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

(11) **PI 0714015-0 B1**

(22) Data do Depósito: 03/07/2007

(45) Data de Concessão: 14/08/2018

(54) Título: PROCESSO E SISTEMA DE ADSORÇÃO POR OSCILAÇÃO DE PRESSÃO E VÁCUO

(51) Int.Cl.: B01D 53/053

(30) Prioridade Unionista: 06/07/2006 US 11/480,833

(73) Titular(es): PRAXAIR TECHNOLOGY, INC.

(72) Inventor(es): MOHAMED SAFDAR ALLIE BAKSH; ANDREW CHESTER ROSINSKI

(85) Data do Início da Fase Nacional: 06/01/2009

"PROCESSO E SISTEMA DE ADSORÇÃO POR OSCILAÇÃO DE PRESSÃO E VÁCUO"

Campo técnico

A invenção refere-se a um processo e a um sistema de adsorção por oscilação de pressão e vácuo para a produção de oxigênio. Mais particularmente, refere-se a um processo e a um sistema adaptados para produção em grande escala de oxigênio a partir do ar.

Fundamentos

Presentemente, dois e três processos de adsorção por oscilação de pressão em leitos (PSA) ou de adsorção por oscilação de pressão e vácuo (VPSA) são usados normalmente para a produção de oxigênio. Quando a capacidade da usina aumenta, o total de gás de exaustão aumenta devido à recuperação modesta de O_2, e a bomba(s) a vácuo requer mais tempo para remover o resíduo total durante a regeneração do leito quando as bombas estão operando perto de suas produções máximas. Em tais situações, recuperação de O_2 acima de 60% pode ser conseguida usando-se quatro ou mais leitos para operar o processo de PSA, com etapas adicionais para permitir mais tempo para a regeneração do leito e a recuperação de gases evacuados no leito, antes da descarga contra a corrente. Comparado a processos de dois e três leitos, os processos de quatro ou mais leitos oferecem mais graus de liberdade (condições de operação de processo, tamanho de leito e ciclos) e custos unitários menores.

Processos de VPSA de dois leitos para a produção de oxigênio a partir do ar são apresentados por Baksh et al, (patente U. S. 5.518.526) e por Smolarek et al, (patente U.S. 6.010.555). Ambas as patentes apresentando processos de VPSA de dois leitos para produzir O_2 a partir do ar.

Smolarek et al, (patente U. S. 5, 656, 068) apresentou um processo de VPSA de quatro leitos operados como sistemas de dois pares de 2- leitos, referido como ciclo/sistema 2x2, para produzir oxigênio a partir do

ar. Cada par de leitos é operado a 180°, fora de fase, e os dois pares de leitos são operados fora de fase, por metade de meio ciclo. Dois compressores (um fixo ou de deslocamento positivo e um centrífugo) e duas bombas de vácuo (uma fixa ou de deslocamento positivo e uma centrífuga) são utilizados no processo de VPSA da patente U. S. 5.656.068. Um dos dois compressores está periodicamente no modo inativo ou de ventilação.

Doong (patente U. S. 5.997.612) apresentou um sistema de PSA de quatro leitos operando como dois pares de leitos de adsorção para produzir, aproximadamente, 90,7 toneladas por dia de oxigênio (TPD). O processo de VPSA inclui dois pares de leitos, um tanque de armazenamento intermediário (para coletar a despressurização co-corrente para uso na purga dos leitos), um soprador de gás e um par de bombas a vácuo. O sistema apresentado na patente U. S. 5.997.612 utiliza três bombas versus quatro bombas usadas na patente U. S. 5.656.068. Além disso, o sistema apresentado na patente U. S. 5.997.612 lida com uma única corrente de alimentação contra uma corrente de alimentação dupla, como apresentado na patente U. S. 5.656.068.

Mais recentemente, um sistema de VPSA de quatro leitos e um processo com uma entrada de alimentação dupla para a produção de oxigênio em grande escala (por exemplo, > 276,6 toneladas/dia de O_2) foi apresentado no pedido de patente U. S. 11/264.278 (pasta 21.489). O sistema apresentado usa dois compressores e uma bomba a vácuo, em vez dos dois compressores e duas bombas a vácuo apresentados da patente U. S. 5.656.068.

Na aplicação de processos de VPSA ou PSA, a entrada de energia exigida para conseguir a separação de O_2 a partir da mistura de alimentação (por exemplo, ar) é provida como trabalho mecânico através do(s) compressor(es) de alimentação e da(s) bomba(s) a vácuo. O custo deste trabalho é um componente significativo do custo operacional total do processo de VPSA. VPSA ou PSA também competem economicamente, hoje

em dia, com a destilação criogênica, apenas para aplicações em pequena escala. Para que os processos PSA ou VPSA se tornem competitivos em custo com a destilação criogênica para aplicações em grande escala, quatro ou mais leitos são necessários para operar ciclos PSA melhorados para conseguir desempenho realçado do processo de PSA e custos operacionais menores.

Conseqüentemente, seria desejável prover um sistema de múltiplos leitos melhorado que poderia prover desempenho realçado e custos de operação menores para a produção de oxigênio em grande escala.

Sumário da invenção

A presente invenção refere-se geralmente a um processo e sistema de adsorção por oscilação de pressão e vácuo de poli- leitos (VPSA) para conseguir recuperação realçada de O_2. O processo compreende: (a) usar um sistema compreendendo três ou mais leitos adsorvedores, (b) alimentar continuamente uma gás de suprimento de alimentação em uma extremidade da entrada de alimentação de um leito adsorvedor, o mencionado leito contendo pelo menos um adsorvente que adsorve preferencialmente o componente mais fortemente adsorvível e remove o pelo menos um componente de gás produto menos fortemente adsorvível a partir de uma extremidade de saída do leito adsorvedor, (c) prover alimentação contínua de gás de suprimento de alimentação usando um único soprador de alimentação, (d) purgar os leitos adsorvedores usando dois gases de purga de pureza diferente, e (e) produzir o componente de gás produto em ciclos por etapas onde, em qualquer instante durante o processo, dois leitos estão em uma etapa de evacuação e apenas um leito está no modo de alimentação.

O processo de VPSA da invenção usa três bombas (um compressor e duas bombas a vácuo) com 100% de utilização de todas as bombas. Um modo de realização da presente invenção também contempla o uso de ciclos únicos VPSA de quatro leitos que incluem 100% de utilização do compressor e das bombas a vácuo enquanto, ao mesmo tempo, processam

continuamente um gás de alimentação. A presente invenção contempla adicionalmente o uso de um tanque de equalização (ET), que é um tanque de armazenamento usado para coletar o gás evacuado que é descarregado co-correntemente a partir dos leitos de adsorção, e o uso deste gás para pressurizar parcialmente (contracorrente) os leitos no processo de VPSA, via equalização do leito para o tanque. A presente invenção também contempla o uso de dois gases de purga de pureza diferente, referidos, daqui em diante, como "gás de purga de baixa pureza" e "gás de purga de pureza elevada" que são usados para purgar os leitos no ciclo VPSA. O gás de purga de pureza elevada vai diretamente para outro leito que esteja sendo submetido à etapa de purga sem o uso de qualquer tanque de armazenamento, e o gás de baixa pureza é gerado a partir de outro leito que esteja sendo submetida a uma etapa de despressurização co-corrente depois da etapa de equalização do leito para o tanque. As etapas no ciclo VPSA são arranjadas de modo que o gás de purga de má qualidade seja usado para a purga inicial do leito, seguida pelo uso do gás de purga de pureza elevada para a purga final do leito. Além disso, em qualquer instante no ciclo VPSA, dois dos leitos estão simultaneamente na etapa de evacuação, e apenas um leito está no modo de alimentação. Além disso, cada um dos leitos na etapa de evacuação está conectada a uma bomba a vácuo, resultando na necessidade de duas bombas a vácuo no processo de VPSA. A presente invenção também contempla uma etapa de purga contracorrente separada da purga de modo que, o resíduo gerado durante esta etapa, contorne a bomba a vácuo. A presente invenção contempla adicionalmente etapas de pressurização intermediárias (por exemplo, uma etapa da equalização do leito para o tanque e uma etapa de pressurização do produto e sobreposição da alimentação) para minimizar o escapamento de gás de alimentação durante a etapa de pressurização da alimentação.

