



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0709902-9 B1



(22) Data do Depósito: 28/03/2007

(45) Data de Concessão: 22/10/2019

(54) Título: MÉTODO PARA PURIFICAR UMA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO CONTENDO DIÓXIDO DE CARBONO PARA OBTER UM PRODUTO DE DIÓXIDO DE CARBONO

(51) Int.Cl.: F25J 3/02; C01B 32/50.

(52) CPC: F25J 3/0266; C01B 32/50; F25J 3/0209; F25J 3/0223; F25J 2200/02; (...).

(30) Prioridade Unionista: 03/04/2006 US 11/395143.

(73) Titular(es): PRAXAIR TECHNOLOGY, INC..

(72) Inventor(es): MINISH MAHENDRA SHAH; HENRY EDWARD HOWARD.

(86) Pedido PCT: PCT US2007007790 de 28/03/2007

(87) Publicação PCT: WO 2007/126972 de 08/11/2007

(85) Data do Início da Fase Nacional: 01/10/2008

(57) Resumo: MÉTODO PARA PURIFICAR UMA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO CONTENDO DIÓXIDO DE CARBONO PARA OBTER UM PRODUTO DE DIÓXIDO DE CARBONO Método de purificação de uma corrente de alimentação contendo dióxido de carbono (10) no qual a corrente de alimentação após ter sido comprimida e seca é parcialmente esfriada e então usada para reevaporar uma coluna de extração (28). Depois, a corrente de alimentação é adicionalmente esfriada e expandida para uma temperatura operacional menor da coluna de extração. Uma corrente de produto de dióxido de carbono adicionalmente esfriada e expandida para uma temperatura operacional menor da coluna de extração. A corrente de produto de dióxido de carbono (38) composta de produtos de fundo de coluna líquidos da coluna de extração é expandida em uma ou mais pressões para gerar refrigeração, então totalmente vaporizada dentro do trocador de calor principal (24) e comprimida por um compressor (48) para produzir um produto de dióxido de carbono comprimido (50). Refrigeração é recuperada no trocador de calor principal (24) de uma corrente de topo de coluna (31) extraída da coluna de extração (28) dentro do trocador de calor principal (24) quer direta quer indiretamente por processamento auxiliar no qual dióxido de carbono é adicionalmente separado e opcionalmente reciclado de volta para o compressor principal (...).

“MÉTODO PARA PURIFICAR UMA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO CONTENDO DIÓXIDO DE CARBONO PARA OBTER UM PRODUTO DE DIÓXIDO DE CARBONO”

Campo da invenção

[1] A presente invenção refere-se a um método de purificação de dióxido de carbono para purificar uma corrente de alimentação contendo dióxido de carbono dentro de uma coluna de extração para produzir um produto de dióxido de carbono. Mais particularmente, a presente invenção refere-se a um tal método de purificação no qual a corrente de alimentação é comprimida e introduzida em uma coluna de extração em uma pressão abaixo da pressão da corrente de alimentação para permitir suficiente transferência de calor da corrente de alimentação para o refulvador da coluna de extração para produzir dióxido de carbono com pureza alta e para recuperar dióxido de carbono em pressão superatmosférica para minimizar energia de compressão.

Fundamentos da invenção

[2] Dióxido de carbono é um produto industrial valioso possuindo uma variedade de usos que requerem que o dióxido de carbono seja de pureza alta, saber, dióxido de carbono de pureza maior do que 95 por cento em volume. Em algumas situações, é necessário remover impurezas indesejáveis do dióxido de carbono. E em alguns casos, é desejável não perder componentes valiosos no dióxido de carbono produto. Um uso importante para o dióxido de carbono está no campo de recuperação aumentada de óleo no qual o dióxido de carbono é injetado em orifício de poço abaixo em um campo de óleo para conduzir o óleo para os poços produtores. Tipicamente, em uma operação de recuperação aumentada de óleo, uma corrente fresca de dióxido de carbono é misturada com uma corrente de reciclo de dióxido de carbono que é gerada quando óleo é produzido. Esta corrente de dióxido de carbono reciclada contém cerca de 80 a 95 por cento em volume de dióxido de carbono e o restante, impurezas que consistem principalmente de

hidrocarbonetos variando de alcanos C1 a C7. Com relação a isto, é sabido que o conteúdo de metano das impurezas afeta o desempenho da recuperação aumentada de óleo, e como consequência, a remoção de metano é benéfica para tais operações.

[3] Como indicado acima, dióxido de carbono possui muitos usos além da recuperação aumentada de óleo e pode ser introduzido em uma tubulação para uso em localizações que estão situadas a uma distância do sítio de produção no qual o dióxido de carbono é produzido. Em uma tal aplicação, umidade dentro da corrente de dióxido de carbono pode causar problemas de corrosão na tubulação. Como consequência, remoção de umidade é importante. Além disso, também é benéfica a remoção de outras impurezas de uma corrente de dióxido de carbono a ser injetada em uma tubulação porque muitos usos de dióxido de carbono requerem dióxido de carbono quase puro. Além disso, compressão de uma corrente em uma tubulação que contém impurezas, que invariavelmente necessitarão ser removidas, aumenta os custos de energia elétrica associados com a corrente devido ao volume adicionado de impurezas.

[4] Dióxido de carbono pode ser produzido por combustão de óxi-combustível em, por exemplo, usinas de energia de queima de carvão. Tipicamente, o gás de combustão produzido pela combustão possui uma pureza de dióxido de carbono que varia de cerca de 70 por cento a cerca de 90 por cento dependendo da pureza do oxigênio fornecido e de qualquer vazamento de ar para dentro da caldeira. Assim, as impurezas dentro de uma corrente de dióxido de carbono produzido por um tal processo podem incluir oxigênio, nitrogênio, argônio, SO_x e NO_x. Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio são impurezas particularmente indesejáveis em qualquer corrente de processo. Em processos de recuperação aumentada de óleo, o conteúdo de oxigênio tem que ser menor do que 100 ppm e preferivelmente menor do que 10 ppm e a pureza desejada do dióxido de carbono tem que ser no mínimo,

cerca de 95 por cento puro. Como consequência, a remoção da impureza oxigênio é particularmente importante para operações de recuperação aumentada de óleo.

[5] Dióxido de carbono também pode ser produzido de uma fábrica de hidrogênio na qual uma corrente contendo hidrocarboneto é submetida à reforma de metano a vapor ou alternativamente à oxidação parcial para produzir uma corrente contendo hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono e água conhecida como gás de síntese. Em qualquer tal fábrica, o gás de síntese por sua vez é submetido a uma reação de deslocamento de água-gás para reagir a corrente com o monóxido de carbono e deste modo aumentar o hidrogênio e o dióxido de carbono contidos em uma tal corrente. Em uma fábrica projetada para produzir hidrogênio, o hidrogênio é tipicamente separado do gás de síntese por adsorção com oscilação de pressão. A corrente residual produzida em adsorção com oscilação de pressão contém impurezas monóxido de carbono e metano. Estes componentes são tipicamente recuperados e podem ser usados para atender parte dos requerimentos de combustível da fábrica. O dióxido de carbono pode ser recuperado do gás de síntese quer antes quer depois do reator de deslocamento de água-gás.

