



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0702800-8 B1

(22) Data do Depósito: 25/06/2007

(45) Data de Concessão: 06/06/2023

(54) Título: SISTEMA DE ADSORÇÃO POR MODULAÇÃO DE PRESSÃO COM VÁLVULAS ROTATIVAS DE MÚLTIPLAS ABERTURAS ESCALONADAS, E MÉTODO PARA RECUPERAÇÃO DE UM COMPONENTE MENOS INTENSAMENTE PASSÍVEL DE ADSORÇÃO DE UMA MISTURA GASOSA DE ALIMENTAÇÃO

(51) Int.Cl.: B01D 53/047.

(30) Prioridade Unionista: 22/05/2007 US 11/751.866; 30/06/2006 US 60/817.715.

(73) Titular(es): AIR PRODUCTS AND CHEMICAL, INC..

(72) Inventor(es): DAVID LESTER RARIG; ROGER DEAN WHITLEY; MATTHEW JAMES LABUDA.

(57) Resumo: SISTEMA DE ADSORÇÃO POR MODULAÇÃO DE PRESSÃO, MÉTODO PARA RECUPERAÇÃO DE UM COMPONENTE MENOS INTENSAMENTE PASSÍVEL DE ADSORÇÃO DE UMA MISTURA GASOSA DE ALIMENTAÇÃO, E DISPOSITIVO DE VÁLVULA ROTATIVA DE MÚLTIPLAS ABERTURAS ESCALONADAS. Trata-se de um sistema de adsorção por oscilação de pressão que compreende dois ou mais vasos, cada um dos mesmos possuindo uma extremidade de alimentação, uma extremidade de produção, e um material adsorvente adaptado para adsorção de um ou mais componentes de uma mistura gasosa de alimentação de múltiplos componentes; uma tubulação adaptada para (1) introdução da mistura gasosa de alimentação nas extremidades de alimentação, retirada de um gás produzido das extremidades de produção, e retirada de um gás descartado das extremidades de alimentação dos vasos, e (2) disposição das extremidades de produção de qualquer par de vasos em comunicação fluida; uma tubulação de alimentação adaptada para fornecimento da mistura gasosa de alimentação para o sistema; uma tubulação de produto adaptada para retirar o gás produzido do sistema; e uma tubulação de gás descartado adaptada para retirar o gás descartado do sistema. Uma válvula -rotativa de múltiplas aberturas escalonadas é adaptada para dispor a extremidade de produção de cada vaso em comunicação de fluxo seqüencial com a extremidade (...).

SISTEMA DE ADSORÇÃO POR MODULAÇÃO DE PRESSÃO COM VÁLVULAS ROTATIVAS DE MÚLTIPLAS ABERTURAS ESCALONADAS, E MÉTODO PARA RECUPERAÇÃO DE UM COMPONENTE MENOS INTENSAMENTE PASSÍVEL DE ADSORÇÃO DE UMA MISTURA GASOSA DE ALIMENTAÇÃO

5 ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

Os processos de adsorção por modulação de pressão ("Pressure Swing Adsorption" - PSA) são amplamente utilizados para separação de misturas gasosas com base em etapas cíclicas de adsorção-desadsorção utilizando um ou
10 mais vasos contendo adsorventes seletivos que realizam a separação desejada. Um sistema PSA compreende tipicamente vasos de adsorção, compressores, bombas de vácuo, múltiplas válvulas, tubulação, tanques de armazenagem de gás, e um sistema de controle para operação das válvulas para
15 provisão das etapas de processo cíclico requeridas. Parcelas significativas do custo de capital e das despesas de manutenção operacional dos sistemas PSA podem ser atribuídas às múltiplas válvulas e ao sistema de controle requerido para operação destas válvulas para as múltiplas
20 etapas cíclicas em um processo PSA.

Os sistemas PSA são competitivos relativamente aos sistemas de destilação criogênica para separação de ar para produção de oxigênio com capacidades de até 100 toneladas por dia (TPD). Os custos de capital devem ser controlados e

5 reduzidos para estes sistemas PSA de forma a que os mesmos se mantenham competitivos em face das variações de requisitos de mercado e dos crescentes custos de energia. Como resultado de recentes aperfeiçoamentos na tecnologia de adsorção, os sistemas PSA de oxigênio podem ser

10 reduzidos em termos de dimensões e complexidade para se tornarem transportáveis, e sistemas com capacidades de produção de até 1 TPD podem ser facilmente transportados em estruturas de suporte tipo "skid" e podem ser comissionados nas instalações dos clientes em um tempo mínimo. A

15 modularização destes sistemas PSA de pequeno porte requer uma redução de complexidade de componentes, um aperfeiçoamento em termos de confiabilidade, e um menor custo de capital.

Existe uma necessidade na técnica quanto a

20 simplificar as válvulas e sistemas de controle em sistemas PSA, particularmente em sistemas modulares de pequeno porte, para atendimento destes requisitos. Esta necessidade é abordada pelas configurações da invenção descrita abaixo e definida pelas reivindicações que se encontram a seguir.

Os seguintes documentos, a despeito de não anteciparem ou sugerirem o objeto da presente invenção, foram selecionados dentre os documentos da técnica anterior como os mais representativos.

5 O documento US200510132881 descreve um sistema PSA utilizando uma válvula dupla rotativa de indexação que regula um modo de operação passo a passo que controla uma taxa de fluxo de alimentação de entrada de cama variável; EP1420197 descreve uma válvula de sequenciamento rotativa
10 compreendendo um rotor com uma face de rotor rotativa em torno de um eixo perpendicular à face do rotor, em que a face do rotor tem uma pluralidade de aberturas; O documento EP1752204 descreve uma válvula rotativa de rotor compreendendo um rotor com uma face de rotor rotativa em
15 torno de um eixo perpendicular à face do rotor, em que uma pluralidade de aberturas são proporcionadas na face do rotor; e o documento GB 2190014 descreve um conjunto de válvula para um aparelho de adsorção por balanço de pressão compreendendo dois recipientes de adsorção e duas válvulas,
20 em que as aberturas estão dispostas na superfície circunferencial dos elementos rotativos das válvulas

BREVE SUMÁRIO DAS
CONFIGURAÇÕES DA INVENÇÃO

A invenção refere-se a um sistema de adsorção por modulação de pressão compreendendo (a) mais de dois vasos, cada vaso possuindo uma extremidade de alimentação, uma extremidade de produção, e um material adsorvente adaptado para adsorção de um ou mais componentes de uma mistura gasosa de alimentação composta por múltiplos componentes; (b) uma tubulação adaptada para introdução da mistura gasosa de alimentação nas extremidades de alimentação dos vasos, tubulação adaptada para retirar um gás produzido das extremidades de produção dos vasos, tubulação adaptada para dispor as extremidades de produção de qualquer par de vasos em comunicação de fluxo, e tubulação adaptada para retirar um gás destinado a ser descartado das extremidades de alimentação dos vasos; (c) um tubo de alimentação adaptado para fornecer a mistura gasosa de alimentação para o sistema, uma tubulação de produto adaptada para retirar o gás produzido do sistema, e uma tubulação de gás descartado adaptada para retirar um gás descartado do sistema; e (d) uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas adaptada para dispor a extremidade de produção de cada vaso seqüencialmente em comunicação de fluxo com a extremidade de produção de cada um dos outros vasos.

Preferencialmente a invenção inclui um sistema de adsorção do tipo de modulação de pressão compreendendo (a) um primeiro, um segundo, um terceiro, e um quarto vasos, cada vaso possuindo uma extremidade de alimentação, uma
5 extremidade de produção, e um material adsorvente adaptado para adsorção de um componente selecionado de uma mistura gasosa de alimentação; (b) uma tubulação adaptada para introdução da mistura de gás de alimentação nas extremidades de alimentação dos vasos, uma tubulação
10 adaptada para retirar um gás produzido das extremidades de produção dos vasos, uma tubulação adaptada para dispor as extremidades de produção de qualquer par de vasos em comunicação de fluxo, e uma tubulação adaptada para retirar um gás descartado das extremidades de alimentação dos
15 vasos; e (c) uma tubulação de alimentação adaptada para fornecer a mistura gasosa de alimentação para o sistema, uma tubulação de produto adaptada para retirar o gás produzido do sistema, e uma tubulação de gás descartado adaptada para retirar o gás descartado do sistema.

20 O sistema desta configuração inclui igualmente uma válvula de produto de múltiplas aberturas rotativas escalonadas possuindo oito posições escalonadas em que

(1) em uma primeira posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos segundo e quarto vasos em comunicação de fluxo;

5

(2) em uma segunda posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos terceiro e quarto vasos em comunicação de fluxo e para dispor as extremidades de produção dos primeiro e segundo vasos em comunicação de fluxo;

10

(3) em uma terceira posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos primeiro e terceiro vasos em comunicação de fluxo;

15

(4) em uma quarta posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos primeiro e quarto vasos em comunicação de fluxo e para dispor as extremidades de produção dos segundo e terceiro vasos em comunicação de fluxo;

20

(5) em uma quinta posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos segundo e quarto vasos em comunicação de fluxo;

(6) em uma sexta posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos primeiro e segundo vasos em comunicação de fluxo e para dispor as extremidades de produção dos terceiro e quarto vasos em comunicação de fluxo;

(7) em uma sétima posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos primeiro e terceiro vasos em comunicação de fluxo; e

(8) em uma oitava posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos primeiro e quarto vasos em comunicação de fluxo e para dispor as extremidades de produção dos segundo e terceiro vasos em comunicação de fluxo.

A invenção também refere-se a um método para recuperação de um componente menos intensamente passível de adsorção de uma mistura gasosa de alimentação compreendendo um componente mais intensamente passível de adsorção e o componente menos intensamente passível de adsorção, em que o método compreende

(a) provisão de um sistema de adsorção por modulação de pressão compreendendo

(1) mais de dois vasos, cada um dos mesmos possuindo uma extremidade de alimentação, uma extremidade de produção, e um material adsorvente adaptado para adsorção do componente mais intensamente passível de adsorção da mistura gasosa de alimentação;

(2) uma tubulação adaptada para introdução da mistura gasosa de alimentação nas extremidades de alimentação dos vasos, uma tubulação adaptada para retirar um gás produzido das extremidades de produção dos vasos, em que o gás produzido é empobrecido em termos do componente mais intensamente passível de adsorção, uma tubulação adaptada para dispor as extremidades de produção de qualquer par de vasos em comunicação de fluxo, e uma tubulação adaptada para retirar um gás descartado das extremidades de alimentação dos vasos, em que o gás descartado é enriquecido em termos do componente mais intensamente passível de adsorção;

(3) uma tubulação de alimentação adaptada para fornecer a mistura gasosa de alimentação para o sistema, uma tubulação de produto adaptada para retirar o gás produzido do sistema, e uma tubulação de gás descartado adaptada para retirar gás descartado do sistema;
5 e

(4) uma válvula de produto de múltiplas aberturas rotativas escalonadas possuindo uma pluralidade de posições de rotação escalonadas adaptada para dispor as extremidades de produção de qualquer par de vasos em comunicação de fluxo;
10

(b) introdução da mistura gasosa de alimentação em um primeiro vaso e retirada de gás produzido do primeiro vaso e através da tubulação de produto;
15

(c) despressurização do primeiro vaso mediante retirada de gás de despressurização da extremidade de produção do vaso e transferência do gás de despressurização para a extremidade de alimentação de um outro vaso através da válvula de produto de múltiplas aberturas rotativas escalonadas em uma das posições de rotação escalonadas;
20

(d) retirada de gás descartado da extremidade de alimentação do primeiro vaso;

(e) pressurização do primeiro vaso mediante introdução na extremidade de produção do vaso de um gás de despressurização provido de um outro vaso que está sendo submetido à etapa (c), em que o gás é transferido através
5 da válvula de produto de múltiplas aberturas rotativas escalonadas em uma outra das posições de rotação escalonadas; e

(f) repetição das etapas (b) até (e) de uma forma cíclica.

A válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas compreendendo (a) um elemento rotativo adaptado para rotação em torno de um eixo geométrico e possuindo uma primeira seção transversal circular perpendicular ao eixo geométrico, em que o elemento rotativo tem uma superfície externa não planar e compreende uma ou mais passagens através do elemento rotativo; (b) um corpo de válvula circundando o elemento rotativo, em que o corpo de válvula é coaxial com o elemento rotativo e possui uma superfície interna não planar e uma superfície externa, e em que o corpo de válvula compreende uma pluralidade de passagens entre a superfície interna e a superfície externa; e (c) um motor de acionamento de válvula de escalonamento adaptado para fazer rodar o elemento rotativo intermitentemente em uma única direção de rotação para disposição do elemento rotativo seqüencialmente em uma série de posições de rotação ou circunferenciais fixas em torno da periferia da seção transversal circular relativamente ao corpo da válvula para alinhamento de passagens selecionadas no elemento rotativo com passagens selecionadas no corpo da válvula.

