

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

(21) **PI0618155-4 A2**

(22) Data de Depósito: 30/10/2006
(43) Data da Publicação: 16/08/2011
(RPI 2119)



(51) *Int.Cl.:*
B01D 53/047 2006.01

(54) Título: **PROCESSO E SISTEMA DE ADSORÇÃO POR OSCILAÇÃO DE PRESSÃO NO VÁCUO**

(30) Prioridade Unionista: 01/11/2005 US 11/264278

(73) Titular(es): Praxair Technology, INC.

(72) Inventor(es): Andrew Rosinski, Mohamed Safdar Allie Baksh

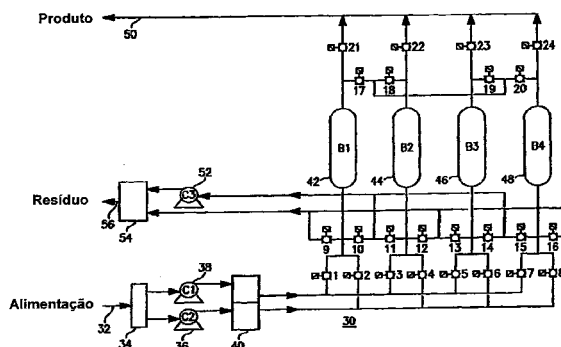
(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT US2006042168 de 30/10/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007//053494 de 10/05/2007

(57) **Resumo:** PROCESSO E SISTEMA DE ADSORÇÃO POR OSCILAÇÃO DE PRESSÃO NO VÁCUO A presente invenção, no geral, diz respeito a sistemas de adsorção de pressão no vácuo (VPSA) de grande capacidade (por exemplo, maior que 350 tons (317,45 t) /dia de O₂) e processos que empregam um único trem incluindo quatro leitos (42, 44, 46, 48), pelo menos um compressor de alimentação (36, 38) alimentando dois leitos simultaneamente em qualquer dado instante no tempo, e uma única bomba de vácuo (52). O compressor (s) e a bomba de vácuo podem ser utilizados 100 % do tempo. Uso de gás de qualidade de produto para purgar é evitado, com cerca de 10-20 % de melhoria na produtividade de O₂ e 5-10 % de redução em custo de capital esperado.

Processo VPSA de quatro leitos novo usando adsorvente LIX altamente trocado



“PROCESSO E SISTEMA DE ADSORÇÃO POR OSCILAÇÃO DE PRESSÃO NO VÁCUO”

CAMPO TÉCNICO

A presente invenção, no geral, diz respeito a sistemas de adsorção de pressão no vácuo (VPSA) de grande capacidade (por exemplo, maior que 350 tons (317,45 t)/dia de O₂) e processos que empregam um único trem incluindo quatro leitos, pelo menos um compressor de alimentação alimentando dois leitos simultaneamente em qualquer dado instante no tempo, e uma única bomba de vácuo. O compressor (s) e a bomba de vácuo podem ser utilizados 100 % do tempo. Uso de gás de qualidade de produto para purgar é evitado, com cerca de 10-20 % de melhoria na produtividade de O₂ e 5-10 % de redução em custo de capital esperado.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

A produção de oxigênio a partir de ar atualmente usa adsorção de técnica de sistemas por oscilação de pressão no vácuo (VPSA) ou adsorção por oscilação de pressão (PSA). Estes sistemas freqüentemente têm uma capacidade de <200 tons (181,4 t) por dia de O₂. Atualmente, existe um interesse renovado em estender a capacidade de sistemas VPSA ou PSA de tal produção de oxigênio de pequena escala (<200 tons (181,4 t) por dia de O₂) para grande escala (cerca de 350 tons (317,45 t) por dia de O₂ ou mais) a partir de ar.

Na aplicação de processos VPSA ou PSA, a entrada de energia requerida para alcançar a separação de O₂ da mistura de alimentação (por exemplo, ar) é fornecida na forma de trabalho mecânico por meio de compressor(s) de alimentação e bomba(s) de vácuo. O custo deste trabalho é um componente significativo do custo operacional total do processo VPSA ou PSA. Além do mais, técnica VPSA ou PSA é atualmente economicamente competitiva com destilação criogênica somente para aplicações em pequena escala. De maneira que os processos PSA ou VPSA se tornem competitivos

em custo com a destilação criogênica para aplicações em grande escala, são exigidos melhores ciclos para operar os processos PSA ou VPSA.

Dois processos de leito de adsorção por oscilação de pressão no vácuo (VPSA) para a produção de oxigênio a partir de ar são descritos
5 patente U.S. No. 5.518.526 de Baksh et al. e patente U.S. No.6.010.555 de Smolarek et al. As patentes U.S. Nos. 5.518.526 e 6.010.555 empregam processos VPSA com etapas de equalização e evacuação simultâneas seguidas por etapas de alimentação e pressurização do produto simultâneas. Figura 1 mostra o ciclo VPSA para a produção de oxigênio a partir de ar descrito em
10 Smolarek et al., patente U.S. No. 6.010.555. patentes U.S. Nos. 5.518.526 e 6.010.555 são ambas para produção de oxigênio em pequena escala (<200 tons (181,4 t) por dia, (TPD)). Pressões de adsorção e dessorção ns patentes U.S. Nos. 5.518.526 e 6.010.555 são caracterizadas por uma baixa razão de pressão e valores de pressão de dessorção relativamente altos. Redução
15 significativa nos custos de equipamento e operação pode ser realizada usando os processos VPSA de pequena escala (<200 TPD (181,4 t/d) O₂) das patentes U.S. Nos. 5.518.526 e 6.010.555.

Em aplicações onde produção de oxigênio em grande escala (por exemplo, 350 tons (317,45 t) por dia de O₂) é desejável, processos VPSA
20 de quatro leitos são usados. Um processo VPSA como este é descrito por Smolarek et al., patente U.S. No. 5.656.068. O processo VPSA de quatro leitos descrito na patente U.S. No. 5.656.068 é operado na forma de dois pares de sistemas de 2 leitos, referidos como um ciclo/sistema 2x2. Cada par de leitos é operado 180 ° fora de fase e os dois pares de leito são operados fora
25 de fase pela metade de um meio ciclo. Dois compressores (um Roots ou de deslocamento positivo e um centrífugo) e duas bombas de vácuo (uma Roots ou de deslocamento positivo e uma centrífuga) são descritas no processo VPSA da patente U.S. No. 5.656.068. Um dos dois compressores está periodicamente no modo inativo ou aberto. Um sistema VPSA de quatro

leitos que opera como dois pares de leitos de adsorção para produzir cerca de 100 tons (90,7 t) por dia (TPD) de oxigênio é descrito em Doong, patente U.S. No. 5.997.612 de Doong. O processo VPSA inclui dois pares de leito, um tanque de armazenamento intermediário (para coletar co-corrente de gás de despressurização), um soprador de gás e um par de bombas de vácuo. O sistema descrito em Doong (patente U.S. No. 5.997.612) inclui três bombas comparadas às quatro bombas descritas na patente U.S. No. 5.656.068. Além do mais, o sistema apresentado em Doong (patente U.S. No. 5.997.612) é para produção de oxigênio em pequena escala (<200 tons (181,4 t) por dia) em vez de produção em grande escala 02 usando o processo VPSA de alimentação dupla de Smolarek et al. (patente U.S. No. 5.656.068).

Assim, seria desejável fornecer processos VPSA de quatro leitos e sistemas com a capacidade de produção de oxigênio em grande escala (por exemplo, >350 tons (317,45 t) /dia de O₂) de custo eficiente, altamente produtivos

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção, no geral, diz respeito a sistemas VPSA de quatro leitos e processos com entrada de alimentação dupla para produção de oxigênio em grande escala (por exemplo, >350 tons (317,45 t) /dia de O₂). Os sistemas da presente invenção incluem a implementação de três bombas (por exemplo, dois compressores e uma bomba de vácuo) em vez de quatro bombas (por exemplo, dois compressores e duas bombas de vácuo) da forma descrita na patente U.S. No. 5.656.068. A presente invenção contempla adicionalmente o uso de ciclos VPSA de quatro leitos únicos que incluem 100 % de utilização dos compressores e bomba de vácuo, permitindo ao mesmo tempo que dois leitos simultaneamente recebam gás de alimentação. Além disso, a qualquer instante durante o ciclo VPSA de quatro leitos, dois leitos recebem alimentação simultaneamente, enquanto que os outros dois leitos estão no modo regeneração/refluxo.

Os processos e sistemas fornecidos de acordo com a presente invenção incluem múltiplas vantagens. Por exemplo, e embora não seja considerado como limitante, sistemas e processos da presente invenção podem incluir: (1) etapas contínuas de alimentação e preparo de produtos; (2) um mínimo de um compressor e uma bomba de vácuo; (3) 100 % de utilização dos compressores e bomba de vácuo; (4) menores tanques de armazenamento/armazenamento temporário de produto relativo aos processos da técnica anterior devido às etapas contínuas de alimentação e preparo de produtos; (5) a opção de usar os mesmos compressores, ou compressores diferentes (por exemplo, centrífugo e Roots) para comprimir a alimentação de entrada para o processo VPSA; (6) o gás de purga proveniente de um outro leito é submetido à etapa de despressurização de co-corrente, e este gás de purga vai diretamente para um outro leito que se submete a etapa de purga sem o uso de nenhum tanque de armazenamento adicional; (7) a etapa de purga prensada entre as etapas no ciclo VPSA (isto é, o ciclo VPSA tem uma etapa de evacuação antes e depois da etapa de purga para permitir o uso de gás do espaço vazio para purgar de um outro leito diretamente (sem a necessidade de um tanque de armazenamento adicional) ou para evitar o uso de gás de qualidade de produto para purgar); (8) uso de sorventes com altas taxas de adsorção intrínseca e tamanho de partícula ideal para aumentar taxa de transferência de massa, alta recuperação de produto de O₂, e baixo fator de tamanho de leito (BSF) em adsorventes rasos de ciclo rápido no processo VPSA, e/ou (9) todas as etapas do processo VPSA de quatro leitos completamente integradas de maneira que nenhum dos leitos tenha nenhuma etapa(s) inativa.

