

**(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: <b>2001.12.12</b>	(73) Titular(es): <b>AIR LIQUIDE AGS GMBH</b>	
(30) Prioridade(s): <b>2000.12.12 DE 10061908</b>	<b>HANS-GÜNTHER-SOHL STRASSE- 5 40235</b>	
(43) Data de publicação do pedido: <b>2002.08.14</b>	<b>DÜSSELDORF</b>	<b>DE</b>
(45) Data e BPI da concessão: <b>2007.07.18</b> <b>099/2007</b>	(72) Inventor(es): THEO SENTIS JENS JUCKEL THORSTEN MOELLER	DE DE DE
	(74) Mandatário: MARIA SILVINA VIEIRA PEREIRA FERREIRA RUA CASTILHO, N.º 50, 5º - ANDAR 1269-163 LISBOA	PT

(54) Epígrafe: **PROCESSO E DISPOSITIVO DE SEPARAÇÃO DO AR POR DESTILAÇÃO CRIOGÉNICA**

(57) Resumo:

## RESUMO

### "PROCESSO E DISPOSITIVO DE SEPARAÇÃO DO AR POR DESTILAÇÃO CRIOGENICA"

A invenção refere-se a um método e dispositivo para a separação criogénica de ar para obter azoto, oxigénio e árgon, compreendendo um sistema de rectificação com pelo menos uma coluna de rectificação, que apresenta colunas de pressão e de baixa pressão (1,3) termicamente acopladas uma à outra através de um condensador principal (2), estando a coluna de rectificação ligada a pelo menos uma coluna de árgon em bruto (10) e pelo menos uma coluna de ar liquefeito (17).

Uma separação de ar adicional, que beneficia o fraccionamento prévio do ar, permite um económico aproveitamento do produto num rendimento máximo do produto.

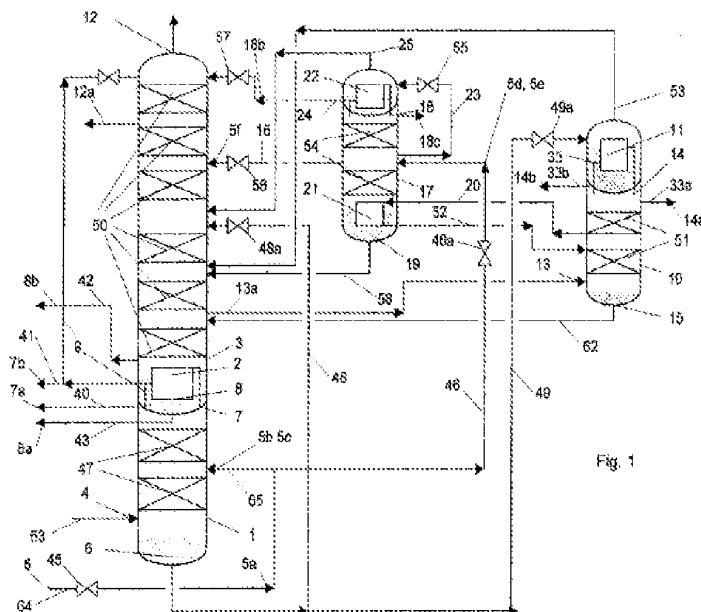


Fig. 1

### DESCRIÇÃO

#### **"PROCESSO E DISPOSITIVO DE SEPARAÇÃO DO AR POR DESTILAÇÃO CRIOGÉNICA"**

A invenção refere-se a um método e dispositivo para a separação criogénica do ar para obter azoto, oxigénio e árgon, de acordo com o preâmbulo da reivindicação 1 e 17.

Com os sistemas de separação do ar conhecidos com compressão interior, os produtos rectificadas a partir do ar são extraídos do sistema de rectificação, pelo menos parcialmente na forma líquida, promovidos à pressão final desejada através de dispositivos de transferência, como por exemplo, bombas de Cryo, e seguidamente evaporados em produtos vaporosos, numa rede de comutação de temperatura, ligada a um sistema de rectificação, em contracorrente com ar comprimido, de preferência em azoto ou oxigénio de pressão.

Os sistemas de separação de ar concebidos com um ciclo de compressão interior apresentam em si mesmos uma desvantagem fundamental que assenta no facto de, dependendo da quantidade de produto extraído na forma líquida do sistema de rectificação, emerge uma liquefacção parcial do ar processado introduzido, sendo reduzida a quantidade de ar rectificada na coluna de pressão do sistema de rectificação, tendo como consequência o aumento dos custos de separação e consequentemente de fabrico das colunas de rectificação, ligadas à coluna de pressão e/ou a redução da extracção do produto e nomeadamente a extracção de árgon.

O documento EP-A-0 752 565 divulga um método para a separação criogénica de ar para obter azoto, oxigénio e árgon, no qual, num sistema de rectificação com pelo menos uma coluna de pressão e baixa pressão, ligadas termicamente uma à outra, através de um condensador principal, com uma coluna de rectificação ligada a uma coluna de árgon em bruto, uma coluna de árgon puro e uma coluna de ar líquido, em que um outro fluxo estrangulado é extraído da coluna de pressão e é alimentado na coluna de ar líquido, e o produto de fundo liquefeito e rico em oxigénio da coluna de pressão, é alimentado na coluna de ar líquido, e o produto de fundo líquido da coluna de ar líquido é conduzido, na forma de elemento de arrefecimento para um condensador da coluna de árgon puro.

No documento US 5 715 706 é divulgado um método, no qual é obtido o produto de fundo rico em oxigénio da coluna de pressão, através de uma coluna adicional, a coluna RL-Flash, sendo ainda rectificado e adicionalmente obtido o líquido de refluxo pobre em oxigénio, em que as deteriorações emergentes da compressão interior da proporção do refluxo podem, ser pelo menos, parcialmente anuladas. Adicionalmente, o ar comprimido e arrefecido, que é liberto pelo dióxido de carbono e pela água (purificada), é rectificado numa coluna, através de dispositivos de rectificação convencionais, sob uma pressão de cerca de 5,3 bar, numa fracção rica em oxigénio e num fluxo de azoto gasoso. O fluxo de azoto gasoso é pelo menos parcialmente condensado e utilizado como refluxo para as colunas de pressão e baixa pressão. O líquido de fundo da coluna de pressão, enriquecido com oxigénio, é normalizado numa coluna RL-Flash, equipada ou não com dispositivos de rectificação, evaporador de fundo ou condensador de topo, e

o vapor obtido da normalização na coluna RL-Flash é rectificado sob uma pressão de funcionamento compreendida entre a pressão da coluna de pressão e da coluna de baixa pressão. Na coluna RL-Flash obtém-se ainda um vapor pobre em oxigénio, através da evaporação de fundo conseguida com azoto gasoso saído da coluna de pressão. Nas colunas RL-Flash sem dispositivos de rectificação, o líquido de fundo desenvolvido é apenas estrangulado para uma mistura de duas fases, sendo depois adicionalmente separado na coluna de baixa pressão.

Apesar disso, o líquido estrangulado, ou alternativo, encontra aplicação numa outra forma de realização vantajosa da US 5 715 706, em que saídas laterais líquidas da coluna de baixa pressão são utilizadas como elementos de condensação para o condensador de topo disposto na coluna RL-Flash, através do qual o elemento vaporoso que ascende na coluna RL-Flash é, pelo menos, parcialmente condensado. O condensado é novamente alimentado, como refluxo, na coluna RL-Flash e coluna de baixa pressão e/ou extraído da coluna de ar líquido, na forma de produto líquido.

A desvantagem deste método divulgado no documento US 5 715 706 assenta no facto de o condensador de árgon em bruto ter de apresentar uma dimensão claramente maior, uma vez que a concentração de oxigénio do oxigénio em bruto aumenta e, conseqüentemente, a diferença de temperatura para a comutação de temperatura no condensador de árgon em bruto é reduzida, se, em vez do produto de fundo da coluna de pressão, for utilizado o produto de fundo da coluna RL-Flash, para o arrefecimento do condensador de árgon em bruto. Para além disso, o rendimento a obter no refluxo adicional é limitado, pelo facto de apenas uma porção

relativamente pequena do azoto de pressão gasoso extraído da coluna de pressão poder ser indicada para o aquecimento do evaporador de fundo da coluna RL-Flash, sem que o fluxo ascendente na secção inferior da coluna de baixa pressão seja diminuído, de modo que a percentagem de azoto aumente nos gases laterais de árgon, ao ponto de o condensador de árgon em bruto não poder mais funcionar.

A invenção tem, então, o objectivo de realizar um método e dispositivo do tipo descrito na técnica anterior, através do qual seja possível obter, a baixo custo, azoto e oxigénio, com elevado rendimento do produto, particularmente numa rectificação de árgon em circuito.

Este objectivo é atingido através de um processo e dispositivo com as características das reivindicações 1 e 17.

Aperfeiçoamentos da invenção são concluídos nas reivindicações dependentes 2 a 16 e 18 a 23.

De acordo com a invenção, a partir de uma rede de comutação de temperatura (acima de tudo, no processo Coldbox, no arrefecimento dos fluxos de processamento, alimentados e extraídos, foram utilizados comutadores de temperatura, como por exemplo comutadores de altas temperaturas, *subcoolers* e evaporadores LOX) um ar processado previamente arrefecido é pelo menos parcialmente alimentado directamente num primeiro fluxo parcial de ar processado, predominantemente gasoso e, num segundo fluxo parcial, é estrangulado ao nível da pressão da coluna de pressão, sendo pelo menos parcialmente alimentado na coluna de pressão como ar processado predominantemente líquido,

conjuntamente com o fluxo evaporado obtido no estrangulamento.

A porção remanescente de ar processado líquido, não introduzida na coluna de pressão, é estrangulada ao nível da pressão da coluna de ar líquido, e alimentada na coluna de ar líquido, na forma de fluxo parcial de ar líquido e vaporoso e na coluna de baixa pressão, na forma de líquido de refluxo.

O ar processado que é alimentado na coluna de pressão, que está equipada com dispositivos de rectificação, na forma de fundos convencionais diferentemente dispostos e/ou embalagens ou elementos de enchimento ordenados, bem como termicamente acoplada à coluna de baixa pressão através de um condensador principal, é separado sob pressão de cerca de 4 a 6 bar, num produto de fundo líquido rico em oxigénio e num grupo de topo gasoso rico em azoto.