O sistema de VPSA da presente invenção compreende três ou mais leitos de adsorção em um único trem; um tanque de equalização (ET)

para coletar o gás evacuado que é descarregado co-correntemente a partir dos leitos de adsorção; pelo menos uma bomba a vácuo para evacuar dois leitos de adsorção simultaneamente; e um compressor de alimentação.

Descrição resumida dos desenhos

Para uma compreensão mais completa da presente invenção e de suas vantagens, deveremos nos referir à seguinte descrição detalhada em conjunto com os desenhos anexos em que:

A FIG. 1 é um diagrama esquemático do processo de VPSA de quatro leitos usando um tanque de equalização (ET) e três bombas (um compressor de alimentação e duas bombas a vácuo).

A FIG. 2 é um diagrama esquemático do ciclo de coluna VPSA de dezesseis estágios e quatro leitos para uso no processo de VPSA de quatro leitos da FIG. 1.

A FIG. 3 é um diagrama esquemático ilustrando um ciclo alternativo de coluna VPSA de quatro leitos para uso no processo de VPSA de quatro leitos da FIG. 1, onde não há a etapa de pressurização do produto a partir do tanque de produto.

A FIG. 4 é um diagrama esquemático ilustrando um ciclo alternativo de coluna VPSA de quatro leitos para uso no processo da FIG. 1, onde o gás PG é obtido apenas a partir das etapas de despressurização co-corrente (CD) e o gás residual na ET é usado na etapa de equalização ascendente (EQUP).

A FIG. 5 é um diagrama esquemático ilustrando um ciclo alternativo de coluna VPSA de quatro leitos para uso no processo da FIG. 1, onde há uma comunicação real leito-a-leito (EQDN com EQUP sobreposta com FP).

A FIG. 6 é um diagrama esquemático ilustrando um ciclo VPSA alternativo de quatro leitos para uso no processo da FIG. 1, onde há ET no processo de VPSA.

Descrição detalhada da invenção

A presente invenção é dirigida à aplicação de processos de VPSA poli-leitos para conseguir recuperação realçada de oxigênio e uma produção maior do que a dos processos de VPSA O_2 da técnica anterior. O processo compreende: (a) usar um sistema compreendendo três ou mais leitos adsorvedores, (b) alimentar continuamente um gás de suprimento de alimentação em uma extremidade de entrada de alimentação de um leito adsorvedor, o mencionado leito contendo pelo menos um adsorvente que adsorva preferencialmente o componente mais fortemente adsorvível e remova o pelo menos um componente menos fortemente adsorvível do gás produzido, a partir de uma extremidade de saída do leito adsorvedor, (c) prover a alimentação contínua de gás de suprimento de alimentação usando um único soprador de alimentação, (d) purgar os leitos adsorvedores, usando dois gases de purga de pureza diferente, e (e) produzir o componente do gás produzido em ciclos por etapas, a qualquer instante durante o processo, dois leitos estando em uma etapa de evacuação e apenas um leito no modo alimentação. O termo "poli-leitos" significa ter três ou mais leitos adsorvedores.

A qualquer instante no ciclo VPSA da presente invenção, dois leitos estão sendo submetidos à etapa de evacuação. Além disso, um modo de realização desta invenção introduz um ciclo VPSA de quatro leitos compreendendo 100% de utilização de um compressor e duas bombas a vácuo enquanto, mesmo tempo, processam continuamente um gás de alimentação. Além do mais, pelo menos metade do tempo do ciclo VPSA total é dedicado à evacuação contracorrente e a purga dos leitos. Algumas das características chaves incluem, mas não de modo limitativo: (1) alimentação contínua ao processo de VPSA; (2) apenas três máquinas (um compressor e duas bombas a vácuo) são exigidas; (3) utilização de 100% de um compressor, e das duas bombas a vácuo; (4) o uso de um tanque de equalização (ET) para coletar gás

de despressurização co-corrente para ser usado em uma etapa posterior para a re-pressurização do leito, via uma etapa de equalização do leito para o tanque; (5) a opção de utilizar a mesma ou diferentes bombas a vácuo (por exemplo, centrífuga, fixa ou de deslocamento positivo) para evacuar a extremidade de alimentação dos leitos durante as etapas de evacuação contracorrente e purga do processo de VPSA; (6) o uso de dois gases de purga de purezas diferentes, daqui em diante, referidos como gás de purga de baixa e elevada pureza, para purgar os leitos no ciclo VPSA. O gás de purga de pureza elevada vai diretamente para outro leito que esteja sendo submetida à etapa de purga sem o uso de qualquer tanque de armazenamento, e o gás de baixa pureza vindo de uma etapa de despressurização co-corrente depois da etapa de equalização do leito para o tanque. Este gás de baixa da pureza também vai diretamente para outro leito que tenha acabado de completar a última etapa de evacuação contracorrente no ciclo VPSA. As etapas no ciclo VPSA são arranjadas de maneira tal que o gás de purga de má qualidade seja usado para a purga inicial de leitos, seguido pelo uso do gás de purga de pureza elevada, para a purga final dos leitos. Este modo de operação permite o uso do gás de purga de baixa da pureza para purgar outro leito enquanto ao mesmo tempo minimiza a quantidade de gás de pureza elevada, obtido a partir de outro leito no modo de produção, para completar a etapa de purga, (7) o uso de uma etapa de purga de contracorrente separada de modo que o resíduo durante esta etapa contorne a bomba a vácuo; e (8) o ciclo VPSA incorporando as etapas de pressurização intermediárias (por exemplo, etapa de equalização do leito para o tanque e de alimentação sobreposta e a etapa de pressurização de produto) para minimizar o escapamento do gás de alimentação durante a etapa de pressurização da alimentação. O termo "compressor" e o termo "bomba de alimentação" são usados, aqui, permutavelmente.

Um modo de realização desta invenção mostra um processo de PSA novo, de quatro leitos, que utiliza um ET para conseguir recuperação

realçada de O_2 e permite a integração da etapa completa do ciclo VPSA e evita qualquer etapa(s) inativa no ciclo VPSA. O ET se comunica apenas com a extremidade de produto do leito adsorvedor e nunca vê o gás de alimentação. O gás evacuado recuperado coletado no ET é usado em uma etapa posterior no ciclo de purga e repressurização do leito. Este modo de realização é descrito aqui com referência ao processo de VPSA de quatro leitos mostrado na Figura 1, ao ciclo VPSA de quatro leitos mostrado na Figura 2, e à lógica de comutação de válvula como mostrado na tabela 1.

Tabela 1: Seqüência de disparo de válvula para dezesseis etapas do processo de VPSA de quatro leitos para oxigênio

Etapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Leito 1	FD/ PP	AD1	AD2// PPG	AD3	ETD	PPG	BD /	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/ PG	EV8/ PG	ETU
Leito 2	Ev6	EV7/ PG	EV8/ PG	ETU	FD/ PP	AD1	AD2/ PPG	AD3	ETD	PPG	BD	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5
Leito 3	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/ PG	EV8/ PG	ETU	FD/ PP	AD1	AD2/ PPG	AD3	ETD	PPG	BD	EV1
Leito 4	ETD	PPG	BD	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/ PG	EV8/ PG	ETU	FD/ PP	AD1	AD2/ PPG	AD3
Válvula Nº																
1	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2	C	C	C	C	+O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C
3	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C
4	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O
5	C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C
6	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	C	C
7	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C
8	C	C	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
9	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C
10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C
11	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O
12	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C
13	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O
14	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C
15	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C
16	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C
17	C	C	C	C	O	O	C	C	C	C	C	C	C	O	C	O
18	C	O	C	O	C	C	C	C	O	O	C	C	C	C	C	C
19	C	C	C	O	O	C	C	C	O	C	C	C	C	C	C	O
20	O	C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	O	O	C	C	C
21	C	O	C	C	C	O	C	C	C	O	C	C	C	O	C	C
22	C	C	C	C	C	O	C	O	C	C	C	C	O	O	C	C
23	O	O	C	C	C	C	C	C	C	O	C	O	C	C	C	C
24	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C
25	C	C	O	C	O	O	O	C	O	O	O	O	C	C	C	C
26	C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	O	C	O	O	O	O
27	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C	O	O	O	O

AD: Adsorção/Produção de Produto

BD: Descarga

ETD: Equalização descendente a partir do tanque

ETU: Equalização ascendente a partir do tanque

EV: Evacuação

FD: Pressurização de Alimentação

PG: Purga recebida

PP: Pressurização de produto

PPG: Prover gás de purga

O sistema de VPSA de quatro leitos na figura 1 consiste em quatro leitos do adsorvente, um tanque de equalização (ET), um tanque de produto, 27 válvulas LIGADA/DESLIGADA (que podem ou não ter controle de fluxo), um compressor de alimentação, dois compressores a vácuo, silenciadores de entrada e de descarga e tubulação e equipamentos associados. Com referência às figuras 1 e 2 e tabela 1, é apresentado um modo de realização desta invenção sobre um ciclo completo de VPSA. Com a finalidade de ilustrar a invenção, o gás produzido é oxigênio.

