

(11) Número de Publicação: **PT 1598103 E**

(51) Classificação Internacional:
B01D 53/47 (2013.01) **A61M 16/10** (2013.01)

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: **2005.05.18**

(30) Prioridade(s): **2004.05.21 US 851858**

(43) Data de publicação do pedido: **2005.11.23**

(45) Data e BPI da concessão: **2013.07.03**
188/2013

(73) Titular(es):

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC.
7201 HAMILTON BOULEVARD ALLENTOWN, PA
18195-1501 **US**

(72) Inventor(es):

ROGER DEAN WHITLEY **US**
GLENN PAUL WAGNER **US**
MATTHEW JAMES LABUDA **US**
JAMES MICHAEL OCCHIALINI **US**
CRAIG E. STEIGERWALT **US**

(74) Mandatário:

LUÍS MANUEL DE ALMADA DA SILVA CARVALHO
RUA VÍCTOR CORDON, 14 1249-103 LISBOA **PT**

(54) Epígrafe: **CONCENTRADOR DE OXIGÉNO PORTÁTIL COM PESO OPTIMIZADO**

(57) Resumo:

SISTEMA PARA A PRODUÇÃO DE UM GÁS RICO EM OXIGÉNIO COMPREENDENDO: (A) UM MOTOR DE GÁS PRIMÁRIO, INCLUINDO UM PRIMEIRO E UM SEGUNDO COMPRESSOR, EM QUE O MOTOR DE GÁS PRIMÁRIO É CARACTERIZADO POR UM PESO WP; (B) UM MOTOR DE ACCIONAMENTO ADAPTADO PARA ACCIONAR OS PRIMEIRO E SEGUNDO COMPRESSORES; (C) UMA FONTE DE ENERGIA RECARREGÁVEL CARACTERIZADA POR UM PESO, WB; E (D) UMA UNIDADE DE ADSORÇÃO COM MODULAÇÃO DE PRESSÃO/VÁCUO ADAPTADA PARA SEPARAR O AR DE ALIMENTAÇÃO PRESSURIZADO NUM PRODUTO RICO EM OXIGÉNIO COM UM CAUDAL DO PRODUTO FP E NUM GÁS RESIDUAL POBRE EM OXIGÉNIO, EM QUE A UNIDADE DE ADSORÇÃO COMPREENDE UMA PLURALIDADE DE LEITOS DE ADSORÇÃO CONTENDO UM ADSORVENTE E CARACTERIZADA POR UM PESO TOTAL DE ADSORVENTE WA; E EM QUE O PESO COMBINADO, WT, DO ADSORVENTE, DO MOTOR DE GÁS PRIMÁRIO, E DA FONTE DE ENERGIA RECARREGÁVEL É CARACTERIZADO PELA EXPRESSÃO $0,75 \text{ FP} < \text{WT} < 2,02 \text{ FP}$ ONDE FP É EM LITROS POR MINUTO (A 23°C E À PRESSÃO DE 1 ATMA), E WA, WP E WB SÃO EM LIBRAS.

RESUMO**"CONCENTRADOR DE OXIGÉNO PORTÁTIL COM PESO OPTIMIZADO"**

Sistema para a produção de um gás rico em oxigénio compreendendo: (a) um motor de gás primário, incluindo um primeiro e um segundo compressor, em que o motor de gás primário é caracterizado por um peso W_p ; (b) um motor de accionamento adaptado para accionar os primeiro e segundo compressores; (c) uma fonte de energia recarregável caracterizada por um peso, W_b ; e (d) uma unidade de adsorção com modulação de pressão/vácuo adaptada para separar o ar de alimentação pressurizado num produto rico em oxigénio com um caudal do produto F_p e num gás residual pobre em oxigénio, em que a unidade de adsorção comprehende uma pluralidade de leitos de adsorção contendo um adsorvente e caracterizada por um peso total de adsorvente W_a ; e em que o peso combinado, W_t , do adsorvente, do motor de gás primário, e da fonte de energia recarregável é caracterizado pela expressão

$$0,75 F_p < W_t < 2,02 F_p$$

onde F_p é em litros por minuto (a 23°C e à pressão de 1 atma), e W_a , W_p e W_b são em libras.

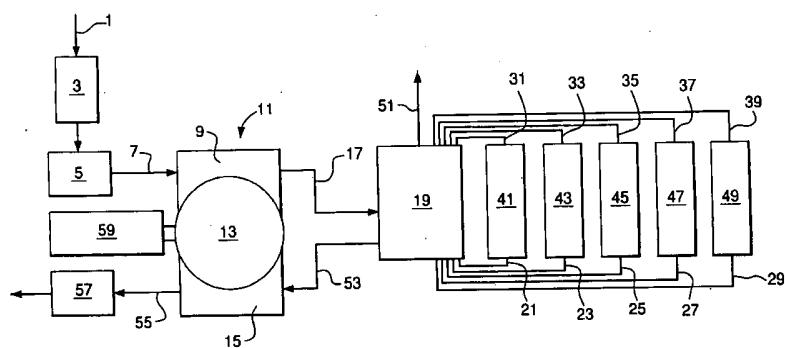


FIG. 1

DESCRIÇÃO

"CONCENTRADOR DE OXIGÉNO PORTÁTIL COM PESO OPTIMIZADO"

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

O fornecimento de oxigénio terapêutico a pacientes em residências e outros ambientes residenciais é um mercado importante e em crescimento na indústria de cuidados de saúde. Um segmento deste mercado inclui o desenvolvimento e comercialização de concentradores de oxigénio portáteis, particularmente unidades que podem ser transportadas facilmente pelos pacientes que necessitam de oxigenoterapia contínua. Um fornecimento de oxigénio portátil e facilmente transportável pode ser proporcionado pelo líquido armazenado ou oxigénio comprimido com uma vaporização adequada ou por um sistema de regulação de pressão e uma cânula de distribuição do gás. Em alternativa e de preferência, o oxigénio pode ser fornecido por um pequeno dispositivo de separação de ar transportado pelo paciente, que fornece o oxigénio gasoso na pureza desejada, caudal e pressão. A energia para a operação do dispositivo pode ser fornecida por uma fonte de energia recarregável, tipicamente uma bateria recarregável. O pequeno dispositivo de separação de ar pode ser um sistema com base na adsorção utilizando um processo de adsorção com modulação de pressão (PSA) (PSA são as inciais do termo inglês Pressure Swing Adsorption).

Os caudais de utilização do oxigénio respiratório variam, normalmente, até cerca de 5 lpm (litros por minuto a 23°C e a uma pressão de 1 atma) para pacientes de ambulatório com necessidades de oxigénio moderadas. O design de um concentrador de oxigénio facilmente transportável, recarregável e portátil, nesta gama de produtos deve atingir um equilíbrio apropriado entre o caudal do produto gasoso, o peso e vida do fornecimento de energia ou tempo de funcionamento (ou seja, o tempo de operação entre recargas de fornecimento de energia). Este equilíbrio requer a escolha adequada de vários parâmetros operacionais e de design e apresenta um desafio significativo para os designers de engenharia. Numa pequena unidade de separação de ar por adsorção, por exemplo, os parâmetros do design podem incluir a pureza do produto, a pressão de entrega do produto, o tipo de ciclo do processo, o ciclo do processo do invólucro, o adsorvente, o número e as dimensões dos leitos de adsorção, o tipo do motor de gás, o tipo de fonte de alimentação, os métodos de controle do caudal do gás, os sistemas de controle elétricos, e os materiais de construção.

Há uma necessidade na indústria de métodos para desenhar sistemas portáteis de geração de oxigénio baseados na adsorção que proporcionem os caudais de fornecimento de gás e os tempos de funcionamento necessários com um peso mínimo do sistema. Esta necessidade pode ser satisfeita através de métodos de optimização que permitem aos designers equilibrar esses requisitos enquanto especificam

processos e parâmetros mecânicos apropriados para esses sistemas.

A WO03/092817 A1 divulga um sistema portátil de concentração de oxigénio com um peso de 0,9 - 7 kg.

BREVE SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A necessidade de design optimizado de concentradores de oxigénio pequenos, facilmente transportáveis, com base na adsorção é satisfeita pelos vários modelos de realização da presente invenção. Como descrito aqui em pormenor, verificou-se que uma gama de peso mínimo pode ser determinada para um sistema baseado na adsorção para qualquer combinação operacional do caudal do produto, pureza do produto, pressão de entrega do produto, e tempo de funcionamento. Isto pode ser alcançado através da determinação do peso de cada componente de peso variável do sistema como uma função de um parâmetro do processo seleccionado, adicionando os pesos destes componentes a vários valores do parâmetro seleccionado, e gerando uma curva do peso variável versus o parâmetro seleccionado. Esta curva apresenta, em geral, um peso mínimo numa gama preferida do parâmetro do processo seleccionado. O parâmetro do processo seleccionado é a pressão mínima do leito durante o ciclo do processo.

A invenção refere-se a um sistema portátil concentrador de oxigénio para a produção um gás rico em

oxigénio compreendendo

(a) um motor de gás primário incluindo um primeiro compressor adaptado para comprimir o ar atmosférico para proporcionar ar de alimentação pressurizado e um segundo compressor adaptado para comprimir um gás residual da pressão subatmosférica até à pressão atmosférica, em que o motor de gás primário é caracterizado por um peso W_p ;

(b) um motor de accionamento adaptado para accionar os primeiro e segundo compressores;

(c) uma fonte de energia recarregável adaptada para fornecer energia ao motor de accionamento, em que a fonte de energia recarregável é caracterizada por um peso W_b ; e

(d) uma unidade de adsorção com modulação da pressão e vácuo adaptada para separar o ar de alimentação pressurizado num produto rico em oxigénio com um caudal do produto F_p e num gás residual pobre em oxigénio, em que a unidade de adsorção compreende uma pluralidade de leitos de adsorção contendo um adsorvente, em que a quantidade total do adsorvente contido nos leitos de adsorção é caracterizada por um peso total de adsorvente W_a ;

em que o peso combinado, W_t , do adsorvente, do motor de gás primário, e da fonte de energia recarregável é caracterizado pela expressão

$$0,75 F_p < W_t / 0454 < 2,02 F_p$$

onde F_p é em litros por minuto (a 23 ° C e à pressão de 1 atma) e W_a , W_p e W_b são em quilogramas, em que a fonte de energia recarregável é caracterizada por um tempo de funcionamento operacional em horas, t_r , entre a máxima e a mínima carga de trabalho, e o sistema é ainda caracterizado por todas as expressões

$$0,21 F_p < W_a / 0,454 < 0,61 F_p,$$

$$0,36 F_p < W_p / 0,454 < 0,70 F_p,$$

$$0,18 F_p < W_b / 0,454 < 0,71 F_p, \text{ e}$$

$$0,10 F_b t_r < W_b / 0,454 < 0,40 F_p t_r.$$

A pluralidade de leitos de adsorção pode compreender quatro ou mais leitos, e pode consistir de quatro leitos.

Cada um dos primeiro e segundo compressores podem ser seleccionados a partir do grupo consistindo de compressores de espiral, de diafragma, de pistão, e compressores rotativos de palhetas. Os primeiro e segundo compressores podem ser compressores do tipo de espiral. O sistema pode ainda compreender um conservador.

O sistema pode ter um peso total menor do que 5,44 kg (12 libras), pode ter um peso total menor do que 4,54 kg (10 libras), e pode ter um peso total menor do que

3,63 kg (8 libras).

O adsorvente pode ser seleccionado a partir do grupo que consiste em zeólito X permutado com um ou mais catiões metálicos seleccionados a partir do grupo consistindo de lítio, cálcio, zinco, cobre, sódio, potássio, e prata. Os leitos de adsorção podem ainda compreender um adsorvente selectivo adicional para a adsorção de água e dióxido de carbono a partir do ar e em que o adsorvente adicional é seleccionado a partir do grupo que consiste em (1) alumina activada e (2) de zeólito X permutado com um ou mais catiões metálicos seleccionados a partir do grupo consistindo de lítio, sódio, e potássio.

A fonte de energia recarregável pode ser uma bateria. Alternativamente, a fonte de energia recarregável pode ser uma célula de combustível.

O sistema pode ainda compreender uma caixa externa que envolve o motor de gás primário, o motor de accionamento, a fonte de energia recarregável, e o sistema de adsorção com modulação de pressão e vácuo, e um painel de controle/visualização do utilizador montado no lado exterior da caixa. Este sistema pode ter um peso total menor do que 5,44 kg (12 libras), pode ter um peso total menor do que 4,54 kg (10 libras), e pode ter um peso total menor do que 3,63 kg (8 libras).

O sistema pode ainda compreender elementos

adicionais, incluindo cabos eléctricos e sistemas de controle, uma caixa ou invólucro, e um painel de controle/visualização do utilizador montado no lado exterior da caixa, em que o sistema de geração de oxigénio e os elementos adicionais são combinados para formar um concentrador de oxigénio portátil, e meios para o utilizador transportar a unidade concentradora portátil.

