



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

**(11) PI 0820929-4 B1**



**(22) Data do Depósito: 05/12/2008**

**(45) Data de Concessão: 15/09/2020**

---

**(54) Título:** MÉTODO PARA REGULAR A CAPACIDADE DE RESFRIAMENTO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO BASEADO EM UM PROCESSO DE EXPANSÃO DE GÁS

**(51) Int.Cl.:** F25J 1/02.

**(30) Prioridade Unionista:** 06/12/2007 NO 20076291.

**(73) Titular(es):** ARAGON AS.

**(72) Inventor(es):** NILSEN, INGE L..

**(86) Pedido PCT:** PCT NO2008000434 de 05/12/2008

**(87) Publicação PCT:** WO 2009/072900 de 11/06/2009

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 07/06/2010

**(57) Resumo:** MÉTODO E SISTEMA PARA REGULAR A CAPACIDADE DE RESFRIAMENTO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO BASEADO EM UM PROCESSO DE EXPANSÃO DE GÁS. A presente invenção está correlacionada a um método e sistema associado para regular a capacidade de resfriamento de um sistema de resfriamento que utiliza um circuito de resfriamento de expansão de gás, em que o princípio do resfriamento é a expansão de uma ou mais correntes de meios de resfriamento gasosos, a partir de uma pressão mais alta para uma pressão mais baixa, dito método sendo caracterizado pelas seguintes etapas: - redução temporária da quantidade do meio de resfriamento (100), em que uma fração de um meio de resfriamento gasoso é previamente resfriada sob uma pressão mais alta, sendo então extraída do circuito de resfriamento (100); - expansão da fração do meio de resfriamento gasoso resfriado ao longo de um dispositivo de expansão (102) sob uma pressão mais baixa, de modo que pelo menos uma parte do meio de resfriamento líquido se separa; - separação do líquido do gás não-condensado para um armazenamento temporário em uma unidade de armazenamento (104), de modo que o líquido, temporariamente, não é de outro modo circulado no circuito de resfriamento fechado (100); - após isso, retorno temporário do meio de (...).

**“MÉTODO PARA REGULAR A CAPACIDADE DE RESFRIAMENTO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO BASEADO EM UM PROCESSO DE EXPANSÃO DE GÁS”**

[001]A presente invenção se refere a um método e um sistema para regular a capacidade de resfriamento de um sistema de resfriamento baseado em um processo de expansão de gás, conforme pode ser verificado no preâmbulo das reivindicações 1 e 25, respectivamente.

[002]Os processos de resfriamento baseados em expansão de gás como princípio de resfriamento, são normalmente usados onde uma instalação de resfriamento simples e robusta é exigida para resfriamento de um gás ou líquido, sob temperaturas bastante baixas, tal como, liquefação de gás natural em LNG, ou na separação criogênica do ar. O processo de expansão de gás é normalmente baseado no processo clássico de resfriamento de Brayton/Claude, onde um meio de resfriamento gasoso circula através de um ciclo de trabalho baseado em compressão, resfriamento, expansão, e após isso, troca de calor com o fluido que deverá ser resfriado. Por exemplo, para a liquefação de gás natural, é possível a utilização de um meio de resfriamento pré-resfriado, comprimido em uma fase gasosa, normalmente, nitrogênio ou um gás hidrocarboneto, ou uma mistura, que é pré-resfriada e expandida ao longo de uma turbina (por exemplo, uma turbina radial/ou um turbo expansor) ou uma válvula de expansão. A expansão do gás leva à geração de um gás bastante frio, ou uma mistura de gás e líquido, que é depois usada para liquefazer o gás natural e para pré-resfriar o gás de resfriamento comprimido. Os processos de expansão de gás são relativamente simples e, portanto, satisfatoriamente adequados para instalações offshore. Os processos podem ser baseados em um circuito de expansão única, ou apresentar duas ou mais etapas de expansão acopladas em paralelo ou em série, onde operam as diferentes etapas de expansão em diferentes

condições de processamento (pressão, temperatura, quantidade de fluxo), para aumentar a eficiência do processo. Entretanto, o comum para a maioria dos processos é que o meio de resfriamento esteja presente predominantemente na fase gasosa em todo o processo.

[003] Pelo fato de que o meio de resfriamento nos processos de expansão de gás está predominantemente presente na fase gasosa em todo o sistema, a regulação da capacidade desses processos será normalmente um desafio. A regulação da capacidade é importante quando um menor trabalho de resfriamento é exigido para a realização de um desejado resfriamento e/ou liquefação, por exemplo, quando uma menor quantidade de fluido que deverá ser resfriada ou condensada circula através do sistema, ou quando o fluido que deverá ser resfriado ou liquefeito mudar de composição, de modo que um trabalho específico de resfriamento é reduzido. Uma reduzida capacidade, pode, em um determinado grau, ser obtida mediante redução da atividade do compressor do meio de resfriamento, por exemplo, através de palhetas guias de entrada variáveis ou controle da velocidade, ou reciclagem do gás da descarga de volta para a sucção do compressor. Entretanto, mediante redução da vazão do volume do meio de resfriamento, as turbinas de expansão irão também proporcionar uma reduzida eficiência e uma produção mais baixa de energia, ou de forma mais grave, se comparado aos problemas que surgem com o controle da expansão da turbina, ou ainda que as turbinas de expansão não possam ser operadas no curso do tempo em tal faixa de operação. Assim, pode surgir uma situação em que a desejada baixa temperatura, que é necessária para o processo, não pode ser obtida.

[004] Como consequência das limitações correlacionadas ao equipamento para redução da capacidade de resfriamento no processo, outro princípio é normalmente usado, pelo que o teor do meio de resfriamento no circuito fechado de

resfriamento é reduzido (é removido permanentemente ou temporariamente do circuito fechado). Desse modo, a pressão de operação em todo o circuito de resfriamento será reduzida, tanto no lado da alta pressão, como no lado da baixa pressão. Normalmente, os compressores radiais e as turbinas radiais são usados nesses processos de resfriamento, e uma vez que a compressão ou a expansão nessas máquinas se baseia no volume, o equipamento irá continuar a manipular um volume real relativamente fixo por unidade de tempo. Ao reduzir as pressões de operação, o mesmo fluxo de volume real será circulado, porém, o fluxo de massa será inferior. Desse modo, é obtida uma atividade de resfriamento mais baixa com uma correspondente redução do trabalho necessário de compressão, ao mesmo tempo em que o sistema irá operar próximo de seus pontos projetados.

[005]O desafio com este último método para regular a capacidade é a perda do gás de resfriamento no caso de uma redução temporária da capacidade de resfriamento. Em uma grande instalação, terá de se usar, por exemplo, um tempo bastante grande para o suprimento de grandes quantidades de gás do meio de resfriamento, de adequada qualidade, por exemplo, nitrogênio purificado, após um período com redução de capacidade. Conseqüentemente, será levado um grande tempo para restabelecer novamente a capacidade. Alternativas são usadas mediante o armazenamento ou "aprisionamento" do gás entre os dois níveis de pressão em que o processo opera, e irão constituir uma razoável alternativa para pequenas instalações. Outras soluções compreendem o armazenamento do meio de resfriamento gasoso em recipientes de pressão, de modo que grandes quantidades de gás podem ser injetadas no circuito de resfriamento quando são exigidas quantidades adicionais.

[006]A presente invenção representa uma considerável otimização da regulação da capacidade de um circuito de

expansão de gás e, em particular, para grandes instalações, tais como, uma instalação de resfriamento para produção de LNG, em que o processo de resfriamento é modificado de tal modo que o meio de resfriamento gasoso pode ser simplesmente resfriado e liquefeito dentro de um tempo relativamente curto, para armazenamento intermediário na forma líquida, desse modo, sendo temporariamente removido do circuito de resfriamento. O circuito de resfriamento irá então operar com uma velocidade mais baixa de enchimento, com subsequente pressão mais baixa de operação e reduzida atividade de resfriamento. O gás liquefeito pode a qualquer momento ser evaporado no circuito de resfriamento, novamente, para aumentar rapidamente a atividade da instalação de resfriamento. O armazenamento do meio de resfriamento gasoso na forma líquida sob baixa temperatura irá exigir volumes de armazenamento consideravelmente menores do que do armazenamento do gás na forma comprimida. A liquefação do meio de resfriamento gasoso não exige uma grande capacidade de resfriamento na instalação de resfriamento, na medida em que a liquefação é realizada em um curto período, quando a atividade da instalação está sendo reduzida, em que existe um excesso da capacidade de resfriamento na instalação.

[007]A invenção é idealizada para uso em todos os tipos de circuitos de expansão de gás, onde o meio de resfriamento está predominantemente na fase gasosa em todo o circuito de resfriamento, como, por exemplo, em todos os tipos de ciclos de expansão de nitrogênio, ou em ciclos de expansão de gás que utilizam metano puro, gás natural ou uma mistura de hidrocarbonetos e onde o resfriamento é obtido mediante expansão do meio de resfriamento gasoso.

[008]Os objetivos acima mencionados são alcançados mediante um método para controlar a capacidade de resfriamento de um sistema de resfriamento que utiliza um circuito de resfriamento, para resfriamento por expansão de

gás, conforme descrito na reivindicação independente 1, através das seguintes etapas:

- reduzir temporariamente a quantidade do meio de resfriamento que é circulada no circuito de resfriamento, em que uma fração do meio de resfriamento é previamente resfriada sob uma pressão mais alta, sendo então removida do circuito de resfriamento;

- expandir a fração do meio de resfriamento resfriado, o qual agora se encontra numa fase gasosa ou numa fase líquida, ao longo de um dispositivo de expansão sob uma pressão mais baixa, de modo que pelo menos uma fração do meio de resfriamento se separa como um líquido frio;

- separar o líquido condensado do gás não-condensado para armazenamento temporário em uma unidade de armazenamento, de modo que o líquido não seja temporariamente circulado no circuito de resfriamento fechado;

- após isso, retornar o meio de resfriamento de fase líquida armazenado temporariamente da unidade de armazenamento para o circuito de resfriamento, de acordo com a necessidade; e

- retornar o gás não-condensado e o meio de resfriamento evaporado da unidade de armazenamento para uma adequada localização no circuito de resfriamento.

[009]As modalidades preferidas do método são descritas nas reivindicações dependentes 2-23.

