



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

(11) PI 0922399-1 B1



(22) Data do Depósito: 18/12/2009

(45) Data de Concessão: 15/09/2020

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA PRODUZIR GÁS NATURAL LIQUEFEITO (LNG)

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

(30) Prioridade Unionista: 19/12/2008 US 61/138973.

(73) Titular(es): ARAGON AS.

(72) Inventor(es): NILSEN, INGE, SVERRE, LUND.

(86) Pedido PCT: PCT NO2009000441 de 18/12/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/071449 de 24/06/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 17/06/2011

(57) Resumo: MÉTODO E SISTEMA PARA PRODUZIR GÁS NATURAL LIQUEFEITO (LNG). A presente invenção está correlacionada a um método e sistema para otimização da eficiência de um sistema de liquefação de gás natural liquefeito (LGN), do tipo de expansão de gás, em que um gás de alimentação de chegada é primeiramente separado em uma coluna de fracionamento, mediante contato em contracorrente com um fluido de refluxo frio e uma corrente gasosa introduzida dentro do sistema de trocadores de calor a uma temperatura reduzida, de modo que um ponto intermediário de estrangulamento é criado na curva de aquecimento compósita.

**"MÉTODO E SISTEMA PARA PRODUZIR GÁS NATURAL LIQUEFEITO
(LNG) "**

A presente invenção se refere a um método para
5 produção ótima de Gás Natural Liquefeito (LNG).

Antecedentes da Invenção

Conforme aqui usado, o termo "LNG" se refere a
Gás Natural Liquefeito, ou seja, um gás natural que foi
10 resfriado, de modo a se condensar e se tornar líquido.

Também, conforme aqui usado, o termo "Gás
Natural" se refere a uma mistura gasosa de hidrocarbonetos,
na qual, uma substancial parte é metano.

Também, conforme aqui usado, o termo "LPG" deve
15 se referir a Gás Liquefeito de Petróleo, ou seja, uma
mistura gasosa de hidrocarbonetos compreendendo propano e
butanos.

Também, conforme aqui usado, o termo "ciclo de
refrigerantes misto" deve se referir a um processo de
20 liquefação, já conhecido na técnica, que utiliza uma
mistura otimizada de uma pluralidade de refrigerantes.

Também, conforme aqui usado, o termo "processo de
expansão de gás" ou "ciclo de expansão de gás" deve se
referir a um processo de liquefação, já conhecido na
25 técnica, que emprega um refrigerante no seu estado gasoso,
dito refrigerante passando através de um circuito de
processamento que compreende compressão, resfriamento,
expansão e ainda troca de calor com um fluido a ser
resfriado, tal como, um gás a ser liquefeito.

30 Também, conforme aqui usado, o termo "separação
de ciclos de expansão de gás" deve se referir a um ciclo de
expansão de gás em que o refrigerante resfriado é dividido
em uma pluralidade de correntes, as correntes sendo

utilizadas em diferentes estágios e diferentes temperaturas, para resfriamento do fluido alvo.

Também, conforme aqui usado, o termo "coluna de fracionamento", deve se referir a uma instalação, já conhecida na técnica, para separação por destilação de um fluido de hidrocarboneto misto, em particular, uma coluna que gera uma fração de topo e uma fração de fundo.

É conhecido na técnica a produção de LNG a partir de um gás de alimentação que compreende uma mistura de hidrocarbonetos, em que o gás de alimentação, primeiramente, passa através de uma coluna de fracionamento e uma fração de topo é submetida a um processo de liquefação, por exemplo, o sistema divulgado no documento de patente EP 1715267. Esses sistemas são utilizados em larga escala, os chamados sistemas de liquefação de "carga de base". Esses sistemas, tipicamente, empregam um ciclo de refrigerantes mistos, devido à superior eficiência do ciclo de refrigerantes mistos, quando comparado ao ciclo de expansão de gás. Pelo fato de que a mistura de refrigerantes mistos é otimizada, a fração de topo deve ser resfriada por uma fonte externa, antes de ser alimentada no circuito de liquefação. Na medida em que a intenção desses sistemas é de obter um produto de LNG com um teor relativo de metano o mais alto possível, esses sistemas são ainda dispostos de modo a que a fração de fundo da coluna de fracionamento compreenda um teor de hidrocarbonetos relativamente alto, mais pesados que o metano.

O modo mais simples de limitar o teor dos hidrocarbonetos mais pesados no gás liquefeito é condensar parcialmente o gás e, depois, separar o líquido condensado do gás, que é posteriormente resfriado para ser liquefeito. A separação, normalmente, é realizada como uma parte integrada do processo de resfriamento, em temperaturas típicas entre 0°C e -60°C. O condensado separado pode ser

novamente aquecido como parte do processo de resfriamento, para utilizar o potencial de resfriamento.

Em grandes instalações de LNG terrestres (as chamadas instalações de "carga de base", a maior parte do propano e dos hidrocarbonetos mais pesados, normalmente, é removida e, em muitos casos, também, uma considerável parte do etano, antes da liquefação ou durante a mesma. Isso é feito para atender as especificações de venda e para possibilitar a produção e venda dos valiosos compostos de etano, LPG e condensado/nafta. Processos elaborados são normalmente usados com colunas de fracionamento sob baixa temperatura, como parte dos processos de resfriamento e como unidades separadas exteriores ao sistema de resfriamento.

Pelo fato da complexidade dos grandes sistemas de "carga de base", as disposições aqui usadas não são adequadas para muitas aplicações, por exemplo, para aplicações offshore. Além disso, é indesejável a manipulação de produtos diferentes do LNG, como no caso dos hidrocarbonetos mais leves de cadeia inferior a C5, que não podem, como um todo, ser armazenados ou transportados seguramente, sem que sejam resfriados ou submetidos à pressão.

Nas aplicações offshore, é sabido se utilizar o ciclo de expansão de gás para a liquefação de gás natural. O ciclo de expansão de gás é relativamente simples, porém, é menos eficiente que o ciclo de refrigerantes mistos. Conquanto que o uso de "separação de ciclo de expansão de gás" possa melhorar a eficiência, existe, entretanto, uma necessidade de maior eficiência, na medida em que mudanças relativamente pequenas na eficiência podem resultar em ganhos econômicos bastante grandes.

Resumo da Invenção

Portanto, constitui um objeto da presente invenção proporcionar um sistema de liquefação mais eficiente, utilizando o ciclo de expansão de gás. Também, constitui um objeto da invenção, proporcionar um sistema no qual o produto de LNG é rico em etano, propano, butano e, em menor grau, pentano.