O sistema de adsorção com modulação de pressão/vácuo pode ter quatro leitos de adsorção e cada um dos leitos de adsorção pode ser submetido, por sua vez, a uma série de etapas do ciclo de adsorção, que compreende

(A) uma etapa de alimentar/fazer o produto, em que o ar de alimentação pressurizado é introduzido numa extremidade de alimentação do leito enquanto o produto gasoso enriquecido em oxigénio é retirado a partir de um produto final do leito;

(B) uma etapa de alimentar/fazer o produto/proporcionar repressurização, em que o ar de alimentação pressurizado é introduzido numa extremidade de alimentação do leito enquanto um produto gasoso enriquecido em oxigénio é retirado a partir de um produto final do leito, e em que uma porção do produto gasoso é usada para pressurizar outro leito que está a passar pela sua etapa final de repressurização;

(C) uma etapa de despressurização, na qual o

leito é despressurizado através da retirada de gás do mesmo, em que pelo menos uma porção do gás retirado do mesmo é transferida para outro leito que está a passar por uma etapa de repressurização;

(D) uma etapa de proporcionar purga, na qual o leito é ainda despressurizado através da retirada de gás do mesmo, em que pelo menos uma porção do gás retirado do mesmo é transferida para outro leito que está a passar por uma etapa de purga;

(E) uma etapa de evacuação, na qual o gás é retirado da extremidade de alimentação do leito até que o leito atinja uma pressão subatmosférica mínima do leito;

(F) uma etapa de purga, na qual o leito é purgado através da introdução de gás de purga no produto final do leito enquanto prossegue a evacuação do leito, em que o gás de purga é fornecido a partir de um outro leito que está a passar pela etapa (D);

(G) uma etapa de repressurização, na qual o gás de pressurização é introduzido no produto final do leito, em que o gás de pressurização é fornecido a partir de um outro leito que está a passar pela etapa (C); e

(H) uma etapa final de repressurização, na qual o produto gasoso de um outro leito é introduzido no produto final do leito.

A pressão mínima do leito pode ser entre 0,25 e 1,0 atma, e pode estar entre 0,45 e 0,8 atma. A pressão do produto gasoso enriquecido em oxigénio pode estar entre 1,2 e 1,6 atma. O produto gasoso enriquecido em oxigénio pode ser fornecido a um caudal na gama de 0,5 a 3,0 litros por minuto (definido a 23°C e à pressão de 1 atma).

O sistema da presente invenção pode ser desenhado de acordo com um método que comprehende

(a) a definição de parâmetros de design que incluem, pelo menos, um caudal do produto, uma pureza do produto, uma pressão de entrega do produto, um ciclo do processo de adsorção com modulação de pressão a vácuo, o número de recipientes de adsorção, um adsorvente contido nos recipientes de adsorção, o tipo de motor de gás, o tipo de fonte de alimentação regenerável para fornecer energia ao motor de accionamento, e o tempo de funcionamento da fonte de alimentação regenerável entre o máximo e o mínimo da carga de trabalho;

(b) a selecção de uma série de pressões mínimas do leito abaixo da pressão atmosférica e a determinação para cada uma das pressões mínimas do leito dos pesos requeridos do motor de gás, da fonte alimentação de energia, e do adsorvente contido nos recipientes de adsorção, em que cada pressão mínima do leito é uma pressão menor do leito no ciclo do processo de adsorção com modulação de pressão a vácuo;

(c) a adição dos pesos do adsorvente, do motor de gás, bem como da fonte de alimentação de energia determinados em (b) para cada valor da pressão mínima do leito para proporcionar um peso total do adsorvente, do motor de gás, e da fonte de alimentação de energia como uma função da pressão mínima do leito; e

(d) a selecção de uma gama de pressões mínimas do leito que corresponde a uma gama do peso mínimo combinado do adsorvente, do motor de gás, e da fonte de alimentação de energia.

A gama de pressões mínimas do leito pode estar entre 0,45 e 0,8 atma.

BREVE DESCRIÇÃO DE VÁRIAS VISTAS DOS DESENHOS

A Fig. 1 é um diagrama de fluxo esquemático de um exemplo do sistema de adsorção com modulação de pressão e vácuo para modelos de realização da presente invenção.

A Fig. 2 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA (PVSA são iniciais do termo inglês Pressure/Vacuum Swing Adsorption) de cinco leitos ilustrando um primeiro modelo de realização da invenção.

A Fig. 3 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos

componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de cinco leitos ilustrando um segundo modelo de realização da invenção.

A Fig. 4 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de cinco leitos ilustrando um terceiro modelo de realização da invenção.

A Fig. 5 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de cinco leitos ilustrando um quarto modelo de realização da invenção.

A Fig. 6 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de cinco leitos ilustrando um quinto modelo de realização da invenção.

A Fig. 7 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de cinco leitos ilustrando um sexto modelo de realização da invenção.

A Fig. 8 é um gráfico dos pesos variáveis dos

componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de cinco leitos ilustrando um sétimo modelo de realização da invenção.

A Fig. 9 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de cinco leitos ilustrando um oitavo modelo de realização da invenção.

A Fig. 10 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de quatro leitos ilustrando um primeiro modelo de realização alternativo da invenção.

A Fig. 11 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de quatro leitos ilustrando um segundo modelo de realização alternativo da invenção.

A Fig. 12 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de quatro leitos ilustrando um terceiro modelo de realização alternativo da invenção.

A Fig. 13 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de quatro leitos ilustrando um quarto modelo de realização alternativo da invenção.

A Fig. 14 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de quatro leitos ilustrando um quinto modelo de realização alternativo da invenção.

A Fig. 15 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de quatro leitos ilustrando um sexto modelo de realização alternativo da invenção.

A Fig. 16 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de quatro leitos ilustrando um sétimo modelo de realização alternativo da invenção.

A Fig. 17 é um gráfico dos pesos variáveis dos componentes individuais e do peso variável total dos componentes versus a pressão mínima do leito para um sistema PVSA de quatro leitos ilustrando um oitavo modelo de realização alternativo da invenção.

A Fig. 18 é um gráfico de pesos do adsorvente versus o caudal do produto para os Exemplos 1-16.

A Fig. 19 é um gráfico dos pesos do motor de gás primário versus o caudal do produto para os Exemplos 1-16.

A Fig. 20 é um gráfico dos pesos da bateria versus o caudal do produto para os Exemplos 1-16.

A Fig. 21 é um gráfico dos pesos da bateria de tempo normalizado versus o caudal do produto para os Exemplos 1-16.

DESCRICAÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Os modelos de realização da invenção, aqui descritos, são direcionados para métodos de design e optimização do peso de pequenos sistemas de adsorção com modulação de pressão/vácuo (PVSA) utilizados, por exemplo, em sistemas concentradores de oxigénio médico portáteis e transportáveis pelo utilizador. Verificou-se no desenvolvimento dos modelos de realização da presente invenção que um peso mínimo ou gama desejável de peso pode ser determinado para o sistema PVSA para qualquer combinação operacional do caudal do produto, pureza do produto, pressão de entrega do produto, e tempo de funcionamento. Isto pode ser alcançado através da determinação do peso de cada componente de peso variável do sistema como uma função de um parâmetro seleccionado do

processo, adicionando os pesos destes componentes a diversos valores do parâmetro seleccionado, e gerando uma curva do peso variável versus o parâmetro seleccionado. Esta curva apresenta, em geral, um peso mínimo desejável ou gama de pesos mínimos como um função do parâmetro seleccionado do processo. Este parâmetro seleccionado do processo pode ser a pressão mínima do leito durante a regeneração no ciclo PVSA.

No processo PVSA, aqui descrito, as pressões do leito de adsorção variam entre a pressão sobreatmosférica e a pressão subatmosférica durante cada ciclo, tal como descrito abaixo. Isto difere de um processo de adsorção com modulação da pressão (PSA), no qual a gama da pressão de operação inclui pressões do leito acima da pressão atmosférica e pode incluir pressões de leito próximas da pressão atmosférica no final da etapa de despressurização. Pressões subatmosféricas não são utilizadas num processo PSA.

Um exemplo do processo e sistema PVSA que pode ser desenhado de acordo com modelos de realização da invenção é mostrado, com o propósito de ilustração, na Fig. 1. O ar atmosférico 1 é aspirado através do filtro 3, do silenciador de entrada 5, e da conduta 7 pelo primeiro compressor ou compressor do ar de alimentação 9. O compressor do ar de alimentação 9 é uma parte do motor de gás primário 11 que também inclui o motor de accionamento 13 e o segundo compressor ou compressor de vácuo do gás

residual 15. O ar de alimentação pressurizado a 1,15 a 1,80 atma é descarregado a partir do compressor e flui através da conduta de alimentação de ar 17 para o conjunto de válvula rotativa 19, o qual está em comunicação de fluxo com as condutas de alimentação dos leitos de adsorção 21, 23, 25, 27, e 29, com as condutas do produto dos leitos de adsorção 31, 33, 35, 37, e 39, com a conduta de alimentação de ar 17, com a conduta do produto 51, e com a conduta de gás residual 53. Neste exemplo de sistema PVSA, são utilizados cinco leitos de adsorção 41, 43, 45, 47, e 49, embora qualquer número de leitos múltiplos possa ser utilizado. Um tanque de armazenamento opcional do produto gasoso (não mostrado) pode ser utilizado se desejado. Uma cânula (não mostrada) pode ser ligada à conduta de produto 51 para fornecer o produto gasoso ao utilizador.

Cada leito de adsorção contém adsorvente selectivo para a adsorção de água, dióxido de carbono e azoto a partir do ar. Este adsorvente pode ser seleccionado a partir do grupo que consiste em zeólito X permutado com um ou mais catiões metálicos seleccionados a partir do grupo consistindo de lítio, cálcio, zinco, cobre, sódio, potássio, e prata. O zeólito X pode ter um rácio de silício para alumínio de cerca de 1 a cerca de 1,25. O adsorvente pode ser formado em leitos, extrudidos, ou outras formas conhecidas na indústria, utilizando materiais ligantes ou sem materiais ligantes (também conhecidos como sem ligantes ("binderless".)). O adsorvente tipicamente adsorve água e dióxido de carbono mais fortemente do que azoto, e,

portanto, o adsorvente inicial adjacente à entrada de ar de alimentação de um adsorvedor vai preferencialmente remover água e dióxido de carbono. O ar seco e livre de dióxido de carbono desta região de adsorção inicial passa, em seguida, para o restante adsorvente do adsorvedor, em que o azoto é adsorvido selectivamente para proporcionar o produto gasoso enriquecido em oxigénio. O adsorvente inicial adjacente à entrada do ar de alimentação proporciona, assim, o pré-tratamento através da remoção de água e de dióxido de carbono antes da remoção do azoto.

Opcionalmente, cada leito de adsorção também pode conter adsorvente de pré-tratamento selectivo para a adsorção da água e do dióxido de carbono do ar, e este adsorvente pode ser seleccionado a partir do grupo constituído por (1) alumina activada e (2) zeólito X permutado com um ou mais catiões metálicos seleccionados a partir do grupo consistindo de lítio, sódio, e potássio. Tipicamente, o adsorvente de água selectivo (se usado) formaria uma camada localizada adjacente à extremidade de alimentação do leito de adsorção e pode compreender 10 a 40% do total de adsorvente no leito de adsorção. Nesta opção, o restante do leito iria conter o adsorvente descrito acima e iria selectivamente adsorver azoto da água e dióxido de carbono livre de ar da camada do adsorvente de pré-tratamento.

O compressor de vácuo do gás residual 15 retira gás residual PVSA pobre em oxigénio através da conduta 53,

tipicamente a uma pressão subatmosférica, e descarrega o gás através da conduta 57 e do silenciador 57 para a atmosfera. A energia eléctrica para o motor de accionamento 13 é proporcionada pela fonte de energia recarregável 59, que pode ser uma bateria recarregável de qualquer tipo conhecido na indústria. Alternativamente, a fonte de energia recarregável pode ser um sistema de célula de combustível portátil que comprehende uma célula de combustível e meios portáteis de armazenamento de combustível. O combustível pode ser hidrogénio ou metanol.

O compressor de ar de alimentação 9 e o compressor de vácuo do gás residual 15 podem ser qualquer tipo de compressor conhecido na indústria e podem ser seleccionados a partir de compressores de espiral, de diafragma, de pistão, e compressores rotativos de palhetas. Os compressores de ar de alimentação e de vácuo do gás residual podem ser accionados em conjunto por um único motor de accionamento e podem ser accionados por um veio de accionamento comum. Compressores de espiral são bem adequados para o serviço com o dispositivo de separação de ar aqui descrito. O compressor de ar de alimentação 9 e o compressor de vácuo do gás residual 15 podem ser combinados num único motor de gás primário do tipo espiral.

O conjunto de válvula rotativa 19 é desenhado para um ciclo PVSA específico e um número específico de leitos de adsorção. O conjunto inclui uma primeira válvula rotativa ligada às condutas 21, 23, 25, 27, e 29 que estão

ligadas às extremidades de alimentação dos leitos de adsorção 41, 43, 45, 47, e 49, respectivamente. A primeira válvula rotativa também está ligada à conduta de alimentação de ar 17 e à conduta de gás residual 53. Esta primeira válvula rotativa permite a comunicação apropriada de fluxo entre qualquer uma das extremidades da alimentação dos leitos de adsorção, da conduta de alimentação de ar, e da conduta de gás residual de acordo com as etapas predeterminadas do ciclo do processo como descrito abaixo. Uma segunda válvula rotativa está ligada às condutas 31, 33, 35, 37, e 39, que estão ligadas às extremidades do produto dos leitos de adsorção, respectivamente, e também está ligada à conduta de produto 51. Esta segunda válvula rotativa permite a comunicação apropriada de fluxo entre qualquer uma das extremidades do produto dos leitos de adsorção e da conduta de produto de acordo com as etapas predeterminadas do ciclo do processo como descrito abaixo. As duas válvulas rotativas podem ser accionadas por um único motor de accionamento e podem rodar à mesma velocidade de rotação. Válvulas rotativas deste tipo são descritas, por exemplo, no pedido pendente de patente US 2004/009421 A1.

O funcionamento do sistema PVSA da Fig. 1 pode ser ilustrado por um exemplo de ciclo PVSA resumido na Tabela 1.