Etapa nº 1

No início da etapa 1, a pressão no leito 1 (B1) é menor do que a pressão no tanque de produto. A válvula 1 abre para permitir o gás de alimentação para dentro da base do leito 1 a partir do compressor 1 (Cl) e a válvula 24 abre para permitir o gás do produto para dentro do topo do leito 1. A válvula 11 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 2 (B2) através do compressor 3 (C3). A válvula 13 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 3 (B3) através do compressor 2 (C2). As válvulas 23 e 20 abertas para permitir que o gás flua a partir do topo do leito 4 (B4) para dentro do ET para uso posterior.

Etapa nº 2

No início da etapa 2, a válvula 1 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação na base do leito 1. A válvula. 24 permanece aberta e a produção de oxigênio começa quando a pressão no leito 1 atinge a pressão de adsorção. A válvula 11 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 2 através do compressor 3. A válvula 13 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 3 através do compressor 2. A válvula 23 permanece aberta enquanto a válvula 20 se fecha e as válvulas 21 e 18 são abertas para permitir que o gás flua para fora do topo do leito 4 e para dentro do topo da leito 2.

Etapa nº 3

No início da etapa 3, a válvula 1 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação para dentro da base do leito 1. A válvula 24 permanece aberta e a produção de oxigênio continua a partir do leito 1. A válvula 25 se abre para permitir o gás de purga de produto para dentro do topo do leito 2 enquanto a válvula 11 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 2 através do compressor 3. A válvula 13 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 3 através do compressor 2. A válvula 8 se abre para permitir que o leito 4 purgue para a atmosfera.

Etapa nº 4

No início da etapa 4, a válvula 1 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação para dentro da base do leito 1. A válvula 24 permanece aberta e a produção de oxigênio continua a partir do leito 1. As válvulas 18 e 19 são abertas para permitir que o gás flua para fora do ET e para dentro do topo do leito 2. A válvula 11 se fecha para parar a evacuação do leito 2. A válvula 13 se fecha enquanto a válvula 14 se abre para permitir a evacuação do leito 3 através do compressor 3. A válvula 16 se abre para começar a evacuação do leito 4 através do compressor 2.

Etapa nº 5

No início da etapa 5, as válvulas 17 e 19 se abrem para permitir que o gás flua a partir do topo do leito 1 para dentro do ET para uso posterior. A válvula 2 se abre para permitir gás de alimentação para dentro da base do leito 2 a partir do compressor 1 e a válvula 25 se abre para permitir gás produzido para dentro do topo do leito 2. A válvula 14 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 3 através do compressor 3. A válvula 16 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 4 através do compressor 2.

Etapa nº 6

No início da etapa 6, a válvula 17 permanece aberta enquanto a válvula 19 se fecha e as válvulas 21 e 22 se abrem para permitir que o gás

flua para fora do topo do leito 1 e para dentro do topo do leito 3. A válvula 2 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação para dentro da base do leito 2. A válvula 25 permanece aberta e a produção de oxigênio começa quando a pressão no leito 2 atinge a pressão de adsorção. A válvula 14 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 3 através do compressor 3. A válvula 16 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 4 através do compressor 2.

Etapa nº 7

No início da etapa 7, a válvula 5 se abre para permitir que o leito 1 purgue para a atmosfera. A válvula 2 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação para dentro da base do leito 2. A válvula 25 permanece aberta e a produção de oxigênio continua a partir do leito 2. A válvula 26 se abre para permitir o gás de purga de produto para dentro do topo do leito 3 enquanto a válvula 14 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 3 através do compressor 3. A válvula 16 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 4 através do compressor 2.

Etapa nº 8

No início da etapa 8, a válvula 9 se abre para começar a evacuação do leito 1 através do compressor 2. A válvula 2 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação para dentro do leito 2. A válvula 25 permanece aberta e a produção de oxigênio continua a partir do leito 2. As válvulas 20 e 22 são abertas para permitir que o gás flua para fora do ET e para dentro do leito 3. A válvula 14 se fecha para parar a evacuação do leito 3. A válvula 16 se fecha enquanto a válvula 15 se abre para permitir a evacuação do leito 4 através do compressor 3.

Etapa nº 9

No início da etapa 9, a válvula 9 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 1 através do compressor 2. As válvulas 18 e 19 se abrem para permitir que o gás flua a partir do topo do leito 2 para dento do

ET para uso posterior. A válvula 3 se abre para permitir o gás da alimentação para dentro da base do leito 3 a partir do compressor 1 e a válvula 26 se abre para permitir o gás produzido para dentro do topo do leito 3. A válvula 15 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 4 através do compressor 3.

Etapa nº 10

No início da etapa 10, a válvula 9 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 1 através do compressor 2. A válvula 18 permanece aberta enquanto a válvula 19 se fecha e as válvulas 21 e 23 se abrem para permitir que o gás flua para fora do topo do leito 2 e para dentro do topo do leito 4. A válvula 3 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação para dentro da base do leito 3. A válvula 26 permanece aberta e a produção de oxigênio começa quando a pressão no leito 3 atinge a pressão de adsorção. A válvula 15 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 4 através do compressor 3.

Etapa nº 11

No início de etapa 11, a válvula 9 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 1 através do compressor 2. A válvula 6 se abre para permitir que o leito 2 purgue para a atmosfera. A válvula 3 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação para dentro da base do leito 3. A válvula 26 permanece aberta e a produção de oxigênio continua a partir do leito 3. A válvula 27 se abre para permitir o gás de purga de produto para dentro do topo do leito 4 enquanto a válvula 15 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 4 através do compressor 3.

Etapa nº 12

No início da etapa 12, a válvula 9 se fecha enquanto a válvula 10 se abre para permitir a evacuação do leito 1 através do compressor 3. A válvula 12 se abre para começar a evacuação do leito 2 através do compressor 2. A válvula 3 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação

para dentro da base do leito 3. A válvula 26 permanece aberta e a produção de oxigênio continua a partir do leito 3. As válvulas 20 e 23 se abrem para permitir que o gás flua para fora do ET e para dentro do topo do leito 4. A válvula 15 se fecha para parar a evacuação do leito 4.

Etapa nº 13

No início da etapa 13, a válvula 10 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 1 através do compressor 3. A válvula 12 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 2 através do compressor 2. As válvulas 20 e 22 são abertas para permitir que o gás flua do topo do leito 3 para dentro do ET para uso posterior. A válvula 4 se abre para permitir o gás de alimentação para dentro da base do leito 4 a partir do compressor 1 e a válvula 27 se abre para permitir o gás produzido para dentro do topo do leito 4.

Etapa nº 14

No início da etapa 14, a válvula 10 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 1 através do compressor 3. A válvula 12 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 2 através do compressor 2. A válvula 22 permanece aberta enquanto a válvula 20 se fecha e as válvulas 21 e 17 se abrem para permitir que o gás flua para fora do topo do leito 3 e para dentro do topo do leito 1. A válvula 4 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação para dentro da base do leito 4. A válvula 27 permanece aberta e a produção de oxigênio começa quando a pressão no leito 4 atinge a pressão de adsorção.

Etapa nº 15

No início da etapa 15, a válvula 24 se abre para permitir o gás de purga de produto para dentro do topo do leito 1 enquanto a válvula 10 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 1 através do compressor 3. A válvula 12 permanece aberta para continuar a evacuação do leito 2 através do compressor 2. A válvula 7 se abre para permitir que o leito 3

purgue para a atmosfera. A válvula 4 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação para dentro da base do leito 4. A válvula 27 permanece aberta e a produção do oxigênio continua a partir do leito 4.