De acordo com um aspecto da invenção, é proporcionado um método que compreende uma coluna de fracionamento para alimentar um gás de alimentação, um sistema de trocadores de calor para resfriamento e parcial condensação da corrente de gás de topo proveniente da coluna de fracionamento, um separador para separar a corrente de duas fases proveniente do sistema de trocadores de calor, e um dispositivo para retornar o fluido do separador para a coluna de fracionamento e alimentar esse fluido para a parte superior da coluna como um refluxo, e ainda um dispositivo para alimentar o gás proveniente do separador de volta para o sistema de trocadores de calor, para posterior resfriamento e liquefação em LNG. A invenção compreende um processo fechado de expansão de gás para liquefazer o gás natural, em que o gás é primeiramente alimentado através de uma coluna de resfriamento, onde o gás é resfriado e separado em uma fração de topo com reduzido teor de hexano (C6) e componentes mais pesados, e uma fração de base enriquecida com os hidrocarbonetos mais pesados (C6+) e, além disso, em que o refluxo da coluna de fracionamento é gerado como uma parte integrada do sistema para liquefação, em que o gás de topo é parcialmente condensado. Ao realizar a liquefação de acordo com a invenção, é obtida a produção de gás liquefeito com um máximo teor de etano, propano e butano (C2-C4), ao mesmo tempo em que a eficiência do processo de expansão de gás é aumentada, e a sub-produção de fluido instável/volátil com

alto teor de metano, etano, LPG (propano + butano) é minimizada.

Em particular, a invenção compreende um método e um sistema para liquefação de gás natural ou outro gás hidrocarboneto, proveniente de um campo de gás ou de um campo de gás/petróleo, onde é apropriado se liquefazer o gás para tornar possível o transporte do gás da fonte para o mercado. Isso é particularmente relevante para os campos de petróleo/gás no mar.

O objetivo da invenção é tornar eficiente a liquefação de gás com eficiente energia, ao mesmo tempo em que o processo é mantido simples, de modo que o equipamento possa ser usado na condição offshore. Em particular, a invenção é de utilidade em instalações de flotação, uma vez que a sub-produção de condensado durante a liquefação é minimizada, e a eficiência é maximizada (a necessidade de gás combustível é minimizada).

O método de acordo com a invenção é caracterizado pelas seguintes etapas:

- 1) o gás de alimentação é dirigido para uma coluna de fracionamento (150), onde é resfriado e separado em uma fração de topo com teor reduzido de hidrocarbonetos (C6) e componentes mais pesados, e uma fração de base, rica em hidrocarbonetos mais pesados;
- 2) a fração de topo proveniente da coluna de fracionamento é alimentada dentro de um sistema de trocadores de calor (110), e submetida a uma condensação parcial para formar um fluido de duas fases, o fluido de duas fases sendo separado em um adequado separador (160) em um líquido (5) rico em LPG e pentano (C3-C5), que é recirculado como refluxo frio para a coluna de fracionamento (150), enquanto o gás (6) contendo menores quantidades de hidrocarboneto (C5) e hidrocarbonetos mais pesados do que (C5) é levado para fora, para posterior tratamento no sistema de trocadores de

calor (110), para liquefação em LNG, com um máximo teor de etano e LPG; e

3) o circuito de resfriamento para liquefação de gás no sistema de trocadores de calor compreende um processo
5 aberto ou fechado de expansão de gás, com pelo menos uma etapa de expansão de gás.

O sistema de acordo com a invenção é caracterizado pelo fato de que o sistema de resfriamento que é usado para o resfriamento, condensação e liquefação
10 do gás no sistema de trocadores de calor compreende um processo aberto ou fechado de expansão de gás, com pelo menos uma etapa de expansão de gás. O sistema é preferivelmente projetado e configurado para separar o gás de alimentação, de modo que o produto de LNG do sistema
15 será enriquecido com a maior parte de butano (C4) e de hidrocarbonetos com ponto de ebulição normal inferior ao do butano, e o produto de fundo da coluna de fracionamento será enriquecido com a maior parte de (C6) e de componentes com um ponto de ebulição normal superior ao do (C6).

20 A presente invenção representa uma considerável otimização para aplicação offshore, especialmente, em uma unidade flutuante, em que um processo de expansão de gás relativamente simples e robusto é usado para liquefação de gás natural, e em que a eficiência de energia desse
25 processo é aumentada, ao mesmo tempo em que a quantidade de gás liquefeito é maximizada, mediante maximização do teor de etano e LPG, ao mesmo tempo em que a quantidade de hidrocarbonetos mais pesados que o metano separada como sub-produto no processo de liquefação é minimizada.

30 Uma instalação que compreende o sistema de acordo com a invenção, desse modo, pode ser adaptada e instalada de modo simples, por exemplo, a bordo de instalações offshore flutuantes, onde o espaço é normalmente um fator limitativo.

Breve Descrição das Figuras

A invenção será agora descrita em maiores detalhes com referência às figuras anexas, nas quais:

- a figura 1 mostra uma modalidade principal da invenção, com os principais componentes e o principal método de ação;
- a figura 2 mostra a invenção com uma modalidade alternativa;
- a figura 3 mostra a invenção com uma modalidade alternativa, a qual inclui posterior estabilização dos hidrocarbonetos mais pesados que são separados (condensado);
- a figura 4 mostra a invenção em detalhes, concretizada mediante uso de um processo de dupla expansão de gás;
- a figura 5 mostra a invenção concretizada mediante uso de um circuito de resfriamento híbrido, com um circuito de expansão de gás e um circuito de expansão de líquido;
- a figura 6a mostra um estado da técnica convencional, com um ciclo fechado de resfriamento por expansão de gás de fluxo dividido, para pré-resfriamento, condensação e sub-resfriamento de gás natural;
- a figura 6b mostra um exemplo de uma curva de temperatura quente e uma curva de temperatura fria (curva compósita) para um convencional circuito fechado de expansão de gás de fluxo dividido, conforme mostrado na figura 6a;
- a figura 7a mostra um ciclo fechado de resfriamento por expansão de gás de fluxo dividido, para pré-resfriamento, condensação e sub-resfriamento de gás natural, fazendo uso da invenção;
- a figura 7b mostra um exemplo de uma curva de temperatura quente e uma curva de temperatura fria (curva compósita) para um circuito fechado de expansão de gás, obtido mediante uso da presente invenção;
- a figura 8 mostra uma comparação das curvas mostradas nas figuras 6b e 7b;

- a figura 9 mostra a curva de aquecimento de temperatura e a curva de resfriamento de temperatura (curva compósita), para o circuito fechado de resfriamento por expansão de gás de fluxo dividido, mediante uso da presente invenção, com
5 adicionais detalhes e referências para as correntes de entrada e saída.

Descrição Detalhada da Invenção

Com referência à figura 1, o sistema para
10 liquefação otimizada de gás compreende, no mínimo, os seguintes principais componentes:

- uma corrente de gás de chegada (1), que deve ser resfriada e liquefeita;
- uma coluna de fracionamento (150), na qual o gás de
15 chegada é resfriado e separado em uma fração de topo (2) com reduzido teor de C6 e componentes mais pesados;
- uma fração de fundo (3), enriquecida dos componentes de hidrocarbonetos mais pesados;
- um sistema de trocadores de calor (110), no qual o gás de
20 chegada é resfriado e parcialmente condensado para separação dos hidrocarbonetos mais pesados, para subsequente resfriamento e liquefação;
- uma corrente de produto (11) que inclui um gás resfriado e liquefeito;
- 25 - uma corrente de produto (3) que, principalmente, inclui pentano e hidrocarbonetos mais pesados; e
- um sistema de resfriamento para resfriamento e liquefação do gás, compreendendo uma corrente de agente de resfriamento (20), pelo menos, um compressor de circulação
30 (100), pelo menos um pós-resfriador (130) e pelo menos um expensor de gás (120).