Conseqüentemente, espera-se, assim, que sistemas da presente invenção forneçam cerca de 10-20 % de melhoria na produtividade/recuperação de O₂/ e 5-10 % de redução em custo de capital, uma vez que o oxigênio é produzido em grande escala (> 350 tons (317,45 t)

/dia) usando um único trem, menos bomba, menor fator de tamanho de leito, e evitem o uso de gás de qualidade de produto para purgar.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

Para um entendimento mais completo da presente invenção e das vantagens desta, deve-se fazer referência à seguinte Descrição Detalhada tomada em conjunto com os desenhos em anexo em que:

Figura 1 ilustra o ciclo VPSA para a produção de oxigênio a partir de ar descrito em Smolarek et al., patente U.S. No. 6.010.555;

Figura 2 ilustra um esquema de um processo de quatro leitos usando dois compressores para distribuir a alimentação total para um processo VPSA de alimentação de entrada dupla de acordo com a presente invenção;

Figura 3 mostra um ciclo de coluna para o processo VPSA de quatro leitos de alimentação de entrada dupla da figura 2;

Figura 4 ilustra um processo VPSA de quatro leitos usando dois compressores para distribuir a alimentação total para um processo VPSA de alimentação de entrada dupla de acordo com uma modalidade alternativa da presente invenção;

Figura 5 mostra um ciclo de coluna para o processo VPSA de quatro leitos de alimentação de entrada dupla da figura 4;

Figura 6 mostra um esquema alternativo de um processo VPSA de quatro leitos usando dois compressores para distribuir a alimentação total para um processo VPSA de alimentação de entrada dupla de acordo com a presente invenção;

Figura 7 mostra um ciclo de coluna para o processo VPSA de quatro leitos de alimentação de entrada dupla da figura 6;

Figura 8 ilustra um ciclo de coluna alternativo para o processo VPSA de quatro leitos de alimentação de entrada dupla da figura 6 em que o ciclo usa duas etapas de pressurização de produto e uma etapa de equalização;

e

Figura 9 mostra um outro ciclo de coluna alternativo para o processo VPSA de quatro leitos de alimentação de entrada dupla da figura 6 em que o ciclo usa oito etapas em vez de doze etapas.

DESCRIÇÃO DETALHADA

5 Conforme discutido anteriormente, a presente invenção diz respeito a processos de adsorção por oscilação de pressão no vácuo (VPSA) e equipamento para produção de oxigênio em grande escala (preferivelmente > 350 tons (317,45 t) /dia). A presente invenção inclui sistemas e processos em que ciclos VPSA de doze etapas são realizados empregando quatro leitos de
10 adsorção, pelo menos um compressor de alimentação (preferivelmente dois, por exemplo, um centrífugo e um de deslocamento positivo, tal como Roots), e uma única bomba de vácuo. Em qualquer instante de tempo, dois dos leitos estão simultaneamente no modo de alimentação enquanto que os outros dois leitos estão no modo regeneração/refluxo. Alimentação destes dois leitos pode
15 ser fornecida a partir de compressores separados ou de um único compressor. O gás gerado durante uma etapa de despressurização de co-corrente pode ser enviado como gás de purga para um outro leito sem o uso de nenhum tanque de armazenamento adicional. Em qualquer dado tempo, somente um leito está na etapa de evacuação, permitindo assim o uso de somente uma bomba de
20 vácuo que resulta em redução de custo de capital e operação. A etapa de evacuação é realizada antes e depois a etapa de purga. Este modo de operação permite flexibilidade no ciclo VPSA para permitir o uso de gás do espaço vazio, obtido durante despressurização de co-corrente de um outro leito, para purgar do leito diretamente (sem usar um tanque de armazenamento
25 adicional) ou para evitar usar o gás de qualidade de produto para purgar.

Além do mais, as etapas do processo VPSA de quatro leitos fornecidas de acordo com a presente invenção são completamente integradas de maneira que nenhum dos leitos tenha nenhuma etapa(s) ociosa(s), isto é 100 % de utilização do compressor(s) e bomba de vácuo no ciclo VPSA.

Embora não considerados como limitantes, sistemas da presente invenção podem incluir algumas ou todas das seguintes características vantajosas. Por exemplo, a presente invenção inclui a aplicação de um processo VPSA de quatro leitos de um único trem em vez de dois trens de processos VPSA de dois leitos para produção de O_2 em grande escala. Conseqüentemente, menor custo de capital e melhor desempenho de processo, por exemplo, maior recuperação de O_2 , com relação aos trens paralelos de processos VPSA de dois leitos pode ser esperado. Além do mais, espera-se que sistemas da presente invenção tenham menos disseminação da concentração de frentes de impureza (por exemplo, N_2) em consequência dos ciclos VPSA de quatro leitos inéditos. Isto se deve à expectativa de que menos gás de purga será necessário durante regeneração do leito com relação às técnicas da técnica anterior. Etapas contínuas de produto, alimentação e evacuação no ciclo permitem 100 % de utilização do compressor(s)/bombas de vácuo. A presente invenção adicionalmente fornece a aplicação de entrada de alimentação dupla em qualquer instante durante o ciclo VPSA. Além disso, a incorporação de uma etapa de soprar para baixo contra corrente no ciclo VPSA pode permitir que uma porção do resíduo (obtida durante a regeneração do leito) desvie a bomba de vácuo em vez de o resíduo passar na bomba de vácuo de acordo com as patentes U.S. Nos. 5.656.068 e 6.010.555.

A presente invenção inclui adicionalmente gás de limpeza usado para refluxar. Por exemplo, o gás de menor pureza de O_2 é usado para purgar e o gás de maior pureza de O_2 é usado para pressurização do produto, isto é, gás de produto de pureza decrescente sendo usado para purgar, lavagem de equalização e pressurização do produto no ciclo VPSA da presente invenção, assim resultando em frentes de concentração de O_2 mais pronunciadas ou melhor regeneração do leito antes de deixar o leito em linha para produção de O_2 .

Espera-se uma vantagem adicional da presente invenção

devido a um maior gradiente de pressão direcionando a força para anular a recuperação do gás durante equalização leito-a-leito e os arranjos únicos das várias etapas no ciclo VPSA relativo aos sistemas da técnica anterior.

Além disso, pode haver menos sopro de alimentação na hora da pressurização de alimentação ou durante ela em virtude de a equalização do leito iniciar na pressão de adsorção durante a sobreposição da etapa de equalização e pressurização da alimentação do ciclo VPSA.

Na presente invenção, todo o gás de purga pode vir do gás do espaço vazio recuperado de um outro leito que se submete à etapa de despressurização de co-corrente. Além do mais, este gás de purga pode ser usado diretamente por um outro leito que se submete à etapa de purga sem o uso de nenhum tanque de armazenamento adicional (da forma, por exemplo, da patente U.S. No. 5.997.612). A etapa de purga é prensada entre as etapas de evacuação no ciclo VPSA. Mais especificamente, o ciclo VPSA tem etapas de evacuação antes e depois da etapa de purga para permitir o uso de gás do espaço vazio para purgar de um outro leito diretamente ou para evitar o uso de gás de qualidade de produto para purgar como na patente U.S. No. 5.656.068 e patente U.S. No. 6.010.555.

Sistemas da presente invenção adicionalmente fornecem a opção de usar os mesmos ou diferentes compressores (por exemplo, centrífugo e Roots ou de deslocamento positivo) para comprimir a alimentação de entrada para o processo VPSA e 100 % de utilização, isto é, nenhum não carregamento de compressor durante todo o ciclo VPSA.

Em consequência da presente invenção, cerca de 10-20 % de melhoria na produtividade ou recuperação de O₂ e cerca de 5-10 % de redução em custo capital são esperados em virtude da produção de oxigênio em grande escala (> 350 tons (317,45 t) /dia) usando um único trem, uma bomba menor, menor fator de tamanho de leito (BSF), e evitando o uso de gás de qualidade de produto para purgar.

A presente invenção será agora descrita com referência ao processo VPSA de quatro leitos apresentado na figura 2, o ciclo VPSA de quatro leitos apresentado na figura 3, e a lógica de comutação da válvula da forma apresentada na tabela 1.

O sistema VPSA de quatro leitos (30) apresentado na figura 2 inclui quatro leitos adsorventes (42, 44, 46, 48), 24 válvulas LIGA/DESLIGA (algumas ou todas as quais podem ou não ter controle de fluxo), dois compressores de alimentação 36, 38, um compressor a vácuo 52, silenciador/filtro para entrada de alimentação 34 para alimentação 32, silenciador/pós refrigerador de descarga de alimentação (40), silenciador de descarga a vácuo 54 e tubulação e acessórios associados. Com referência às figuras 2 e 3 e Tabela 1, uma modalidade da presente invenção é ilustrada durante um ciclo VPSA completo. Na tabela 1, percebe-se que "C" representa válvulas na posição fechada enquanto que "O" representa válvulas na posição completamente aberta ou parcialmente aberta, dependendo se a válvula é uma válvula LIGA/DESLIGA ou de controle de fluxo para manipular o fluxo desejado. Versados na técnica percebem que a válvulas de controle de fluxo serão usadas durante pressurização do produto (por exemplo, etapa 3 na figura 3).