Etapa nº 16

No início da etapa 16, as válvulas 1.7 e 19 são abertas para permitir que o gás flua para fora do ET e para dentro do topo do leito 1. A válvula 10 se fecha para parar a evacuação do leito 1. A válvula 12 se fecha enquanto a válvula 11 se abre para permitir a evacuação do leito 2 através do compressor 3. A válvula 13 se abre para começar a evacuação do leito 3 através do compressor 2. A válvula 4 permanece aberta para continuar o fluxo do gás de alimentação para dentro da base do leito 4. A válvula 27 permanece aberta e produção do oxigênio continua a partir do leito 4.

Ambas as bombas a vácuo, centrífuga e fixa, são usadas no modo preferido de operação. No modo preferido, a bomba a vácuo fixa é usada nas etapas 8, 9, 10 e 11, enquanto a bomba a vácuo centrífuga é usada nas etapas 12, 13, 14 e 15 (com referência às figuras, 1 e 2 e à tabela 1, para as etapas do leito 1 durante o ciclo PSA.).

A tabela 2 dá um exemplo das condições operacionais e do desempenho do processo de VPSA usando-se adsorvente seletivo de nitrogênio nos leito s. Nas tabelas, os símbolos têm os seguintes significados: TPD = Tonelada (1000kg) por dia de oxigênio, kPa = 1000 Pa = S.I. unidade para a pressão (1,0 atm. = 101.323kPa, s = unidade de tempo em segundos). Além disso, nas tabelas, o adsorvente seletivo de equilíbrio de nitrogênio é Li-X. Detalhes de adsorventes Li-X estão dados nas patentes U. S. 6.790.260 (Ackley et al); 6.743.745 (Jaussaud et al); 6.506.234 (Ackley et al); 6.500.234 (Ackley et al); 6.471.748 (Ackley et al); 6.027.548 (Ackley et al); e 6.780, 806 (Yang et al).

Tabela 2: Exemplo de condições de operação e projeções de desempenho. (Figuras 2-4; ciclo VPSA para produção de oxigênio maior do que 175 TPD).

Adsorvente no leito inferior:	Li-X
Composição da alimentação ($N_2/O_2/Ar$):	78,12%/20,95%/0,934%
Pressão alta:	160kpa
Pressão baixa:	30kpa
Alimentação total:	$1,43 \times 10^6$ NCFH
Quantidade de O_2 produzido	$1,98 \times 10^5$ NCFH (196 TPD O_2)
Pureza do oxigênio	90%
Recuperação de oxigeno global	66%
Fator tamanho do leito	219,085kg/TPD O_2
Temperatura	26,85°C

Cada uma das quatro leitos contém zeólito de Li-X para a remoção de N_2. Os resultados mostrados na tabela 2 foram obtidos de uma simulação PSA usando ar seco contendo 0,934% de Ar, 78,12% de N_2 e 20,95% de O_2.

Em modos alternativos de operação, outros processos e ciclos podem ser usados, por exemplo, as figuras 3-6 mostram diagramas de ciclo de coluna alternativos para o processo de VPSA de quatro leitos e bomba a vácuo dupla da figura 1. No modo preferido mostrado na figura 2, as etapas 1, 5, 9, e 13 utilizam além do gás de alimentação, gás produzido para pressurizar os leitos. No modo alternativo mostrado na figura 3, nenhum gás produzido é usado para pressurizar o leito. No modo preferido mostrado na figura 2, o leito em linha nas etapas 3, 7, 11, e 15 provê o gás de purga ao topo do leito que está sendo submetido à evacuação. No modo alternativo mostrado na figura 4, o leito em linha não provê gás de purga. Em vez disto, o gás de purga é provido a partir do ET. Então, nas etapas 4, 8, 10, e 16 o gás remanescente no ET é usado como gás de equalização. No modo preferido mostrado na figura 2, durante as etapas 4, 8, 12, 16, o leito em linha continua a produção de produto. No modo alternativo mostrado na figura 5, a produção de produto para no início das etapas 4, 8, 12, 16 e em vez disto, o leito provê gás de equalização ao topo do leito que, igualmente, está recebendo o gás de alimentação na base, por exemplo, durante a etapa 4, o leito 1 provê gás ao topo do leito 2 enquanto o leito 2 está recebendo gás de alimentação do compressor 1. No modo alternativo mostrado na figura 6, não há ET e a

equalização ocorre de leito-a-leito. Neste modo não há pressurização do produto. Neste modo há uma etapa de pressurização de ar durante as etapas 4, 8, 12, e 16, em que o ar entra na base de um leito que está sob vácuo para elevar a pressão do leito para a pressão ambiente. O ar poderia entrar nos leitos através da válvula 5 para o leito 1, válvula 6 para o leito 2, válvula. 7 para o leito 3, e válvula 8 para o leito 4 (com referência à figura 1).

Embora o processo de VPSA acima seja focado na produção de O_2 a partir de ar usando um processo de quatro leitos, três ou mais de quatro leitos também poderiam ser usadas. Além disso, cada leito poderia consistir de um ou diversas leitos adsorvedores, ou mistura de adsorventes. A configuração selecionada do adsorvente (por exemplo, radial, axial, estruturada, etc.) e a escolha e o arranjo dos adsorventes serão determinados baseados no tamanho do fluxo de alimentação, no tipo de fonte de alimentação, e nas condições de operação do processo de PSA. Detalhes de adsorventes apropriados e de estratificação de adsorventes são dados por Ackley et al na patente U.S. 6.027.548.

Na aplicação dos vários modos de realização da invenção, a pressão de adsorção mais alta está na faixa de 100kPa a cerca de 2000kPa, e a pressão de dessorção mais baixa está na faixa de 20kPa a cerca de 100kPa. A pureza média do produto de oxigênio está na faixa de 85% de oxigênio a cerca de 95% de oxigênio.

Em qualquer um dos modos de realização, uma seção pré-purificadora (por exemplo, uma camada de alumina) pode ser colocada na extremidade a montante do leito de zeólito para remover água e dióxido de carbono do ar de alimentação.

Em outro modo de operação, outros adsorventes poderiam ser usados nos processos PSA desta invenção mencionados acima. Por exemplo, 5A, 13X, e zeólitos de cátions misturados poderiam ser usados como o adsorvente seletivo de N_2 no processo de VPSA

Geralmente, um tanque da equalização está vazio e não contém nenhum material. Na presente invenção, o tanque da equalização pode estar vazio ou recheado com materiais inertes ou adsorventes. No caso em que o tanque de equalização contenha materiais inertes ou adsorventes, um tanque de equalização total ou parcialmente recheado pode ser usado. Além disso, o material de recheio para o tanque de equalização poderia ser grânulos ou pelotas ou suportes estruturados tais como monólitos, malhas de arame de aço inoxidável e espuma de alumina. Alternativamente, o tanque de equalização pode conter defletores em vez de materiais inertes ou adsorventes.

Finalmente, alimentações diferentes da alimentação de ar (por exemplo, H_2 contendo mistura de alimentação a partir de gás de síntese gerado a partir de reforma de vapor metano) também poderiam ser usadas, e o processo poderia ser adaptado muito facilmente para o produto desejado ou produção de co-produtos. Por exemplo, a co-produção de O_2 e N_2 ou H_2 e CO poderia ser conseguida facilmente a partir de alimentação de ar e de alimentação contendo H_2, respectivamente.