O gás de alimentação de chegada e limpo (1), por exemplo, um gás de hidrocarboneto rico em metano, é primeiramente alimentado a uma coluna de fracionamento

(150), onde o gás é resfriado quando encontra um fluido de refluxo mais frio. Durante o resfriamento e contato em contracorrente com o fluido mais frio, o gás de alimentação é separado em uma fração de topo (2) com um teor reduzido de hidrocarbonetos, que apresentam um peso molecular superior ao do pentano (C5), e uma fração de fundo (3), rica em (C6) e hidrocarbonetos que apresentam um peso molecular superior a do (C6). A fração de topo (2) da coluna de fracionamento é depois levada para o sistema de trocadores de calor (110), onde o gás é resfriado e parcialmente condensado, de modo que o resultante fluido de duas fases (4) possa ser separado em um adequado separador (160). Um fluido (5) rico em LPG e pentanos (C3-C5) que é separado no separador (160) é recirculado como refluxo frio para a coluna de fracionamento (160). Quando esse fluido é gerado por condensação mediante resfriamento, o fluido de refluxo (5) terá uma temperatura inferior a do gás de alimentação (1). O gás (6) proveniente do separador (160) apresenta agora um teor mais ainda reduzido de hidrocarbonetos (C5) e hidrocarbonetos mais pesados que (C5). Esse gás é depois levado de volta para o sistema de trocadores de calor (110), para posterior resfriamento, condensação e sub-resfriamento. O gás liquefeito (11), alternativamente, é levado através de uma válvula de controle (140), que controla a pressão operacional e o fluxo do sistema.

Numa modalidade preferida, a corrente de alimentação de gás (1) é resfriada antecipadamente através de um adequado agente de resfriamento externo, tal como, ar, água, água do mar ou uma adequada separada instalação de resfriamento/sistema de pré-resfriamento. No caso de um método de resfriamento externo, normalmente, é usado um sistema separado fechado de resfriamento mecânico, com uso

de propano, amônia ou outro meio de resfriamento apropriado.

5 Numa modalidade preferida, a coluna de fracionamento (150) e o separador (160) são operados sob pressões e temperaturas que levam o sistema completo (coluna de fracionamento (150) e separador de refluxo (160) a gerar um divisor de componente/ponto de separação na área de ponto de ebulição normal (NBP), que ocorre entre -12°C e 60°C . Isso pode, por exemplo, indicar que um componente 10 básico leve para separação seja o butano (C4), com um ponto de ebulição normal entre temperaturas de -12°C e 0°C , e que o componente básico pesado seja um hexano (C6), com um ponto de ebulição entre 50°C e 70°C . A corrente de gás de topo (6) do sistema será então enriquecida com uma maior 15 parte de butano (C4) e hidrocarbonetos com ponto de ebulição normal inferior ao do butano. O produto de fundo (3) da coluna de fracionamento será enriquecido com uma maior parte de hexanos (C6) e componentes com ponto de ebulição normal superior ao do C6, enquanto o pentano (C5, 20 NBP= $28-36^{\circ}\text{C}$) é um componente transitório, que é distribuído no produto gasoso do sistema e no produto de fundo da coluna de fracionamento.

 O resfriamento e condensação do gás de alimentação no sistema de trocadores de calor (110) é 25 provido de um processo fechado ou aberto de expansão de gás. O processo de resfriamento tem início quando um agente de resfriamento gasoso (21), incluindo um gás ou uma mistura gasosa (tal como, nitrogênio puro, metano, mistura de hidrocarbonetos ou uma mistura de nitrogênio e 30 hidrocarbonetos), sob alta pressão, preferivelmente, entre 3 e 10 MPa, é alimentado ao sistema de trocadores de calor (110) e resfriado para uma temperatura entre 0°C e -120°C , mas, que a corrente de agente de resfriamento seja

principalmente um gás na pressão e temperatura
prevalentes (31). O agente de resfriamento gasoso pré-
resfriado (31) é então levado para um expensor de gás
(121), onde o gás é expandido para uma pressão mais baixa,
5 entre 5%-40% da pressão de entrada, mas, preferivelmente,
entre 10% e 30% da pressão de entrada, de modo que o agente
de resfriamento se encontre principalmente na fase gasosa.
O expensor de gás, normalmente, é uma turbina de expansão,
também chamada de turbo-expensor, mas, outros tipos de
10 equipamentos de expansão para gás podem ser usados, como,
por exemplo, uma válvula. O fluxo de agente de resfriamento
gasoso pré-resfriado é expandido no expensor de gás (121)
com alta eficiência isotrópica, de modo que a temperatura
cai consideravelmente. Em determinadas modalidades da
15 invenção, alguma quantidade de líquido pode ser separada
nessa expansão, porém, isso não é imprescindível para o
processo. A corrente fria do agente de resfriamento (32) é
então levada de volta para os trocadores de calor (110),
onde é utilizada para resfriamento e possível condensação
20 das outras correntes de agentes de resfriamento quente de
chegada, pelo que o gás que deve ser resfriado é condensado
e sub-resfriado.

Após as correntes (32) do agente de resfriamento
frio terem sido aquecidas no sistema de trocadores de calor
25 (110), o agente de resfriamento irá se dispor como uma
corrente gasosa (51), que numa modalidade de circuito
fechado é novamente comprimido de maneira apropriada para
reutilização e resfriado com um agente de resfriamento
externo, como, por exemplo, ar, água, água do mar ou uma
30 apropriada unidade de resfriamento.

Alternativamente, o sistema de resfriamento em
uma modalidade aberta irá usar um agente de resfriamento
(21), consistindo de um gás ou uma mistura de gases, sob
uma pressão mais alta, produzido por meio de uma apropriada

fonte, por exemplo, a partir do gás de alimentação que deve ser tratado e resfriado. Além disso, a modalidade aberta irá incluir um fluxo de agente de resfriamento de baixa pressão (51), usado para outros fins ou, de um modo
5 apropriado, ser novamente comprimido ou misturado com o gás de alimentação que deve ser tratado e resfriado.

Numa modalidade preferida, a corrente de retorno de agente de resfriamento (51) é levada do trocador de calor (110) para um compressor separado (101), acionado
10 pela turbina de expansão (121). Desse modo, o trabalho de expansão é utilizado e a eficiência de energia do processo melhorada. Após o compressor (101), o agente de resfriamento é resfriado ainda em um trocador de calor (131), antes de a corrente ser posteriormente comprimida
15 nos compressores de circulação (100). Os compressores de circulação (100) podem se constituir de uma ou mais unidades, possivelmente, uma ou mais etapas por unidade. O compressor de circulação pode também ser equipado com um resfriamento intermediário (132) entre as etapas de
20 compressão. O agente de resfriamento comprimido (20) é depois resfriado por troca de calor em um pós-resfriador (130), com a ajuda de um apropriado meio externo de resfriamento, como, por exemplo, ar, água, água do mar, ou um adequado circuito de resfriamento separado, para ser
25 reutilizado como um meio de resfriamento comprimido (21) em um circuito fechado.

