



INPI
INSTITUTO
NACIONAL DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0719397-1

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0719397-1

(22) Data do Depósito: 06/12/2007

(43) Data da Publicação do Pedido: 12/06/2008

(51) Classificação Internacional: F25J 3/02; F25J 3/04.

(30) Prioridade Unionista: US 11/634623 de 06/12/2006.

(54) Título: MÉTODO DE SEPARAÇÃO

(73) Titular: PRAXAIR TECHNOLOGY , INC, Companhia Norte Americana. Endereço: 39 Old Ridgebury Road, Danbury, Connecticut, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA(US), 06810-5113

(72) Inventor: HENRY EDWARD HOWARD; RICHARD JOHN JIBB.

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 05/02/2019, observadas as condições legais

Expedida em: 05/02/2019

Assinado digitalmente por:
Liane Elizabeth Caldeira Lage
Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

“MÉTODO DE SEPARAÇÃO”

Campo da invenção

A presente invenção refere-se a um método e aparelho para separar uma mistura gasosa em uma instalação de retificação criogênica na qual a temperatura de uma corrente comprimida da mistura gasosa alimentada em um turboexpansor e usada para fornecer refrigeração à instalação é controlada pela remoção de duas correntes da corrente comprimida a partir do trocador de calor principal da planta, controlando as vazões das duas correntes e então combinação das duas correntes antes de sua introdução no turboexpansor.

Antecedentes da invenção

Há muito tempo é conhecido separar uma variedade de misturas gasosas por meio de retificação criogênica, por exemplo ar pré-aquecido e gás natural. Em tais processos, a mistura gasosa a ser separada é pressurizada, purificada e então refrigerada para uma temperatura apropriada para sua retificação. A retificação da mistura gasosa ocorre dentro de uma ou mais colunas de destilação. Cada das colunas tem elementos de transferência de massa, tais como bandejas ou guarnição, por exemplo, guarnição estruturada, os quais colocam as fases de líquido e vapor da mistura gasosa em contato uma com a outra e efetuam transferência de massa entre as fases de vapor e líquido.

A alimentação de chegada é assim destilada dentro das colunas de destilação ou colunas para formar correntes de componente enriquecidas nos componentes da mistura gasosa. As correntes de componente podem ser tomadas como produtos líquidos ou gasosos e são usadas na refrigeração da mistura gasosa depois de terem sido comprimidas e purificadas até uma temperatura apropriada para a separação da mistura gasosa dentro da coluna ou colunas de destilação. A refrigeração tem lugar através de troca de calor indireta que é conduzida em um trocador de calor principal da instalação.

A fim de minimizar perdas finais de calor no trocador de calor principal e para produzir produtos líquidos, a refrigeração pode ser gerada por meio da expansão de uma corrente comprimida feita da mistura gasosa e da introdução da corrente comprimida em pelo menos uma das colunas em uma
5 instalação.

É também conhecido bombear mecanicamente um produto líquido, por exemplo em separação de ar, uma corrente de produto de fundo de coluna de líquido rico em oxigênio pode ser vaporizada dentro do mesmo trocador de calor principal contra uma liquefação de corrente de ar
10 comprimida provida para tal finalidade.

Dado que os custos de fornecimento de energia para energia elétrica consumida na compressão da alimentação podem variar com a hora do dia, existe um crescente incentivo para se poder manipular xistos de produto de planta e, em particular, taxas de produção de líquido. Por exemplo,
15 instalações de oxigênio de alta pureza são frequentemente projetadas para produzir em qualquer parte até aproximadamente 10 por cento do ar como um produto liquefeito. Existe a necessidade de manipular o fluxo de produtos de forma que, às vezes, menos que a capacidade máxima da instalação é utilizada, por exemplo, operações de instalação nas quais menos que 10
20 por cento do ar é tomado como o produto líquido. A fim de alterar taxas de produção de líquido, é prática convencional ajustar o fluxo de turbina empregado para gerar refrigeração.

Um exemplo disto pode ser encontrado na Patente US N° 5.412.953. Nesta patente, uma instalação de oxigênio líquido bombeado é
25 descrita, na qual a produção de produto líquido é ajustada pelo ajuste do fluxo que vai para o turboexpansor. Este ajuste de fluxo é efetuado por meio da reciclagem de ar do fundo da coluna de pressão mais alta para um compressor que é usado para comprimir o ar para o turboexpansor. Tal operação pode resultar em amplas oscilações em exigências de compressão de ar, as quais

são requeridas para tais finalidades, como vaporização de líquidos de coluna pressurizados. Outra possibilidade de controlar a produção de líquido é variar a relação de expansão do expensor de turbina por meio do aumento ou diminuição pressão da mistura comprimida sendo introduzida no turboexpensor. Isto também pode resultar em problemas de controle na medida em que, quando a pressão é aumentada, a mistura a ser expandida pode ser respeito ao na exaustão da turbina. Em um caso extremo onde entre aproximadamente 10 e aproximadamente 15 por cento a alimentação de processo comprimida devem ser liquefeitos. Em tais situações, a turbina pode apresentar má eficiência e pode incorrer dano em potencial. No outro extremo, quando a pressão é diminuída, a temperatura da corrente expandida aumenta quando a temperatura de entrada de turbina é relativamente fixada pelo projeto do trocador de calor principal. Quando tal aumento está acima da temperatura de saturação da alimentação expandida para a coluna, líquidos dentro da coluna podem se vaporizar, resultando em altos fluxos de vapor locais, perdas de desempenho de separação, e inundação em potencial da coluna.

Na técnica anterior, é conhecido controlar a temperatura de entrada de turboexpensor de uma instalação de separação de ar a fim de prevenir liquefação na exaustão do turbo expensor. Por exemplo, na Patente US Nº 3.355.901, um sistema de controle em cascata é utilizado para assegurar que a exaustão de um turboexpensor usada para fornecer refrigeração para uma instalação de separação de ar esteja aproximadamente na temperatura de saturação ou ligeiramente superaquecida. Nesta patente, vapor quente é dividido em duas correntes. Uma corrente é refrigerada dentro de um trocador de calor contra um gás criogênico produzido no processo de separação de ar e a outra corrente deriva o trocador de calor. As correntes são então combinadas e introduzidas na entrada de um turboexpensor. A temperatura de exaustão de turbina é detectada e um sinal que pode ser

referido a tal temperatura é alimentado como uma entrada no sistema de controle em cascata para controlar uma válvula que, por sua vez, controla fluxo da corrente que é refrigerada dentro do trocador de calor. Todavia, deve ser notado que tal arranjo é para ser usado em uma instalação que não manipula relação de expansão e, como tal, a variação da temperatura de exaustão de turbina é limitada. Ele não poderia ser usado em uma instalação onde pressão e relação de expansão variam substancialmente.

Como será descrito, a presente invenção provê um método e aparelho para separar uma mistura gasosa, em que refrigeração e, por conseguinte, produção de líquido, são variadas por meio de manipulação simultânea de relação de expansão de turbina e temperaturas de entrada. A manipulação simultânea da temperatura de entrada de turboexpansor permite a maior variabilidade de produção de líquido que de outra maneira existiria pela manipulação de relação de expansão de turbina sozinha.

Sumário da Invenção

A presente invenção provê um método de separação no qual uma mistura gasosa comprimida é separada dentro de uma instalação de retificação criogênica por meio de purificação da mistura gasosa comprimida, refrigerando a mistura gasosa comprimida por meio de troca de calor indireta com correntes de componente de mistura depois de ter sido purificada e então, retificação da mistura gasosa dentro de uma unidade de separação. A unidade de separação tem pelo menos uma coluna de destilação para produzir as correntes de componente de mistura.

Pelo menos uma corrente de líquido de produto é descarregada a partir da unidade de separação que é enriquecida em um componente de mistura da mistura gasosa. Pelo menos parte da mistura gasosa depois de refrigeração parcial da mesma durante a troca de calor indireta é dividida em uma primeira corrente subsidiária e uma segunda corrente subsidiária. A primeira corrente subsidiária e a segunda corrente subsidiária são retiradas a

partir da troca de calor indireta em temperaturas mais altas e mais baixas, respectivamente. A primeira corrente subsidiária e a segunda corrente subsidiária depois de retirada a partir da troca de calor indireta são então combinadas para produzir uma corrente combinada. Pelo menos parte da corrente combinada é expandida com o desempenho de trabalho dentro de um turboexpansor para fornecer refrigeração à instalação criogênica. Pelo menos parte de uma corrente de exaustão do turboexpansor é introduzida na unidade de separação. A temperatura da corrente combinada é controlada de forma que a corrente de exaustão está em aproximadamente sua temperatura de saturação por meio do controle das vazões da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária. Aqui, é importante notar que, quando usado aqui e nas reivindicações, o "controle da vazão" não significa que as vazões da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária são necessariamente controladas independentemente. Nos projetos de instalação nos quais toda a corrente combinada é dirigida para um turboexpansor, o controle ativo da vazão de uma de tais correntes controlará das outras das correntes. Nos projetos de instalação nos quais nem toda da corrente combinada é conduzida para o turboexpansor, a vazão de tais correntes poderia ser controlada independentemente.

