



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

(21) PI 0721930-0 A2



* B R P I 0 7 2 1 9 3 0 A 2 *

(22) Data de Depósito: 10/08/2007
(43) Data da Publicação: 18/03/2014
(RPI 2254)

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

(54) Título: PROCESSO E APARELHO PARA A SEPARAÇÃO DE AR POR DESTILAÇÃO CRIOGÊNICA

(57) Resumo:

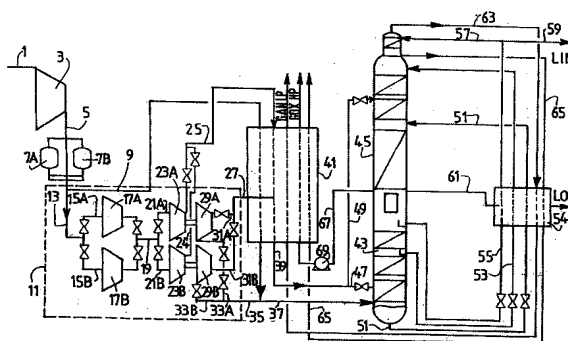
(73) Titular(es): L'Air Liquide, Société Anonyme Pour L'Etude Et L'Exploitation Des Procèdes Georges Claude

(72) Inventor(es): Frédéric Bachelier, SHAOHUA SUN

(74) Procurador(es): Flávia Salim Lopes

(86) Pedido Internacional: PCT CN2007002405 de 10/08/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2009/021351 de 19/02/2009



PROCESSO E APARELHO PARA A SEPARAÇÃO DE AR POR DESTILAÇÃO
CRIOGÊNICA

A presente invenção refere-se à separação de ar por destilação criogênica.

5 Em particular, ela refere-se a um processo para produzir um componente gasoso de ar sob pressão por separação criogênica.

É frequentemente requerido que uma unidade de separação de ar para produzir o componente gasoso de ar sob
10 pressão também deva produzir uma quantidade variável de um componente de ar na forma líquida.

Sabe-se que para cumprir esta exigência em ter uma unidade de separação de ar para produzir o componente gasoso sob pressão, a unidade de separação de ar que está
15 sendo associada com um agente de liquefação para liquefazer diferentes quantidades de gás a partir da unidade de separação de ar para produzir o líquido. Este aparelho envolve despesas de capital consideráveis.

De acordo com a invenção, é fornecido um novo esquema
20 do processo que opera de forma eficiente no modo gasoso e no modo líquido enquanto envolve apenas os custos de investimento razoáveis.

Todas as percentagens indicadas são porcentagens molares.

25 De acordo com um aspecto da invenção, é fornecido um processo para a separação de ar por destilação criogênica em um sistema de destilação, incluindo pelo menos uma coluna de alta pressão e uma coluna de baixa pressão, onde o ar é comprimido em um compressor principal, o ar
30 comprimido é resfriado em uma linha de troca de calor, ar

resfriado, comprimido e purificado é enviado a partir da linha de troca de calor para a coluna de alta pressão, uma corrente líquida enriquecida com oxigênio é enviada a partir da coluna de alta pressão para a coluna de baixa pressão, direta ou indiretamente, uma corrente líquida enriquecida com nitrogênio é enviada a partir da coluna de alta pressão para a coluna de baixa pressão, um gás rico em nitrogênio é removido da coluna de baixa pressão e aquecido em uma linha de troca de calor, um componente do ar é removido do sistema de destilação em forma líquida, pressurizado e aquecido na linha de troca de calor, em que:

i) em um primeiro modo de operação, pelo menos 90% do ar comprimido no compressor principal é ainda comprimido a uma primeira pressão, pelo menos, 3,0 MPa a mais do que a pressão da coluna de alta pressão, o ar na primeira pressão é enviado para a linha de troca de calor, resfriado e dividido em duas partes, sendo uma liquefeita e enviada para o sistema de destilação e a outra sendo expandida em pelo menos um turbo-expansor antes de ser enviado para a segunda coluna de alta pressão);

ii) em um segundo modo de operação, no máximo 70% do ar comprimido no compressor principal é ainda comprimido para uma primeira pressão de pelo menos 3,0 MPa a mais do que a pressão da coluna de alta pressão, o ar na primeira pressão é enviado para a linha de troca de calor, resfriado e dividido em duas partes,

sendo uma parte liquefeita e enviada para o sistema de destilação e a outra sendo expandida em pelo menos um turbo-expansor antes de serem enviadas para a coluna de alta pressão e pelo menos 30% do ar comprimido no compressor principal é enviado em uma pressão de saída do compressor principal para a linha de troca de calor, resfriado e enviado para a coluna de alta pressão.