Tabela 1**Etapas do ciclo do processo para um exemplo do Sistema PVSA**

Número da etapa	Descrição	Duração em segundos
1	Alimentar/fazer produto/proporcionar purga	1,0
2	Alimentar/fazer produto/proporcionar gás repressurizado	1,0
13	Proporcionar 1º gás de repressurização	1,0
4	Proporcionar 2º gás de repressurização	1,0
5	Etapa em vazio ("idle step")	1,0
6	Evacuação	1,0
7	Purga com produto gasoso	1,0
8	Receber 2º gás de repressurização	1,0
9	Receber 1º gás de repressurização	1,0
10	Repressurizar com produto gasoso	1,0

Durante a parte inicial da Etapa 1, a etapa de alimentação, pode haver um curto período de pressurização de alimentação antes do produto gasoso fluir do leito. Durante a evacuação na Etapa 6, é atingida uma pressão mínima do leito, a qual é definida como a pressão mais baixa durante esta etapa. A duração deste exemplo de ciclo de 10 segundos, ou a duração de qualquer etapa do ciclo, pode ser modificada conforme necessário para satisfazer vários requisitos do processo ou do produto.

Um quadro do ciclo é dado na Tabela 2 para

mostrar a relação das etapas do ciclo entre os cinco leitos de adsorção, em que cada leito passa, por sua vez, através das etapas 1-10 da Tabela 1.

Tabela 2**Quadro do ciclo PVSA**

Leito	Número da Etapa									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
43	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8
45	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6
47	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
49	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2

A utilização das Tabelas 1 e 2 em conjunto com a Fig. 1 irá permitir que o técnico qualificado compreenda este exemplo do ciclo do processo PVSA. Modificações a este ciclo particular podem ser feitas, se desejado, e outros tipos de ciclos PVSA podem ser utilizados se for caso disso.

Como um modelo de realização alternativo ao sistema e ciclo PVSA de cinco leitos descrito acima, pode ser utilizado um sistema e ciclo de quatro leitos. Este sistema de quatro leitos seria uma modificação do sistema da Fig. 1 em que o leito de adsorção 49, a conduta de alimentação do leito de adsorção 29, e a conduta do produto do adsorvedor 39 são suprimidos. A válvula rotativa 19 seria desenhada para quatro leitos em vez de cinco leitos. Neste ciclo alternativo, apenas é utilizada uma etapa de

transferência de gás de pressurização, comparada com as duas etapas do ciclo de cinco leitos da Tabela 1. A Tabela 3 apresenta as etapas do ciclo de quatro leitos e a Tabela 4 apresenta um quadro do ciclo para o ciclo de quatro leitos (note-se que o leito 49 da Fig. 1 é eliminado para o sistema de quatro leitos).

Tabela 3

Etapas do ciclo do processso para o exemplo do Sistema PVSA
de 4 Leitos

Número da Etapa	Descrição	Duração em segundos
1	Alimentar/fazer produto	1,0
2	Alimentar/fazer produto/proporcionar gás repressurizado	1,0
3	Proporcionar gás repressurizado	1,0
4	Proporcionar purga	1,0
5	Evacuação	1,0
6	Purga	1,0
7	Receber gás pressurizado	1,0
8	Repressurizar com produto gasoso	1,0

Tabela 4

Quadro do Ciclo PVSA de 4 Leitos

Leito	Número da Etapa							
41	1	2	3	4	5	6	7	8

43	7	8	1	2	3	4	5	6
45	5	6	7	8	1	2	3	4
47	3	4	5	6	7	8	1	2

Um sistema completo de concentrador de oxigénio portátil e transportável pelo utilizador inclui, tipicamente, um certo número de componentes para além dos ilustrados no exemplo do sistema PVSA da FIG. 1. Estes componentes adicionais podem incluir, por exemplo, qualquer uma das seguintes partes: cabos eléctricos e sistemas de controle; elementos estruturais; uma caixa ou invólucro; um painel de controle/visualização do utilizador montado no lado exterior da caixa; um conservador; um tanque para o produto; e os meios para o utilizador transportar a unidade concentradora, tal como uma pega, uma alça para transporte, ou alças duplas para transporte. O peso total do sistema concentrador de oxigénio portátil e transportável pelo utilizador é, portanto, o peso combinado de (a) os componentes de peso variável anteriormente descritos (isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria) e (b) os componentes adicionais descritos imediatamente acima.

Sistemas concentradores de oxigénio portáteis e transportáveis pelo utilizador tais como os descritos acima, utilizando quatro ou cinco leitos, podem ser desenhados para satisfazer critérios desejáveis, tais como, por exemplo, um fluxo contínuo de produto de oxigénio de até 3 lpm, um peso facilmente transportável , e um tempo de

operação de uma única recarga da fonte de alimentação de energia de pelo menos 1-2 horas. Um sistema que satisfaça estes critérios daria mais liberdade e uma melhor qualidade de vida a um paciente em ambulatório e seria uma oferta de produto atraente para um fornecedor de concentradores de oxigénio.

Os modelos de realização do sistema concentrador de oxigénio PVSA acima descritos satisfazem, de preferência, estes critérios e proporcionam ao paciente um produto enriquecido em oxigénio de pelo menos 85% de oxigénio puro (em moles). O sistema concentrador de oxigénio portátil deve ser facilmente transportado pelo paciente e ter um peso total menor do que 5,44 kg (12 libras), de preferência menor do que 4,54 kg (10 libras), e ainda de maior preferência menor do que 3,63 kg (8 libras). Como os pacientes que necessitam de terapia de oxigénio geralmente estão doentes, o peso mínimo do sistema é extremamente importante. Como mencionado anteriormente, desenhar estes sistemas para terem o peso mínimo é um desafio de engenharia significativo.

Quando o caudal do produto, a pureza do produto, a pressão de entrega do produto, e o tempo de funcionamento do sistema são especificados, o peso total do sistema concentrador de oxigénio consiste em alguns componentes cujos pesos dependem das condições de operação do PVSA e de outros componentes cujos pesos são essencialmente independentes das condições de operação do PVSA. Os

componentes de peso variável, neste cenário, incluem a fonte de fornecimento de energia (por exemplo, a bateria), o peso do adsorvente nos leitos de adsorção, e o peso do motor de gás primário, isto é, o compressor de ar de alimentação e o compressor de vácuo do gás residual em combinação. Os pesos de todos os outros componentes, neste cenário, são independente da selecção do caudal do produto, da pureza do produto, da pressão de entrega do produto, e do tempo de funcionamento do sistema. O peso total do sistema concentrador de oxigénio pode, portanto, ser minimizado seleccionando condições de operação do PVSA que minimizam o peso dos componentes de peso variável.

Os modelos de realização da presente invenção são direcionados para métodos de minimizar o peso dos componentes de peso variável, optimizando as condições de operação do PVSA como descrito abaixo. A redução do peso dos componentes com peso fixo (isto é, os componentes cujos pesos são essencialmente independentes das condições de operação do ciclo do PVSA) pode ser possível por melhorias nos materiais, no design do motor, nos sistemas eléctricos, e similares, mas estes não são abordados nos modelos de realização da presente invenção.

O requisito de peso do adsorvente pode ser determinado pela quantidade necessária de adsorvente para remover o azoto do ar de alimentação de tal modo que um desejado grau de pureza do oxigénio do produto é obtido. O requisito do peso de adsorvente pode ser determinado pela

relação

$$W_a = \frac{n_{ads}}{n} * \frac{1}{B}$$

onde n_{ads} é o número de moles de azoto a serem removidos por minuto, n é a capacidade de trabalho do azoto em moles de azoto adsorvido pelo adsorvente num leito de adsorção durante um ciclo do leito, e B é a velocidade à qual um leito de adsorvente fresco está disponível para alimentar em leitos/minuto e é determinada pelo tempo do ciclo do PVSA. O parâmetro n_{ads} pode ser determinado por:

$$n_{ads} = \frac{Q_p y_{O_2,p} y_{N_2,f}}{\theta_{O_2} y_{O_2,f}}$$

onde Q_p é o fluxo de produto em moles por minuto, $y_{O_2,p}$ é a pureza do produto em percentagem de oxigénio, $y_{N_2,f}$ é a concentração de azoto na alimentação em percentagem, θ_{O_2} é a recuperação de oxigénio em percentagem (isto é, a percentagem do oxigénio no gás de alimentação que está presente no produto gasoso), e $y_{O_2,f}$ é a concentração de oxigénio na alimentação em percentagem. A capacidade de trabalho do azoto do adsorvente é dependente da pressão do invólucro à qual o adsorvente está exposto. O método preferido para determinar a capacidade de trabalho do adsorvente é determinar as isotérmicas dos componentes puros oxigénio e azoto, a várias temperaturas a partir das quais se podem determinar parâmetros pela aplicação do

modelo de Langmuir de sítio duplo [Ver Myers, A.L., Activity Coefficients of Mixtures Adsorbed on Heterogeneous Surfaces, AlChE J. 1983 (29), 691]

$$n_i = \frac{M_1 bp}{1 + bp} + \frac{M_2 dp}{1 + dp}$$

onde M_1 , b , M_2 , e d são parâmetros de ajuste e p é a pressão. O modelo de Langmuir é então usado para determinar a capacidade de trabalho por meio de modelos de adsorção de componentes múltiplos, nomeadamente a teoria da solução ideal de adsorção (IAST) (sendo IAST as iniciais do termo inglês Ideal Adsorption Solution Theory) [Ver Myers, A.L. e Prausnitz, J.M., Thermodynamics of Mixed Gas Adsorption, AlChE J. 1965(1), 11] ou, mais preferencialmente a teoria da solução heterogénea ideal adsorvida (HIAST) (sendo HIAST as iniciais do termo inglês Heterogeneous Ideal Adsorbed Solution Theory) [ver Mathias P.M. et al, Correlation of Multicomponent Gas Adsorption by the Dual-Site Langmuir Model. Application to Nitrogen/Oxygen Adsorption on 5A Zeolite, Ind. & Eng. Chem Res. 1996(35), 7].

O peso do motor de gás primário (isto é, o peso combinado do compressor de ar de alimentação e do compressor de vácuo de gás residual), W_p , pode ser determinado com base nos requisitos dos dois compressores para fornecer gás às pressões especificadas durante a etapa de alimentação do ciclo e o caudal requerido durante as etapas de vácuo e purga do ciclo. O peso do motor de gás

primário irá variar com base na geometria do compressor, por exemplo, o tamanho das evolventes num compressor de espiral irá variar de acordo com o rácio de compressão do gás. O peso do motor de gás primário não inclui o motor eléctrico que alimenta o motor de gás primário e é considerado um peso fixo para a presente análise, em que o motor pode ser operado a velocidades diferentes, dependendo da taxa de compressão requerida do gás de alimentação e do gás residual. O peso do motor de gás primário é determinado para ser proporcional à velocidade de produção de oxigénio para a presente análise. O peso da fonte de energia recarregável, neste caso uma bateria, pode ser optimizado pela aplicação da relação de descarga de energia para os requesitos ao longo da duração do ciclo do PVSA. A energia fornecida pela bateria aos outros componentes do gerador de oxigénio (alarmes, válvula do motor, etc) pode ser de cerca de 5 W. A energia necessária da bateria para operar o compressor de ar de alimentação e o compressor de vácuo do gás residual pode ser determinada directamente pelo poder adiabático de compressão baseado nas pressões utilizadas durante os ciclos PVSA. O poder adiabático é dado pela expressão

$$P_{ad} = \frac{\dot{m}kRT_1}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} - 1 \right]$$

onde \dot{m} é o caudal de massa, R é a constante do gás, T_1 é a temperatura do gás de admissão, P_2 é a pressão do gás à

saída, p_1 é a pressão do gás de admissão para o compressor, e k é o rácio entre a capacidade calorífica a pressão constante e a capacidade calorífica a volume constante e igual a 1,4 para o ar. Quando se opera no modo de compressão, p_2 é a pressão do ar de alimentação e p_1 é a pressão atmosférica. Quando se opera no modo de vácuo, p_2 é a pressão atmosférica e p_1 é a pressão do gás residual que sai do leito de adsorção.

A densidade de potência da bateria pode ser determinada a partir das especificações do fabricante. Para uma bateria de iões de lítio do estado actual da técnica, por exemplo, a densidade de potência ρ_{batt} é dada em kg/0,454/Wh. Para qualquer tempo de funcionamento dado, t_r (em horas), o peso da bateria (em kg/0,454) pode ser descrito pela relação

$$W_b = \frac{\rho_{batt} P_{ad} t_r}{\eta_p \eta_m} .$$

Onde η_p e η_m são as eficiências dos compressores e do motor de accionamento, respectivamente.

O peso total dos componentes de peso variável pode ser determinado a partir da relação do peso de cada componente individual com as características do ciclo, especialmente a pressão de operação do invólucro. O peso total dos componentes de peso variável é, portanto, uma função da pressão mínima durante a evacuação, p_{min} , e a

pressão do produto, p_{prod} .

O peso desejável dos componentes variáveis pode ser determinado seleccionando, em primeiro lugar, um caudal do produto, uma pressão do produto, e um tempo de funcionamento. Em seguida, usando a função do peso total, o peso combinado de todos os três componentes pode ser representado como uma função de uma única variável, a pressão mínima do leito, como apresentada a seguir:

$$W_t = \{W_a + W_p + W_b\}(P_{min})$$

O peso desejável dos componentes variáveis é determinado seleccionando primeiro um caudal do produto, uma pressão do produto, e um tempo de funcionamento. Em seguida, usando a função do peso total, o peso combinado de todos os três componentes pode ser representado como uma função de uma única variável, a pressão mínima do leito. Representando o peso dos componentes de peso variável versus a pressão mínima do leito a velocidade de produção constante, a pureza do produto, a pressão do produto, e o tempo de funcionamento mostram inesperadamente que há uma pressão mínima, ou uma gama de pressões mínimas desejáveis, que correspondem a um peso mínimo ou a uma gama de pesos mínimos desejáveis dos componentes de peso variável.