[010]Os objetivos acima mencionados são alcançados mediante um sistema para redução da capacidade em um sistema de resfriamento, o qual é baseado no resfriamento por expansão de gás, conforme descrito na reivindicação independente 24, compreendendo:

- um dispositivo para resfriamento para resfriamento de um meio de resfriamento gasoso sob uma pressão mais alta em um trocador de calor ou em um sistema

de trocadores de calor, com a ajuda de um processo de resfriamento;

- uma saída para a corrente lateral do meio de resfriamento resfriado, em uma fase gasosa ou em uma fase líquida;

- um dispositivo de expansão para expansão da corrente lateral em uma corrente sob uma pressão mais baixa;

- uma unidade de armazenamento para separação do meio de resfriamento não-condensado e armazenamento temporário do meio de resfriamento condensado;

- um dispositivo de retorno para retornar o meio de resfriamento não-condensado gasoso e, também, o meio de resfriamento evaporado da unidade de armazenamento para uma adequada localização no sistema de resfriamento; e

- um dispositivo de retorno para retornar o meio de resfriamento da unidade de armazenamento para o circuito de resfriamento, quando necessário;

em que o sistema é estabelecido para remover, temporariamente, o meio de resfriamento do circuito ou circuitos de resfriamento fechado(s).

[011]As modalidades preferidas do sistema são encontradas nas reivindicações dependentes 26 e 27.

#### Descrição da Invenção

[012]A invenção será agora descrita em maiores detalhes, fazendo-se referência às figuras anexas, nas quais:

- a figura 1 mostra o princípio principal de operação da invenção;

- a figura 2 mostra o princípio principal de operação da invenção com modalidades alternativas;

- a figura 3 mostra o princípio principal de operação da invenção com modalidades alternativas;

- a figura 4 mostra o princípio principal de operação da invenção com modalidades alternativas;

- a figura 5 mostra o princípio principal de operação da invenção com modalidades alternativas;

- a figura 6 mostra a invenção para um circuito simples de expansão de gás;

- a figura 7 mostra a invenção para um circuito simples de expansão de gás com uma modalidade alternativa;

- a figura 8 mostra a invenção para um circuito simples de expansão de gás com uma modalidade alternativa;

- a figura 9 mostra a invenção para um circuito simples de expansão de gás com uma modalidade alternativa;

- a figura 10 mostra a invenção para um circuito simples de expansão de gás com uma modalidade alternativa;

- a figura 11 mostra a invenção para um circuito simples de expansão de gás com uma modalidade alternativa;

- a figura 12 mostra a invenção numa modalidade preferida para um circuito de expansão de gás de duas etapas.

[013] Com referência às figuras 1 e 2, o sistema para controlar a capacidade do circuito de expansão de gás irá incluir as seguintes ações principais:

1 - resfriamento de uma fração do meio de resfriamento sob uma pressão mais alta, por meio do processo de resfriamento (100);

2 - remoção da dita fração do meio de resfriamento resfriado (12a) para expansão ao longo do dispositivo de redução de pressão (102) sob uma pressão mais baixa, de modo que pelo menos uma pequena fração do meio de resfriamento na corrente do meio de resfriamento (13) seja liquefeita sob a pressão mais baixa;

3 - provisão de um tanque de armazenamento (104) para o meio de resfriamento em fase líquida;

4 - separação da corrente do meio de resfriamento (13) em uma corrente de meio de resfriamento não-condensado gasoso (14) e meio de resfriamento em fase líquida, em que,

preferivelmente, essa separação ocorre no tanque de meio de resfriamento (104);

5 - retorno do meio de resfriamento não-condensado e, também, do meio de resfriamento evaporado do tanque (104) para uma adequada localização no sistema de resfriamento (100);

6 - provisão de um dispositivo (106) para retorno do meio de resfriamento do tanque de armazenamento (104) para o circuito de resfriamento (100), conforme a necessidade, quando do aumento de carga.

[014] O resfriamento do meio de resfriamento sob pressão mais alta irá, normalmente, ocorrer sob uma temperatura mais baixa que a mais baixa temperatura de pré-resfriamento do meio de resfriamento no circuito de resfriamento principal, isto é, que a corrente do meio de resfriamento que deverá ser extraída para expansão ao longo do dispositivo de redução de pressão (102) sob uma pressão mais baixa, normalmente, deverá ser mais ainda resfriada, se comparada com as correntes de pré-resfriamento ou de outros meios de resfriamento durante o modo normal de operação do circuito de resfriamento. Entretanto, a temperatura de pré-resfriamento para a dita corrente de meio de resfriamento que deverá ser extraída para expansão ao longo do dispositivo de redução de pressão (102), não poderá ser resfriada para uma temperatura mais baixa do que a mais baixa temperatura de operação do circuito de resfriamento, que, normalmente, é uma corrente de retorno de meio de resfriamento que foi expandida de uma pressão mais alta para uma pressão mais baixa, conforme mostrado, por exemplo, pela corrente (32) na figura 1. Nesses casos, o sistema de resfriamento utiliza um ou mais trocadores de calor de múltiplas correntes, por exemplo, trocadores de calor de placa de palhetas de múltiplas correntes, em que o resfriamento pode ocorrer parcialmente ou como parte de uma passagem de pré-

resfriamento (190) do circuito de resfriamento principal e, parcialmente, como uma extensão dedicada (191a) dessa passagem de pré-resfriamento. A figura 1 mostra nessa modalidade, como a passagem de pré-resfriamento (190) do circuito de resfriamento é estendida diretamente na forma de uma passagem de trocador de calor (191a), enquanto a corrente do meio de resfriamento (31) do circuito de resfriamento principal é extraída do trocador de calor (110a) em uma saída intermediária no trocador de calor.

[015]A figura 2 mostra uma modalidade alternativa, onde o meio de resfriamento é primeiramente resfriado na passagem de pré-resfriamento (190) do circuito de resfriamento, sendo depois retirado do trocador de calor (110a) na forma de uma corrente (31). Uma corrente lateral (11a) é extraída da corrente (31), sendo levada de volta para o trocador de calor de múltiplas correntes (110a) para adicional resfriamento na passagem do trocador de calor (191b).

[016]A figura 3 mostra mais algumas modalidades alternativas principais, as quais podem ser usadas individualmente ou simultaneamente. A figura 3 mostra uma modalidade alternativa, em que o resfriamento da dita fração do meio de resfriamento gasoso é realizado completamente em uma passagem de pré-resfriamento separada (191c), em um ou mais dos ditos trocadores de calor de múltiplas correntes, no sistema de trocadores de calor. Alternativamente, o resfriamento pode também ocorrer em um trocador de calor separado, com a ajuda do sistema de resfriamento (100). Além disso, a figura 3 mostra uma modalidade onde o armazenamento do meio de resfriamento (104) é operado sob uma pressão mais alta do que a pressão de recepção para o retorno do meio de resfriamento, pelo que uma válvula de controle de pressão controla a pressão no dispositivo de armazenamento (104), restringindo o fluxo de retorno de gás do circuito de resfriamento. A figura 3 também mostra que o retorno do meio

de resfriamento (12) pode ser feito mediante aquecimento em uma passagem separada (192) do trocador de calor (110a). Uma correspondente configuração pode também ser usada, se um sistema (110b) (figura 5) consistindo de uma pluralidade de trocadores de calor for usado no circuito de resfriamento.

[017]A figura 4 mostra duas modalidades alternativas que podem ser usadas juntas ou individualmente e também em conjunto com quaisquer das alternativas descritas acima e nas figuras 1-3. Na figura 4, a fração do meio de resfriamento não-condensado (14) não é retornada para o sistema de resfriamento, sendo levada para fora do alternativo sistema de resfriamento fechado, como uma corrente (14b), por exemplo, para a atmosfera ou para uso em outras localizações na instalação do processo. A figura 4 também mostra uma modalidade em que o sistema pode suprir outras partes da instalação de processamento com nitrogênio, como a corrente (145), na forma de líquido ou na forma de um gás.

[018]A figura 5 mostra uma modalidade alternativa em que o processo de resfriamento utiliza uma pluralidade de trocadores de calor de múltiplas correntes como um sistema de trocadores de calor (110b) e em que o meio de resfriamento é primeiramente resfriado na passagem de pré-resfriamento (190) do circuito de resfriamento, sendo depois retirado de um dos trocadores de calor no sistema (110b) na forma de uma corrente (31). Uma corrente lateral (11a) é extraída da corrente (31) e levada de volta para o sistema (110b) para adicional resfriamento na passagem de trocador de calor (191a), no subsequente trocador de calor.

[019]A figura 6 mostra em detalhes a invenção, usada em um circuito simples de expansão de gás, por exemplo, um circuito simples de resfriamento por expansão de nitrogênio. Deve ser mencionado que a invenção pode também ser usada com outros tipos de circuitos de expansão de gás, com diferentes tipos de meios de resfriamento e com uma ou mais etapas de

expansão. O processo de resfriamento se inicia com uma corrente gasosa do meio de resfriamento (21) sob uma pressão mais alta, a qual é pré-resfriada na passagem (190) no trocador de calor de múltiplas correntes (110), de modo que o meio de resfriamento pré-resfriado (31) possa ser expandido ao longo do expensor de gás (121), para gerar uma corrente de meio de resfriamento frio (32) sob uma pressão mais baixa. A corrente do meio de resfriamento (32) é predominantemente na fase gasosa, porém, em alguns projetos, uma pequena fração de líquido em equilíbrio com o gás na saída do expensor/turbina pode ser permitida. O meio de resfriamento frio (32) é retornado para o trocador de calor (110) e proporciona resfriamento da corrente do meio de resfriamento aquecida (21) na passagem do meio de resfriamento (190) e resfriamento e/ou liquefação dos fluidos de processo (1) em uma ou mais passagens do meio de resfriamento (193), a fim de proporcionar o produto resfriado (7) do processo. Após aquecimento no trocador de calor (110), a corrente de meio de resfriamento se dispõe na forma de gás. sob uma pressão mais baixa na corrente (51). Esse meio de resfriamento é novamente comprimido em uma ou mais etapas de compressão (111), com ou sem resfriamento intermediário. O meio de resfriamento comprimido (20) é então pós-resfriado usando um meio de resfriamento externo ou um circuito de resfriamento externo (130). No presente contexto, a invenção se inicia mediante extração de uma corrente de meio de resfriamento (191a) sob uma pressão mais alta, após um pré-resfriamento na passagem de trocador de calor (190), para adicional pré-resfriamento na passagem (191a), até que seja formada uma corrente de meio de resfriamento frio (12a) sob uma pressão mais alta. O meio de resfriamento pré-resfriado (12a) pode se apresentar no estado gasoso ou no estado líquido, sendo depois expandido através de uma válvula (102) sob uma pressão mais baixa, ou uma pressão entre a pressão mais alta e a