O controle de temperatura da corrente combinada é vantajoso em qualquer tipo de instalação de separação criogênica e em tais instalações onde um produto líquido pressurizado deve ser vaporizado. A presente invenção, em seu aspecto mais básico, tem uma mais ampla aplicabilidade na medida em que tais instalações de separação criogênicas algumas vezes requerem fina sintonização devida aos imprevisíveis impactos operacionais e ambientais. Por exemplo, se o fluxo para o turboexpansor for mais quente que o esperado, a temperatura de exaustão pode ser mais alta que a esperada, de modo a causar vaporização de líquidos imprevisível e excessiva dentro das colunas de destilação. Tendo isso sendo dito, a presente invenção tem

particular aplicabilidade onde a pressão da pelo menos parte da mistura gasosa comprimida é variada para, por sua vez, variar a refrigeração fornecida pelo turboexpansor e a taxa de produção das correntes de líquido. Em tais casos, o aumento da pressão de entrada de turboexpansão por meio do

5 aumento da pressão da pelo menos parte da mistura gasosa comprimida aumenta a produção de líquido. A diminuição da pressão da pelo menos parte da mistura gasosa comprimida diminui a produção de líquido. Durante a alta produção de líquido, as vazões da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária são controladas de forma que uma vazão da primeira

10 corrente subsidiária é maior que aquela da segunda corrente subsidiária. Durante o modo de produção de líquido baixa, as vazões da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária são controladas de forma que a vazão da primeira corrente subsidiária é menor que aquela da segunda corrente subsidiária.

15 A presente invenção tem particular aplicabilidade na separação de ar. Neste contexto, a mistura gasosa comprimida pode ser composta de ar. Em tal aplicação, as correntes de componente de mistura são as correntes ricas em oxigênio e ricas em nitrogênio e a unidade de separação pode ser uma unidade de separação de ar tendo colunas de destilação de pressões mais

20 altas e mais baixas operativamente associadas uma com a outra em uma relação de transferência de calor para produzir as correntes ricas em oxigênio e ricas em nitrogênio. Consequentemente, a corrente de líquido é enriquecida em um de oxigênio e nitrogênio.

A corrente de líquido pode ser enriquecida em oxigênio e parte

25 da corrente de líquido é bombeada para produzir uma corrente de líquido pressurizada. A corrente rica em oxigênio é formada por meio da corrente de líquido pressurizada e a corrente de líquido pressurizada é vaporizada como um resultado da troca de calor indireta para produzir um produto rico em oxigênio pressurizado. Em tal caso, a mistura gasosa comprimida é dividida

em uma primeira corrente de ar comprimida e uma segunda corrente de ar comprimida antes da troca de calor indireta. A pelo menos parte da mistura gasosa é a primeira corrente de ar comprimida. A segunda corrente de ar, durante a troca de calor indireta, é condensada por meio de troca de calor indireta com a corrente de líquido pressurizada, formando assim uma corrente de ar e líquido. O ar contido dentro da primeira corrente de ar comprimida e a segunda corrente de ar é retificada dentro da unidade de separação de ar.

As vazões da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária podem ser controladas por meio de um primeiro e segundo par de válvulas. Cada par de válvulas contém uma válvula de controle de alto fluxo, mais precisamente, uma válvula que é capaz de medir altas vazões e uma válvula de controle de baixo fluxo, mais precisamente, uma válvula que é capaz de medir vazões muito baixas. Durante o modo de produção de líquido alta, as vazões da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária são respectivamente controladas por meio da válvula de controle de alto fluxo do primeiro par de válvulas e a válvula de controle de baixo fluxo do segundo par de válvulas. Isto é porque a vazão da primeira corrente subsidiária é maior, em tal caso. Como um resultado, a válvula de controle de baixo fluxo do primeiro par de válvulas e a válvula de controle de alto fluxo do segundo par de válvulas são ajustadas em posições fechadas. De forma inversa, durante o modo de produção de líquido baixa, as vazões da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária são respectivamente controladas por meio da válvula de controle de baixo fluxo do primeiro par de válvulas e a válvula de controle de alto fluxo do segundo par de válvulas. A válvula de controle de alto fluxo do primeiro par de válvulas e a válvula de controle de baixo fluxo do segundo par de válvulas são ajustadas nas posições fechadas.

A corrente de exaustão pode ser introduzida em uma região de fundo de uma coluna de pressão mais alta. A corrente de ar e líquido pode ser

dividida em primeira e segunda porções e expandida por válvula para dentro das colunas de pressão mais alta e mais baixa, respectivamente.

Uma corrente de topo de coluna rica em nitrogênio da coluna de pressão mais alta pode ser respeito ao contra vaporização de produto de fundo de coluna ricos em oxigênio da coluna de pressão mais baixa. Isto produz primeira e segunda correntes de refluxo de nitrogênio para refluxar para as colunas de pressão mais alta e mais baixa. A segunda das correntes de refluxo de nitrogênio pode ser subrefrigeradas antes de ser introduzida na coluna de pressão mais baixa por meio de troca de calor com uma corrente de vapor de nitrogênio residual e uma corrente de vapor de nitrogênio de produto que é também removida da coluna de pressão mais baixa. O nitrogênio residual e o nitrogênio de produto são as correntes ricas em nitrogênio que tomam parte na troca de calor indireta, mencionada acima.

Uma corrente de oxigênio líquido bruta formada a partir de produto de fundo de coluna contendo oxigênio das colunas de pressão mais alta pode ser expandida por válvula e introduzida na coluna de pressão mais baixa para retificação, sem ser submetida à troca de calor indireta para refrigerar ainda mais a corrente de oxigênio líquido bruta antes de sua expansão na válvula.

Em outro aspecto, a presente invenção provê um aparelho de separação. De acordo com este aspecto, pelo menos um compressor é provido para comprimir uma mistura gasosa, para produzir assim uma corrente comprimida. Uma unidade de purificação é provida para purificar a corrente comprimida. Um trocador de calor principal é conectado com a unidade de purificação e é provido com passagens de fluxo para submeter a corrente comprimida à troca de calor indireta com correntes de componente de mistura. Uma unidade de separação é provida consistindo de pelo menos uma coluna de destilação para retificar a mistura gasosa. A unidade de separação produz frações de produto consistindo dos componentes de mistura. A

unidade de separação tem pelo menos uma saída de produto líquido e pelo menos uma saída de produto gasoso.

O trocador de calor principal é conectado com a unidade de separação de forma que as correntes de componente de mistura escoam da extremidade fria para a extremidade quente do mesmo. O trocador de calor principal é configurado para descarregar uma primeira corrente subsidiária e uma segunda corrente subsidiária, respectivamente; a primeira corrente subsidiária e a segunda corrente subsidiária sendo constituídas da mistura gasosa. A primeira corrente subsidiária e a segunda corrente subsidiária são descarregadas do trocador de calor principal em temperaturas mais altas e mais baixas, respectivamente.

Um turboexpansor expande pelo menos parte da corrente combinada com o desempenho de trabalho para fornecer refrigeração. A corrente combinada é formada da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária e o turboexpansor é conectado com a unidade de separação de forma que pelo menos parte de uma corrente de exaustão do turboexpansor é introduzida na pelo menos uma coluna de destilação.

Uma rede de controle de fluxo é configurada para misturar a primeira corrente subsidiária e a segunda corrente subsidiária e para formar assim a corrente combinada. A rede de controle de fluxo tem válvulas que controlam vazões da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária e, por conseguinte, a temperatura da corrente combinada, para assegurar que a exaustão do turboexpansor tenha uma temperatura de saída pelo menos aproximadamente igual à temperatura de saturação.

Como indicado acima, a mistura gasosa pode ser ar e a corrente comprimida pode, por conseguinte, ser uma corrente de ar comprimida. As correntes de componente de mistura em uma tal aplicação da presente invenção são correntes ricas em oxigênio e ricas em nitrogênio e a unidade de separação pode ser uma unidade de separação de ar tendo colunas

de destilação de pressões mais altas e mais baixas operativamente associadas uma com a outra em uma relação de transferência de calor, para produzir assim as correntes ricas em oxigênio e ricas em nitrogênio. O turboexpansor é conectado com a unidade de separação de ar de forma que pelo menos parte da exaustão do turboexpansor é introduzida nas colunas de destilação de pressão mais alta ou na de pressão mais baixa.

Uma bomba pode ser provida para pressurizar parte da corrente de líquido para produzir uma corrente de líquido pressurizada. A bomba é em comunicação de fluxo com a unidade de separação e o trocador de calor principal de forma que a corrente de líquido pressurizada se vaporiza como um resultado da troca de calor indireta para produzir um produto gasoso pressurizado. A corrente de ar comprimida é uma primeira corrente de ar comprimida e o pelo menos um compressor é parte de um sistema de compressão.