Alguns dos benefícios do processo e sistema da presente invenção incluem a recuperação realçada de O_2 e menos resíduo PSA para ser manuseado pela bomba a vácuo; menos propagação das frentes de concentração de impureza (por exemplo, N_2); etapas contínuas de alimentação e evacuação no ciclo para conseguir 100% de utilização do compressor e das duas bombas a vácuo; aplicação de gás de pureza crescente para a purga resultando em melhor regeneração dos leitos; incorporação de uma etapa de purga contracorrente no ciclo VPSA para permitir que uma porção de resíduo (obtido durante a regeneração do leito) contorne a bomba a vácuo (ver, por exemplo, as patentes U. S. 5.656.068 e 6.010.555, onde todo o resíduo passa pela bomba a vácuo); um gás mais limpo usado para refluxo resultando em uma concentração de O_2 mais pronunciada ou em melhor regeneração do leito antes de colocar o leito em linha para a produção de O_2 (ver, por exemplo, as

patentes U. S. 5.656.068, 5.997.612 e 6.010.555, onde a propagação excessiva das frentes de concentração de impureza é inevitável, resultando em uma regeneração mais agressiva, ou seja, em uma quantidade maior de gás de refluxo (por exemplo, para purga, re-pressurização do produto, etc.)); força de acionamento do gradiente de pressão maior para a recuperação de gás evacuado versus a técnica anterior (ver, por exemplo, as patentes U. S. 6.010.555 ou 5.656.068); menos escapamento de alimentação durante a pressurização da alimentação devido à pressão intermediária maior no leito antes da introdução do gás de alimentação no ciclo VPSA (ver, por exemplo, as patentes 5.656.068 e 6.010.555, onde. o gás recuperado no início da etapa de despressurização co-corrente é enviado para outro leito que ainda esteja na etapa de purga, seguida pela despressurização co-corrente, e equalização terminal da alimentação, resultando em uma força de acionamento menor para transferência de massa quando este leito se comunica com o outro leito que está sendo submetido às etapas de aumento de equalização e pressurização da alimentação, simultaneamente; além disso, um gás e qualidade de produto é usado para purga seguido pelo uso de gás de descarga no espaço contendo uma concentração de impureza mais elevada que contamina o produto final do leito).

Ainda outro benefício da presente invenção é que ela usa dois gases de purga de pureza diferente. O gás de purga de pureza elevada vai diretamente para outro leito que está sendo submetida à etapa de purga sem o uso de qualquer tanque de armazenamento, e o gás de baixa pureza vem a partir de uma etapa de despressurização co-corrente depois da etapa de equalização do leito para o tanque. Este gás de baixa pureza também vai diretamente para outro leito que tenha acabado de completar a última etapa de evacuação contracorrente no ciclo VPSA. As etapas no ciclo VPSA são arranjadas de maneira tal que o gás de purga de má qualidade seja usado para a purga inicial dos leitos, seguido pelo uso do gás de purga de pureza elevada

para a purga final dos leitos. Este modo de operação permite o uso do gás de purga de baixa da pureza para purgar outro leito, ao mesmo tempo minimizando a quantidade de gás de pureza elevada. Além disso, este gás de purga vai diretamente para outro leito que está sendo submetido à etapa de purga sem o uso de um tanque de armazenamento (ver, por exemplo, a patente U. S. 5.997.612).

Adicionalmente, a presente invenção inclui uma opção para usar as mesmas bombas a vácuo, ou diferentes (por exemplo, centrífuga e fixa ou de deslocamento positivo) para evacuar os leitos e 100%, de utilização, ou seja, nenhuma descarga de bomba a vácuo de compressor durante todo o ciclo PSA.

Espera-se, igualmente, que a presente invenção proveja cerca de 10-20% de melhoria na produção/recuperação de O_2 e 5-10% de redução no custo de capital porque utiliza um único compressor de alimentação e duas bombas a vácuo eficientemente (100% de utilização), tem leitos menores e/ou menos adsorvente por unidade de oxigênio produzida (fator de tamanho de leito menor), e evita o uso de gás de qualidade de produto para a purga.

Embora a invenção tenha sido descrita em detalhe com referência a certos modos de realização preferidos, aqueles experientes na técnica reconhecerão que há outros modos de realização dentro do espírito e do escopo das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de adsorção por oscilação de pressão e 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 produto menos fortemente adsorvível, caracterizado pelo fato de compreender: (a) utilizar um sistema compreendendo três ou mais leitos adsorvedores em um trem único, (b) alimentar continuamente um gás de suprimento de alimentação a uma extremidade de entrada de alimentação de um leito adsorvedor, o mencionado leito contendo pelo menos um adsorvente que, de preferência, adsorve o componente mais fortemente adsorvível e remove o pelo menos um componente de gás produto menos fortemente adsorvível por uma extremidade de saída do leito adsorvedor, (c) prover alimentação contínua do gás de suprimento de alimentação usando um único soprador de alimentação, (d) purgar os leitos adsorvedores usando dois gases de purga de pureza diferente, (e) produzir o componente de gás produto em ciclos por etapas, onde, em qualquer instante durante o processo, dois leitos estão em uma etapa de evacuação e apenas um leito está em um modo de alimentação, (d) usando um tanque de equalização (ET) para coletar gás de despressurização co-corrente, e (e) alimentar continuamente o gás de suprimento a uma extremidade de entrada de alimentação de um leito adsorvedor contendo pelo menos um adsorvente que, de preferência, adsorve o componente mais fortemente adsorvível e remove o pelo menos um componente de gás produto menos fortemente adsorvível por uma extremidade de saída do leito adsorvedor.

2. Processo de VPSA de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do processo compreender equalização leito-a-leito e uma etapa de pressurização na qual o gás de suprimento de alimentação é provido na base de um leito adsorvedor.

3. Processo de VPSA de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado pelo fato da pressão de absorção mais alta ficar na faixa de 100 kPa a 2.000 kPa e a pressão de absorção mais baixa ficar na faixa de 20 kPa a 100 kPa.

4. Processo de VPSA de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende quatro adsorvedores em um trem único, em um ciclo de dezesseis etapas de acordo com a tabela de ciclo:

Etapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Leito 1	FD/ PP	AD1	AD2// PPG	AD3	ETD	PPG	BD /	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/ PG	EV8/ PG	ETU
Leito 2	Ev6	EV7/ PG	EV8/ PG	ETU	FD/ PP	AD1	AD2/ PPG	AD3	ETD	PPG	BD	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5
Leito 3	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/ PG	EV8/ PG	ETU	FD/ PP	AD1	AD2/ PPG	AD3	ETD	PPG	BD	EV1
Leito 4	ETD	PPG	BD	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7/ PG	EV8/ PG	ETU	FD/ PP	AD1	AD2/ PPG	AD3
Válvula Nº																
1	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2	C	C	C	C	+O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C
3	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C
4	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O
5	C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C
6	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	C	C
7	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C
8	C	C	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
9	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C
10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C
11	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O
12	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C
13	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O
14	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C
15	C	C	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C
16	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C
17	C	C	C	C	O	O	C	C	C	C	C	C	C	O	C	O
18	C	O	C	O	C	C	C	C	O	O	C	C	C	C	C	C
19	C	C	C	O	O	C	C	C	O	C	C	C	C	C	C	O
20	O	C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	O	O	C	C	C
21	C	O	C	C	C	O	C	C	C	O	C	C	C	O	C	C
22	C	C	C	C	C	O	C	O	C	C	C	C	O	O	C	C
23	O	O	C	C	C	C	C	C	C	O	C	O	C	C	C	C
24	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C
25	C	C	O	C	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C
26	C	C	C	C	C	C	O	C	O	O	O	O	C	C	C	C
27	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	O	C	O	O	O	O

onde AD é Adsorção/Produção de produto, BD é descarga, ETD é Equalização Descendente do tanque, ETU é Equalização Ascendente, EV é Evacuação, FD é Pressurização de Alimentação, PG é Purga Recebida, PP é Pressurização de Produto, e PPG é Gás de purga Provido.

5. Processo de VPSA de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de pelo menos um componente mais fortemente adsorvível compreender nitrogênio ou oxigênio.

6. Sistema de adsorção por oscilação de pressão e vácuo (VPSA), caracterizado pelo fato de separar um gás de suprimento de alimentação contendo pelo menos um componente mais fortemente adsorvível e pelo menos um componente de gás produto menos fortemente adsorvível, onde o sistema compreende:

três ou mais leitos adsorvedores em um trem único;

um tanque de equalização (ET) para coletar gás evacuado que é co-correntemente descarregado dos leitos adsorvedores;

pelo menos uma bomba a vácuo para evacuar dois leitos adsorvedores simultaneamente; e

um compressor de alimentação, em que dito sistema é configurado para receber continuamente um gás de suprimento de alimentação para a extremidade de entrada de alimentação de um leito adsorvedor, e para produzir o componente de gás produto em ciclos onde, em qualquer instante durante o processo, dois leitos estão em uma etapa de evacuação e apenas um leito está em um modo de alimentação.