20 Tabela 1: Seqüência de disparo da válvula para processo VPSA de oxigênio de quatro leitos em doze etapas.

[illegible]

14	C	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C
15	C	C	C	C	O	O	O	C	C	C	C	C
16	C	C	C	O	C	C	C	C	C	C	C	C
17	C	C	C	C	O	O	C	C	O	C	O	C
18	C	O	C	C	C	C	C	O	O	C	C	O
19	C	C	O	C	O	C	C	C	C	C	O	O
20	C	O	O	C	C	O	C	O	C	C	C	C
21	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	O
22	C	C	O	O	O	O	O	C	C	C	C	C
23	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C
24	O	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O

AD: Adsorção/Produção do produto

ED: Equalização descendente

PPG: Fornecimento de gás de purga

PPP: Fornecimento de gás de pressurização do produto

BD: Sopro descendente

EV: Evacuação

PG: Recebimento de purga

EU: Equalização ascendente

PP: Pressurização do produto

FP: Pressurização da alimentação

Etapa No. 1

No início da etapa 1, a pressão no leito 42(B1) está na pressão de adsorção. Válvula 1 é aberta para permitir alimentação de gás na base do leito 42 e a válvula 21 é aberta para permitir produto 50 fora do topo do leito 42. Gás de alimentação é fornecido para o leito 1 do compressor 38 (C1). A válvula 11 é aberta para permitir evacuação do leito 44 (B2) através do compressor 52 (C3) para o silenciador de descarga a vácuo 54 para resíduo 56. A válvula 13 se abre para permitir que o leito 46 (B3) sopre de maneira descendente para a atmosfera. A válvula 8 é aberta para permitir alimentação de gás na base do leito 48 (B4) e a válvula 24 é aberta para permitir que o produto 50 saia do topo do leito 48. Gás de alimentação é fornecido ao leito 48 do compressor 36 (C2).

Etapa No. 2

No início da etapa 2, a válvula 1 se fecha e a válvula 2 se abre para permitir alimentação de gás do compressor 36 (C2) na base do leito 42. A válvula 21 permanece aberta para permitir que a produção do produto continue do leito 42. A válvula 11 se fecha e a válvula 3 se abre para interromper a evacuação do leito 44 e permitir que o gás de alimentação do compressor 38 (C1) entre na base do leito 44. Também, as válvulas 18 e 20 se

abrem para permitir que o gás de equalização flua do leito 48 no topo do leito 44. A válvula 13 se fecha e a válvula 14 se abre para iniciar a evacuação do leito 46 (B3).

Etapa No. 3

- 5 No início da etapa 3, as válvulas 2 e 21 permanecem abertas para permitir que a produção do produto continue do leito 42. A válvula 3 permanece aberta e permite que o gás de alimentação do compressor 38 continue a entrar na base do leito 44. A válvula 22 se abre para permitir que o gás de pressurização do produto entre no topo do leito 44. A válvula 20
10 permanece aberta e a válvula 19 se abre para permitir que o gás de purga flua do leito 48 para o leito 46. A válvula 14 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 46. A válvula 18 se fecha.

Etapa No. 4

- 15 No início da etapa 4, as válvulas 2 e 21 permanecem abertas para permitir que a produção do produto continue do leito 42. As válvulas 3 e 22 permanecem abertas e produção do produto começa no leito 44. A válvula 14 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 46. A válvula 16 se abre para permitir que o leito 48 sopra de maneira descendente para a atmosfera.

20 Etapa No. 5

- No início da etapa 5, as válvulas 17 e 19 se abrem para permitir que o gás de equalização flua do leito 42 no topo do leito 46. A válvula 3 se fecha e a válvula 4 se abre para permitir alimentação de gás do compressor 36 (C2) na base do leito 44. A válvula 22 permanece aberta para
25 permitir que a produção do produto continue do leito 44. A válvula 13 se fecha e a válvula 5 se abre para interromper a evacuação do leito 46 e permitir que o gás de alimentação do compressor 38 (C1) entre na base do leito 46. A válvula 16 se fecha e a válvula 15 se abre para iniciar a evacuação do leito 48.

Etapa No. 6

No início da etapa 6, a válvula 17 permanece aberta e a válvula 20 se abre para permitir que o gás de purga flua do leito 42 para o leito 48. As válvulas 4 e 22 permanecem abertas para permitir que a produção do produto continue do leito 44. A válvula 5 permanece aberta e permite que o gás de alimentação do compressor 38 (C1) continue a entrar na base do leito 46. A válvula 23 se abre para permitir que o gás de pressurização do produto entre no topo do leito 46. A válvula 15 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 48 embora ela receba gás de purga. A válvula 19 se fecha.

Etapa No. 7

No início da etapa 7, a válvula 9 se abre para permitir que o leito 42 sopra de maneira descendente para a atmosfera. As válvulas 4 e 22 permanecem abertas para permitir que a produção do produto continue do leito 44. As válvulas 5 e 23 permanecem abertas e produção do produto começa no leito 46. A válvula 15 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 48.

Etapa No. 8

No início da etapa 8, a válvula 9 se fecha e a válvula 10 se abre para iniciar a evacuação do leito 42. As válvulas 18 e 20 se abrem para permitir que o gás de equalização flua do leito 44 no topo do leito 48. A válvula 5 se fecha e a válvula 6 se abre para permitir a alimentação de gás do compressor 36 (C2) na base do leito 46. A válvula 23 permanece aberta para permitir que a produção do produto continue do leito 46. A válvula 15 se fecha e a válvula 7 se abre para interromper a evacuação do leito 48 e permitir que o gás de alimentação do compressor 38 (C1) entre na base do leito 48.

Etapa No. 9

No início da etapa 9, a válvula 10 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 42 embora ela receba gás de purga. A válvula 18 permanece aberta e a válvula 17 se abre para permitir que o gás de purga flua do leito 44 para o leito 42. As válvulas 6 e 23 permanecem abertas para

5 permitir que a produção do produto continue do leito 46. A válvula 7 permanece aberta e permite que o gás de alimentação do compressor 38 (C1) continue a entrar na base do leito 48. A válvula 24 se abre para permitir que o gás de pressurização do produto entre no topo do leito 48. A válvula 20 se fecha.

Etapa No. 10

10 No início da etapa 10, a válvula 10 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 42. A válvula 12 se abre para permitir que o leito 44 sopra de maneira descendente para a atmosfera. As válvulas 6 e 23 permanecem abertas para permitir que a produção do produto continue do leito 46. As válvulas 7 e 24 permanecem abertas e produção do produto começa no leito 48.

Etapa No. 11

15 No início da etapa 11, a válvula 10 se fecha e a válvula 1 se abre para interromper a evacuação do leito 42 e permitir que o gás de alimentação do compressor 38 (C1) entre na base do leito 42. A válvula 12 se fecha e a válvula 11 se abre para iniciar a evacuação do leito 44. As válvulas 17 e 19 se abrem para permitir que o gás de equalização flua do leito 46 no topo do leito 42. A válvula 7 se fecha e a válvula 8 se abre para permitir
20 alimentação de gás do compressor 36 (C2) na base do leito 48. A válvula 24 permanece aberta para permitir que a produção do produto continue do leito 48.

Etapa No. 12

25 No início da etapa 12, a válvula 1 permanece aberta e permite que o gás de alimentação do compressor 38 (C1) continue a entrar na base do leito 42. A válvula 21 se abre para permitir que o gás de pressurização do produto entre no topo do leito 42. A válvula 11 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 44 embora ela receba gás de purga. A válvula 19 permanece aberta e a válvula 18 se abre para permitir que o gás de purga

flua do leito 46 para o leito 44. As válvulas 8 e 24 permanecem abertas para permitir que a produção do produto continue do leito 48. A válvula 17 se fecha.

A modalidade descrita anteriormente utiliza dois compressores para distribuir gás de alimentação para os vasos VPSA. Em uma modalidade preferida, um compressor Roots 38 (C1 ou compressor 1) e um compressor centrífugo 36 (C2 ou compressor 2) distribuirão o fluxo de alimentação total para um processo VPSA de quatro leitos integrado. Além do mais, no modo preferido de operação para a produção de O₂ em grande escala, leitos radiais são usados no processo VPSA. Detalhes adicionais de adsorventes de leito radial são dados por Ackley et al., patente U.S. No. 6.506.234 B1.

Referindo-se às etapas do leito 42 (B1) na figura 3, se dois compressores diferentes (por exemplo, Roots e centrífugo) forem usados, então no modo preferido de operação, o compressor Roots é usado nas etapas 1, 11, e 12, enquanto que o compressor centrífugo é usado nas etapas 2, 3 e 4. Com referência às figuras 2 e 3, durante a etapa 1 do ciclo VPSA, uma porção da alimentação total (processo VPSA de alimentação dupla) é distribuída pelo compressor Roots para o leito 42 (B1) enquanto que o compressor centrífugo distribui as outras porções da alimentação total para o leito 48 (B4). Também observa-se que em qualquer instante, dois leitos estão recebendo gás de alimentação simultaneamente e um produto contínuo é produzido durante todo o ciclo VPSA.

Tabela 2 dá um exemplo das condições de operação e do desempenho do processo VPSA usando um adsorvente seletivo de nitrogênio nos leitos. Na tabela, os símbolos têm os seguintes significados: TPD = ton (0,907t) (2.000 lb) por dia de oxigênio, kPa = 1.000 Pa = S.I. unidade para pressão (1,0 atm. = 101.323 kPa), s = unidade de tempo em segundos.

Além do mais, o adsorvente seletivo de equilíbrio de nitrogênio na tabela 2 é Li-X altamente trocado (>95 % de Li), da forma

descrita por Chao et al., patentes U.S. Nos. 5.413.625 e 4.859.217, ambas as quais estão aqui incorporadas pela referência na íntegra. Embora adsorvente LiX altamente trocado seja descrito nestas patentes, previu-se que as camadas de adsorventes ou misturas de adsorventes podem ser usadas e podem preferivelmente ser usadas (por exemplo, quando existe umidade no ar) em cada leito do processo VPSA sem desviar do escopo desta invenção. Exemplos representativos de vários adsorventes para uso nesta invenção incluem, mas sem limitações os descritos nas patentes U.S. Nos. 6.027.548 e 6.790.260 B2, ambas as quais estão aqui incorporadas pela referência na íntegra. Ver também, patentes U.S. Nos. 6.743.745 B2, 6.506.234 B1, 6.500.234, 6.471.748 E1 e 6.780.806. O adsorvente pode ser uma mistura de adsorventes ou um(s) adsorvente(s) em camadas. Preferivelmente, o mesmo adsorvente, seja ele um adsorvente único, mistura de adsorventes ou camada(s) de adsorvente, é o mesmo em todos os quatro leitos.