O sistema de compressão é provido com um compressor de carga de base. Um compressor reforçador carregado a turbina é também provido em comunicação de fluxo com o compressor de carga de base e operativamente associado com o turboexpansor para pelo menos ser parcialmente acionado pelo trabalho do turboexpansor. Um primeiro compressor é conectado com o compressor reforçador carregado a turbina e a primeira corrente de ar comprimida é assim produzida por meio do compressor reforçador carregado a turbina e o primeiro compressor. Adicionalmente, um segundo compressor é provido em comunicação de fluxo com o compressor de carga de base para produzir a segunda corrente de ar comprimida. O segundo compressor está também em comunicação de fluxo com o trocador de calor principal e o trocador de calor principal está também em comunicação de fluxo com a unidade de separação de ar de forma que a segunda corrente de ar comprimida é submetida à troca de calor indireta causando com que a vaporização da corrente de líquido pressurizada e da

segunda corrente de ar comprimida se liquefaça, para formar assim uma corrente de ar e líquido e a corrente de ar e líquido é introduzida na unidade de separação de ar.

O primeiro compressor pode ser provido com palhetas de guia de entrada ou o sistema de compressão pode ser provido com uma linha de derivação tendo uma válvula de fechamento para derivar o primeiro compressor quando a válvula de fechamento é ajustada em uma posição aberta. Isto permite que a pressão da segunda corrente de ar seja variada para, por sua vez, variar a refrigeração fornecida pelo turboexpansor e, por conseguinte, produzir a corrente de líquido.

As válvulas da rede de controle de fluxo podem incluir um primeiro par e um segundo par de válvulas conectados com o trocador de calor principal e cada par contendo uma válvula de controle de alto fluxo e uma válvula de controle de baixo fluxo. Durante o modo de produção de líquido alta, as vazões da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária são respectivamente controladas por meio da válvula de controle de alto fluxo do primeiro par de válvulas e a válvula de controle de baixo fluxo do segundo par de válvulas. Durante tal momento, a válvula de controle de baixo fluxo do primeiro par de válvulas e a válvula de controle de alto fluxo do segundo par de válvulas são ajustadas em posições fechadas. Durante o modo de produção de líquido baixa, as vazões da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária são controladas por meio da válvula de controle de baixo fluxo do primeiro par de válvulas e a válvula de controle de alto fluxo do segundo par de válvulas. Neste instante, a válvula de controle de alto fluxo do primeiro par de válvulas e a válvula de controle de baixo fluxo do segundo par de válvulas são ajustadas em posições fechadas. Adicionalmente, a rede de controle de fluxo é provida com um misturador ou dispositivo similar interposto entre o primeiro e segundo par de válvulas e o turboexpansor para misturar a primeira corrente subsidiária e a segunda

corrente subsidiária.

Em adição, o turboexpansor pode ser conectado com uma seção de fundo da coluna de pressão mais alta e o trocador de calor principal pode ser conectado com a unidade de separação de ar de forma que primeira e segunda porções da corrente de ar e líquido são introduzidas nas colunas de pressão mais alta e mais baixa. Válvulas de expansão são posicionadas entre o trocador de calor principal e as colunas de pressão mais alta e mais baixa de forma que a primeira e segunda porções são expandidas a válvula para as pressões mais altas e mais baixas das colunas de pressão mais alta e mais baixa.

Adicionalmente, como também discutido acima com respeito ao método, um condensador-refervedor pode ser operativamente associado com as colunas de pressão mais alta e mais baixa de forma que uma corrente de topo de coluna rica em nitrogênio das colunas de pressão mais alta pode ser liquefeita contra vaporização de produto de fundo de coluna ricos em oxigênio da coluna de pressão mais baixa para produzir primeira e segunda correntes de refluxo de nitrogênio para refluxar às colunas de pressão mais alta e mais baixa. Um subrefrigerador pode ser provido para subrefrigerar a segunda das correntes de refluxo de nitrogênio antes de ser introduzida na coluna de pressão mais baixa. O subrefrigerador é configurado para subrefrigerar a segunda da corrente de vapor de nitrogênio e de uma corrente de vapor de nitrogênio de produto retirada da coluna de pressão mais baixa. O subrefrigerador é conectado com o trocador de calor principal de forma que as correntes de nitrogênio de resíduo e de produto são, por conseguinte, as correntes ricas em nitrogênio que tomam parte na troca de calor indireta dentro do trocador de calor principal.

Um conduto pode conectar a região de fundo da coluna de pressão mais alta com um local intermediário da coluna de pressão mais baixa para introduzir uma corrente de oxigênio líquido bruta formada a partir do

produto de fundo de coluna contendo oxigênio da colunas de pressão mais alta para dentro das colunas de pressão mais baixa para retificação. Uma outra válvula de expansão é posicionada dentro do conduto para expandir a corrente de oxigênio líquido bruta para uma pressão compatível da coluna de pressão mais baixa em seu ponto de introdução.

Breve Descrição dos Desenhos

Embora a descrição conclua com reivindicações destacando distintamente a matéria que as depositantes consideram como sua invenção, acredita-se que a invenção será melhor entendida quanto tomada em conjunção com os desenhos acompanhantes, nos quais:

a figura 1 é uma vista esquemática de uma instalação de separação de ar para executar um método de acordo com a presente invenção;

a figura 2 é uma vista em elevação de um trocador de calor principal empregado na instalação de separação de ar ilustrada na figura 1;

a figura 3 é uma forma de realização alternativa da figura 3;

a figura 4 é uma forma de realização alternativa da figura 3;

a figura 5 é uma forma de realização alternativa da figura 3;

a figura 6 é uma vista seccional da figura 5 tomada ao longo da linha 6-6 da mesma; e

a figura 7 é uma vista seccional da figura 5 tomada ao longo da linha 7-7 da mesma.

Descrição Detalhada

Com referência à figura 1, uma instalação de separação de ar 1 é ilustrada para fins de exemplo. Como indicado acima, a presente invenção, em seus aspectos mais amplos, tem igual aplicação em outros processos de separação, por exemplo, aqueles que envolvem gás natural.

A instalação de separação de ar 1 inclui um sistema de compressão 10 para comprimir o ar para pressões apropriadas para sua retificação dentro de uma unidade de separação de ar 12 tendo uma coluna de

pressão mais alta 14 e a coluna de pressão mais baixa 16. A retificação do ar separa os componentes do ar em frações ricas em oxigênio e ricas em nitrogênio que são extraídas como correntes ricas em oxigênio e correntes ricas em nitrogênio que são introduzidas em um trocador de calor principal 18 para trocar calor indiretamente do comprimida ar para as correntes ricas em oxigênio e ricas em nitrogênio e refrigerar assim o ar comprimido para uma temperatura apropriada para sua retificação. Como ocorreria para aqueles versados na arte, em outros processos de separação, uma alimentação, tal como gás natural, poderia ser obtida com pressão, dispensando assim a necessidade de compressão dentro da instalação propriamente dita.

Tendo sido brevemente descrita a instalação de separação de ar 1, uma descrição mais detalhada começa com o sistema de compressão 10. O sistema de compressão 10 inclui um compressor de carga de base 20 para comprimir uma corrente de ar de entrada 22 para uma pressão que pode estar dentro da faixa de entre aproximadamente 5 e aproximadamente 15 bar absolutos ("bara"). O compressor 20 pode ser um compressor de engrenagens integrais inter-refrigerado com remoção de condensado.

A resultante corrente de ar comprimida 24 é então dirigida para uma unidade de pré-purificação 26 que pode compreender várias operações de unidade, como conhecido na arte, incluindo: refrigeração de água direta; resfriamento baseado em refrigeração; contato direto com água resfriada; separação de fase e/ou adsorção dentro de leitos adsorventes operando fora de fase contendo, tipicamente, um adsorvente de alumina. A unidade de pré-purificação 26 produz uma corrente comprimida purificada 28 que tem um teor muito baixo de contaminantes de alto ponto de ebulição, tais como água e dióxido de carbono que poderiam de outra maneira se congelar dentro do trocador de calor principal 18 e hidrocarbonetos que poderiam se acumular dentro da unidade de separação de ar 12 e apresentar um risco à segurança.

A corrente de ar comprimida purificada 28 é dividida nas correntes 30 e 32. Corrente 30 é submetida a uma outra compressão dentro de um compressor reforçador carregado a turbina 34 que é operativamente associado com um turboexpansor 36 para recuperar algum do trabalho de expansão na operação do compressor reforçador 34. A corrente 38 é produzida por meio da compressão que pode ter uma pressão que pode ser tipicamente entre aproximadamente 15 e aproximadamente 20 bara. A corrente 38 é então ainda comprimida por meio de um compressor 40 para produzir uma primeira corrente de ar comprimida 42 tendo a pressão de entre aproximadamente 20 e aproximadamente 60 bara.