5

10 De acordo com outros aspectos opcionais da invenção:

- o componente de ar que é removido do sistema de destilação em forma líquida, pressurizado e aquecido na linha de troca de calor é oxigênio ou nitrogênio;

15 - o ar comprimido para a primeira pressão é comprimido em pelo menos um compressor de par de compressores conectados em paralelo;

- o ar expandido a partir da primeira pressão para a pressão da coluna de alta pressão é expandido em pelo menos um dos dois turbo-expansores conectados em paralelo;

20 - durante o primeiro modo de operação do ar é enviado para os dois compressores conectados em paralelo e para ambos os expansores conectados em paralelo;

- durante o segundo modo de operação, o ar é enviado para apenas um dos compressores conectados em paralelo, e
25 para apenas um dos expansores conectados em paralelo,

- mais líquido criogênico é produzido como um produto final durante o primeiro modo de operação do que no segundo modo de operação;

- um líquido criogênico é produzido como um produto
30 final apenas durante o primeiro modo de operação.

De acordo com um outro aspecto da invenção, é fornecido um aparelho para a separação de ar por destilação criogênica compreendendo um compressor principal, uma linha de troca de calor, um sistema de destilação compreendendo pelo menos uma coluna de alta e uma coluna de baixa pressão, um conduto conectando a saída do compressor principal com a linha de troca de calor e a linha de troca de calor com a coluna de alta pressão, adaptadas para transferir ar gasoso para a coluna de alta pressão em uma pressão de saída do principal compressor, a saída do compressor principal é conectada com pelo menos um compressor tipo booster, a saída do compressor tipo booster conectado com a linha de troca de calor e a linha de troca de calor sendo conectada ao sistema de destilação por meio de expansão tal que o ar na pressão de saída do compressor tipo booster é resfriado a esta pressão e então expandido a uma pressão de uma das colunas do sistema de destilação.

De preferência, o meio de expansão compreende dois turbo-expansores conectados em paralelo e/ou o compressor tipo booster compreende pelo menos um par de compressores conectados em paralelo.

O compressor tipo booster pode compreender dois pares de compressores conectados em paralelo. Embora todos os quatro compressores do compressor tipo booster funcionam no modo líquido, apenas um compressor de cada par paralelo funciona no modo gasoso.

O processo será descrito em mais detalhes por referência à figura que mostra uma unidade de separação de ar de acordo com a invenção.

A unidade de separação de ar usa uma coluna dupla

compreende uma coluna de alta pressão 43 operando em cerca de 0,55 MPa abs. e termicamente conectada a uma coluna de baixa pressão 45.

De acordo com todos os modos de operação, todo o ar para a destilação é comprimido no compressor 3 para cerca de 0,6 MPa abs, purificado em unidade de purificação 7A, 7B como corrente 5.

Líquido rico 51, líquido pobre 53 e líquido muito pobre são removidos da coluna de alta pressão, sub-resfriados no trocador 53 e enviados como refluxo para a coluna de baixa pressão 45.

Uma corrente de nitrogênio puro 63 é removida do topo do minarete da coluna de baixa pressão, aquecida em sub-resfriador 53 e, em seguida, aquecido no trocador de calor 41.

Uma corrente residual de nitrogênio 65 é removida do fundo do minarete da coluna de baixa pressão, aquecida em sub-resfriador 53 e, em seguida, aquecido no trocador de calor 41.

Um corrente de oxigênio líquido 67 é removida da coluna de baixa pressão 45, comprimida em bomba 69 e, em seguida vaporizada no trocador de calor 41 para formar um produto.