Tabela 2: Exemplo de produção em grande escala (> 350 TPD ($317,45$ t/d)) de O_2 (Figuras 2-3, condições de operação e desempenho). Cada um dos quatro leitos contém zeólito Li-X para remoção de N_2 . Os resultados apresentados a seguir foram obtidos da simulação de VPSA e experimentos de planta piloto usando ar seco contendo $0,934$ % de Ar, $78,12$ % de N_2 e $20,95$ % de O_2 .

Adsorvente em cada leito	Li-X
Composição de alimentação ($N_2/O_2/Ar$)	$78,12$ %/ $20,95$ % de O_2 / $0,934$ %
Alta pressão	160 kPa
Baixa pressão	30 kPa
Alimentação total	$2,85 \times 10^6$ NCFH ($0,08 \times 10^6$ Ncm ³ /h)
Quantidade de O_2 produzida	$3,58 \times 10^5$ NCFH ($0,101 \times 10^5$ Ncm ³ /h) (355 TPD (322 t/d) de O_2)
Pureza do oxigênio	90 %
Recuperação total de oxigênio	60 %
Fator de tamanho de leito	350 lb/TPD de O_2 (175 kg/t/d)
Temperatura	$300K$

O processo VPSA discutido anteriormente é focado na produção de O_2 a partir de ar usando um processo e sistema VPSA de quatro leitos. Em modalidades alternativas da presente invenção, menos que quatro (por exemplo, três leitos) ou mais que quatro leitos podem ser usados. Em tais

modalidades, pode-se necessitar desenvolver os ciclos VPSA de três leitos ou ciclos VPSA >4 leitos para incorporar as características mencionadas anteriormente da presente invenção. Além do mais, tanques de armazenamento adicionais podem ou não ser necessários em tais modalidades alternativas para incorporar as características da invenção dependendo se ciclos VPSA de três ou >4 leitos são empregados.

Além disso, cada leito pode alternativamente incluir uma ou várias camadas de adsorventes, ou uma mistura de adsorventes. Vários tipos de adsorventes também podem ser usados no processo VPSA para produção de O₂ a partir de ar. Detalhes dos adsorventes adequados preferidos e disposição em camadas dos adsorventes são descritos nas patentes U.S. Nos. 5.413.625; 4.859.217; 6.027.548; e 6.790.260 B2. Em outros modos de operação, outros adsorventes podem ser usados nos processos VPSA mencionados anteriormente da presente invenção. Por exemplo, 5A, 13X, CaX, e zeólitos de cátions mistos podem ser usados como o adsorvente seletivo de N₂ no processo VPSA.

Nos modos de operação preferidos e alternativos, uma seção pré-purificada é posicionada na extremidade a montante de cada leito zeólito para remover água e dióxido de carbono do ar de alimentação. Por exemplo, e embora não considerados como limitantes, uma camada de alumina ou sílica é preferivelmente posicionada a montante de cada um dos leitos adsorventes para remover água e dióxido de carbono do ar de alimentação antes de passar para o adsorvente seletivo de N₂ no processo VPSA.

A configuração do adsorvente selecionada (por exemplo, radial, axial, estruturada etc.) e escolha e arranjo dos adsorventes será determinada com base no tamanho do fluxo de alimentação, do tipo de fonte de alimentação e condições de operação do processo VPSA. Em um modo de operação alternativo, por exemplo, leitos axiais podem ser usados no processo VPSA. Prefere-se que todos os leitos tenham a mesma configuração.

Ainda em outros modos alternativos de operação, um compressor (em vez de dois compressores) pode ser usado para distribuir a alimentação total para o processo VPSA de entrada dupla (por exemplo, os processos VPSA ilustrados nas figuras).

5 Em alguns modos de operação, a maior pressão de adsorção está na faixa de 100 kPa a cerca de 2.000 kPa, e a menor pressão de dessorção está na faixa de 20 kPa a cerca de 100 kPa. Além do mais, a otimização entre alcançar alta recuperação de O₂ e baixo consumo de força no processo VPSA determinará pressões de adsorção e dessorção ideais para um dado
10 adsorvente. Espera-se que a pureza média do produto de oxigênio esteja na faixa de 85 por cento de oxigênio a cerca de 95 por cento de oxigênio, correspondendo a uma recuperação esperada de O₂ de cerca de 55-75 %. Espera-se que a menor recuperação de O₂ corresponda à maior pureza de O₂, e vice versa.

15 Em modos alternativos de operação, outros processos e ciclos podem ser usados. Por exemplo, a figura 4 mostra um esquema alternativo de um sistema e processo de quatro leitos 60 usando dois compressores 36, 38 para distribuir a alimentação total 32 para o processo VPSA de alimentação de entrada dupla e dois compressores 52, 53 para evacuar o resíduo 56 do
20 processo VPSA. No modo preferido de operação somente um soprador a vácuo 52 (preferivelmente, um soprador tipo Roots) é usado para evacuar o resíduo. Neste modo alternativo, um primeiro soprador a vácuo 52 é usado para evacuar o resíduo (preferivelmente um soprador tipo Roots) depois de um segundo soprador a vácuo 53 (preferivelmente um soprador tipo
25 centrífugo). A figura 5 mostra o ciclo de coluna para o processo VPSA de quatro leitos de alimentação de entrada dupla da figura 4. Neste modo alternativo, um gás de purga adicional, obtido de um outro leito na etapa de adsorção (por exemplo, leito 42 (B1) se submetendo a AD4 na figura 5 fornecendo ao mesmo tempo simultaneamente gás de purga para um outro

leito), é utilizado no processo VPSA. Além do mais, a etapa de equalização descendente neste modo alternativo é sobreposta com uma evacuação contra-corrente para ativar a despressurização do leito. Também, durante o fornecimento da etapa de purga (por exemplo, leito 42 (B1) na etapa 6 da figura 5), o leito é simultaneamente submetido a evacuação contra-corrente.

Com referência às figuras 4 e 5 e tabela 3, uma modalidade alternativa da presente invenção é ilustrada durante um ciclo VPSA completo. Na tabela 3, AD representa Adsorção/Produção do produto, ED: Equalização descendente, PPG: Fornecimento de gás de purga, PPP: Fornecimento de gás de pressurização do produto, BD: Desaceleração, PG: Recebimento de purga, EU: equalização ascendente (EU é o mesmo que EQUIP), PP: pressurização do produto, FP: Pressurização da alimentação, RC: Compressor Roots, CC: Compressor centrífugo, RV: vácuo de Roots, CV: vácuo centrífugo, EV: Evacuação. Da forma discutida anteriormente com referência à tabela 1, percebe-se que na tabela 3, "C" representa válvulas na posição fechada enquanto que "O" representa válvulas na posição aberta ou parcialmente aberta, dependendo se a válvula é uma válvula LIGA/DESLIGA ou controle de fluxo para manipulação do fluxo desejado. Os versados na técnica também percebem que as válvulas de controle de fluxo serão usadas dependendo da pressurização do produto (por exemplo, etapa 3 na figura 5).

Tabela 3: Seqüência de disparo da válvula para processo VPSA de oxigênio de quatro leitos de doze etapas.

Etapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Leito 1	AD1 (RC)	AD2 (CC)	AD3 (CC)/ PPP	AD4 (CC)/ PPG	ED/ EV1 (RV)	PPG/ EV2 (RV)	EV3 (RV)	EV4 (CV)	PG1/ EV5 (CV)	PG2/ EV6 (CV)	EU/ FP (RC)	PP/ FP (RC)
Leito 2	PG2/ EV6 (CV)	EU/ FP (RC)	PP/ FP (RC)	AD1 (RC)	AD2 (CC)	AD3 (CC) /PPP	AD4 (CC) /PPG	ED/ EV1 (RV)	PPG/ EV2 (RV)	EV3 (RV)	EV4 (CV)	PG1/ EV5 (CV)
Leito 3	EV3 (RV)	EV4 (CV)	PG1/ EV5 (CV)	PG2/ EV6 (CV)	EU/ FP (RC)	PP/ FP (RC)	AD1 (RC)	AD2 (CC)	AD3 (CC) /PPP	AD4 (CC) /PPG	ED/ EV1 (RV)	PPG/ EV2 (RV)
Leito 4	AD4 (CC) /PPG	ED/ EV1 (RV)	PPG/ EV2 (RV)	EV3 (RV)	EV4 (CV)	PG1/ EV5 (CV)	PG2/ EV6 (CV)	EU/ FP (RC)	PP/ FP (RC)	AD1 (RC)	AD2 (CC)	7D3 (CC) /PPP
Válvula No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O
2	C	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C
3	C	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C

4	C	C	C	C	O	O	O	C	C	C	C	C
5	C	C	C	C	O	O	O	C	C	C	C	C
6	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	C	C
7	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	C	C
8	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O
9	C	C	C	C	O	O	O	C	C	C	C	C
10	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	C	C
11	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O
12	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	C	C
13	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O
14	C	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C
15	C	C	C	C	O	O	O	C	C	C	C	C
16	C	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C
17	C	C	C	O	O	O	C	C	O	O	O	C
18	O	O	C	C	C	C	O	O	O	C	C	O
19	C	C	O	O	O	C	C	C	C	O	O	O
20	O	O	O	C	C	O	O	O	C	C	C	C
21	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	O
22	C	C	O	O	O	O	O	C	C	C	C	C
23	C	C	C	C	C	O	O	O	O	O	C	C
24	O	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O

Adsorventes, misturas e disposição em camadas adequados de tais adsorventes são discutidos anteriormente.

