



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

(11) PI 0513318-1 B1

(22) Data do Depósito: 12/07/2005

(45) Data de Concessão: 05/06/2018



(54) Título: MÉTODO DE SEPARAÇÃO DE AR A BAIXA TEMPERATURA E APARELHO

(51) Int.Cl.: F25J 3/04

(30) Prioridade Unionista: 14/07/2004 US 10/890.650

(73) Titular(es): L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME À DIRECTOIRE ET CONSEIL DE
SURVEILLANCE POUR L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS GEORGES CLAUDE

(72) Inventor(es): JEAN-RENAUD BRUGEROLLE; BAO HA

MÉTODO DE SEPARAÇÃO DE AR A BAIXA TEMPERATURA E APARELHO

[001] Oxigênio gasoso produzido por plantas de separação de ar está geralmente a pressão elevada entre aproximadamente 2,0 e 5,0 MPa. O esquema básico de destilação é geralmente um processo de coluna dupla que produz oxigênio no fundo da coluna de baixa pressão, operando entre 0,14 e 0,4 MPa. O oxigênio deve ser comprimido para maior pressão tanto por compressor de oxigênio como por processo de líquido bombeado. Devido às questões ambientais associadas aos compressores de oxigênio, a maioria das plantas recentes de oxigênio é baseada no processo de líquido bombeado. Com o objetivo de vaporizar oxigênio líquido a pressão elevada existe a necessidade de um compressor amplificador adicional para elevar uma porção do ar ou nitrogênio de alimentação para maior pressão na faixa de aproximadamente 4,0 a 8,0 MPa. Em essência, o amplificador substitui o compressor de oxigênio. Ar pressurizado fornecido pelo compressor amplificador é condensado contra o oxigênio líquido de vaporização em um trocador de calor da unidade de separação. Este tipo de processo consome muita potência e é desejável diminuir o seu consumo de potência quando existe outra fonte barata de outras formas de correntes de potência latente, tais como líquido criogênico, gases pressurizados, etc.

[002] Um processo típico de líquido bombeado é ilustrado na Figura 1. Neste tipo de processo, ar atmosférico é comprimido por um Compressor Principal de Ar (MAC) 1 até uma pressão de aproximadamente 0,6 MPa

absoluto, é em seguida purificado em um sistema adsorvente 2 para remover impurezas tais como umidade e dióxido de carbono que podem congelar a temperatura criogênica para produzir um ar purificado de alimentação. Uma porção 3 deste ar purificado de alimentação é em seguida esfriado até próximo do seu ponto de orvalho no trocador de calor 30 e é introduzido em uma coluna de alta pressão 10 do sistema de coluna dupla em forma gasosa para destilação. Líquido rico em nitrogênio 4 é extraído na parte superior desta coluna de alta pressão e uma porção é enviada para a parte superior da coluna de baixa pressão 11 como uma corrente de refluxo. A corrente líquida enriquecida de oxigênio 5 no fundo da coluna de alta pressão é também enviada para a coluna de baixa pressão como alimentação. Estes líquidos 4, 5 são sub-resfriados antes de expansão contra gases frios em sub-refrigeradores não mostrados na figura por questão de simplicidade. Um líquido de oxigênio 6 é extraído do fundo da coluna de baixa pressão 11, pressurizado por bomba até uma pressão necessária e vaporizado em seguida no trocador 30 para formar o produto de oxigênio gasoso 7. Outra porção 8 do ar purificado de alimentação é mais comprimido em um Compressor Amplificador de Ar (BAC) 20 para alta pressão para condensação no trocador 30 contra a corrente enriquecida de oxigênio de vaporização. Dependendo da pressão do produto rico em oxigênio, a pressão do ar comprimido pode ser aproximadamente 6,5 MPa ou algumas vezes acima de 8,0 MPa. O ar comprimido condensado 9 é também enviado para o sistema de colunas como alimentação para a destilação, por exemplo, para a coluna de alta

pressão. Parte do ar líquido pode ser removida da coluna de alta pressão e enviada para a coluna de baixa pressão a seguir ao sub-resfriamento e expansão. É também possível extrair líquido rico em nitrogênio da parte superior da coluna de alta pressão, em seguida bombeá-lo para alta pressão (corrente 13) e vaporizá-lo no trocador do mesmo modo que com o líquido de oxigênio. Uma pequena porção do ar de alimentação (corrente 14) é mais comprimida e expandida para dentro da coluna 11 para propiciar a refrigeração da unidade.

[003] Quando uma fonte de líquido criogênico está disponível a baixo custo, por exemplo, um líquido proveniente de uma unidade de separação de ar próxima que produz líquido como um subproduto, ou um líquido produzido por um liquidificador que opera à noite ou durante períodos em que as taxas de potência são baixas, ou simplesmente um líquido de baixo custo proveniente de uma fonte excedente, é desejável fornecer este líquido à planta de separação de ar para reduzir o seu consumo de potência. Contudo, quando uma planta de separação de ar é alimentada com um líquido, alguns produtos líquidos devem ser extraídos da planta devido ao equilíbrio global de frio. Contudo, uma vez que a alimentação líquida já está disponível a baixo custo, não existe muito incentivo para produzir qualquer quantidade significativa de produtos líquidos adicionais. Portanto, é vantajoso propiciar um processo capaz de consumir aqueles líquidos eficientemente.