Em uma configuração preferencial o dispositivo de válvula de múltiplas abertura rotativas escalonadas compreendendo:

(a) um elemento rotativo adaptado para rotação em torno de um eixo geométrico e possuindo uma primeira seção transversal circular perpendicular ao eixo geométrico, em que o elemento rotativo compreende uma primeira, uma
5 segunda, e uma terceira passagens através do elemento rotativo;

(b) um corpo de válvula circundando o elemento rotativo, em que o corpo de válvula é coaxial com o elemento rotativo e possui uma superfície interna e uma
10 superfície externa, e em que o corpo de válvula compreende uma primeira, uma segunda, uma terceira, e uma quarta passagens entre a superfície interna e a superfície externa; e

(c) um motor de acionamento de válvula de
15 escalonamento adaptado para fazer rodar o elemento rotativo intermitentemente em uma única direção de rotação para disposição do elemento rotativo seqüencialmente em cada uma de oito diferentes posições circunferenciais em torno da periferia da seção transversal circular relativamente ao
20 corpo da válvula para alinhamento de passagens selecionadas no elemento rotativo com passagens selecionadas no corpo da válvula.

Uma outra configuração da invenção inclui um dispositivo de válvula rotativa de múltiplas aberturas
25 escalonadas compreendendo

(a) um elemento rotativo adaptado para rotação em torno de um eixo e possuindo uma primeira seção transversal circular perpendicular ao eixo geométrico, em que o elemento rotativo possui uma superfície externa, e em que o elemento rotativo compreende

(1) uma primeira, uma segunda, uma terceira, uma quarta, uma quinta, e uma sexta aberturas na superfície externa que são dispostas em torno da periferia da primeira seção transversal circular, em que

a primeira abertura e a segunda abertura são separadas por dois arcos idênticos de 180 graus em torno da periferia da primeira seção transversal circular,

as terceira e quarta aberturas são dispostas ao longo de um dos dois arcos idênticos separando as primeira e segunda aberturas, a terceira abertura é separada da quarta abertura por um arco de 90 graus na periferia, a terceira abertura é separada da primeira abertura por um arco de 45 graus na periferia, e a quarta abertura é separada da segunda abertura por um arco de 45 graus na periferia, e

5

10

15

as quinta e sexta aberturas são dispostas ao longo do outro dos dois arcos idênticos separando as primeira e segunda aberturas, a quinta abertura é separada da sexta abertura por um arco de 90 graus na periferia, a quinta abertura é separada da primeira abertura por um arco de 45 graus na periferia, e a sexta abertura é separada da segunda abertura por um arco de 45 graus na periferia, e

(2) uma primeira passagem através do elemento rotativo ligando a primeira abertura à segunda abertura, uma segunda passagem através do elemento rotativo ligando a terceira abertura à quarta abertura, e uma terceira passagem através do elemento rotativo ligando a quinta abertura à sexta abertura;

(b) um corpo de válvula circundando o elemento rotativo, em que o corpo de válvula é coaxial com o elemento rotativo e possui uma segunda seção transversal circular que é perpendicular ao eixo geométrico do elemento rotativo, uma periferia da segunda seção transversal circular que é co-planar com a periferia da primeira seção transversal circular do elemento rotativo, uma superfície interna, e uma superfície externa, e em que o corpo de válvula compreende

(1) uma primeira, uma segunda, uma terceira, e uma quarta aberturas na superfície interna que são dispostas em torno da periferia da segunda seção transversal circular, em que cada abertura é separada relativamente a cada abertura adjacente por um arco de 90 graus nesta periferia;

(2) uma primeira, uma segunda, uma terceira, e uma quarta aberturas na superfície externa do alojamento, e

(3) uma primeira passagem através do corpo da válvula ligando a primeira abertura na superfície interna à primeira abertura na superfície externa, uma segunda passagem através do corpo da válvula ligando a segunda abertura na superfície interna à segunda abertura na superfície externa, uma terceira passagem através do corpo da válvula ligando a terceira abertura na superfície interna à terceira abertura na superfície externa, e uma quarta passagem através do corpo da válvula ligando a quarta abertura na superfície interna à quarta abertura na superfície externa; e

(c) um motor de acionamento de válvula de escalonamento adaptado para fazer rodar o elemento rotativo intermitentemente em uma única direção de rotação para disposição do elemento rotativo seqüencialmente em cada uma de oito diferentes posições circunferenciais em torno da periferia da seção transversal circular relativamente ao corpo da válvula para alinhamento de passagens selecionadas no elemento rotativo com passagens selecionadas no corpo da válvula.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A Fig. 1 é um diagrama de fluxo esquemático de um sistema exemplar de adsorção por modulação de pressão de quatro leitos.

A Fig. 2 é um diagrama de fluxo esquemático de um sistema exemplar de adsorção por modulação de pressão de 5 quatro leitos de acordo com uma configuração da presente invenção.

A Fig. 3 é um corte transversal de uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas utilizada em 10 uma configuração da presente invenção.

A Fig. 4 é uma seção transversal de uma outra válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas utilizada em uma configuração da presente invenção.

A Fig. 5 é uma representação gráfica das etapas 1-8 15 para um ciclo PSA de quatro leitos ilustrando as etapas de ciclo e as respectivas posições de uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas operando nas extremidades de alimentação dos leitos.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

As configurações da invenção aqui descritas simplificam o sistema de válvulas e de controle de válvulas utilizado em um processo PSA típico. Muitos sistemas PSA utilizam uma multiplicidade de vasos de adsorção possuindo

5 coletores de admissão e descarga de gás com múltiplas válvulas de bloqueio que são abertas e fechadas durante períodos de tempo controlados ao longo do ciclo do processo. Um sistema PSA de quatro leitos típico conhecido na técnica encontra-se ilustrado na Fig. 1, em que um

10 material adsorvente seletivo é contido em vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107, um gás de alimentação é introduzido no sistema pelo ventilador de sopro de alimentação 109, e um gás descartado é retirado do sistema pelo ventilador de extração de vácuo 111. O ar de admissão que ingressa

15 através da linha 113 é filtrado no filtro 115, e o gás de alimentação comprimido proveniente do ventilador de sopro 109 passa através do silencioso 117 e é refrigerado no pós-refrigerador ("aftercooler") 119. O gás de alimentação é provido através do coletor de alimentação 121 e das

20 válvulas de bloqueio 123, 125, 127, e 129 para as extremidades de alimentação dos vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107, respectivamente. O gás descartado é retirado das extremidades de alimentação dos vasos de adsorção através das válvulas de comutação 131, 133, 135, e 137 e do

25 coletor 137 de gás descartado, e o ventilador de extração de vácuo 111 descarrega gás descartado através do silencioso 139.

O gás produzido é retirado através das válvulas de bloqueio 141, 143, 145, e 147 das extremidades de produção dos vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107, respectivamente. O gás produzido passa através do coletor de produção 149 para o tanque de produto 151, de onde é provido para o consumidor através da válvula de controle de fluxo 153. A transferência de gás entre os vasos de adsorção 101 e 105 ocorre por fluxo através de uma tubulação de ligação e da válvula de bloqueio 151, a transferência de gás entre os vasos de adsorção 103 e 107 ocorre por fluxo através de uma tubulação de ligação e da válvula de bloqueio 153, a transferência de gás entre os vasos de adsorção 101 e 107 ocorre por fluxo através de uma tubulação de ligação e da válvula de bloqueio 155, a transferência de gás entre os vasos de adsorção 101 e 103 ocorre por fluxo através de uma tubulação de ligação e da válvula de bloqueio 157, a transferência de gás entre os vasos de adsorção 103 e 105 ocorre por fluxo através de uma tubulação de ligação e da válvula de bloqueio 159, e a transferência de gás entre os vasos de adsorção 105 e 107 ocorre por fluxo através de uma tubulação de ligação e da válvula de bloqueio 161.

Existem diversas características do sistema PSA da Fig. 1 que podem contribuir para uma elevada despesa de capital e complicados problemas operacionais. Em primeiro lugar, existem 18 válvulas de bloqueio de comutação operadas por atuadores eletrônicos ou pneumáticos individuais que são tipicamente controlados por um dispositivo controlador de lógica programável ("Programmable Logic Controller" - PLC) ou por um sistema de controle computadorizado. Em segundo lugar, pequenas diferenças entre os tempos de atuação das múltiplas válvulas do bloqueio podem tornar-se diferenças significativas após longos períodos de tempo de operação. Esta é uma questão particularmente importante em ciclos PSA rápidos visto que estas diferenças de tempo podem se tornar frações maiores das durações de tempo de etapa de ciclo. Seria requerida uma lógica adicional no controlador para auto-correção deste problema. Em terceiro lugar, as válvulas de bloqueio de comutação possuem partes móveis que precisam ser substituídas ao longo do tempo conforme se vão desgastando, algumas a taxas diferentes de outras.

Como alternativa à utilização das múltiplas válvulas de bloqueio ilustradas na Fig. 1, foram desenvolvidas válvulas rotativas na técnica para orientação de fluxo de gás para, de, e entre os leitos de um sistema PSA de múltiplos leitos para realização das etapas de ciclo requeridas. Uma válvula rotativa compreende um rotor e um estator, cada um dos mesmos possuindo uma multiplicidade de passagens curvas internas e/ou aberturas que são alinhadas em diferentes posições à medida que o rotor roda continuamente para orientação do fluxo de gás para o ciclo PSA. O rotor e o estator possuem tipicamente superfícies altamente polidas entre as quais é realizado um contato contínuo de deslizamento para formação de uma vedação para gás estanque a vazamento. Muito embora as válvulas rotativas possam substituir numerosas válvulas de bloqueio de comutação em um sistema PSA, as válvulas rotativas são dispendiosas e tendem a ser relativamente complexas, particularmente quando são utilizadas em um sistema PSA com mais de dois leitos operando com uma multiplicidade de etapas de transferência de gás de leito-para-leito. Além disso, as válvulas rotativas podem apresentar taxas de vazamento mais elevadas devido a desequilíbrios de desgaste em comparação com válvulas de comutação mais tradicionais.

As configurações da presente invenção proporcionam alternativas à utilização de múltiplas válvulas de comutação e válvulas rotativas em sistemas PSA de múltiplos vasos mediante utilização de válvulas rotativas de

5 múltiplas aberturas escalonadas nas extremidades de alimentação e de produção dos vasos de adsorção. Uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas é definida como uma válvula compreendendo um elemento rotativo disposto no interior de um corpo de válvula em que

10 o elemento rotativo e o corpo de válvula são coaxiais e possuem seções transversais circulares em qualquer plano perpendicular ao eixo geométrico. A superfície externa do elemento rotativo e a superfície interna do corpo de válvula são não-planares. O elemento rotativo e o

15 alojamento de válvula possuem individualmente uma pluralidade de passagens em que combinações selecionadas das passagens no elemento e no corpo são dispostas em comunicação de fluxo quando o elemento é disposto em respectivas posições circunferenciais escalonadas

20 específicas.

A rotação do elemento rotativo é intermitente e a válvula é escalonada, o que significa que a rotação somente ocorre para alterar a posição circunferencial do elemento e não ocorre nenhuma rotação enquanto o elemento se encontra
5 em uma posição circunferencial escalonada fixa. Cada posição circunferencial fixa do elemento rotativo é considerada como constituindo uma posição escalonada com relação ao corpo de válvula, e o elemento rotativo retorna para uma determinada posição escalonada durante cada
10 revolução em torno de seu eixo geométrico.

Os termos "comunicação de fluxo" e "em comunicação de fluxo com" conforme aplicados a uma primeira e uma segunda regiões significam que um fluido pode fluir da primeira região para a segunda região, e/ou da segunda região para a
15 primeira região, através de uma região intermediária. A região intermediária pode compreender tubulações de ligação e válvulas entre as primeira e segunda regiões.

O termo "seqüencial" tem o significado habitual de referência a, ou disposição em, uma seqüência. Quando aplicado ao uso de uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas em um sistema de adsorção por modulação de pressão, o termo refere-se a uma série repetível de posições fixas do elemento rotativo da válvula quando o mesmo é feito rodar intermitentemente entre as posições. O termo também se aplica às etapas em um ciclo de adsorção por modulação de pressão em que cada etapa se segue à mesma etapa precedente em uma série ciclicamente repetitiva de etapas. O termo "comunicação de fluxo seqüencial" conforme aplicado à extremidade de produção de um vaso de adsorção significa que a extremidade de produção desse vaso é disposta em comunicação de fluxo seqüencialmente com cada um dos outros vasos nas etapas de um ciclo de operação de PSA.

O termo "passível de rotação" ("rotativo") refere-se a um elemento de válvula possuindo um eixo geométrico em torno do qual o elemento pode ser feito rodar descontinuamente ou intermitentemente entre posições em que o elemento permanece em uma posição fixa entre períodos de movimento de rotação de uma posição para a posição seqüencial seguinte. O termo "escalonado" significa que as posições são fixas relativamente umas às outras.

O termo genérico "adsorção por modulação de pressão" ("Pressure Swing Adsorption" - PSA) conforme é aqui utilizado aplica-se a todos os sistemas de separação do tipo de adsorção que operam entre uma pressão máxima e uma
5 pressão mínima. A pressão máxima é tipicamente super-atmosférica, e a pressão mínima pode ser super-atmosférica, atmosférica, ou sub-atmosférica. Quando a pressão mínima é sub-atmosférica e a pressão máxima é super-atmosférica, o sistema é tipicamente descrito como um sistema de adsorção
10 por modulação de pressão de vácuo ("Pressure Vacuum Swing Adsorption" - PVSA). Quando a pressão máxima é a pressão atmosférica ou uma pressão inferior à mesma e a pressão mínima é uma pressão inferior à pressão atmosférica, o sistema é tipicamente descrito como um sistema de adsorção
15 com modulação de vácuo ("Vacuum Swing Adsorption" - VSA).