O produto de azoto, presente no topo da coluna de pressão, contendo uma percentagem de azoto restante até 1 ppm é pelo menos parcialmente extraído da coluna de rectificação, na forma de produto vaporoso e/ou líquido.

O produto de topo gasoso rectificado na coluna de pressão é pelo menos parcialmente condensado por meio do condensador principal, através de comutação de calor indirecta com o grupo de fundo líquido evaporado e rico em oxigénio da coluna de baixa pressão, e o condensado resultante é pelo menos parcialmente alimentado na coluna de pressão, como refluxo.

O produto de fundo líquido rico em oxigénio da coluna de pressão é pelo menos parcialmente introduzido como elemento

de arrefecimento no condensador da coluna de árgon em bruto e/ou introduzido como refluxo na coluna de baixa pressão. Os elementos introduzidos na coluna de baixa pressão são, sob uma pressão de cerca de 1,1 a 1,6 bar, separados através de dispositivos de rectificação, na forma de fundos convencionais diferentemente dispostos e/ou embalagens ou elementos de enchimento ordenados, num produto de topo gasoso e rico em azoto e num produto de fundo líquido e rico em oxigénio.

No caso de ser obtido na coluna de baixa pressão um produto de azoto enriquecido com um conteúdo de azoto restante de 0,5 a 10 ppm, então são extraídos alguns níveis de separação do produto de azoto gasoso desunido, sob a medição de azoto puro num oxigénio gasoso com cerca de 2 vol-%.

O líquido de fundo evaporado, pelo menos parcialmente, através do condensador principal, ascende na coluna de baixa temperatura e é rectificado em contracorrente com um líquido que escorre.

Para obter árgon em bruto é extraído um gás lateral de oxigénio e árgon, rico em árgon, a partir do nível médio da coluna de baixa pressão, o tão conhecido ventre de árgon, sendo introduzido na coluna de árgon em bruto, equipada com dispositivos de rectificação, na forma de diversas embalagens e/ou elementos de enchimento ordenados e um condensador de topo, bem como separado num produto de árgon em bruto gasoso e num produto de fundo líquido rico em oxigénio, sob uma pressão de funcionamento, ligeiramente abaixo da pressão de funcionamento da coluna de baixa pressão.



O produto de árgon em bruto gasoso pobre em oxigénio, com um valor máximo de oxigénio restante de 6 vol-%, que se encontra no topo da coluna de árgon em bruto, é pelo menos parcialmente condensado em árgon em bruto líquido, por meio de comutação indirecta de calor com elementos de processamento líquidos, como por exemplo líquidos de fundo da coluna de pressão, e pelo menos parcialmente reconduzido como refluxo para a coluna de árgon em bruto. Pelo menos parte do produto de topo é extraída do condensador de árgon em bruto, ou como produto vaporoso directamente do topo da coluna, ou como produto líquido, ou eventualmente conduzido a outras etapas de tratamento, como por exemplo reaquecimento até à temperatura ambiente do produto de árgon em bruto gasoso, compressão a cerca de 4 a 6 bar, conversão catalítica do oxigénio restante no árgon em bruto, com o auxílio de hidrogénio a alimentar no vapor de água, arrefecimento à temperatura ambiente, isolamento adsorvido do vapor obtido na conversão com hidrogénio num crivo molecular, nova arrefecimento do árgon em bruto isento de oxigénio em contracorrente com o árgon extraído da coluna de árgon em bruto, uma coluna de árgon puro para obter o produto de árgon puro isento de azoto.

O árgon em bruto alimentado na coluna de árgon puro, que se encontra equipada com dispositivos de rectificação, na forma de várias embalagens e/ou elementos de enchimento ordenados e dispostos de modo variado, bem como com condensador de topo e evaporador de fundo, é evaporado sob uma pressão de 1,1 a 5 bar, dando um produto de fundo líquido pobre em azoto e oxigénio, a partir do qual é extraída, da coluna de árgon puro, uma porção como produto de árgon puro com menos de 1 ppm de oxigénio restante e de

azoto restante, mantendo-se a porção restante na coluna de árgon puro para manutenção da rectificação no condensador de fundo, procedendo-se tanto quanto possível a uma rectificação para obter um produto de topo rico em azoto.

O líquido de fundo rectificado na coluna de árgon puro é pelo menos parcialmente evaporado através de um evaporador de fundo que é accionado por meio de um elemento de processamento gasoso e o produto de topo gasoso rico em oxigénio, disposto na coluna de árgon puro, é condensado através do líquido de fundo proveniente da coluna de ar líquido.

A porção gasosa inerte não condensável do produto de topo rico em azoto da coluna de árgon puro é despressurizada nas imediações do sistema como fluido de purga.

O vapor que escorre sobre a parte do elemento de arrefecimento, durante o funcionamento do condensador do árgon em bruto, é alimentado na coluna de baixa pressão.

O ar processado líquido e evaporado acima descrito, que é alimentado na coluna de ar liquefeito é, sob pressão compreendida entre a pressão de funcionamento das colunas de pressão e de baixa pressão e que alcança cerca de 2,3 a 2,6 bar na entrada de ar líquido, como elemento de arrefecimento, separado num produto de topo gasoso pobre em oxigénio e num líquido de fundo rico em oxigénio, através dos dispositivos de rectificação, compostos por fundos convencionais e/ou embalagens ou elementos de enchimento ordenados, e dispostos tanto na parte superior como inferior do ponto de alimentação.

O líquido de fundo rectificando na coluna de ar líquido é parcialmente evaporado num evaporador de fundo, de modo a possibilitar uma rectificação abaixo do nível de alimentação do ar liquefeito e conseqüentemente aumentar o valor de oxigénio do líquido de fundo e, assim, o rendimento do produto de topo.

De um modo vantajoso, para o aquecimento do evaporador de fundo é utilizado o calor latente de um elemento de processamento predominantemente gasoso e/ou o calor sensível de um líquido separado do processo.

Como elemento de aquecimento para a evaporação, pelo menos parcial, do líquido de fundo presente na coluna de ar líquido, é aplicado um fluxo separado do processo, como por exemplo líquido de fundo da coluna pressão, um fluxo de gás lateral vaporoso ou um fluxo de produto de topo da coluna de pressão e, de um modo muito preferido, uma saída lateral vaporosa da coluna de argon em bruto, procedendo-se à sua introdução, individualmente ou em combinação, num evaporador de fundo da coluna de ar líquido.

O líquido de fundo da coluna de pressão, que é introduzido como elemento de aquecimento no evaporador da coluna de ar líquido, é seguidamente conduzido na forma de líquido arrefecido para a coluna de baixa pressão e/ou para o condensador da coluna de argon em bruto.

O fluxo lateral ou o fluxo do produto de topo da coluna de pressão, que é introduzido como elemento de aquecimento no evaporador de fundo da coluna de ar líquido, é a seguir - pelo menos parcialmente condensado - alimentado como líquido de refluxo na coluna de baixa pressão e/ou como

elemento de arrefecimento no condensador de topo da coluna de árgon em bruto.

Além disso, a saída lateral líquido proveniente da coluna de ar líquido é introduzida como elemento de arrefecimento no condensador da coluna de ar líquido e/ou como líquido de refluxo nas colunas de pressão e de baixa pressão.

Para a evaporação do líquido de fundo da coluna de ar líquido, pode recorrer-se também à própria matéria introduzida, bem como ao ar processado gasoso de muito baixa temperatura obtido sob pressão, sendo, antes do estrangulamento ao nível da pressão da coluna de ar líquido, conduzido para o evaporador de fundo da coluna de ar líquido, onde se obtém gás ascendente para a coluna de ar líquido, através da libertação do calor sensível obtido no fluxo gasoso.

O elemento de processamento, pelo menos parcialmente liquefeito na liquefacção do produto de topo vaporoso, no condensador da coluna de ar líquido, é alimentado como refluxo nas colunas de pressão e de baixa pressão, respectivamente, extraído como produto de azoto líquido.

Numa outra forma de realização preferida da invenção, o fluxo parcial do ar processado, extraído da rede de comutação de temperatura, é estrangulado, o qual após estrangulamento ao nível de pressão das colunas de pressão ou de baixa pressão, assume a forma predominantemente líquida, sendo directa e totalmente alimentado na coluna de pressão na forma de ar processado predominantemente líquido e extraído da saída lateral líquido da coluna de pressão, na forma de líquido de arrefecimento para o condensador, e

na forma de líquido de alimentação para a coluna de ar líquido, bem como na forma de refluxo para a coluna de baixa pressão.

No caso de ser contabilizado o estrangulamento com um desenvolvimento vaporoso forte, comprovou-se vantajoso arrefecer previamente o ar processado antes do estrangulamento, num evaporador disposto no fundo da coluna de pressão, através de comutação de temperatura indirecta com líquidos de fundo vaporosos da coluna de pressão.

Adicionalmente, comprovou-se como vantajosa a alimentação total do ar a liquefazer, directamente na coluna de ar líquido e prever uma saída lateral líquido na posição de alimentação, para extrair ar líquido, tanto na forma de elemento de arrefecimento para o accionamento do condensador da coluna de ar líquido, como na forma de líquido de refluxo para a coluna de baixa pressão, quando por razões mecânicas se deva prescindir de uma alimentação prévia do fluxo de ar líquido na coluna de pressão.

Numa outra forma de realização preferida da invenção, o fluxo predominantemente líquido após o estrangulamento e que é extraído da rede de comutação de temperatura, é totalmente normalizado para dentro de um recipiente separado que funciona à mesma pressão de funcionamento da coluna de ar líquido, o qual se encontra em comunicação com a coluna de ar líquido directamente através de uma linha de gás. A partir do recipiente separado, o vapor obtido no estrangulamento, bem como uma porção do ar líquido, são introduzidos na coluna de ar líquido, como fluxos de alimentação, uma outra porção do ar líquido é alimentada como elemento de arrefecimento para o condensador da coluna

de ar líquido e a porção restante do ar líquido é alimentada como líquido de refluxo, tanto na coluna de baixa pressão como na coluna de pressão. Desta forma e uma vez que o recipiente é disposto a uma altura suficiente na Coldbox, torna-se possível, alimentar líquido exclusivamente a partir do recipiente separado para a coluna de pressão, sob aproveitamento do desnivelamento geodésico. Esta disposição comprovou-se especialmente vantajosa, quando são liquefeitas grandes quantidades de ar processado e/ou quando considerado o estrangulamento de elevadas acumulações de vapores.