[004] O processo de compressão a frio como descrito no estado da técnica pode ser uma boa solução para o problema,

uma vez que utiliza a potência de refrigeração produzida pelos expansores integrados para produzir compressão eficiente do produto.

[005] Um processo de compressão a frio, como descrito em US 5.478.980, fornece uma técnica para operar a planta de oxigênio com um único compressor de ar. Neste processo, ar a ser destilado é congelado no trocador principal; em seguida, mais comprimido por um compressor amplificador acionado por uma turbina que descarrega para dentro da coluna de alta pressão de um processo de coluna dupla. Ao fazer isto, a pressão de descarga do compressor de ar está na faixa de 1,5 MPa que é também bastante vantajosa para a unidade de purificação. Um inconveniente desta técnica é o consumo relativamente elevado de potência e o fato de ter que ser usado um expensor para operar o processo.

[006] Algumas diferentes versões do processo de compressão a frio foram descritas em US 5.379.598, US 5.901.576 e US 6.626.008.

[007] Em US 5.379.598, uma fração de ar de alimentação é ainda mais comprimida por um compressor amplificador seguido por um compressor frio para produzir uma corrente pressurizada necessária para a vaporização de oxigênio. Esta técnica tem ainda um expensor como o principal provedor de refrigeração.

[008] US 5.901.576 descreve diversos arranjos de esquemas de compressão a frio que utilizam a expansão de líquido rico vaporizado do fundo da coluna de alta pressão, ou a expansão de nitrogênio a alta pressão para acionar o compressor frio. Em alguns casos, foram também usados

compressores a frio acionados por motores.

[009] US 6.626.008 descreve um ciclo de bomba de calor que utiliza um compressor frio para melhorar o processo de destilação para a produção de oxigênio de baixa pureza para um processo de oxigênio de vaporizador duplo.

[0010] O estado da técnica não menciona o aspecto de utilizar uma alimentação líquida eficientemente sem ter que produzir outros líquidos ou gás frio.

[0011] É o objetivo desta invenção propiciar uma técnica para solucionar este problema.

[0012] De acordo com esta invenção, é propiciado um processo de separação de ar a baixa temperatura para produzir produto gasoso pressurizado em uma unidade de separação de ar utilizando um sistema de colunas de destilação e uma corrente de alimentação líquida obtida do ar, o qual compreende as seguintes etapas:

- i) esfriar uma corrente de ar comprimido em um trocador para formar uma corrente de ar comprimido esfriado no trocador;
- ii) comprimir de modo criogênico pelo menos uma porção da corrente de ar comprimido esfriado em um primeiro compressor que possui uma primeira temperatura de admissão para formar uma primeira corrente de gás pressurizado;
- iii) esfriar pelo menos uma porção da primeira corrente de gás pressurizado no trocador para formar uma primeira corrente de gás pressurizado esfriado;
- iv) comprimir de modo criogênico pelo menos uma

porção da primeira corrente de gás pressurizado esfriado em um segundo compressor que possui uma segunda temperatura de admissão para formar uma segunda corrente de gás pressurizado;

- v) esfriar e pelo menos parcialmente liquefazer a segunda corrente de gás pressurizado e fornecê-la ao sistema de colunas de destilação;
- vi) alimentar o sistema de colunas de destilação com a corrente líquida de alimentação e
- vii) extrair um produto líquido do sistema de colunas de destilação e em seguida pressurizar, vaporizar e aquecer pelo menos parte do produto líquido no trocador para produzir um produto gasoso pressurizado.

[0013] No contexto deste documento, "obtido de ar" inclui ar purificado esfriado e mistura de gases de ar, que foram esfriados e purificados.

[0014] Para uma compreensão adicional da natureza e objetivos da presente invenção, deve ser feita referência à descrição detalhada a seguir, considerada em conjunto com os desenhos anexos, nos quais a elementos similares são dados os mesmos ou análogos números de referência e onde:

- a Figura 1 ilustra o estado da técnica;
- a Figura 2 ilustra uma modalidade da invenção;
- a Figura 3 ilustra outra modalidade da invenção;
- a Figura 4 ilustra um modo de operação da invenção e
- a Figura 5 ilustra um segundo modo operacional da invenção.