Os artigos indefinidos "um", "uma" são aqui utilizados significando uma unidade ou mais quando aplicados a qualquer característica em configurações da presente invenção descrita no relatório descritivo e nas reivindicações. O uso de "um" e "uma" não limita o significado a uma única característica a menos que um tal limite seja especificamente mencionado. O artigo definido "a" ou "o" precedendo substantivos ou frases substantivas no singular ou no plural indica uma característica especificada em particular ou características especificadas em particular e pode ter uma conotação singular ou plural dependendo do contexto em que é utilizada. O adjetivo "qualquer" significa um, alguns, ou todos, independentemente da quantidade. O termo "e/ou" disposto entre uma primeira entidade e uma segunda entidade significa um de entre (1) a primeira entidade, (2) a segunda entidade, e (3) a primeira entidade e a segunda entidade.

Na Fig. 2 encontra-se ilustrada uma configuração em que são usadas válvulas rotativas de múltiplas aberturas escalonadas para substituição das válvulas de bloqueio do sistema na Fig. 1. O sistema da Fig. 2 utiliza determinados

5 componentes comuns com os da Fig. 1, designadamente vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107, o ventilador de sopro de alimentação 109, o ventilador de extração de vácuo 111, o filtro 115, o silencioso 117, o pós-refrigerador ("aftercooler") 119, o coletor de gás descartado 137, o

10 silencioso 139, o tanque de produto 151, e a válvula de controle 153. Linhas de descarga 201, 203, 205, e 207 provenientes dos vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107, respectivamente, são ligadas ao coletor de produto 149 através de válvulas de retenção 209, 211, 213, e 215,

15 respectivamente. O tanque de produto 151 pode ser preenchido com um adsorvente seletivo para oxigênio para aumentar a densidade efetiva de armazenagem de gás no interior do tanque de produto, permitindo dessa forma reduzir o tamanho do tanque e as flutuações de pressão na

20 pressão de fornecimento do produto.

Os fluxos de gás entre as extremidades de produção dos vasos de adsorção são guiados por uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas 217, que possui quatro aberturas externas ligadas através de linhas 219, 221, 223, e 225, respectivamente, a linhas de descarga 201, 203, 205, e 207 provenientes dos vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107, respectivamente. Conforme será descrito mais adiante, a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas 217 possui um elemento rotativo interno incluindo passagens internas adaptadas para disposição de pares específicos de linhas 219, 221, 223, e 225 em comunicação de fluxo de acordo com o ciclo de PSA em operação nos vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107. O elemento interno rotativo é feito rodar pelo motor de acionamento de escalonamento de válvulas 227, que desloca o elemento intermitentemente em uma única direção de rotação com incrementos precisos de 45 graus e possui oito posições diferentes para alinhamento de passagens selecionadas no elemento rotativo com passagens selecionadas no corpo de válvula conforme será descrito mais abaixo. O motor de acionamento de escalonamento de válvulas utiliza um controle preciso de movimento de alta frequência para alinhamento adequado nas oito posições. O motor de acionamento de escalonamento de válvulas pode possuir um temporizador embutido para controlar a duração de tempo de cada posição do elemento interno rotativo; alternativamente, poderá ser utilizado um temporizador externo ou uma temporização poderá ser comunicada de um

controlador de lógica programável (PLC) ou de um sistema de controle computadorizado (não ilustrado). O motor de válvula de escalonamento pode igualmente incluir um freio no eixo para minimizar o tempo de rotação livre do rotor

5 até a parada.

Os fluxos de gás nas extremidades de alimentação dos vasos de adsorção são guiados por válvulas rotativas de múltiplas aberturas escalonadas 229 e 231, cada uma das quais possui quatro aberturas externas e uma abertura de
5 admissão ou de descarga. Os elementos internos rotativos das válvulas 229 e 231 são feitos rodar pelo motor de acionamento de escalonamento de válvulas 233, que movimenta cada elemento intermitentemente em uma única direção de rotação com incrementos precisos de 90 graus e tem quatro
10 diferentes posições para alinhamento de uma passagem no elemento rotativo com passagens selecionadas no corpo de válvula conforme será descrito abaixo. O motor de acionamento de escalonamento de válvulas utiliza controle de movimento preciso, de alta frequência, para alinhamento
15 adequado nas quatro posições. O motor de acionamento de escalonamento de válvulas pode incluir um temporizador embutido para controle da duração de tempo de cada posição do elemento interno rotativo; alternativamente, poderá ser utilizado um temporizador externo ou uma temporização
20 poderá ser comunicada de um controlador de lógica programável (PLC) ou de um sistema de controle computadorizado (não ilustrado) que controla ambos os motores de acionamento de escalonamento de válvulas 227 e 233. Em uma outra alternativa, o motor de acionamento de
25 escalonamento de válvulas 227 pode conter um temporizador embutido que controla ambos os motores de acionamento de escalonamento de válvulas 227 e 233, dessa forma

assegurando que o movimento escalonado das válvulas 217, 229, e 231 esteja sempre sincronizado e consistente. O motor de escalonamento de válvulas pode igualmente incluir um freio no eixo para minimizar o tempo de rotação livre do rotor até a parada.

As aberturas externas da válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas 229 são ligadas através de linhas 235, 237, 239, e 241, respectivamente, a linhas de admissão/descarga 243, 245, 247, e 249 nas extremidades de admissão dos vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107, respectivamente. a abertura de admissão da válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas 229 é ligada através da linha de alimentação 251 ao pós-refrigerador 119 de gás de alimentação que serve para fornecimento de gás de alimentação pressurizado para os vasos de adsorção. Conforme será descrito mais adiante, a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas 229 possui um elemento rotativo interno que possui passagens internas adaptadas para fornecimento de gás de alimentação pressurizado para cada um dos vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107 seqüencialmente de acordo com o ciclo de operação PSA.

As aberturas externas da válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas 231 são ligadas através de linhas 253, 255, 257, e 259, respectivamente, a linhas de admissão/descarga 243, 245, 247, e 249 nas extremidades de
5 alimentação dos vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107, respectivamente. A abertura de descarga da válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas 231 é ligada pela linha de gás descartado 261 ao ventilador de extração de vácuo 111 e serve para retirar gás descartado dos vasos de
10 adsorção. Conforme será descrito mais adiante, a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas 231 possui um elemento rotativo interno com passagens internas adaptadas para retirada de gás descartado de cada um dos vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107 sequencialmente de acordo com
15 o ciclo de operação PSA.

Um exemplo da válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas 217 encontra-se ilustrado na vista de corte transversal da Fig. 3. Este corte é perpendicular ao eixo geométrico de rotação da válvula que passa através do ponto central 301. A válvula compreende o corpo de válvula 303 e o elemento rotativo interno 305 disposto dentro de uma cavidade interna de corpo de válvula que possui o mesmo formato geral do elemento rotativo 305. Um espaço circunferencial ou anular 307 contém elementos de vedação tais como uma guarnição, anéis tóricos ("o-rings"), juntas ou outros materiais elastoméricos (não ilustrados) adaptados para prevenção de fluxo de gás entre o corpo de válvula 303 e o elemento rotativo 305. Os elementos de vedação são dispostos entre, e vedam, as superfícies curvas mutuamente correspondentes do corpo de válvula 303 e do elemento rotativo interno 305. As guarnições, anéis tóricos, juntas, ou outros materiais elastoméricos deverão ter um coeficiente de atrito suficientemente baixo para permitirem um contato deslizante com estabelecimento de vedação entre este material e a superfície externa do elemento rotativo e/ou a superfície interna da cavidade interna do corpo de válvula.

O elemento rotativo interno 305 tem um espaço vazado ou passagem central 309 que passa através do elemento, um espaço vazado ou passagem não central 311 que passa através de uma região em um lado da passagem 309, e um espaço
5 vazado ou passagem não central 313 que passa através de uma região do outro lado da passagem 309. A passagem central 309 possui uma primeira extremidade 309a e uma segunda extremidade 309b, a passagem não central 311 tem uma primeira extremidade 311a e uma segunda extremidade 311b, e
10 a passagem não central 313 tem uma primeira extremidade 313a e uma segunda extremidade 313b. O corpo de válvula 303 tem quatro passagens 315, 317, 319, e 321 que se estendem desde o espaço circunferencial ou anular 307 através das superfícies externas do corpo de válvula 303. O elemento
15 rotativo interno 305 e a cavidade interna do corpo de válvula possuem seções transversais circulares que são concêntricas e perpendiculares ao eixo geométrico de rotação do elemento rotativo 305.

A válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas descrita acima difere de uma válvula rotativa tipicamente utilizada em sistemas PSA devido ao fato de (1) a válvula de múltiplas aberturas rotativas rodar intermitentemente ao passo que uma válvula rotativa roda continuamente e/ou (2) as superfícies opostas entre o elemento rotativo e o corpo de válvula serem curvas e não-planares ao passo que as superfícies opostas entre o rotor e o estator em uma válvula rotativa são planas e planares. Em qualquer uma das configurações, as três passagens podem ficar dispostas no mesmo plano, conforme se encontra ilustrado na Fig. 3, ou podem encontrar-se dispostas em diferentes planos. As passagens podem dispor-se em qualquer ângulo relativamente ao eixo geométrico de rotação do elemento rotativo 305 porém não podem ficar dispostas paralelamente a este eixo geométrico de rotação. As três passagens podem ter diferentes áreas de fluxo de seção transversal efetivo, e estas áreas de fluxo de seção transversal podem ser dimensionadas para controle da taxa de fluxo de gás entre os leitos durante uma determinada etapa. No processo específico de quatro leitos descrito na Fig. 5, por exemplo, a passagem central 309 pode ser maior que qualquer uma das passagens 311 ou 313. Em geral, qualquer uma das primeira, segunda, e terceira passagens poderá ter uma área de fluxo de seção transversal diferente da área de qualquer uma das outras duas passagens.

A válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas exemplar da Fig. 3 é adaptada para operar intermitentemente, em que as passagens no elemento rotativo 305 coincidem ou se alinham com passagens selecionadas no corpo de válvula 303 em oito diferentes posições escalonadas conforme é descrito a seguir.

1. Uma primeira posição escalonada encontra-se ilustrada na fig. 3, em que a primeira extremidade 309a da passagem 309 é alinhada com a passagem 321 no corpo de válvula e a segunda extremidade 309b é alinhada com a passagem 317 no corpo de válvula durante um primeiro período de tempo. Nesta primeira posição, é provida uma via para comunicação de fluxo de fluido entre as passagens 309, 317, e 321, e as extremidades das passagens 311, 313, 315, e 319 são vedadas mediante contato com os elementos de vedação no espaço anular 307.

2. Uma segunda posição escalonada é estabelecida mediante rotação do elemento rotativo 305 em um sentido anti-horário através de 45 graus a partir da posição da Fig. 3, de tal forma que durante um
5 segundo período de tempo (1) a primeira extremidade 311a da passagem 311 fica alinhada com a passagem 321 e a segunda extremidade 311b fica alinhada com a passagem 315 e (2) a primeira extremidade 313a da
10 passagem 313 fica alinhada com a passagem 319 e a segunda extremidade 313b fica alinhada com a passagem 317. Nesta segunda posição, é provida uma via para comunicação de fluxo de fluido entre as passagens 311, 315, e 321, e é provida uma via de percurso para
15 comunicação de fluxo de fluido entre as passagens 313, 317, e 319. As extremidades da passagem 309 são vedadas mediante contato com os elementos de vedação no espaço anular 307.

3. Uma terceira posição escalonada é estabelecida mediante rotação do elemento rotativo 305 em um sentido anti-horário através de mais 45 graus a partir da segunda posição, de tal forma que a

5 primeira extremidade 309a da passagem 309 fica alinhada com a passagem 319 e a segunda extremidade 309b fica alinhada com a passagem 315 durante um terceiro período de tempo. Nesta terceira posição, é provida uma via para comunicação de fluxo de fluido

10 entre as passagens 309, 315, e 319, e as extremidades das passagens 311, 313, 317, e 321 são vedadas mediante contato com os elementos de vedação no espaço anular 307.

4. Uma quarta posição escalonada é estabelecida mediante rotação do elemento rotativo 305 em um sentido anti-horário através de mais 45 graus a partir da terceira posição de tal forma que durante um quarto período de tempo (1) a primeira extremidade 311a da passagem 311 fica alinhada com a passagem 319 e a segunda extremidade 311b fica alinhada com a passagem 321 e (2) a primeira extremidade 313a da passagem 313 fica alinhada com a passagem 317 e a segunda extremidade 313b fica alinhada com a passagem 315. Nesta quarta posição, é provida uma via para comunicação de fluxo de fluido entre as passagens 311, 319, e 321, e é provida uma via de percurso para comunicação de fluxo de fluido entre as passagens 313, 315, e 317. As extremidades da passagem 309 são vedadas mediante contato com os elementos de vedação no espaço anular 307.