[6] Em U.S. 6.301.927, é proporcionado um processo autorrefrigerado para separar dióxido de carbono no qual uma corrente de alimentação contendo dióxido de carbono é comprimida, esfriada e expandida em um turboexpansor de modo que ela seja parcialmente liquefeita e então introduzida em um separador de fases. O componente líquido é então introduzido em uma coluna de extração para produzir um produto de dióxido de carbono líquido. A coluna de extração é reevaporada por uma parte comprimida da corrente de alimentação que está em uma temperatura muito mais alta do que as temperaturas operacionais da coluna. Uma tal operação resulta em ineficiência térmica que representa uma perda irreversível que tem

que ser reposta pela refrigeração aumentada e finalmente, em requerimentos de energia e de compressão aumentados.

[7] Em U.S. 4.441.900, é descrito um processo para remover dióxido de carbono de gás natural no qual a corrente de alimentação é parcialmente condensada por esfriamento e então é separada em um separador de fases. A corrente de líquido resultante da separação de fases é subesfriada e então alimentada em uma coluna de destilação-extração para recuperar líquido rico em dióxido de carbono e um primeiro vapor rico em metano. O primeiro vapor rico em metano é combinado com o vapor da separação de fases e o vapor combinado é adicionalmente esfriado e então retificado em uma coluna de retificação para produzir um segundo líquido rico em dióxido de carbono e um segundo vapor rico em metano. Refrigeração é fornecida por expansão do segundo vapor rico em metano e as correntes de líquido rico em dióxido de carbono. Todas as colunas descritas nesta patente são operadas na pressão de corrente de alimentação e como consequência, reevaporação dentro das colunas é conduzida em uma temperatura relativamente alta. Como um resultado, a corrente de alimentação pode fornecer apenas uma quantidade limitada de energia térmica para refeedores das colunas de destilação e as correntes de produto de dióxido de carbono sempre conterão quantidades significativas de metano.

[8] U.S. 3.130.026 descreve outro processo para separar dióxido de carbono de gás natural no qual a alimentação é esfriada e parcialmente liquefeita e então alimentada em um separador de fases. A corrente de líquido do separador de fases é extraída em uma coluna de extração. A corrente de líquido de dióxido de carbono da coluna de extração é vaporizada e então expandida por trabalho para recuperar energia e para gerar refrigeração que é usada para parcialmente liquefazer a corrente de alimentação. Devido à expansão do dióxido de carbono no processo de separação, o dióxido de carbono do processo de separação é obtido quase na pressão atmosférica. A

expansão de dióxido de carbono em temperatura subatmosférica gera muito menos energia do que a requerida para compressão de dióxido de carbono acima da pressão atmosférica. Como um resultado, quando dióxido de carbono comprimido é um produto desejado, este processo requererá energia significativa para compressão. Adicionalmente, o uso de múltiplos turboexpansores também aumenta o custo de capital do sistema de separação.

[9] U.S. 4.762.543 descreve um processo de separação de dióxido de carbono no qual gás comprimido é esfriado em um separador de amônia de modo que ele seja parcialmente condensado. A corrente parcialmente condensada é alimentada em um separador. O componente vapor da corrente separada dentro do separador é introduzido em uma coluna de retificação que utiliza um condensador de refluxo que de novo emprega refrigeração de amônia externa. U.S. 4.595.404 é outro processo externamente refrigerado no qual metano é separado de dióxido de carbono pelo uso de uma coluna de destilação seguida por uma coluna de extração. A desvantagem da utilização de refrigeração externa é que energia adicional é consumida por tal refrigeração e investimento de capital adicional para o sistema de refrigeração pode representar uma penalidade econômica inaceitável.

[10] Como será discutido, a presente invenção proporciona um método de separação de dióxido de carbono de uma corrente de alimentação de dióxido de carbono que é inerentemente mais termicamente eficiente do que as técnicas da arte anterior e assim, consome menos energia de compressão, alcança recuperação alta de dióxido de carbono e adicionalmente permite que o dióxido de carbono seja recuperado em uma pureza alta. Outras vantagens se tornarão evidentes a partir da seguinte descrição da presente invenção.

Sumário da invenção

[11] A presente invenção proporciona um método de purificação de uma corrente de alimentação contendo dióxido de carbono para obter um

produto de dióxido de carbono. A presente invenção é útil para purificação de correntes de alimentação contendo entre cerca de 30 e cerca de 95 por cento de dióxido de carbono.

[12] De acordo com o método, uma corrente de alimentação possuindo uma pressão superatmosférica é seca em um secador. Após secagem, a corrente de alimentação é então parcialmente esfriada em um trocador de calor principal e utilizada para reevaporar uma coluna de extração, para deste modo adicionalmente esfriar a corrente de alimentação e para iniciar a formação de uma fase vapor ascendente dentro da coluna de extração.

[13] A corrente de alimentação é então adicionalmente esfriada no trocador de calor principal para pelo menos parcialmente liquefazer a corrente de alimentação. A corrente de alimentação após ter sido pelo menos parcialmente liquefeita é então expandida para uma pressão operacional da coluna de extração que é menor do que aquela da corrente de alimentação após ter sido comprimida, para deste modo abaixar uma temperatura de reevaporação na qual a coluna de extração reevapora para um nível que está abaixo da temperatura da corrente de alimentação após ter sido parcialmente esfriada. Depois, pelo menos parte da corrente de alimentação é introduzida na coluna de extração para iniciar uma fase líquida descendente. A fase líquida descendente é contatada com a fase vapor ascendente dentro da coluna de extração para extrair impurezas da fase líquida descendente e deste modo para produzir um topo pobre em dióxido de carbono e um produto de fundo de coluna líquido rico em dióxido de carbono.

[14] Uma corrente de topo de coluna composta de produto de topo de coluna pobre em dióxido de carbono é usada para recuperar refrigeração no trocador de calor principal. Uma corrente de produto de dióxido de carbono composta de produto de fundo de coluna rico em dióxido de carbono é expandida, pelo menos em uma pressão, para gerar a refrigeração. A corrente

de produto de dióxido de carbono é então vaporizada no trocador de calor principal e comprimida em um compressor para obter uma corrente de dióxido de carbono comprimida como pelo menos parte do produto de dióxido de carbono desejado do processo.

[15] Visto que a coluna de extração é operada em uma pressão baixa, o produto de fundo rico em dióxido de carbono vaporizará em uma temperatura menor do que tinha a coluna sido operada na pressão de corrente de alimentação entrante. Além disso, visto que a temperatura da coluna de extração é menor, pode haver uma igualação rigorosa entre a temperatura da corrente de alimentação parcialmente esfriada que efetua a vaporização e a temperatura do líquido vaporizando. Como um resultado, o processo total é mais eficiente porque permite recuperação de dióxido de carbono em pressão mais alta possível e reduz a energia requerida para adicionalmente comprimir o produto de dióxido de carbono. Isto por sua vez resultará em uma vantagem que menos refrigeração necessária será fornecida através de expansão para também abaixar o requerimento de compressão para a corrente de alimentação entrante. Abaixamento da temperatura de refeedor também permite transferência de calor suficiente da corrente de alimentação para o refeedor da coluna de extração de modo que é obtido dióxido de carbono de pureza alta. Sub-esfriamento adicional da corrente de alimentação no trocador de calor principal após ter sido fornecido calor do refeedor também é vantajoso porque abaixa o conteúdo de dióxido de carbono do vapor de topo da coluna de extração e assim reduz o volume de corrente de reciclo e assim a energia requerida para recomprimá-lo. Visto que a coluna de extração está operando em uma temperatura menor, mais dióxido de carbono será liquefeito resultando em recuperação aumentada do produto de dióxido de carbono. Adicionalmente, nenhuma refrigeração externa é usada e o processo é inteiramente auto-refrigerado por expansão do líquido.