7. Sistema de VPSA de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de cada leito adsorvedor compreender uma seção pré-purificadora localizada na extremidade a montante do leito adsorvedor.

8. Sistema de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato do sistema ser configurado para produzir pelo menos 158,7 toneladas por dia de oxigênio.

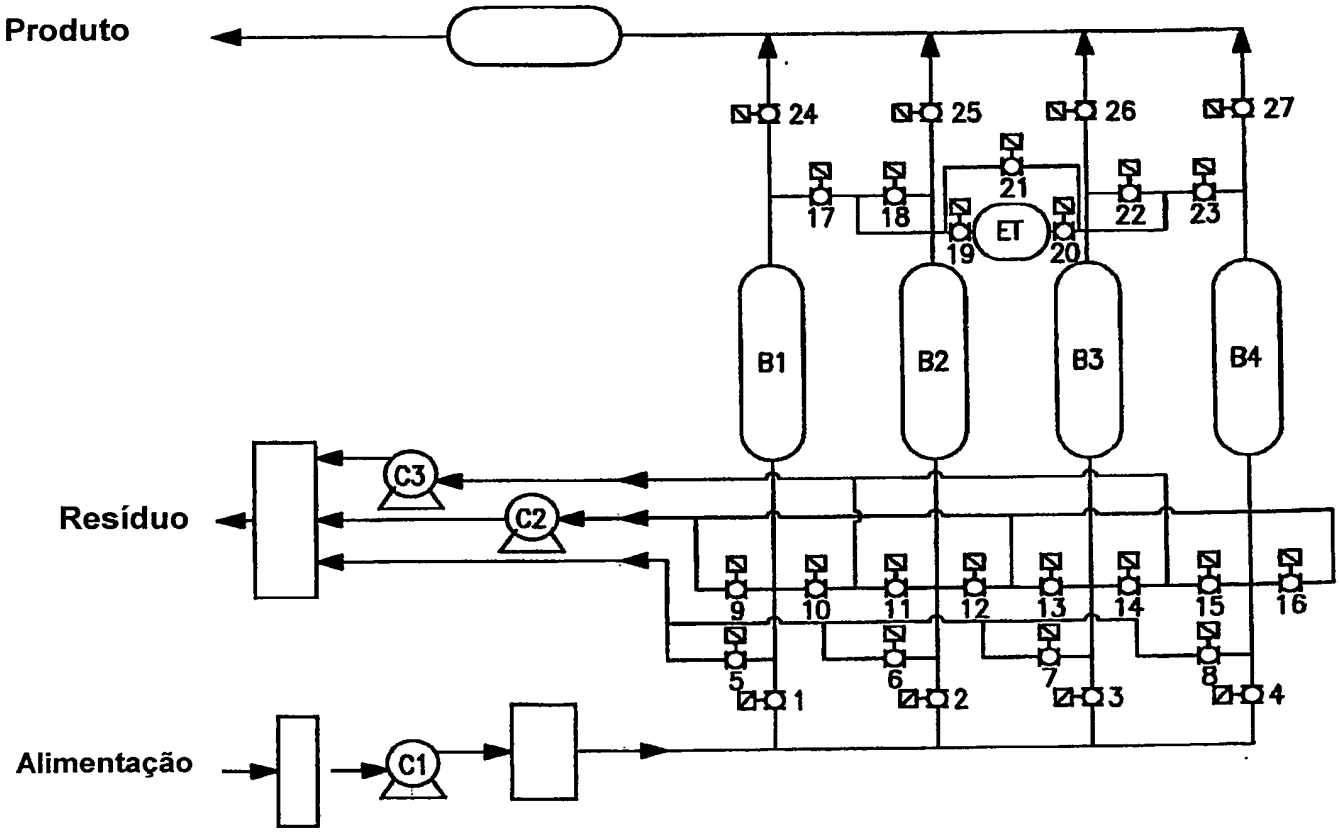
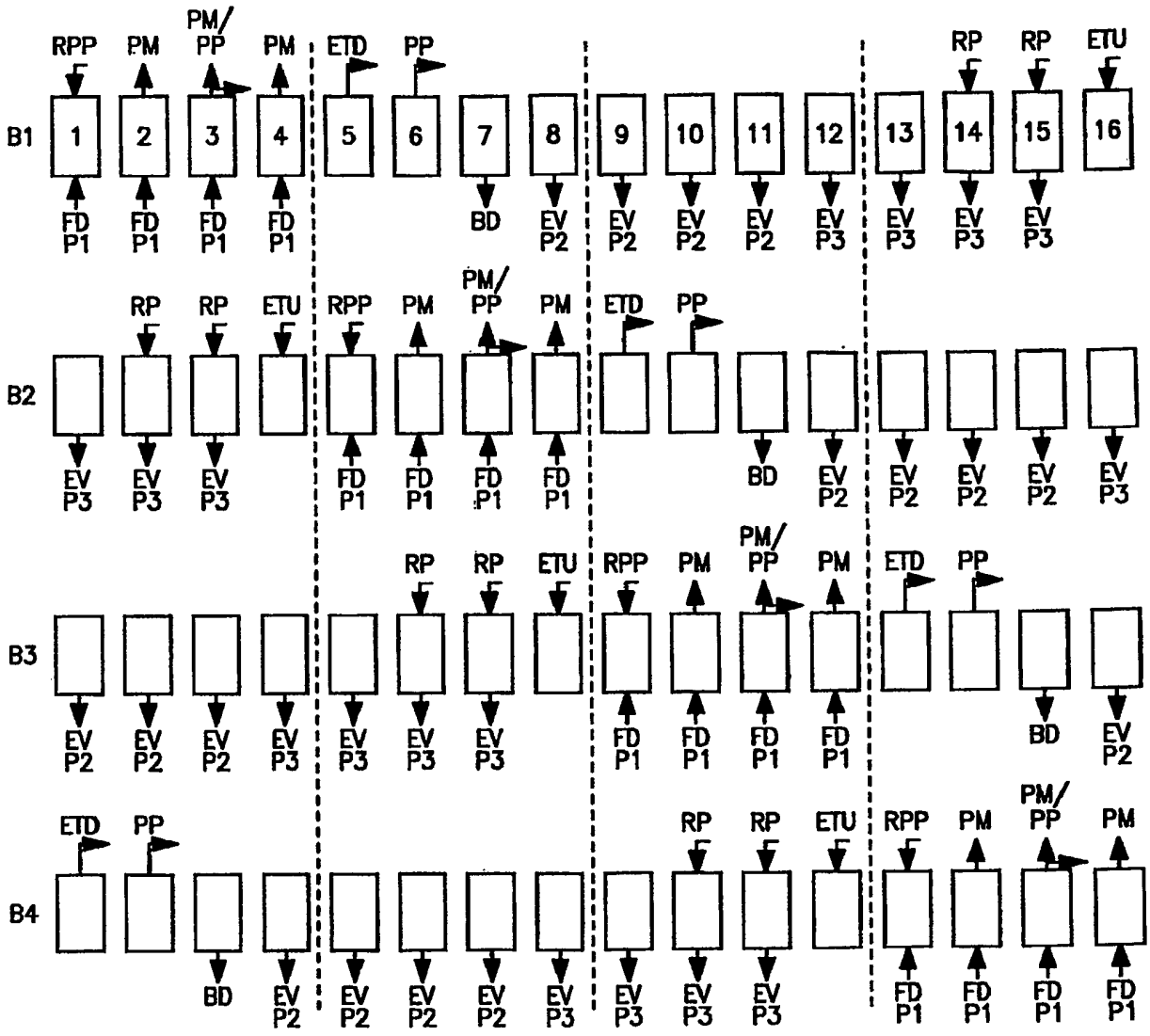
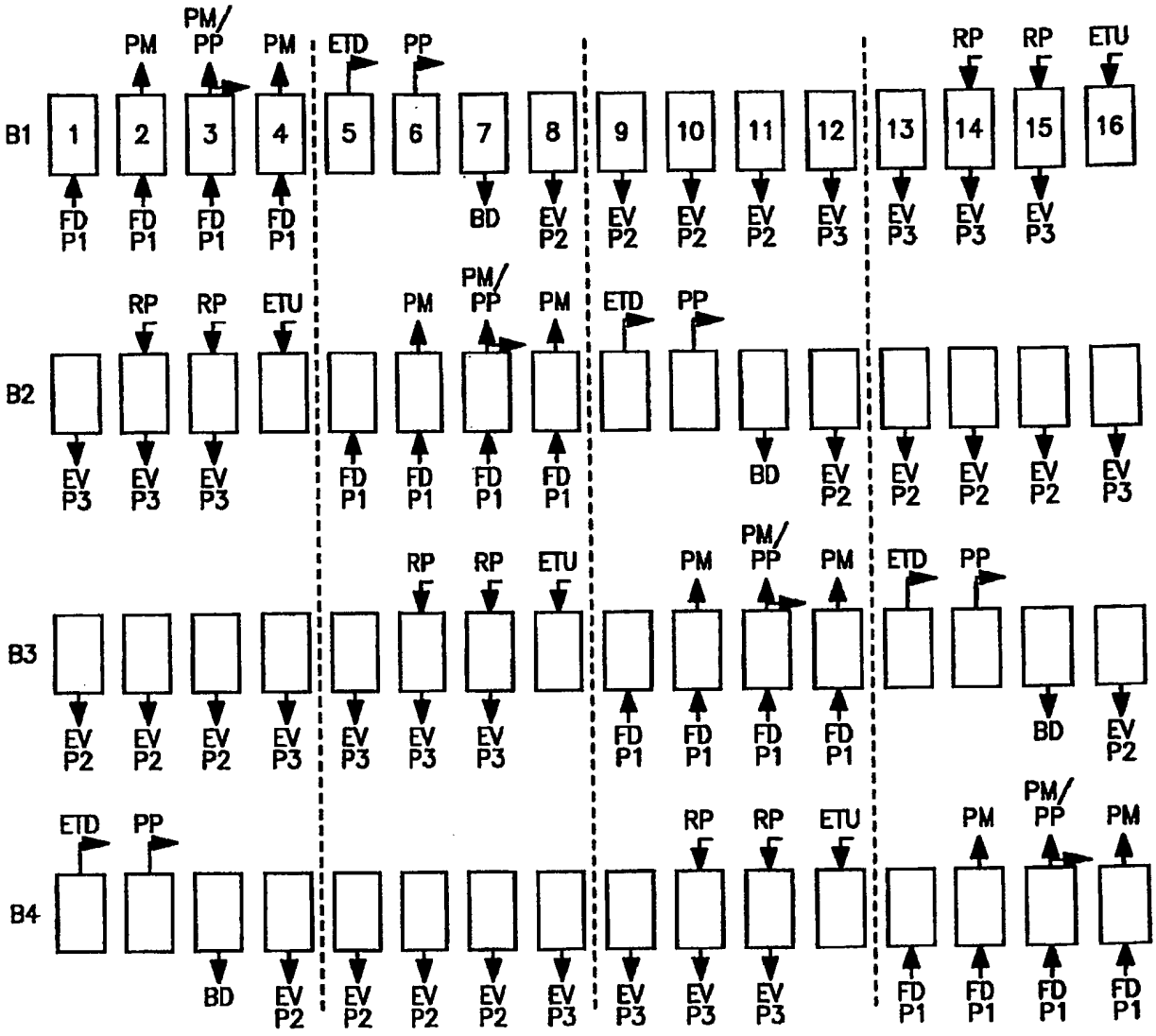