5. Uma quinta posição escalonada é estabelecida mediante rotação do elemento rotativo 305 em um sentido anti-horário através de mais 45 graus a partir da quarta posição de tal forma que a primeira extremidade 309a da passagem 309 fica alinhada com a passagem 317 e a segunda extremidade 309b fica alinhada com a passagem 321 durante um quinto período de tempo. Nesta quinta posição, é provida uma via para comunicação de fluxo de fluido entre as passagens 309, 317, e 321, e as extremidades das passagens 311, 313, 315, e 319 são vedadas mediante contato com os elementos de vedação no espaço anular 307.

6. Uma sexta posição escalonada é estabelecida mediante rotação do elemento rotativo 305 em um sentido anti-horário através de mais 45 graus a partir da quinta posição de tal forma que durante um sexto período de tempo (1) a primeira extremidade 311a da passagem 311 fica alinhada com a passagem 317 e a segunda extremidade 311b fica alinhada com a passagem 319 e (2) a primeira extremidade 313a da passagem 313 fica alinhada com a passagem 315 e a segunda extremidade 313b fica alinhada com a passagem 321. Nesta sexta posição, é provida uma via para comunicação de fluxo de fluido entre as passagens 311, 317, e 319, e é provida uma via de percurso para comunicação de fluxo de fluido entre as passagens 313, 315, e 321. As extremidades da passagem 309 são vedadas mediante contato com os elementos de vedação no espaço anular 307.

7. Uma sétima posição escalonada é estabelecida mediante rotação do elemento rotativo 305 em um sentido anti-horário através de mais 45 graus a partir da sexta posição de tal forma que a primeira extremidade 309a da passagem 309 fica alinhada com a passagem 315 e a segunda extremidade 309b fica alinhada com a passagem 319 durante um sétimo período de tempo. Nesta sétima posição, é provida uma via para comunicação de fluxo de fluido entre as passagens 309, 315, e 319, e as extremidades das passagens 311, 313, 317, e 321 são vedadas mediante contato com os elementos de vedação no espaço anular 307.

8. Uma oitava posição escalonada é estabelecida mediante rotação do elemento rotativo 305 em um sentido anti-horário através de mais 45 graus a partir da sétima posição de tal forma que durante um oitavo período de tempo (1) a primeira extremidade 311a da passagem 311 fica alinhada com a passagem 315 e a segunda extremidade 311b fica alinhada com a passagem 317 e (2) a primeira extremidade 313a da passagem 313 fica alinhada com a passagem 321 e a segunda extremidade 313b fica alinhada com a passagem 319. Nesta quarta posição, é provida uma via para comunicação de fluxo de fluido entre as passagens 311, 315, e 317, e é provida uma via de percurso para comunicação de fluxo de fluido entre as passagens 313, 319, e 321. As extremidades da passagem 309 são vedadas mediante contato com os elementos de vedação no espaço anular 307.

Após a oitava posição, o elemento rotativo 305 é feito rodar em uma direção anti-horária em mais 45 graus e retorna para a primeira posição escalonada. Como alternativa para a rotação de sentido anti-horário descrita acima, o elemento rotativo 305 pode ser feito rodar da primeira posição em um sentido horário, e nesse caso as posições descritas acima ocorrerão em ordem inversa. Cada uma destas oito posições corresponde a uma respectiva etapa de processo no ciclo de PSA descrito abaixo.

Deverá ser apreciado da seqüência descrita acima que a rotação através de oito posições escalonadas para um corpo de válvula 303 que contém somente quatro passagens proporciona a isolação de pares de leitos uns dos outros de tal forma que as extremidades de produção dos dois leitos não ficam em comunicação de fluxo. A isolação permite que os leitos participem em etapas de processo adicionais tais como evacuação ou provisão de produto.

A válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas da Fig. 3 opera intermitentemente de tal forma que cada uma das oito posições fixas descritas acima é mantida durante um intervalo de tempo previamente determinado sem ocorrência de rotação do elemento rotativo 305. Entre cada um destes intervalos de tempo previamente determinados, o elemento rotativo roda rapidamente de uma posição para a posição adjacente durante um breve intervalo de tempo de rotação que é muito mais curto que os intervalos de tempo das oito posições fixas. O elemento rotativo 305 pode ser feito rodar sobre seu eixo geométrico por um motor escalonador de funcionamento por etapas controlado por um temporizador programável de acordo com as durações desejadas dos primeiro até oitavo períodos de tempo descritos acima.

Em uma configuração, os formatos tridimensionais do elemento rotativo interno 305 e da cavidade interna do corpo de válvula 303 são geralmente esféricos e concêntricos, e as partes formam um dispositivo que pode
5 ser descrito como uma válvula de esfera. Em outras configurações, o elemento rotativo interno 305 e a cavidade interna do corpo de válvula podem ser cilíndricos, elipsoidais, afilados, ou poderão ter qualquer outro formato com uma seção transversal circular quando tomada
10 perpendicularmente ao eixo geométrico de rotação do elemento rotativo 305. a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas ilustrada na Fig. 3 pode ser fabricada mediante utilização de métodos conhecidos, por exemplo, na técnica de fabricação de válvulas de esfera ou
15 de válvulas de obturador rotativo. Alternativamente, uma válvula de esfera ou uma válvula de obturador rotativo comercialmente disponível poderá ser modificada mediante perfuração de passagens adicionais no elemento rotativo e/ou no corpo de válvula para obtenção do alinhamento de
20 passagens desejado e das vias de percurso de fluxo de fluido.

Um exemplo das válvulas rotativas de múltiplas aberturas escalonadas 229 e 231 da Fig. 2 encontra-se ilustrado na vista de corte transversal da Fig. 4. Esta seção transversal é tomada perpendicularmente ao eixo geométrico de rotação da válvula que passa através do ponto central 401. A válvula compreende o corpo de válvula 403 e o elemento rotativo interno 405 disposto no interior de uma cavidade interna de corpo de válvula que possui o mesmo formato geral do elemento rotativo 405. Um espaço circunferencial ou anular 407 contém elementos de vedação tais como guarnições, anéis tóricos ("o-rings"), juntas (gaxetas), ou outros materiais elastoméricos (não ilustrados) adaptados para prevenção de fluxo de gás entre o corpo de válvula 403 e o elemento rotativo 405. As guarnições, anéis tóricos, juntas, ou outros materiais elastoméricos deverão ter um coeficiente de atrito suficientemente baixo para permitir o estabelecimento de um contato deslizante com formação de vedação entre este material e a superfície externa do elemento rotativo e/ou a superfície interna da cavidade interna do corpo de válvula.

O elemento rotativo interno 405 possui um espaço vazado ou passagem central 409 que passa da superfície externa na primeira extremidade 409a para o centro do elemento, realiza uma curva de 90 graus, acompanha a
5 direção do eixo geométrico de rotação do elemento, e se estende para a superfície externa do elemento em uma segunda extremidade 409b (não ilustrada) localizada na superfície externa do corpo de válvula abaixo do plano da vista de corte transversal da Fig. 4. A direção de um
10 fluido que flui através da passagem central 409 é portanto alterada em 90 graus entre a primeira extremidade 409a e a segunda extremidade 409b. O corpo de válvula 403 possui quatro passagens 411, 413, 415, e 417 que se estendem do
15 espaço circunferencial ou anular 407 através das superfícies externas do corpo de válvula 403. O elemento rotativo interno 405 e a cavidade interna do corpo de válvula possuem seções transversais circulares que são concêntricas e perpendiculares ao eixo geométrico de rotação do elemento rotativo 405.

A válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas exemplar da Fig. 4 é adaptada para operar intermitentemente, em que a passagem no elemento rotativo 405 coincide ou se alinha com as passagens no corpo de válvula 403 em quatro diferentes posições escalonadas conforme se descreve a seguir. Uma primeira posição escalonada encontra-se ilustrada na Fig. 4, em que a primeira extremidade 409a da passagem 409 fica alinhada com a passagem 411 durante um primeiro período de tempo, dessa forma dispendo-se as duas passagens em comunicação de fluxo de fluido. Uma segunda posição escalonada é definida mediante rotação do elemento rotativo 405 em uma direção anti-horária por 90 graus a partir da posição da Fig. 4 de tal forma que a primeira extremidade 409a fica alinhada com a passagem 417 durante um segundo período de tempo, em que dessa forma as duas passagens são dispostas em comunicação de fluxo de fluido. Uma terceira posição escalonada é definida mediante rotação do elemento rotativo 405 em uma direção anti-horária por 90 graus a partir da segunda posição de tal forma que a primeira extremidade 409a fica alinhada com a passagem 415 durante um terceiro período de tempo, sendo assim as duas passagens dispostas em comunicação de fluxo de fluido. Uma quarta posição escalonada é definida mediante rotação do elemento rotativo 405 em uma direção anti-horária por 90 graus a partir da terceira posição de tal forma que a primeira extremidade 409a fica alinhada com a passagem 417 durante um quarto

período de tempo, dessa forma colocando-se as duas passagens em comunicação de fluxo de fluido. Após a quarta posição, o elemento rotativo 405 é feito rodar em uma direção anti-horária por 90 graus a partir da terceira
5 posição para retornar para a primeira posição. Como alternativa à rotação anti-horária descrita acima, o elemento rotativo 405 pode ser feito rodar da primeira posição escalonada no sentido horário, e nesse caso as posições descritas acima ocorrerão na ordem inversa.

10 A válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas da Fig. 4 opera intermitentemente de tal forma que cada uma das quatro posições fixas descritas acima é mantida durante um intervalo de tempo previamente determinado sem ocorrência de rotação do elemento rotativo 405. Entre cada
15 um destes intervalos de tempo previamente determinados, o elemento rotativo roda rapidamente de uma posição para a posição adjacente durante um breve intervalo de tempo de rotação que é muito mais curto que os intervalos de tempo das oito posições fixas. O elemento rotativo 405 pode ser
20 feito rodar sobre seu eixo geométrico por um motor de escalonamento do tipo de funcionamento por etapas que é controlado por um temporizador programável de acordo com as durações desejadas dos primeiro até oitavo períodos de tempo descritos acima.

Em uma configuração, os formatos tridimensionais do elemento rotativo interno 405 e da cavidade interna do corpo de válvula 403 são geralmente esféricos e concêntricos, e as partes formam um dispositivo que pode
5 ser descrito como uma válvula de esfera. Em outras configurações, o elemento rotativo interno 405 e a cavidade interna do corpo de válvula podem ter formatos cilíndricos, elipsoidais, afilados, ou qualquer outro formato que tenha uma seção transversal circular quando observado
10 perpendicularmente ao eixo geométrico de rotação do elemento rotativo 405. A válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas ilustrada na Fig. 4 pode ser fabricada mediante utilização de métodos conhecidos, por exemplo, na técnica de fabricação de válvulas de esfera ou
15 válvulas de obturador rotativo. Alternativamente, uma válvula de esfera ou uma válvula de obturador rotativo disponível comercialmente poderá ser modificada mediante perfuração de passagens adicionais no elemento rotativo e/ou no corpo de válvula para obtenção do alinhamento
20 desejado de passagens e das vias de percurso de comunicação de fluxo de fluido pretendidas.

Com base nas descrições feitas acima com referência às Figs. 3 e 4, uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas poderá ser definida como uma válvula compreendendo (a) um elemento rotativo adaptado para 5 rotação em torno de um eixo geométrico e possuindo uma primeira seção transversal circular perpendicular ao eixo geométrico, em que o elemento rotativo compreende uma ou mais passagens através do elemento rotativo; (b) um corpo de válvula circundando o elemento rotativo, em que o corpo de válvula é coaxial com o elemento rotativo e possui uma 10 superfície interna e uma superfície externa, e em que o corpo de válvula compreende uma pluralidade de passagens entre a superfície interna e a superfície externa. Um motor de acionamento de escalonamento de válvulas é um motor adaptado para fazer rodar o elemento rotativo 15 intermitentemente em uma única direção de rotação para dispor o elemento rotativo seqüencialmente em uma série de posições de rotação ou circunferenciais fixas em torno da periferia da seção transversal circular relativamente ao 20 corpo de válvula para alinhamento de passagens selecionadas no elemento rotativo com passagens selecionadas no corpo de válvula.

As válvulas rotativas de múltiplas aberturas escalonadas da Fig. 2 podem ser fisicamente acopladas para manutenção da sincronização requerida para cumprimento de uma seqüência de temporização previamente definida. Esta
5 seqüência pode ser obtida mediante acionamento dos elementos rotativos por um dispositivo ou dispositivos de acionamento de motor de corrente alternada de escalonamento de alto ciclo e alta velocidade em que cada dispositivo de acionamento é ligado diretamente por um acoplamento eixo-
10 eixo a uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas. Um temporizador de duas posições poderá ser utilizado para atuação do(s) dispositivo(s) de acionamento ao invés de um dispendioso dispositivo controlador de lógica programável (PLC).

O dispositivo ou dispositivos de acionamento de motor de corrente alternada pode(m) ser controlado(s) por um inversor de acionamento modulado que utiliza retorno de informações de sincronização do motor de corrente alternada para posicionamento da válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas com rapidez, precisão e confiabilidade. O inversor de acionamento modular é capaz de operar de forma confiável ao longo de milhões de ciclos por ano, o que é particularmente importante no caso de sistemas PSA de ciclo rápido. O inversor de acionamento modular pode ser programado com temporizadores internos e interligações para estabelecimento de interface com e controle do ciclo de processo de PSA bem como equipamentos associados tais como ventiladores de sopro e instrumentação. Exemplos deste tipo de inversor de acionamento modular constituem os dispositivos fabricados pela empresa SEW-Eurodrive e conhecidos como inversores Movidrive MDX61B. Estes dispositivos de acionamento podem utilizar retorno de informações de sincronização interna do motor ou podem receber retorno de informações de dispositivos externos tais como chaves de proximidade para determinação de posicionamento exato de válvula.