[0015] Ar comprimido substancialmente isento de

umidade e CO₂ (corrente 1) a aproximadamente 0,6 MPa absoluto é esfriado no trocador 65. Uma porção 52 com uma taxa de fluxo de aproximadamente 20% da corrente 1 é extraída a partir de um ponto intermediário do trocador 65 a temperatura criogênica -125°C e enviada para o primeiro compressor frio 50 para ser comprimida para maior pressão de aproximadamente 4,5 MPa para produzir a primeira corrente de gás pressurizado. O calor de compressão aumenta a temperatura da corrente 53 e será novamente introduzida na extremidade quente do trocador de calor 65 e esfriada para produzir a primeira corrente de gás pressurizado esfriada 55 também a aproximadamente -125°C. Um segundo compressor frio 51 comprimirá ainda mais a corrente 55 para produzir a segunda corrente de gás pressurizado 54 a aproximadamente 6,0 MPa. A corrente 54 é novamente introduzida em um ponto intermediário do trocador de calor 65, pelo menos parcialmente liquefeita, esfriada a aproximadamente -176°C e removida da extremidade fria do trocador 65 como corrente 56 para alimentar a coluna de destilação a alta pressão 80 a seguir à expansão em uma válvula. A porção remanescente 2 de ar comprimido é também fornecida em forma gasosa à coluna 80 operada a aproximadamente 0,6 MPa. Líquido rico em nitrogênio 8 é extraído na parte superior da coluna 80 e enviado para a coluna de baixa pressão 81 como refluxo. Uma corrente lateral 4 com composição aproximada à do ar é opcionalmente extraída da coluna 80 e enviada para a coluna 81 como alimentação. Uma corrente líquida enriquecida em oxigênio 3 também denominada líquido rico é extraída no fundo de 80 e

fornecida à coluna 81 como refluxo. As correntes de refluxo são, de preferência, sub-resfriadas antes de serem enviadas para a coluna 81. Uma fonte de ar líquido 30 proveniente do tanque de armazenamento 70 é fornecida à coluna 81 como alimentação adicional, a sua taxa de fluxo sendo aproximadamente 10% em moles do ar de alimentação 1. Oxigênio líquido produzido como corrente 20 no fundo da coluna de baixa pressão 81 é bombeado pela bomba 21 até uma alta pressão de 4,0 MPa e vaporizado no trocador 65 para produzir produto de oxigênio gasoso 22. Gás rico em nitrogênio a baixa pressão 9 a uma pressão de aproximadamente 0,15 MPa proveniente da coluna 81 é aquecido no trocador 65 e sai como corrente 41. Gás de nitrogênio a média pressão 6 pode ser extraído da coluna 80 e aquecido no trocador 65 para produzir produto gasoso a média pressão 7. A produção de argônio (não mostrada) pode ser opcionalmente adicionada ao processo para produção de argônio.

[0016] Se a temperatura do gás de saída do compressor frio 50 for muito maior que a temperatura ambiente, devido à sua elevada razão de compressão, o gás de saída do compressor pode ser esfriado por um trocador refrigerado a água ou refrigerado a ar (não mostrado) antes de ser introduzido no trocador 65 para esfriamento.

[0017] A fonte de líquido 30 é um produto da planta de separação de ar ou da planta de liquefação e pode ter qualquer composição de componentes de ar, por exemplo, oxigênio e nitrogênio. Não deve conter impurezas que possam ser prejudiciais para uma operação segura e confiável da

planta, tais como hidrocarbonetos, umidade, ou CO_2 , etc. Na Figura 2, a corrente 30 é mostrada como ar líquido ou tendo composição similar a ar líquido. Se o líquido 30 for líquido rico em nitrogênio, pode ser fornecido à coluna 81 como corrente 32 mostrada em linha pontilhada. Se for um líquido rico com composição similar ao líquido de fundo 3, pode ser alimentado como corrente 34 mostrada em linha pontilhada. Se for oxigênio líquido então pode ser fornecido ao fundo da coluna 81 como corrente 33 também mostrada em linha pontilhada.

[0018] Se o líquido 30 não contiver algum oxigênio (por exemplo, ar líquido, líquido rico ou oxigênio líquido) então a de ar de alimentação gasosa 1 pode ser reduzida em fluxo para produzir o mesmo equilíbrio em moléculas de oxigênio. Ao fazer isto, o fluxo de produto de oxigênio 22 pode permanecer inalterado.

[0019] Pode ser visto a partir da descrição acima que a unidade de separação de ar operada com a modalidade mostrada na Figura 2 pode diminuir significativamente o consumo de potência da unidade. Na verdade, o compressor amplificador de ar (BAC) 20 da Figura 1 não é mais necessário e é substituído pelos dois compressores a frio 50 e 51. O gás frio extraído do trocador 65 é comprimido economicamente a baixa temperatura para maior pressão. A potência consumida por este compressor frio é baixa comparada com uma compressão quente realizada a temperatura ambiente. A potência consumida por uma roda de compressor é diretamente proporcional à sua tem absoluta de entrada. Uma roda de compressor com entrada a 100K consumirá

aproximadamente $1/3$ da potência de uma roda de compressor com entrada a temperatura ambiente de 300K. Portanto, ao utilizar compressão a frio, pode-se reduzir significativamente a potência consumida da compressão. Contudo, o calor de compressão é novamente injetado de volta no sistema, necessitando, portanto, de refrigeração adicional para evacuá-lo. Neste processo, a fonte de líquido 30 fornece tal refrigeração necessária para satisfazer o equilíbrio térmico. Além disso, quando ar líquido ou um líquido que contém oxigênio é fornecido ao sistema, como explicado acima, a taxa de fluxo de ar de alimentação gasoso 1 pode ser reduzida, resultando em maior economia de potência. A temperatura das correntes 52 e 55 é selecionada para estar preferivelmente próxima da temperatura de ebulição do oxigênio líquido da corrente 23. Se a pressão de oxigênio estiver acima da sua pressão crítica, então a temperatura das correntes 52 e 55 pode ser selecionada para estar próxima à temperatura crítica da corrente de vaporização 23. O termo "próxima" indica que a temperatura selecionada este dentro de 7°C da temperatura de ebulição ou da temperatura crítica do oxigênio líquido.