Os Exemplos que se seguem ilustram esta característica, mas não limitam os modelos de realização da presente invenção a qualquer dos detalhes específicos aqui

descritos. Cada um dos Exemplos é baseado em proporcionar um produto contendo oxigénio a 93% (em moles) a diferentes pressões de entrega, caudais e tempos de funcionamento usando (a) o sistema PVSA de cinco leitos da Fig. 1 com o ciclo de PVSA descrito nas Tabelas 1 e 2, e (b) um sistema PVSA de quatro leitos com o ciclo descrito nas Tabelas 3 e 4. O adsorvente é um zeólito do tipo X de sódio e lítio permutado a baixa sílica (LSX) em forma de gota com um diâmetro médio de partícula de 0,50 mm. Para o cálculo do peso do adsorvente requerido utilizando as equações de adsorção de azoto acima indicadas, foi usado um factor de utilização do leito de 70% para contabilizar o facto de que 70% da capacidade de adsorção é utilizada para a adsorção de azoto enquanto os restantes 30% da capacidade de adsorção são utilizados para a adsorção da água e do dióxido de carbono.

A eficiência do motor de accionamento 13 no motor de gás primário 11 pode ser tipicamente de 80% e a eficiência dos compressores 9 e 15 pode ser tipicamente de 70%. O sistema é alimentado por uma bateria recarregável de iões de lítio como, por exemplo, uma fabricada e vendida pela Varta tendo uma densidade de energia fixa de 12,46 kg/0,454/kWh (lb/kWh) conforme as especificações do fabricante. O peso total do sistema é a soma do peso dos componentes com peso fixo (alojamento, tubagens, cabos eléctricos, etc) e dos pesos variáveis do adsorvente, do motor de gás primário (isto é, o compressor do ar de alimentação e o compressor de vácuo do gás residual), e a

bateria.

EXEMPLO 1

Um sistema PVSA foi simulado para gerar 3 lpm de oxigénio a 93% (em moles) a uma pressão de produto de 1,6 atm por um período de 1 hora de tempo de funcionamento contínuo para um sistema de cinco leitos da Fig. 1, utilizando o ciclo das Tabelas 1 e 2. O motor de gás primário consistiu em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo espiral accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás principal, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para valores da pressão mínima de leito compreendidos entre 0,35 e 1,0 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 2. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 1,6 kg (3,6 libras) a 0,7 atma. Uma gama desejável do peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida para se obter uma gama desejável do peso variável total de 1,6 kg (3,6 libras) a 1,7 kg (3,8 libras). Isto corresponde a uma gama de pressão mínima do leito de 0,4 a 0,9 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se

entre um valor inferior de 0,32 kg (0,7 libras) e um valor superior de 0,64 kg (1,4 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,8 kg (1,9 libras) e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,23 kg (0,5 libras) e um valor superior de 0,54 kg (1,2 libras).

EXEMPLO 2

O Exemplo 1 foi repetido utilizando um motor de gás primário que consiste em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo diafragma accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás principal, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para valores da pressão mínima do leito compreendidos entre 0,35 e 0,96 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na fig. 3. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 1,3 kg (2,8 libras) a cerca de 0,7 atma. Uma gama desejável do peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida para se obter uma gama desejável do peso variável total de 1,3 kg (2,8 libras) a 1,4 kg (3,0 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de 0,5 a 0,9 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama de

pressão desejável, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,32 kg (0,7 libras) e um valor superior de 0,59 kg (1,3 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,50 kg (1,1 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,27 kg (0,6 libras) e um valor superior de 0,50 kg (1,1 libras).

EXEMPLO 3

Um sistema PVSA foi simulado para gerar 2 lpm de oxigénio a 93% (em moles) a uma pressão de produto de 1,4 atm por um período de 2 horas de tempo de funcionamento contínuo para um sistema de cinco leitos da Fig. 1 utilizando o ciclo das Tabelas 1 e 2. O motor de gás primário consistiu de compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo espiral accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para valores da pressão mínima do leito compreendidos entre 0,4 e 1,0 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 4. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 1,3 kg (2,9 libras) a 0,7 atma. Uma gama desejável do peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definido,

para se obter uma gama desejável do peso variável total de 1,3 kg (2,9 libras) a 1,4 kg (3,1 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de cerca de 0,6 a cerca de 0,9 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,27 kg (0,6 libras) e um valor superior de 0,54kg (1,2 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,59 kg (1,3 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,23 kg (0,5 libras) e um valor superior de 0,50 kg (1,1 libras).

EXEMPLO 4

O Exemplo 3 foi repetido utilizando um motor de gás primário que consiste em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo diafragma accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para valores da pressão mínima de leito compreendidos entre 0,40 e 0,96 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 5. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 1,0 kg (2,3 libras) a cerca de 0,8 atma. Uma gama

desejável do peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida, para se obter uma gama deseável de peso variável total de 1,0 kg (2,3 libras) a 1,1 kg (2,5 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de 0,6 a cerca de 0,9 atma, que é uma gama de operação deseável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama de pressão deseável, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,27 kg (0,6 libras) e um valor superior de 0,50 kg (1,1 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,32 kg (0,7 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,27 kg (0,6 libras) e um valor superior de 0,57 kg (1,1 libras).

EXEMPLO 5

Um sistema PVSA foi simulado para gerar 1 lpm de oxigénio a 93% (em moles) a uma pressão de produto de 1,2 atm por um período de 3 horas de tempo de funcionamento contínuo para um sistema de cinco leitos da Fig. 1, utilizando o ciclo das Tabelas 1 e 2. O motor de gás primário consistiu em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo espiral accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para valores da pressão mínima do leito entre 0,35 e 0,96 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 6. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como

funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação de peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 0,68 kg (1,5 libras) a cerca de 0,7 atma. Uma gama desejável do peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida, para se obter um gama desejável do peso variável total de 0,68 kg (1,5 libras) a 0,73 kg (1,6 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de cerca de 0,6 a 0,8 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,14 kg (0,3 libras) e um valor superior de 0,27 kg (0,6 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,32 kg (0,7 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,14 kg (0,3 libras) e um valor superior de 0,27 kg (0,6 libras).

EXEMPLO 6

O Exemplo 5 foi repetido utilizando um motor de gás primário que consiste em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo diafragma accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para valores da pressão mínima do leito entre 0,40 e 0,96 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 7. Os pesos

dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 0,59 kg (1,3 libras) de cerca de 0,7 atma. Uma gama desejável do peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida para se obter uma gama desejável do peso variável total de 0,54 kg (1,2 libras) a 0,59 kg (1,3 libras). Isto corresponde a uma gama de pressão mínima do leito de 0,6 a cerca de 0,8 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,14 kg (0,3 libras) e um valor superior de 0,27 kg (0,6 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,18 kg (0,4 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,14 kg (0,3 libras) e um valor superior de 0,27 kg (0,6 libras).

EXEMPLO 7

Um sistema PVSA foi simulado para gerar 3 lpm de oxigénio a 93% (em moles) a uma pressão de produto de 1,6 atm por um período de 3 horas de tempo de funcionamento contínuo para um sistema de cinco leitos da Fig. 1, utilizando o ciclo das Tabelas 1 e 2. O motor de gás primário consistiu em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo espiral accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é,

o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para os valores da pressão mínima de leito entre 0,5 e 1,06 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 8. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 2,2 kg (4,8 libras) a cerca de 0,9 atma. Uma gama desejável de peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida para se obter uma gama desejável do peso variável total de 2,2 kg (4,8 a 5,0 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de cerca de 0,8 a 1,1 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 1,0 libra e um valor superior de 1,8 libras, o peso do motor de gás primário é de 1,9 libras, e o peso da bateria está entre um valor inferior de 1,4 libras e um valor superior de 2,1 libras.

EXEMPLO 8

O Exemplo 7 foi repetido utilizando um motor de gás primário que consiste em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo diafragma accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e

a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para valores da pressão mínima do leito entre 0,37 e 1,06 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 9. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 1,8 kg (4,0 libras) a cerca de 0,9 atma. Uma gama desejável de peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida para se obter uma gama desejável do peso variável total de 1,8 a 1,9 kg (4,0 a 4,2 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de 0,8 a cerca de 1,0 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama de pressão desejável, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,5 kg (1,1 libras) e um valor superior de 0,7 kg (1,6 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,5 kg (1,1 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,6 kg (1,4 libras) e um valor superior de 0,8 kg (2,0 libras).

EXEMPLO 9

O Exemplo 1 foi repetido com a exceção de que o sistema PVSA era um sistema de quatro leitos operado de acordo com o ciclo das Tabelas 3 e 4. O motor de gás primário consistiu de compressores de ar de alimentação e de gá residual do tipo espiral accionados por um motor

comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para os valores da pressão mínima do leito entre 0,35 e 1,0 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 10. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 1,5 kg (3,2 libras) a 0,7 atma. Uma gama desejável do peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definido para se obter uma gama desejável do peso variável total de 1,5 a 1,5 kg (3,2 a 3,4 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de 0,5 a cerca de 0,9 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,3 kg (0,6 libras) e um valor superior de 0,6 kg (1,3 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,7 kg (1,6 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,2 kg (0,5 libras) e um valor superior de 0,5 kg (1,2 libras).

EXEMPLO 10

O Exemplo 2 foi repetido com a exceção de que o sistema PVSA era um sistema de quatro leitos operado de acordo com o ciclo das Tabelas 3 e 4. O motor de gás

primário consistiu em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo diafragma accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para os valores da pressão mínima do leito entre 0,35 e 0,96 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 11. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 1,2 kg (2,7 libras) a 0,7 atma. Uma gama desejável de peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida para se obter uma gama desejável do peso variável total de 1,2 kg (2,7 a 2,9 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de cerca de 0,5 a 0,9 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,3 kg (0,7 libras) e um valor superior de 0,6 kg (1,3 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,5 kg (1,1 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,2 kg (0,5 libras) e um valor superior de 0,5 kg (1,0 libra).

EXEMPLO 11

O Exemplo 3 foi repetido com a excepção de que o

sistema PVSA era um sistema de quatro leitos operado de acordo com o ciclo das Tabelas 3 e 4. O motor de gás primário consistiu em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo espiral accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para os valores da pressão mínima do leito compreendidos entre 0,4 e 1,0 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 12. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 1,2 kg (2,6 libras) a 0,8 atma. Uma gama desejável do peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida para se obter uma gama desejável do peso variável total de 1,2 kg a 1,3 kg (2,6 a 2,8 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de 0,6 a cerca de 0,9 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,3 kg (0,6 libras) e um valor superior de 0,5 kg (1,1 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,5 kg (1,1 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,2 kg (0,5 libras) e um valor superior de 0,5 kg (1,1 libras).

EXEMPLO 12

O Exemplo 4 foi repetido com a exceção de que o sistema PVSA era um sistema de quatro leitos operado de acordo com o ciclo das Tabelas 3 e 4. O motor de gás primário consistiu de compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo diafragma accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para os valores da pressão mínima do leito compreendidos entre 0,4 e 0,96 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 13. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 1,0 kg (2,3 libras) a cerca de 0,8 atma. Uma gama desejável do peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida para se obter uma gama desejável do peso variável total de 1,0 a 1,1 kg (2,3 a 2,4 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de cerca de 0,6 a cerca de 0,9 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,3 kg (0,6 libras) e um valor superior de 0,5 kg (1,1 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,3 kg (0,7 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,2 kg (0,5 libras) e um valor superior de 0,5 kg (1,0 libraas).

EXEMPLO 13

O Exemplo 5 foi repetido com a excepção de que o sistema PVSA era um sistema de quatro leitos operado de acordo com o ciclo das Tabelas 3 e 4. O motor de gás primário consistiu em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo espiral accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para os valores da pressão mínima do leito entre 0,35 e 0,96 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 14. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 0,6 kg (1,4 libras) a cerca de 0,7 atma. Uma gama desejável de peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida para se obter uma gama desejável do peso variável total de 0,6 a 0,7 kg (1,4 a 1,5 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de 0,6 a 0,9 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,1 kg (0,3 libras) e um valor superior de 0,3 kg (0,6 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,3 kg (0,6 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,1 kg (0,3 libras) e um valor

superior de 0,2 kg (0,5 libras).

EXEMPLO 14

O Exemplo 6 foi repetido com a excepção de que o sistema PVSA era um sistema de quatro leitos operado de acordo com o ciclo das Tabelas 3 e 4. O motor de gás primário consistiu em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo diafragma accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para os valores da pressão mínima do leito compreendidos entre 0,4 e 0,96 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 15. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 0,5 kg (1,2 libras) numa gama da pressão mínima do leito de cerca de 0,6 a 0,8 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,1 kg (0,3 libras) e um valor superior de 0,3 kg (0,6 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,2 kg (0,4 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,1 kg (0,3 libras) e um valor superior de 0,2 kg (0,5 libras).