A operação do sistema de adsorção por modulação de pressão da Fig. 2 pode ser ilustrada por um processo de PSA de quatro leitos para separação de oxigênio do ar para produção de um produto contendo pelo menos 80% por volume de oxigênio a uma pressão de 15 até 29,7 psia (2,088 kgf/cm²). O processo pode operar entre uma pressão máxima de até 29,7 psia (2,088 kgf/cm²) e uma pressão mínima tão baixa quanto 2 psia (0,140 kgf/cm²). Se for requerida uma pressão do produto mais elevada, poderá ser utilizado um compressor auxiliar opcional para elevar a pressão de produto para 125 psia (8,788 kgf/cm²) ou superior. Neste processo, cada um dos vasos de adsorção 101, 103, 105, e 107 contém um leito de material adsorvente, que pode incluir qualquer adsorvente conhecido para produção de oxigênio a partir do ar tais como, por exemplo, os zeólitos CaA, NaX, Cax, e LiX. No caso de zeólitos X, a razão SiO₂/Al₂O₃ poderá situar-se em uma faixa entre 2,0 e 2,5. No caso de alimentação de ar ambiente, poderá ser utilizada uma camada de adsorvente de pré-tratamento para remoção de água e/ou CO₂. Estes adsorventes de camada de pré-tratamento podem incluir alumina e MaX, bem como outros conhecidos na técnica. Os zeólitos LiX com uma razão SiO₂/Al₂O₃ de 2,0 é preferencial para a separação de oxigênio do ar e é conhecido como LiLSX (Li Low Silica X). O LiLSX absorve seletivamente nitrogênio à temperatura ambiente ou próximo da temperatura ambiente produzindo um produto de oxigênio contendo pelo menos 80% por volume de

oxigênio a uma pressão de 15 até 29,7 psia (de 1,054 até 2,088 kgf/cm²). A pureza do produto de oxigênio é de preferencialmente pelo menos 90% por volume de oxigênio. O ciclo pode operar entre uma pressão máxima de até 29,7 psia (2,088 kgf/cm²) e uma pressão mínima tão baixa quanto 2 psia (0,140 kgf/cm²).

Um ciclo exemplar de PSA de oito etapas poderá ser utilizado conforme descrito abaixo.

1. Introdução de um gás de alimentação pressurizado na extremidade de alimentação de um primeiro leito de adsorção em que o componente mais intensamente passível de adsorção é removido pelo adsorvente e o componente menos intensamente passível de adsorção é retirado de uma extremidade de produto do primeiro leito de adsorção como gás de produção, em que a totalidade do mesmo constitui um gás de produto final enviado para um tanque de contenção de gás de produto final opcional, e dali para um usuário localizado a jusante no processo.

2. Continuação da introdução do gás de alimentação na extremidade de alimentação do primeiro leito de adsorção, em que o componente mais intensamente passível de adsorção é removido pelo adsorvente e o

5 componente menos intensamente passível de adsorção passa através da extremidade de produção do leito de adsorção como gás de produção, em que uma parte do mesmo constitui um gás de produção final que é enviado para o tanque opcional de contenção de gás de

10 produção final e dali para um usuário a jusante, e uma outra parte é introduzida na extremidade de produção de um outro leito de adsorção sendo submetido a repressurização em contra-corrente (etapa 8), e continuando até a frente de adsorção do

15 componente mais intensamente passível de adsorção se aproximar da extremidade de produção do primeiro leito de adsorção.

3. Concomitante despressurização do primeiro leito de adsorção com início na pressão do leito na etapa 2

20 mediante retirada de gás de despressurização da extremidade de produção do leito enquanto a pressão no leito cai para uma primeira pressão intermediária em que o gás de despressurização é introduzido em contra-corrente na extremidade de produção de um

25 leito de adsorção sendo submetido a equalização de pressão (etapa 7).

4. Concomitante despressurização do primeiro leito de adsorção com início na primeira pressão intermediária mediante retirada de gás de despressurização adicional da extremidade de produção do leito enquanto a pressão no leito cai para uma segunda pressão intermediária, em que o gás de despressurização é introduzido em contra-corrente na extremidade de produção de um leito de adsorção sendo submetido a uma purga (etapa 6).
5. Despressurização do primeiro leito de adsorção em contra-corrente da segunda pressão intermediária em que um espaço vazio e gás desadsorvido são retirados do primeiro leito de adsorção através da extremidade de alimentação para uma pressão próxima da pressão atmosférica na forma de gás descartado. A pressão poderá ser adicionalmente reduzida para uma pressão sub-atmosférica mediante ligação da abertura de descarga de fluxo de gás da extremidade de alimentação do primeiro leito de adsorção à extremidade de sucção de uma bomba de vácuo sendo dessa forma removidos espaço vazio adicional e gás desadsorvido adicional como gás descartado adicional.

6. Introdução de um gás de purga em contra-corrente proveniente de um leito de adsorção sendo submetido a uma segunda despressurização (etapa 4) na extremidade de produção do primeiro leito de adsorção e retirada
5 de um gás de purga descartado da extremidade de alimentação do primeiro leito de adsorção para uma pressão intermediária inferior.

7. Repressurização em contra-corrente do primeiro leito de adsorção com início à terceira pressão
10 intermediária mediante a introdução de gás de pressurização na extremidade de produção do primeiro leito de adsorção até uma quarta pressão intermediária que é igual ou inferior à primeira pressão intermediária, em que o gás de pressurização
15 é provido da extremidade de produção de um leito de adsorção sendo submetido a uma primeira despressurização (etapa 3).

8. Repressurização em contra-corrente do primeiro leito de adsorção a partir da quarta pressão
20 intermediária mediante introdução de gás de produção na extremidade de produção do primeiro leito de adsorção, em que o gás de produção é provido da extremidade de produção de um leito de adsorção sendo submetido à etapa 2. Ao final desta etapa, o primeiro
25 leito de adsorção estará pronto para iniciar a etapa 1.

As etapas 1 até 8 são repetidas de uma forma cíclica. Neste exemplo, o componente mais intensamente passível de adsorção é o nitrogênio e o componente menos intensamente passível de adsorção é o oxigênio, porém o ciclo poderá ser
5 utilizado para separação de outras misturas gasosas.

Uma tabela de ciclo ilustrando o processo de oito etapas descrito acima é provida na Tabela 1 onde é ilustrada a relação das etapas entre o primeiro leito descrito acima (leito 1) e os outros três leitos (leitos 2,
10 3, e 4).

Tabela 1

Tabela de Ciclos para Processo de PSA de Quatro Leitos

Leito	Etapa de Processo							
1	1	2	3	4	5	6	7	8
2	7	8	1	2	3	4	5	6
3	5	6	7	8	1	2	3	4
4	3	4	5	6	7	8	1	2

As durações de todas as etapas de processo 1-8 podem ser idênticas. Alternativamente, as etapas 1, 3, 5, e 7
15 podem ter uma primeira duração idêntica e as etapas 2, 4, 6, e 8 podem ter uma segunda duração idêntica mais curta ou mais longa que a primeira duração. Um tempo de ciclo total típico poderá situar-se na faixa de 20 até 300 segundos.

Na Fig. 5 encontra-se uma representação gráfica das etapas 1-8 do ciclo de PSA para os leitos 1-4 juntamente com as respectivas posições da válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas 217, em que cada uma das aberturas de descarga de válvula 1, 2, 3, e 4 se encontram em comunicação de fluxo com as aberturas de descarga de extremidade de produção dos leitos de adsorção 1, 2, 3, e 4, respectivamente. As aberturas de descarga de válvula 1, 2, 3, e 4 correspondem às aberturas de descarga da válvula 217 da Fig. 2 que são ligadas às linhas 219, 221, 223, e 225, respectivamente. Os leitos 1, 2, 3, e 4 da FIG. 5 correspondem aos vasos 101, 103, 105 e 107, respectivamente, da Fig. 2. As aberturas de descarga 1, 2, 3, e 4 na válvula da Fig. 5 encontram-se em comunicação de fluxo com as passagens de corpo de válvula 319, 317, 315, e 321, respectivamente, da Fig. 3. As passagens na válvula de elemento rotativo da Fig. 5 correspondem às passagens 301, 311, e 313 da Fig. 3.

Na etapa 1 da Fig. 5, a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas dispõe as extremidades de produção dos leitos 2 e 4 em comunicação de fluxo. Na etapa 2, a válvula dispõe as extremidades de produção dos leitos 1 e 2 em comunicação de fluxo e dispõe as extremidades de produção dos leitos 3 e 4 em comunicação de fluxo. Na etapa 3, a válvula dispõe as extremidades de produção dos leitos 1 e 3 em comunicação de fluxo. Na etapa 4, a válvula dispõe as extremidades de produção dos leitos 1 e 4 em comunicação de fluxo e dispõe as extremidades de produção dos leitos 2 e 3 em comunicação de fluxo. Na etapa 5, a válvula dispõe as extremidades de produção dos leitos 2 e 4 em comunicação de fluxo. Na etapa 6, a válvula dispõe as extremidades de produção dos leitos 1 e 2 em comunicação de fluxo e dispõe as extremidades de produção dos leitos 3 e 4 em comunicação de fluxo. Na etapa 7, a válvula dispõe as extremidades de produção dos leitos 1 e 3 em comunicação de fluxo. Na etapa 8, a válvula dispõe as extremidades de produção dos leitos 2 e 3 em comunicação de fluxo e dispõe as extremidades de produção dos leitos 1 e 4 em comunicação de fluxo. Os tempos decorridos durante os quais a válvula fica imóvel sem rotação em cada uma das etapas 1, 3, 5, e 7 são idênticos, e isto estabelece a duração dessas etapas. Os tempos decorridos durante os quais a válvula é escalonada em cada uma das etapas 2, 4, 6, e 8 são idênticos, e isto estabelece a duração dessas etapas. O tempo decorrido das etapas 1, 3, 5, e 7 pode ser igual ou diferente do tempo

decorrido das etapas 2, 4, 6, e 8.

A válvula 229 da Fig. 2 opera como uma válvula de desvio mediante disposição da linha de alimentação 251 em comunicação de fluxo com a extremidade de alimentação do
5 leito 1 durante as etapas 1 e 2, com a extremidade de alimentação do leito 2 durante as etapas 3 e 4, com a extremidade de alimentação do leito 3 durante as etapas 5 e 6, e com a extremidade de alimentação do leito 4 durante as etapas 7 e 8. A válvula 231 da Fig. 2 opera como uma
10 válvula de desvio mediante disposição da linha 261 de gás descartado em comunicação de fluxo com a extremidade de alimentação do leito 3 durante as etapas 1 e 2, com a extremidade de alimentação do leito 4 durante as etapas 3 e 4, com a extremidade de alimentação do leito 1 durante as
15 etapas 5 e 6, e com a extremidade de alimentação do leito 2 durante as etapas 7 e 8.

Neste ciclo, o gás de purga é provido de um leito após o leito fornecer gás de pressurização para um outro leito. Nesta sequência, a frente de componente mais intensamente passível de adsorção encontra-se mais próxima da extremidade de produção do leito quando o gás de purga é retirado, tornando desta forma este gás mais concentrado em termos do componente mais intensamente passível de adsorção (isto é, "mais sujo") que o gás de pressurização. Este gás de purga "mais sujo" é vantajoso neste processo, visto que as subseqüentes etapas de repressurização em contracorrente empurram o gás de purga na direção da extremidade de alimentação com um gás que é menos concentrado em termos de presença do componente mais intensamente passível de adsorção. Poderá ser preferencial em alguns casos utilizar um gás "mais limpo" para a purga, e muitos ciclos de PSA conhecidos utilizam gás de produção de um tanque de compensação de pressão ("surge tank") ou de produto bem misturado para provisão de purga. Na configuração de processo da Fig. 2, entretanto, não é possível prover gás de purga do tanque de produto 151 sem utilização de válvulas de bloqueio de comutação e de um dispositivo controlador associado. Na medida em que é desejado eliminar o uso destas válvulas, a etapa de provisão de gás de purga (etapa 4) segue-se à etapa de provisão de gás de pressurização de equalização (etapa 3) no ciclo de PSA descrito acima. Foi descoberto que este ciclo com LiLSX pode ser utilizado para produção de 3 até 10 toneladas/dia

de oxigênio com uma pureza de produto de 90% por volume de oxigênio e uma recuperação de oxigênio de 60% ou mais.

A utilização de válvulas rotativas de múltiplas aberturas escalonadas é ilustrada acima para um sistema de
5 quatro leitos operando no ciclo de oito etapas descrito, porém as válvulas deste tipo podem ser utilizadas em sistemas com outros números de leitos e outros ciclos de PSA. Isto pode ser realizado mediante seleção do alinhamento e número adequado das passagens no elemento
10 rotativo e no corpo de válvula e mediante ligação das válvulas aos vasos de adsorção utilizando um sistema de tubulação adequadamente projetado. As válvulas rotativas de múltiplas aberturas escalonadas podem ser utilizadas em sistemas de PSA para separação de qualquer mistura gasosa
15 conforme é aqui ilustrado mais acima em termos de recuperação de oxigênio a partir do ar. Os sistemas de separação PSA com válvulas rotativas de múltiplas aberturas escalonadas podem ser utilizados, por exemplo, na recuperação de nitrogênio a partir do ar, ma recuperação de
20 hidrogênio a partir de misturas contendo hidrogênio, e na purificação de hélio.