[16] Uma corrente pobre em dióxido de carbono composta pelo

menos em parte de uma corrente de topo de coluna pode ser liquefeita em um trocador de calor auxiliar. A corrente pobre em dióxido de carbono pode ser então introduzida em um separador de fases para produzir uma corrente de vapor empobrecido em dióxido de carbono e uma corrente de líquido rico em dióxido de carbono. A corrente de líquido rico em dióxido de carbono é expandida e introduzida juntamente com a corrente pobre em dióxido de carbono em sucessão, dentro do trocador de calor auxiliar e do trocador de calor principal causando vaporização da corrente de líquido rico em dióxido de carbono para dentro de uma corrente de vapor de dióxido de carbono, para deste modo liquefazer a corrente pobre em dióxido de carbono no trocador de calor auxiliar e para recuperar refrigeração da corrente de topo de coluna no trocador de calor principal. O secador pode empregar um adsorvente para adsorver umidade dentro da corrente de alimentação e a corrente de vapor de dióxido de carbono ou a corrente pobre em dióxido de carbono pode ser utilizada para pelo menos em parte regenerar o secador. Preferivelmente, a corrente de líquido rico em dióxido de carbono após vaporização é utilizada para regenerar o secador e então é reciclada de volta para o compressor de alimentação utilizado em compressão da corrente de alimentação. Isto é particularmente desejável pelo fato de que dióxido de carbono que está contido em uma tal corrente é reciclado para recuperação eventual. Adicionalmente, a corrente pobre em dióxido de carbono que pode conter hidrogênio, monóxido de carbono e metano e extraída de uma fábrica de hidrogênio pode ser retornada para uma fábrica de hidrogênio para adicionalmente recuperar produto ou para seu uso como um combustível.

[17] A corrente de alimentação, após ter sido pelo menos parcialmente liquefeita no trocador de calor principal, pode ser introduzida em outro separador de fases para produzir uma corrente de fase vapor e uma corrente de fase líquida. A corrente de fase líquida pode ser introduzida na coluna de extração para pelo menos em parte introduzir a corrente de

alimentação após ter sido parcialmente liquefeita no trocador de calor principal na coluna de extração. A corrente de fase vapor pode ser combinada com a corrente de topo de coluna para formara corrente de vapor pobre em dióxido de carbono que pode ser recuperada para seu conteúdo, particularmente no caso onde contém hidrogênio, monóxido de carbono e metano. Onde a corrente pobre em dióxido de carbono não é introduzida em um separador de fases, a corrente de fase vapor pode ser combinada com uma corrente de topo de coluna para formar uma corrente de vapor pobre em dióxido de carbono que pode ser introduzida no trocador de calor principal para recuperar refrigeração.

[18] Vantajosamente, a corrente de produto de dióxido de carbono pode ser dividida em primeira e segunda correntes subsidiárias de produto de dióxido de carbono. Pelo menos uma das correntes subsidiárias é expandida. Opcionalmente, ambas as primeira e segunda correntes subsidiárias de dióxido de carbonos podem ser expandidas para pressões mais altas e mais baixas respectivamente. A primeira corrente subsidiária de produto de dióxido de carbono pode ser então introduzida em um estágio de pressão mais alta do compressor usado na formação de produto comprimido de dióxido de carbono comprimido e a segunda corrente subsidiária de produto de dióxido de carbono pode ser introduzida na entrada do compressor. Assim, nem todo o produto após ter sido vaporizado tem que ser comprimido em uma pressão única, em vez disso uma corrente é comprimida em uma pressão menor e a outra corrente é comprimida em uma pressão ainda maior para obter uma compressão energeticamente eficiente. Por fim, parte da corrente de dióxido de carbono que é composta de produto de fundo de coluna líquido pode como tal ser considerada como um produto.

Breve descrição dos desenhos

[19] Embora a descrição conclua com as reivindicações distintamente realçando o tema que os requerentes consideram como sua

invenção, é crido que a invenção será melhor entendida quando tomada em conexão com os desenhos acompanhantes nos quais:

[20] Fig. 1 é um fluxograma de processo esquemático de um aparelho para realizar um método de acordo com a presente invenção;

[21] Fig. 2 é uma modalidade alternativa de Fig. 1;

[22] Fig. 3 é uma modalidade alternativa de Fig. 2;

[23] Fig. 4 é uma modalidade alternativa de Fig. 2; e

[24] Fig. 5 é uma ilustração esquemática de um secador que poderia ser usado em conexão com as modalidades ilustradas em Figs. 1, 2, 3 e 4.

[25] Com o propósito de evitar repetição na discussão das Figuras, os mesmos números de referência têm sido usados nas Figuras para os elementos nas Figuras onde a descrição dos elementos permanece não modificada.

Descrição detalhada

[26] Com referência à Fig. 1 é ilustrada um aparelho 1 que é projetada para purificar uma corrente de alimentação contendo dióxido de carbono 10.

[27] Corrente de alimentação de dióxido de carbono 10 é comprimida em um compressor 12 para uma pressão entre cerca de 1.034 kPa (absoluta) e cerca de 6.895 kPa (absoluta). A quantidade de dióxido de carbono que pode ser recuperada é uma função da pressão de alimentação fornecida à caixa fria. Como pode ser reconhecido, a recuperação de dióxido de carbono pode ser aumentada pela elevação desta pressão. Contudo, tal aumento em pressão resultará em custos de produção maiores. A pressão ótima, portanto, variará com a aplicação particular da presente invenção. Após ter sido esfriada dentro de um sistema de refrigeração esfriado a água 14, a corrente de alimentação contendo dióxido de carbono 10 é então introduzida em um separador de fases 16 para separar água que tem sido condensada dentro da corrente de alimentação contendo dióxido de carbono 10 em virtude de ter

sido esfriada em sistema de refrigeração esfriado a água 14.

[28] É para ser observado que certas correntes de alimentação contendo dióxido de carbono possuindo aplicabilidade na presente invenção estão disponíveis em pressão alta, por exemplo, uma corrente de gás de síntese de um processo de gaseificação após ter sofrido reação de deslocamento. Claro que, onde a corrente de alimentação estiver disponível em pressão, ela não teria que ser comprimida e possivelmente não esfriada dependendo de sua origem.

[29] A corrente de alimentação contendo dióxido de carbono 10 é então introduzida em um secador 20. Secador 20 é preferivelmente um sistema de adsorção que pode conter leitos de adsorvente de peneira molecular operando defasados para adsorver umidade e outras impurezas tais como hidrocarbonetos pesados que fervem em uma temperatura mais alta do que a da corrente contendo dióxido de carbono comprimido 10. Os leitos de adsorvente de peneira molecular operam defasados de modo que à medida que um leito está adsorvendo tais impurezas de ebulição alta o outro leito está sendo regenerado. Um leito é regenerado pelo abaixamento de sua pressão e/ou pelo aumento de sua temperatura para dessorver o componente adsorvido e então por purga do leito com uma corrente que é pobre no componente adsorvido. Em um sistema que emprega oscilação de temperatura, o leito é regenerado por aquecimento de uma corrente pobre no componente adsorvido e então por introdução dela dentro do leito a ser regenerado para causar dessorção e para transportar para longe os componentes dessorvidos. Estes sistemas variam, mas há muitos exemplos dos mesmos conhecidos que são bem conhecidos na arte. Um exemplo específico será discutido aqui abaixo. Com relação a isto, sistemas baseados em não-adsorvente são possíveis tais como pelo uso de trocadores de calor reversos que são bem conhecidos na arte de destilação.