A corrente 32 pode constituir entre aproximadamente 25 por cento e aproximadamente 35 por cento da corrente de ar comprimida purificada 28 e é ainda comprimida dentro de um compressor 44 para produzir uma segunda corrente de ar comprimida 46 tendo uma pressão de entre aproximadamente 25 e aproximadamente 70 bara.

Como será discutido, a primeira corrente de ar comprimida 42, depois de ter sido refrigerada e submetida ao controle de temperatura de acordo com a presente invenção, é introduzida no turboexpansor 36. Um exaustão do turboexpansor 36, corrente de exaustão 48, é introduzido em uma região de fundo 50 da coluna de pressão mais alta 14. A segunda corrente de ar comprimida 46, como será discutido, se condensa dentro de trocador de calor principal 18 contra a vaporização de um produto pressurizado para produzir uma corrente de ar e líquido 52 que é expandida por válvula dentro de uma válvula de expansão 54 para uma pressão apropriada para sua entrada na coluna de pressão mais alta 14 para produzir uma corrente de líquido de pressão reduzida 56. A este respeito, a coluna de pressão mais alta 14 pode operar na pressão de entre aproximadamente 5 e aproximadamente 6 bara. Uma primeira porção 58 de corrente de líquido de pressão reduzida 56 é introduzida na coluna de pressão mais alta 14 e uma segunda porção 60 de

corrente de líquido de pressão reduzida 52, depois de ter sido expandida em uma válvula de expansão 62 para uma pressão apropriada para sua introdução na coluna de pressão mais baixa 16, é então introduzida na coluna de pressão mais baixa 16 como a corrente 63. A este respeito, a coluna de pressão mais baixa 16 pode operar a uma pressão de entre aproximadamente 1,1 e 1,4 bara.

A coluna de pressão mais alta 14 é provida com elementos de transferência de massa 64 e 68, ilustrados esquematicamente, que podem ser de guarnição estruturada. O vapor introduzido através da corrente de exaustão 48 inicia uma fase de vapor ascendente que contata uma fase de líquido descendente que desce dentro de elementos de transferência de massa 64 e 68. Adicionalmente, a primeira porção 58 de corrente de líquido de pressão reduzida 56 desce dentro do elemento de guarnição 64 e o vapor desprendido irá ascender através de um elemento de guarnição 68. Quando o vapor ascende dentro de coluna de pressão mais alta 14, ele se torna cada vez mais rico nos componentes mais leves do ar, mais precisamente, nitrogênio, e quando o líquido desce dentro da coluna de destilação de pressão mais alta 14, o líquido se torna cada vez mais rico nos componentes mais pesados do ar, mais precisamente, oxigênio, para produzir uma corrente de produto de fundo de coluna de oxigênio líquido bruto 82 que se acumula dentro de região de fundo 50 da coluna de destilação 14.

Uma corrente de topo de coluna rica em nitrogênio 70 é introduzida em um condensador-refervedor 72 posicionado dentro do fundo da coluna de pressão mais baixa 16 onde ele vaporiza algum do líquido rico em oxigênio do produto de fundo de coluna 74 que se acumula dentro da coluna de destilação de pressão mais baixa 16 em virtude da destilação que ocorre dentro de tal coluna. Isto produz uma corrente de nitrogênio líquido 76 que é dividida em primeira e segunda correntes de refluxo de nitrogênio 78 e 80 para refluxar às colunas de pressão mais alta e mais baixa 14 e 16, respectivamente. O refluxo provido na coluna de pressão mais alta 14 em

virtude da primeira corrente de refluxo de nitrogênio 78 inicia a formação da fase de líquido descendente. Uma corrente de oxigênio líquido bruta 82, composta do produto de fundo de coluna de oxigênio líquido bruto dentro de coluna de pressão mais alta 14 é expandida por válvula dentro de uma válvula de expansão 84 para a pressão de coluna de pressão mais baixa 16 e é introduzida na coluna de pressão mais baixa 16 como a corrente 85. A segunda corrente de refluxo de nitrogênio 80 é subrefrigerada dentro de uma unidade de subrefrigeração 86 para formar a corrente 88 para refluxar à coluna de pressão mais baixa 16. Toda ou uma porção da corrente 88 pode ser introduzida na coluna de pressão mais baixa 16 como uma corrente 89 depois da passagem através da válvula 87. Uma porção de corrente 88 pode ser tomada como um produto líquido 102 e direcionada para armazenagem apropriada (não mostrada).

A coluna de pressão mais baixa 16 é provida com elementos de contato de transferência de massa 90, 92, 94 e 96 que contatam fases de líquido e vapor dentro de coluna de pressão mais baixas 16 para produzir os produtos de fundo de coluna líquidos, ricos em oxigênio, 74, uma corrente de vapor de produto de nitrogênio 98 e uma corrente de vapor de nitrogênio residual 100 que são passadas para dentro da unidade de subrefrigeração 86 para subrefrigerar a segunda corrente de refluxo de nitrogênio 80.

Uma corrente de líquido rico em oxigênio 104 composta dos produtos de fundo de coluna líquidos, ricos em oxigênio, 74 pode ser pressurizada por meio de uma bomba 106 para produzir uma corrente de oxigênio líquido pressurizada 108. Parte da corrente de oxigênio líquido pressurizada 108 é vaporizada dentro de trocador de calor principal 18. Como ilustrado, uma corrente de produto de oxigênio líquido pressurizada 109 pode ser tomada como um produto. Em tal caso, o remanescente, a corrente 110, é vaporizado dentro do trocador de calor principal 18 para produzir uma corrente de produto de oxigênio pressurizada 111 que pode ser tomada como

um produto de oxigênio de alta pressão. Adicionalmente, a corrente de nitrogênio residual 100 pode também ser aquecida no trocador de calor principal 18 para formar corrente residual 112, e corrente de vapor de nitrogênio de produto 98 pode ser aquecida dentro de trocador de calor principal 18 para formar uma corrente de produto enriquecido em nitrogênio 113. Passes de troca de calor 114', 115', 116' e 117' são providos dentro de trocador de calor principal 18 para as finalidades que foram delineadas acima, e passes 18, que serão discutidos em maior detalhe a seguir para refrigerar a primeira corrente de ar comprimida 42.

De acordo com a presente invenção, a produção de líquido de instalação de separação de ar 1, mais precisamente a corrente de produto de oxigênio líquido pressurizada 109 e a corrente de produto de nitrogênio líquido 102 são variadas por meio da variação da pressão na primeira corrente de ar comprimida 42. Esta variação em pressão pode ser efetuada por meio de uma linha de derivação 122 tendo uma válvula 124 que pode ser ajustada em uma posição aberta e fechada para controlar a derivação por ou permitir fluxo dentro de linha de derivação 122 ou corte do fluxo para linha de derivação 122. Alternativamente, a linha 122 pode ser configurada para recirculação do compressor 40. Adicionalmente, em lugar da linha de derivação 122, o compressor 40 poderia ser provido com palhetas de entrada variável para variar a pressão da primeira corrente de ar comprimida 42.

Durante um modo de produção de líquido alta, se a pressão da primeira corrente de ar comprimida 42 for aumentada, existirá mais refrigeração produzida e mais líquido, por conseguinte, será produzido. De forma inversa, se a pressão da primeira corrente de ar comprimida 42 for reduzida, existirá menos refrigeração produzida por meio do turboexpansor 36 e, por conseguinte, uma diminuição em produção de líquido.

Todavia, em modos de produção de líquido alta, a primeira corrente de ar comprimida 42 pode ser parcialmente liquefeita devido à sua

alta pressão e à refrigeração dentro de trocador de calor principal 18. O controle de temperatura da corrente de entrada para o turboexpansor 36 é realizado por meio da configuração do trocador de calor principal para descarregar a primeira corrente subsidiária 126 e a segunda corrente subsidiária 128 em uma temperatura mais alta e mais baixa para, por vez, controlar a temperatura da corrente alimentada à entrada do turboexpansor 36. A fim de controlar a temperatura na entrada do turboexpansor 36, pares de válvulas de controle 130 e 134 são providos. O primeiro par de válvulas de controle 130 tem uma válvula de controle de alto fluxo 136 e uma válvula de controle de baixo fluxo 138. Similarmente, o segundo par de válvulas de controle de fluxo tem uma válvula de controle de alto fluxo 140 e uma válvula de controle de baixo fluxo 142. Estas válvulas são denominadas "alto fluxo" e "baixo fluxo" em um sentido comparativo. Por exemplo, uma válvula de "alto fluxo" é uma válvula onde a vazão volumétrica é qualquer uma desde aproximadamente 10 e aproximadamente 100 vezes aquela de uma válvula de "baixo fluxo". Todavia, o dimensionamento das válvulas de controle de alto fluxo em relação às válvulas de controle de baixo fluxo dependeria de uma aplicação específica da presente invenção. Fisicamente, as válvulas de baixo fluxo são assim unidades muito menores que as válvulas de controle de alto fluxo.