A figura 6 mostra um outro esquema alternativo de um sistema e processo de quatro leitos 70 de acordo com a presente invenção usando dois compressores 36, 38 para distribuir a alimentação total para o processo VPSA de alimentação de entrada dupla. A figura 7 mostra um ciclo de coluna para o processo VPSA de quatro leitos de alimentação de entrada dupla da figura 6. No modo preferido de operação (Figuras 2 e 3) descrito anteriormente, oito válvulas de resíduo são usadas para permitir uma etapa de sopro descendente (ultrapassando o soprador a vácuo) seguida pelas etapas de evacuação usando o soprador a vácuo. No modo alternativo de operação apresentado nas figuras 6 e 7, somente quatro válvulas de resíduo são necessárias. Conseqüentemente, todo o gás de resíduo é evacuado através do soprador a vácuo. No modo preferido apresentado nas figuras 2 e 3, equalização não é sobreposta com evacuação como no modo alternativo ilustrado nas figuras 6 e 7. Além do mais, purga é fornecida a partir de despressurização de gás de co-corrente na modalidade apresentada nas figuras 2 e 3 enquanto que purga é fornecida a partir do leito na produção na modalidade apresentada nas figuras 6 e 7. Adicionalmente, existe uma etapa de evacuação depois da etapa de purga na modalidade preferida apresentada nas figuras 2 e 3 enquanto que não existe etapa de evacuação depois da purga na modalidade alternativa descrita nas

figuras 6 e 7.

Ciclos de coluna alternativos adicionais para o processo VPSA de quatro leitos de alimentação de entrada dupla da figura 6 são apresentados nas figuras 8 e 9. Em particular, o ciclo apresentado na figura 8 usa duas etapas de pressurização de produto e uma etapa de equalização e o ciclo apresentado na figura 9 usa oito etapas em vez de doze etapas. Os ciclos de coluna ilustrados para os processos VPSA de quatro leitos de entrada de alimentação dupla apresentados nas figuras 2, 4 e 6 e os ciclos de coluna associados são dispostos na ordem do mais preferido (Figura 2-3) para o menos preferido (Figuras 6 e 9). Além do mais, para o processo VPSA da figura 6 e os ciclos de coluna associados (Figuras 7-9), os ciclos de coluna são dispostos na ordem do mais preferido para o menos preferido; isto é, o ciclo na figura 7 é preferido sobre o ciclo apresentado na figura 8, e o ciclo apresentado na figura 8 é preferido sobre o ciclo apresentado na figura 9. Isto é porque espera-se que a recuperação de O_2 por VPSA e produtividade de O_2 sejam menores usando o ciclo apresentado na figura 8 que usando o ciclo ilustrado na figura 7 e espera-se que a recuperação de O_2 seja menor usando o ciclo apresentado na figura 9 com relação ao uso do ciclo apresentado na figura 8.

Espera-se que os ciclos de coluna para o processo VPSA de quatro leitos de alimentação de entrada dupla da figura 6 ilustrado nas figuras 7-9 variem no fator de tamanho de leito e consumo de força, com o ciclo apresentado na figura 7 sendo mais eficiente que o apresentado na figura 8 e o ciclo na figura 8 sendo mais eficiente que o apresentado na figura 9. Assim, espera-se que o BSF e consumo de força sejam os mais altos para a figura 9, menores para a figura 8 e ainda menores para a figura 7 para o esquema na figura 6 em virtude de se esperar que as eficiências para os ciclos apresentados diminuam com números de figura crescentes.

Nos processos e sistemas VPSA discutidos anteriormente,

contempla-se o uso de ar como o gás de alimentação para recuperar oxigênio em uma base de grandes escalas. Em virtude de o oxigênio poder ser produzido em grande escala (> 350 tons ($317,45$ t) /dia) usando um único trem, uma bomba menor (isto é, uma menor que o uso de bombas de 2

5 alimentações e 2 vácuos), menor fator de tamanho de leito, e evitando o uso de gás de qualidade de produto para purgar, espera-se que exista cerca de 10-20 % de melhoria na produtividade/recuperação de O_2 e 5-10 % de redução em custo capital.

Da mesma forma, espera-se que os sistemas e processos da

10 presente invenção sejam usados para correntes de alimentação a não ser ar, tal como gás raro (por exemplo, He, Ar, Ne, Kr) contendo correntes de alimentação ou correntes de alimentação contendo H_2 , tais como as obtidas de reações que reformam corrente de metano ou oxidação parcial de hidrocarbonetos, etc. Por exemplo e, embora não considerado como limitante,

15 espera-se que uma mistura de alimentação contendo H_2 de gás de síntese, gerada de corrente que reforma metano, seja adequada para uso de acordo com a presente invenção. Em uma modalidade como esta, hidrogênio pode ser recuperado. Prevê-se que o processo e sistema podem ser adaptados completamente de maneira rápida para o a produção de produto ou co-

20 produtos desejados. Por exemplo, co-produção de O_2 e N_2 ou H_2 e CO pode ser prontamente alcançada a partir de alimentação de ar e alimentação contendo H_2 , respectivamente. Os versados na técnica perceberão que modificações apropriadas no adsorvente, pré-purificador e condições de operação do processo serão selecionadas com base na aplicação pretendida.

25 Os sistemas e processos discutidos anteriormente contemplaram o uso de processos VPSA para produzir oxigênio a partir de ar. Nas modalidades alternativas da invenção, adsorção por oscilação de pressão (PSA) pode ser utilizada, em que as pressões de operação estão acima da pressão ambiente, assim uma bomba de vácuo pode não ser necessária. Ainda

em outras modalidades, mais que uma bomba de vácuo pode ser desejável.

5 Versados na técnica percebem que as modalidades descritas anteriormente podem ser prontamente utilizadas como uma base para modificar ou projetar outras estruturas para realizar os mesmos propósitos da presente invenção. Também deve ser entendido pelos versados na técnica que tais construções equivalentes não fogem do espírito e escopo da invenção, da forma apresentada nas reivindicações em anexo.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de adsorção por oscilação de pressão no vácuo (VPSA) para separar um gás de suprimento de alimentação contendo pelo menos um componente mais fortemente adsorvível e pelo menos um componente de gás de produto menos fortemente adsorvível, caracterizado pelo fato de que compreende: alimentar continuamente um gás de suprimento de alimentação nas extremidades de entrada de alimentação de cada um dos dois leitos adsorventes, cada leito contendo pelo menos um adsorvente que preferencialmente adsorve o componente mais fortemente adsorvível e retirar o pelo menos um componente de gás de produto menos fortemente adsorvível das extremidades de saída dos leitos adsorventes, produzindo em ciclos por etapas em que dois leitos estão simultaneamente em um modo de alimentação e dois outros leitos estão em um modo regeneração/refluxo, em que em qualquer instante durante o processo somente um leito está em uma etapa de evacuação.

2. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o processo VPSA contém quatro leitos em um único trem.

3. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que os ciclos por etapas compreendem um ciclo de doze etapas.

4. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que a etapa de evacuação é realizada antes e depois de uma etapa de purga.

5. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o gás do espaço vazio obtido durante despressurização co-corrente de um leito, com exceção do leito que se submete à evacuação, é adequado para uso como um gás de purga.

6. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o pelo menos um componente mais fortemente adsorvível compreende nitrogênio.

5 7. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que pelo menos um componente de gás de produto menos fortemente adsorvível compreende oxigênio.

10 8. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o oxigênio tem uma pureza média de cerca de 85-95 % de oxigênio.

9. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o oxigênio corresponde a uma recuperação de oxigênio de cerca de 55-75 %.

15 10. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o adsorvente compreende pelo menos um de: zeólito Li-X, 5A, 13X, CaX, e zeólitos de cátions mistos.

20 11. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o pelo menos um componente de gás de produto menos fortemente adsorvível compreende hidrogênio.

25 12. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que uma pressão de adsorção mais alta está na faixa de cerca de 100 kPa a cerca de 2.000 kPa, e a menor pressão de dessorção está na faixa de cerca de 20 kPa a cerca de 100 kPa.

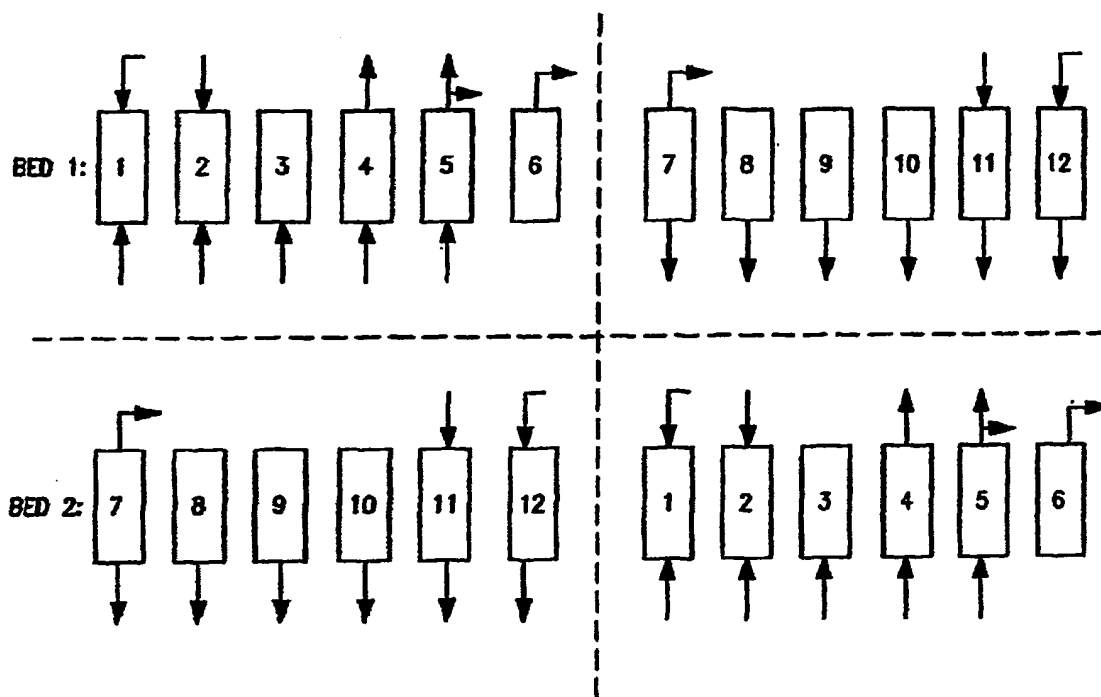
13. Processo de absorção por oscilação de pressão no vácuo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o processo é um ciclo de doze etapas em um sistema de quatro leitos.