[30] Corrente de alimentação seca resultante 22, que consiste de

corrente de alimentação 10 após ter sido comprimida pelo compressor 12 e seca, é então introduzida em um trocador de calor principal 24 no qual ela é parcialmente esfriada e então introduzida em um refeedor 26 que serve para produzir ebulição ou iniciar uma fase vapor ascendente dentro da coluna de extração 28. Corrente de alimentação seca 22 é então de novo introduzida em trocador de calor principal 24 no qual ela é totalmente esfriada para pelo menos parcialmente liquefazer a corrente de alimentação seca 22. A corrente de alimentação seca 22 é então introduzida em uma válvula de expansão 30 para dentro da coluna de extração 28 para iniciar uma fase líquida descendente dentro de tal coluna.

[31] Como bem conhecida na arte, coluna de extração preferivelmente possui recheio estruturado para contatar a fase vapor ascendente fluindo para cima através do recheio com um filme líquido descendente da fase líquida. Outros elementos contatando vapor-líquido conhecidos na arte poderiam ser usados tais como bandejas perfuradas. Como um resultado do contato, a fase líquida descendente se torna cada vez mais rica em dióxido de carbono, o componente menos volátil e a fase vapor ascendente se tornam cada vez mais ricos em impurezas que possuem uma volatilidade mais alta do que a do dióxido de carbono. Assumindo que a corrente de alimentação 10 consiste de um gás de síntese, então as impurezas tais como hidrogênio, monóxido de carbono e metano, todas sendo mais voláteis do que o dióxido de carbono, serão extraídas do líquido descendente para produzir um produto de topo de coluna pobre em dióxido de carbono e um produto de fundo de coluna líquido, rico em dióxido de carbono.

[32] Uma corrente de topo de coluna 31 pode ser extraída da coluna de extração 28 que é composta de produto topo de coluna pobre em dióxido de carbono e então introduzida em um trocador de calor auxiliar 32 de modo que a corrente de topo de dióxido de carbono 31 é pelo menos parcialmente liquefeita. A corrente de topo de dióxido de carbono 31 é então introduzida

em um separador de fases 34 para produzir uma corrente de vapor empobrecido em dióxido de carbono 36 e uma corrente de líquido rico em dióxido de carbono 38. Corrente de líquido rico em dióxido de carbono é expandida dentro de uma válvula de expansão 40 e então passada junta com a corrente de vapor empobrecido em dióxido de carbono 36 para dentro do trocador de calor auxiliar 32. Válvula de expansão 40 proporciona refrigeração para a liquefação parcial de corrente de topo de dióxido de carbono 31.

[33] Corrente de vapor empobrecido em dióxido de carbono 36 pode ser passada no trocador de calor principal 24 e quer liberada para a atmosfera quer enviada para recuperação dependendo do valor dos componentes que ela contém. Por exemplo, corrente de vapor empobrecido em dióxido de carbono 36 pode estar rica em hidrogênio, monóxido de carbono e metano quando corrente de alimentação 10 for uma corrente de gás de síntese. Preferivelmente, tal corrente é retornada para a fábrica de hidrogênio da qual a corrente de gás de síntese foi gerada para recuperação adicional ou para uso como um combustível. Se corrente de alimentação 10 fosse obtida de um gás reciclado usado em recuperação aumentada de óleo então a corrente de vapor empobrecido em dióxido de carbono 36 predominantemente conterà metano e quantidades pequenas de hidrocarbonetos mais pesados. Preferivelmente tal corrente é enviada para processamento adicional para recuperar metano e hidrocarbonetos mais pesados. Se corrente de alimentação 10 fosse obtida de um gás de combustão de combustão de óxi-combustível então a corrente empobrecida em dióxido de carbono 36 conterà na maior parte oxigênio, nitrogênio e argônio e como tal, poderia ser simplesmente liberada para a atmosfera.

[34] Corrente de líquido rico em dióxido de carbono 38 após ter passado através do trocador de calor principal 24 será vaporizada e como tal pode ser usada para regenerar o secador 20, por exemplo, tal corrente pode ser

aquecida e então introduzida em um leito de adsorção para propósitos de regeneração e depois, reintroduzida como uma corrente de reciclo 42 em um estágio apropriado de compressor 12 para aumentar a recuperação de dióxido de carbono.

[35] Uma corrente de produto de dióxido de carbono 44 como um líquido pode ser extraída da coluna de extração 28 que é composta de produto de fundo de coluna rico em dióxido de carbono. A corrente de produto de dióxido de carbono pode ser então expandida em uma válvula de expansão 46 para gerar refrigeração para o processo e depois, ser vaporizada dentro do trocador de calor principal 24 e comprimida em um compressor de produto 48 para produzir uma corrente de dióxido de carbono comprimida 50 como o produto de dióxido de carbono. O compressor de produto 48 poderia ser um compressor de multi-estágios com esfriamento de inter-estágios. É para ser observado, que, embora não ilustrado, um pouco do produto de dióxido de carbono poderia ser tomado como um líquido da corrente de produto de dióxido de carbono 44.

[36] Com referência à Fig. 2, um aparelho 1A é ilustrado. Nesta modalidade particular da presente invenção, corrente de produto de dióxido de carbono 44 não é expandida na mesma pressão e vantajosamente, é dividida em correntes subsidiárias 52 e 54 e pelo menos a corrente subsidiária 52 é expandida para pressão menor pelo uso de válvula de expansão 56, opcionalmente com correntes 52 e 54 são simultaneamente expandidas para pressões menores e maiores pelo uso de válvulas de expansão 56 e 58, respectivamente possuindo orifícios diferentes para tais propósitos. Ambas correntes subsidiárias 52 e 54 são então vaporizadas em trocador de calor principal 24. A corrente subsidiária de pressão mais baixa resultante 52 é introduzida na entrada do compressor de produto 48. A corrente subsidiária de pressão mais alta 54 é introduzida em um estágio intermediário do compressor de produto 48.

[37] Com referência à Fig. 3, um aparelho 1B é ilustrado. Nesta modalidade da presente invenção, corrente de topo de coluna 31 pode ser simplesmente passada no trocador de calor principal 24. Como nas modalidades separadas, esta recupera refrigeração da corrente de topo de coluna 30. Corrente de topo de coluna 31 sendo pobre em água pode ser então passada através do secador 20 e quer liberada para atmosfera quer possivelmente recuperada como nas modalidades anteriores.

[38] Com referência à Fig. 4, um aparelho 1C de acordo com a presente invenção é ilustrado. Em tal aparelho, a corrente de alimentação seca 22 após ter sido totalmente esfriada e expandida pela válvula de expansão 30 pode ser introduzida em um separador de fases 60 para produzir uma corrente de fase vapor 62 e uma corrente de fase líquida 64. Corrente de fase líquida 64 é introduzida em coluna de extração 28 para produzir o produto de fundo de coluna contendo dióxido de carbono e corrente de fase vapor 62 pode ser combinada com corrente de topo de coluna 31 e processada dentro do trocador de calor auxiliar 32 como descrito em conexão com a modalidade da invenção descrita com respeito à Fig. 1. Separador de fases 60 poderia ser usado em qualquer modalidade da presente invenção.