Numa modalidade preferida, o sistema de trocadores de calor (110) é um trocador de calor que compreende diversas diferentes correntes "quentes" e
30 "frias" na mesma unidade (chamado trocador de calor de múltiplas correntes).

A figura 2 mostra uma modalidade alternativa onde diversos trocadores de calor de múltiplas correntes são conectados juntos, de modo que pode ser produzida a

necessária transferência de calor entre as correntes frias e quentes. A figura 2 mostra um sistema de trocadores de calor (110), compreendendo diversos trocadores de calor em série. Entretanto, a invenção não está correlacionada a um tipo específico de trocador de calor ou determinado número de trocadores de calor, podendo ser concretizada por meio de diversos e diferentes tipos de sistemas de trocadores de calor, os quais podem manipular o necessário número de correntes de processo quentes e frias.

10 A figura 3 mostra uma modalidade alternativa onde a coluna de fracionamento (150) é adaptada com uma caldeira de reaquecimento (135), para melhorar ainda mais a separação (uma divisão mais apurada entre os componentes leves e pesados) e também para reduzir a volatilidade da fração de fundo na coluna. Isso pode ser usado para produzir diretamente um condensado, que é estável a temperatura ambiente e pressão atmosférica.

A figura 4 mostra a invenção em detalhes, concretizada em uma modalidade mais avançada, onde é usado um processo de expansão dupla de gás. Nessa modalidade, a corrente do agente de resfriamento comprimido (21) é primeiramente resfriada para uma temperatura intermediária. Nessa temperatura, a corrente de agente de resfriamento é dividida em duas partes, em que a primeira parte (31) é retirada do trocador de calor e expandida no expensor de gás (121) em uma corrente gasosa de baixa pressão (32). A outra parte (41) é ainda pré-resfriada, para ser expandida no expensor de gás (122) com uma pressão substancialmente igual à pressão na corrente (32). As correntes expandidas de agente de resfriamento frio (32), (42) são retornadas para diferentes locais de entrada no sistema de trocadores de calor (110), e são misturadas com uma corrente nesse trocador. O agente de resfriamento aquecido (51) é então retornado para nova compressão. Numa modalidade alternativa

do sistema mostrado na figura 3, a corrente de agente de resfriamento comprimido (20) no circuito duplo de expansão de gás pode ser dividida em duas correntes, antes do trocador de calor (110), para ser resfriada em diferentes
5 temperaturas, em canais de fluxo separados no trocador de calor (110).

Em seguida, a corrente segue para aquecimento das correntes retornadas de agente de resfriamento frio (32), (42). A modalidade está, além disso, em conformidade com a
10 figura 3,

A figura 5 mostra em detalhes, a invenção concretizada mediante uso de um circuito de resfriamento híbrido, onde um único agente de resfriamento é utilizado numa fase gasosa pura e numa fase líquida pura. Nessa
15 modalidade, um circuito de resfriamento fechado proporciona o resfriamento do gás de alimentação no sistema de trocadores de calor (110). O dito circuito de resfriamento tem início com a compressão e pós-resfriamento do metano ou uma mistura de metano e nitrogênio, onde o metano ocupa
20 pelo menos 50% do volume, proporcionando uma corrente de agente de resfriamento comprimida (21), e onde essa corrente de agente de resfriamento é pré-resfriada, e pelo menos uma parte (31) da corrente de agente de resfriamento é usada na fase gasosa, sendo então expandida no expensor de gás (121), e pelo menos uma parte (41) da corrente de
25 agente de resfriamento é condensada em líquido e expandida mediante uma válvula ou expensor de líquido (141).

É enfatizado que a modalidade da invenção não se limita somente aos processos de resfriamento descritos
30 acima, podendo ser usada em qualquer processo de resfriamento por expansão de gás para liquefação de gás natural ou outro gás de hidrocarboneto, onde o resfriamento é obtido, principalmente, mediante uso de um ou mais processos de expansão de correntes de gás.

Ao realizar a liquefação do gás natural de acordo com a invenção, é produzido um produto de gás líquido que apresenta um teor máximo de metano, etano e LPG, mas que, ao mesmo tempo, não contém mais do que o nível permitido de pentanos (C5) e hidrocarbonetos mais pesados, com um ponto de ebulição normal acima da faixa de temperatura de 50-60°C. Ao mesmo tempo, o teor de metano, etano, propano e butano voláteis no líquido sub-produzido (condensado/NGL) é consideravelmente minimizado ou eliminado. Ao mesmo tempo, será também produzida uma maior quantidade de gás natural liquefeito, com menor consumo de energia do que para os correspondentes circuitos de resfriamento configurados sem a coluna de fracionamento, que recebem refluxo frio enriquecido com (C3-C5) do processo de resfriamento.

Além disso, para otimizar a divisão entre os componentes leves, que são desejados no produto de LNG, e os componentes pesados, que são desejados no sub-produto de condensado, a invenção reduz de modo significativo a energia (força de compressão de gás) exigida para a liquefação, quando é usado um ciclo de resfriamento por expansão de gás.

A principal razão para a melhoria do desempenho quando do uso de resfriamento por expansão de gás está correlacionada ao fato de que os ciclos de expansão de gás são caracterizados por relações de fluxo de calor relativamente linear versus temperatura, no sistema de trocadores de calor (100). A exceção é uma área/faixa onde ocorre significativa condensação de hidrocarbonetos (liquefação), porém, isso se limita a uma seção de toda a faixa de resfriamento. Devido à relação calor linear versus temperatura, o desempenho desses processos de resfriamento é normalmente limitado por pontos de estrangulamento de temperatura. Os ciclos de expansão de gás mais otimizados

apresentam um ponto de estrangulamento na extremidade aquecida e um ponto de estrangulamento na extremidade fria e, além disso, normalmente, um ou mais estrangulamentos de temperatura na área de condensação de hidrocarbonetos, conforme mostrado na figura 6b.

Para o consumo de energia exigido para resfriamento, liquefação e sub-resfriamento, um gás de hidrocarboneto rico em metano, particularmente, o estrangulamento de extremidade aquecida, é um importante fator de limitação para uma redução da força de compressão, na medida em que o limite inferior para o fluxo de massa de gás refrigerante é estabelecido. Isso pode ser visto na figura 6b, onde a inclinação da curva de aquecimento é contínua a partir do ponto (Z) para o ponto de estrangulamento da extremidade aquecida (a distância entre a curva de resfriamento compósita e a curva de aquecimento compósita, o que representa ineficiência termodinâmica). Quando da introdução do gás de alimentação de hidrocarboneto para ser liquefeito (2) sob temperatura reduzida, comparado com a temperatura de extremidade aquecida, de acordo com a invenção, é criado um ponto de estrangulamento intermediário na curva de aquecimento, conforme mostrado na figura 7b e na figura 9, Conforme mostrado, a inclinação da parte superior da curva de aquecimento compósita (soma de todas as correntes de aquecimento que são resfriadas naquela área), a partir desse ponto de estrangulamento intermediário para o ponto de estrangulamento de extremidade aquecida é praticamente nivelada, e o estrangulamento de extremidade aquecida não é mais o fator de controle com relação ao mínimo fluxo de massa refrigerante. Assim, um novo estrangulamento intermediário ou sub-estrangulamento é introduzido; entretanto, é possível se reduzir o fluxo de massa refrigerante, provocando uma redução geral da distância

entre as curvas de resfriamento quentes e frias (uma melhor adaptação de temperatura reduz a perda de energia no ciclo de resfriamento), mas, ao mesmo tempo, obtém o mesmo trabalho líquido de resfriamento. Em resumo, o trabalho de compressão exigido será reduzido. Muito embora seja conhecida a introdução de gás de alimentação resfriado dentro de um ciclo refrigerante misto, a redução de energia não será significativa nesse caso, uma vez que esses processos, geralmente, apresentam uma adaptação muito melhor entre as correntes quentes e frias no trocador de calor e, conseqüentemente, uma menor perda de energia. Quando a introdução do dito gás em um ciclo de expansão é proporcionada de acordo com a presente invenção, significativos aumentos de eficiência são concretizados, conforme demonstra a comparação entre as figuras 6b e 7b.