A invenção refere-se ainda a um dispositivo de acordo com as características das reivindicações 17 a 23.

A separação criogénica de ar, de acordo com a invenção, para obter azoto, oxigénio e árgon apresenta as seguintes vantagens essenciais especificadas, face ao estado da técnica divulgado.

De acordo com a invenção, é alimentado na coluna de ar líquido um fluxo de ar líquido rectificativo sem tratamento prévio, o qual apresenta uma porção de azoto superior à do líquido de fundo da coluna de pressão divulgada no documento US 5 715 706, em que num conteúdo semelhante de oxigénio do líquido de fundo se obtém um rendimento superior de azoto na coluna de ar líquido e coluna RL-Flash, bem como através do resultante refluxo adicional das colunas se obtém uma optimização da potência da coluna de ar líquido.

A invenção é então especialmente e vantajosamente aplicável, quando produtos líquidos, de preferência

oxigénio ou azoto líquidos, têm de ser extraídos das colunas de rectificação do sistema de rectificação, de modo a obter apenas produtos líquidos ou para evaporar os produtos líquidos em contracorrente com ar comprimido (sistemas de compressão interna e sistemas de liquefacção com liquefactor de ar integrado).

O ar de muito baixa temperatura resultante de métodos conhecidos para a separação de ar, igualmente sob pressão, o qual é pelo menos parcialmente liquefeito devido ao estrangulamento ao nível da pressão das diversas colunas de rectificação, seria em realizações de processos convencionais introduzido nas colunas de pressão ou baixa pressão e a relação de refluxo nestas colunas seria apenas acidentalmente melhorada.

A separação prévia, de acordo com a invenção, do ar liquefeito na coluna de ar líquido vai obter um produto de topo pobre em oxigénio, podendo ser alimentado por cima do ponto de alimentação para o ar líquido na coluna de baixa pressão, como refluxo adicional, sendo o rendimento do árgon, obtido com o método de acordo com a invenção, melhorado em cerca de 5 a 10%.

Uma outra vantagem essencial da coluna de ar líquido, preenchida com ar líquido, assenta no facto de na coluna de baixa pressão poder ser obtido um produto de azoto gasoso puro, sem que para isso tenha de ser obtido na coluna de pressão um correspondente líquido de lavagem pobre em oxigénio.

Deste modo, uma vez que o líquido de refluxo, necessário para a obtenção do produto de azoto puro, é extraído da

coluna de baixa pressão, a coluna de baixa pressão pode ser provida com menos etapas de separação, até 15 a 20 etapas de separação, a altura total da Coldbox pode ser reduzida em conformidade, e conseqüentemente os custos de todo o sistema.

Um procedimento foi particularmente experimentado, com o qual - contrariamente ao constante em US 5 715 706 - para o arrefecimento do condensador de topo da coluna de ar líquido, é usado ar processado liquefeito de rectificação, isento de pré-tratamento, ou uma saída lateral líquida da coluna de ar líquido, retirados a partir do ponto de alimentação da coluna de ar líquido. Para além disso, o ar processado liquefeito, respectivamente a saída lateral líquida da coluna de ar líquido é estrangulado directamente, ou após outro arrefecimento, ao nível da pressão da coluna de baixa pressão e conduzido ao condensador de topo da coluna de ar líquido.

Através do funcionamento do condensador de topo com o ar liquefeito, consegue-se que a pressão de funcionamento da coluna de ar líquido se encontre apenas a cerca de 1 bar acima da pressão da coluna de baixa pressão, através do que, comparativamente com a coluna de pressão, o custo de separação i.e. a taxa de níveis de separação é reduzida em cerca de 10 e/ou a quantidade necessária de refluxo seja reduzida, assim aumentando respectivamente o rendimento de azoto na coluna de ar líquido.

De um modo vantajoso, obtém-se, através do funcionamento de pressão reduzida da coluna de ar líquido, uma variedade de possibilidades de integração para a coluna de ar líquido,



idealmente adequadas ao respectivo sistema de rectificação específico.

Adicionalmente, mostrou-se particularmente favorável, para além do conhecido aquecimento do evaporador de fundo da coluna de ar líquido, introduzir um produto de topo vaporoso da coluna de pressão, também os calores sensíveis provenientes do produto de fundo da coluna de pressão e/ou um fluxo parcial de ar liquefeito de muito baixa temperatura extraído da rede de comutação de temperatura, obtido sob pressão e estrangulado ao nível de pressão das colunas de pressão ou de ar líquido.

Para isso o calor liberto do processo do sistema, é acoplado através do evaporador de fundo na coluna de ar líquido, de modo que a concentração de oxigénio no líquido de fundo da coluna de ar líquido esteja entre 45 a 70%. Deste modo, o volume na coluna de ar liquefeito e por conseguinte o rendimento do produto de topo pobre em oxigénio, presente na coluna de ar líquido, pode ser particularmente aumentado, em comparação com a coluna de pressão, de modo que esteja disponível para a secção superior da coluna de baixa pressão cerca de mais 12% de refluxo.

Uma vez que é retirado da coluna de árgon em bruto um fluxo vaporoso com uma taxa de oxigénio de 30 a 90%, pelo menos parcialmente liquefeito no aquecimento de fundo da coluna de ar líquido, através de comutação de temperatura indirecta e depois novamente introduzido na coluna de árgon em bruto, podem ser essencialmente obtidas as seguintes vantagens:

- Diminuição da irreversibilidade durante a separação do ar, devido às reduzidas diferenças de temperatura dos elementos de aquecimento e arrefecimento, de acordo com a invenção;
- Variabilidade relativamente aos custos do sistema, fornecimento de energia e rendimento do produto através de uma passagem da coluna de árgon em bruto que permite um gradiente de temperatura ideal no aquecimento de fundo da coluna de ar líquido;
- Redução dos custos do sistema para a Coldbox e para as colunas de rectificação através da diminuição de dispositivos de rectificação e outras instalações, bem como diminuição do corte transversal da coluna de árgon em bruto, por cima da saída lateral;
- Diminuição dos custos do sistema através da introdução de um condensador de topo com dimensões mais pequenas na coluna de árgon em bruto.

Podem ser usados entre 7 a 12% dos vapores ascendentes na coluna de árgon em bruto, na forma de elementos de aquecimento para o aquecimento do fundo da coluna de ar líquido, sem que o rendimento de árgon baixe em mais de 0,5%, num mesmo número de etapas de separação teóricas na coluna de árgon em bruto.

De acordo com a invenção é, não só aumentado na coluna de ar líquido o rendimento do produto de topo pobre em oxigénio, mas também reduzida a irreversibilidade na coluna de árgon em bruto.

Uma outra vantagem da invenção assenta no facto de uma saída lateral líquida ou uma porção do produto de fundo da coluna de ar líquido poderem ser introduzidas para

arrefecimento do condensador de topo da coluna de árgon em bruto. Através da introdução na coluna de árgon em bruto da saída lateral, respectivamente do produto de fundo da coluna de ar líquido, como elementos de condensação, o produto de topo líquido da coluna de pressão, que é alimentado na realização de processos convencionais para este efeito, pode ser substituído e ser alimentado como líquido de refluxo adicional na coluna de baixa pressão, em que o rendimento de árgon aumenta novamente e/ou a taxa de etapas de separação na coluna de baixa pressão pode ser reduzida.

Para além disso, através da separação adicional conseguida no condensador de árgon puro do produto de fundo proveniente da coluna de ar líquido e colocado numa posição favorável da técnica processual no interior da coluna de baixa pressão, torna-se possível uma outra redução dos custos de separação e assim uma optimização do processo de separação na coluna de baixa pressão.

Numa outra forma de realização preferida da invenção, o ar liquefeito é primeiramente alimentado completa ou parcialmente na coluna de pressão e aplicado a partir da coluna de pressão, na forma de saídas laterais líquidas como elemento de alimentação para a coluna de ar líquido, bem como na condição de elemento de condensação para o condensador de topo da coluna de ar líquido, sendo a porção restante do ar líquido fornecida à coluna de baixa pressão na forma de líquido de refluxo.

Um método foi particularmente experimentado, no qual o ar liquefeito, antes da normalização e divisão nas colunas de pressão, baixa pressão e de ar líquido, é conduzido por

meio de um evaporador disposto no fundo da coluna de pressão, sendo na mesma previamente arrefecido através de transmissão de calor indirecta, em que é possível minimizar a irreversibilidade do processo de estrangulamento e aumentar o rendimento do produto de topo na coluna de pressão, através do evaporador de fundo, que se encontra a funcionar com etapas de separação teóricas incompletas.

Numa outra forma de realização vantajosa da separação do ar, de acordo com a invenção, a coluna de ar líquido do sistema de rectificação é colocada num recipiente separado, disposto a uma altura tão alta quanto possível na Coldbox. No recipiente separado, que trabalha com a mesma pressão de funcionamento que a coluna de ar líquido, a temperatura muito baixa é normalizada, sob pressão de fluxos de ar líquido existentes. O vapor obtido na normalização no recipiente separado é alimentado a jusante na coluna de ar líquido com um fluxo parcial de ar liquefeito com o estrangulamento.

Ficou comprovado como sendo favorável normalizar o ar líquido arrefecido adicional, como elemento de arrefecimento no condensador de topo dentro da coluna de ar líquido. O ar líquido desnecessário na coluna de ar líquido e como elemento de arrefecimento para o condensador de topo da coluna de ar líquido, é alimentado nas colunas de pressão e de baixa pressão.

Uma vez que a coluna de ar líquido se encontra prevista com uma fonte de líquido de refluxo para a coluna de baixa pressão, pode ser obtido nesta coluna de baixa pressão um produto de azoto com um valor de oxigénio restante de 0,5 a 10 ppm, sem que para isso tenha de ser obtido na coluna de

pressão um líquido puro de refluxo correspondente, de modo que na coluna de pressão são necessárias menos etapas de separação para a obtenção de um produto de topo com valores de oxigênio restantes de 0,5 a 2 vol-%, sem que o rendimento de oxigênio e árgon sejam negativamente influenciados na coluna de baixa pressão.

A invenção será seguidamente explicada em detalhe, com referência às formas de realização preferidas, ilustradas nas figuras.