[0020] Como indicado acima, se a fonte de líquido puder ser obtida sem custo, não existe muito incentivo econômico em produzir produtos líquidos. Contudo, do ponto de vista técnico, é possível produzir alguns líquidos. Na Figura 2, quando o ar líquido 30 é fornecido ao sistema. Produto de oxigênio líquido pode ser extraído como corrente 25. Ou, se preferido, pode ser extraída corrente de nitrogênio líquido 26. Uma porção do refrigerador da

corrente 30 é simplesmente transferida através do processo para permitir a extração daqueles produtos líquidos.

[0021] Será observado que o aparelho mostrado não inclui quaisquer turbo-expansores. Portanto, a adição de líquido criogênico 30 fornece essencialmente toda a refrigeração exigida pelo processo.

[0022] Evidentemente, é possível equipar o processo com um turbo-expansor para produzir produto líquido durante os períodos em que as taxas de potência são baixas, sendo aquele produto líquido em seguida fornecido ao processo de acordo com a invenção durante os períodos em que as taxas de potência são elevadas para obter a economia indicada nesta invenção. O turbo-expansor pode ser de qualquer tipo, por exemplo, um expansor Claude onde ar frio a pressão elevada é expandido para dentro da coluna de alta pressão de uma planta de coluna dupla, ou um expansor de ar disposto de modo que o ar seja expandido para dentro da coluna de baixa pressão, ou um expansor de nitrogênio onde o gás rico em nitrogênio a alta pressão extraído da coluna de alta pressão é expandido para menor pressão. O turbo-expansor, se equipado deste modo, não necessita ser operado durante o tempo em que líquido é injetado no sistema de acordo com esta invenção, contudo, algumas vezes para facilidade de operação ou para a redução da qualidade da alimentação líquida, pode ser mantido funcionando. São também possíveis expansores múltiplos.

[0023] Se for desejável algum nitrogênio a alta pressão, pode-se bombear produto de nitrogênio líquido (não mostrado na Figura 2) para alta pressão e vaporizá-lo no

trocador de calor 65.

[0024] As Figuras 3, 4 e 5 mostram o mesmo aparelho e ilustram os processos usados durante um período de pico para a Figura 3 e dois modos alternativos de operação a serem usados durante períodos fora do pico nas Figuras 4 e 5. Líquidos podem ser produzidos durante períodos fora do pico e alimentados de volta para a caixa fria durante picos. Um liquidificador externo independente pode também ser usado para fornecer a refrigeração necessária. Alguns outros meios de produção de refrigeração tais como unidades de refrigeração ou unidades de Freon™ podem também ser usadas em conjunto com o equipamento de refrigeração acima.

[0025] O processo utiliza uma coluna dupla padrão, que inclui uma coluna de alta pressão 80 e uma coluna de baixa pressão 81. Ar é comprimido no compressor 10 e é substancialmente isento de umidade e CO₂ (corrente 1) pela unidade de purificação 11 a ap 0,6 MPa absoluto. O ar purificado comprimido 1 é esfriado no trocador 65. Para tudo das Figuras 3, 4 e 5, linhas desvanecidas indicam um conduto que não está em operação e linhas cheias indicam um conduto que está em operação.

[0026] Quando o custo da eletricidade estiver acima de um nível predeterminado (pico), como mostrado na Figura 3, uma porção 52 com uma taxa de fluxo de aproximadamente 20% da corrente 1 é extraída de um ponto intermediário do trocador 65 a temperatura criogênica de -125°C e enviada para o primeiro compressor frio 50 para ser comprimida para maior pressão de aproximadamente 4,5 MPa para produzir a primeira corrente de gás pressurizado 53. O calor de