A diferença entre um processo convencional de expansão de gás e o processo de expansão de gás de acordo com a invenção será agora explicada em maiores detalhes fazendo-se referência às figuras 6-9.

A figura 6a mostra um convencional processo fechado de dupla expansão de gás (fluxo dividido), para resfriamento, condensação e sub-resfriamento de uma corrente de gás de chegada (1). Os hidrocarbonetos pesados são primeiramente removidos de modo convencional, através de pré-resfriamento do gás de alimentação de chegada (1) numa corrente de duas fases de temperatura intermediária (4), em um sistema de trocadores de calor (100), por meio do sistema de resfriamento por dupla expansão de gás, separação da dita corrente em um separador (160), condução do gás de topo (6) proveniente do separador de volta para o sistema de trocadores de calor para posterior resfriamento, condensação e sub-resfriamento, e condução da corrente de líquido pesado (3) para fora do sistema. Com referência à figura 6b, na extremidade aquecida do trocador de calor, a

curva de aquecimento compósita (soma das correntes aquecidas que estão sendo resfriadas), normalmente, não é afetada pela pequena mudança no fluxo de massa, correlacionada à separação da corrente de líquido relativamente pequena (3), e a primeira parte (W1) da curva de aquecimento compósita, que consiste das correntes de agente de resfriamento gasoso quente sob alta pressão (31) e (41), e das correntes de hidrocarbonetos (4a) e (6b), é, portanto, quase linear. A linearidade é causada devido a uma relação linear entre o fluxo de calor das correntes e as temperaturas das correntes, uma vez que não ocorre significativa condensação de hidrocarbonetos nas correntes (4a) e (6b). No ponto em que a corrente de nitrogênio (31) é extraída para expansão, a curva de aquecimento compósita (W3) consiste da menor corrente de agente de resfriamento (41) e corrente de hidrocarboneto (6b), em que esta última está começando a condensar. A curva (W3) é agora fortemente controlada por condensação, portanto, modelada em curva. O formato curvado cria um ponto de estrangulamento (estrangulamento (C)), em determinada temperatura. Na mesma faixa de temperatura, a curva de resfriamento compósita (C1) (soma de todas as correntes que estão sendo aquecidas) consiste de correntes de agente de resfriamento gasoso frio (32) e (42) que estão sendo aquecidas. As correntes são de gases puros e a relação de fluxo de calor versus temperatura é uma relação linear, conseqüentemente, a curva compósita (C1) é linearmente modelada. A partir da figura 6b pode ser visto que é formado um envelope, limitado pelo ponto de estrangulamento de extremidade aquecida (estrangulamento (A)) e pelo ponto de estrangulamento da área de condensação (estrangulamento (C)). No envelope, as diferenças gerais de temperatura são grandes e isso significa alta perda de energia, provocando uma maior demanda para o trabalho de compressão no ciclo de

resfriamento. Na prática, isso pode ser visto como uma superior vazão do agente de resfriamento.

A figura 7a mostra um processo fechado de expansão dupla de gás (fluxo dividido), de acordo com a invenção, para resfriamento, condensação e sub-resfriamento de uma corrente de gás de chegada (1). Os hidrocarbonetos pesados são primeiramente removidos de uma corrente de gás de chegada (1) na coluna (150), mediante contato em contracorrente com um líquido de refluxo frio (5). Esse contato separa os hidrocarbonetos C6+ e reduz a temperatura do gás da corrente de gás de topo (2). Assim, a corrente de gás de topo (2) pode ser introduzida no sistema de trocadores de calor (100) a uma temperatura mais baixa que a temperatura da coluna. A corrente de gás de topo é previamente resfriada para uma corrente de duas fases de temperatura intermediária (4) no sistema de trocadores de calor por meio do sistema de resfriamento por expansão dupla de gás, separação da dita corrente em um separador (160), condução do gás de topo (6) proveniente do separador de volta para o sistema de trocadores de calor para posterior resfriamento, condensação e sub-resfriamento, e condução da corrente de líquido pesado (5) de volta para a coluna como um refluxo frio. Com referência às figuras 7b e 9, na extremidade aquecida do trocador de calor, a curva de aquecimento compósita (W1) (soma de todas as correntes que estão sendo resfriadas) consiste de correntes de agentes de resfriamento gasosos (31) e (41), sendo, portanto, linear. Na mesma faixa de temperatura, a curva de resfriamento compósita (C1) (soma de todas as correntes frias que estão sendo aquecidas) consiste de correntes de agente de resfriamento gasoso (32) e (42) que estão sendo aquecidas. As correntes são de gases puros e a relação de fluxo de calor versus temperatura é uma relação linear, conseqüentemente, a curva compósita (C1) é também

linearmente modelada. O fluxo de massa total das correntes (31) e (32) se iguala ao fluxo total de massa de (41) e (42), conseqüentemente, (W1) e (C1) apresentam a mesma inclinação e uma propriedade de temperatura bastante satisfatória pode ser obtida. Após a introdução da corrente gasosa (2) proveniente da coluna, a curva de aquecimento compósita (W2) consiste de correntes de agente de resfriamento gasoso quente de alta pressão (31) e (42), e de correntes de hidrocarbonetos (4a) e (6b). A curva é ainda relativamente linear, uma vez que quase não ocorre condensação, mas a inclinação foi modificada devido ao fluxo de massa adicionado (4a e 6b). Isso cria um novo ponto de estrangulamento (estrangulamento (D)), no ponto em que a corrente (2) é introduzida. No ponto onde a corrente de nitrogênio (31) é extraída para expansão, a curva continuada de aquecimento compósita (W3) consiste da menor corrente de agente de resfriamento (41) e da corrente de hidrocarboneto (6b), onde esta última começa a condensar. A curva (W3) é agora fortemente controlada por condensação, portanto, modelada em forma de curva. O formato curvado cria um ponto de estrangulamento (estrangulamento (C)), em determinada temperatura. Na mesma faixa de temperatura, a curva de resfriamento compósita (C1) (soma de todas as correntes que estão sendo aquecidas) consiste de correntes de agente de resfriamento gasoso frio (32) e (42) que estão sendo aquecidas. As correntes são de gases puros e a relação de fluxo de calor versus temperatura é uma relação linear, conseqüentemente, a curva compósita (C1) é linearmente modelada. A partir da figura 6b pode ser visto que é formado um envelope, limitado pelo novo ponto de estrangulamento (D) e pelo ponto de estrangulamento (C) da área de condensação. No envelope, as diferenças gerais de temperatura são grandes e isso significa alta perda de energia, provocando uma maior demanda para o trabalho de

compressão no ciclo de resfriamento. Entretanto, a faixa e a diferença são agora menores que do convencional ciclo de expansão dupla de gás e as perdas de energia são menores. Na prática, isso pode ser visto como uma redução da vazão
5 do agente de resfriamento para o processo modificado de acordo com a presente invenção, que resulta em menor trabalho de compressão para o mesmo trabalho de resfriamento.