Produto
24
25
26
27
17
18
21
22
23
19
ET
20
B1
B2
B3
B4
C3
C2
Resíduo
9
10
11
12
13
14
15
16
5
6
7
8
1
2
3
4
Alimentação
C1

FIG. 1



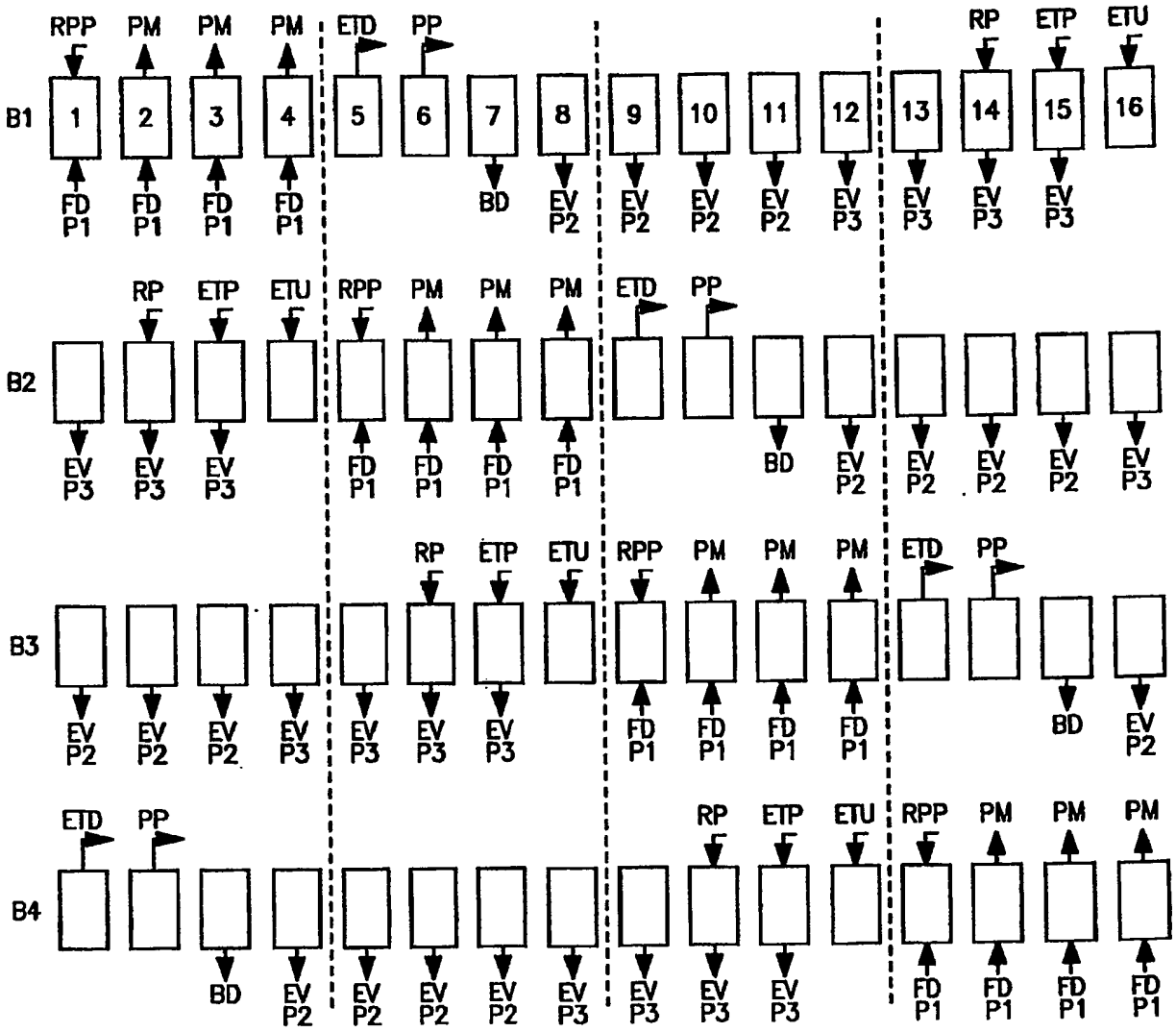
RPP. Pressurização de produto recebido
PM. Produção de produto
PP. Purga provida
ETD. Tanque de equalização. Descendente
RP. Purga Recebida
ETU. Tanque de equalização. Ascendente
FD. Alimentação
BD. Purga
EV. Evacuação
P. Bomba