As figuras ilustram:

Fig.1 uma apresentação esquemática de um método de acordo com a invenção para a separação de ar, com uma coluna de ar liquefeito com obtenção de árgon em bruto para a rectificação prévia do ar;

Fig.2 uma apresentação esquemática do método, de acordo com a invenção, para a separação de ar com uma coluna de ar líquido com obtenção de árgon em bruto utilizada para a rectificação prévia do ar;

Fig. 3 uma apresentação esquemática do método de acordo com a invenção, para a separação do ar com rectificação prévia do ar com obtenção de árgon em bruto e árgon puro, proveniente do separador e presente na coluna de ar líquido;

Fig. 4 uma apresentação gráfica da irreversibilidade na coluna de árgon em bruto aquando da saída de um fluxo parcial vaporoso;

Num sistema de rectificação ilustrado esquematicamente na Fig. 1, com uma coluna de rectificação, provida de colunas de pressão e de baixa pressão 1,3 com condensador principal comum 2, a qual se encontra ligada a uma coluna de árgon em bruto e a uma coluna de baixa pressão 10, 17, todo o ar processado é comprimido antes da sua alimentação num comutador de temperatura disposto num conjunto da Coldbox, como por exemplo uma rede de comutação de temperatura composta por comutador principal de temperatura, radiador de baixa temperatura e/ou outros comutadores de temperatura separados, a um nível de pressão minimamente acima do da coluna de pressão 1, que se move normalmente entre 4 e 6 bar, e limpo à temperatura ambiente de ingredientes secundários nocivos, como o vapor de água e dióxido de carbono. Um fluxo parcial do ar assim purificado, cuja taxa no ar total depende da quantidade do produto gasoso líquido ou comprimido, é selado antes da sua alimentação na rede de comutação de temperatura, a uma pressão, a qual se rege pelo nível de pressão necessário ao fluxo de produto comprimido que é extraído do sistema e que apresenta normalmente cerca de 10 a 80 bar. O ar processado purificado e comprimido que foi obtido ao nível da pressão da coluna de pressão 1 e que se encontra disponível, é arrefecido na rede de comutação de calor, quase até ao seu ponto de condensação, sendo alimentado como primeiro fluxo parcial predominantemente gasoso 4 através de uma tubagem 63 directamente por baixo dos dispositivos de rectificação 47, na coluna de pressão 1 que se encontra termicamente ligada à coluna de baixa pressão 3 através do condensador principal 2.

O segundo fluxo parcial 5 do ar processado, obtido no nível de pressão mais elevado, é igualmente arrefecido na rede de

comutação de temperatura e normalizado numa linha 64 com estrangulador 45, ao nível da pressão da coluna de pressão e alimentado na coluna de pressão 1, através de uma linha 65, por cima do dispositivo de rectificação 47 inferior, como fluxo parcial de ar líquido 5b, conjuntamente com o fluxo parcial de ar vaporoso 5c obtido na alimentação do estrangulador 45. Com o conceito de estrangulador deve entender-se neste contexto, cada redução de pressão para determinados equipamentos, como por exemplo uma canalização com elementos móveis, mas também uma regeneração transversal das linhas. O ar processado essencialmente vaporoso 4, alimentado na coluna de pressão 1 provida com dispositivos de rectificação 47, na forma de fundos convencionais dispostos de diversas formas e/ou embalagens ou elementos de enchimento ordenados, por baixo dos dispositivos de rectificação 47, é conjuntamente com o fluxo parcial de ar líquido 5b e o fluxo parcial de ar vaporoso 5c, que são fornecidos na área inferior, por cima dos dispositivos de rectificação 47 da coluna de pressão 1, dividido num produto de fundo líquido e rico em oxigénio 6 e num produto de azoto vaporoso pobre em oxigénio 7 com uma taxa de oxigénio restante essencialmente de 0,5-10 ppm. O produto de azoto vaporoso que é conseguido no topo da coluna de pressão 1 é parcialmente extraído através de uma linha 40, na forma de produto de azoto de pressão vaporoso 7a, e a porção de produto restante na coluna de pressão 1 é condensada num condensador 2, através de transmissão de calor indirecta com existentes produtos de fundo líquidos vaporosos 8 da coluna de baixa pressão 3. O condensado obtido deste modo é distribuído através de uma linha 9 pela coluna de pressão e de baixa pressão 1,3, na forma de líquido de refluxo, respectivamente extraído na forma de

produto de azoto líquido 7b, através da linha 41, com uma taxa de oxigénio restante de 0,5 a 10 ppm.

A pressão de funcionamento da coluna de pressão 1, acoplada através do condensador 2 à pressão de funcionamento da coluna de baixa pressão 3, essencialmente entre 1,2 a 1,6 bar, encontra-se entre valores de 4 a 6 bar. O líquido de fundo 6 rectificado na coluna de pressão 1, é normalizado na coluna de baixa pressão 3, na forma de refluxo, através de uma linha 48 provida de um estrangulador 48a, bem como na forma de líquido de arrefecimento, através de uma outra linha 49, que apresenta um estrangulador 49a no condensador de topo 11 da coluna de árgon em bruto 10, em regra, concebida como um termosifão, que funciona com a mesma pressão de funcionamento que a coluna de baixa pressão 3. Os fluxos gasosos e líquidos introduzidos na coluna de baixa pressão 3, equipada com dispositivos de rectificação 50, na forma de fundos convencionais diferentemente dispostos e/ou embalagens ou elementos de enchimento ordenados, são separados, com a ajuda do produto de fundo líquido rico em oxigénio 8, evaporado no fundo, a uma pressão de funcionamento essencialmente de 1,2 a 1,6 bar, num produto de azoto vaporoso pobre em oxigénio 12 com uma taxa de oxigénio restante de 0,2 a 10 ppm e num produto de fundo líquido rico em oxigénio 8 com uma taxa de oxigénio de pelo menos 99,5% vol.

De modo a se poder retirar simultaneamente, tanto um produto de azoto puro 12, como também um produto de oxigénio puro 8a, b através das linhas 43, 42 a partir da coluna de baixa pressão 3, é também extraído da secção superior da coluna de baixa pressão 3 um fluxo de azoto 12a



gasoso não purificado com oxigénio, com um conteúdo de oxigénio de 0,1 a 2%.

Podem ser extraídos para outras aplicações a partir da coluna de baixa pressão 3, o produto de oxigénio líquido 8a, rectificado na coluna de baixa pressão 3, através de uma linha 43, bem como o produto de oxigénio vaporoso 8b presente na coluna de baixa pressão 3, através da linha 42. A porção restante de líquido de fundo 8, que permanece na coluna de baixa pressão 3, é evaporada para a manutenção da rectificação através de transmissão de calor indirecta no condensador 2, essencialmente concebido como termofissão, em casos especiais também como evaporador de fluxo descendente. A partir da coluna de baixa pressão 3, ao seu nível central, o aclamado ventre de árgon, é extraída uma porção de cerca de 30%, correspondente à quantidade vaporosa ascendente no condensador 2, da mistura de árgon e oxigénio 13, com um conteúdo de árgon essencialmente de 8 a 12% vol, seguindo-se a alimentação através da linha 13a na coluna de árgon em bruto 10. A mistura gasosa de árgon e oxigénio, que é alimentada na coluna de árgon em bruto 10, equipada com dispositivos de rectificação 51 na forma de fundos diferentemente dispostos e/ou embalagens ou elementos de enchimento ordenados, é rectificada num produto de fundo líquido rico em oxigénio 15 e num produto de árgon em bruto vaporoso pobre em oxigénio 14. O produto de árgon em bruto 14 é extraído para outras aplicações, a partir da coluna de árgon em bruto 10, através de uma linha 33a, 33b, na forma de produto de árgon em bruto líquido, respectivamente vaporoso 14a, b com um conteúdo de oxigénio restante de 0,2 a 5%vol. O fluxo de árgon em bruto vaporoso, que não é extraído na forma de produto de topo da coluna de árgon em bruto 10, é condensado no condensador,

concebido essencialmente como termofissão 11, através de transmissão indirecta de calor com elementos de arrefecimento vaporosos existentes, essencialmente líquido de fundo 6 da coluna de pressão 1, sendo novamente fornecido à coluna de árgon em bruto 10 na forma de refluxo. O vapor obtido na condensação do elemento de arrefecimento no condensador 11 é alimentado na secção central da coluna de baixa pressão 3, através da linha 53. O produto de fundo líquido rico em oxigénio 15, rectificado na coluna de árgon em bruto 10 é novamente alimentado na coluna de baixa pressão 3, através de uma linha 62. Na secção inferior da coluna de árgon em bruto 10 são recolhidos cerca de 7 a 15% do vapor ascendente no lado do árgon em bruto, na forma de gás lateral com um conteúdo de oxigénio de 20 a 90 %-vol e introduzidos através de uma linha 20 num evaporador de fundo 21 da coluna de ar líquido 17, onde o gás lateral é condensado através de transmissão indirecta de calor com líquido de fundo vaporoso existente e alimentado na forma de líquido de refluxo, através da linha 52 de volta à coluna de árgon em bruto 10. A porção de fluxo parcial de ar líquido 5b do ar de processamento, que não foi introduzida directamente na coluna de pressão 1, é normalizada através de um estrangulador 46a disposto numa linha 46, à pressão da coluna de pressão 17, a qual se encontra entre a pressão de funcionamento das colunas de pressão e de baixa pressão 1,3 e, pelo menos parcialmente introduzida, na forma de fluxo parcial de ar líquido 5d conjuntamente com o fluxo parcial de ar vaporoso 5e, obtido na normalização, na coluna de ar líquido 17 equipada com dispositivos de rectificação 54, na forma de fundos convencionais dispostos de modo variado e/ou embalagens ou elementos de enchimento ordenados. Os fluxos de azoto 5d,e, alimentados na coluna de ar líquido 17, são rectificados

através dos dispositivos de rectificação 54 num produto de azoto vaporoso pobre em oxigénio 18, com um conteúdo de oxigénio restante de 0,5 a 10 ppm e num produto de fundo líquido rico em oxigénio 19. O produto de fundo líquido 19 rectificado na coluna de ar líquido 17 apresenta um conteúdo de oxigénio de 40 a 70%-vol.