EXEMPLO 15

O Exemplo 7 foi repetido com a excepção de que o sistema PVSA era um sistema de quatro leitos operado de acordo com o ciclo das Tabelas 3 e 4. O motor de gás primário consistiu em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo espiral accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para os valores da pressão mínima do leito entre 0,5 e 1,06 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 16. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 2 kg (4,4 libras) ligeiramente abaixo de 1,0 atma. Uma gama desejável do peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida para se obter uma gama desejável do peso variável total de 2,8 kg (4,4 a 4,6 libras). Isto corresponde a uma gama de pressão mínima do leito de cerca de 0,8 a 1,1 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,5 kg (1,0 libra) e um valor superior de 0,7 kg (1,6 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,7 kg (1,6 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,6 kg (1,4 libras) e um

valor superior de 0,9 kg (2,0 libras).

EXEMPLO 16

O Exemplo 8 foi repetido com a excepção de que o sistema PVSA era um sistema de quatro leitos operado de acordo com o ciclo das Tabelas 3 e 4. O motor de gás primário consistiu em compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo diafragma accionados por um motor comum. O peso de cada componente de peso variável, isto é, o adsorvente, o motor de gás primário, e a bateria, foi calculado utilizando os métodos descritos anteriormente para os valores da pressão mínima do leito entre cerca de 0,37 e 1,06 atma. Estes pesos foram somados e todos os dados foram representados como mostrado na Fig. 17. Os pesos dos três componentes individuais não mostram mínimos óbvios como funções da pressão mínima do leito. Quando estes pesos são combinados, no entanto, a representação do peso variável total versus a pressão mínima do leito apresenta um mínimo do peso variável total de 1,8 kg (3,9 libras) ligeiramente abiaixo de 1,0 atma. Uma gama desejável do peso relativo entre o peso mínimo e 5% acima do peso mínimo foi definida para se obter uma gama desejável do peso variável total de 1,8 a 1,9 kg (3,9 a 4,1 libras). Isto corresponde a uma gama da pressão mínima do leito de cerca de 0,8 a 1,0 atma, que é uma gama de operação desejável do PVSA para este Exemplo. Nesta gama desejável de pressão, o peso do adsorvente situa-se entre um valor inferior de 0,5 kg (1,0 libra) e um valor superior de 0,7

kg (1,5 libras), o peso do motor de gás primário é de 0,5 kg (1,1 libras), e o peso da bateria está entre um valor inferior de 0,6 kg (1,4 libras) e um valor superior de 0,9 kg (2,0 libras).

EXEMPLO 17

O sistema PVSA da Fig. 1 foi simulado utilizando o ciclo descrito nas Tabelas 1 e 2 para caudais do produto de 1 a 3 lpm, para pressões de entrega do produto entre 1,2 e 1,6 atma, e para tempos de funcionamento entre 1 e 3 horas. O sistema PVSA da Fig. 1 também foi simulado utilizando o ciclo descrito nas Tabelas 3 e 4 para os mesmos caudais do produto, para as mesmas pressões de entrega do produto, e para os mesmos tempos de funcionamento. Para estas simulações, a bateria recarregável proporciona entre 0,02 e 0,17 KWh de energia durante o tempo de funcionamento operacional entre a carga de trabalho máxima e a carga de trabalho mínima. A capacidade de trabalho total do adsorvente em cada leito de adsorção durante os ciclos está entre 0,54 e 3,04 moles ($1,2 \times 10^{-4}$ e $6,7 \times 10^{-4}$ lbmoles) de azoto. O compressor de ar de alimentação (o primeiro compressor) move-se entre 0,52 e 1,82 moles ($1,14 \times 10^{-4}$ e $4,01 \times 10^{-4}$ lbmoles) de ar de alimentação pressurizado durante as etapas de alimentação e o compressor de gás residual (o segundo compressor) move-se entre 1,57 e 4,52 moles ($3,47 \times 10^{-4}$ e $9,96 \times 10^{-4}$ lbmoles) de gás residual durante as etapas de despressurização e evacuação.

Um resumo dos resultados dos Exemplos 1-16 é apresentado na Tabela 5. Estes resultados foram utilizados para definir gamas desejáveis de operação para os pesos do adsorvente, do motor de gás primário, e da bateria como funções do caudal do produto. Isto foi efectuado através da representação gráfica dos valores dos pesos superior e inferior correspondentes aos valores superior e inferior das gamas de pressão mínima dos leitos para cada um dos componentes de peso variável, definidos nos Exemplos 1-16, como funções do caudal do produto. Limites lineares para definir uma região desejável de operação em termos de peso versus o caudal do produto foram, em seguida, construídos para cada componente, de modo que todos os valores superiores e inferiores dos pesos mínimos foram incluídos nesta região de operação óptima. Além disso, foram normalizadas gamas do peso mínimo da bateria para uma unidade de tempo de funcionamento e representadas como funções do caudal do produto para determinar uma região de operação óptima em termos desta variável normalizada. Com base nestes Exemplos, a pressão mínima do leito situa-se, tipicamente, entre 0,25 e 1,0 atma, e pode estar na gama de 0,45 e 0,8 atma.

Tabela 5Resumo dos Exemplos 1 até 16

Exemplo Nº	Caudal do Produto lpm	Pressão do Produto atma	Tempo Funcionamento hr	Nº de Leitos	Tipo de Motor de Gás Primário	Pressão Mínima do Leito atma		Peso Variável Total Kg/0,454	
						Mínima	Gama	Mínimo	Gama
1	3	1,6	1	5	Espiral	0,7	0,4-0,9	3,6	3,6-3,8
2	3	1,6	1	5	Diafragma	0,7	0,5-0,9	2,8	2,8-3,0
3	2	1,4	2	5	Espiral	0,7	0,6-0,9	2,9	2,9-3,1
4	2	1,4	2	5	Diafragma	0,8	0,6-0,9	2,3	2,3-2,5
5	1	1,2	3	5	Espiral	0,7	0,6-0,8	1,5	1,5-1,6
6	1	1,2	3	5	Diafragma	0,7	0,6-0,8	1,2	1,2-1,3
7	3	1,6	3	5	Espiral	0,9	0,8-1,1	4,8	4,8-5,0
8	3	1,6	3	5	Diafragma	0,9	0,8-1,0	4,0	4,0-4,2
9	3	1,6	1	4	Espiral	0,7	0,5-0,9	3,2	3,2-3,4
10	3	1,6	1	4	Diafragma	0,7	0,5-0,9	2,7	2,7-2,9
11	2	1,2	2	4	Espiral	0,8	0,6-0,9	2,6	2,6-2,8

PE1598103

- 52 -

12	2	1,2	2	4	Diafragma	0,8	0,6-0,9	2,3	2,3-2,4
13	1	1,2	3	4	Espiral	0,7	0,6-0,9	1,4	1,4-1,5
14	1	1,2	3	4	Diafragma	0,7	0,6-0,8	1,2	--
15	3	1,6	3	4	Espiral	- 1,0	0,8-1,1	4,4	4,4-4,6
16	3	1,6	3	4	Diafragma	- 1,0	0,8-1,0	3,9	3,9-4,1

Os gráficos resultantes e as regiões de operação desejável para os diferentes componentes individuais de peso variável são mostrados nas Figs. 18, 19, 20 e 21. A Fig. 18 ilustra uma região de operação desejável delimitada por (a) uma linha inferior que passa pela origem e pelo peso inferior da gama de pesos do adsorvente para o caudal do produto de 3 lpm e (b) uma linha superior que passa pela origem e pelo peso superior da gama de pesos do adsorvente para o caudal do produto de 1 lpm. Todos os pesos superior e inferior do adsorvente para o caudal do produto de 1, 2, e 3 lpm caiem, assim, dentro da região de operação desejável descrita pelas linhas superior e inferior da Fig. 18.

A Fig. 19 indica que a gama desejável de pesos dos motores de gás primários situam-se entre e incluem os pesos dos compressores de ar de alimentação e de gás residual do tipo espiral e diafragma que definem as linhas superior e inferior, respectivamente.

A Fig. 20 ilustra uma região de operação desejável delimitada por linhas superior e inferior traçadas através da origem e dos pesos superior e inferior da bateria dos Exemplos com caudais do produto de 3 lpm. Todos os pesos superior e inferior da bateria de peso variável para os caudais do produto de 1, 2, e 3 lpm caiem, assim, dentro da região de operação desejável descrita pelas linhas superior e inferior.

A Fig. 21 ilustra uma região de operação desejável delimitada por (a) uma linha inferior traçada através da origem e do valor inferior da gama de peso da bateria de tempo normalizado correspondente aos Exemplos com um caudal de produto de 1 lpm e (b) uma linha superior que traçada através da origem e do valor superior da gama de peso da bateria de tempo normalizado correspondente aos Exemplos com um caudal de produto de 3 lpm. Todos os valores superiores e inferiores do peso da bateria de tempo normalizado para os caudais de produto de 1, 2, e 3 lpm caiem, assim, dentro da região de operação desejável descrita pelas linhas superior e inferior da Fig. 21.

Os métodos de optimização descritos acima cobrem, assim, a operação dos sistemas PVSA de quatro e cinco leitos para caudais de produção de 1 a 3 lpm de oxigénio a 93% (em moles) numa gama de pressão do produto de 1,2 a 1,6 atma por períodos de 1 a 3 horas de tempo de funcionamento contínuo. As correspondentes gamas de peso óptimo para os componentes individuais foram definidas analiticamente para as gamas de operação desejável da pressão mínima do leito. Além disso, foram definidas analiticamente regiões de operação desejável em termos de peso versus os caudais do produto para os componentes individuais de peso variável. Também foram definidas analiticamente regiões de operação desejável em termos do peso versus os caudais do produto para os pesos totais dos conjuntos de peso variável. Estas encontram-se resumidas abaixo.

As regiões de operação desejável acima descritas e ilustradas nas Figs. 18, 19, 20 e 21 podem ser expressas como se segue para os diferentes componentes individuais de peso variável:

(a) para o peso do adsorvente, W_a ,

$$0,21 F_p < W_a/0,454 < 0,61 F_p;$$

(b) para o peso do motor de gás primário, W_p ,

$$0,36 F_p < W_p/0,454 < 0,70 F_p;$$

(c) para o peso da bateria, W_b ,

$$0,18 F_p < W_b/0,454 < 0,71 F_p; \text{ e}$$

(d) para o peso da bateria numa base de tempo normalizado,

$$0,10 F_p t_r < W_b < 0,40 F_p t_r.$$

Nessas expressões, F_p é o caudal do produto em litros por minuto (a 23°C e 1 atma), o peso é em kg, e o tempo t_r é em horas. As características operacionais desejadas dos sistemas PVSA descritos acima podem ser caracterizadas por qualquer uma das expressões anteriores.

Através da combinação das expressões anteriores (a), (b), e (c), o peso variável total, W_t , pode ser expresso como

$$0,75 F_p < W_t/0,454 < 2,02 F_p$$

onde W_t é em kg. O peso combinado dos componentes de peso variável de um sistema PVSA desenhado para gerar 1 lpm de oxigénio a 93% (em moles) pode, portanto, situar-se entre 0,34 e 0,92 Kg (0,75 e 2,02 libras) e um sistema desenhado para gerar 3 lpm de oxigénio a 93% (em moles) pode, assim, situar-se entre 1,0 e 2,75 kg (2,25 e 6,06 libras). Esta expressão pode ser estendida para caudais do produto acima de 3 lpm e inferiores a 1 lpm para determinar o peso variável total dos componentes do sistema PVSA. Por exemplo, a expressão pode ser utilizada para determinar o peso variável total entre 0,5 e 5 lpm, e este peso variaria entre 0,17 kg e 0,46 kg (0,375 libras e 1,01 libras) para um sistema de 0,5 lpm e entre 1,70 kg e 4,6 kg (3,75 libras e 10,1 libras) para um sistema de 5 lpm.

Lisboa, 26 de Setembro de 2013

REIVINDICAÇÕES

1. Um sistema portátil concentrador de oxigénio para a produção de um gás rico em oxigénio compreendendo

(a) um motor de gás primário incluindo um primeiro compressor adaptado para comprimir o ar atmosférico para proporcionar ar de alimentação pressurizado e um segundo compressor adaptado para comprimir um gás residual da pressão subatmosférica até à pressão atmosférica, em que o motor de gás primário é caracterizado por um peso W_p ;

(b) um motor de accionamento adaptado para accionar os primeiro e segundo compressores;

(c) uma fonte de energia recarregável adaptada para fornecer energia ao motor de accionamento, em que a fonte de energia recarregável é caracterizada por um peso W_b ; e

(d) uma unidade de adsorção com modulação de pressão e vácuo adaptada para separar o ar de alimentação pressurizado num produto rico em oxigénio com um caudal do produto F_p e num gás residual pobre em oxigénio, em que a unidade de adsorção comprehende uma pluralidade de leitos de adsorção contendo um adsorvente, em que a quantidade total do adsorvente contido nos leitos de adsorção é caracterizada por um peso total de adsorvente W_a ;

em que o peso combinado, W_t , do adsorvente, do motor de gás

primário, e da fonte de energia recarregável é caracterizado pela expressão

$$0,75 F_p < W_t/0,454 < 2,02 F_p$$

onde F_p é em litros por minuto (a 23 ° C e à pressão de 1 atma) e W_a , W_p e W_b são em quilogramas,

em que a fonte de energia recarregável é caracterizada por um tempo de funcionamento operacional em horas, t_r , entre a máxima e a mínima carga de trabalho, e em que o sistema é ainda caracterizado por todas as expressões

$$0,21 F_p < W_a/0,454 < 0,61 F_p,$$

$$0,36 F_p < W_p/0,454 < 0,70 F_p,$$

$$0,18 F_p < W_b/0,454 < 0,71 F_p, \text{ e}$$

$$0,10 F_b t_r < W_b/0,454 < 0,40 F_p t_r.$$

2. O sistema da reivindicação 1 em que a pluralidade de leitos de adsorção comprehende quatro ou mais leitos.

3. O sistema da reivindicação 2 em que a pluralidade de leitos de adsorção é constituída por quatro

leitos.