FIG. 2



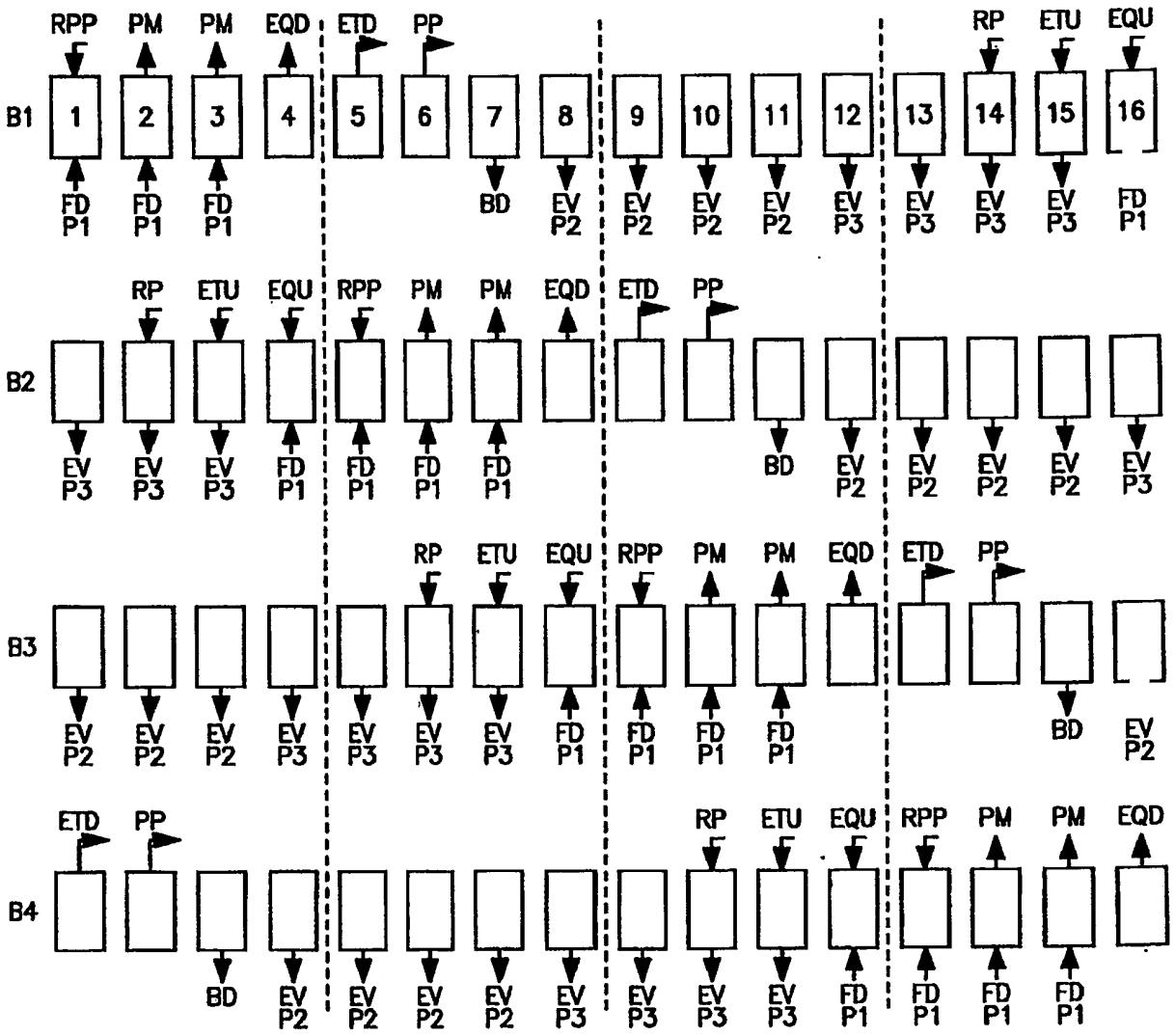
PM. Produção de produto
PP. Purga Provida
ETD. Tanque de equalização. Descendente
RP. Purga recebida
ETU. Tanque de equalização. Ascendente
FD. Alimentação
BD Purga
EV. Evacuação
P. Bomba

FIG. 3



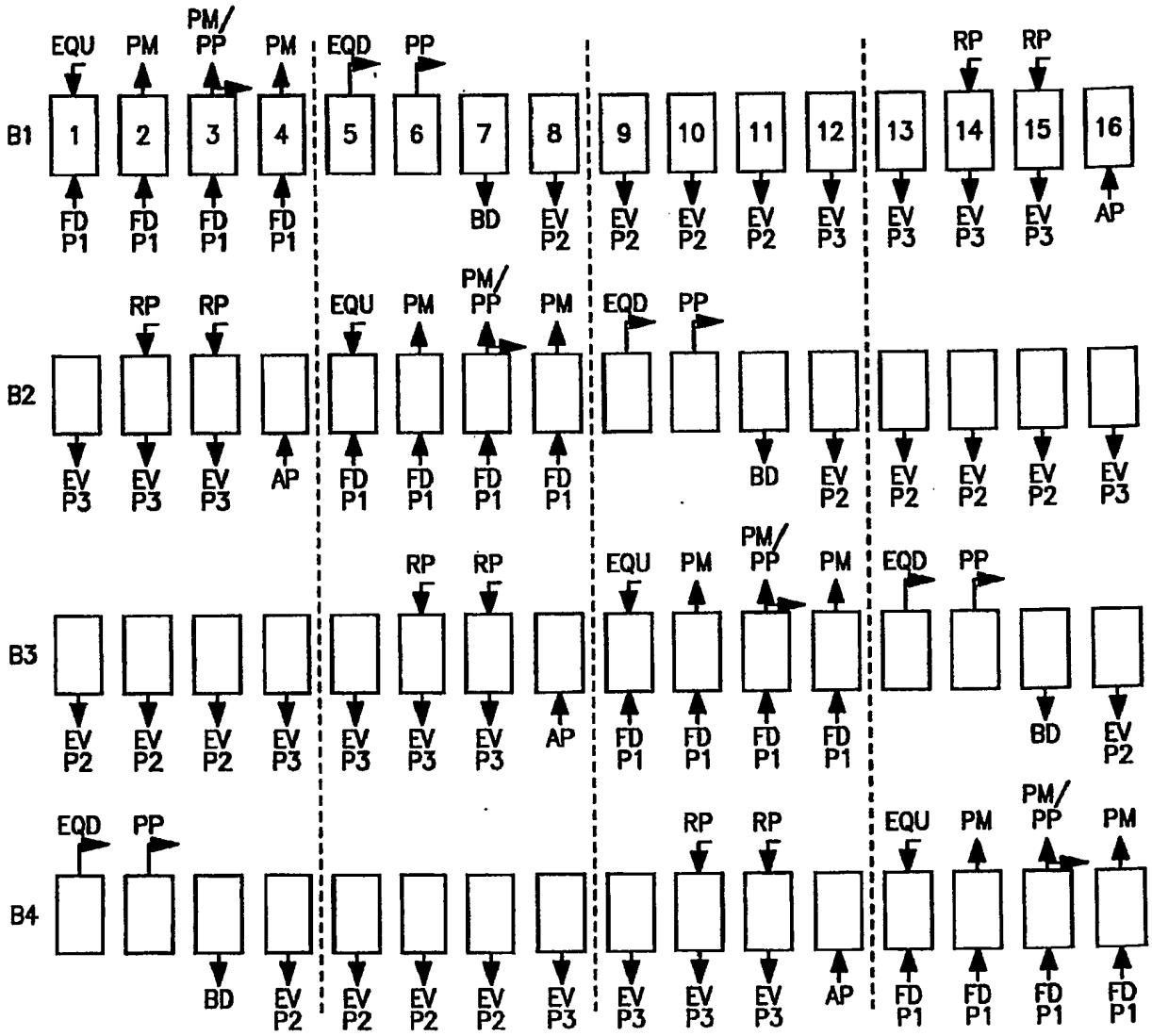
RPP. Pressurização de produto recebido
PM. Produção de produto
PP. Purga provida
ETD. Tanque de equalização. Descendente
RP. Purga recebida
ETP. Tanque de equalização. Purga
ETU. Tanque de equalização. Ascendente
FD. Alimentação
BD. Purga
EV. Evacuação
P. Bomba

FIG. 4



RPP. Pressurização de produto recebido
PM. Produção de produto
PP. Purga provida
EQD. Equalização descendente
ETD. Tanque de equalização. Descendente
RP. Purga Recebida
EQU. Equalização ascendente
ETU. Tanque de equalização. Ascendente
FD. Alimentação
BD. Purga
EV. Evacuação
P. Bomba

FIG. 5



PM. Produção de produto
PP. Purga provida
EQD. Equalização descendente
RP. Purga Recebida
EQU. Equalização ascendente
FD. Alimentação
BD. Purga
EV. Evacuação
AP. Pressurização de ar

FIG. 6