O fluxo parcial de ar líquido 5d, que é introduzido na coluna de ar líquido 17, é novamente medido a partir da coluna de ar líquido 17, numa porção essencial à altura da sua posição de alimentação e alimentado num condensador de topo 22 da coluna de ar líquido 17, através de uma linha 23 com estrangulador 55. O ar líquido, não alimentado no condensador de topo 22 da coluna de ar líquido 17, é normalizado na forma de fluxo parcial de ar líquido 5f, através de uma linha 16, por meio do estrangulador 56, na área do dispositivo superior de rectificação 50 da coluna de baixa pressão 3.

A pressão de funcionamento do elemento lateral de arrefecimento do condensador 22, concebido essencialmente como termossifão, encontra-se apenas ligeiramente acima da pressão de funcionamento da coluna de baixa pressão 3, de modo que o vapor obtido através da evaporação do ar líquido possa ser introduzido na coluna de baixa pressão 3, por meio de uma linha 25.

Através do funcionamento do condensador de topo 22 com ar líquido, que foi alimentado através da linha 23, na forma de elemento de arrefecimento, e que apresenta apenas uma taxa de oxigénio de 15 até 23 %-vol, o banho líquido do condensador de topo 22 encontra-se numa temperatura de

cerca 87 a 89 K, de modo que a coluna de ar líquido 17 pode funcionar a uma pressão de 2,2 a 2,6 bar.

O produto de azoto vaporoso pobre em oxigénio 18, obtido na coluna de ar líquido 17, é extraído na forma de produto de topo gasoso rico em oxigénio 18c da coluna de ar líquido 17 e/ou através de transmissão de calor indirecta é condensado no condensador de topo 22 com ar líquido evaporado existente e parcialmente alimentado de novo na coluna de ar líquido 17, na forma de líquido de refluxo. O condensado 18b, não alimentado na coluna de ar líquido 17, na forma de líquido de refluxo, é introduzido na coluna de baixa pressão 3, na forma de refluxo adicional, através de uma linha 24, por meio de um estrangulador 57, por cima dos dispositivos de rectificação 50.

A porção do produto de fundo 19 líquido rico em oxigénio, que não foi evaporada num condensador de fundo 21 da coluna de ar líquido 17, é fornecida na coluna de baixa pressão 3, através de uma linha 58.

Contrariamente à forma de realização da invenção apresentada na Fig. 1, a fig.2 irá ilustrar um sistema de rectificação no qual é extraído da coluna de baixa pressão 1 um produto de azoto puro 12 com conteúdo de oxigénio restante de 0,5 a 10 ppm, onde no entanto o líquido de refluxo 18b necessário é exclusivamente retirado da coluna de ar líquido 17.

Na coluna de pressão 1, não é mais obtido um produto de azoto de pressão, o valor de etapas de separação reduz e pelo topo é extraído um fluxo de azoto líquido 9a, através da linha 9, apresentando um conteúdo de oxigénio restante

de 0,5 a 3%-vol, sendo alimentado como líquido de refluxo na coluna de baixa pressão 3.

Para além disso, no sistema de rectificação de acordo com a invenção, descrito na figura 2, o segundo fluxo parcial de ar 5, arrefecido na rede de comutação de temperatura, a uma pressão de 10 a 80 bar, não é estrangulado como descrito na fig.1 ao um nível da pressão da coluna de pressão, mas sim fornecido ao evaporador de fundo 21, antes da descida da pressão no estrangulador 46a, através de uma linha 66 e é previamente arrefecido através de transmissão indirecta de calor com líquidos de fundo evaporados existentes e finalmente alimentado no estrangulador 46a através da linha 46 e normalizado ao nível da pressão da coluna de ar líquido 17. O ar liquefeito 5d é completamente alimentado na coluna de ar líquido 17, conjuntamente com o fluxo de vapor 5e resultante da normalização. Um fluxo parcial do ar liquefeito é novamente extraído de uma saída lateral da coluna de ar líquido 17 e fornecido na forma de líquido de arrefecimento para o condensador 22, bem como na forma de líquido de refluxo para a coluna de baixa pressão 3.

A figura 3 mostra um sistema de rectificação de acordo com a invenção, no qual, contrariamente ao sistema de rectificação mostrado na figura 1, uma porção do produto de fundo 19 da coluna de ar líquido 17 é introduzido através de uma linha 59 na forma de elemento de arrefecimento num condensador 31 de uma coluna de árgon puro 32, equipada com dispositivos de rectificação 39 convencionais, em que a pressão de funcionamento do elemento de arrefecimento do condensador de árgon puro 31, essencialmente concebido como termofissão, se encontra apenas ligeiramente acima da pressão de funcionamento da coluna de baixa pressão 3, de

modo que o produto de fundo vaporoso 19 introduzido, conjuntamente com o fluxo de vapor do condensador de árgon em bruto 11, podem ser novamente alimentados na coluna de baixa pressão 3. Na coluna de árgon em bruto 32 é introduzido, através da linha 33b, um produto de árgon em bruto isento de oxigénio líquido 14b, de modo a ser rectificadado num produto de fundo isento de oxigénio e azoto 34 e num produto de topo rico em oxigénio 35. O produto de topo 35 é extraído na forma de fluxo inerte gasoso 38 através de uma linha 29 com um estrangulador 38a e libertado nas imediações do sistema. Através de uma outra linha 69, o vapor obtido do lado do elemento de arrefecimento do condensador 31 é alimentado na coluna de baixa pressão 3 à altura dos dispositivos de rectificação 50. Para a separação dos gases ascendentes necessários à rectificação, é evaporado um líquido de fundo 34 através de transmissão indirecta de calor num aquecimento de fundo 37 com azoto vaporoso condensado 7a existente, o qual é alimentado a partir da coluna de pressão 1 através da linha de árgon 36. A porção de líquido de fundo 34 não evaporada é extraída, na forma de produto líquido, através de uma linha 68, e o azoto líquido condensado na condensação realizada no evaporador de fundo 37 é novamente reintroduzido na coluna de pressão 1, através de uma linha 44.

A outra diferença do sistema de rectificação, apresentado na figura 3, em relação ao sistema de rectificação da figura 1 assenta no facto de o segundo fluxo parcial de ar 5 extraído da rede de comutação de temperatura, ser normalizado directamente e totalmente num recipiente separado 27, através de uma linha 67 com um estrangulador 67a, cuja pressão de funcionamento se encontra apenas minimamente acima da da coluna de ar líquido 17, de modo

que todo o vapor 5e obtido no estrangulamento pode ser alimentado a partir do recipiente separado 27, através de uma linha 28, directamente para dentro da coluna de ar líquido 17. O recipiente separado 27 é disposto na Coldbox a uma altura tal que uma porção do ar líquido 5d pode ser alimentada na coluna de pressão 1 através de uma linha 59, com base na diferença geodésica da altura. Do recipiente separado 27 é ainda pelo menos extraída uma outra porção do fluxo parcial de ar líquido 5d, através da linha 59, sendo alimentado na coluna de ar líquido 17. A libertação do elemento de arrefecimento para o condensador 22 da coluna de ar líquido 17, bem como do líquido de refluxo 5f, obtém-se conforme já mostrado na figura 1, como saída lateral a partir da coluna de ar líquido 17, mas alternativamente também directamente a partir do recipiente separado 27.

A Figura 4 ilustra uma apresentação gráfica da irreversibilidade na coluna de árgon em bruto 10, num funcionamento com e sem condensador lateral 11. Adicionalmente, os fundos individuais são dispostos nas ordenadas, e a perda de energia nas abcissas, como medida para a irreversibilidade em cada fundo. Reconhece-se que as superfícies por baixo da curva, para a perda de energia da coluna de árgon em bruto 10 com saída lateral, são mais pequenas do que as das curvas para a coluna de árgon em bruto 10 sem saída lateral.

**Lista de referências**

- 1 coluna de pressão
- 2 condensador principal
- 3 Coluna de baixa pressão
- 4 primeiro fluxo parcial de ar processado  
(predominantemente vaporoso)
- 5 segundo fluxo parcial de ar processado (10 a 80  
bar)
- 5a fluxo parcial de ar predominantemente líquido (de  
5)
- 5b fluxo parcial de ar líquido
- 5c fluxo parcial de ar vaporoso
- 5d fluxo parcial de ar líquido
- 5e fluxo parcial de ar vaporoso
- 5f fluxo parcial de ar líquido
- 6 produto de fundo líquido rico em oxigénio (1)
- 7 produto de azoto vaporoso pobre em oxigénio (1)
- 7a produto de azoto vaporoso líquido extraído (1)
- 7b produto de azoto líquido líquido extraído (1)
- 8 produto de fundo líquido rico em oxigénio (3)
- 8a produto de oxigénio vaporoso extraído (3)
- 8b produto de oxigénio líquido extraído (3)
- 9 linha de líquido (condensado de 7)
- 9a fluxo de azoto líquido
- 10 coluna de árgon em bruto
- 11 condensador (10)
- 12 produto de azoto vaporoso pobre em oxigénio
- 12a... produto de azoto vaporoso não purificado com  
oxigénio
- 13 mistura de árgon o oxigénio gasosa rica em árgon
- 13a linha de gás (13)
- 14 Produto de árgon em bruto vaporoso e pobre em  
oxigénio (10)



- 14a produto de árgon em bruto gasoso extraído
- 14b produto de árgon em bruto líquido extraído (10)
- 15 produto de fundo líquido rico em oxigénio (10)
- 16 linha de líquido (5f)
- 17 coluna de ar líquido
- 18 produto de topo gasoso pobre em oxigénio (17)
- 18a produto de azoto extraído na forma de líquido (17)
- 18b produto de azoto líquido (17) extraído para a coluna de baixa pressão (1)
- 18c produto de topo gasoso pobre em oxigénio recolhido (17)
- 19 produto de fundo líquido rico em oxigénio (17)
- 20 saída lateral gasosa (10-21)
- 21 Evaporador de fundo (17)
- 22 condensador de topo (17)
- 23 linha para líquido (17-22)
- 24 linha para líquido (17-3)
- 25 fluxo de vapor (22-3)
- 26 -
- 27 recipiente separado
- 28 linha para gás (27-17)
- 29 linha para gás (32 - imediações)
- 30 -
- 31 condensador de topo (32)
- 32 Coluna de árgon puro
- 33a linha de gás (14a)
- 33b linha de líquido (14b)
- 34 produto de fundo (32)
- 35 produto de topo (32)
- 36 linha de gás (1-32)
- 37 evaporador de fundo (32)
- 38 fluxo inerte gasoso extraído (32)