4. O sistema da reivindicação 1 em que cada um dos primeiro e segundo compressores é seleccionado a partir do grupo consistindo de compressores de espiral, de diafragma, de pistão e compressores rotativos de palhetas.

5. O sistema da reivindicação 4 em que os primeiro e segundo compressores são do tipo compressor de espiral.

6. O sistema da reivindicação 1 que tem um peso total menor do que 5,44 kg (12 libras).

7. O sistema da reivindicação 6 que tem um peso total menor do que 4,54 kg (10 libras).

8. O sistema da reivindicação 7 que tem um peso total menor do que 3,63 kg (8 libras).

9. O sistema da reivindicação 1 em que o adsorvente é seleccionado a partir do grupo consistindo de zeólico X permutado com um ou mais catiões metálicos seleccionados a partir do grupo consistindo de lítio, zinco, cálcio, cobre, sódio, potássio, e prata.

10. O sistema da reivindicação 9 em que os leitos de adsorção compreendem ainda um adsorvente selectivo adicional para a adsorção de água e dióxido de carbono a

partir do ar e em que o adsorvente adicional é seleccionado a partir do grupo que consiste em (1) alumina activada e (2) zeólito X permutado com um ou mais catiões metálicos seleccionados a partir do grupo consistindo de lítio, sódio, e potássio.

11. O sistema da reivindicação 1 que comprehende ainda um conservador.

12. O sistema da reivindicação 1 em que a fonte de energia recarregável é uma bateria.

13. O sistema da reivindicação 1 em que a fonte de energia recarregável é uma célula de combustível.

14. O sistema da reivindicação 1 que comprehende ainda uma caixa externa que envolve o motor de gás primário, o motor de accionamento, a fonte de energia recarregável, e o sistema de adsorção com modulação de pressão e vácuo, e um painel de controle/visualização do utilizador montado no lado exterior da caixa.

15. O sistema da reivindicação 14 que tem um peso total menor do que 5,44 kg (12 libras).

16. O sistema da reivindicação 15 que tem um peso total menor do que 4,54 kg (10 libras).

17. O sistema da reivindicação 16 que tem um peso

PE1598103

- 5 -

total menor do que 3,63 kg (8 libras).