[39] Outras variações também são possíveis. Por exemplo, corrente 36 em aparelho 1, 1A e 1C4 ou corrente 31 em aparelho 1B pode ser expandida após ter sido aquecida no trocador de calor principal ou após ter sido adicionalmente aquecida para recuperação de energia de pressão como energia elétrica.

[40] Para minimizar a quantidade de umidade recuperada pelo secador 20, corrente de alimentação comprimida pode ser primeiro esfriada no trocador de calor principal 24 para cerca de 10°C para condensar mais água e separar água em um separador de fases e então ser alimentada ao secador 20. A corrente seca é alimentada ao trocador de calor principal em localização apropriada e processada como descrito acima.

[41] Com referência à Fig. 5, é ilustrada uma modalidade de secador 20 que poderia ser usada em conexão com todas as modalidades descritas acima. Secador 20 possui dois leitos 100 e 104 contendo um adsorvente de alumina. Quando leito 100 está em linha adsorvendo umidade da corrente de alimentação 10, válvulas 106 e 108 estão abertas. Válvulas 110 e 112 são fechadas. Em tal momento, leito 104 está sendo regenerado, para tais propósitos, leito 104 é submetido à despressurização, aquecimento para dessorver a mistura previamente adsorvida, esfriamento e então repressurização para trazer o leito 104 de volta para em linha e adsorção.

[42] Durante despressurização válvula de desvio 114 do secador é ajustada na posição aberta e corrente de líquido rico em dióxido de carbono vaporizado 38 usada para a regeneração desviada de leito 104 e flui para compressor 12 após ter sido esfriada em esfriador 119. Válvula 116 é ajustada em uma posição aberta permitindo que o leito 104 despressurize. Após o leito 104 ser despressurizado, válvula 114 fecha e válvulas 116, 117 e 118 abrem permitindo que a corrente de líquido rico em dióxido de carbono vaporizado 38 passe através de um aquecedor 120 para aquecer a corrente de líquido rico em dióxido de carbono vaporizada 38 para uma temperatura de entre cerca de 149°C e 316°C, passe através de leito 102 e seja descarregada para o compressor 12 após ter sido passada através do esfriador 119. Isto faz com que umidade seja dessorvida do adsorvente dentro do leito 102. Leito 104 é então esfriado por abertura da válvula de desvio de aquecedor 126 e fechamento da válvula de regeneração 118. Após esfriamento, a válvula de desvio de aquecedor 126 e válvulas 116 e 117 são fechadas e válvula de desvio de secador 114 abre. Neste momento, válvula 128 é aberta permitindo que um pouco da corrente de alimentação 10 entre no leito 104 para propósitos de repressurização. Uma vez repressurizada, válvulas 106 e 108 são ajustadas em uma posição fechada e válvulas 128 e 130 são ajustadas em posições abertas permitindo que leito 102 seja trazido de volta para em linha e

leito 102 seja regenerado na mesma maneira que o leito 104 e com o uso de válvulas 110 e 112. O processo é contínuo e permite fluxo contínuo.

[43] A seguir são exemplos calculados da aplicação da presente invenção para o tratamento de várias correntes.

Exemplo 1

[44] No seguinte exemplo, corrente de alimentação 10 é um gás reciclado de uma instalação de recuperação aumentada de óleo com o objetivo de remover metano e nitrogênio de tal corrente reciclada antes de ser reinjetada no campo de óleo. A modalidade ilustrada em Fig. 1 foi usada para propósitos deste Exemplo. O nível de metano alvo neste exemplo é 100 ppm no dióxido de carbono recuperado e a recuperação foi de cerca de 93,5 por cento em volume. Como um resultado de purificação, componentes indesejáveis para recuperação aumentada de óleo, tais como metano e nitrogênio foram removidos, enquanto que hidrocarbonetos C(2)+ foram grandemente retidos na corrente de dióxido de carbono reciclada. A pressão de corrente de dióxido de carbono comprimida 50 pode ser ajustada dependendo do requerimento de pressão de reservatório para reinjeção do dióxido de carbono. A corrente empobrecida em dióxido de carbono 36 contendo metano e outros hidrocarbonetos pode ser enviada para processamento adicional para recuperar gás natural para venda. Resultados tabulares para este exemplo são dados em Tabela 2.

Tabela 1

Corrente	10	22	44	38	36
Fluxo, kgmol/h	2000	2000	1726	275	605
Temperatura, °C	95	95	83	83	83
Pressão, kPa (absoluta)	20	300	208	237	148
Composição (% em mol em base seca)					
CO ₂	88	88	95,28	42,2	90,0
CH ₄	5	5	0,01	36,4	3,7
C ₂ H ₆	3	3	2,44	6,5	4,7
C ₃ H ₈	1	1	1,11	2,8	0,8
n-C ₄ H ₁₀	1	1	1,16	0,3	0,2
N ₂	2	2	0	14,6	0,6

[45] Em Tabela 1, as propriedades físicas de corrente de

alimentação seca 22 são dadas antes de tal corrente entrar no trocador de calor principal 24. Em relação a isto, após ter sido parcialmente esfriada dentro do trocador de calor principal 24, a temperatura de corrente de alimentação seca 22 é cerca de -22°C ; após passagem através do refervedor 26, a temperatura de corrente de alimentação seca 22 é cerca de -23°C ; após ter sido totalmente esfriada dentro do trocador de calor principal 24, a temperatura de corrente de alimentação seca 22 é cerca de -29°C ; e após ter passado através de válvula de expansão 30, a temperatura de corrente de vapor empobrecido em dióxido de carbono 30 e de corrente de alimentação seca 22 é cerca de -33°C e corrente de alimentação seca 22 possui uma pressão de cerca de 1.724 kPa (absoluta). Adicionalmente, o estado físico de corrente 44 é dado após sua descarga do trocador de calor principal 24 e antes de ser comprimida. Igualmente, os estados físicos de corrente empobrecida em dióxido de carbono 36 e de corrente de líquido rico em dióxido de carbono 38 são dados após terem sido descarregadas da extremidade quente do trocador de calor principal 24 e como tal corrente de líquido rico em dióxido de carbono tem sido vaporizada.

Exemplo 2

[46] Neste exemplo, o objetivo é remover oxigênio, nitrogênio e argônio da corrente de alimentação 10, que neste caso é formada de gás de combustão da combustão de óxi-combustível, para produzir corrente de dióxido de carbono purificado para EOR ou seqüestro. É preferida a redução da concentração de oxigênio para 10 ppm ou menor e que foi usada como a especificação para purificação. A modalidade mostrada em Fig. 2 foi utilizada e foi obtida a recuperação de dióxido de carbono de cerca de 86,5 por cento em uma base em volume. A corrente empobrecida em dióxido de carbono 36 pode ser aquecida e então expandida para recuperação de energia antes de ser liberada para a atmosfera. Resultados tabulares são dados na seguinte Tabela 2.