38a	estrangulador (38)
39	dispositivos de rectificação (32)
40	linha de gás (7a)
41	linha de líquido (7b)
42	linha de gás (8b)
43	linha de líquido (8a)
44	linha de líquido (32-1)
45	estrangulador (5)
46	linha de líquido (5b)
46a	estrangulador (em 46)
47	Dispositivos de rectificação (1)
48	linha de líquido (6)
48a	estrangulador (em 48)
49	linha de líquido (6)
49a	estrangulador (em 49)
50	dispositivos de rectificação (3)
51	dispositivos de rectificação (10)
52	linha de líquido (17-10)
53	linha de vapor (10-3)
54	dispositivos de rectificação (17)
55	estrangulador (23)
56	estrangulador (16)
57	estrangulador (em 24)
58	linha de líquido (17-3)
59	linha de líquido (17-31)
59a	estrangulador (59)
60	linha de líquido (27-17)
61	-
62	linha de líquido (15)
63	linha de líquido (4)
64	linha de líquido (5a,b,
65	linha de líquido (5a,b,c)
66	linha de líquido (5)

- 67 linha de líquido (5)
- 67a estrangulador (em 67)
- 68 linha de líquido (34)
- 69 linha de gás (34-3)

Lisboa, 28 de Setembro de 2007

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para a separação criogénica de ar para obter azoto, oxigénio e árgon, **em que**, num sistema de rectificação compreendendo pelo menos uma coluna de rectificação de dois níveis, ligada a pelo menos uma coluna de pressão e uma coluna de baixa pressão (1, 3), termicamente acopladas uma à outra por meio de um condensador principal (2), com pelo menos uma coluna de árgon em bruto (10) e uma coluna de ar líquido (17):

a) ar processado, comprimido, pré-purificado e pre-arrefecido numa rede de comutação de temperatura é fornecido a um primeiro fluxo parcial (4) predominantemente gasoso, directamente para o interior da coluna de pressão (1) e num segundo fluxo parcial (5), após estrangulamento (45) ao nível da pressão de funcionamento da pressão da coluna de pressão (1), é alimentado um fluxo parcial (5a) predominantemente líquido, pelo menos na forma de um fluxo parcial de ar líquido (5b) na coluna de pressão (1), e uma outra porção do fluxo parcial de ar líquido (5b), após estrangulamento adicional (46a) ao nível da pressão de funcionamento da coluna de ar líquido (17), é alimentada, pelo menos parcialmente, na forma de fluxo parcial de ar gasoso e líquido (5d, e), para dentro da coluna de ar líquido (17), e a partir da coluna de ar líquido (17), é alimentada após estrangulamento (56) na coluna de baixa pressão (3), na forma de fluxo parcial de ar predominantemente líquido (5f);

b) o ar processado (4, 5a, b, c) alimentado na coluna de pressão (1) é rectificado através de dispositivos de rectificação (47) num produto de fundo líquido rico em oxigénio (6) e num produto de azoto vaporoso, pobre em oxigénio (7);

c) o produto de azoto vaporoso (7), rectificado na coluna de pressão (1) é pelo menos parcialmente condensado pelo condensador principal (2), numa transmissão de calor indirecta com o existente produto de fundo líquido rico em oxigénio evaporado (8) da coluna de baixa pressão (3), e o condensado resultante da evaporação é pelo menos parcialmente alimentado, como refluxo (9) de novo nas colunas de pressão e de baixa pressão (1,3);

d) o produto de fundo líquido e rico em oxigénio (6) da coluna de pressão (1) é fornecido à coluna de árgon em bruto (10) como elemento de arrefecimento para um condensador (11);

e) a partir do elemento fornecido à coluna de baixa pressão (3), o produto de fundo líquido e rico em oxigénio (8) e um produto de azoto vaporoso pobre em oxigénio (12) são rectificados, sendo extraído do fundo (8) da coluna de baixa pressão (3) um produto de oxigénio líquido e/ou vaporoso (8a, b);

f) o produto de fundo (8), rectificado na coluna de baixa pressão (3) através de dispositivos de rectificação (50), de acordo com a etapa 1c) é pelo menos parcialmente evaporado como vapor de rectificação para a coluna de baixa pressão (3) e extraído do topo da coluna de baixa pressão (3), na forma de produto de azoto (12);

g) uma mistura gasosa de árgon e oxigénio, rica em árgon (13) é extraída da coluna de baixa pressão

(3) e alimentada na coluna de árgon em bruto (10) e separada nesta última, através de dispositivos de rectificação (51), num produto de árgon em bruto vaporoso pobre em oxigénio (14) e num produto de fundo líquido rico em oxigénio (15);

h) o produto de árgon em bruto vaporoso e pobre em oxigénio (14), presente no topo da coluna de árgon em bruto (10), é pelo menos parcialmente condensado através de transmissão de calor indirecta com um elemento de processamento líquido, tal como por exemplo, com um produto de fundo líquido (6) da coluna de pressão (1), sendo pelo menos parcialmente alimentado na coluna de árgon em bruto (10), na forma de refluxo;

i) o produto de árgon em bruto (14) é extraído da coluna de árgon em bruto (10), pelo menos parcialmente, no estado de produto vaporoso ou líquido (14a, b), e/ou pelo menos parcialmente alimentado numa coluna de árgon puro (32) para se obter um produto de árgon puro livre de oxigénio e de azoto (34);

j) a partir do ar processado, alimentado de acordo com a etapa 1a), na forma de um fluxo parcial de ar líquido ou vaporoso (5d, e), para dentro da coluna de ar líquido (17), que se encontra equipada com dispositivos de rectificação (54), acima e abaixo do ponto de alimentação e que funciona a uma pressão de funcionamento compreendida entre as pressões das colunas de pressão de baixa pressão (1, 3), são rectificadas um produto de topo vaporoso pobre em oxigénio (18) e um produto de fundo líquido rico em oxigénio (19);

k) o produto de fundo líquido e rico em oxigénio (19), rectificado na coluna de ar líquido (17) é parcialmente vaporizado por transmissão de calor indirecta, através de um evaporador de fundo (21), que funciona com elementos de processamento predominantemente gasosos;

l) o produto de topo vaporoso, pobre em oxigénio (18), constante na coluna de ar líquido (17), é pelo menos parcialmente liquefeito por um condensador do topo (22), que funciona como elemento predominantemente líquido, e os condensados obtidos são alimentados, pelo menos parcialmente, como refluxo, nas colunas de ar líquido de baixa pressão (17, 3);

m) um fluxo vaporoso (25), obtido no condensador (22) da coluna de ar líquido (17), aquando da evaporação do elemento de processamento predominantemente líquido e pelo menos parte do produto de fundo líquido (19) são alimentados na coluna de baixa pressão (3).

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, **em que**, na etapa d), o produto de fundo líquido rico em oxigénio (6), que se encontra na coluna de pressão (1), é fornecido como líquido de refluxo à coluna de baixa pressão (3).

3. Método de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **em que**, na etapa b), o produto de azoto pobre em oxigénio (7), contido no topo da coluna de pressão (1) é pelo menos parcialmente retirado na forma de produto gasoso e/ou líquido (40, 41).

4. Método de acordo com uma das reivindicações precedentes, **em que**, na etapa a), num segundo fluxo parcial (5), após estrangulamento (45), um fluxo parcial líquido (5a), que é predominante na pressão de funcionamento na coluna de pressão (1), é alimentado na coluna de pressão (1), pelo menos parcialmente como fluxo parcial de ar líquido (5b), conjuntamente com o fluxo parcial de ar gasoso (5c), obtido no estrangulamento (45).

5. Método de acordo com uma das reivindicações precedentes, **caracterizado por** uma quantidade parcial arrefecida do fluxo parcial líquido (5d), de preferência reduzida ao nível da pressão da coluna de baixa pressão (3), encontrar aplicação, pelo menos, para a liquefacção parcial do produto de topo pobre em oxigénio (18) da coluna de ar líquido (17), em que o vapor (25) obtido na liquefacção do produto de topo (18) é alimentado na coluna de baixa pressão (3).

6. Método de acordo com uma das reivindicações precedentes, **caracterizado por** o produto de topo (18) vaporoso e pobre em oxigénio da coluna de ar líquido (17) ser retirado na forma de produto de azoto líquido ou gasoso (18a, c).

7. Método de acordo com uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado por** o produto do fundo (6), líquido e rico em oxigénio, da coluna de pressão (1) ser usado como elemento de processamento para a vaporização parcial do produto líquido do fundo (19) da coluna de ar líquido (17), sendo subsequentemente alimentado como líquido de arrefecimento na coluna de baixa pressão (3) e/ou no condensador (11) da coluna de árgon em bruto (10).



8. Método de acordo com uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado por** uma saída lateral gasosa (20), que é alimentada na coluna de ar líquido (17) a partir da coluna de argon em bruto (10), ser usada como elemento de processamento para a vaporização parcial do produto de fundo líquido (19) da coluna de ar líquido (17), sendo pelo menos parcialmente condensada na evaporação do produto de fundo líquido (19) e novamente alimentada na forma de refluxo (52) na coluna de argon em bruto (10).

9. Método de acordo com uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado por** um fluxo gasoso lateral gasto a partir da coluna de pressão (1), de preferência o produto de topo (7) da coluna de pressão (1), ser usado como elemento de processamento para a vaporização parcial do líquido de fundo (19) da coluna de ar líquido (17) e ser novamente alimentado na coluna de baixa pressão (3), pelo menos no estado parcialmente condensado, na forma de líquido de refluxo, e/ou alimentado no condensador de topo (11) da coluna de argon em bruto (10), na forma de elemento de arrefecimento.

10. Método de acordo com uma das reivindicações precedentes, **caracterizado por** pelo menos uma saída lateral líquida (23) da coluna de ar líquido (17) ser alimentada nas colunas de pressão ou baixa pressão (1, 3) como elemento de arrefecimento para o condensador (22) da coluna de ar líquido (17) e/ou como líquido de refluxo.