Lisboa, 26 de Setembro de 2013

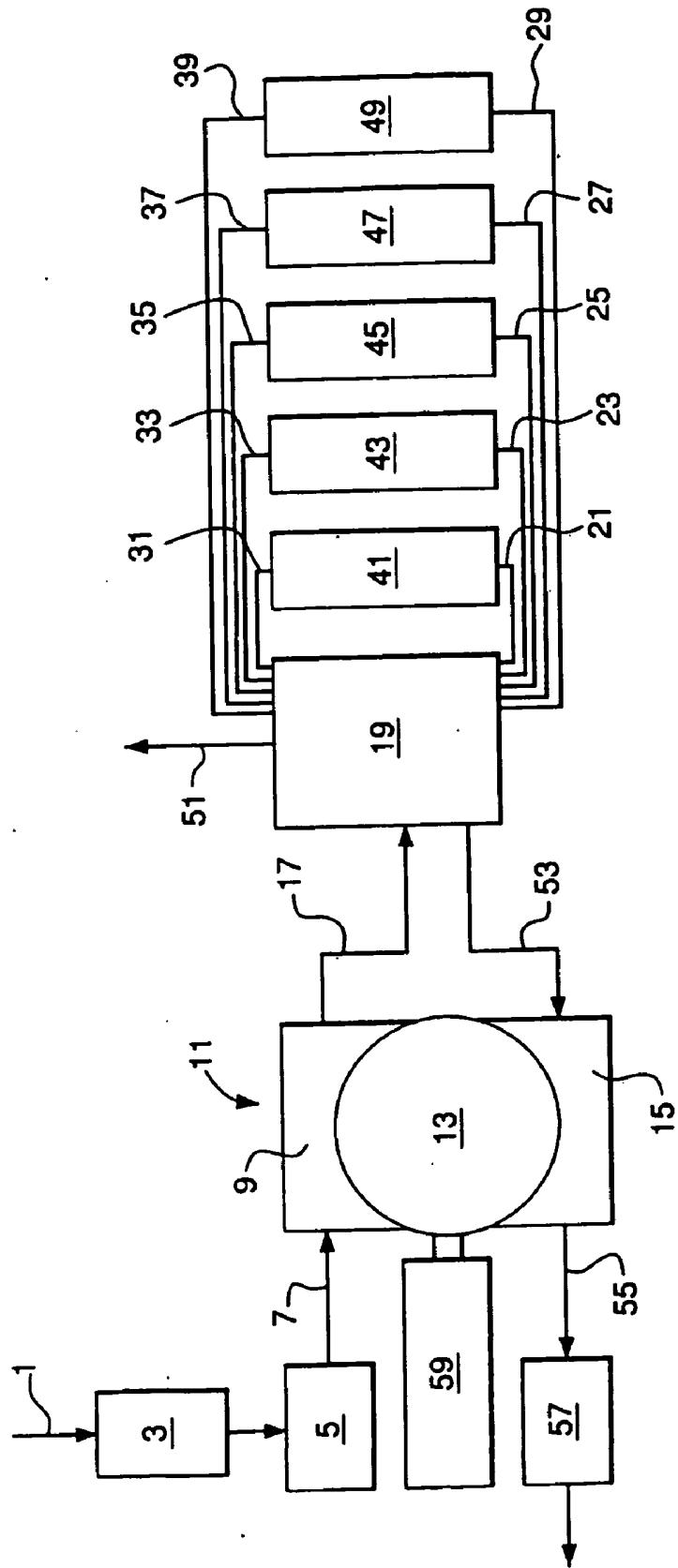


FIG. 1

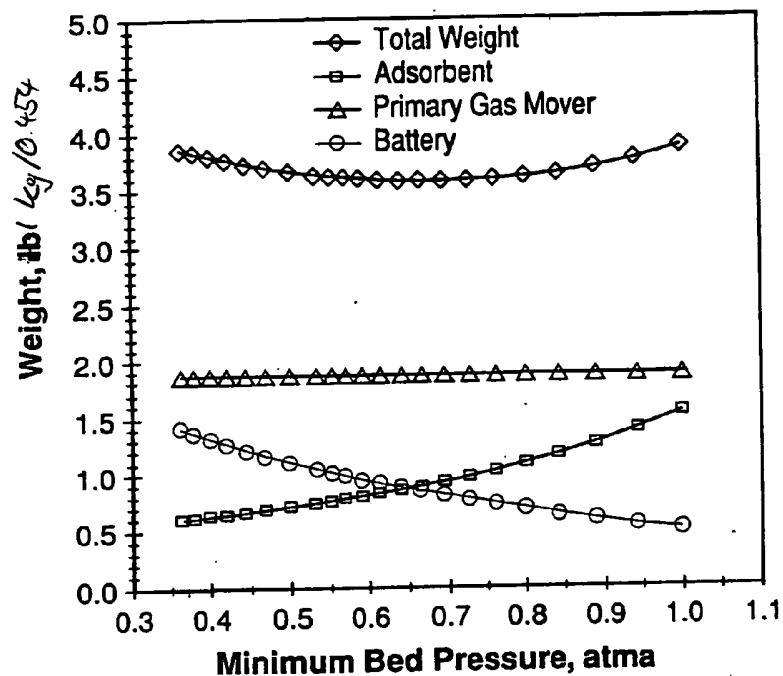


FIG. 2

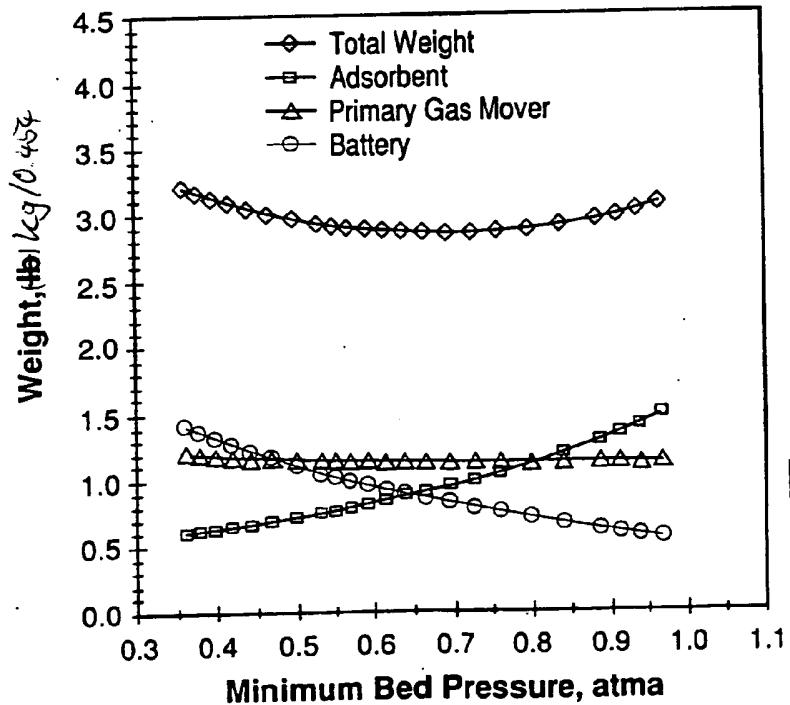


FIG. 3

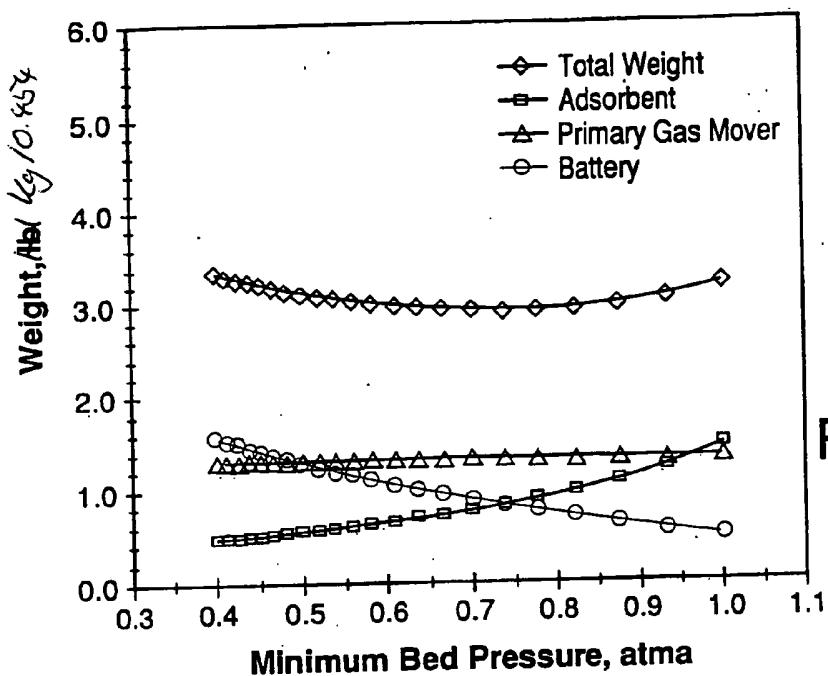


FIG. 4

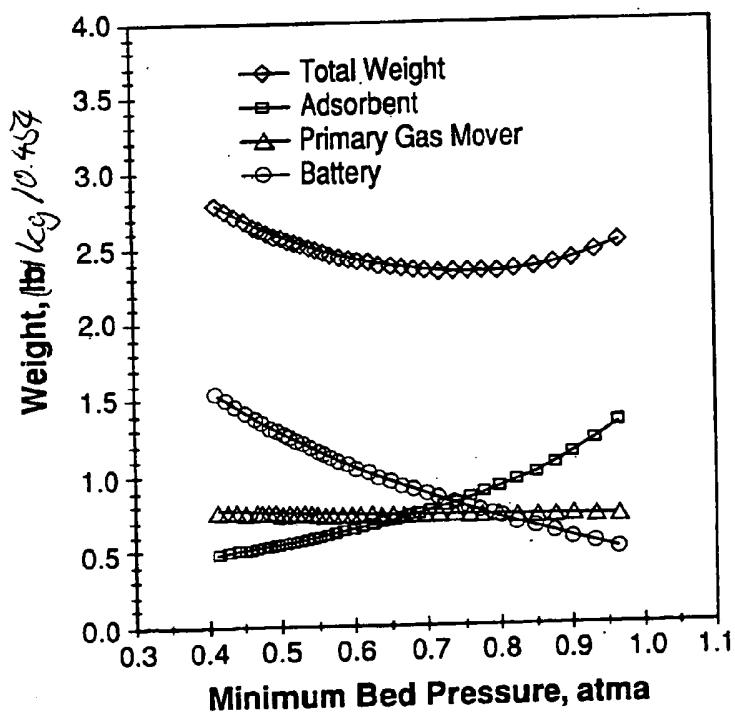


FIG. 5

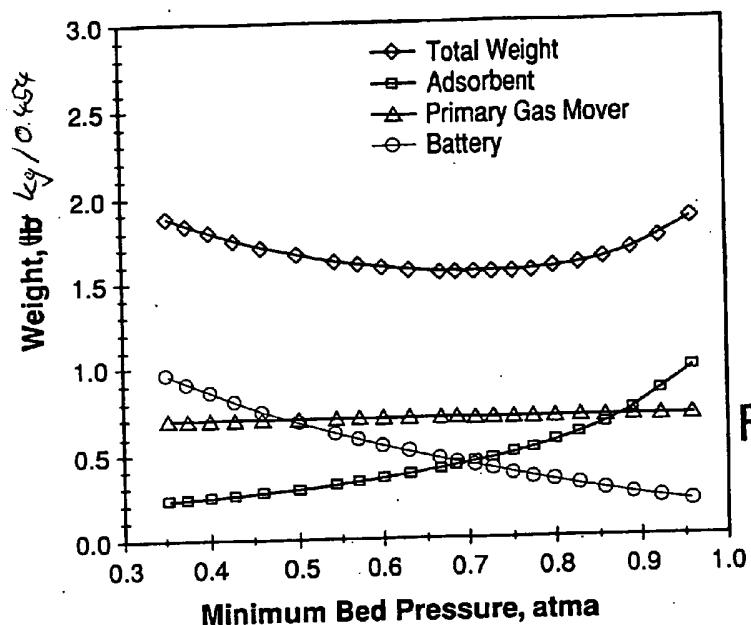


FIG. 6

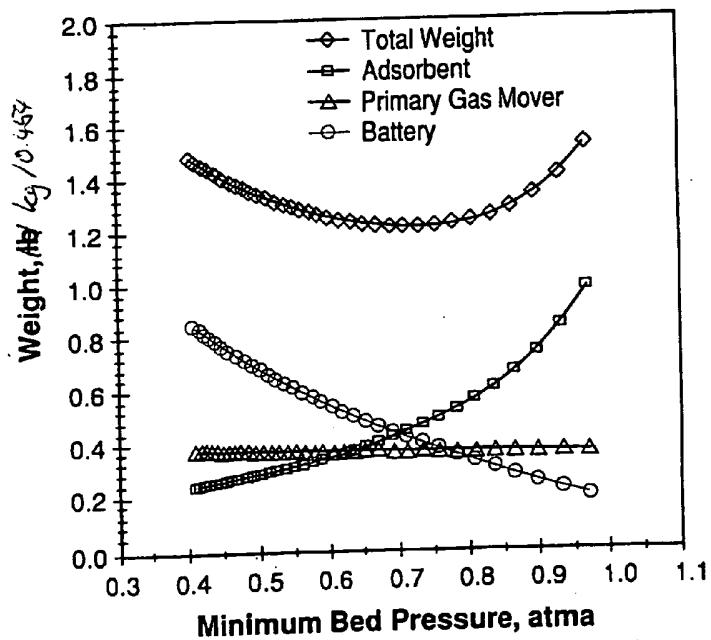


FIG. 7

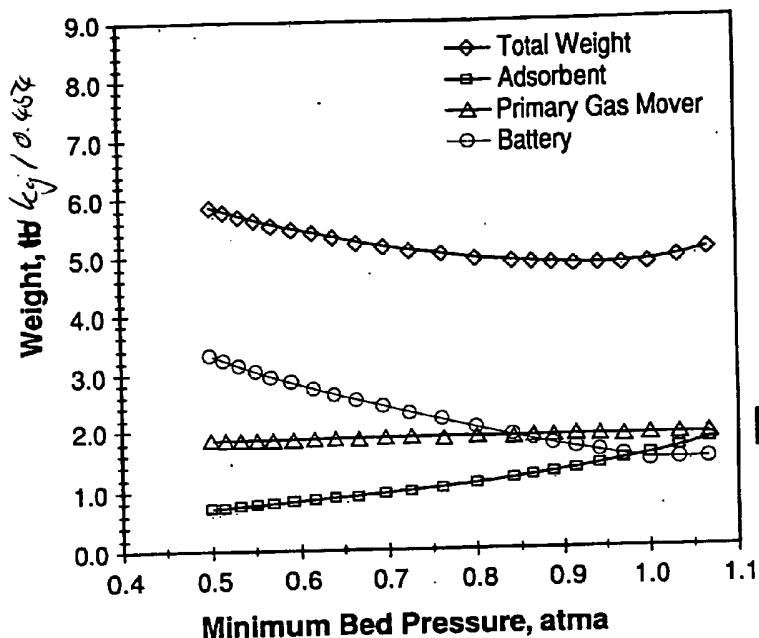


FIG. 8

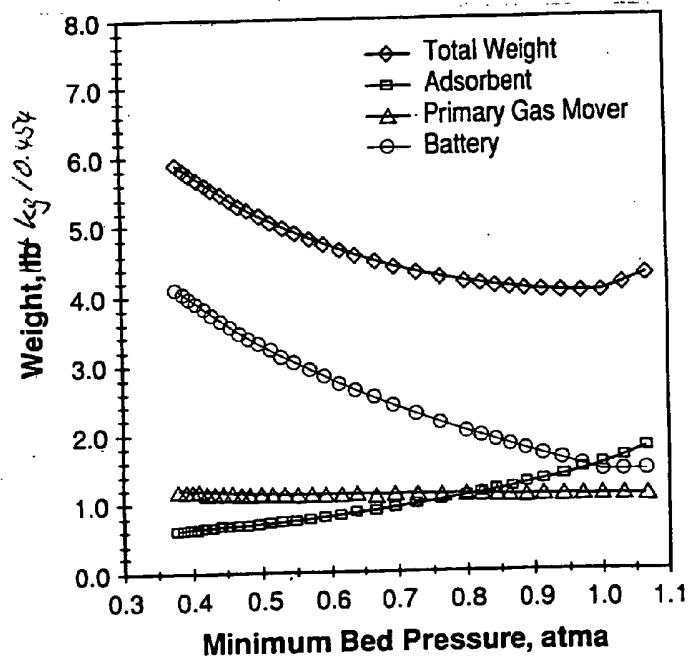


FIG. 9

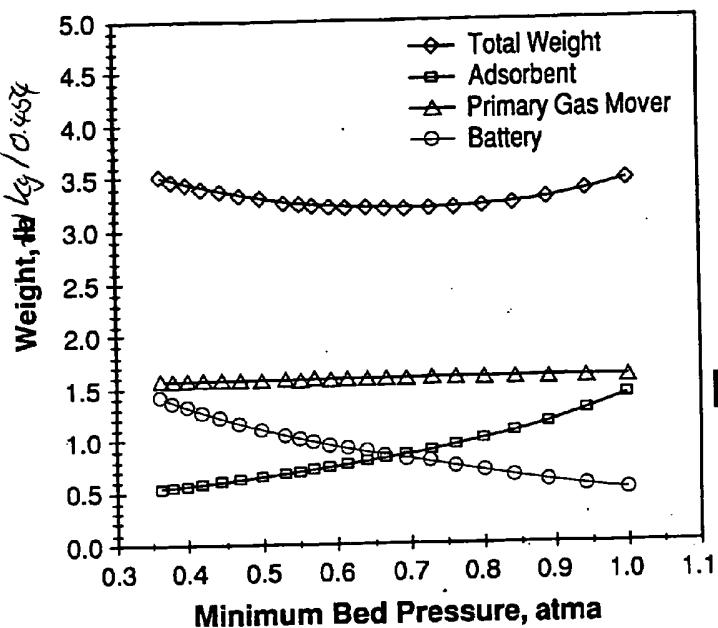


FIG. 10

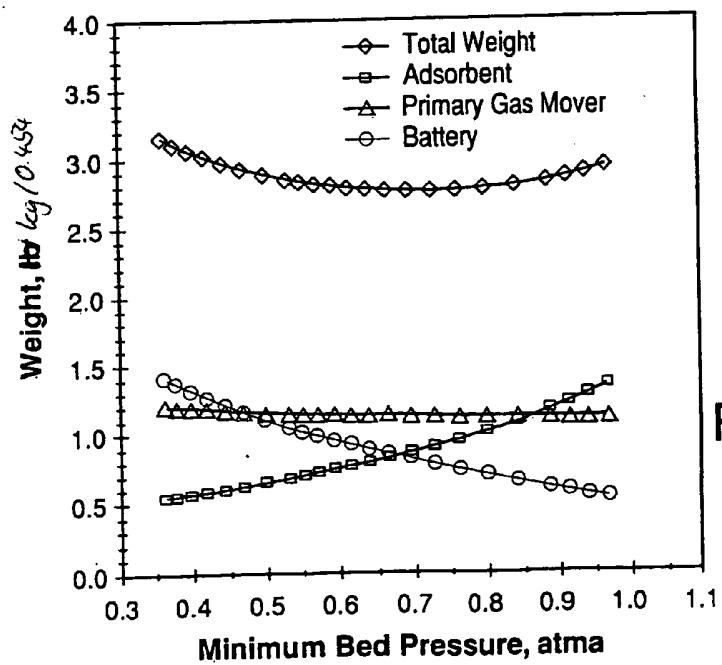


FIG. 11

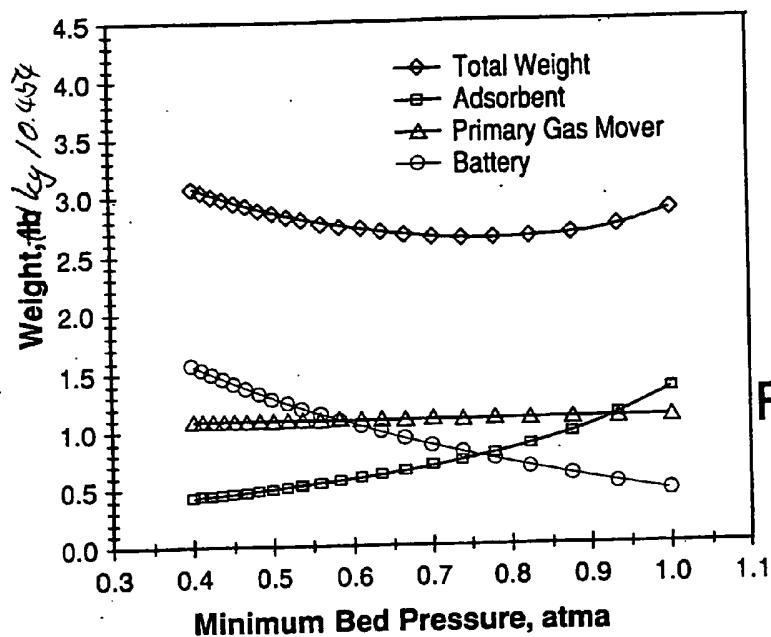


FIG. 12

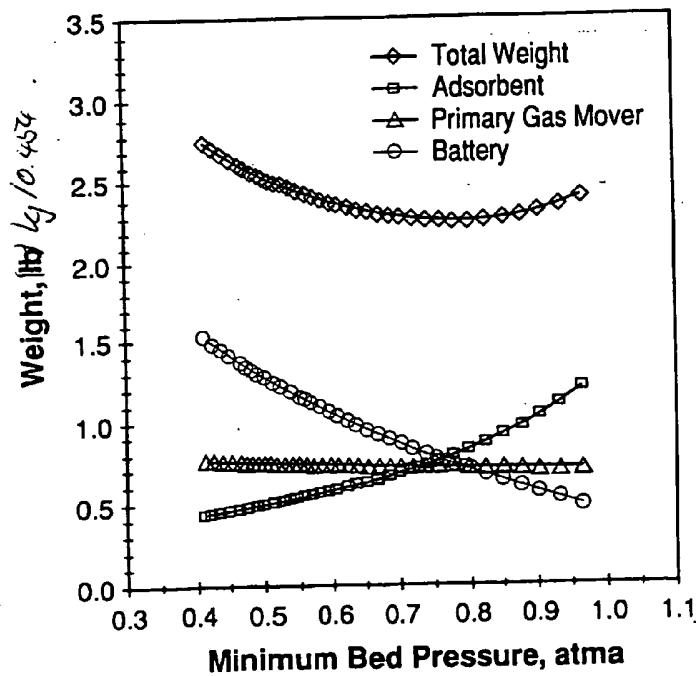


FIG. 13

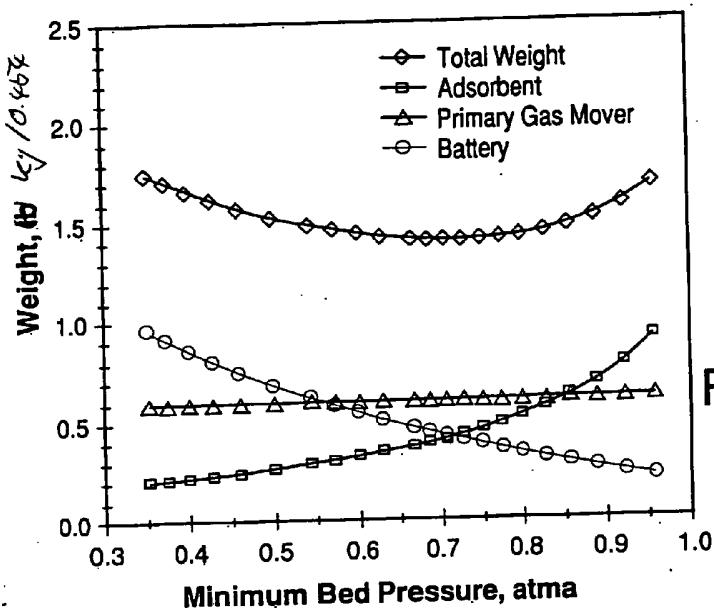


FIG. 14

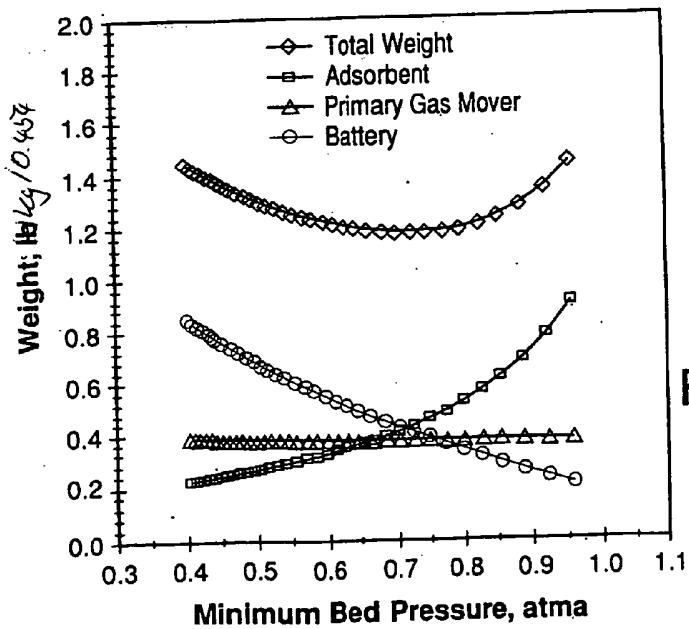


FIG. 15

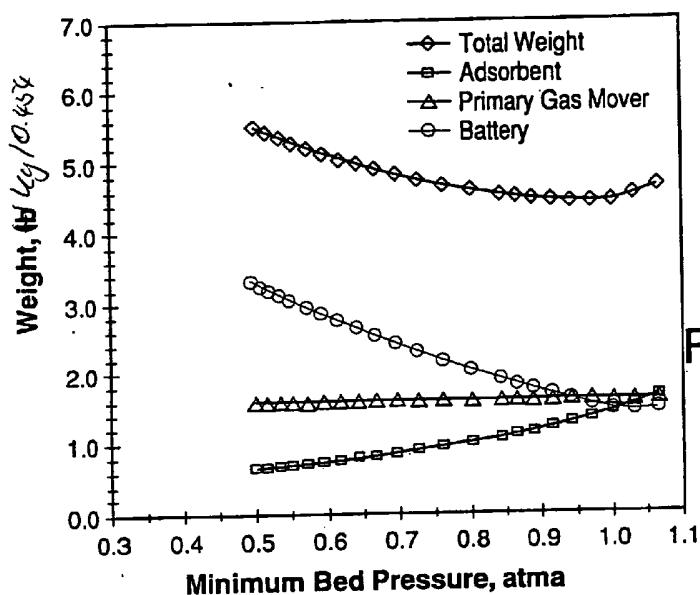


FIG. 16

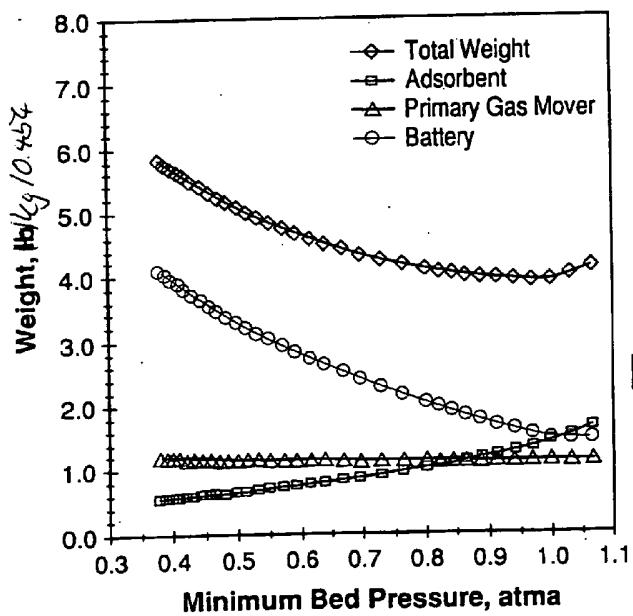


FIG. 17

LEGENDAS DAS FIGURAS 2 A 17

Weight = Peso

Minimum Bed Pressure = Pressão Mínima do Leito

Total Weight = Peso Total

Adsorbent = Adsorvente

Primary Gas Mover = Motor de Gás Primário

Battery = Bateria

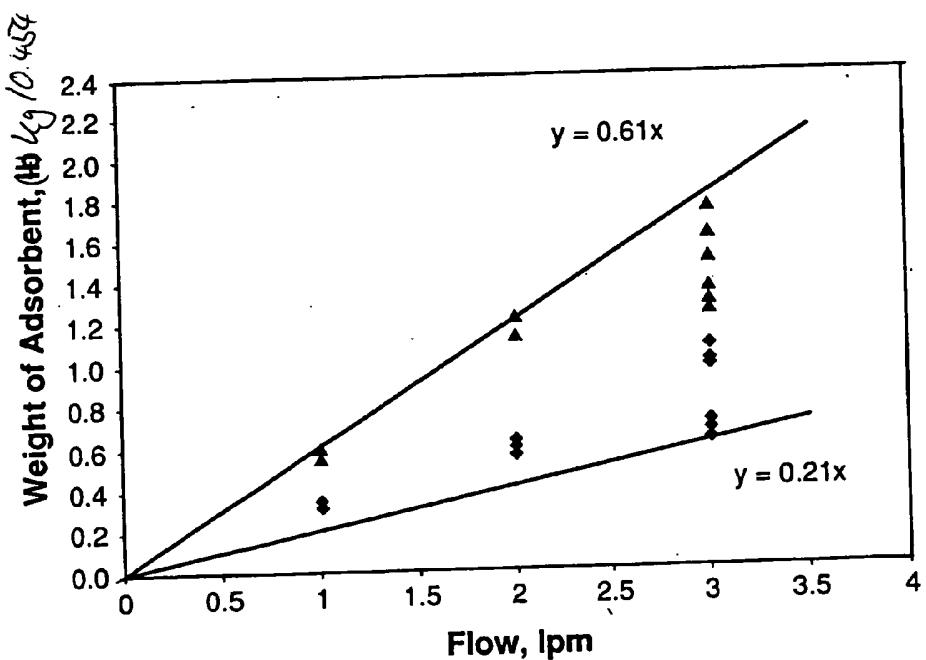
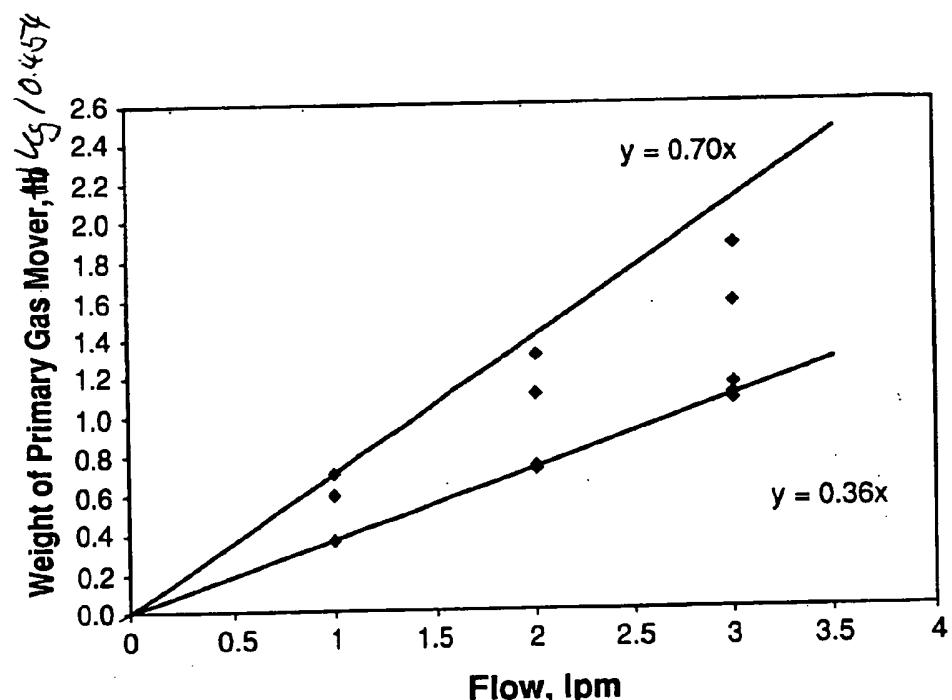


FIG. 18

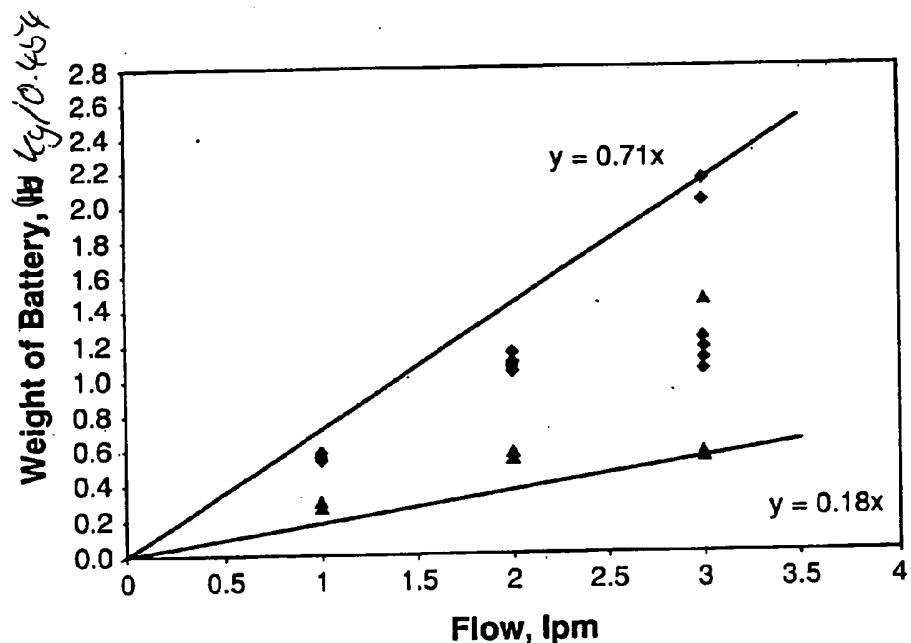