A figura 8 mostra detalhes na área de estrangulamento (D), onde a inclinação da curva de aquecimento compósita se modifica para a nova invenção. A
10 figura também mostra o percurso da correspondente curva para uma convencional versão do ciclo.

Conquanto que a redução de temperatura do gás de alimentação (2) mediante uso de pré-resfriamento externo
15 (como nos sistemas de carga de base) possa também causar efeito ao ponto de estrangulamento, esse efeito é irrelevante nesses sistemas, uma vez que o pré-resfriamento externo irá exigir adicional trabalho de refrigeração, uma
20 vez que se supõe que todo o possível resfriamento do ambiente já é usado. Mediante a presente invenção, se obtém um surpreendente aumento da eficiência, na medida em que esse adicional trabalho de resfriamento é obtido de forma integral com o processo em questão, quando o trabalho de
25 resfriamento é proporcionado pelo líquido de refluxo frio (5), que troca calor em contato em contracorrente com o gás de alimentação na coluna (150). Nenhum trabalho externo de refrigeração é necessário para se obter uma temperatura mais baixa que a temperatura de extremidade aquecida do
30 trocador de calor (100).

Um adicional efeito obtido mediante a implementação da presente invenção é que os hidrocarbonetos mais pesados, que são preferivelmente separados para evitar o congelamento durante a liquefação, serão condensados e

separados em temperaturas consideravelmente mais altas do que nos métodos convencionais, em que a maior parte da condensação ocorre na coluna e fracionamento e não no trocador de calor a uma temperatura mais baixa. Isso reduz o trabalho de resfriamento exigido na dita temperatura mais baixa, conseqüentemente, reduzindo a perda de energia no processo de resfriamento, pelo que uma atividade de resfriamento é movida para uma faixa de temperatura mais alta.

10 Análises e comparações preliminares mostram que o trabalho necessário do compressor por kg de gás natural liquefeito que é produzido, pode ser reduzido de 5 a 15%, por meio de um circuito de expansão de gás, implementado de acordo com a presente invenção, quando comparado a métodos
15 convencionais.

Exemplo 1

O Exemplo abaixo mostra um gás natural com 90,4% de metano, em volume, que deve ser liquefeito, em que a
20 invenção é utilizada para maximizar a quantidade de gás liquefeito e, ao mesmo tempo, minimizar a sub-produção de líquido de hidrocarboneto instável com um alto teor de etano, propano e butano. Os dados da corrente gasosa se referem às figuras 1, 2, 3, 4 ou 5.

Corrente No.	1	2	3	4	5	6	11
Fração de gás	1,00	1,00	0,00	0,95	0,00	1,00	0,00
Temperatura (°C)	40,0	19,2	35,9	-20,0	-20,0	-20,0	-155,0
Pressão (kPa abs.)	2740	2738	2745	2725	2730	2723	2655
Fluxo molar (kmol/h)	4232	4422	44	4422	235	4185	4185
Fluxo de massa (kg/h)	78980	87539	3410	87539	11969	75541	75541
Fração molar (%)							
Nitrogênio	0,51 %	0,49 %	0,02 %	0,49 %	0,03 %	0,52 %	0,52 %
Metano	90,4 %	87,4 %	11,8 %	87,4 %	19,5 %	91,3 %	91,3 %
Etano	4,38 %	4,53 %	2,58 %	4,53 %	6,84 %	4,40 %	4,40 %
Propano	2,29 %	2,95 %	4,17 %	2,95 %	15,04 %	2,27 %	2,27 %
i-Butano	0,68 %	1,25 %	2,80 %	1,25 %	11,92 %	0,65 %	0,65 %
n-Butano	0,66 %	1,52 %	3,79 %	1,52 %	17,30 %	0,62 %	0,62 %
i-Pentano	0,17 %	0,70 %	2,52 %	0,70 %	10,57 %	0,14 %	0,14 %
n-Pentano	0,17 %	0,79 %	3,61 %	0,79 %	12,49 %	0,12 %	0,12 %
n-Hexano	0,44 %	0,32 %	43,62 %	0,32 %	6,25 %	0,02 %	0,02 %
n-Heptano	0,19 %	0,00 %	18,29 %	0,00 %	0,02 %	0,00 %	0,00 %
n-Octano	0,055 %	0,000 %	5,187 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %
n-Nonano	0,014 %	0,000 %	1,339 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %
n-Decano+	0,002 %	0,000 %	0,214 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %

Exemplos 2 - 5

Os Exemplos abaixo mostram exemplos de percentuais de gás de alimentação por componente, em

algumas das correntes básicas conforme a invenção, para diferentes teores de metano no gás de alimentação.

Percentual de Gás de Alimentação para cada Corrente, para um Gás de Alimentação de Metano, com 97% em volume				
Componente	Refluxo	LNG	Condensado	Topo da Coluna
N2	4,4 %	100,0 %	0,0 %	104,4 %
C1	10,7 %	99,9 %	0,1 %	110,6 %
C2	49,1 %	99,4 %	0,6 %	148,5 %
C3	146,3 %	98,2 %	1,8 %	244,5 %
C4	363,7 %	94,7 %	5,3 %	458,3 %
C5	701,3 %	68,0 %	31,9 %	769,3 %
C6	11,1 %	0,3 %	99,7 %	11,4 %
C7	0,1 %	0,0 %	100,0 %	0,1 %
C8	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
C9	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
C10+	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %

Percentual de Gás de Alimentação para cada Corrente, para um Gás de Alimentação de Metano, com 95% em volume

Componente	Refluxo	LNG	Condensado	Topo da Coluna
N2	3,1 %	100,0 %	0,0 %	103,1 %
C1	8,6 %	99,9 %	0,1 %	108,5 %
C2	45,7 %	99,4 %	0,6 %	145,2 %
C3	151,6 %	98,1 %	1,9 %	249,7 %
C4	393,5 %	91,2 %	8,8 %	484,6 %
C5	129,8 %	11,1 %	88,9 %	140,9 %
C6	0,8 %	0,0 %	100,0 %	0,9 %
C7	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
C8	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
C9	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
C10+	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Percentual de Gás de Alimentação para cada Corrente, para um Gás de Alimentação de Metano, com 93% em volume