No modo gasoso, a corrente 5 é dividida em duas. 40% em mol do ar como corrente 9 é enviado para o trocador de calor 41, resfriado pela passagem através de todo o trocador de calor e depois enviado para a coluna de alta pressão na forma gasosa, como parte da corrente 37. O resto do ar (ou seja, 60% em mol do ar) forma a corrente 13 e é aumentada até 5,0 MPa abs por um dos dois agentes de

reforço 17A, 17B, em paralelo como corrente 15A ou 15B e então por um dos dois agentes de reforço 23A, 23B, em paralelo como corrente 21A ou 21B. Corrente 21A ou 21B, então forma corrente 25, que é resfriada no trocador de calor a uma temperatura intermediária, então, dividida em duas. Corrente 39 continua a ser resfriada no trocador de calor 41. Corrente 27 é removida, e expandida para a pressão da coluna de alta pressão 32 em um dos expansores 29A, 29B montado em paralelo. Expansor 29A é acoplado a agente de reforço 23A e expansor 29B é acoplado a um agente de reforço 23B. A corrente expandida 33A ou 33B forma corrente 35 e é enviada para a coluna de alta pressão. A corrente é expandida em um expansor acoplado ao compressor em que foi previamente comprimido.

No modo líquido, todo o ar do compressor 3 forma a corrente 13 e é aumentada até 5,0 MPa abs por dois agentes de reforço 17A, 17B, em paralelo como correntes 15A, 15B e, então, poros dois agentes de reforços 23A, 23B, em paralelo como correntes 21A e 21B. Não existe corrente 9. Correntes 21A e 21B são então misturadas para formar corrente 25, que é resfriada no trocador de calor a uma temperatura intermediária, então, dividida em duas. Corrente 39 continua a ser resfriada no trocador de calor 41. Corrente 27 é removida e dividida em duas. Correntes 31A, 31B são cada expandida para a pressão da coluna de alta pressão 32 em expansores 29A, 29B montados em paralelo. Expansor 29A é acoplado a um agente de reforço 23A e expansor 29B é acoplado a um agente de reforço 23B. As correntes expandidas 33A, 33B são misturadas para formar corrente 35 e enviadas para a coluna de alta pressão 43, formando

somente a corrente gasosa enviada para essa coluna.

No modo líquido, a quantidade total do líquido retirado como produto final, seja como oxigênio líquido 61 ou nitrogênio líquido 59, é maior do que a quantidade de líquido retirado como produto final no modo gasoso.

A quantidade de líquido produzido no modo líquido pode chegar a 50% em mol dos produtos totais para uma unidade de separação de ar dada operando de acordo com a invenção.

Além de que, em qualquer modo, o nitrogênio gasoso em alta pressão pode ser produzido por bombeamento de nitrogênio líquido e vaporizá-lo (formando até 55% em mol do fluxo de oxigênio gasoso) para melhorar o consumo específico de energia.

Variantes do processo incluindo uma coluna de pressão intermediária, uma coluna de mistura e/ou uma coluna de argônio podem naturalmente ser previstas.

Reivindicações

1. Processo de separação de ar por destilação criogênica em um sistema de destilação, caracterizado pelo fato de que inclui pelo menos uma coluna de alta pressão (43) e uma coluna de baixa pressão (45) onde o ar é comprimido em um compressor principal (3), ar comprimido é resfriado em uma linha de troca de calor (41), ar resfriado, comprimido e purificado é enviado a partir da linha de troca de calor para a coluna de alta pressão, uma corrente líquida enriquecida com oxigênio (51) é enviada a partir da coluna de alta pressão para a coluna de baixa pressão, direta ou indiretamente, uma corrente líquida enriquecida com nitrogênio (53, 55) é enviada a partir da coluna de alta pressão para a coluna de baixa pressão, um gás rico em nitrogênio é removido da coluna de baixa pressão e aquecido em uma linha de troca de calor, um componente do ar (67) é removido do sistema de destilação em forma líquida, pressurizado e aquecido na linha de troca de calor, em que:

20 i) em um primeiro modo de operação, pelo menos 90% do ar comprimido no compressor principal é ainda comprimido a uma primeira pressão, pelo menos, 3,0 MPa a mais do que a pressão da coluna de alta pressão, o ar na primeira pressão é enviado para a linha de troca de calor, resfriado e dividido em duas partes, sendo uma liquefeita e enviada para o sistema de destilação e a outra sendo expandida em pelo menos um turbo-expansor (29A, 29B) antes de ser enviado para a segunda coluna de alta pressão);