Durante o modo de produção de líquido alta, a válvula de controle de alto fluxo 136 está controlando o fluxo da parte predominante do fluxo contido dentro da primeira corrente subsidiária 126. A válvula de controle de baixo fluxo 138 estará em uma posição fechada. Adicionalmente, a válvula de controle de alto fluxo 140 também estará fechada e a válvula de controle de baixo fluxo 142 estará aberta para controlar o fluxo da segunda corrente subsidiária 128 que estará ou em uma fase densa ou em uma fase líquida. No modo de produção de líquido baixa, agora a maior parte do fluxo vai com segunda corrente subsidiária 128. Assim, a válvula de controle de

alto fluxo 136 é ajustada na posição fechada e a válvula de controle de baixo fluxo 138 é ajustada na posição aberta. Similarmente, a válvula de controle de alto fluxo 140 agora controla o fluxo da segunda corrente subsidiária 128 e a válvula de controle de baixo fluxo 142 é ajustada na posição fechada.

5 O fluxo da primeira corrente subsidiária 126 e da segunda corrente subsidiária 128 são então combinados dentro de um misturador 144 para produzir uma corrente combinada 146 que pode ser introduzida na entrada do turboexpansor 36 em uma temperatura controlada.

Como indicado acima, o controle de temperatura da corrente combinada 146 é provido em uma maneira que assegura que a corrente de exaustão de turbina 48 não seja substancialmente liquefeita ou, em outras palavras, tem um teor de líquido que não é maior que aproximadamente 5 por cento. Mais preferivelmente, a corrente de exaustão permanecerá na ou próxima à temperatura de vapor de saturação. Do ponto de vista da coluna
10 operação, variações acima da temperatura de saturação podem agora ser efetivamente limitadas para menores que aproximadamente 20°C. Portanto, o termo "aproximadamente", quando usado aqui e nas reivindicações em conexão com a temperatura de vapor de saturação significa uma temperatura que não é mais baixa que a temperatura na qual mais que
15 aproximadamente 5 por cento de liquefação está na exaustão de turboexpansor e não mais alta que a temperatura que resultará em um superaquecimento da exaustão além de aproximadamente 20°C. A fim de realizar isto, o controle de válvulas de controle de alto e baixo fluxos 136, 138, 140 e 142 poderia ser ajustado em posições pré-especificadas para
20 obter uma temperatura controlada de corrente combinada 146. Mais preferivelmente, controle de circuito fechado será empregado. Em uma tal proposta, a temperatura da corrente 146 é mantida por meio da detecção da temperatura de corrente combinada 146 e comparando seu valor com um valor/ponto de ajuste predeterminado e ajustando as posições das válvulas
25

136, 138, 140 e 142 correspondentemente. Tal controle é frequentemente referido como controle de PID (controle proporcional, integral e derivado), como é bem conhecido na técnica de engenharia de processo. Alternativamente, uma diferença de temperatura entre corrente de exaustão 48 e corrente 82 poderia também ser monitorada. As válvulas-objeto seriam então manipuladas para controlar a temperatura de saída da turbina em resposta. Na realização disto, o superaquecimento de turbina é mantido em alguma proposta predeterminada na saturação.

10 }A tabela abaixo representa um exemplo calculado, gerado por
 meio de uma simulação de processo de estado estável que ilustra
 características-chave operacionais de instalação de separação de ar durante
 períodos tanto da produção de líquido alta quanto da produção de líquido
 baixa. Neste exemplo, corrente de oxigênio gasoso 111 é produzida a partir do
 processo em uma pressão de 30 bara. A coluna de pressão mais alta 14 opera
 15 em 5,2 bara. Ainda, neste exemplo, todo do fluxo de expansão de corrente 30
 passa através do expensor 36 e para dentro da coluna 14. As temperaturas da
 primeira e da segunda correntes subsidiárias 126 e 128 foram obtidas por
 meio de uma rigorosa solução para um projeto de trocador de alumínio
 soldado com solda forte, fixo, tal como aquele ilustrado na figura 2 e descrito
 20 em mais detalhe em seguida. Na inicialização do modo de produção de
 líquido alta, a segunda corrente subsidiária em saída 128 está em um estado
 substancialmente liquefeito.

Tabela		
Condições de corrente e operacionais	Produção de líquido baixa	Produção de líquido alta
RELAÇÃO DE PRESSÃO DE EXPANSÃO de corrente 146 e corrente de exaustão de turbina 48, combinadas.	3,0	8,6
FRAÇÃO DE FLUXO DE PRODUTO LIQUIDO (a soma de vazões de correntes de produto líquido 102 e 109 dividida pela vazão de toda a corrente de ar de entrada 22)	0,034	0,106
SEGUNDA FRAÇÃO DE FLUXO SUBSIDIÁRIO da segunda corrente subsidiária 128 para a corrente 30	0,989	0,004

TEMPERATURA DA PRIMEIRA CORRENTE SUBSIDIÁRIA 126	- 100,6	-93,4
TEMPERATURA DA segunda CORRENTE SUBSIDIÁRIA 128	-133,4	-133,8
SUPERAQUECIMENTO DA CORRENTE DE EXAUSTÃO DE TURBINA (em graus centígrados)	9,5	1,3

Uma simulação do processo em lide em uma instalação, tal como instalação de separação de ar 1, em que o trocador de calor é projetado da maneira convencional (para o modo de produção de líquido baixa e sem controle de temperatura para a entrada do turboexpansor) resulta na exaustão de turbina (corrente 48) exibir uma fração de líquido de aproximadamente 30 por cento. De um ponto de vista termodinâmico, a relação de trabalho de turbina para fluxo da proposta convencional seria 45 por cento menor que aquela que pode ser atingida através da aplicação da invenção revelada. Em outras palavras, o potencial de refrigeração da mesma relação de expansão é grandemente melhorada através da presente invenção.

É entendido que toda a corrente combinada 146 não precisa prosseguir para o expansor 36. Se desejado, uma porção de corrente combinada 146 pode ser dirigida de volta para o trocador de calor principal 18 para outra refrigeração e liquefação e alimentação na unidade de separação de ar 12. Similarmente, nem toda da corrente de exaustão 48 precisa ser dirigida para a unidade de separação de ar 12. Por exemplo, uma porção da exaustão de turbina 48 poderia ser recirculada para o compressor 20 ou a saída da unidade de pré-purificação 26. Adicionalmente, a corrente de exaustão 48 poderia ser introduzida na coluna de destilação de baixa pressão 16. Em tal caso, uma porção da corrente poderia ser dirigida para a corrente residual ou aquecida e então ventilada. Embora não ilustrado, a presente invenção é igualmente aplicável a instalações de separação de ar que empregam diferentes configurações que aquelas ilustradas na figura 1. Por exemplo, a presente invenção tem aplicação em instalações de separação de ar nas quais não existe nenhum bombeamento de líquido da corrente de produto ou nas

quais todo do líquido enriquecido com oxigênio é tomado como um produto e nenhum vaporizado. No caso da instalação que não emprega bombeamento de líquido, não existiria nenhuma corrente de ar comprimido, tal como segunda corrente de ar comprimido 46 e o aparelho associado com a produção e refrigeração de tal corrente. Mesmo onde existe vaporização de uma corrente de produto dentro de um trocador de calor principal, as correntes que emanam da compressão de carga de base, tais como as 30 e 32, poderiam ser comprimidas para aproximadamente a mesma pressão nominal com a pressão de uma das correntes sendo introduzida em um turboexpansor variada para variar a produção de líquido juntamente com um controle de temperatura, como provido aqui. Como também indicado acima, a presente invenção tem aplicação em outras instalações de separação criogênicas que não envolvem a separação de ar.

Com referência à figura 2, o trocador de calor 18 é ilustrado em mais detalhe. Como seria entendido por aqueles versados na arte, o trocador de calor 18 é orientado em uma posição vertical e pode ser um trocador de calor do tipo de placa-aleta que tem múltiplas camadas de placas definindo passagens de fluxo com aleta para definir os passes de troca de calor 114, 115, 116 e 117 e efetuar assim a troca de calor em uma maneira conhecida na arte. A este respeito, a segunda corrente de ar comprimida 46 é introduzida em um coletor de entrada 150 e a corrente de ar e líquido 52 é descarregada a partir do coletor de saída 152. O fluxo de tais correntes é através do comprimento inteiro do trocador de calor 18 e entre passagens com aleta de fluxo posicionadas entre placas. Similarmente, corrente de nitrogênio residual 100 também escoar pelo comprimento inteiro do trocador de calor 18 e é introduzida através de um coletor de entrada 154 e é descarregada como corrente residual 112 a partir de um coletor de saída 156. A corrente de produto de vapor de nitrogênio 98 é introduzida em um coletor de entrada 158 e é descarregada a partir de um coletor de saída 160 como corrente de produto

enriquecido em nitrogênio 113. Uma corrente enriquecida em oxigênio líquido bombeada 110 é introduzida em um coletor de entrada 159 e é descarregada como a corrente de produto de oxigênio pressurizada 111 a partir do coletor 161.