pressão mais baixa, porém, de modo que a temperatura seja reduzida e uma mistura (13) de gás e pelo menos uma fração de líquido seja gerada. A válvula (102), no presente contexto, irá também reduzir a quantidade de meio de resfriamento que é extraída do circuito de resfriamento. O gás e o líquido presentes na corrente (13) são separados em uma fração de líquido que pode ser armazenada em um tanque de armazenamento/tanque de pressão/separador (104), sob uma adequada pressão, e uma corrente gasosa (14) que é retornada numa adequada localização do circuito de resfriamento na pressão mais baixa, por exemplo, para a corrente (32), conforme mostrado na figura 5. Quando o sistema descrito acima extrai o meio de resfriamento através da passagem (191a) e através da válvula (102), é gerado um líquido no dispositivo de armazenamento (104), onde o teor do meio de resfriamento no circuito de resfriamento é correspondentemente reduzido, e a capacidade da instalação de resfriamento é reduzida. Quando a capacidade for novamente aumentada, é utilizada uma adequada disposição (106) para retornar o meio de resfriamento do tanque (104) para o circuito de resfriamento através da conexão (16), preferivelmente, para a parte do circuito de resfriamento que apresenta a pressão mais baixa, por exemplo, como a corrente (17a) no lado frio (32) sob uma pressão mais baixa, ou uma corrente (17b) no lado aquecido (51) sob uma pressão mais baixa.

[020]A disposição (106) para retorno e controle do meio de resfriamento para o circuito de resfriamento quando o aumento da capacidade é exigido, pode, na modalidade mais simples, ser uma válvula ou uma bomba para dosagem de fluido dentro do circuito de resfriamento. Mediante uso de uma válvula, o fluxo de líquido que volta para uma das partes do circuito de resfriamento que opera sob a pressão mais baixa, pode ocorrer por meio de fluxo gravitacional, em função da

diferença de altura ou através do dispositivo de armazenamento (104) que opera sob uma pressão mais alta, conforme descrito na figura 3 e na descrição associada.

[021] Com o uso de uma bomba na disposição (106), é também possível retornar o meio de resfriamento para aquela parte do circuito de resfriamento que opera sob a pressão mais alta, ou para uma parte que opera sob uma pressão intermediária.

[022] A figura 7 mostra a invenção aplicada em um simples circuito de expansão de gás, com uma modalidade alternativa para retorno do meio de resfriamento do dispositivo de armazenamento (104) para o circuito de resfriamento, em que é usada uma disposição (107) para suprimento de calor ao meio de resfriamento líquido frio no dispositivo de armazenamento (104). Dessa maneira, o meio de resfriamento líquido no dispositivo de armazenamento (104) é evaporado de um modo controlado, de volta para o circuito de resfriamento, através da linha de gás (14).

[023] A figura 8 mostra a invenção aplicada em um simples circuito de expansão de gás, com uma modalidade alternativa para retorno do meio de resfriamento do tanque de armazenamento (104) para o circuito de resfriamento, em que é usada uma disposição (143), externa ao tanque de armazenamento (104), para suprimento de calor ao meio de resfriamento líquido frio e, dessa maneira, o meio de resfriamento líquido no tanque (104) é evaporado de um modo controlado, de volta para o circuito de resfriamento através da linha de gás (17a), (17b) ou uma conexão correspondente. A disposição (143) pode, por exemplo, ser um trocador de calor que usa ar das redondezas como uma fonte de calor, ou outros tipos de trocadores de calor com um meio de aquecimento disponível como fonte de energia.

[024] A figura 9 mostra a invenção aplicada em um simples circuito de expansão de gás, com uma modalidade alternativa

para retorno do meio de resfriamento do tanque de armazenamento (104) para o circuito de resfriamento, em que é utilizado um ejetor/edutor (108), para se obter a volta de um fluxo controlado do meio de resfriamento para uma adequada localização no circuito de resfriamento. O ejetor (108) usa uma quantidade limitada de gás motriz (18), proveniente do lado de alta pressão do circuito de resfriamento, por exemplo, da saída (20) do compressor ou da corrente do meio de resfriamento (21), a jusante do dispositivo refrigerador (130). O meio de resfriamento pode ser retornado para a parte do circuito de resfriamento que apresenta a pressão mais baixa, por exemplo, como a corrente (17a) no lado frio (32) sob uma pressão mais baixa, ou como a corrente (17b) no lado aquecido (51) sob uma pressão mais baixa. O ejetor irá proporcionar uma evaporação completa ou parcial do líquido frio (16), de modo que o meio de resfriamento de retorno (17a/17b) não seja mais um líquido frio puro, com subsequente perigo de um fluxo desfavorável de líquido/gás no circuito de resfriamento, no período em que é realizado o retorno do meio de resfriamento.

[025]A figura 10 mostra a invenção aplicada em um simples circuito de expansão de gás, com uma modalidade alternativa para retorno do meio de resfriamento do tanque de armazenamento (104) para o circuito de resfriamento, em que é usado um volume externo (143), por exemplo, um vaso ou uma tubulação, preferivelmente, de modo vertical, onde uma corrente de um meio de resfriamento líquido (16) é levada de uma maneira controlada para o dito volume, sendo misturada com uma quantidade de água mais aquecida (18) proveniente do lado de alta pressão do circuito de resfriamento, por exemplo, da saída (20) do compressor ou da corrente do meio de resfriamento (21) a jusante do dispositivo refrigerador (130). A água mais aquecida (18) irá então fornecer calor, de modo que a desejada quantidade de meio de resfriamento é

evaporada em gás e pode ser retornada para a parte do circuito de resfriamento que apresenta a pressão mais baixa, por exemplo, a corrente (17a) no lado frio (32) sob uma pressão mais baixa ou a corrente (17b) no lado aquecido (51) sob uma pressão mais baixa. Esta configuração irá proporcionar uma completa evaporação do líquido frio (16), de modo que o meio de resfriamento de retorno (17a/17b) não é mais um líquido frio, com subsequente risco de um desfavorável fluxo de líquido/gás no circuito de resfriamento ser realizado durante o período de retorno do meio de resfriamento.

[026]A figura 11 mostra a invenção aplicada em um simples circuito de expansão de gás, com uma modalidade alternativa para retorno do meio de resfriamento do tanque de armazenamento (104) para o circuito de resfriamento, em que é usada uma disposição, onde uma corrente de meio de resfriamento mais aquecida (18) é fornecida de uma localização no circuito de resfriamento, onde a pressão é um pouco mais alta que no tanque de armazenamento (104), para ser introduzida nesse dito dispositivo (104) através de uma adequada disposição, por exemplo, bocais, de modo que o calor no gás mais aquecido contribui para uma evaporação controlada do líquido frio no dispositivo de armazenamento (104). Desse modo, o meio de resfriamento líquido no tanque de armazenamento (104) é evaporado de volta para o circuito de resfriamento, através da linha de gás (14) de uma maneira controlada.

[027]Um sistema de resfriamento, por exemplo, para liquefação de LNG, normalmente, é muito mais amplo e envolve maiores detalhes que os que estão cobertos na descrição acima. Entretanto, os princípios para a modalidade da invenção são os mesmos. Para ilustrar isso, na figura 12 é mostrado um sistema de resfriamento para liquefação de gás natural em LNG, mediante uso de um duplo circuito de expansão de gás que utiliza nitrogênio puro como meio de resfriamento.

Uma corrente de gás (1) compreendendo gás natural que deverá ser liquefeito, é resfriada em mais de uma etapa no trocador de calor (110), em que o gás é pré-resfriado em uma temperatura intermediária (4), sempre que hidrocarbonetos mais pesados possam ser separados na forma líquida em um separador ou coluna (160). O gás pré-resfriado (6) é depois conduzido de volta para o trocador de calor (110), para adicional resfriamento, se condensando e sub-resfriando, até que exista uma fase líquida como LNG na corrente de produto (7). O circuito de resfriamento, agora, compreende uma corrente de meio de resfriamento gasosa (21), sob uma pressão mais alta, a qual é dividida em duas partes (30) e (40), que são pré-resfriadas sob diferentes temperaturas no trocador de calor (110). A corrente (30) é pré-resfriada sob uma temperatura mais baixa que a temperatura da dita corrente (30), sendo expandida através do expensor de gás (121), de modo a gerar uma corrente de meio de resfriamento frio (32) em uma pressão mais baixa. A corrente de meio de resfriamento (32) se apresenta, predominantemente, numa fase gasosa, porém, em alguns projetos, pode ser permitida uma pequena fração de líquido em equilíbrio com o gás na saída da turbina/expansor. O meio de resfriamento frio (32) é retornado para o trocador de calor (110), para contribuir com o resfriamento. A corrente (40) é pré-resfriada para uma temperatura inferior à temperatura na corrente (32), sendo expandida através de um expensor de gás (122), de modo a gerar uma corrente de meio de resfriamento frio (42) sob uma pressão mais baixa. A corrente do meio de resfriamento (42) se apresenta, predominantemente, numa fase gasosa, porém, em alguns projetos, uma pequena fração de líquido em equilíbrio com o gás na saída da turbina/expansor pode ser permitida. O meio de resfriamento frio (42) é retornado para o trocador de calor (110), de modo a garantir o resfriamento na faixa mais baixa de temperatura. Após aquecimento no trocador de