14. Sistema de adsorção por oscilação de pressão no vácuo (VPSA) para separar um gás de suprimento de alimentação, contendo pelo menos um componente mais fortemente adsorvível e pelo menos um componente de gás de produto menos fortemente adsorvível, caracterizado pelo fato de que compreende:

quatro leitos de adsorção em um único trem configurados de maneira que um gás de suprimento de alimentação pode ser continuamente alimentado nas extremidades de entrada de alimentação de dois dos leitos de adsorção;

pelo menos um compressor de alimentação configurado para suprir o gás de suprimento de alimentação para os leitos de adsorção; e
uma bomba de vácuo.

Ciclo de coluna de oxigênio VPSA de dois leitos
(Técnica anterior: patente U.S. No. 6.010.555)



- 1 = Ascensão da pressão de alimentação com sobreposição da equalização
- 2 = ascensão da pressão de alimentação com sobreposição da pressurização do produto
- 3 = ascensão da pressão de alimentação
- 4 = pressão de alimentação constante com fabricação de produto
- 5 = pressão de alimentação constante com fabricação de produto e purga
- 6 = queda da pressão de equalização
- 7 = queda da pressão de evacuação com sobreposição da equalização
- 8, 9 e 10 = queda da pressão de evacuação
- 11 = pressão de evacuação constante com purga de oxigênio
- 12 = ascensão da pressão de evacuação com sobreposição da equalização

FIG. 1

Processo VPSA de quatro leitos novo usando
adsorvente LiX altamente trocado

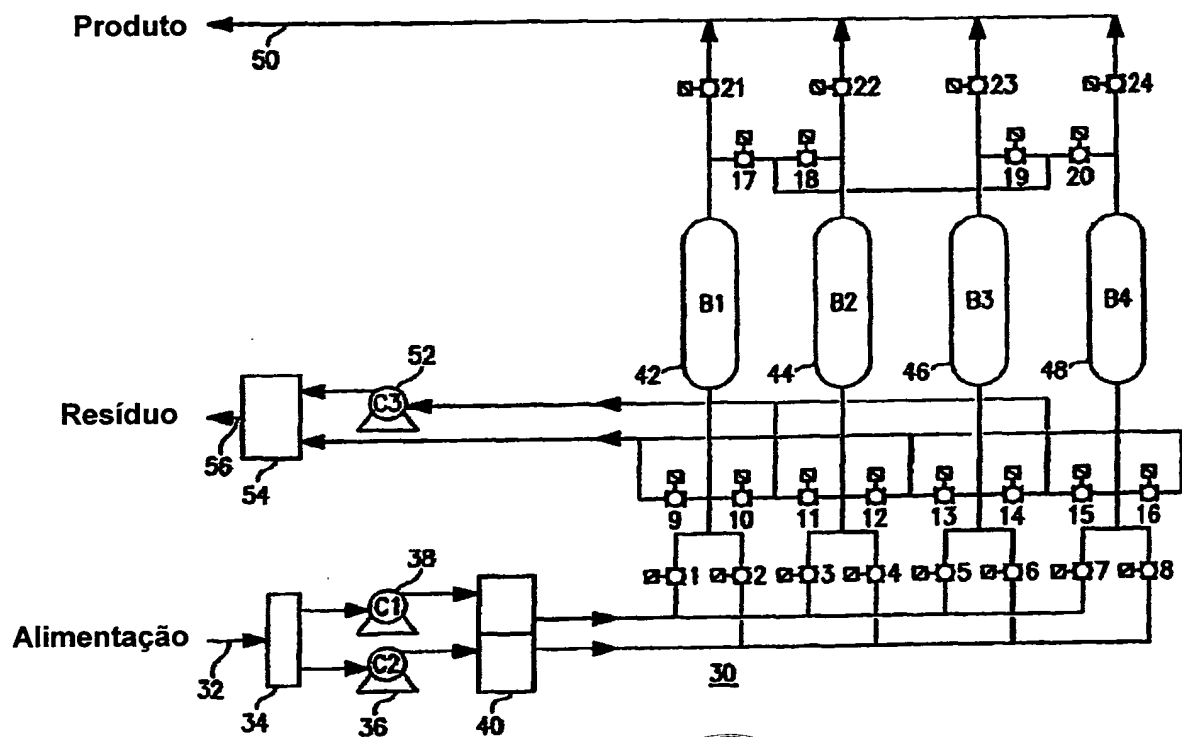


FIG. 2

Ciclo de Coluna VPSA de quatro leitos mostrando dois leitos recebendo gás de alimentação simultaneamente