compressão aumenta a temperatura da corrente 53 e será novamente introduzida na extremidade quente do trocador de calor 65 e esfriada para produzir a primeira corrente de gás pressurizado esfriada 55 também removida do trocador 65 a aproximadamente -125°C . Um segundo compressor frio 51 comprimirá ainda mais a corrente 55 para produzir a segunda corrente de gás pressurizado 54 a aproximadamente 6,0 MPa. A corrente 54 é novamente introduzida em um ponto intermediário do trocador de calor 65, pelo menos parcialmente liquefeita, esfriada até aproximadamente -176°C e removida da extremidade fria do trocador 65 como corrente 56 para alimentar a coluna de destilação de alta pressão 80 a seguir à expansão em uma válvula. A porção remanescente 2 de ar comprimido é também fornecida em forma gasosa à coluna 80 operada a aproximadamente 0,6 MPa. Líquido rico em nitrogênio 8 é extraído na parte superior da coluna 80 e enviado para a coluna de baixa pressão 81 como refluxo. Uma corrente lateral 4 com composição próxima ao ar é opcionalmente extraída da coluna 80 e enviada para a coluna 81 como alimentação. Uma corrente líquida enriquecida com oxigênio 3 também denominada líquido rico é extraída no fundo da coluna 80 e fornecida à coluna 81 como alimentação. As correntes de refluxo e de alimentação são, de preferência, sub-refrigeradas antes de serem enviadas para a coluna 81. Uma fonte de ar líquido 30 proveniente do tanque de armazenamento 70 é fornecida à coluna 81 como alimentação adicional, a sua taxa de fluxo sendo de aproximadamente 10% em moles do ar de alimentação 1. Oxigênio líquido produzido como corrente 20 no fundo da

coluna de baixa pressão 81 é bombeado pela bomba 21 para uma alta pressão de 4,0 MPa e vaporizado no trocador 65 para produzir produto de oxigênio gasoso 22. Gás rico em nitrogênio a baixa pressão 9 a uma pressão de aproximadamente 0,15 MPa proveniente da coluna 81 é aquecido no trocador 65 e sai como corrente 41. Gás de nitrogênio a média pressão 6 pode ser extraído da coluna 80 e aquecido no trocador 65 para produzir produto gasoso a média pressão 7. A produção de argônio (não mostrada) pode ser opcionalmente adicionada ao processo para produção de argônio.

[0027] Se a temperatura do gás de saída do compressor frio 50 for muito maior que a temperatura ambiente, devido à sua elevada razão de compressão, o gás de saída do compressor pode ser esfriado por um trocador refrigerado a água ou refrigerado a ar (não mostrado) antes de ser introduzido no trocador 65 para esfriamento.

[0028] A fonte de líquido 30 pode ser obtida da própria planta de separação de ar. Deste modo, as turbinas 13 e 14 e o compressor 15 não estão operacionais.

[0029] A Figura 4 ilustra um modo de operação durante um período em que o custo da eletricidade está abaixo de um nível predeterminado (fora do pico). Neste modo, ambos os compressores a frio 50 e 51 podem ser parados, a corrente de ar comprimido esfriada é separada a montante do trocador 65 em uma corrente 12 e uma corrente 1. A corrente 12 é comprimida em um compressor amplificador quente 15. Uma corrente removida em um estágio intermediário do compressor amplificador 15 é dividida em duas, uma parte sendo enviada

sem esfriamento adicional para a turbina 13 e o restante 46 sendo esfriado para uma temperatura intermediária do trocador 65 e em seguida enviada para a turbina 14. As correntes expandidas são misturadas com a corrente 1 e enviadas para a coluna de alta pressão 80 em forma gasosa. Os expansores 13 e 14 propiciam a refrigeração necessária para a produção de produtos líquidos. Ar líquido é removido da linha 60 através de uma válvula de desvio 61 e enviado para a coluna de alta pressão 80 como corrente 56. Uma corrente 65 com uma composição similar ao ar é extraída da corrente 8 e enviada para o tanque de armazenamento 70. Este ar líquido será fornecido à caixa fria na fase subsequente (tal como aquela da Figura 3) quando os compressores frios estão em operação. Algum oxigênio e nitrogênio líquido podem ser opcionalmente produzidos e enviados para os tanques de armazenamento 71 e 72. Pode ser observado que deste modo o compressor amplificador quente 15 substitui os compressores frios 50 e 51.

[0030] Outra variante do modo fora do pico é descrita na Figura 5: ao invés de ser parado, o compressor frio 51 pode ser mantido funcionando e apenas o compressor frio 50 é parado. Para indicar isto, as linhas para o compressor 50 são mostradas como linhas pontilhadas desvanecidas. Isto permite operação mais simples, uma vez que apenas um compressor frio necessita ser ligado ou parado quando se alteram os modos. Uma porção 12 do ar comprimido depois da unidade de purificação 11 é enviada para um compressor amplificador quente 15 para compressão adicional. Uma corrente lateral 64 é extraída em um estágio intermediário

do compressor 15 e é dividida em duas porções 62 e 63. A corrente 62 alimenta o expensor 13 e a corrente 63 é esfriada para formar a corrente 46 que alimenta o expensor 14. Os expansores 13 e 14 fornecem a refrigeração necessária a aproximadamente temperatura ambiente (ou abaixo da temperatura ambiente se uma unidade de refrigeração for utilizada) e o expensor 14 tem uma temperatura de entrada que é uma temperatura intermediária do trocador 65. Ar expandido proveniente de ambos os expansores 13 e 14 é misturado com a corrente de ar 1 e enviado em forma gasosa para a coluna 80 como corrente 2. Ar pressurizado proveniente do estágio final do compressor 15 é esfriado, removido do trocador 65 como corrente 55 e em seguida fornecido ao compressor frio 51. A corrente 54 proveniente da descarga do compressor frio 51 é ainda mais esfriado e liquefeito no trocador 65 e em seguida enviado para a coluna de alta pressão 80 através da linha 56. Pode ser visto que deste modo o compressor amplificador quente 15 substitui o compressor frio 50.