calor (110), as correntes de meio de resfriamento agora se apresentam na forma de correntes gasosas (33) e (43), sob a pressão mais baixa. Essas correntes gasosas podem, depois, ser novamente comprimidas em uma ou mais etapas de compressão, com ou sem resfriamento intermediário. Deve ser observado que a divisão da corrente de meio de resfriamento, necessariamente, não deve ocorrer antes do trocador de calor (110), podendo também ocorrer como uma parte integrada do trocador de calor (110), em que a passagem divide a corrente gasosa na saída de uma corrente (31), para uma saída intermediária e para adicional resfriamento do gás restante (41). Do mesmo modo, o aquecimento do gás frio (32) e (42) pode de tal modo ocorrer, que as correntes sejam misturadas como uma parte integrada do trocador. Do mesmo modo que para um simples circuito de expansão de gás, a modalidade da invenção se inicia no presente contexto pela extração de uma corrente de meio de resfriamento (191a) sob uma pressão mais alta, após o pré-resfriamento na passagem do trocador de calor (190), para adicional pré-resfriamento na passagem (191a), até que seja formada uma corrente de meio de resfriamento frio (12a) sob uma pressão mais alta. Deve ser observado que todos os métodos para separação de uma corrente lateral do meio de resfriamento, para o adicional resfriamento descrito acima e nas figuras 1-3, podem também ser usados na presente configuração. O meio de resfriamento pré-resfriado (12) é expandido através de uma válvula (102) sob uma pressão mais baixa, ou sob uma pressão entre a pressão mais alta e a pressão mais baixa, porém, de modo que a temperatura seja reduzida e uma mistura (13) de gás e pelo menos uma fração de líquido seja gerada. No presente contexto, a válvula (102) controla a quantidade de meio de resfriamento que é extraída do circuito de resfriamento. O gás e o líquido presentes na corrente (13) são separados em uma fração de líquido, que pode ser armazenada em um tanque

de armazenamento/tanque de pressão/separador (104), sob uma adequada pressão, e uma corrente gasosa (14), que é retornada numa adequada localização do circuito de resfriamento na pressão mais baixa, por exemplo, para a corrente (32) ou corrente (42), através de (14b) e (14a), respectivamente. Quando o sistema descrito acima extrai o meio de resfriamento através da passagem (191a) e através da válvula (102), é gerado um líquido no dispositivo de armazenamento (104), onde o teor do meio de resfriamento no circuito de resfriamento é correspondentemente reduzido, e a capacidade da instalação de resfriamento é reduzida. Quando a capacidade for novamente aumentada, é utilizada uma adequada disposição (106) para retornar o meio de resfriamento (16) do tanque (104) para o circuito de resfriamento, preferivelmente, para a parte do circuito de resfriamento que apresenta a pressão mais baixa, por exemplo, como a corrente (17a) no lado frio (32) sob uma pressão mais baixa, ou a corrente (17c) no lado frio (42) sob uma pressão mais baixa ou uma corrente (17b) no lado aquecido (51) sob uma pressão mais baixa. Todos os métodos alternativos descritos acima para retorno do meio de resfriamento para o circuito de resfriamento podem ser usados. Deve ser observado que em todas as modalidades da invenção, a corrente gasosa (14) pode ser retornada para outras localizações no circuito de resfriamento, diferentes daquelas aqui descritas através das figuras e exemplos, na medida em que a pressão é suficientemente baixa, pelo que a invenção não está limitada aos exemplos aqui descritos.

[028] Deve ser observado que em todas as modalidades da invenção, o meio de resfriamento (17) pode ser retornado para outras localizações no circuito de resfriamento, diferentes daquelas descritas nas figuras e nos exemplos fornecidos acima, na medida em que a pressão é suficientemente baixa com relação ao método que é usado para o retorno, e em que a invenção não está limitada aos exemplos aqui descritos.

[029] Em todas as modalidades da invenção aqui descritas e também de acordo com as figuras mostradas, o tanque do meio de resfriamento pode ser configurado como um tanque horizontal ou como um tanque vertical. Além disso, o tanque do meio de resfriamento (104) pode ser um tanque convencional, ou um tanque de dupla parede isolado a vácuo, que é normalmente usado para armazenamento de líquidos e gases líquidos criogênicos e/ou de baixa temperatura.

[030] Além disso, o tanque do meio de resfriamento (104) pode ser colocado na vizinhança do sistema de resfriamento (100) e do sistema de trocadores de calor (110) e pode ser isolado para minimizar a evaporação, como consequência da transferência de calor das redondezas. Numa modalidade alternativa, o tanque do meio de resfriamento (104) pode ser colocado junto do sistema de trocadores de calor (110), no interior de um volume fechado e limitado que é cheio de material isolante para limitar a transferência de calor das redondezas. O volume isolado é normalmente modelado na forma de uma caixa, sendo normalmente descrito como uma "caixa fria". O material isolante pode ser um isolante convencional ou um material isolante granular, o qual é enchido dentro da caixa, como, por exemplo, perlita.

[031] Numa modalidade alternativa, o tanque do meio de resfriamento (104) pode também ser usado como um dispositivo de armazenamento de um meio de resfriamento, por exemplo, quando o meio de resfriamento for nitrogênio, de modo que o tanque do meio de resfriamento possa suprir outras partes da instalação de processamento com nitrogênio líquido ou gasoso, quando necessário.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para regular a capacidade de resfriamento de um sistema de resfriamento que utiliza um circuito de resfriamento (100), com um lado de alta pressão e um lado de baixa pressão, onde o meio de resfriamento gasoso se desloca através de um ciclo de trabalho baseado na compressão, resfriamento, expansão e troca de calor do mesmo com o fluido que será resfriado,

onde a redução na capacidade de resfriamento é alcançada pelas etapas:

- pré resfriar uma fração do meio de resfriamento sob uma pressão mais alta;

- expandir a fração do meio de resfriamento ao longo de um dispositivo de expansão (102) sob uma pressão mais baixa, de modo que pelo menos uma fração do meio de resfriamento se separa como um líquido frio;

- separar o líquido do gás não-condensado para armazenamento temporário em uma unidade de armazenamento (104), de modo que a quantidade de meio de resfriamento presente como líquido não é de outro modo, temporariamente circulada no circuito de resfriamento fechado (100);

- retornar o gás não-condensado e o meio de resfriamento evaporado (14) da unidade de armazenamento (104) para o circuito de resfriamento (100); e

onde o aumento na capacidade de resfriamento é alcançado pelas:

- evaporar o meio de resfriamento líquido armazenado;

- retornar o meio de resfriamento líquido armazenado para o circuito de resfriamento (100);

**caracterizado** pelo fato de que o retorno do meio de resfriamento da unidade de armazenamento (104) para o circuito de resfriamento (100) é possibilitado por misturar uma corrente do meio de resfriamento líquido (16) com gás

(18) a partir do lado de alta pressão do circuito de resfriamento (100).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que um volume externo (143) é utilizado, por exemplo, um vaso ou um tubulação onde a corrente do meio de resfriamento líquido (16) é conduzida de um modo controlado pelo uso de uma válvula (141) da unidade de armazenamento (104) para o volume externo (143) e misturada com o gás (18) do lado de alta pressão do circuito de resfriamento (100).

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que um ejetor (108) é usado para obter um fluxo controlado do meio de resfriamento da unidade de armazenamento (104) de volta para o circuito de resfriamento (100), em que o ejetor (108) usa gás motriz (18) do lado de alta pressão do circuito de resfriamento (100).

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a corrente (18) é fornecida de uma locação do circuito de resfriamento (100) onde a pressão é mais alta do que a pressão introduzida na unidade de armazenamento (104), de modo que o calor no aquecedor de gás contribui para uma evaporação controlada do líquido resfriado na unidade de armazenamento (104) para retornar de volta para o circuito de resfriamento (100) via a linha de gás (14).

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a corrente de gás (18) é de uma saída (20) de um compressor (11) ou de uma corrente de meio de resfriamento (21) a jusante de um resfriador (130) a jusante do compressor (111).

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pelo fato de que o meio de resfriamento evaporado retorna para o lado resfriado (32) do circuito de resfriamento (100) na baixa pressão, ou uma

corrente (17b) para o lado quente (51) do circuito de resfriamento (100) na baixa pressão.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que a dita fração do meio de resfriamento sob uma pressão mais alta é previamente resfriada sob uma temperatura inferior à temperatura mais baixa em que as correntes do meio de resfriamento no circuito de resfriamento (100) são previamente resfriadas sob pressão mais alta, de modo que a dita corrente de meio de resfriamento é previamente resfriada, ainda com em relação ao pré-resfriamento do circuito de resfriamento (100).

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que a dita fração do meio de resfriamento sob uma pressão mais alta é previamente resfriada a uma determinada temperatura, de modo que pelo menos uma fração da dita fração de meio de resfriamento está presente como um líquido após o pré-resfriamento, ou que toda a fração do dito meio de resfriamento está presente como um líquido após o pré-resfriamento.

9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o dito dispositivo de expansão (102), para expansão do meio de resfriamento previamente resfriado da pressão mais alta para a pressão mais baixa, é uma válvula adequada para essa expansão.

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o dito circuito de resfriamento (100) é um circuito de resfriamento através de expansão de gás, que utiliza um meio de resfriamento composto de mais de 90% de nitrogênio, em que o circuito de resfriamento (100) compreende pelo menos uma etapa de expansão, onde o meio de resfriamento gasoso

pré-resfriado é expandido de uma pressão mais alta para uma pressão mais baixa, desse modo, gerando um meio de resfriamento gasoso frio.

11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que a unidade de armazenamento (104) é operada sob aproximadamente a mesma pressão que a pressão mais baixa no circuito de resfriamento (100), em que a unidade de armazenamento (104) apresenta uma conexão aberta (14), sem restrições com a parte do circuito de resfriamento (100) que é operada sob a pressão mais baixa, ou

a unidade de armazenamento (104) é operada sob uma pressão que se dispõe entre a pressão mais alta e a pressão mais baixa do circuito de resfriamento (100), em que a unidade de armazenamento (104) apresenta uma conexão (14) com um elemento de restrição, tal como, uma válvula, para controlar a pressão de operação na unidade de armazenamento (104).