EXEMPLO

Um sistema de adsorção por modulação de vácuo-pressão de oxigênio de 4 leitos conforme se encontra ilustrado na Fig. 2 produz 2500 litros por minuto de produto a uma pureza de 90% de oxigênio a uma temperatura ambiente de 42° F (5,55° C). O sistema compreende dois dispositivos de deslocamento de ar acionados por motores Baldor, um ventilador de sopro de lóbulos rotativos Tuthill 5509 para alimentação e um ventilador de sopro de lóbulos rotativos Tuthill 5518 para trabalho de vácuo. Os vasos de adsorção contêm uma camada de NaX, compreendendo 20% da altura do leito na extremidade de alimentação do vaso, e 80% da altura do leito de adsorvente LiX; ambos os adsorventes possuem um diâmetro médio de partícula de cerca de 1,8 mm. As colunas de adsorção possuem 30 polegadas (76,2 cm) de diâmetro e a altura total do leito adsorvente é de 60 polegadas (152,4 cm). O gás de alimentação é guiado através de uma válvula de esfera ligada às extremidades de alimentação dos vasos de adsorção. O gás de vácuo é guiado através de uma válvula de esfera separada que é ligada às extremidades de alimentação. Nas extremidades de produção dos vasos, uma tubulação é ligada dos vasos a uma única válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de produto que orienta o fluxo durante as etapas de equalização e purga. A válvula realiza ciclos através de oito posições distintas durante o processo. O sistema é operado em um ciclo de 8 etapas em que as etapas 1, 3, 5, e 7 têm uma duração de 7,0 segundos cada uma e as etapas 2,

4, 6, e 8 têm uma duração de 5,9 segundos cada uma. O tempo total de ciclo é de 52 segundos. O leito realiza ciclos entre uma pressão mínima de -12 polegadas de mercúrio (0,414 kgf/cm²) até uma pressão máxima de 9 psig (0,632 kgf/cm²). A pressão de produto situa-se em uma faixa entre 7,5 e 9,0 psig (entre 0,527 e 0,632 kgf/cm²).

- REIVINDICAÇÕES -

1. SISTEMA DE ADSORÇÃO POR MODULAÇÃO DE PRESSÃO, caracterizado por compreender

(a) uma pluralidade de vasos(101, 103, 105, 107),
5 cada vaso possuindo uma extremidade de alimentação, uma extremidade de produção, e um material adsorvente adaptado para adsorção de um ou mais componentes de uma mistura gasosa de alimentação de múltiplos componentes;

(b) uma tubulação (243, 245, 247, 249) adaptada para
10 introdução da mistura gasosa de alimentação nas extremidades de alimentação dos vasos(101, 103, 105, 107), uma tubulação (201, 203, 205, 207) adaptada para retirar um gás produzido das extremidades de produção dos vasos, e uma tubulação(253, 255, 257, 259) adaptada para retirar um gás descartado das
15 extremidades de alimentação dos vasos;

(c) uma tubulação de alimentação(251) adaptada para fornecer a mistura gasosa de alimentação para o sistema, uma tubulação de produto(149) adaptada para retirar o gás produzido do sistema, e uma tubulação de gás descartado(261)
20 adaptada para retirar gás descartado do sistema; e

(d) uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas(217) compreendendo

(e) um elemento rotativo(305) adaptado para rotacionar em torno de um eixo(301) e possuindo uma primeira

seção transversal circular perpendicular ao eixo(301), sendo que o elemento rotativo(305) possui uma superfície externa não-planar e compreende passagens (309, 311, 313) através do elemento rotativo;

5 (f) um corpo de válvula(303) no entorno do elemento rotativo(305), sendo que o corpo de válvula(303) está coaxial com o elemento rotativo(305) e possui uma superfície interna não-planar em oposição à superfície externa não-planar do elemento rotativo(305) e uma superfície externa, e em que o
10 corpo de válvula(303) compreende uma pluralidade de passagens(315, 317, 319, 321) entre a superfície interna não-planar e a superfície externa;

(g) um motor de acionamento de escalonamento de válvulas(227) adaptado para rotacionar o elemento
15 rotativo(305) intermitentemente para posicionar o elemento rotativo(305) sequencialmente em uma série de posições circunferenciais fixas acerca da periferia da seção transversal circular relativamente ao corpode válvula(303) para alinhar as passagens selecionadas no elemento
20 rotativo(305) com as passagens selecionadas no corpo de válvula(303); sendo que

(h) a pluralidade de vasos(101, 103, 105, 107) compreender mais de dois vasos;

(i) o sistema compreendendo tubulação(219, 221, 223,

225) adaptada para posicionar a extremidade do produto de qualquer par da pluralidade de vasos(101, 103, 105, 107) em comunicação de fluxo;

(k) referida válvula de produto(217) sendo adaptada
5 para dispor a extremidade de produção de cada vaso(101, 103, 105, 107) em comunicação de fluxo seqüencial com a extremidade de produção de cada um dos outros vasos(101, 103, 105, 107) da referida pluralidade; e

(l) o motor de acionamento de válvulas(227) é
10 adaptado para rotacionar o elemento rotativo(305) em uma única direção rotatória sequencialmente nas referidas séries de posições circunferenciais fixadas, de modo que o membro rotatório(305) retorne a dada posição fixada durante cada revolução acerca de seu eixo(301),

15 o sistema compreendendo ainda duas ou mais válvulas de retenção(209, 211, 213, 215), cada válvula de retenção sendo disposta entre a extremidade de produção de um respectivo vaso e a tubulação de produto(149), em que cada válvula de retenção é adaptada para permitir o ingresso de
20 fluxo de gás produzido da extremidade de produção do respectivo vaso para o interior da tubulação do produto(149) e para impedir o fluxo de gás produzido da tubulação de produto(149) para a extremidade de produção do respectivo vaso.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de alimentação(229) adaptada para dispor a tubulação de alimentação(251) em comunicação de
5 fluxo seqüencial com a extremidade de alimentação de cada vaso(101, 103, 105, 107).

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por compreender uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de gás descartado(231)
10 adaptada para dispor a tubulação de gás descartado(261) em comunicação de fluxo seqüencial com a extremidade de alimentação de cada vaso(101, 103, 105, 107).

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender um temporizador adaptado para
15 controlar o motor de acionamento de escalonamento de válvulas(227).

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por compreender um motor de acionamento de escalonamento de válvulas(233) adaptado para acionamento de
20 qualquer uma das válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de gás de alimentação(229) e válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de gás de produto descartado(231), e um temporizador adaptado para controlar o motor de acionamento de escalonamento de válvulas(233)

adicional.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender um ventilador de sopro de gás(109) de alimentação adaptado para provisão de gás de
5 alimentação pressurizado para a tubulação de gás de alimentação(251).

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por compreender um ventilador de sopro de evacuação de gás descartado(111) adaptado para retirar gás
10 descartado da tubulação de gás descartado(261).

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por incluir quatro vasos(101, 103, 105, 107).

9. SISTEMA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado por compreender
15 referida pluralidade de vasos compreender um primeiro, um segundo, um terceiro, e um quarto vasos, cada vaso possuindo uma extremidade de alimentação, uma extremidade de produção, e um material adsorvente adaptado para adsorção de um componente selecionado de uma mistura
20 gasosa de alimentação;

referida tubulação adaptada para dispor as extremidades de produção de qualquer par de vasos em comunicação de fluxo;

e referida válvula de produto(217) possuindo oito

posições escalonadas em que

5 (1) em uma primeira posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos segundo e quarto vasos em comunicação de fluxo;

10 (2) em uma segunda posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos terceiro e quarto vasos em comunicação de fluxo e para dispor as extremidades de produção dos primeiro e segundo vasos em comunicação de fluxo;

15 (3) em uma terceira posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos primeiro e terceiro vasos em comunicação de fluxo;

20 (4) em uma quarta posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos primeiro e quarto vasos em comunicação de fluxo e para dispor as extremidades de produção dos segundo e terceiro vasos em comunicação de fluxo;

(5) em uma quinta posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos segundo e quarto vasos em comunicação

de fluxo;

(6) em uma sexta posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos primeiro e segundo vasos em comunicação de fluxo e para dispor as extremidades de produção dos terceiro e quarto vasos em comunicação de fluxo;

(7) em uma sétima posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos primeiro e terceiro vasos em comunicação de fluxo; e

(8) em uma oitava posição escalonada a válvula é adaptada para dispor as extremidades de produção dos primeiro e quarto vasos em comunicação de fluxo e para dispor as extremidades de produção dos segundo e terceiro vasos em comunicação de fluxo.

10. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por a válvula(217) ser adaptada para (1) impedir comunicação de fluxo entre as extremidades de produção dos primeiro e terceiro vasos quando a válvula se encontra nas primeira e quinta posições escalonadas e (2) impedir comunicação de fluxo entre as extremidades de produção dos segundo e quarto vasos quando a válvula se encontra nas terceira e sétima posições escalonadas.

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por compreender uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de gás de alimentação(229) possuindo quatro posições escalonadas em que

5 (1) em uma primeira posição escalonada, a válvula de gás de alimentação é adaptada para dispor a tubulação de alimentação em comunicação de fluxo com a extremidade de alimentação do primeiro vaso enquanto a válvula
10 rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de produto se encontra em suas primeira e segunda posições escalonadas;

(2) em uma segunda posição escalonada após a posição (1) acima, a válvula de gás de
15 alimentação é adaptada para dispor a tubulação de alimentação em comunicação de fluxo com a extremidade de alimentação do segundo vaso enquanto a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de produto se encontra em
20 suas terceira e quarta posições escalonadas;

(3) em uma terceira posição escalonada após a posição (2) acima, a válvula de gás de alimentação é adaptada para dispor a tubulação de alimentação em comunicação de fluxo com a

extremidade de alimentação do terceiro vaso enquanto a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de produto se encontra em suas quinta e sexta posições escalonadas; e

5 (4) em uma quarta posição escalonada após a posição (3) acima, a válvula de gás de alimentação é adaptada para dispor a tubulação de alimentação em comunicação de fluxo com a extremidade de alimentação do quarto vaso
10 enquanto a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de produto se encontra em suas sétima e oitava posições escalonadas.

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado por compreender uma válvula rotativa de
15 múltiplas aberturas escalonadas de gás descartado(231) possuindo quatro posições escalonadas em que

(1) em uma primeira posição escalonada, a válvula de gás descartado é adaptada para dispor a tubulação de gás
20 descartado em comunicação de fluxo com a extremidade de alimentação do terceiro vaso enquanto a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de produto se encontra em suas primeira e segunda posições escalonadas;

(2) em uma segunda posição escalonada após a posição (1) acima, a válvula de gás descartado é adaptada para dispor a tubulação de gás descartado em comunicação de fluxo com a extremidade de alimentação do quarto vaso enquanto a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de produto se encontra em suas terceira e quarta posições escalonadas;

(3) em uma terceira posição escalonada após a posição (2) acima, a válvula de gás descartado é adaptada para dispor a tubulação de gás descartado em comunicação de fluxo com a extremidade de alimentação do primeiro vaso enquanto a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de produto se encontra em suas quinta e sexta posições escalonadas; e

(4) em uma quarta posição escalonada após a posição (3) acima, a válvula de gás descartado é adaptada para dispor a tubulação de gás descartado em comunicação de fluxo com a extremidade de alimentação do segundo vaso enquanto a válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de produto se encontra em suas sétima e oitava posições escalonadas.

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por o material adsorvente compreender um adsorvente selecionado do grupo que consiste em CaA, NaX, CaX, LiX, e LiLSX.

5 14. MÉTODO PARA RECUPERAÇÃO DE UM COMPONENTE MENOS INTENSAMENTE PASSÍVEL DE ADSORÇÃO DE UMA MISTURA GASOSA DE ALIMENTAÇÃO, compreendendo um componente mais intensamente passível de adsorção e um componente menos intensamente passível de adsorção, em que o método é caracterizado por
10 compreender:

(a) provisão de um sistema de adsorção por modulação de pressão de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13 e 18 a 21;

(b) introdução da mistura gasosa de alimentação em um
15 primeiro vaso e retirada de gás produzido no mais forte componente absorvente do primeiro vaso e através da tubulação de produto(149);

(c) despressurização do primeiro vaso mediante retirada de gás de despressurização da extremidade de
20 produção do vaso e transferência do gás de despressurização para a extremidade de alimentação de um outro vaso através da válvula de produto de múltiplas aberturas rotativas escalonadas(217) em uma das posições de rotação escalonadas;

(d) retirada de gás descartado enriquecido no mais

forte componente absorvente da extremidade de alimentação do primeiro vaso;

(e) pressurização do primeiro vaso mediante introdução na extremidade de produção do vaso de um gás de despressurização provido de um outro vaso que está sendo submetido à etapa (c), em que o gás é transferido através da válvula de produto de múltiplas aberturas rotativas escalonadas(217) em uma outra das posições de rotação escalonadas; e

(f) repetição das etapas (b) até (e) de uma forma cíclica.