Componente	Refluxo	LNG	Condensado	Topo da Coluna
N2	17,6 %	99,3 %	0,7 %	116,8 %
C1	7,2 %	99,7 %	0,3 %	106,9 %
C2	37,3 %	98,6 %	1,4 %	135,8 %
C3	119,2 %	95,4 %	4,6 %	214,6 %
C4	269,6 %	78,6 %	21,3 %	348,3 %
C5	43,9 %	4,9 %	95,3 %	48,9 %
C6	0,3 %	0,0 %	100,0 %	0,3 %
C7	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
C8	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
C9	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
C10+	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %

Percentual de Gás de Alimentação para cada Corrente, para um Gás de Alimentação de Metano, com 88% em volume

Componente	Refluxo	LNG	Condensado	Topo da Coluna
N2	1,7 %	99,6 %	0,4 %	101,3 %
C1	4,5 %	99,0 %	1,0 %	103,5 %
C2	21,1 %	95,8 %	4,1 %	116,9 %
C3	60,5 %	87,5 %	12,2 %	148,0 %
C4	113,5 %	63,6 %	36,5 %	177,1 %
C5	24,2 %	5,1 %	95,9 %	29,3 %
C6	0,3 %	0,0 %	100,0 %	0,3 %
C7	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
C8	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
C9	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
C10+	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %

REIVINDICAÇÕES

1. Método para otimizar uma extremidade quente de um sistema de trocador de calor (110) de um processo para liquefação de um gás de alimentação (1) compreendendo hidrocarbonetos, o processo empregando um ciclo de expansão de gás para fornecer resfriamento em um sistema de trocador de calor, o ciclo de expansão de gás compreendendo um compressor para compressão de agente de resfriamento, o método compreendendo as etapas de:

a) enriquecer o gás de alimentação (1) com butano e hidrocarbonetos com um ponto de ebulição inferior ao butano através de

i) alimentar o gás de alimentação (1) para uma coluna de fracionamento (150) onde o gás de alimentação é resfriado em contato com um fluido frio rico em propano, butano e pentano e separado em uma primeira fração de topo com conteúdo reduzido de hidrocarbonetos tendo peso molecular mais pesado que o pentano e uma fração inferior;

ii) a primeira fração de topo sendo resfriada no sistema de trocador de calor (110) e parcialmente condensada;

iii) separar a primeira fração de topo parcialmente condensada em um separador (160) para gerar o referido fluido frio rico em propano, butano e pentano, e uma segunda fração de topo enriquecida com a maioria do butano e hidrocarbonetos com um ponto de ebulição mais baixo que o butano que estavam contidos no gás de alimentação, dita fração de topo é ainda mais resfriada e liquefeita no sistema de trocador de calor (110);

iv) operar a coluna de fracionamento (150) e o

separador (160) à pressão e temperatura tais, de modo que a referida coluna e separador gere uma separação de componentes no gás de alimentação a uma faixa normal de ponto de ebulição entre -12°C e 60°C ; e

b) alimentar um agente de resfriamento gasoso (21) na extremidade quente do sistema de trocador de calor (110) para troca de calor com uma corrente fria de agente gasoso de resfriamento (31), o agente de resfriamento gasoso e o agente de resfriamento gasoso frio na extremidade quente do permutador de calor tendo uma relação linear de calor versus temperatura;

e **caracterizado** pelo fato de que o método compreende ainda a etapa de:

c) levar a referida primeira fração de topo ao sistema de trocadores de calor (110), a uma temperatura mais baixa do que a temperatura final quente do sistema trocador de calor, em que a introdução da primeira fração de topo causa uma mudança de inclinação de uma curva de aquecimento compósita no ponto em que a fração de topo é introduzida;

em que o fluxo de massa do agente de resfriamento gasoso pode ser reduzido de modo que uma melhor adaptação da temperatura entre as correntes do agente de resfriamento gasoso (21) e agente de resfriamento gasoso frio (31) seja alcançada na extremidade quente do sistema do trocador de calor e trabalho de compressão necessário para o resfriamento no sistema de trocador de calor (110) pode ser reduzido.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o agente de resfriamento gasoso (21) é resfriado a uma primeira pressão a uma temperatura entre 0°C e -120°C em troca de calor com a referida corrente de agente de resfriamento gasoso frio (31) e, posteriormente, expandido em um expansor de gás

(121) até uma pressão mais baixa do que a referida primeira pressão para gerar a corrente de agente de resfriamento gasoso frio.

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o expensor de gás (121) compreende uma turbina de expansão, em que a corrente gasosa do agente de resfriamento é expandida com alta eficiência isentrópica de uma primeira pressão entre 3 e 10 MPa, para uma segunda pressão mais baixa entre 5% a 40% da referida primeira pressão.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de que a segunda pressão mais baixa está entre 10% e 30% da primeira pressão.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o agente de resfriamento gasoso (21) é nitrogênio.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a corrente de agente de resfriamento gasoso frio (31) é aquecida no sistema de trocador de calor e depois é comprimida e resfriada com resfriamento externo e, posteriormente, reutilizada como agente de resfriamento gasoso (21) a uma pressão mais alta.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o agente de resfriamento gasoso (21) é dividido em uma pluralidade de partes de agente de resfriamento, as partes do agente de resfriamento são resfriadas a diferentes temperaturas e expandidas em expansores de gás, retornando posteriormente as partes do agente de resfriamento expandido para diferentes locais de entrada no sistema de trocador de calor (110).

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de que as referidas partes do agente de resfriamento são resfriadas às diferentes

temperaturas em canais de fluxo separados no sistema de trocador de calor.

9. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de que as partes do agente de resfriamento expandido são aquecidas em canais de fluxo separados no sistema de trocador de calor (110).

10. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a referida separação de componentes no intervalo de ponto de ebulição normal entre -12°C e 60°C corresponde ao butano (C_4) com um ponto de ebulição normal entre -12°C e 0°C sendo um componente-chave leve para a separação e um componente C_6 com um ponto de ebulição entre 50°C e 70°C sendo um componente-chave pesado para a separação.

11. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a referida segunda fração de topo do separador, em relação ao gás de alimentação, consiste essencialmente de 87,5% a 98,2% do propano do gás de alimentação, de 63,6% a 94,7% dos butanos do gás de alimentação, de 5,1% a 68% dos pentanos do gás de alimentação e menos de 4,5% do hexano do gás de alimentação.

12. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que antes da introdução da referida primeira fração de topo, os fluxos quentes que são resfriados na extremidade quente do sistema de trocador de calor (110) consistem em fluxos gasosos de agentes de refrigeração e após a introdução da referida primeira fração de topo, as correntes quentes sendo arrefecidas consistem em correntes gasosas de agente de arrefecimento e referida primeira fração de topo.