11. Método de acordo com uma das reivindicações precedentes 1 a 4, **caracterizado por** o segundo fluxo parcial predominantemente líquido (5) do ar processado ser

alimentado, pelo menos parcialmente, como elemento de aquecimento no evaporador de fundo (21) da coluna de ar líquido (17), onde é previamente arrefecido, através de transmissão indirecta de calor com o líquido de fundo evaporado (19), é estrangulado (46a) na pressão de funcionamento da coluna de ar líquido (17) sendo pelo menos alimentado, na coluna de ar líquido (17), um fluxo parcial do ar líquido (5d), conjuntamente com o vapor obtido no estrangulamento (5e).

12. Método de acordo com uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado por** o fluxo parcial predominantemente líquido (5) do ar processado ser alimentado directamente na coluna de pressão (1) e, pelo menos uma saída líquida lateral (46) ser alimentada, a partir da coluna de pressão (1) como líquido de arrefecimento no condensador (22) da coluna de ar líquido (17), como alimentação da coluna de ar líquido (17) e um outro fluxo parcial (5f) ser alimentado na coluna de baixa pressão (3) como refluxo.

13. Método de acordo com uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado por** o segundo fluxo parcial (5) do ar processado ser arrefecido num evaporador de fundo da coluna de pressão (1) através do produto de fundo evaporado (6), ser estrangulado (46a) ao nível da pressão da coluna de ar líquido (17) e ser alimentado na forma de fluxo parcial de ar líquido e vaporoso (5d, e) na coluna de ar líquido (17), bem como alimentado a partir da coluna de ar líquido (17) na coluna de baixa pressão (3), pelo menos parcialmente, na forma de fluxo parcial de ar líquido (5f).

14. Método de acordo com uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado por** o fluxo parcial líquido predominante (5)

ser normalizado directamente num recipiente separado (27) disposto no decurso da coluna de ar líquido (17) e o vapor (5e), obtido na normalização, ser alimentado na coluna de ar líquido (17), conjuntamente com pelo menos um fluxo parcial de ar líquido (5b), a partir do recipiente separado (27).

15. Método de acordo com uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado por** um produto de fundo (34), que pode ser extraído do argon em bruto (14a, b), que foi introduzido na coluna de argon puro (32), através de dispositivos de rectificação (39), que pode ser alimentado no argon puro líquido e que é pobre em azoto e oxigénio, ser parcialmente vaporizado através de um evaporador de fundo (37) através de um elemento de processamento gasoso (36), alimentado pela coluna de pressão (1), e o produto de topo vaporoso pobre em argon (35) que foi rectificado a partir do argon puro (14a, b) ser condensado através de um fluxo parcial do líquido extraído do produto de fundo (19) da coluna de ar líquido (17), sendo a fracção inerte gasosa do produto de topo, que não pode ser condensada, expelida como descarga nas imediações do sistema.

16. Método de acordo com uma das reivindicações precedentes, **caracterizado por** a coluna de ar líquido (17) funcionar numa pressão de funcionamento, estipulada entre a pressão das colunas de pressão e de baixa pressão (1, 3), de preferência sendo accionada por uma pressão de funcionamento inferior a 2,3 bar;

17. Dispositivo para a realização do método de acordo com as reivindicações 1 a 16, compreendendo pelo menos uma coluna de rectificação de dois níveis, composta por uma

coluna de pressão e de baixa pressão (1, 3) com um condensador comum (2), o qual se encontra em ligação com uma rede de comutação da temperatura e pelo menos uma coluna de árgon em bruto (10), bem como pelo menos a uma coluna de ar líquido (17) através de tubagens equipadas com dispositivos de medição, controlo e transferência.

18. Dispositivo de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado por** a coluna de ar líquido (17), ligada a uma rede de comutação de temperatura e equipada com dispositivos de rectificação (54), condensador de topo (22) e evaporador de fundo (21), bem como tubagens para os produtos, se encontrar ligada através de tubagens (46,20,52,25,24,16,58) às colunas de pressão, baixa pressão e de árgon em bruto (1,3,10).

19. Dispositivo de acordo com a reivindicação 17 ou 18, **caracterizado por** o evaporador de fundo (21) da coluna de ar líquido (17) se encontrar ligada às colunas de pressão e de árgon em bruto (1,10) através de tubagens (20,52,66,46).

20. Dispositivo de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado por** a coluna de árgon em bruto (10), que está equipada com dispositivos de rectificação (51), condensador de topo (11) e tubagens para os produtos, se encontrar ligada a uma coluna de árgon puro (32) através de tubagens (33b), e ligada a colunas de pressão, baixa pressão e de ar líquido (1,3,17) através de tubagens (13a, 49, 53, 62).

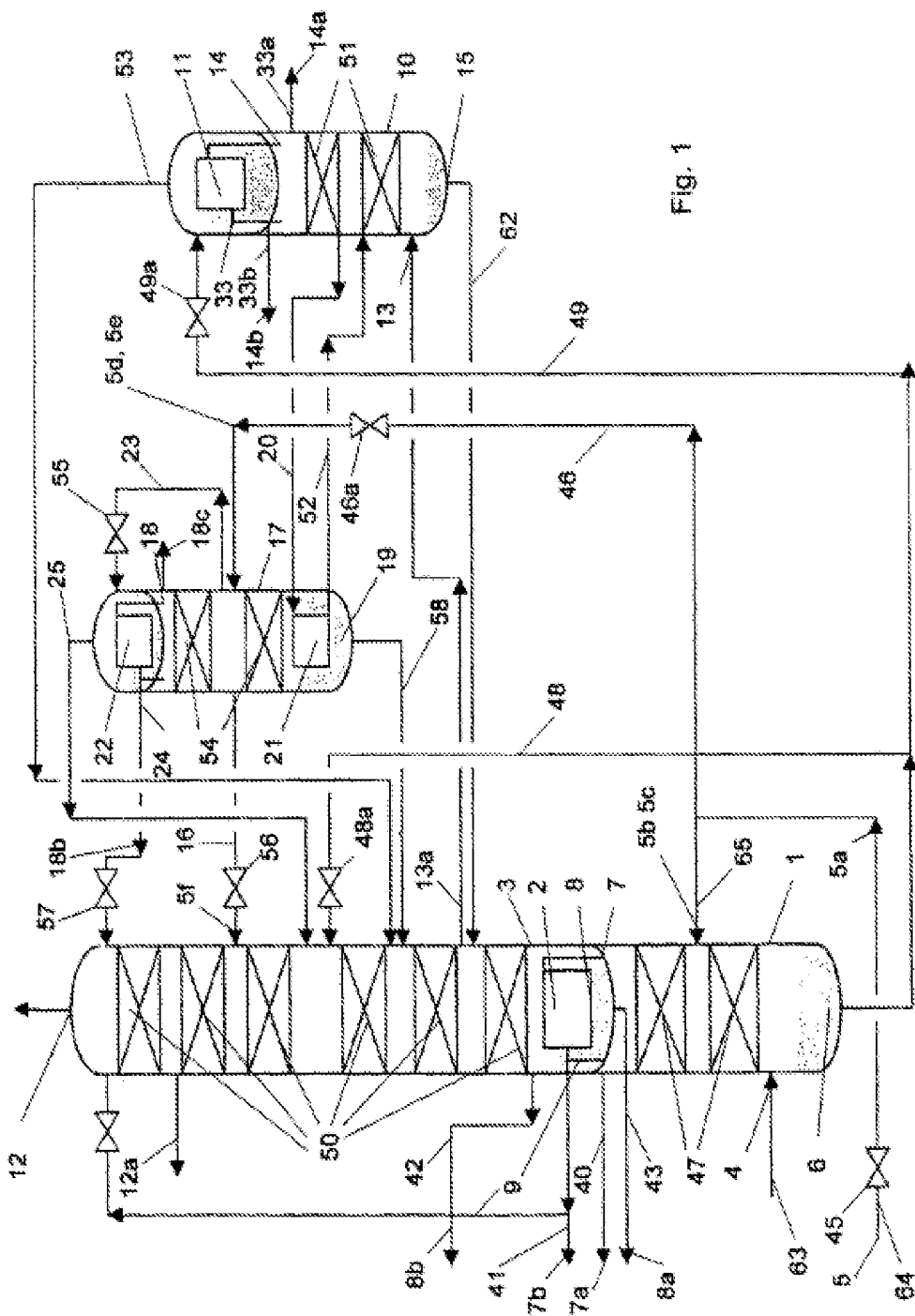
21. Dispositivo de acordo com a reivindicação 20, **caracterizado por**, a coluna de árgon puro (32), ligada à coluna de árgon em bruto (10) através da tubagem (33b) e que compreende dispositivos de rectificação (39), um

condensador de topo (31), um evaporador de fundo (37) uma tubagem para o produto (38), se encontrar ligada às colunas de pressão, de baixa pressão e de ar líquido (1,3,17), através de tubagens (44,36,54,69).

22. Dispositivo de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado por** o condensador de topo (31) da coluna de árgon puro (32) se encontrar ligado ao fundo da coluna de ar líquido (17) através da tubagem (59).

23. Dispositivo de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado por** um separador (27) se encontrar ligado, através da tubagem (67), à rede de comutação de temperatura e, através das tubagens (59,28,60), às colunas de pressão e de ar líquido (1,17).