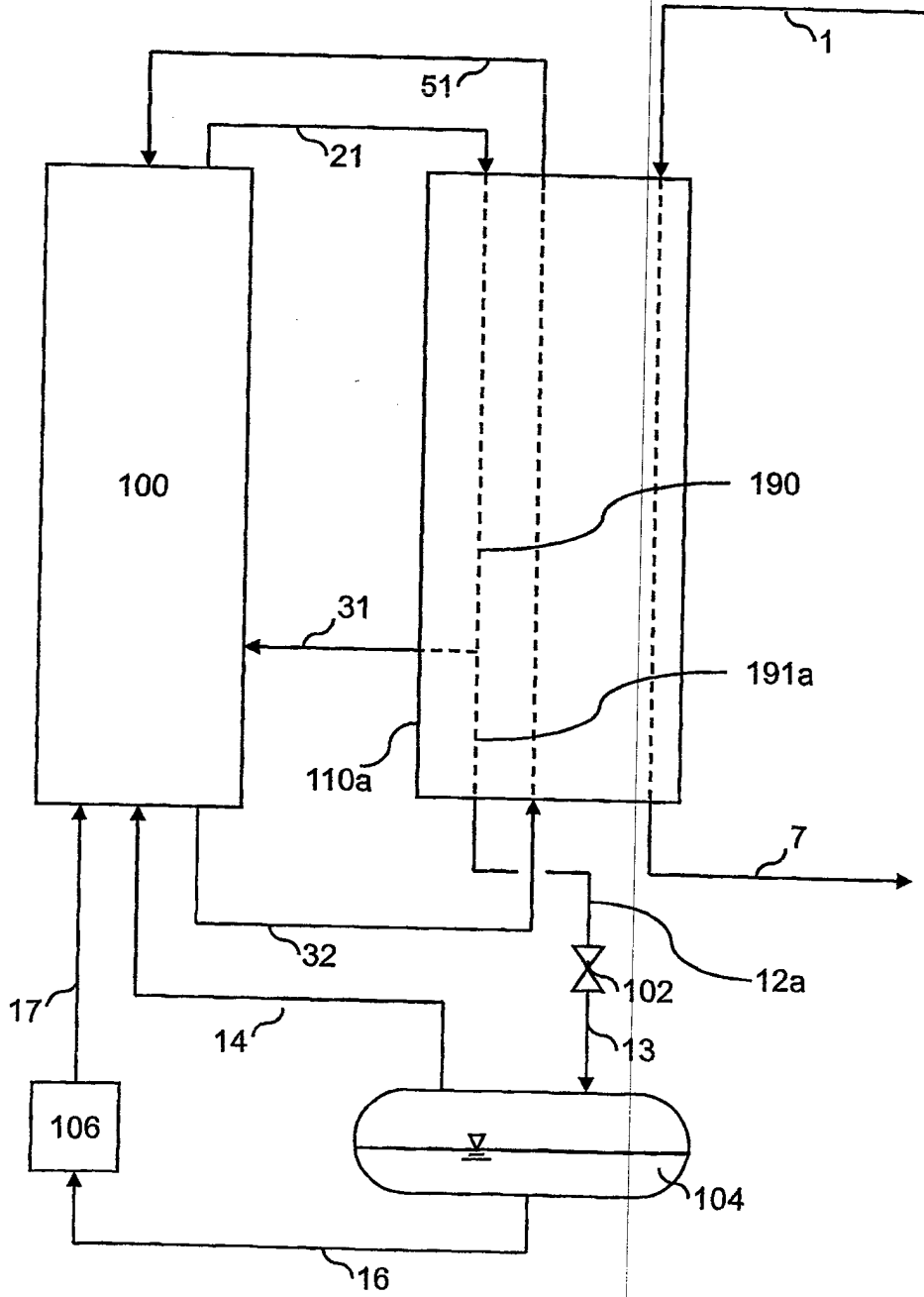


Figure 1

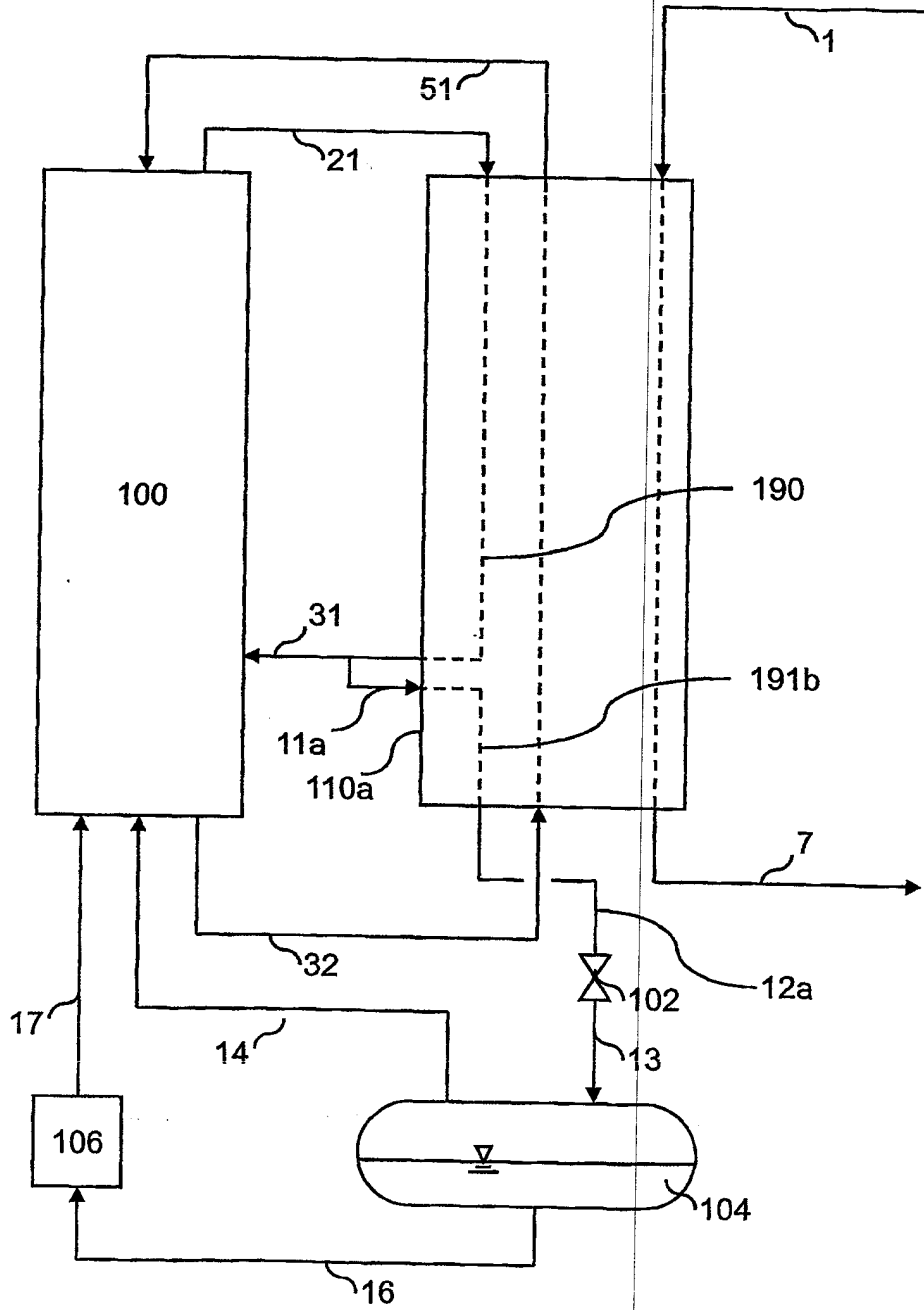


Figure 2

3/12

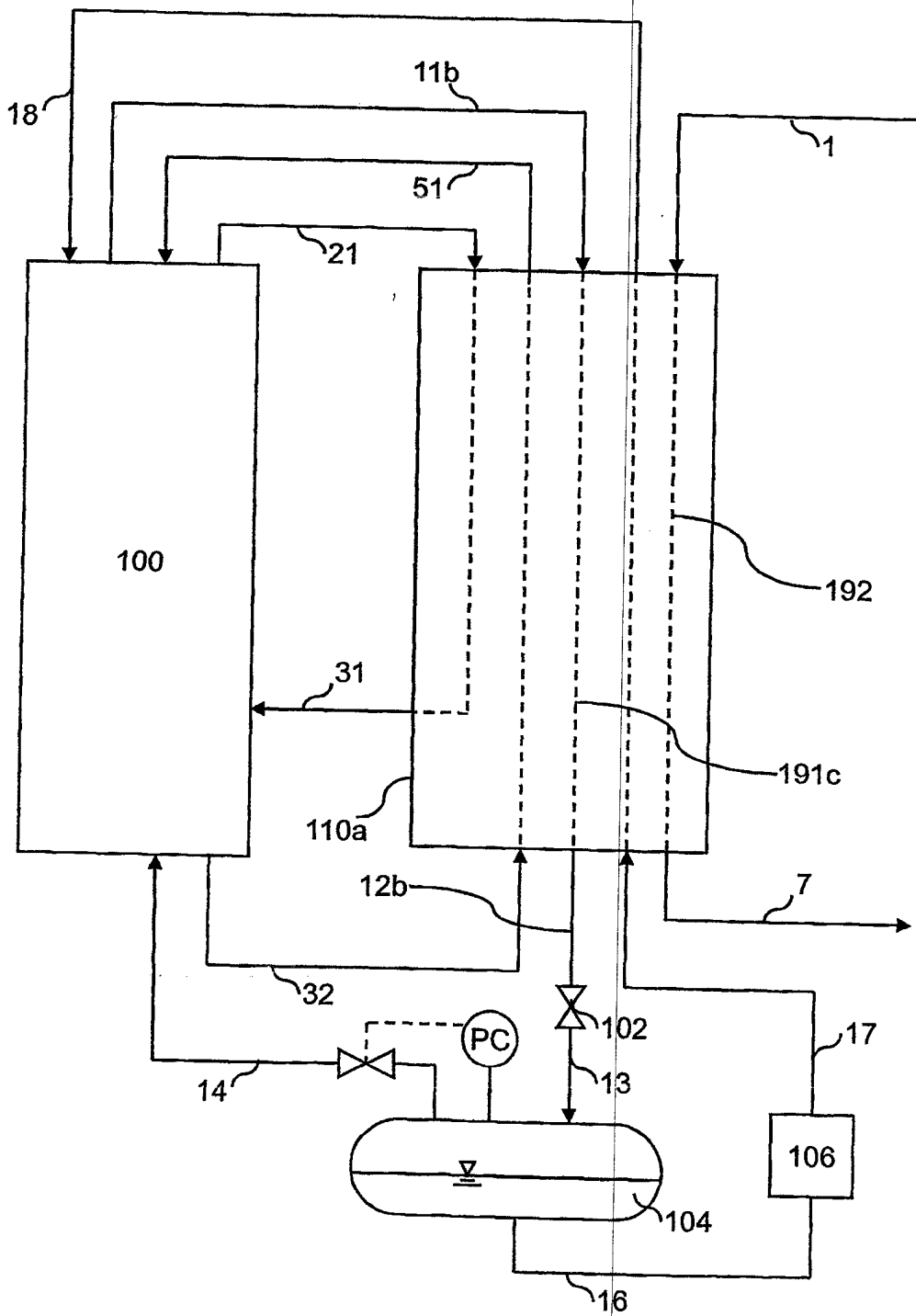


Figure 3