15. Método, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por o sistema de adsorção por modulação de pressão compreender uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de gás de alimentação(229) possuindo uma pluralidade de posições escalonadas adaptada para dispor a tubulação de alimentação(251) em comunicação de fluxo seqüencial com a extremidade de alimentação de cada vaso, e em que o gás de alimentação na etapa (b) é introduzido da tubulação de alimentação(251) para a extremidade de alimentação do primeiro vaso através da válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de gás de alimentação(229) em uma da pluralidade de posições escalonadas.

16. Método, de acordo com a reivindicação 14,

caracterizado por o sistema de adsorção por modulação de pressão compreender uma válvula rotativa de múltiplas aberturas escalonadas de gás descartado(231) possuindo uma pluralidade de posições escalonadas adaptada para dispor a
5 tubulação de gás descartado(261) em comunicação de fluxo seqüencial com a extremidade de alimentação de cada vaso, e em que o gás descartado na etapa (d) é retirado da tubulação de alimentação do primeiro vaso para a tubulação de gás descartado(261) através da válvula rotativa de múltiplas
10 aberturas escalonadas de gás descartado(231) em uma da pluralidade de posições escalonadas.

17. Método, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por a mistura gasosa de alimentação consiste em ar, o componente menos intensamente passível de adsorção
15 consiste em oxigênio, e o componente mais intensamente passível de adsorção consiste em nitrogênio.

18. SISTEMA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1-13, caracterizado por:

referido elemento rotativo(305) compreendendo uma
20 primeira, uma segunda, e uma terceira passagens(309, 311, 313) através do elemento rotativo(305);

o corpo de válvula compreendendo uma primeira, uma segunda, uma terceira, e uma quarta passagens(315, 317, 319, 321) entre a superfície interna e a superfície externa; e

o motor de acionamento de válvula de escalonamento(229) adaptado para fazer rodar o elemento rotativo(305) intermitentemente em uma única direção de rotação para disposição do elemento rotativo(305) sequencialmente em cada uma de oito diferentes posições circunferenciais em torno da periferia da seção transversal circular relativamente ao corpo da válvula(303) para alinhamento de passagens(309, 311, 313) selecionadas no elemento rotativo(305) com passagens(315, 317, 319, 321) selecionadas no corpo da válvula(303).

19. Sistema, de acordo com a reivindicação 18, caracterizada por qualquer uma das primeira, segunda, e terceira passagens(309, 311, 313) do elemento rotativo(305) ter uma área de fluxo de seção transversal diferente de qualquer uma das outras duas passagens.

20. Sistema, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por o elemento rotativo(305) ser adaptado para rotação intermitente dentro da superfície interna do corpo da válvula de tal forma que

(1) a primeira passagem no elemento rotativo(305) encontra-se em comunicação de fluxo com as primeira e segunda passagens no corpo da válvula(303) enquanto as segunda e terceira passagens no elemento rotativo não se encontram em comunicação de fluxo com nenhuma passagem no corpo da

válvula, e

(2) a primeira passagem no elemento rotativo encontra-se em comunicação de fluxo com as terceira e quarta passagens no corpo de válvula enquanto as segunda e terceira passagens no elemento rotativo não se encontram em comunicação de fluxo com nenhuma passagem no corpo de válvula, e

(3) uma das segunda ou terceira passagens no elemento rotativo encontra-se em comunicação de fluxo com as primeira e quarta passagens no corpo de válvula enquanto a primeira passagem no elemento rotativo não se encontra em comunicação de fluxo com nenhuma passagem no corpo de válvula, e

(4) uma das segunda ou terceira passagens no elemento rotativo encontra-se em comunicação de fluxo com as segunda e terceira passagens no corpo de válvula enquanto a primeira passagem no elemento rotativo não se encontra em comunicação de fluxo com nenhuma passagem no corpo de válvula.

21. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13 e 18 a 20, caracterizado por

O elemento rotativo(305) compreender

(1) uma primeira, uma segunda, uma terceira, uma quarta, uma quinta, e uma sexta aberturas na superfície externa que são dispostas em torno da periferia da primeira seção transversal circular,

em que

5 a primeira abertura(309a) e a
segunda abertura são separadas por dois
arcos idênticos de 180 graus em torno da
periferia da primeira seção transversal
circular,

10 as terceira e quarta aberturas(311a,
311b) são dispostas ao longo de um dos dois
arcos idênticos separando as primeira e
segunda aberturas, a terceira abertura é
separada da quarta abertura por um arco de
90 graus na periferia, a terceira abertura
é separada da primeira abertura por um arco
de 45 graus na periferia, e a quarta
15 abertura é separada da segunda abertura por
um arco de 45 graus na periferia, e

20 as quinta e sexta aberturas(313a,
313b) são dispostas ao longo do outro dos
dois arcos idênticos separando as primeira
e segunda aberturas, a quinta abertura é
separada da sexta abertura por um arco de
90 graus na periferia, a quinta abertura é
separada da primeira abertura por um arco
de 45 graus na periferia, e a sexta

abertura é separada da segunda abertura por um arco de 45 graus na periferia, e

(2) uma primeira passagem(309) através do elemento rotativo(305) ligando a primeira abertura à segunda abertura, uma segunda passagem(311) através do elemento rotativo ligando a terceira abertura à quarta abertura, e uma terceira passagem(313) através do elemento rotativo ligando a quinta abertura à sexta abertura;

(b) um corpo de válvula(303) circundando o elemento rotativo, em que o corpo de válvula é coaxial com o elemento rotativo e possui uma segunda seção transversal circular que é perpendicular ao eixo geométrico do elemento rotativo, uma periferia da segunda seção transversal circular que é co-planar com a periferia da primeira seção transversal circular do elemento rotativo, uma superfície interna, e uma superfície externa, e em que o corpo de válvula compreende

(1) uma primeira, uma segunda, uma terceira, e uma quarta aberturas na superfície interna que são dispostas em torno da periferia da segunda seção transversal circular, em que cada abertura é separada relativamente a cada abertura adjacente por um arco de 90 graus nesta periferia;

(2) uma primeira, uma segunda, uma terceira, e uma quarta aberturas na superfície externa do alojamento, e

5 (3) uma primeira passagem(315) através do corpo da válvula(303) ligando a primeira abertura na superfície interna à primeira abertura na superfície externa, uma segunda passagem(317) através do corpo da válvula ligando a segunda abertura na superfície interna à segunda abertura na superfície externa, uma terceira passagem(319) 10 através do corpo da válvula ligando a terceira abertura na superfície interna à terceira abertura na superfície externa, e uma quarta passagem(321) através do corpo da válvula ligando a quarta 15 abertura na superfície interna à quarta abertura na superfície externa; e

(c) um motor de acionamento de válvula de escalonamento(227) adaptado para fazer rodar o elemento rotativo(305) intermitentemente em uma única direção de 20 rotação para disposição do elemento rotativo sequencialmente em cada uma de oito diferentes posições circunferenciais em torno da periferia da seção transversal circular relativamente ao corpo da válvula(303) para alinhamento de passagens selecionadas no

elemento rotativo (305) com passagens selecionadas no corpo da válvula (303).