[0031] Será entendido que muitas alterações adicionais nos detalhes, materiais, etapas e disposição de partes, que foram descritos aqui com a finalidade de explicar a natureza da invenção, podem ser realizadas por aqueles versados na técnica dentro do princípio e âmbito da invenção como expressa nas reivindicações apenas. Portanto, a presente invenção não se destina a ficar limitada às modalidades específicas nos exemplos dados acima.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de separação de ar a baixa temperatura que pode ser usado para produzir produto gasoso pressurizado, compreendendo:

- a) esfriar uma corrente de ar comprimido em um trocador (65) para formar uma corrente de ar comprimido esfriado;
- b) formar uma primeira corrente de gás pressurizado por compressão criogênica de pelo menos uma porção da referida corrente de ar comprimido esfriado em um primeiro compressor (50), onde o referido primeiro compressor compreende uma primeira temperatura de entrada;
- c) esfriar pelo menos uma porção da referida primeira corrente de gás pressurizado no referido trocador para formar uma primeira corrente de gás pressurizado esfriado;
- d) formar uma segunda corrente de gás pressurizado por compressão criogênica de pelo menos uma porção da referida primeira corrente de gás pressurizado esfriado em um segundo compressor (51), o referido segundo compressor compreendendo uma segunda temperatura de entrada;
- e) esfriar e pelo menos parcialmente liquefazer a referida segunda corrente de gás pressurizado;
- f) alimentar a referida segunda corrente de gás pressurizado esfriado, parcialmente liquefeito a um sistema de pelo menos uma coluna de destilação (80,81);

- g) alimentar o referido sistema de coluna de destilação com uma corrente de alimentação líquida (56,30,32,33,34) derivado de ar;
- h) extrair um produto líquido (20) do referido sistema de coluna de destilação;
- i) pressurizar pelo menos parte do referido produto líquido;
- j) vaporizar pelo menos parte do referido produto líquido e
- k) aquecer pelo menos parte do referido produto líquido no referido trocador para produzir um produto gasoso pressurizado,

caracterizado pelo fato da primeira temperatura de entrada ser aproximadamente a temperatura de ebulição do referido produto líquido.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da referida corrente de alimentação líquida (56) compreender ar líquido.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da referida corrente de alimentação líquida adicionalmente compreender pelo menos um componente de ar.

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato do referido produto líquido compreender pelo menos um elemento selecionado a partir do grupo que consiste em:

- a) oxigênio e
- b) nitrogênio.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pelo fato da referida

segunda temperatura de entrada ser aproximadamente a temperatura de ebulição do referido produto líquido.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pelo fato de todo o referido esfriamento ser realizado na ausência de turbo-expansão.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato de pelo menos parte da referida corrente de alimentação líquida (30) se originar em um meio de armazenamento (70).

8. Aparelho que pode ser usado para produzir produto gasoso pressurizado, **caracterizado** por compreender:

- a) um sistema de pelo menos uma coluna de destilação (80,81);
- b) um conduto (30, 32, 33, 34, 36) para alimentar uma corrente líquida ao referido sistema de coluna de destilação, onde a referida corrente líquida é obtida do ar;
- c) um trocador de calor (65) que compreende uma extremidade quente e uma extremidade fria;
- d) um primeiro compressor (50) que compreende uma primeira temperatura de entrada;
- e) um segundo compressor (51) que compreende uma segunda temperatura de entrada;
- f) um conduto (1) para alimentar uma corrente de ar comprimido ao referido trocador;
- g) um conduto (52) para remover um ar comprimido esfriado a partir de pelo menos em elemento selecionado a partir do grupo que consiste em:
 - 1) uma parte intermediária do referido trocador

e

2) a extremidade fria do referido trocador;

- h) um conduto (52) para enviar o referido ar comprimido esfriado para o referido primeiro compressor para criar uma primeira corrente de gás pressurizado;
- i) um conduto (53) para enviar pelo menos uma porção da referida primeira corrente de gás pressurizado para o referido trocador para formar uma primeira corrente de gás pressurizado esfriado;
- j) um conduto (55) para enviar pelo menos uma porção do referido primeiro gás pressurizado esfriado do referido trocador para o referido segundo compressor para formar uma segunda corrente de gás pressurizado;
- k) um conduto (54) para enviar pelo menos parte da referida segunda corrente de gás pressurizado para o referido trocador;
- l) um conduto (56) para remover pelo menos parte da referida segunda corrente de gás pressurizado e alimentar a referida segunda corrente de gás pressurizado ao referido sistema de coluna de destilação;
- m) um conduto (20) para remover uma corrente líquida do referido sistema de coluna de destilação;
- n) um meio (21) para pressurizar pelo menos parte da referida corrente líquida removida para formar uma corrente líquida pressurizada; e

- o) um conduto (23) para enviar pelo menos parte da referida corrente líquida pressurizada para o referido trocador,

caracterizado pelo fato do conduto (52) de g) ser conectado ao trocador de calor de modo que a primeira temperatura de entrada é aproximadamente a temperatura de ebulição da referida corrente líquida removida.