Lisboa, 28 de Setembro de 2007



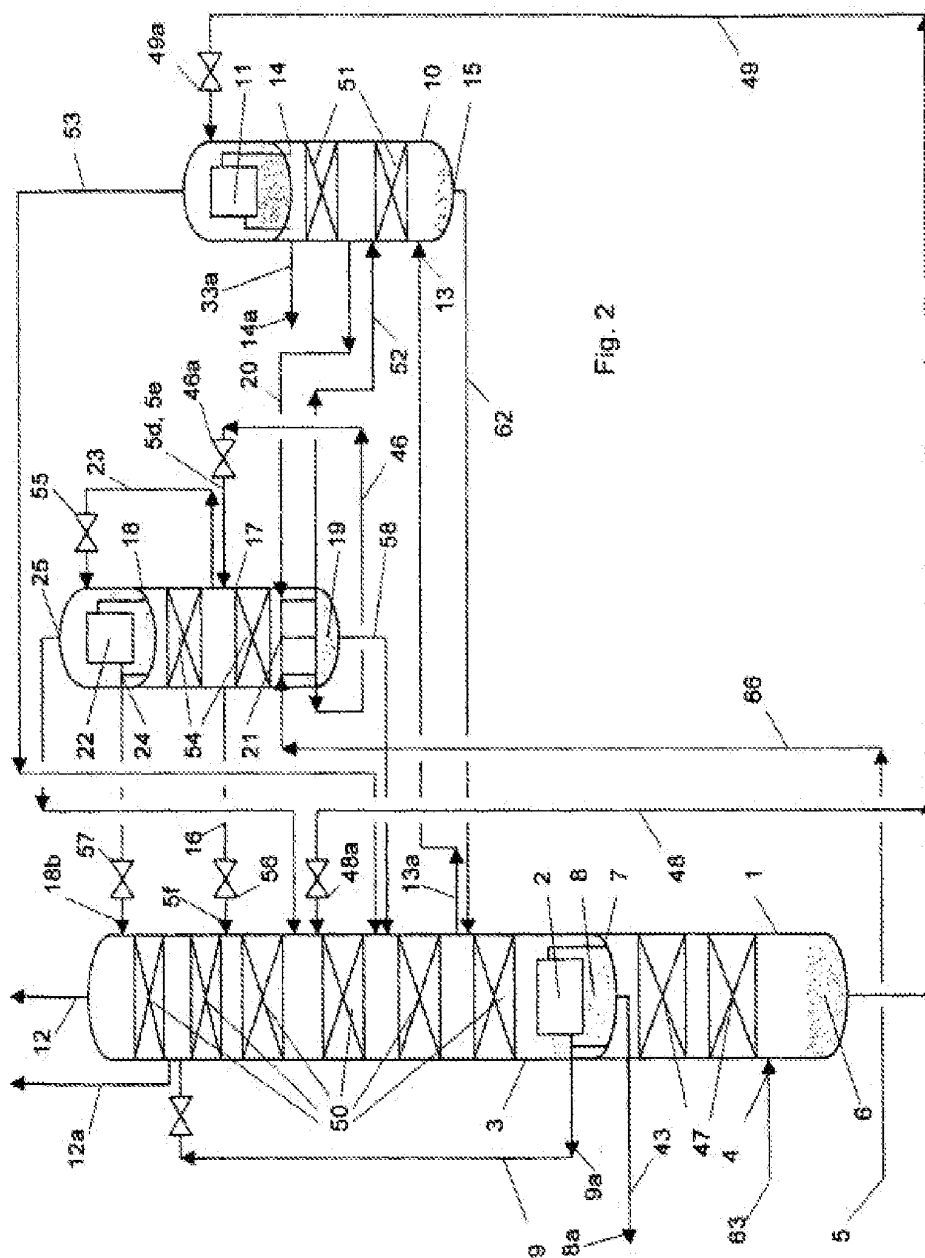


Fig. 2

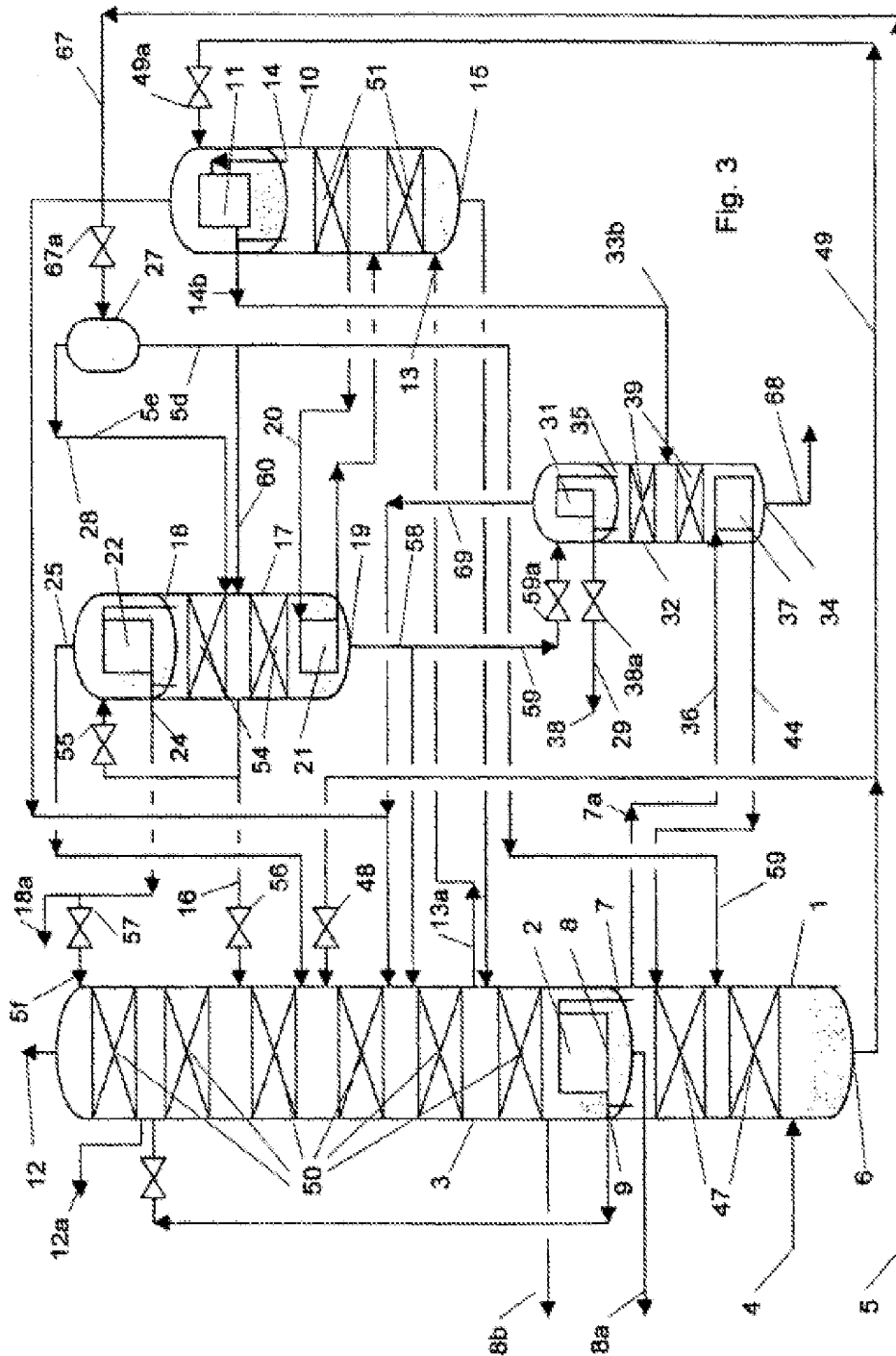


Fig. 3



Comparação da Irreversibilidade na coluna de árgon em bruto

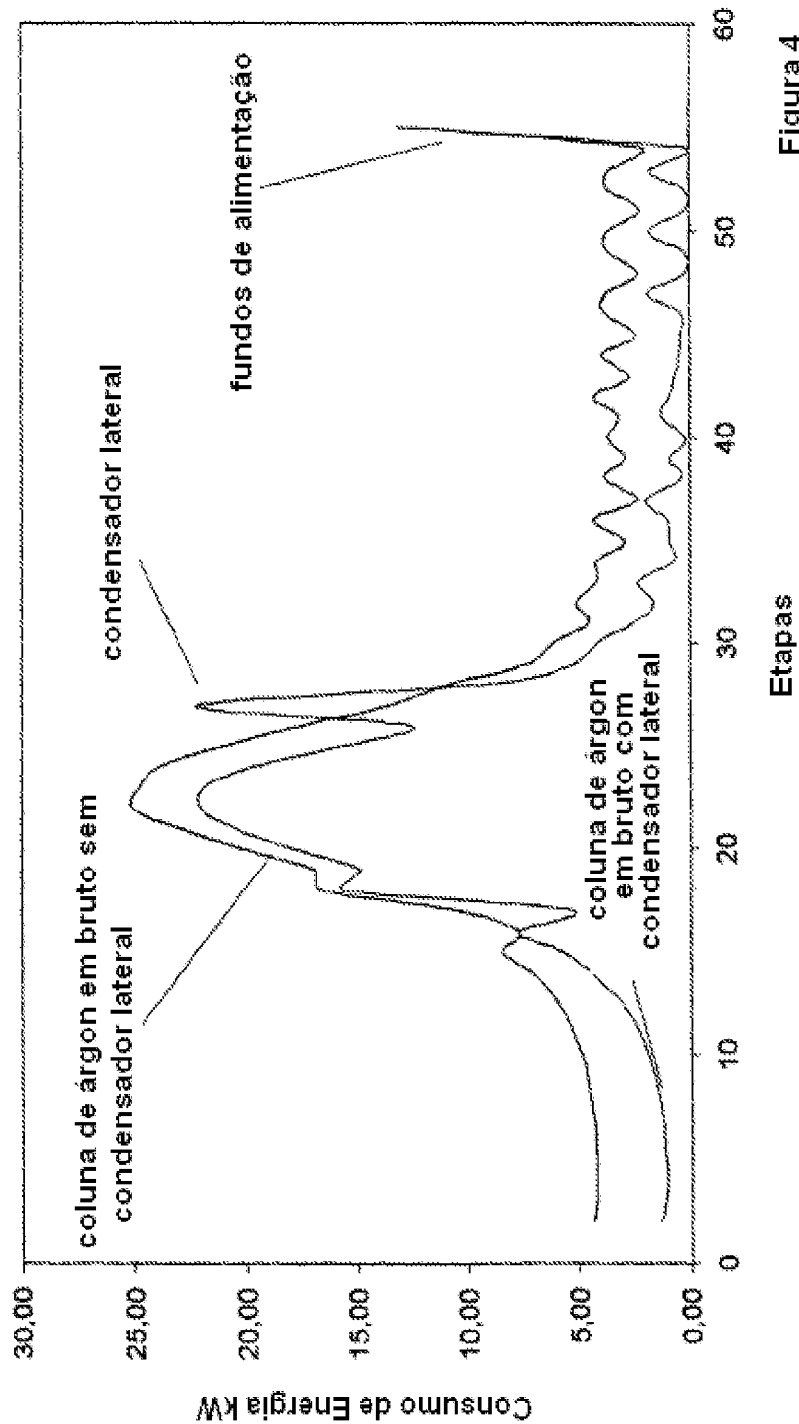


Figura 4