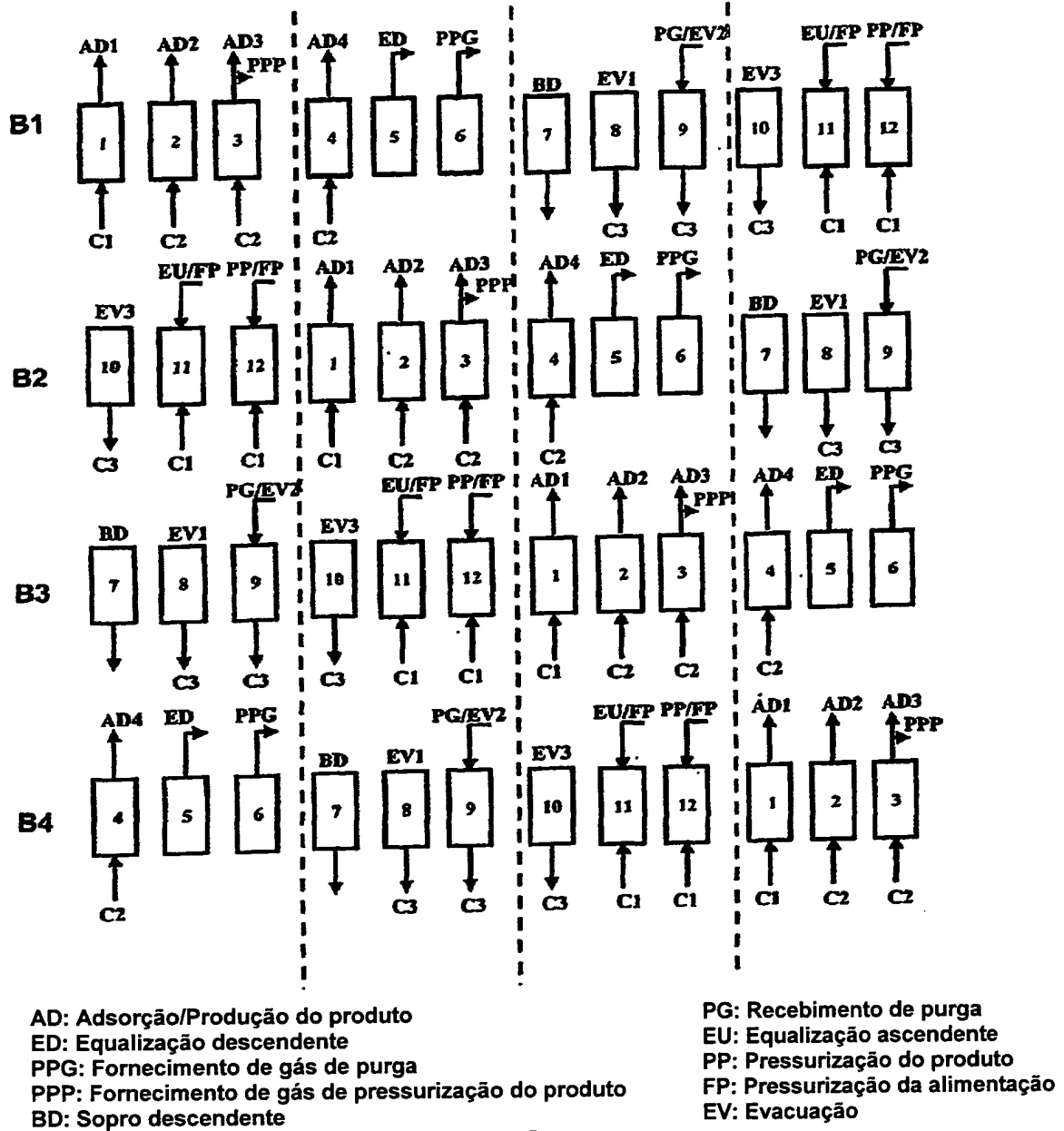


Fig. 3

Processo VPSA de quatro leitos inédito usando
adsorvente LiX altamente trocado

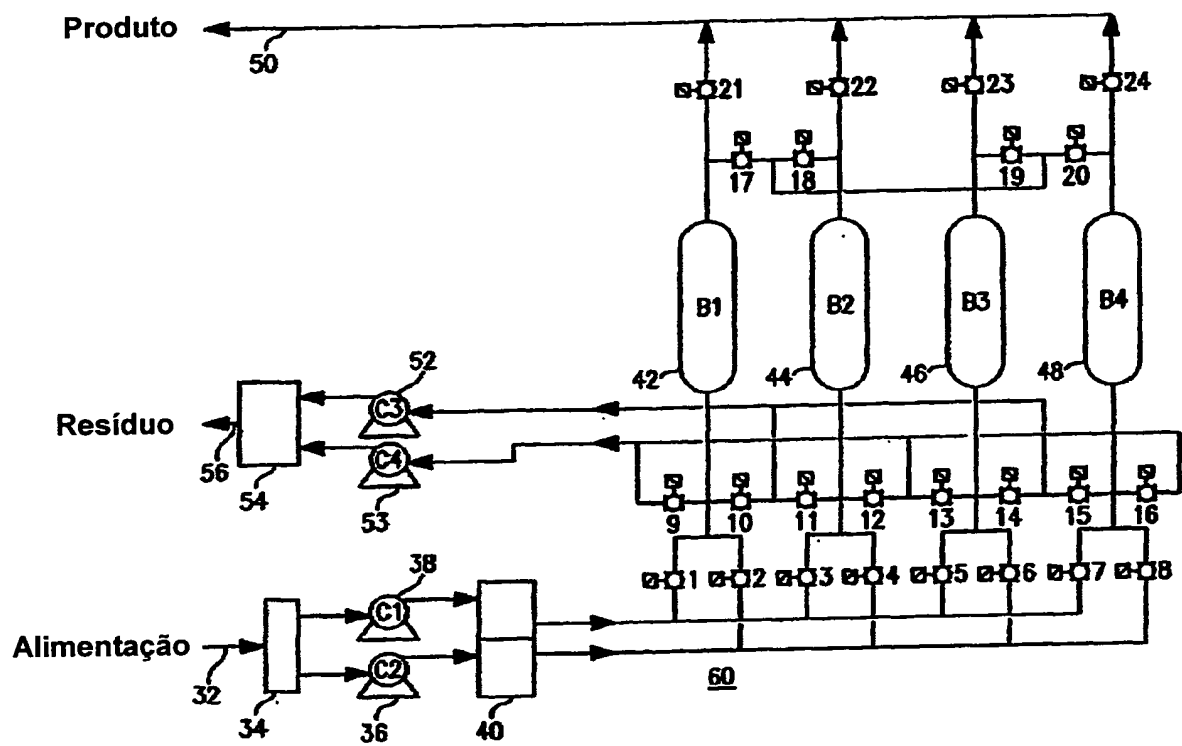
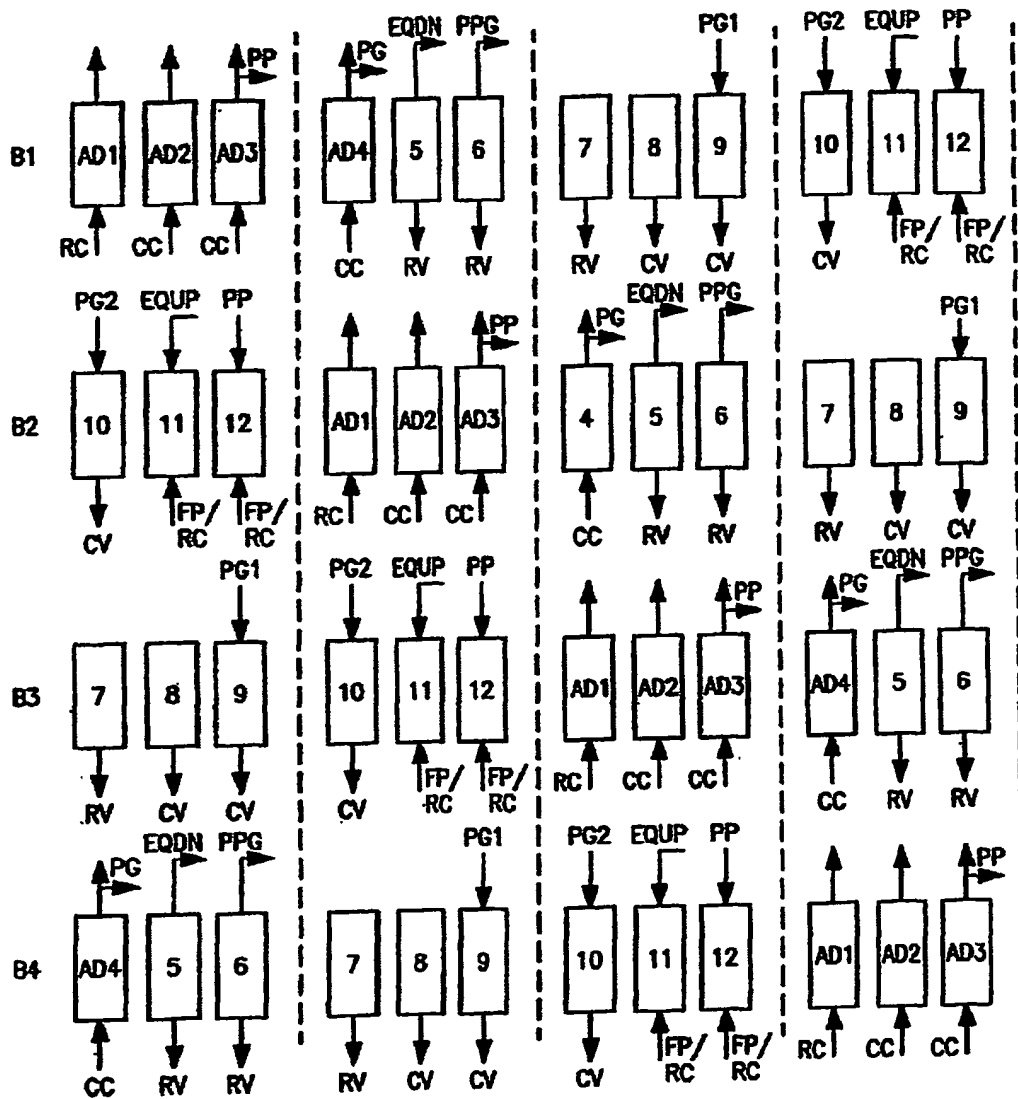


FIG. 4

Ciclo de coluna VPSA de quatro leitos que mostra dois leitos recebendo gás de alimentação simultaneamente



1, 2, 3, 4 = pressão de alimentação constante com fabricação do produto
 5 = queda da pressão de evacuação com sobreposição da equalização
 6 = queda da pressão de evacuação com sobreposição do fornecimento do gás de purga
 7 e 8 = Evacuação, 9 e 10 = purga, 11 = aumento da equalização com sobreposição FP
 12 = pressurização do produto (PP) com sobreposição da pressurização de alimentação (FP)
 PPG = fornecimento de gás de purga
 EQDN = equalização descendente
 RC = compressor de Roots
 CC = compressor centrífugo
 RV = vácuo de Roots
 CV = vácuo centrífugo
 EQUIP = equalização ascendente
 EV = evacuação

FIG. 5

Esquema alternativo do processo de quatro leitos usando dois compressores para distribuir a alimentação total para o processo VPSA de alimentação de entrada dupla

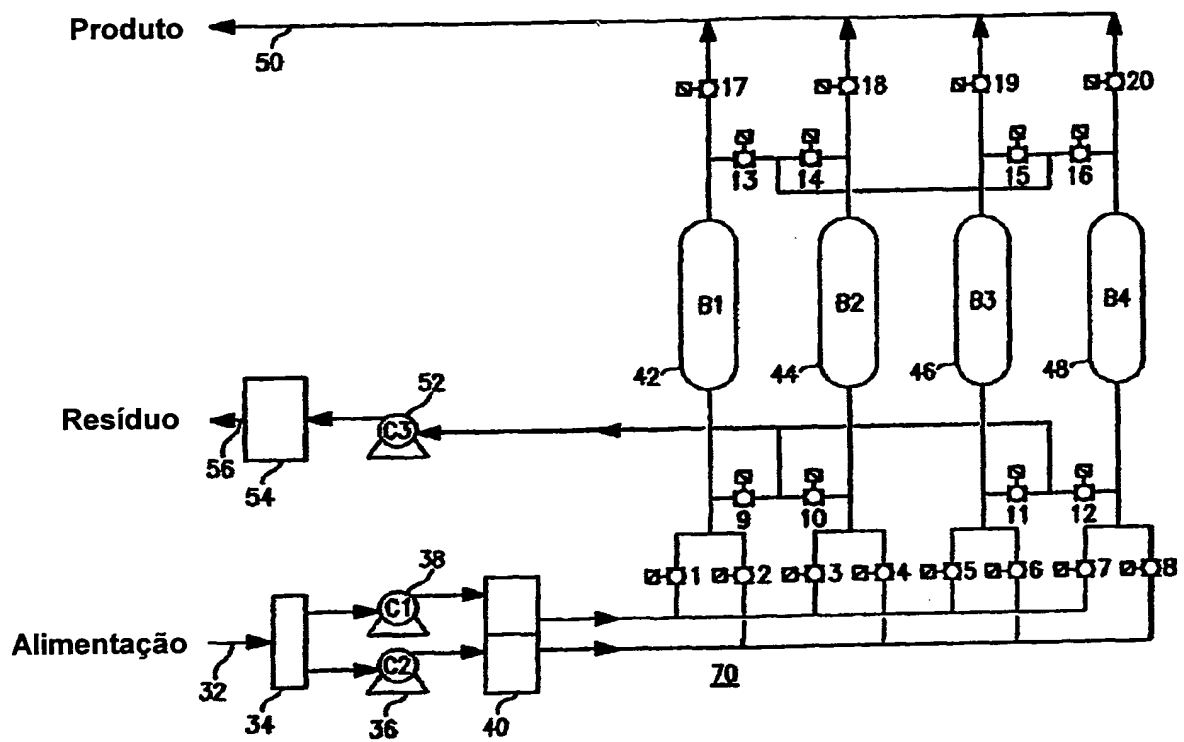


FIG. 6

Ciclo de coluna VPSA de quatro leitos de entrada de alimentação
dupla alternativo para uso no processo da figura 6