Weight of Adsorbent = Peso de Adsorvente

Flow = Caudal

**FIG. 19**

Weight of Primary Gas Mover = Peso do Motor de Gás Primário

Flow = caudal

**FIG. 20**

Weight of Battery = Peso da Bateria

Flow = Caudal

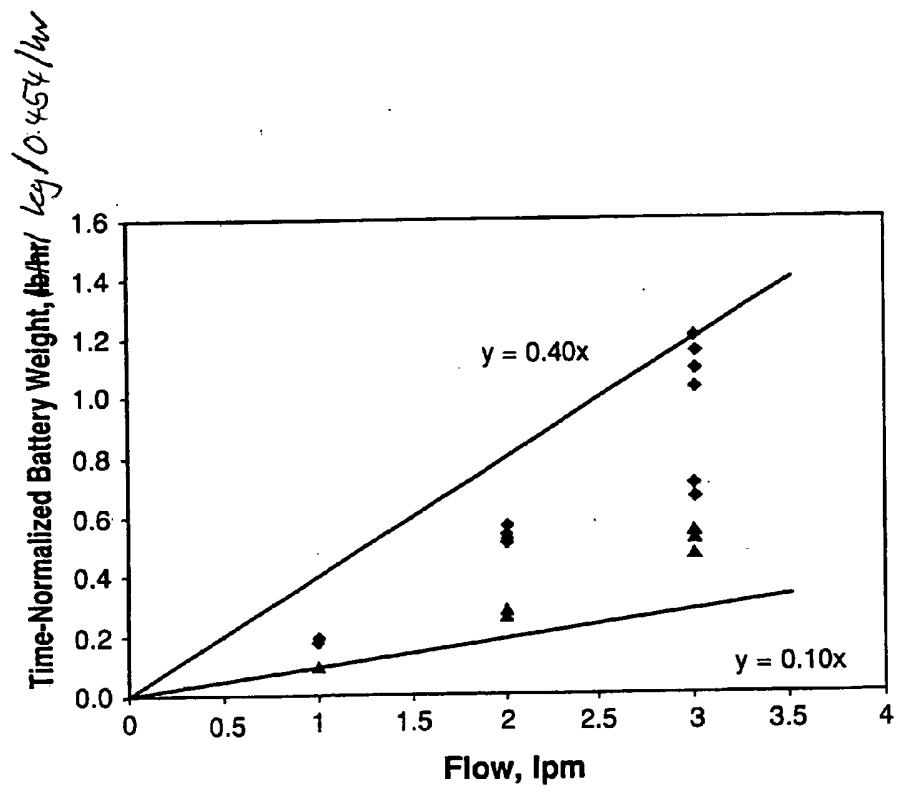


FIG. 21

Time-Normalized Battery Weight = Peso da Bateria de Tempo Normalizado

Flow = Caudal

REFERÊNCIAS CITADAS NA DESCRIÇÃO

Esta lista de referências citadas pelo requerente é apenas para conveniência do leitor. A mesma não faz parte do documento da patente Europeia. Ainda que tenha sido tomado o devido cuidado ao compilar as referências, podem não estar excluídos erros ou omissões e o IEP declina quaisquer responsabilidades a esse respeito.

Documentos de patentes citadas na descrição

- WO 03092817 A1
- US 20040094216 A1

Literatura que não é de patentes citada na descrição

- **MYERS, A. L.** Activity Coefficients of Mixtures Adsorbed on Heterogeneous Surfaces. *AIChE J.*, 1983, 691
- **MYERS, A. L. ; PRAUSNITZ, J. M.** Thermodynamics of Mixed Gas Adsorption. *AIChE J.*, 1965, (1), 11
- **MATHIAS P. M. et al.** Correlation of Multicomponent Gas Adsorption by the Dual-Site Langmuir Model. Application to Nitrogen/Oxygen Adsorption on 5A Zeolite. *Ind. & Eng. Chem Res.*, 1996, 7