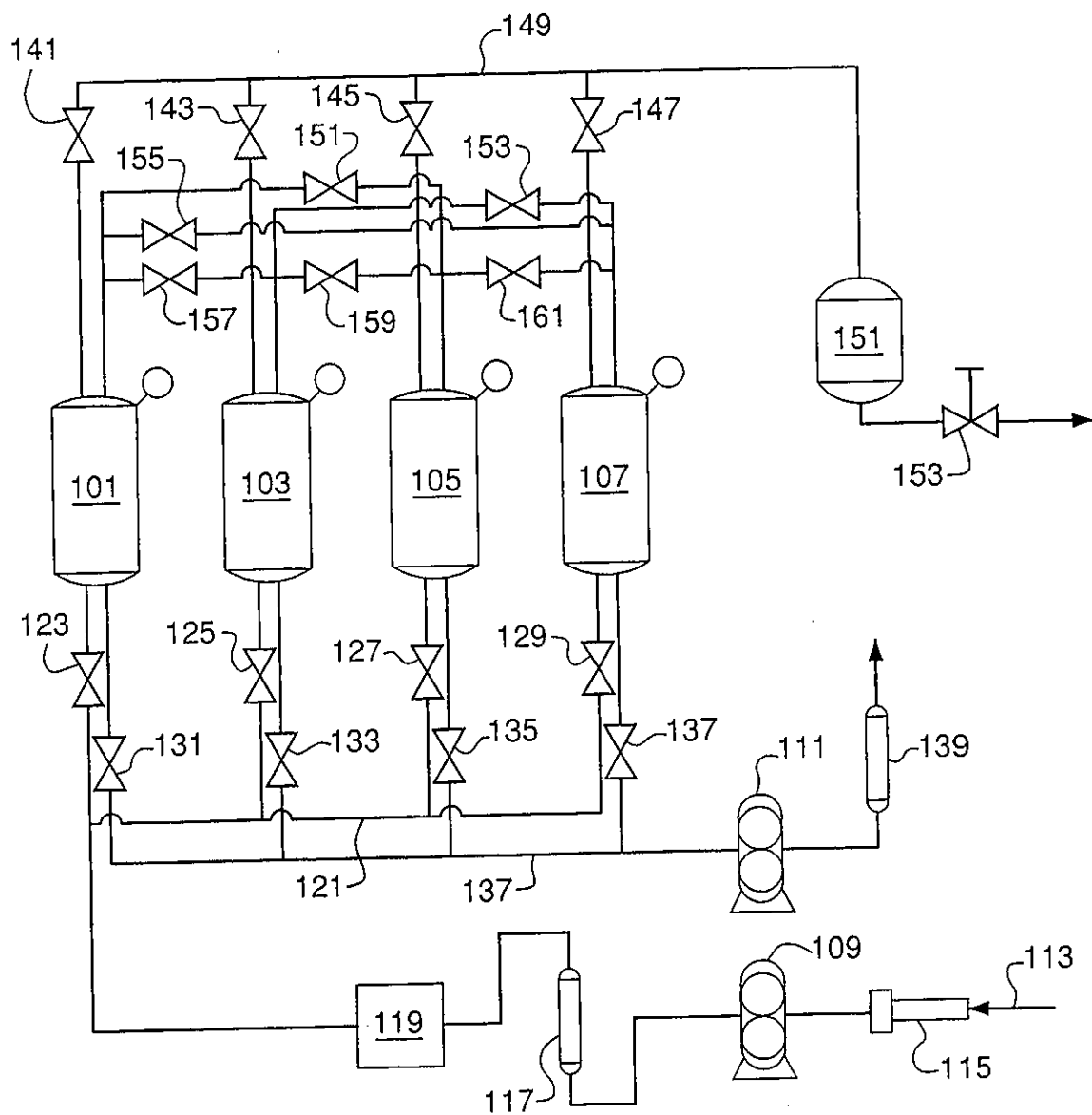


FIG. 1

82

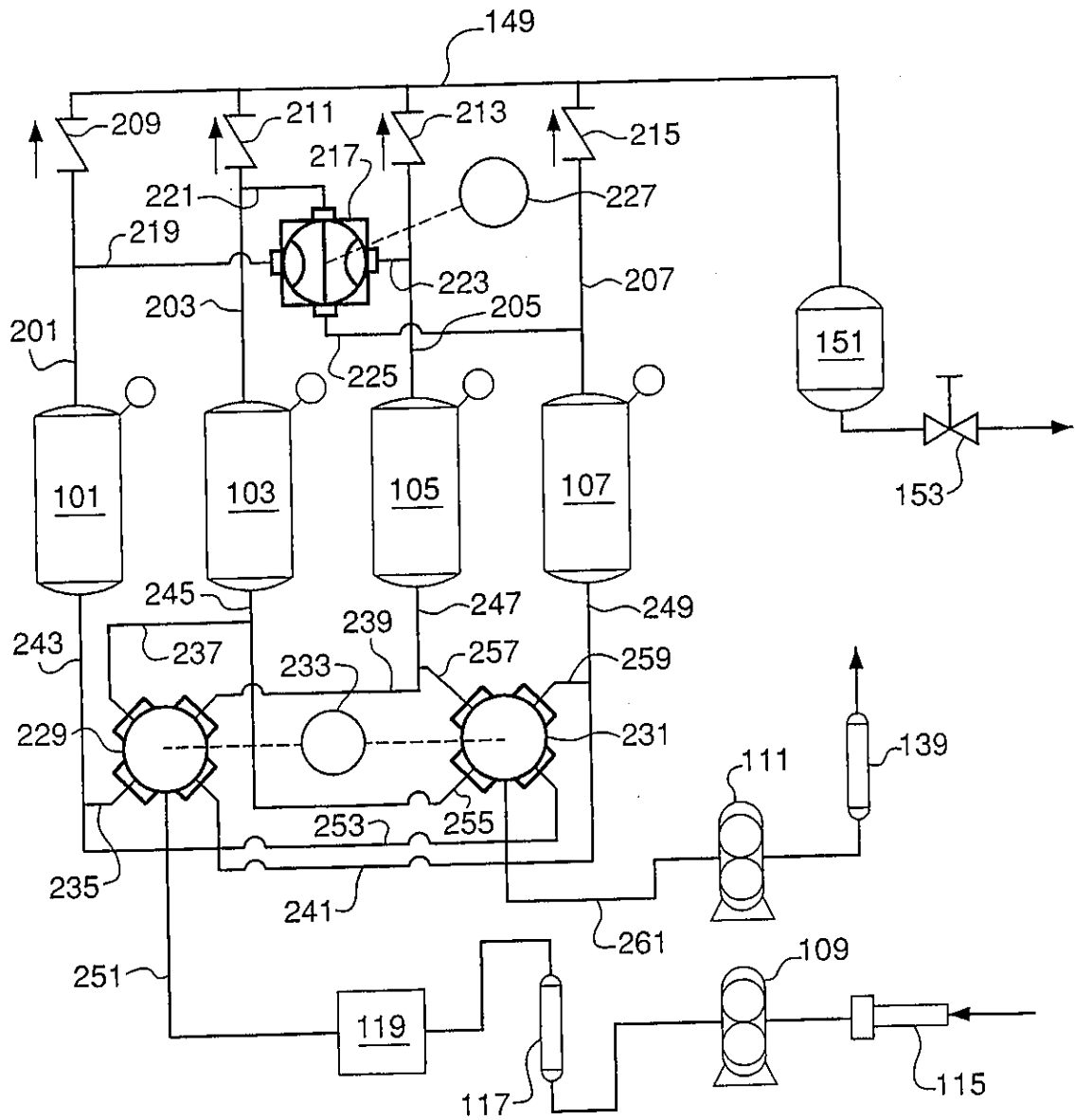


FIG. 2

83

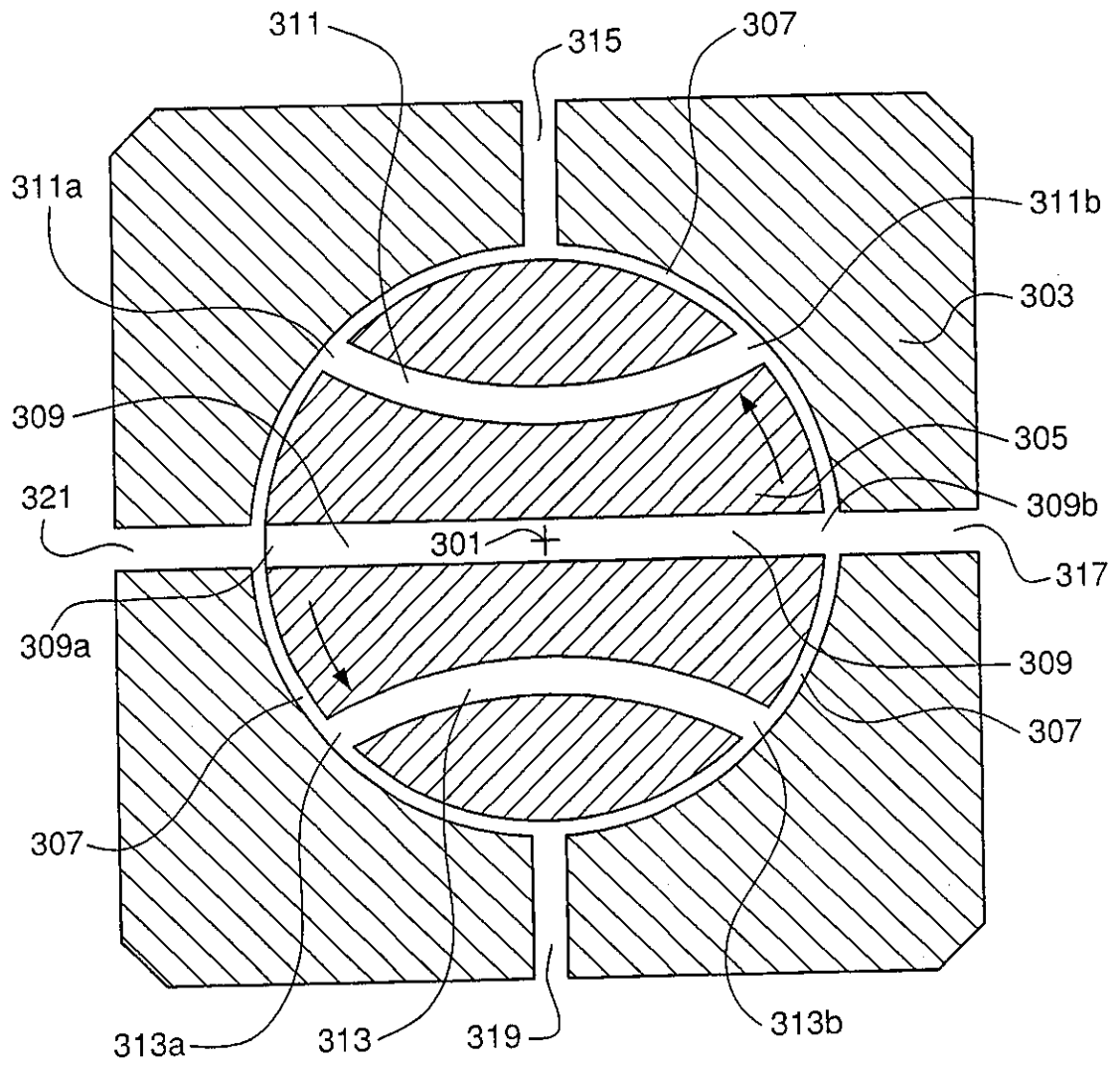


FIG. 3

8/1

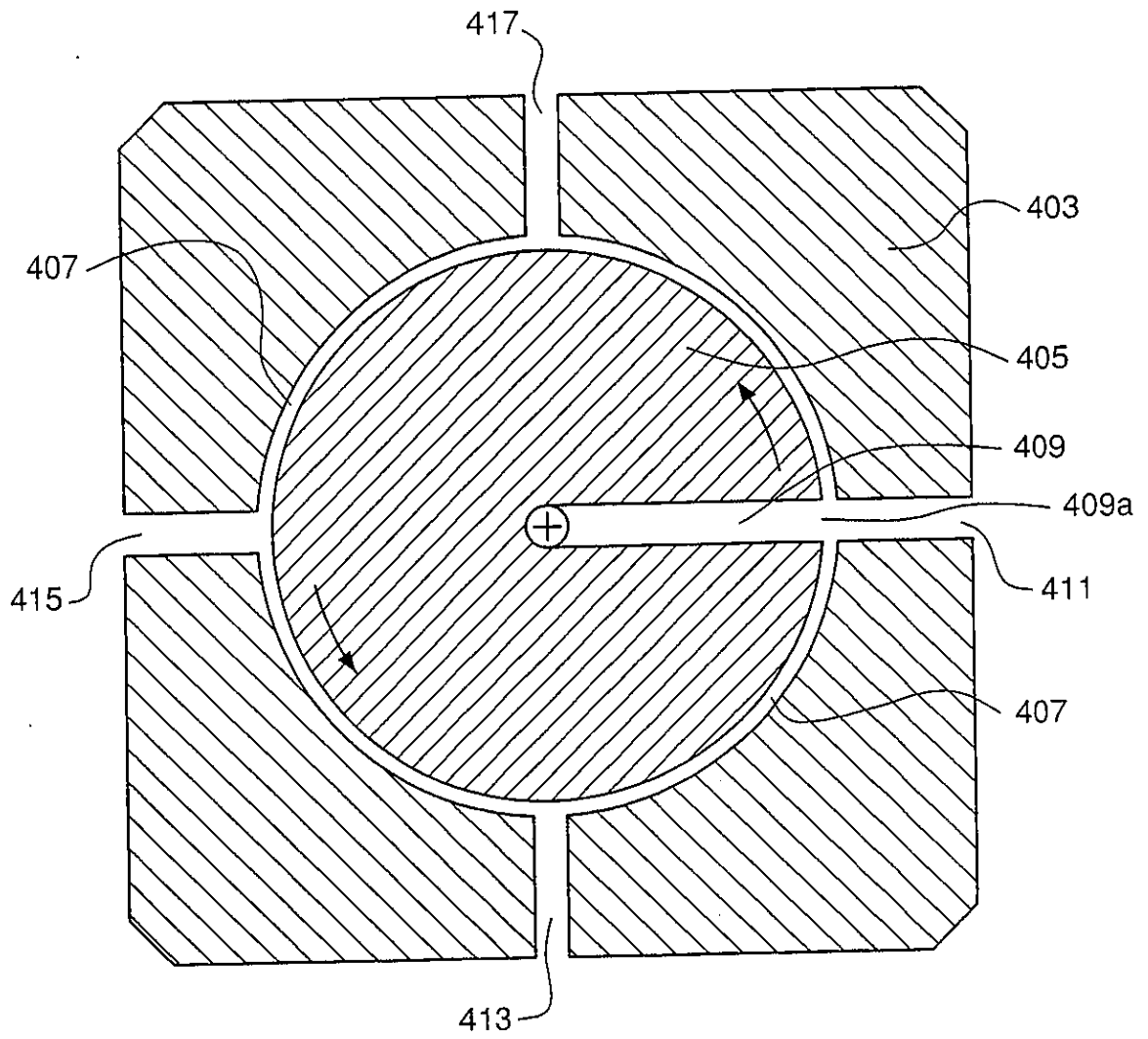


FIG. 4

ETAPA

LEITOS DE ADSORÇÃO

POSIÇÃO DA VÁLVULA

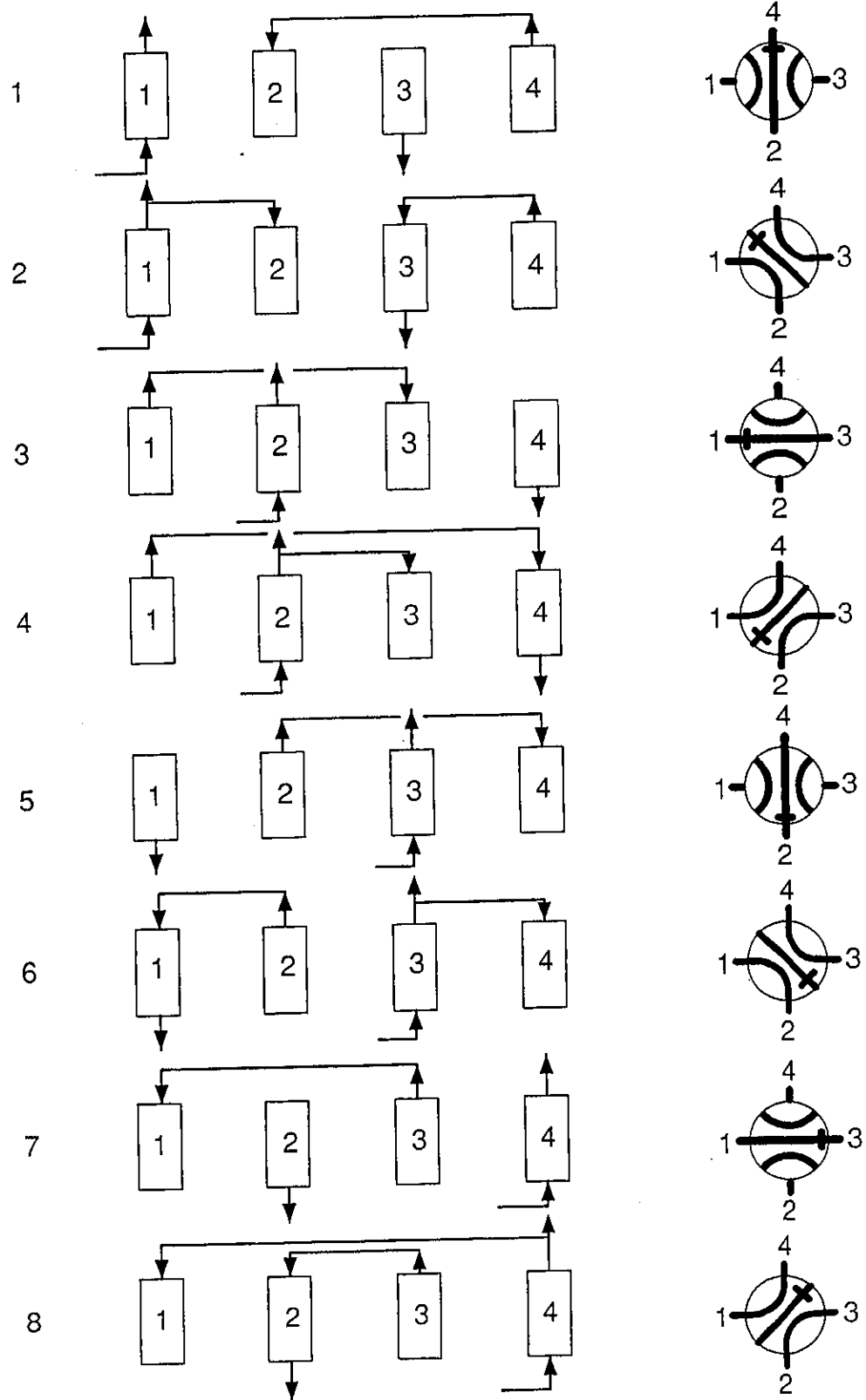


FIG. 5