9. Aparelho, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de adicionalmente compreender um meio (20) para enviar ar comprimido gasoso esfriado do referido trocador para o referido sistema de coluna de destilação.

10. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 ou 9, **caracterizado** por adicionalmente compreender:

- a) pelo menos um turbo-expansor e
- b) um conduto para alimentar um fluido do referido sistema de coluna de destilação para o referido turbo-expansor.

11. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 8, 9 ou 10, **caracterizado** por adicionalmente compreender:

- a) um tanque de armazenamento (70) para a referida corrente líquida de alimentação produzida pelo referido sistema de coluna de destilação (30) e
- b) um conduto para ligar o referido tanque de armazenamento a pelo menos um elemento selecionado a partir do grupo que consiste em:
 - 1) o referido trocador e
 - 2) o referido sistema de coluna de destilação.

12. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 11, **caracterizado** por adicionalmente compreender:

- a) um tanque de armazenamento (70) para armazenar a referida corrente líquida;
- b) um conduto que liga o referido tanque de armazenamento a uma fonte externa de líquido e
- c) um conduto (30) que liga o referido tanque de armazenamento ao referido sistema de coluna de destilação.

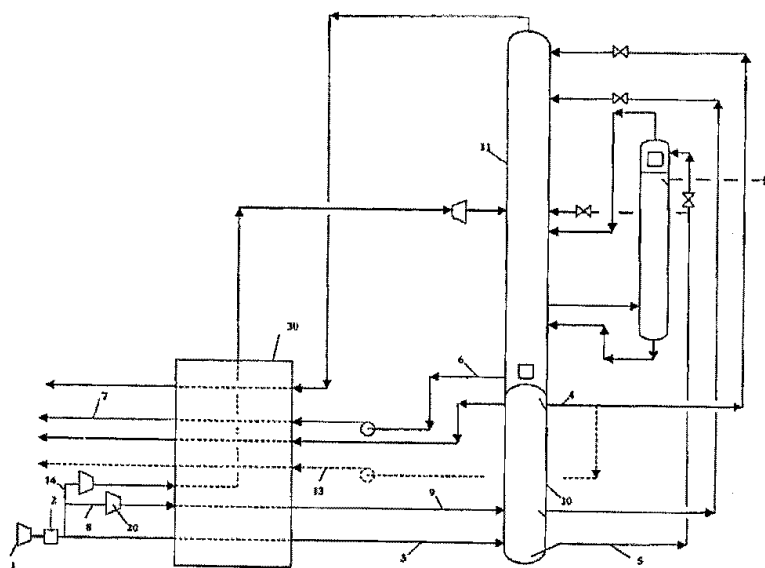
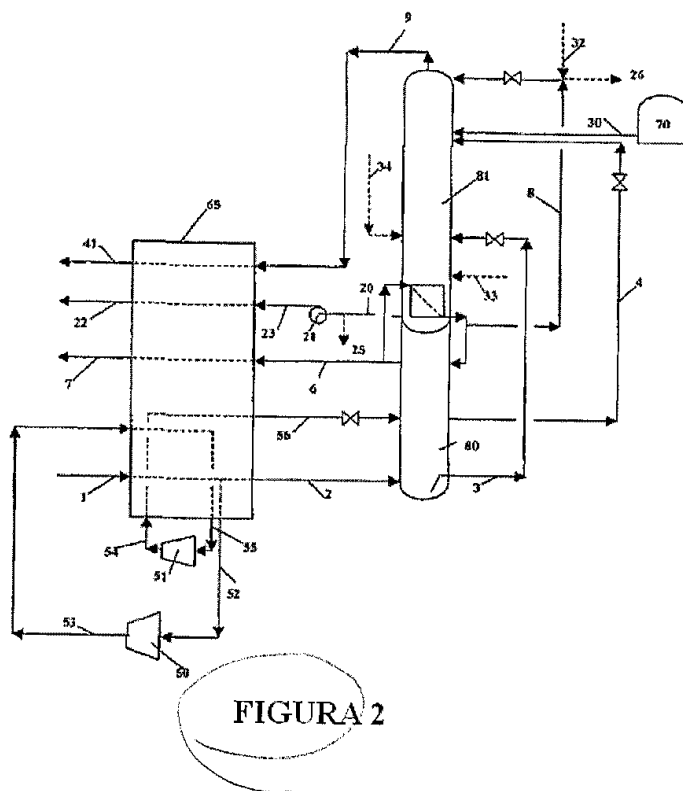