30 ii) em um segundo modo de operação, no máximo 70% do ar comprimido no compressor principal é ainda

comprimido para uma primeira pressão de pelo menos 3,0 MPa a mais do que a pressão da coluna de alta pressão, o ar na primeira pressão é enviado para a linha de troca de calor, resfriado e dividido em duas partes, sendo uma parte
5 liquefeita e enviada para o sistema de destilação e a outra sendo expandida em pelo menos um turbo-expansor (29A, 29B) antes de serem enviadas para a coluna de alta pressão e pelo menos 30% do ar comprimido no compressor principal é enviado em uma pressão de saída do compressor principal
10 para a linha de troca de calor, resfriado e enviado para a coluna de alta pressão.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o componente do ar que é removido do sistema de destilação em forma líquida,
15 pressurizado e aquecido na linha de troca de calor é oxigênio ou nitrogênio.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o ar comprimido para a primeira pressão é comprimido em pelo menos um compressor
20 de um par de compressores (17A, 17B, 23A, 23B) conectados em paralelo.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o ar expandido a partir da primeira pressão para a pressão da coluna de alta pressão é
25 expandido em pelo menos um dos dois turbo-expansores (29A, 29B) conectados em paralelo.

5. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 ou 4, caracterizado pelo fato de que durante o primeiro modo de operação o ar é enviado para
30 ambos dos compressores (17A, 17B, 23A, 23B) conectados em

paralelo e/ou para ambos dos turbo-expansores (29A, 29B) conectados em paralelo.

5 6. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 ou 4, caracterizado pelo fato de que durante o segundo modo de operação o ar é enviado para apenas um dos compressores (17A, 17B, 23A, 23B) conectados em paralelo e/ou para apenas um dos turbo-expansores (29A, 29B) conectados em paralelo.

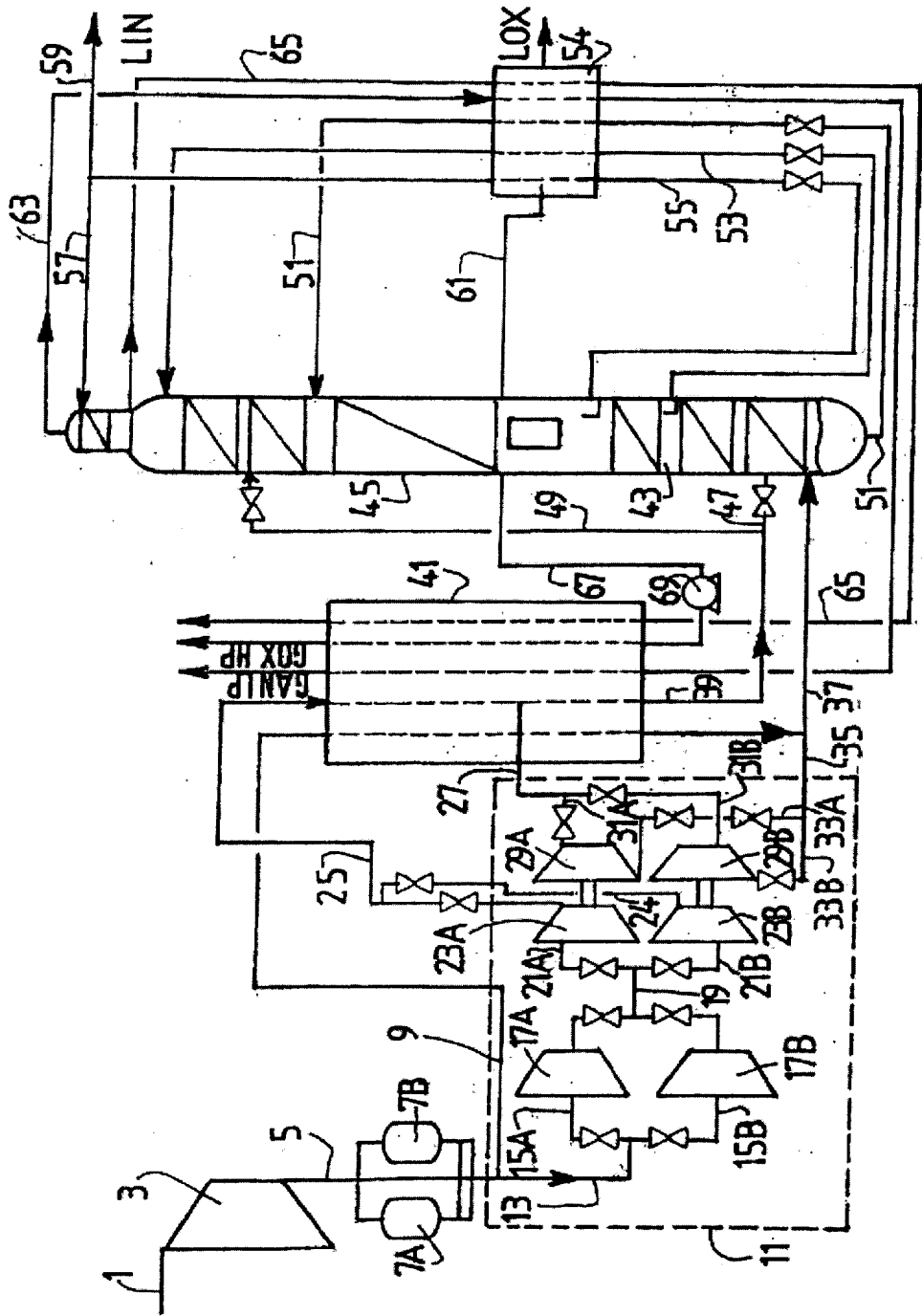
10 7. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que mais líquido criogênico é produzido como um produto final (59, 61), durante o primeiro modo de operação do que no segundo modo de operação.