4/12

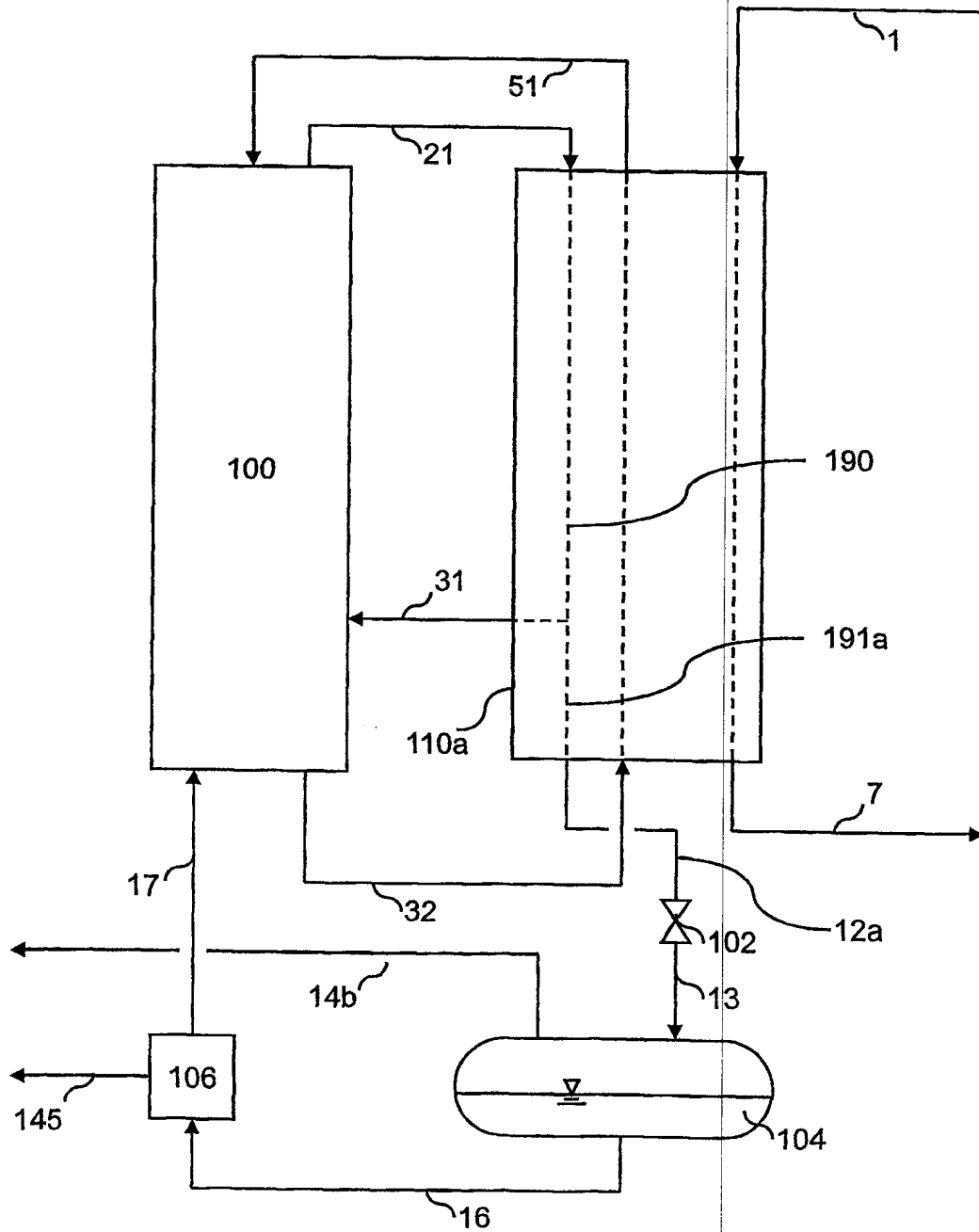


Figure 4

5/12

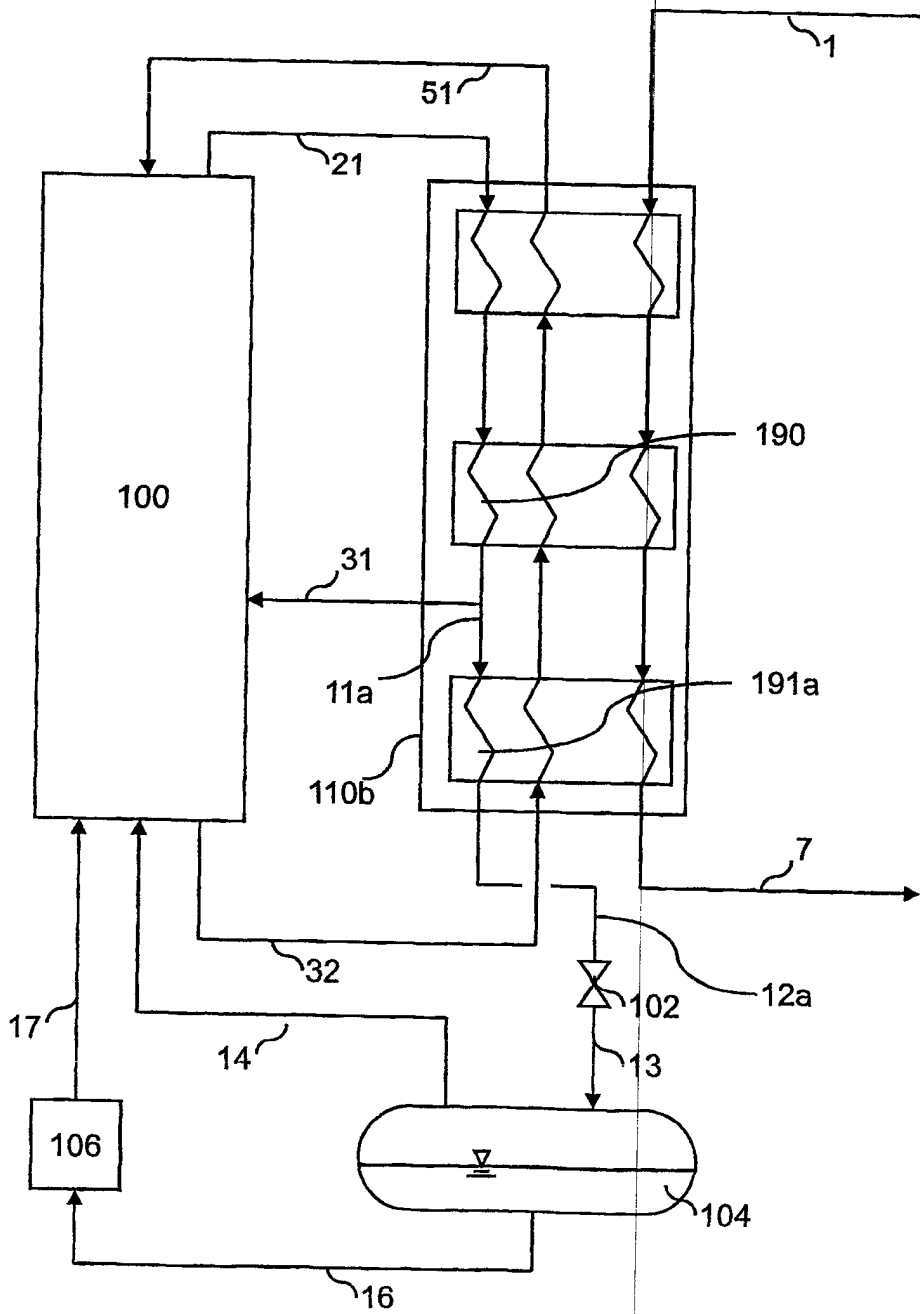


Figure 5

6/12

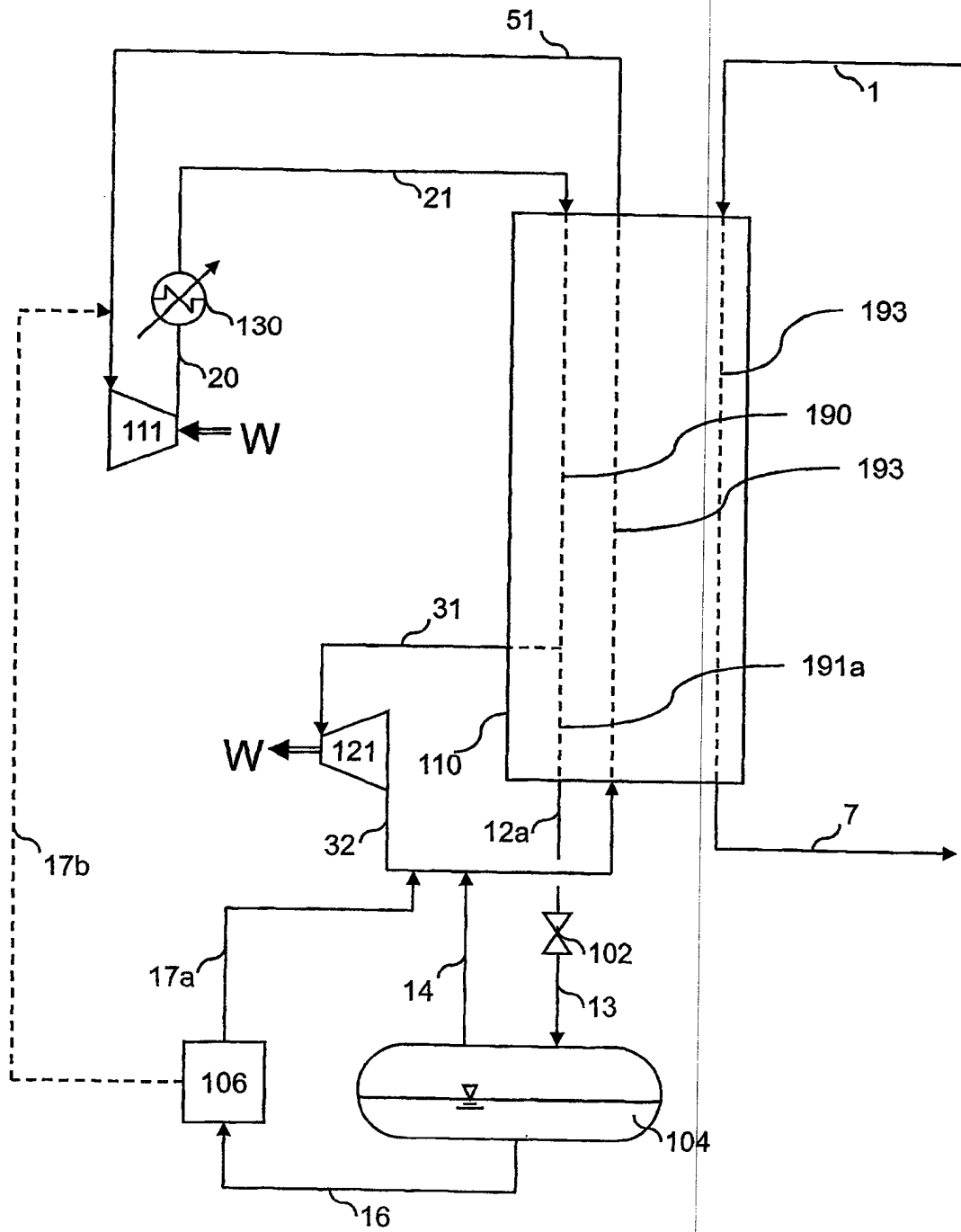