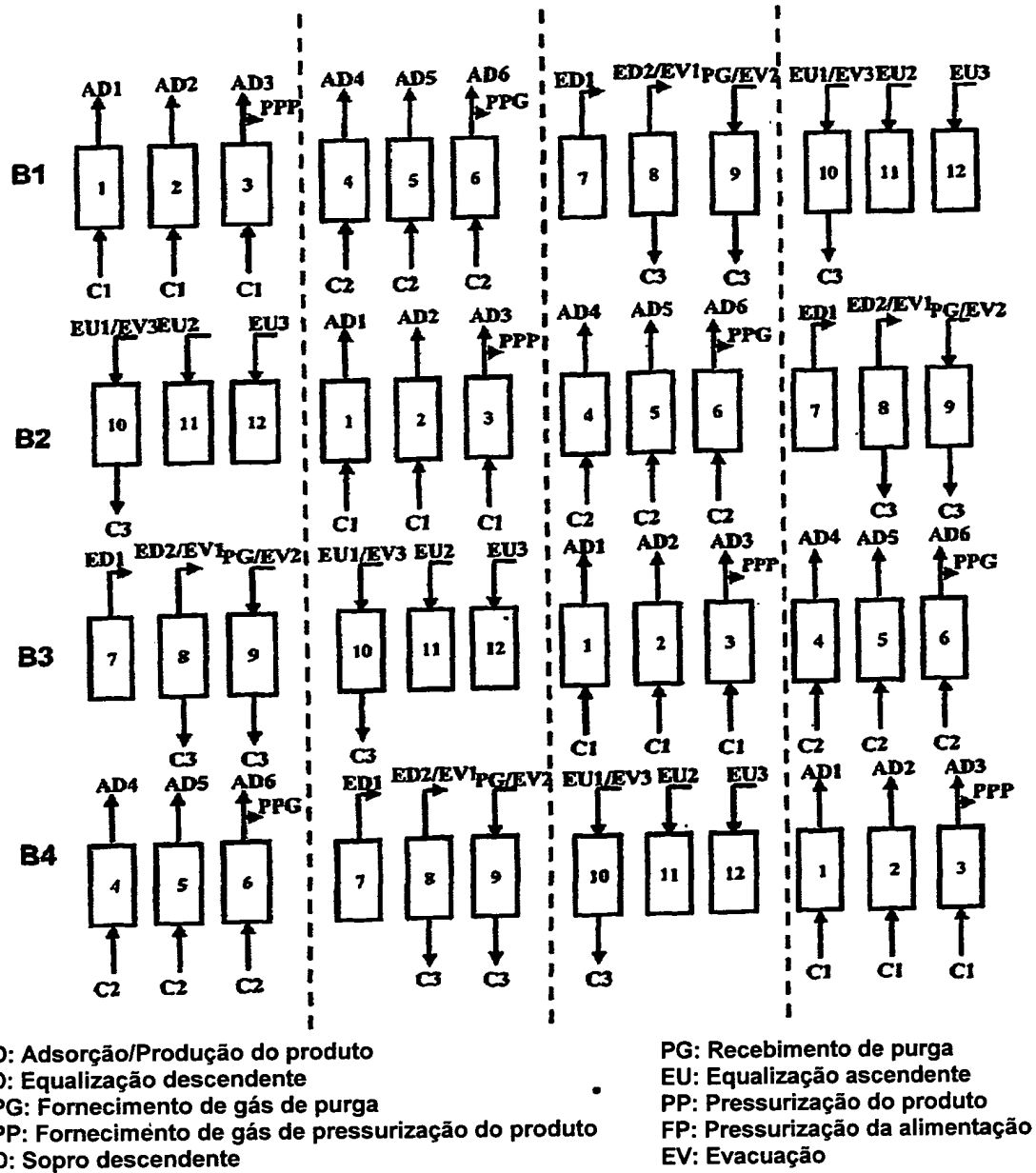
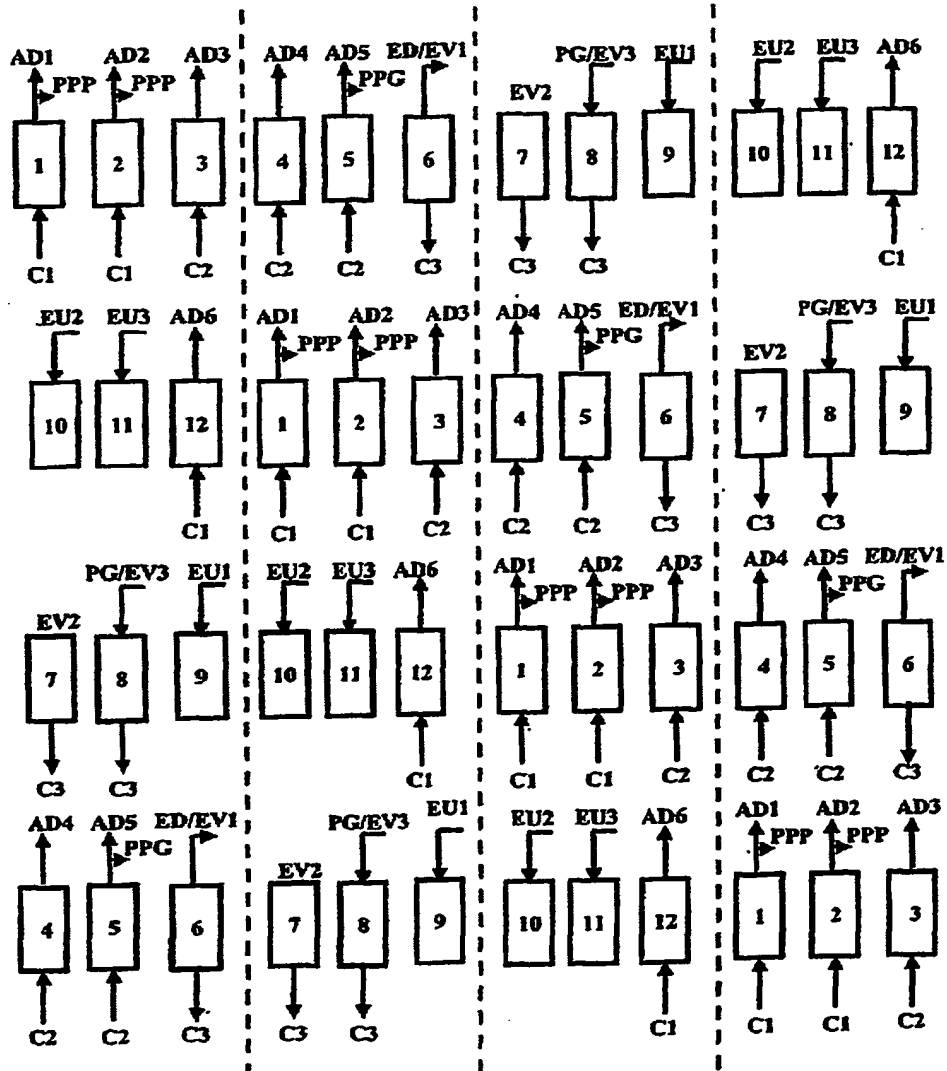


Fig. 7

Ciclo de coluna VPSA de quatro leitos de entrada de alimentação dupla alternativo para uso no processo da figura 6

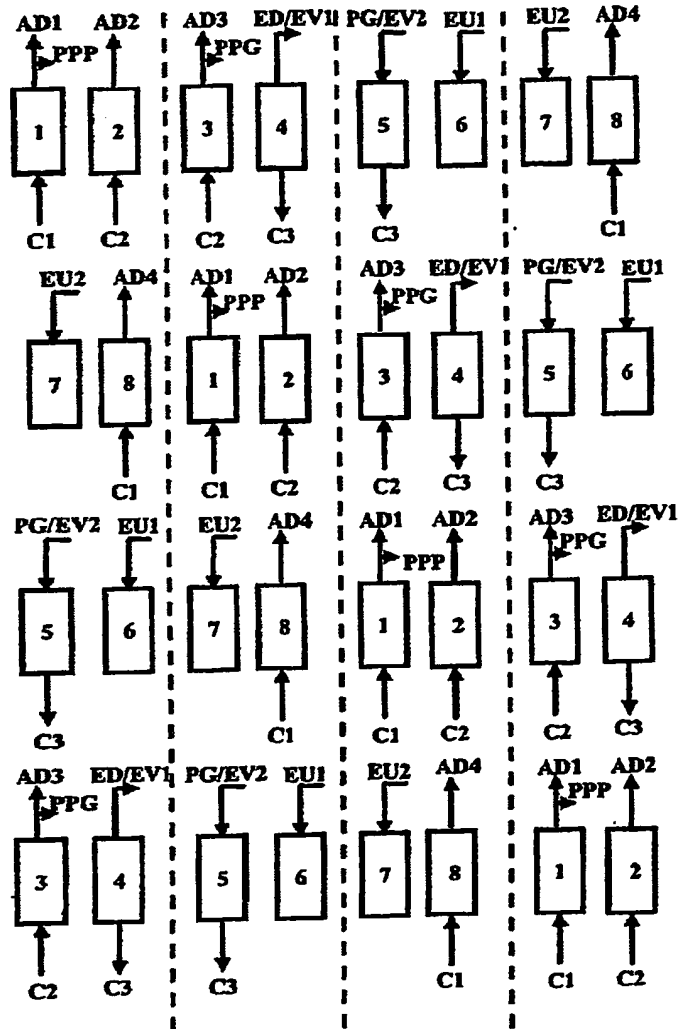


AD: Adsorção/Produção do produto
 ED: Equalização descendente
 PPG: Fornecimento de gás de purga
 PP: Fornecimento de gás de pressurização do produto
 BD: Sopros descendente

EV: Evacuação
 PG: Recebimento de purga
 EU: Equalização ascendente
 PP: Pressurização do produto
 FP: Pressurização da alimentação
 EV: Evacuação

Fig. 8

Ciclo de coluna VPSA de quatro leitos de entrada de alimentação dupla alternativo para uso no processo da figura 6



AD: Adsorção/Produção do produto
 ED: Equalização descendente
 PPG: Fornecimento de gás de purga
 PPP: Fornecimento de gás de pressurização do produto
 BD: Sopros descendente

PG: Recebimento de purga
 EU: Equalização ascendente
 PP: Pressurização do produto
 FP: Pressurização da alimentação
 EV: Evacuação

Fig. 9

RESUMO**“PROCESSO E SISTEMA DE ADSORÇÃO POR OSCILAÇÃO DE PRESSÃO NO VÁCUO”**

A presente invenção, no geral, diz respeito a sistemas de
5 adsorção de pressão no vácuo (VPSA) de grande capacidade (por exemplo,
maior que 350 tons (317,45 t) /dia de O₂) e processos que empregam um
único trem incluindo quatro leitos (42, 44, 46, 48), pelo menos um
compressor de alimentação (36, 38) alimentando dois leitos simultaneamente
em qualquer dado instante no tempo, e uma única bomba de vácuo (52). O
10 compressor (s) e a bomba de vácuo podem ser utilizados 100 % do tempo.
Uso de gás de qualidade de produto para purgar é evitado, com cerca de 10-20
% de melhoria na produtividade de O₂ e 5-10 % de redução em custo de
capital esperado.