Tabela 2

Corrente	10	22	52	54	36	38
Fluxo, kgmol/h	10000	10000	4049	2699	3252	720
Temperatura, °C	95	95	55	55	55	55
Pressão, kPa (absoluta)	14,7	700	180	340	445	135
Composição (% em mol em base seca)						
CO ₂	78	78	99,9873	99,9873	32,4	95,2
O ₂	5	5	0,0010	0,0010	15,3	1,2
Argônio	4	4	0,0115	0,0115	12,3	1,4
N ₂	13	13	0,0002	0,0002	40,0	2,2
Corrente	10	22	52	54	36	38
Fluxo, kgmol/h	10000	10000	4049	2699	3252	720

[47] Em Tabela 2, as propriedades físicas de corrente de alimentação seca 22 são dadas antes de tal corrente entrar no trocador de calor principal 24. Com relação a isto, após ter sido parcialmente esfriada dentro do trocador de calor principal 24, a temperatura de corrente de alimentação seca 22 é cerca de 1,7°C; após passagem através do refulvedor 26, a temperatura de corrente de alimentação seca 22 é cerca de -4,4°C; após ter sido totalmente esfriada dentro do trocador de calor principal 24, a temperatura de corrente de alimentação seca 22 é cerca de -32°C; e após ter passado através da válvula de expansão 30, a temperatura de corrente de vapor empobrecido em dióxido de carbono 30 e de corrente de alimentação seca 22 é cerca de -39°C e corrente de alimentação seca 22 possui uma pressão de cerca de 2.965 kPa (absoluta). Adicionalmente, os estados físicos de correntes subsidiárias 52 e 54 são dados após sua descarga do trocador de calor principal 24 e antes de serem comprimidas. Igualmente, os estados físicos da corrente empobrecida em dióxido de carbono 36 e da corrente de líquido rico em dióxido de carbono 38 são dados após terem sido descarregadas da extremidade quente do trocador de calor principal 24 e como tal corrente de líquido rico em dióxido de carbono tem sido vaporizada.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para purificar uma corrente de alimentação contendo dióxido de carbono (10) para obter um produto de dióxido de carbono (44), caracterizado pelo fato de compreender:

secar uma corrente de alimentação (10) possuindo uma pressão superatmosférica, em parte com o uso de um secador (20);

parcialmente esfriar a corrente de alimentação após ter sido seca em um trocador de calor principal (24);

reevaporar uma coluna de extração (28) com a corrente de alimentação após ter sido parcialmente esfriada para adicionalmente esfriar a corrente de alimentação e para iniciar a formação de uma fase vapor ascendente dentro da coluna de extração (28);

adicionalmente esfriar a corrente de alimentação no trocador de calor principal (24) para parcialmente liquefazer a corrente de alimentação;

expandir a corrente de alimentação após ter sido parcialmente liquefeita para uma pressão operacional da coluna de extração (28) que é menor do que aquela da corrente de alimentação, para deste modo abaixar a temperatura de reevaporação na qual a coluna de extração (28) re-evapora para um nível que está abaixo da temperatura da corrente de alimentação temperatura após ter sido parcialmente esfriada;

introduzir parte da corrente de alimentação dentro da coluna de extração (28) após ter sido expandida para iniciar uma fase líquida descendente;

contatar a fase líquida descendente com a fase vapor ascendente dentro da coluna de extração (28) para extrair impurezas da fase líquida descendente e para deste modo produzir um produto de topo de coluna pobre em dióxido de carbono e um produto de fundo de coluna líquido, rico em dióxido de carbono;

utilizar uma corrente de topo de coluna composta de produto

de topo de coluna pobre em dióxido de carbono para recuperar refrigeração no trocador de calor principal (24);

expandir uma corrente de produto de dióxido de carbono composta de produto de fundo de coluna líquido, rico em dióxido de carbono em uma pressão para gerar a refrigeração;

vaporizar a corrente de produto de dióxido de carbono no trocador de calor principal (24); e

comprimir a corrente de produto de dióxido de carbono em um compressor (48) para obter uma corrente de dióxido de carbono comprimida como parte do produto de dióxido de carbono.

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

parcialmente liquefazer uma corrente pobre em dióxido de carbono composta em parte da corrente de topo de coluna em um trocador de calor auxiliar (32);

introduzir a corrente pobre em dióxido de carbono em um separador de fases (34) para produzir uma corrente de vapor empobrecido em dióxido de carbono (36) e uma corrente de líquido rico em dióxido de carbono (38);

expandir a corrente de líquido rico em dióxido de carbono (38); e

introduzir a corrente de líquido rico em dióxido de carbono (38) após ter sido expandida e a corrente pobre em dióxido de carbono (36) em sucessão, para dentro do trocador de calor auxiliar (32) e do trocador de calor principal (24) causando vaporização da corrente de líquido rico em dióxido de carbono (38) para dentro de uma corrente de vapor de dióxido de carbono, para deste modo parcialmente liquefazer a corrente pobre em dióxido de carbono no trocador de calor auxiliar (32) e para recuperar a refrigeração da corrente de topo de coluna no trocador de calor principal (24).

3. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o secador (20) emprega um adsorvente para adsorver umidade dentro da corrente de alimentação e a corrente de vapor de dióxido de carbono ou a corrente pobre em dióxido de carbono é utilizada em parte para regenerar o secador (20).

4. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que a corrente de vapor de dióxido de carbono é utilizada para regenerar o secador (20) e é então reciclada de volta para um compressor de alimentação (12) utilizado em compressão da corrente de alimentação.

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

a corrente de alimentação após ter sido parcialmente liquefeita no trocador de calor principal (24) é introduzida em outro separador de fases (60) para produzir uma corrente de fase vapor (62) e uma corrente de fase líquida (64);

a corrente de fase líquida (64) é introduzida na coluna de extração (28) para em parte introduzir a corrente de alimentação após ter sido parcialmente liquefeita no trocador de calor principal (24) para dentro da coluna de extração (28); e

a corrente de fase vapor (62) é combinada com a corrente de topo de coluna para formar a corrente de vapor pobre em dióxido de carbono.

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

a corrente de alimentação após ter sido parcialmente liquefeita no trocador de calor principal (24) é introduzida em outro separador de fases (60) para produzir uma corrente de fase vapor (62) e uma corrente de fase líquida (64);

a corrente de fase líquida (64) é introduzida na coluna de extração (28) para em parte introduzir a corrente de alimentação após ter sido

parcialmente liquefeita no trocador de calor principal (24) para dentro da coluna de extração (28);

a corrente de fase vapor (62) é combinada com a corrente de topo de coluna para formar uma corrente de vapor pobre em dióxido de carbono; e

a corrente de vapor pobre em dióxido de carbono é introduzida no trocador de calor principal (24) para recuperar refrigeração.

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

a corrente de produto de dióxido de carbono é dividida em primeira e segunda correntes subsidiárias (52, 54) de produto de dióxido de carbono;

as primeira e segunda correntes subsidiárias (52, 54) de produto de dióxido de carbono são expandidas para pressões mais alta e mais baixa, respectivamente;

a primeira corrente subsidiária de produto de dióxido de carbono é introduzida em um estágio de pressão mais alta de um compressor (48) usado na formação de produto comprimido de dióxido de carbono; e

a segunda corrente subsidiária de produto de dióxido de carbono é introduzida em uma entrada do compressor (48).

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

a corrente de produto de dióxido de carbono é dividida em primeira e segunda correntes subsidiárias (52, 54) de produto de dióxido de carbono;

as primeira e segunda correntes subsidiárias (52, 54) de produto de dióxido de carbono são expandidas para pressões mais alta e mais baixa, respectivamente;

a primeira corrente subsidiária de produto de dióxido de

carbono é introduzida em um estágio de pressão mais alta de um compressor usado na formação de produto comprimido de dióxido de carbono; e

a segunda corrente subsidiária de produto de dióxido de carbono é introduzida em uma entrada do compressor.