5 A primeira corrente de ar comprimida 42 é introduzida no trocador de calor 18 através de um coletor de entrada 162 e é redirecionada por meio de aletas de distribuição 163 para escoar em uma direção do comprimento do trocador de calor 18 e através de uma passagem com aleta 164. Depois de atravessar parcialmente o comprimento do trocador de calor
10 18, o fluxo é então redirecionado por meio das aletas de distribuição 165 e é descarregado através de um coletor de saída 166 como a corrente 167. Parte de tal corrente 167 é descarregada a partir do coletor de saída 166 como a corrente 168 que é então reintroduzida no trocador de calor 18 através de um coletor de entrada 169 e uma parte remanescente de corrente 167 forma a
15 primeira corrente subsidiária 126. A corrente 168 é então redirecionada por meio das aletas de distribuição 170 para escoar na direção do comprimento do trocador de calor 18 através de uma passagem com aleta 171. Depois de ter sido ainda mais refrigerada por meio do atravessamento parcial pelo trocador de calor 18 através da passagem com aleta 171, a corrente 168 é então
20 redirecionada novamente por meio das aletas de distribuição 172 e é descarregada através de um coletor de saída 173 como corrente 128. Deve ser notado que, como poderia também ser apreciado por aqueles versados na arte, as camadas de passagens com aleta 164 e 171 formam assim os passes de troca de calor, designados na figura 1 por meio do número de referência 118, para primeira corrente de ar comprimida 42 que são usadas na formação da
25 primeira corrente subsidiária 126 e na segunda corrente subsidiária 128.

Com referência à figura 3, em uma forma de realização alternativa do trocador de calor principal 18, um trocador de calor principal 18' é provido com um coletor de saída 166 e coletor de entrada 169 que

poderiam ser colocados um oposto ao outro. Em tal caso, as aletas de distribuição 165 e 170 são substituídas por um arranjo de aletas de distribuição 165' e 170' que são separadas por meio de uma partição diagonal para dividir o fluxo.

5 Com referência à figura 4, em uma forma de realização alternativa de trocador de calor 18, um trocador de calor 18" é provido com uma seção de aleta de via dura 165'. Uma seção de aleta de via dura é uma seção de aleta arranjada para produzir uma resistência ao fluxo principal paralela à direção de fluxo que é maior que a resistência ao fluxo perpendicular à direção de fluxo. Quando a válvula 136 é aberta, esta atua para dividir o fluxo de forma que a primeira corrente subsidiária 126 é descarregada do coletor de saída 167' a uma vazão maior que uma porção remanescente da corrente que escoar dentro da passagem com aleta 164. A porção remanescente então escoar através da passagem com aleta 171 e é então redirecionada por meio de aletas de distribuição 172 para o coletor de saída 173 como segunda corrente subsidiária 128 que é ainda refrigerada devido ao seu atravessamento continuado do trocador de calor 18'.

Com referência à figura 5, um trocador de calor 18''' é apresentado como uma forma de realização alternativa para o trocador de calor 18. Com referência adicional às figuras 7 e 8, uma camada de aletas de distribuidor 165" é provida para redirecionar o fluxo a partir da passagem com aleta 164 para o coletor de saída 166. A corrente 168 entra no coletor de entrada 169 e então escoar através de aletas de distribuidor 170' para ser redirecionada para a passagem com aleta 171 para descarga a partir do coletor de descarga 173 como segunda corrente subsidiária 128. As aletas 165" e 170' têm uma altura que é aproximadamente metade da altura de passagem principal. Elas são colocadas no topo uma da outra com uma placa de divisão entre elas. Desta maneira, a distribuição de entrada e saída pode ser atingida em um menor volume, embora a queda de pressão que incorreu será mais alta

(como um resultado da redução da área de fluxo pela metade).

Embora a invenção tenha sido descrita com referência à forma de realização preferida, como será entendido por aqueles versados na arte, inúmeras alterações e adições podem ser feitas sem fugir do espírito e do

5 escopo da presente invenção como mencionada nas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de separação, compreendendo:

separar uma mistura gasosa comprimida dentro de uma instalação de retificação criogênica por meio de purificação da mistura gasosa comprimida (24) refrigerando a mistura gasosa por meio de troca de calor indireta com correntes de componente de mistura (114, 115, 116) depois de ter sido purificada e retificada dentro de uma unidade de separação tendo pelo menos uma coluna para produzir as correntes de componente de mistura;

descarregar uma corrente de líquido (102, 104) a partir da unidade de separação (12) enriquecida em um componente de mistura da mistura gasosa; e

parcialmente refrigerar pelo menos parte da mistura gasosa comprimida (24) durante a troca de calor indireta para produzir uma mistura gasosa parcialmente refrigerada, dividindo a mistura gasosa parcialmente refrigerada em uma primeira corrente subsidiária (126), que é retirada a partir da troca de calor indireta em uma temperatura mais alta, e em uma segunda corrente subsidiária (128), que é ainda refrigerada durante a troca de calor indireta e é retirada a partir da troca de calor indireta em uma temperatura mais baixa;

caracterizado pelo fato de que:

combinar a primeira corrente subsidiária (126) e a segunda corrente subsidiária (128) depois de retirada a partir da troca de calor indireta para produzir uma corrente combinada (146);

expandir pelo menos parte da corrente combinada (146) com o desempenho de trabalho dentro de um turboexpansor (36) para fornecer refrigeração para a instalação de retificação criogênica (12) e introduzir pelo menos parte de uma corrente de exaustão (48) do turboexpansor na unidade de separação; e

controlar temperatura da corrente combinada (146) de forma

que a corrente de exaustão (48) está pelo menos em sua temperatura de saturação pelo controle das vazões da primeira e da segunda correntes subsidiárias,

em que a pressão da pelo menos parte da mistura gasosa comprimida (24) é variada para, por sua vez, variar a refrigeração fornecida pelo turboexpansor (36) e da taxa de produção da corrente de líquido de forma que o aumento da pressão da pelo menos parte da mistura gasosa comprimida em um modo de produção de líquido alta aumenta a produção da corrente de líquido e a diminuição da pressão da pelo menos parte da mistura gasosa comprimida em um modo de produção de líquido baixa diminui a produção da corrente de líquido;

durante o modo de produção de líquido alta, as vazões da primeira corrente subsidiária (126) e da segunda corrente subsidiária (128) são controladas de forma que uma vazão da primeira corrente subsidiária é maior que aquela da segunda corrente subsidiária; e

durante o modo de produção de líquido baixa, as vazões da primeira corrente subsidiária e da segunda corrente subsidiária são controladas de forma que a vazão da primeira corrente subsidiária é menor que aquela da segunda corrente subsidiária.

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

a mistura gasosa comprimida (24) é composta de ar;
as correntes de componente de mistura (114, 115, 116) são correntes ricas em oxigênio e ricas em nitrogênio;

a unidade de separação (12) é uma unidade de separação de ar tendo colunas de destilação de pressões mais altas e mais baixas (14, 16) operativamente associadas uma com a outra em uma relação de transferência de calor para produzir as correntes ricas em oxigênio e ricas em nitrogênio; e

a corrente de líquido (102, 104) é enriquecida em um de

oxigênio e nitrogênio.

3. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que:

5 a corrente de líquido (104) é enriquecida em oxigênio e parte da corrente de líquido é bombeada para produzir uma corrente de líquido pressurizada (108);

a corrente enriquecida em oxigênio é formada pela corrente de líquido pressurizada (108) e dita corrente de líquido pressurizada é vaporizada como um resultado da troca de calor indireta para produzir um produto
10 enriquecido em oxigênio pressurizado (111);

a mistura gasosa comprimida (24) é dividida em uma primeira corrente de ar comprimida (30) e uma segunda corrente de ar comprimida (32) antes da troca de calor indireta, a pelo menos parte da mistura gasosa sendo formada pela primeira corrente de ar comprimida;

15 a segunda corrente de ar comprimida (32), durante a troca de calor indireta causa com que a corrente de líquido pressurizada (110) se vaporize e a segunda corrente de ar comprimida se liquefaça, para formar assim uma corrente de ar e líquido (52); e

o ar contido dentro da primeira corrente de ar comprimida (30)
20 e da segunda corrente de ar comprimida (32) é retificado dentro da unidade de separação de ar (12).

4. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que:

as vazões da primeira corrente subsidiária (126) e da segunda
25 corrente subsidiária (128) são controladas por meio de um primeiro par (130) e um segundo par (134) de válvulas, cada contendo uma válvula de controle de alto fluxo (136, 140) e uma válvula de controle de baixo fluxo (138, 142);

durante o modo de produção de líquido alta, as vazões da primeira corrente subsidiária (126) e da segunda corrente subsidiária (128)

são respectivamente controladas por meio da válvula de controle de alto fluxo (136) do primeiro par (130) de válvulas e da válvula de controle de baixo fluxo (142) do segundo par (134) de válvulas, a válvula de controle de baixo fluxo (138) do primeiro par (130) de válvulas e a válvula de controle de alto
5 fluxo (140) do segundo par (134) de válvulas sendo ajustadas em posições fechadas; e

durante o modo de produção de líquido baixa, as vazões da primeira corrente subsidiária (126) e da segunda corrente subsidiária (128) são respectivamente controladas por meio da válvula de controle de baixo
10 fluxo (138) do primeiro par (130) de válvulas e da válvula de controle de alto fluxo (140) do segundo par (134) de válvulas, a válvula de controle de alto fluxo (136) do primeiro par (130) de válvulas e a válvula de controle de baixo fluxo (142) do segundo par (134) de válvulas sendo ajustadas nas posições fechadas.

15 5. Método de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que:

a corrente de exaustão (48) é introduzida em uma região de fundo da coluna de pressão mais alta (14);

a corrente de ar e líquido (52) é dividida em primeira e
20 segunda porções (58, 60) e expandida por válvula para pressões mais alta e mais baixa das colunas de pressão mais alta e mais baixa (14, 16), respectivamente; e

a primeira e segunda porções (58, 60) são introduzidas nas colunas de pressão mais alta e mais baixa (14, 16), respectivamente.

25 6. Método de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que:

uma corrente de topo de coluna rica em nitrogênio (70) da coluna de pressão mais alta (14) é liquefeita contra vaporização em produto de fundo de coluna contendo oxigênio (74) da coluna de pressão mais baixa

(16), para produzir assim primeira e segunda correntes de refluxo de nitrogênio (78, 80) para refluxar à coluna de pressão mais alta e mais baixa (14, 16);

5 a segunda (80) das correntes de refluxo de nitrogênio é subrefrigerada antes de ser introduzida na coluna de pressão mais baixa (16) por trocar calor com uma corrente de nitrogênio líquido residual (100) e uma corrente de vapor de nitrogênio de produto (98) retirada da coluna de pressão mais baixa (16);

10 a corrente de nitrogênio líquido residual (100) e a corrente de vapor de nitrogênio de produto (98) são as correntes enriquecidas em nitrogênio que tomam parte na troca de calor indireta; e

15 uma corrente de oxigênio líquido bruta (82) formada a partir um produto de fundo de coluna contendo oxigênio da coluna de pressão mais alta (14) é expandida por válvula e introduzida na coluna de pressão mais baixa (16) para retificação sem ser submetida à troca de calor indireta para refrigerar ainda mais a corrente de oxigênio líquido bruta antes de a válvula ser expandida.