Figure 6

7/12

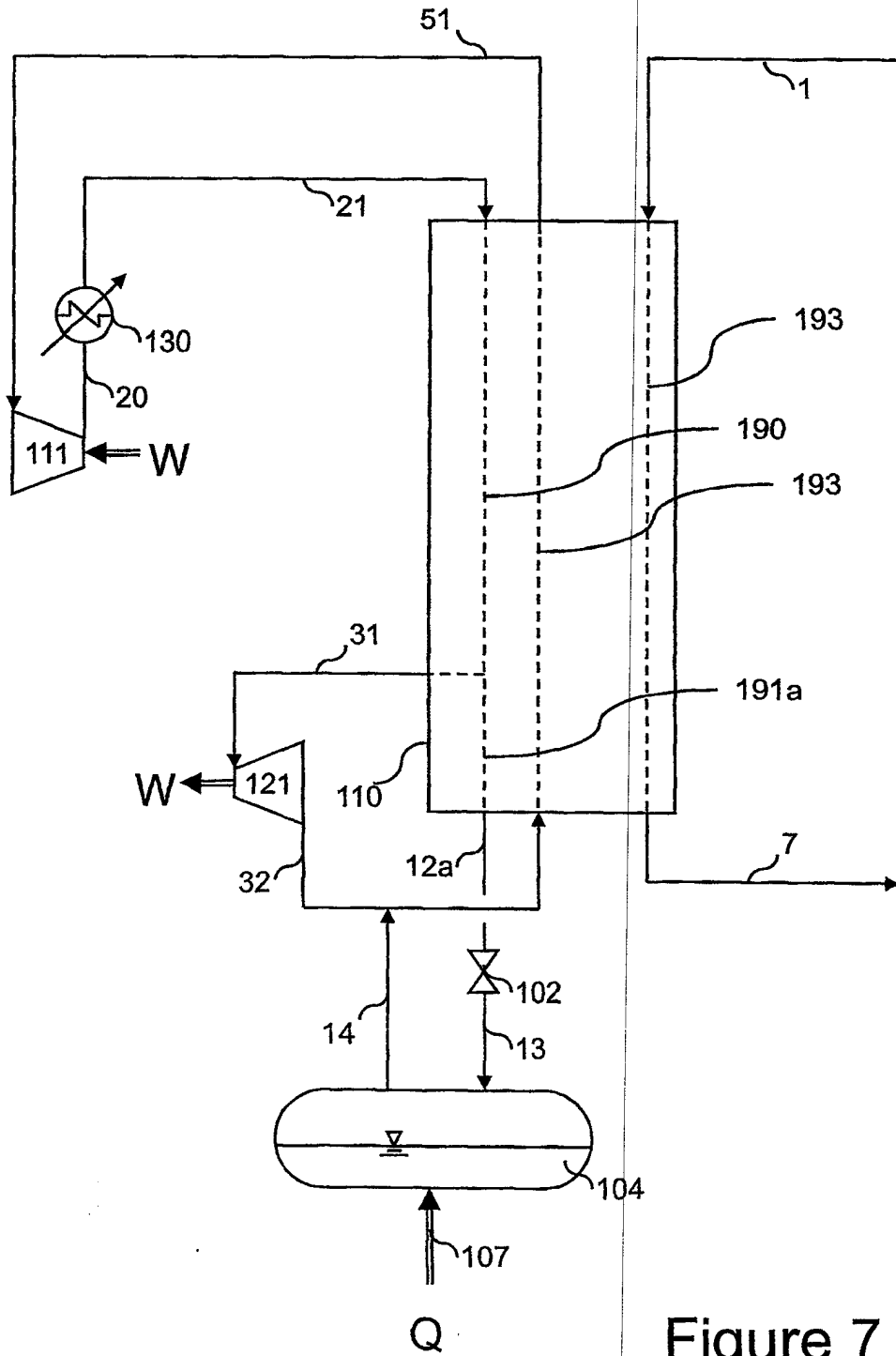


Figure 7

8/12

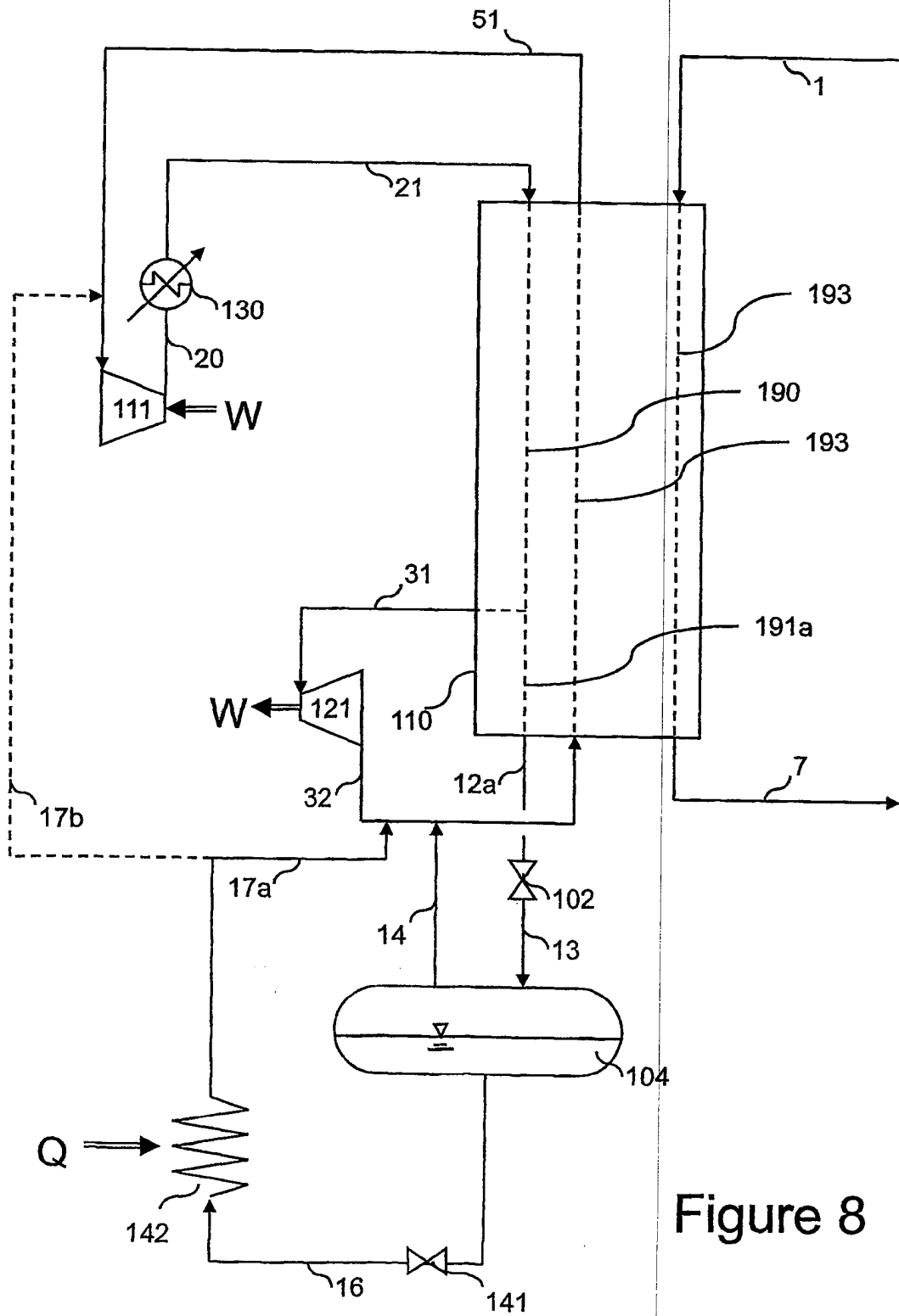


Figure 8

9/12

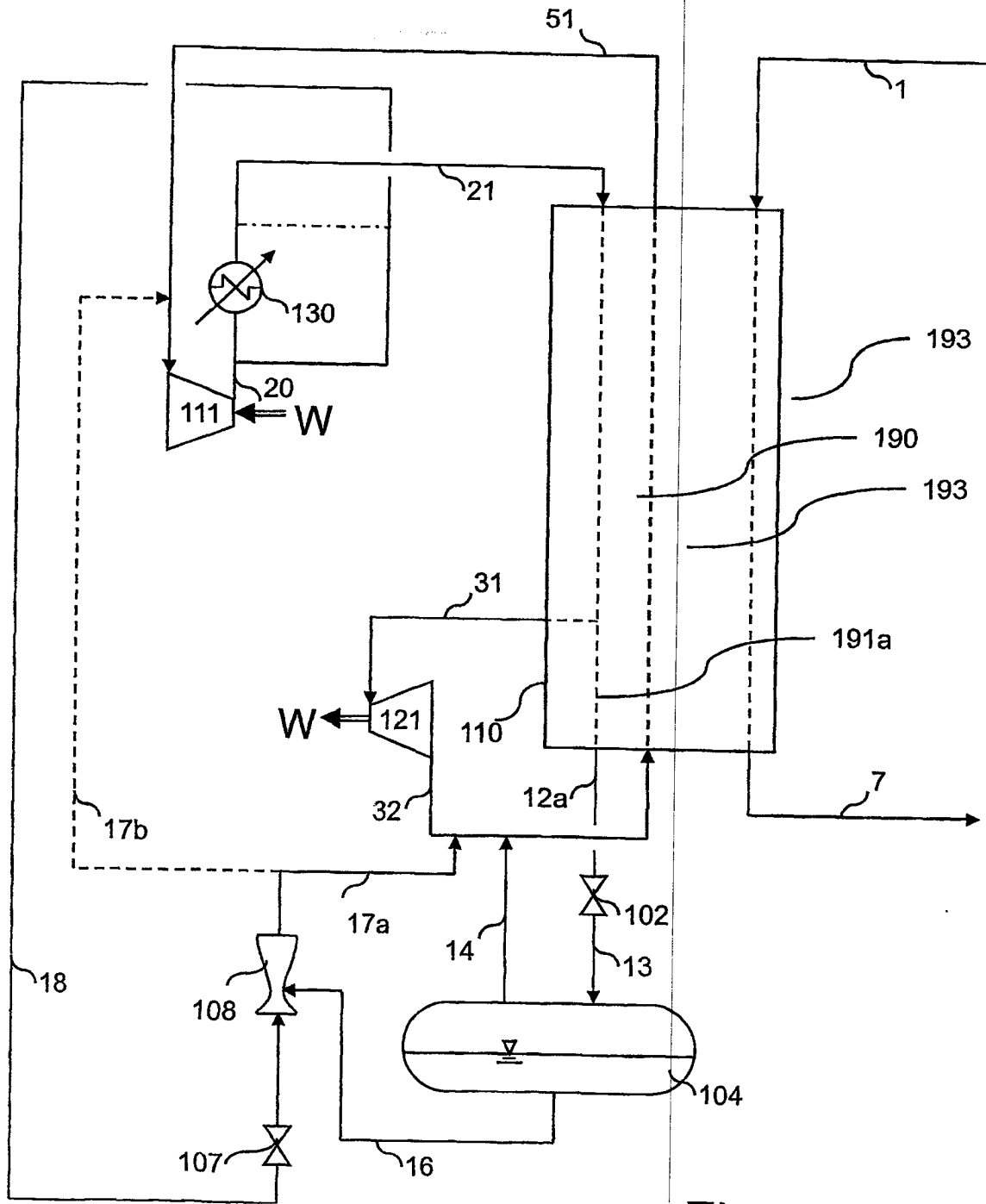