FIGURA 1 - ESTADO DA TÉCNICA



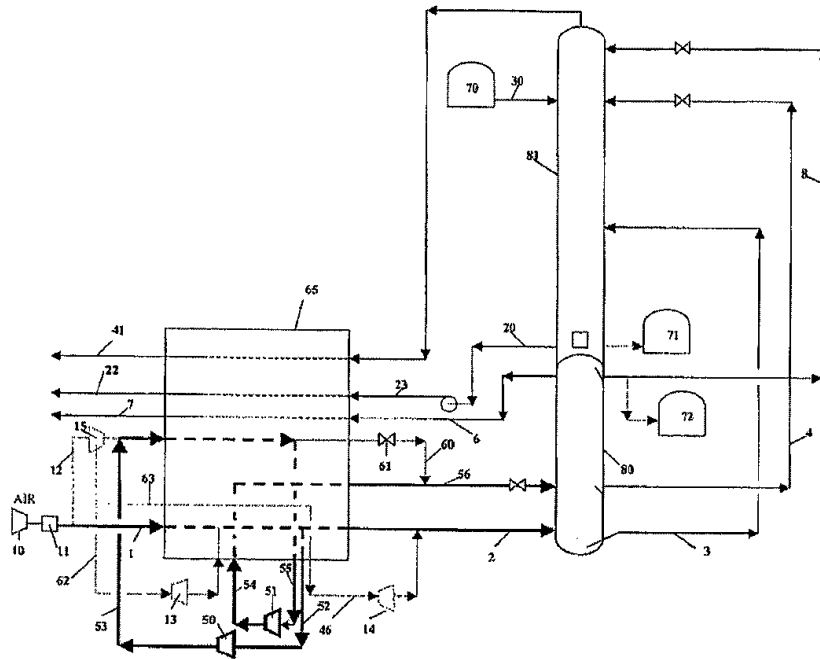


FIGURA 3

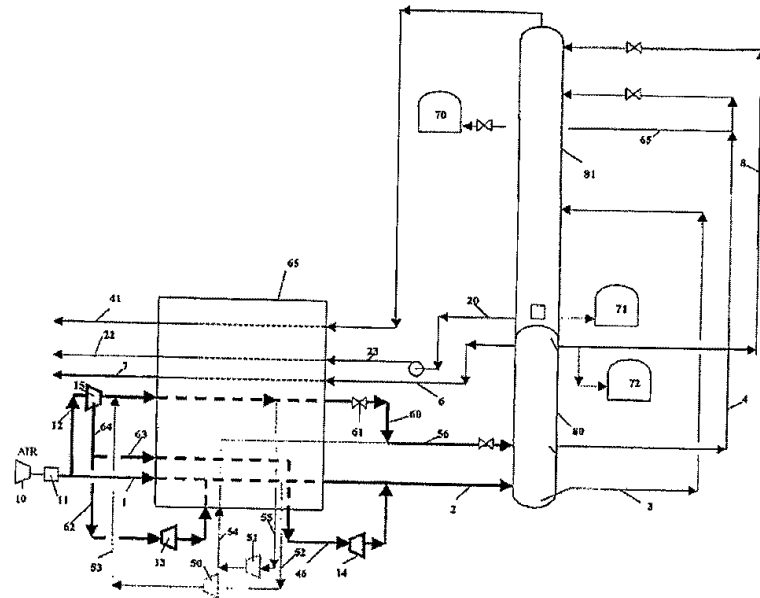


FIGURA 4

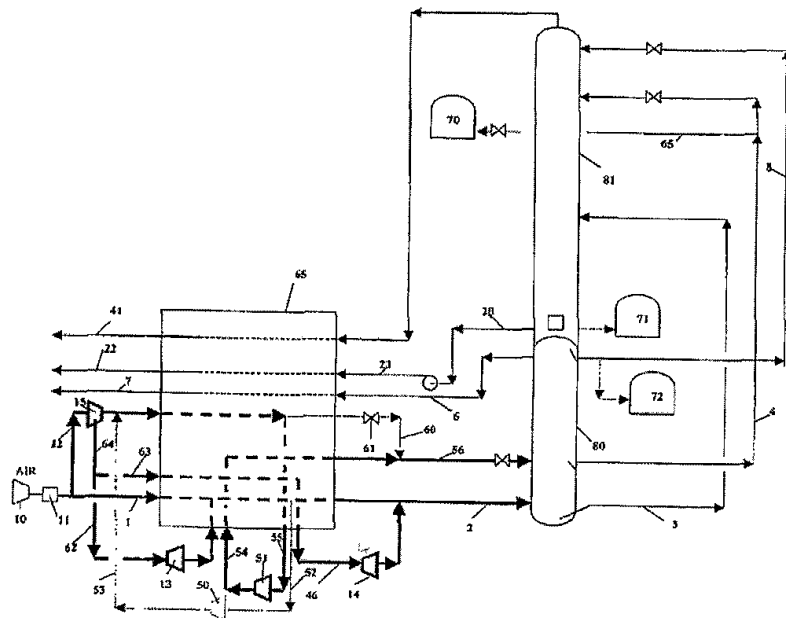


FIGURA 5