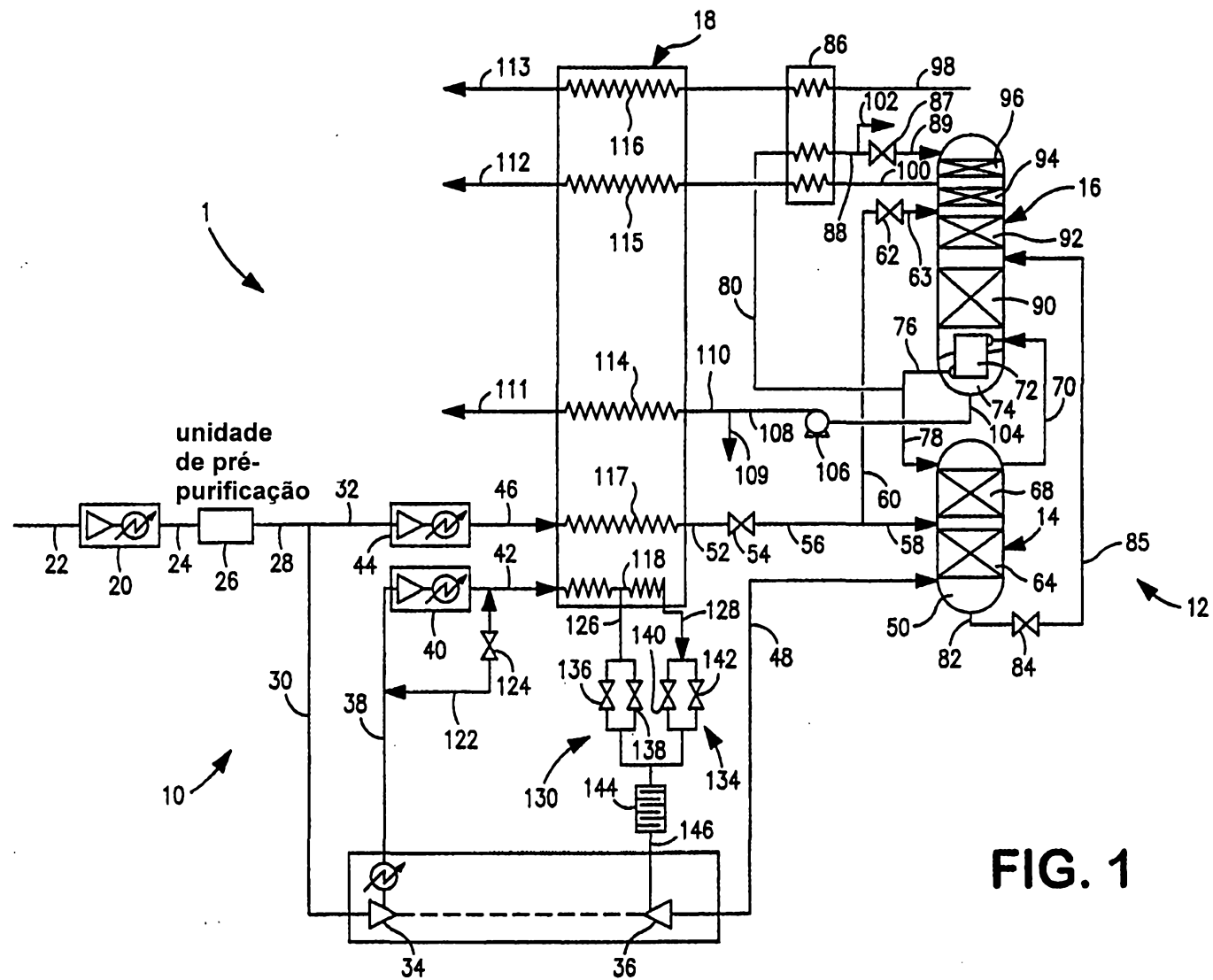


FIG. 1

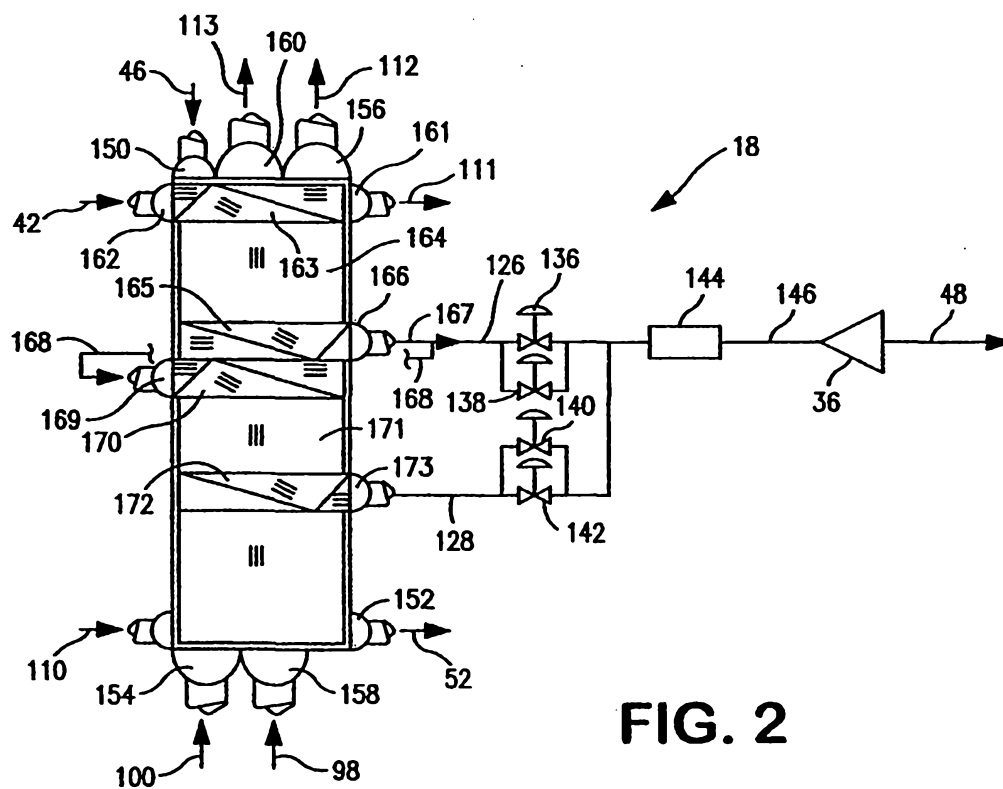


FIG. 2

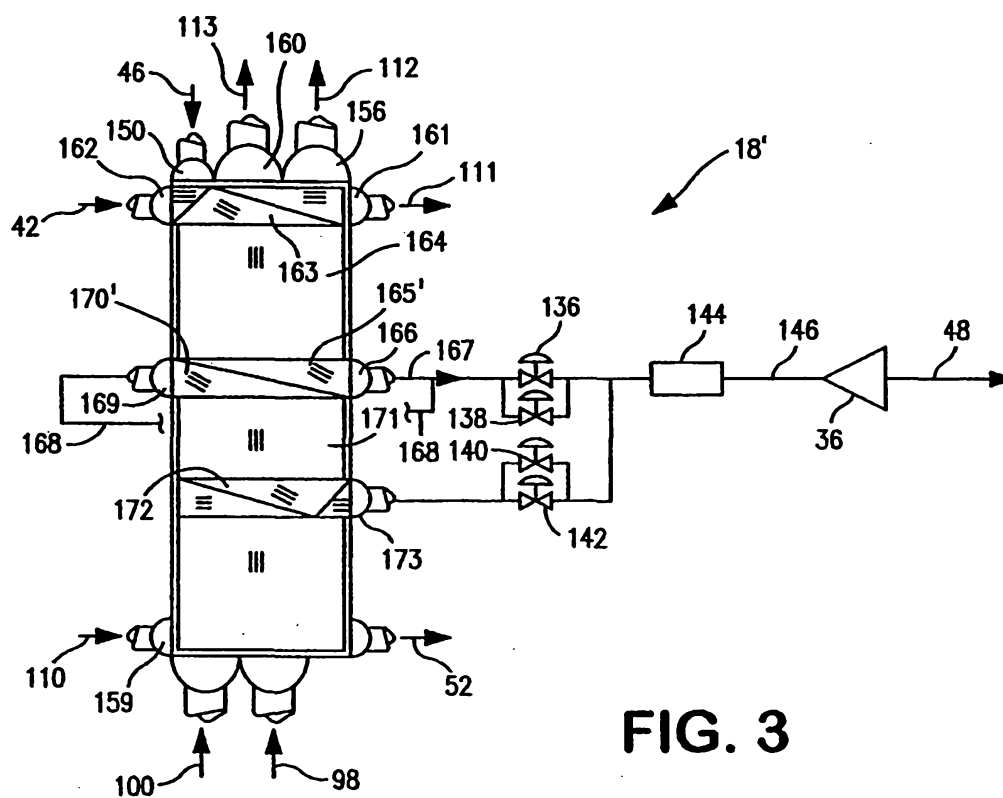


FIG. 3

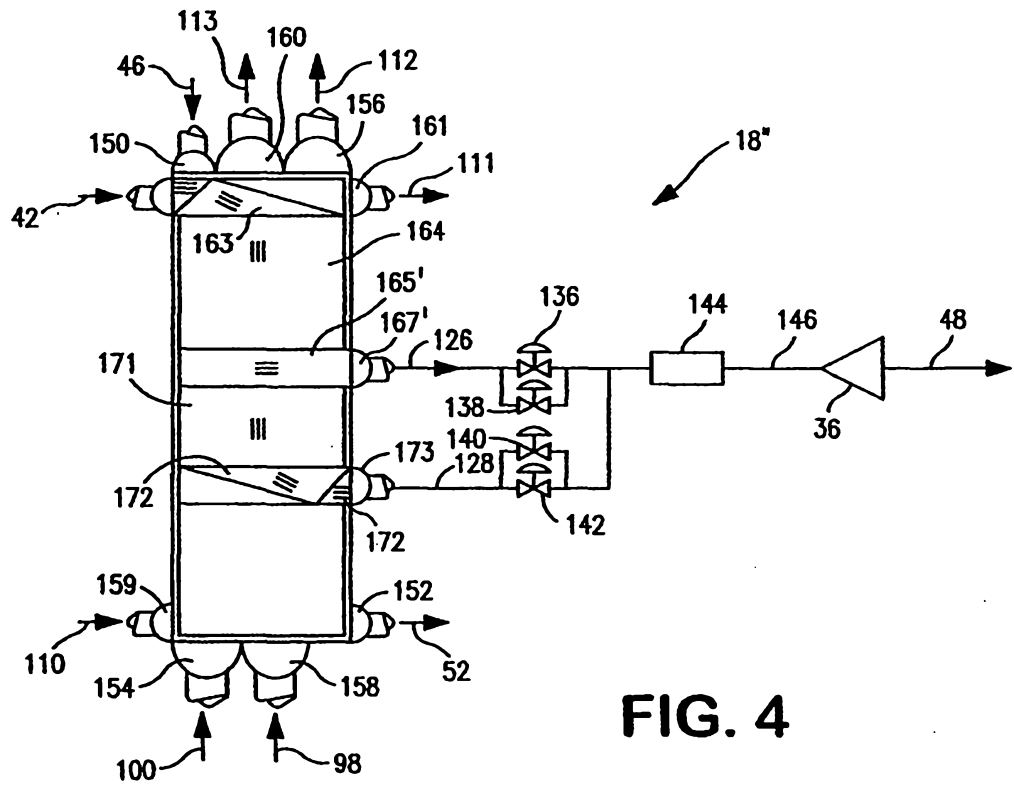


FIG. 4

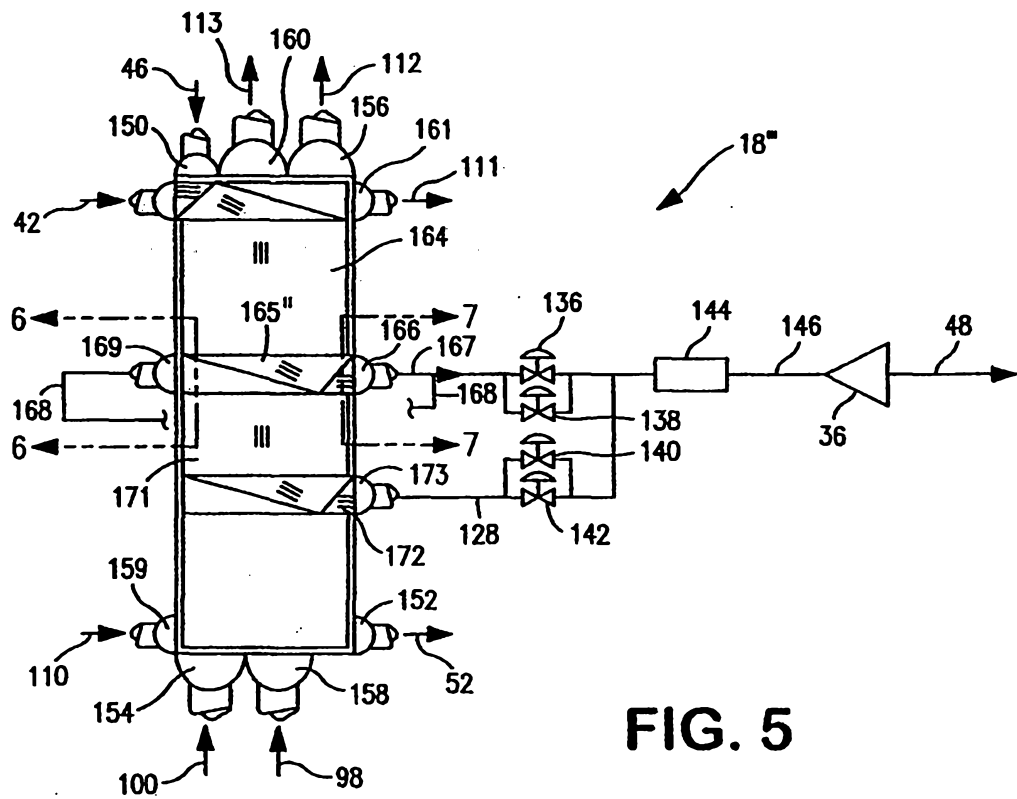


FIG. 5

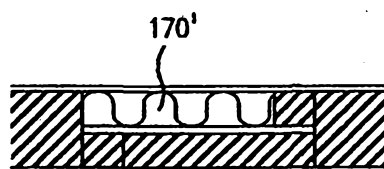


FIG. 6

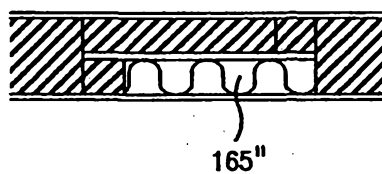


FIG. 7