Figure 9

10/12

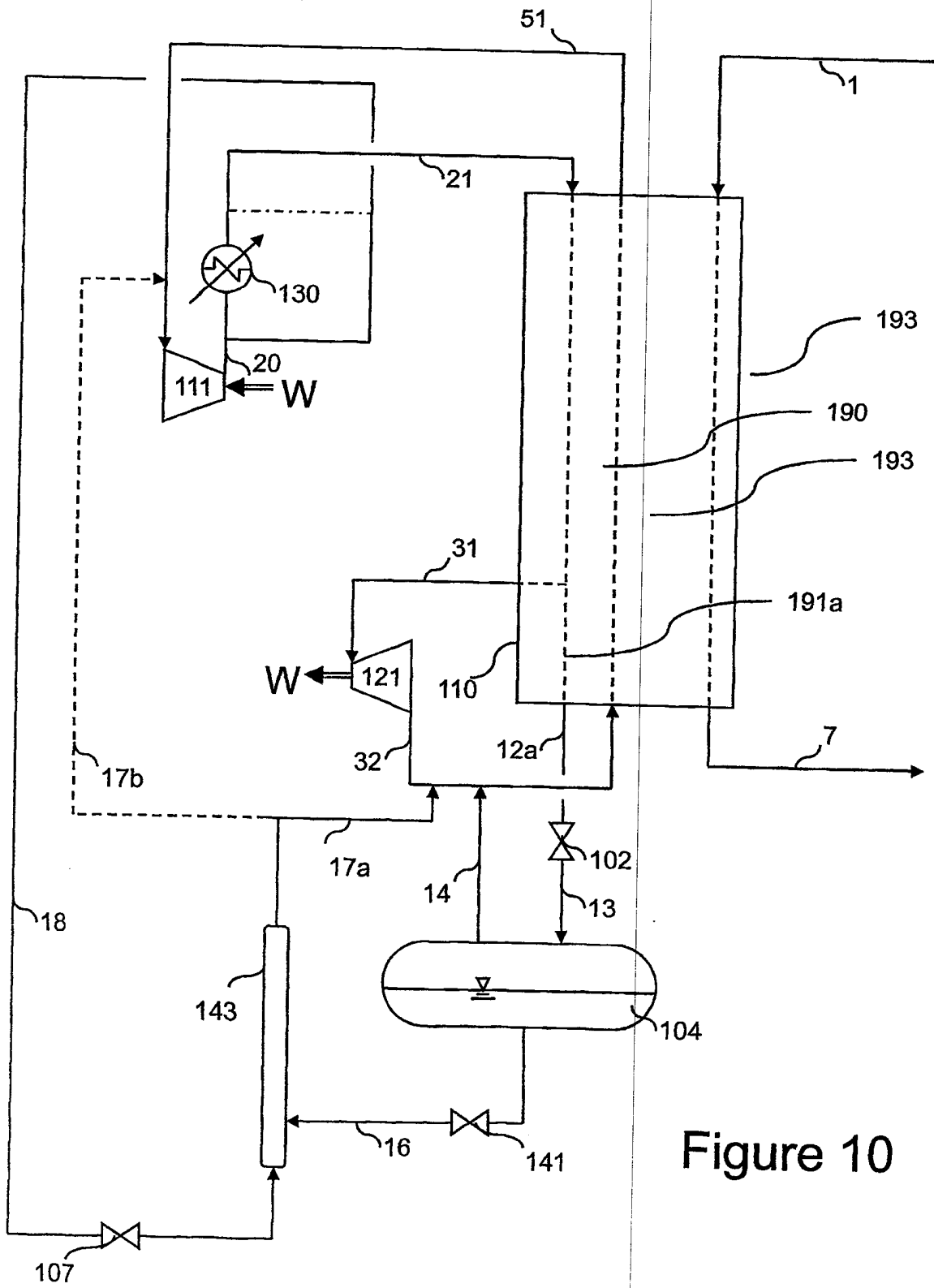


Figure 10

11/12

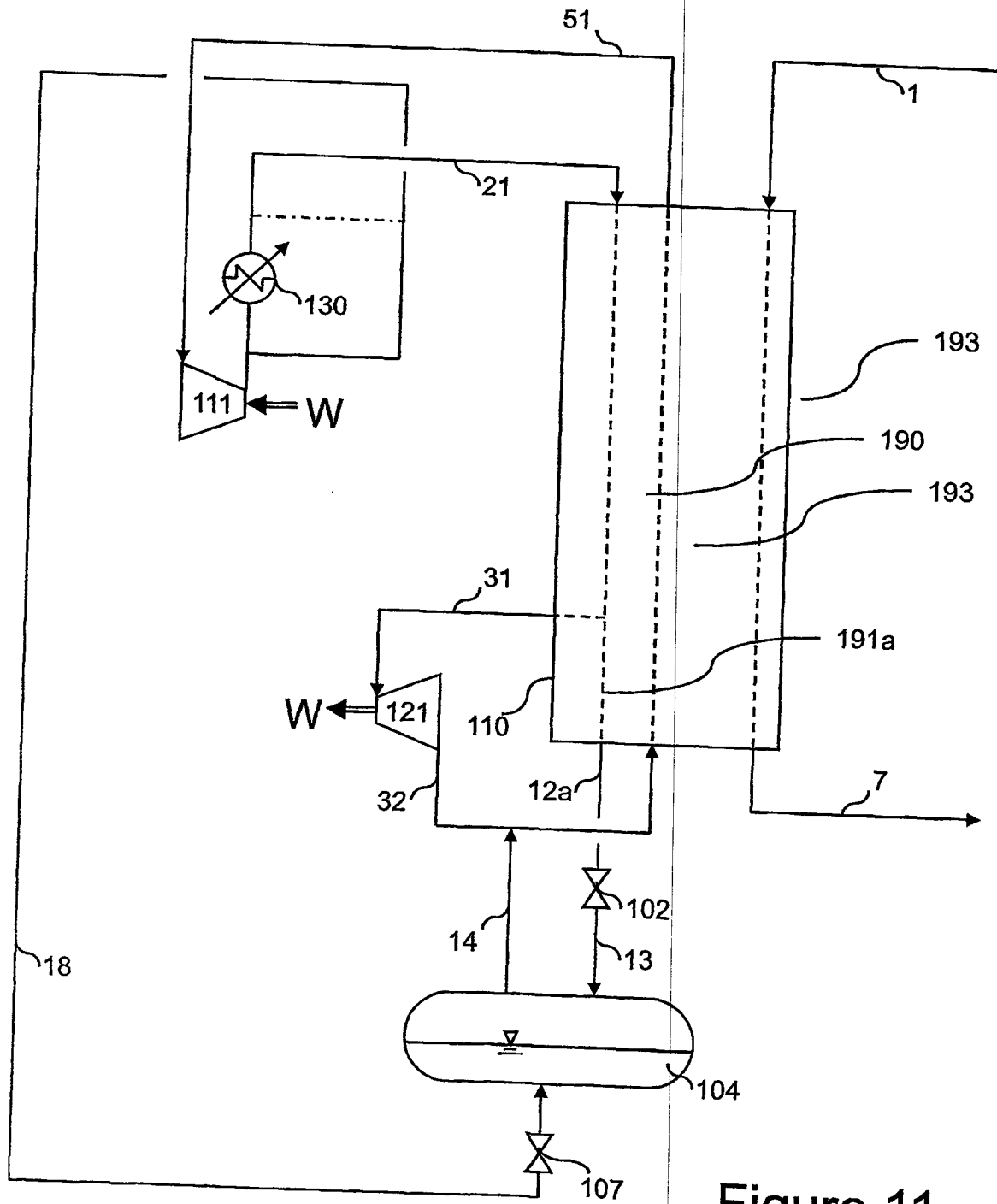


Figure 11

Figure 12