15 8. Processo, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que um líquido criogênico (59, 61) é produzido como um produto final apenas durante o primeiro modo de operação.

20 9. Aparelho para a separação de ar por destilação criogênica, caracterizado pelo fato de que compreende um compressor principal (3), uma linha de troca de calor (41), compreendendo um sistema de destilação pelo menos uma coluna de alta pressão (43) e uma coluna de baixa pressão (45), um conduto (9) conectando a saída do compressor principal com a linha de troca de calor e a linha de troca
25 de calor com a coluna de alta pressão, adaptadas para transferir ar gasoso para a coluna de alta pressão na pressão de saída do compressor principal, a saída do compressor principal sendo conectada com pelo menos um compressor tipo booster (17A, 17B, 23A, 23B), a saída do
30 compressor tipo booster sendo conectada a linha de troca de

calor e a linha de troca de calor sendo conectada ao sistema de destilação por meio de expansão (29A, 29B) de modo que o ar na pressão de saída do compressor tipo booster é resfriado a esta pressão e então expandido a uma
5 pressão de uma das colunas do sistema de destilação.

10. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o meio de expansão compreende dois turbo-expansores (29A, 29B) conectados em paralelo e/ou o compressor tipo booster compreende pelo
10 menos um par de compressores (17A, 17B, 23A, 23B), conectados em paralelo.



Resumo**PROCESSO E APARELHO PARA A SEPARAÇÃO DE AR POR DESTILAÇÃO
CRIOGÊNICA**

5 Processo para a separação de ar por destilação
criogênica em um sistema de destilação incluindo pelo menos
uma coluna de alta pressão (43) e uma coluna de baixa
pressão (45) é revelado, segundo o qual o ar é comprimido
em um compressor principal (3) ar resfriado em uma linha de
troca de calor (41), ar resfriado, comprimido e purificado
10 é enviado a partir da linha de troca de calor (41) para a
coluna de alta pressão (43), em um primeiro modo de
operação, pelo menos 90% do ar comprimido no compressor
principal (3) é ainda comprimido a uma primeira pressão,
pelo menos, 30 bars a mais do que a pressão da coluna de
15 alta pressão (43), o ar na primeira pressão é enviado para
a linha de troca de calor (41), resfriado e dividido em
duas partes, sendo uma liquefeita e enviada para o sistema
de destilação e a outra sendo expandida em pelo menos um
turbo-expansor (29A,29B) antes de ser enviado para a
20 segunda coluna de alta pressão (43) e em um segundo modo de
operação, no máximo 70% do ar comprimido no compressor
principal (3) é ainda comprimido para uma primeira pressão
de pelo menos 30 bars a mais do que a pressão da coluna de
alta pressão (43), o ar na primeira pressão é enviado para
25 a linha de troca de calor (41), resfriado e dividido em
duas partes, sendo uma parte liquefeita e enviada para o
sistema de destilação e a outra sendo expandida em pelo
menos um turbo-expansor (29A,29B) antes de serem enviadas
para a coluna de alta pressão e pelo menos 30% do ar
30 comprimido no compressor principal (3) é enviado em uma

pressão de saída do compressor principal (3) para a linha de troca de calor (41), resfriado e enviado para a coluna de alta pressão (43).