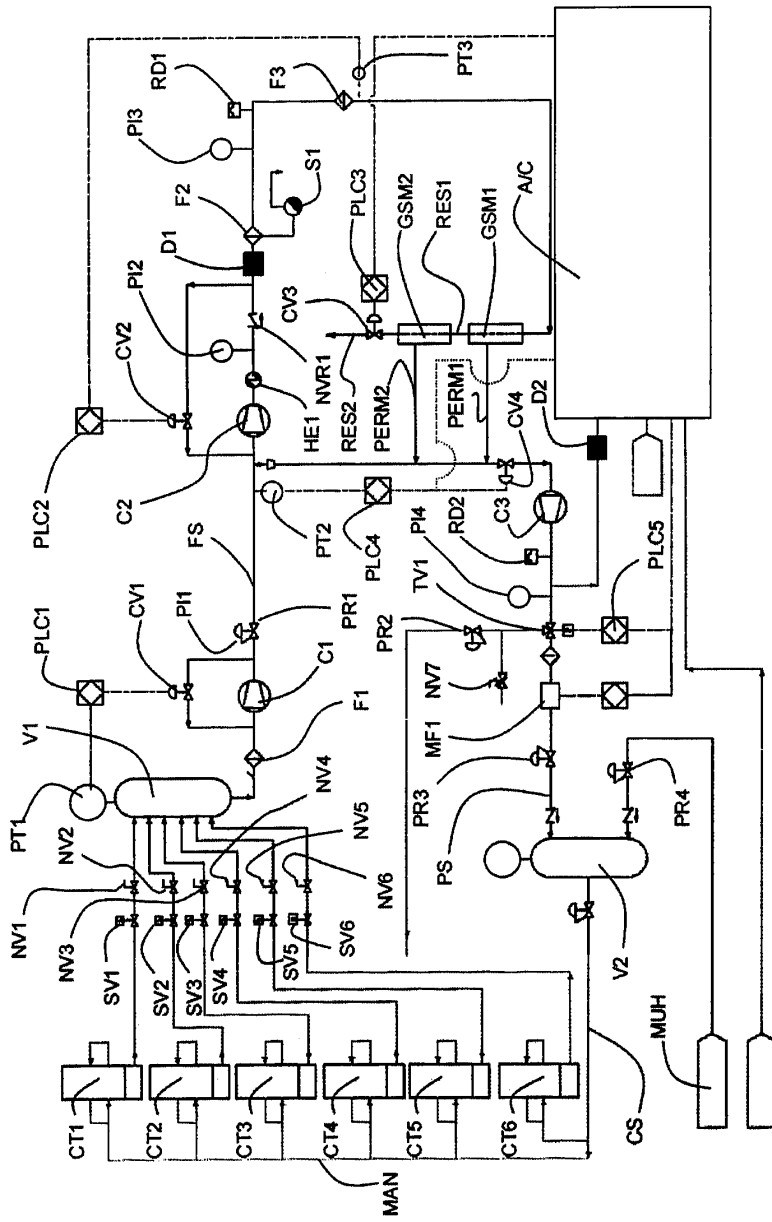


FIG 4

400



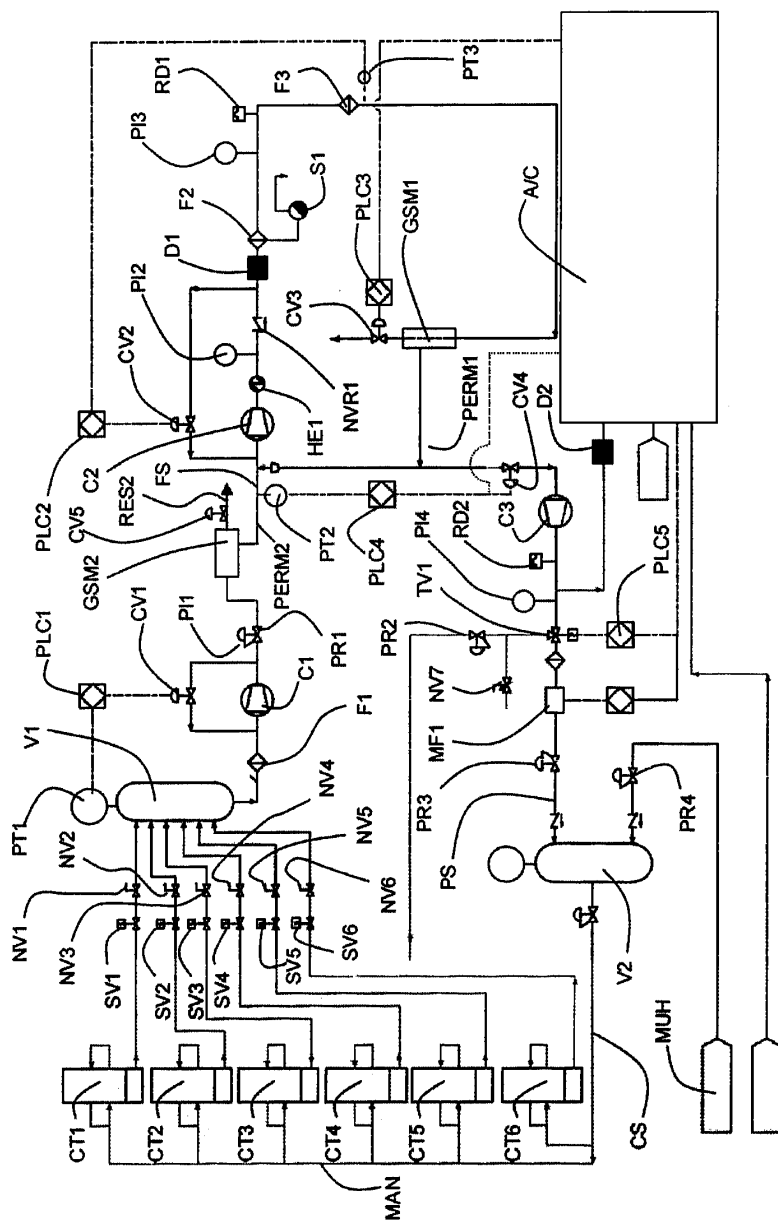


FIG 6

600