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

a corrente de produto de dióxido de carbono é dividida em primeira e segunda correntes subsidiárias (52, 54) de produto de dióxido de carbono;

as primeira e segunda correntes subsidiárias (52, 54) de produto de dióxido de carbono são expandidas para pressões mais alta e mais baixa, respectivamente;

a primeira corrente subsidiária de produto de dióxido de carbono é introduzida em um estágio de pressão mais alta de um compressor usado na formação de produto comprimido de dióxido de carbono; e

a segunda corrente subsidiária de produto de dióxido de carbono é introduzida em uma entrada do compressor.

10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a corrente de topo de coluna de dióxido de carbono é introduzida no trocador de calor principal (24) para recuperar refrigeração e é depois utilizada para regenerar o secador (20).

11. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que:

a corrente de produto de dióxido de carbono é dividida em primeira e segunda correntes subsidiárias (52, 54) de produto de dióxido de carbono;

as primeira e segunda correntes subsidiárias (52, 54) de produto de dióxido de carbono são expandidas para pressões mais alta e mais baixa, respectivamente;

a primeira corrente subsidiária de produto de dióxido de carbono é introduzida em um estágio de pressão mais alta de um compressor usado na formação de produto comprimido de dióxido de carbono; e

a segunda corrente subsidiária de produto de dióxido de carbono é introduzida em uma entrada do compressor.

12. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que parte da corrente do produto de fundo de coluna líquido, rico em dióxido de carbono também é retirado como um produto de dióxido de carbono líquido.

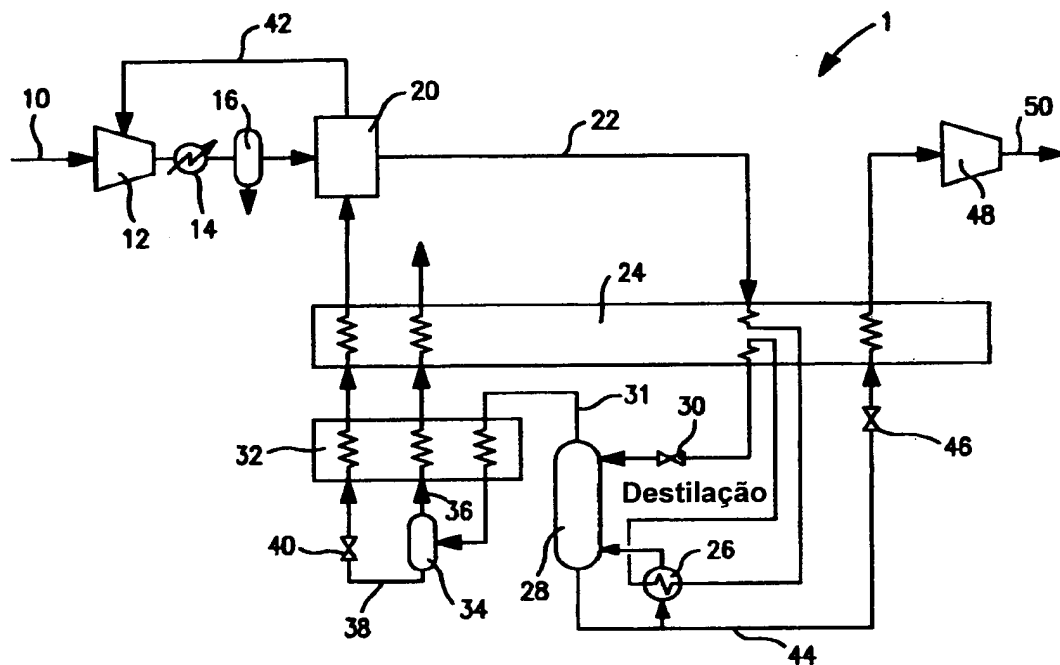


FIG. 1

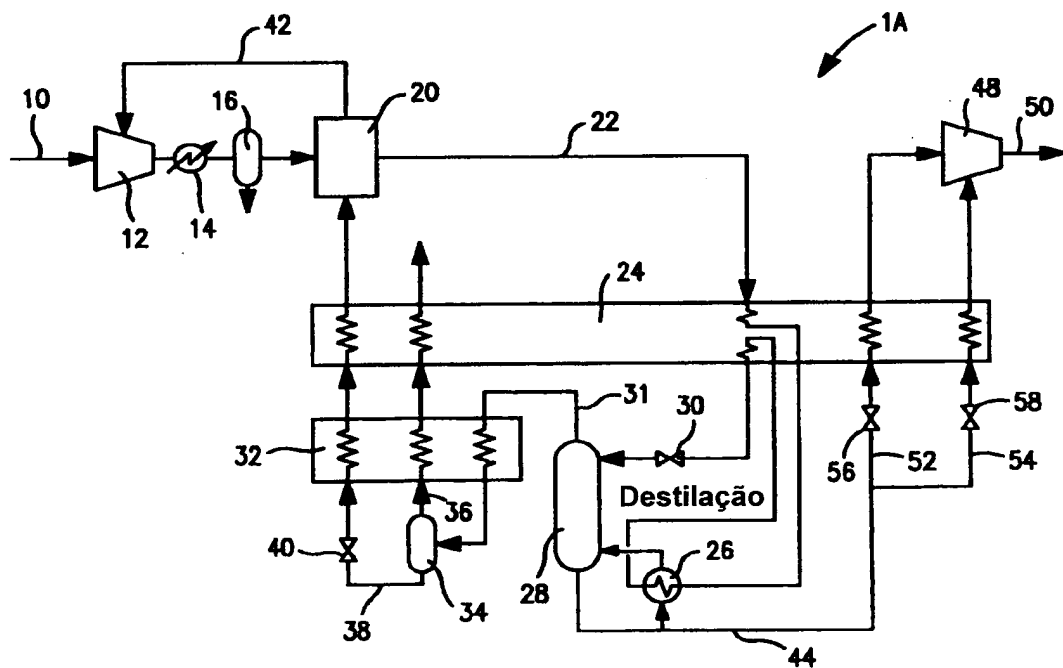


FIG. 2

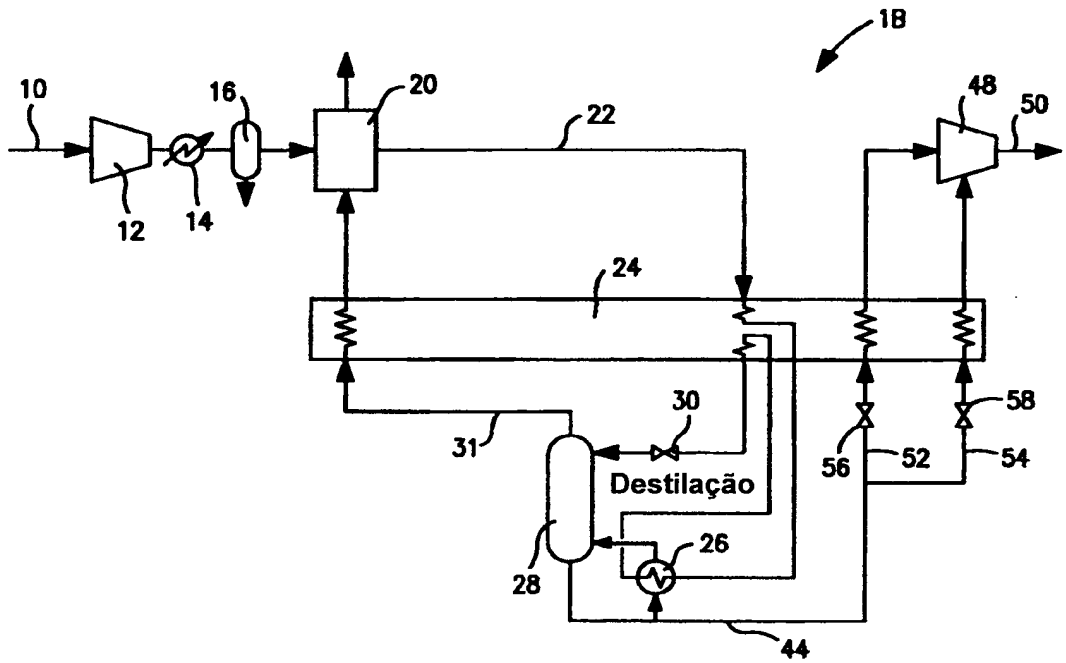


FIG. 3

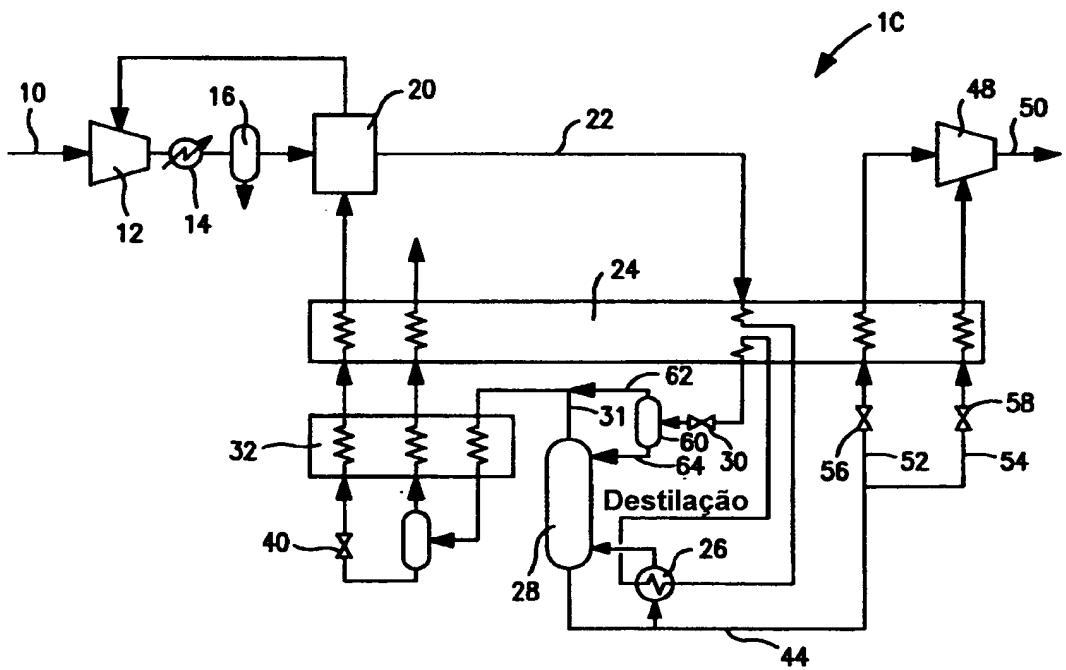


FIG. 4

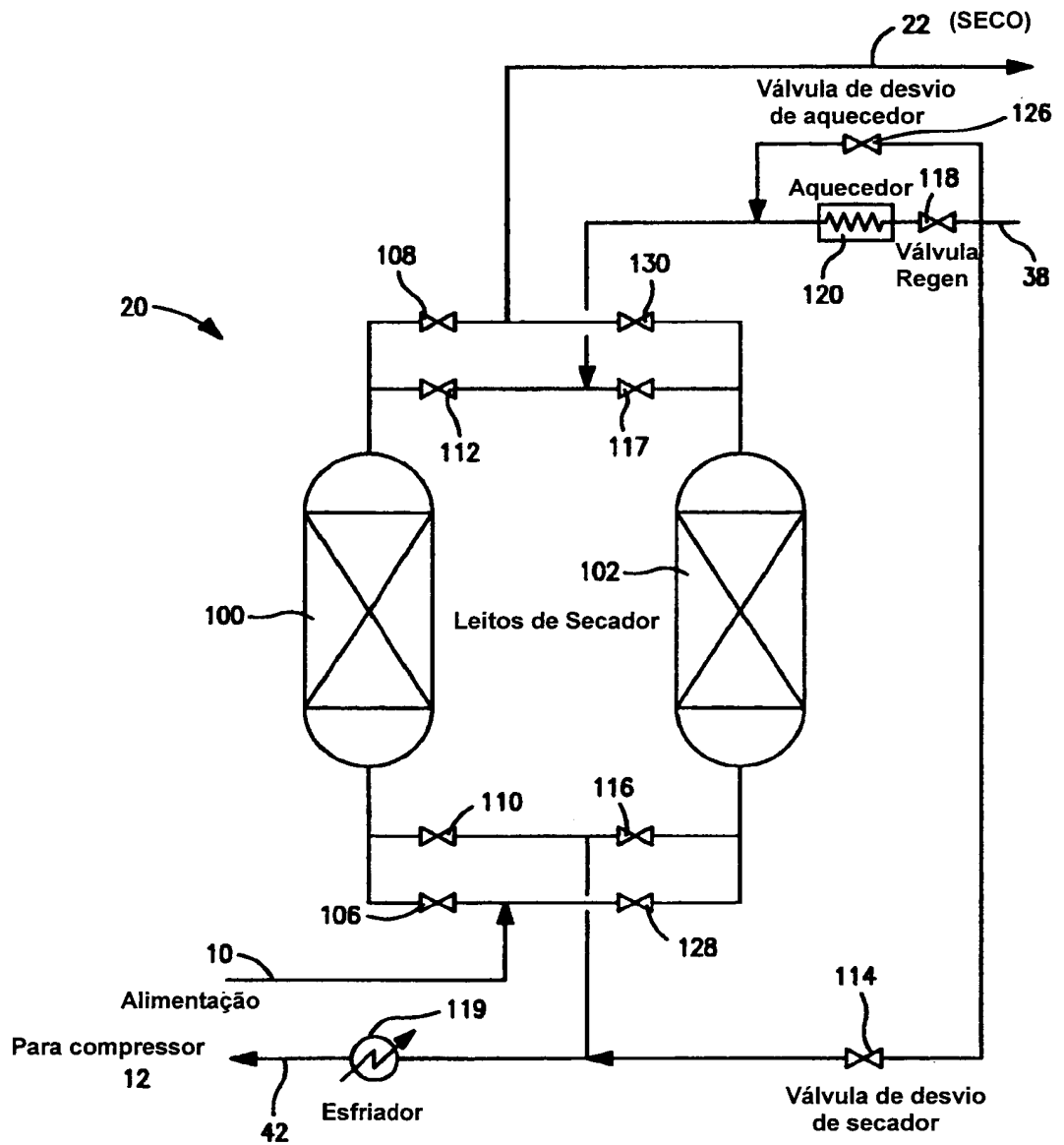


FIG. 5