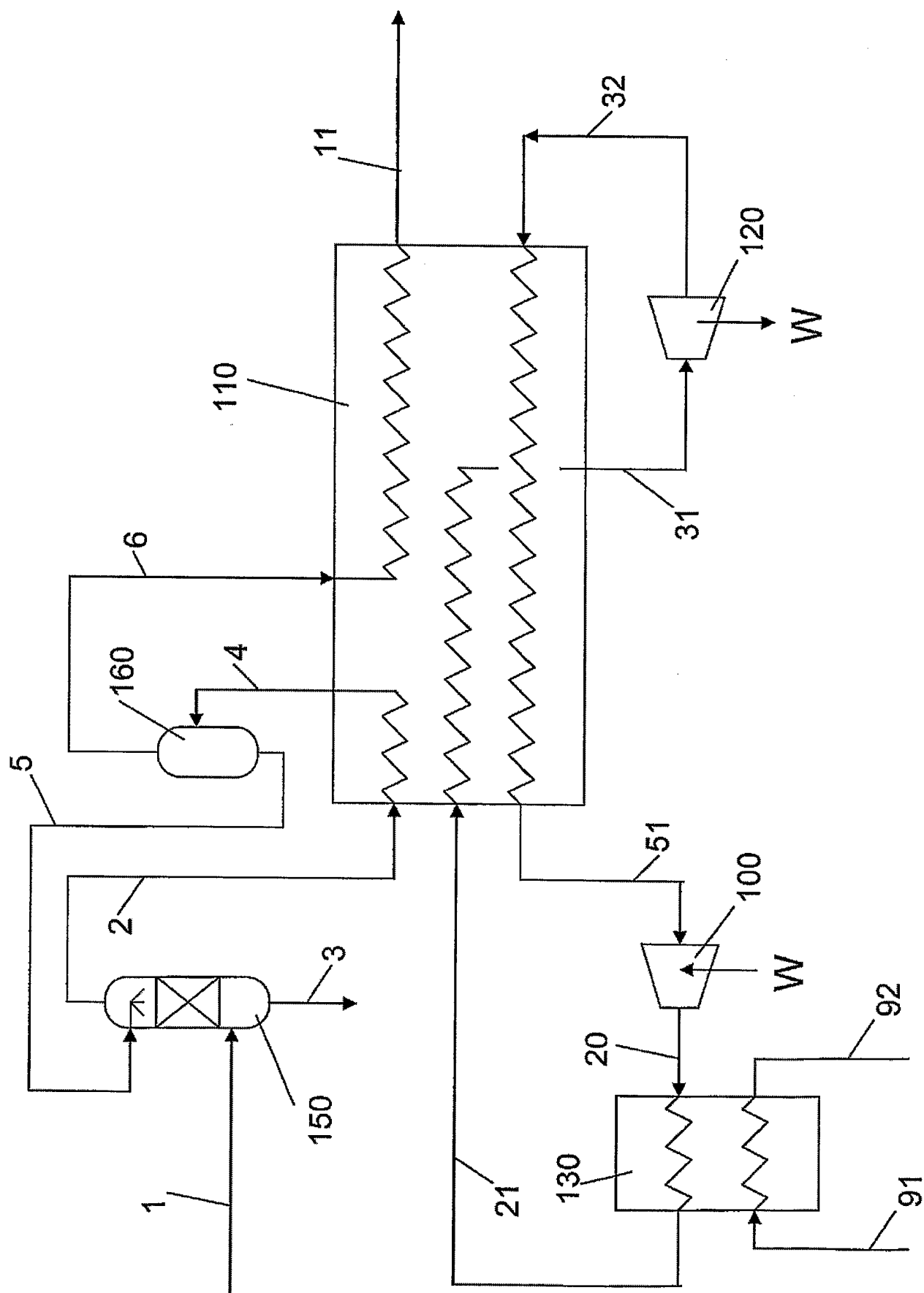


Figura 1

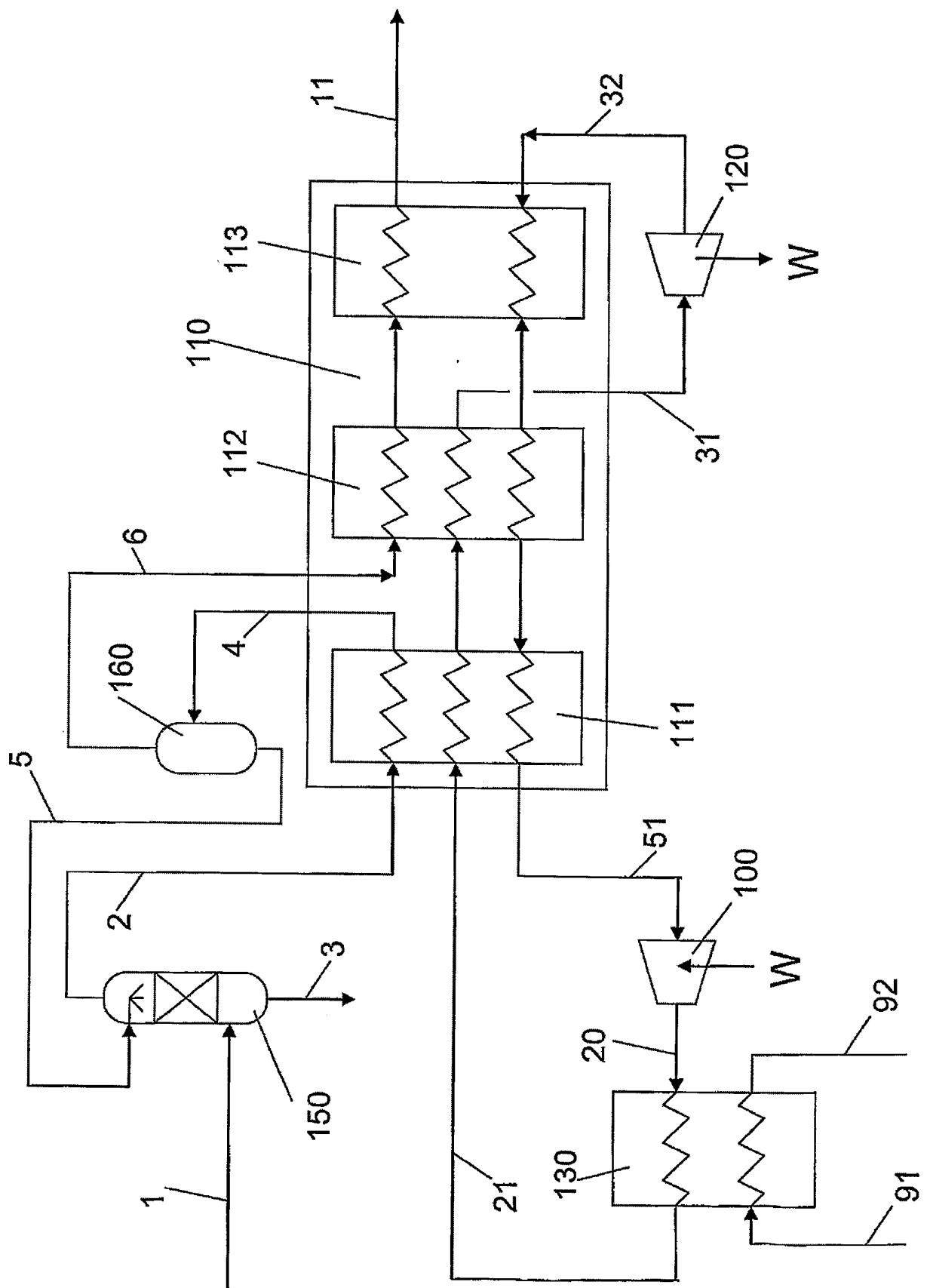


Figura 2

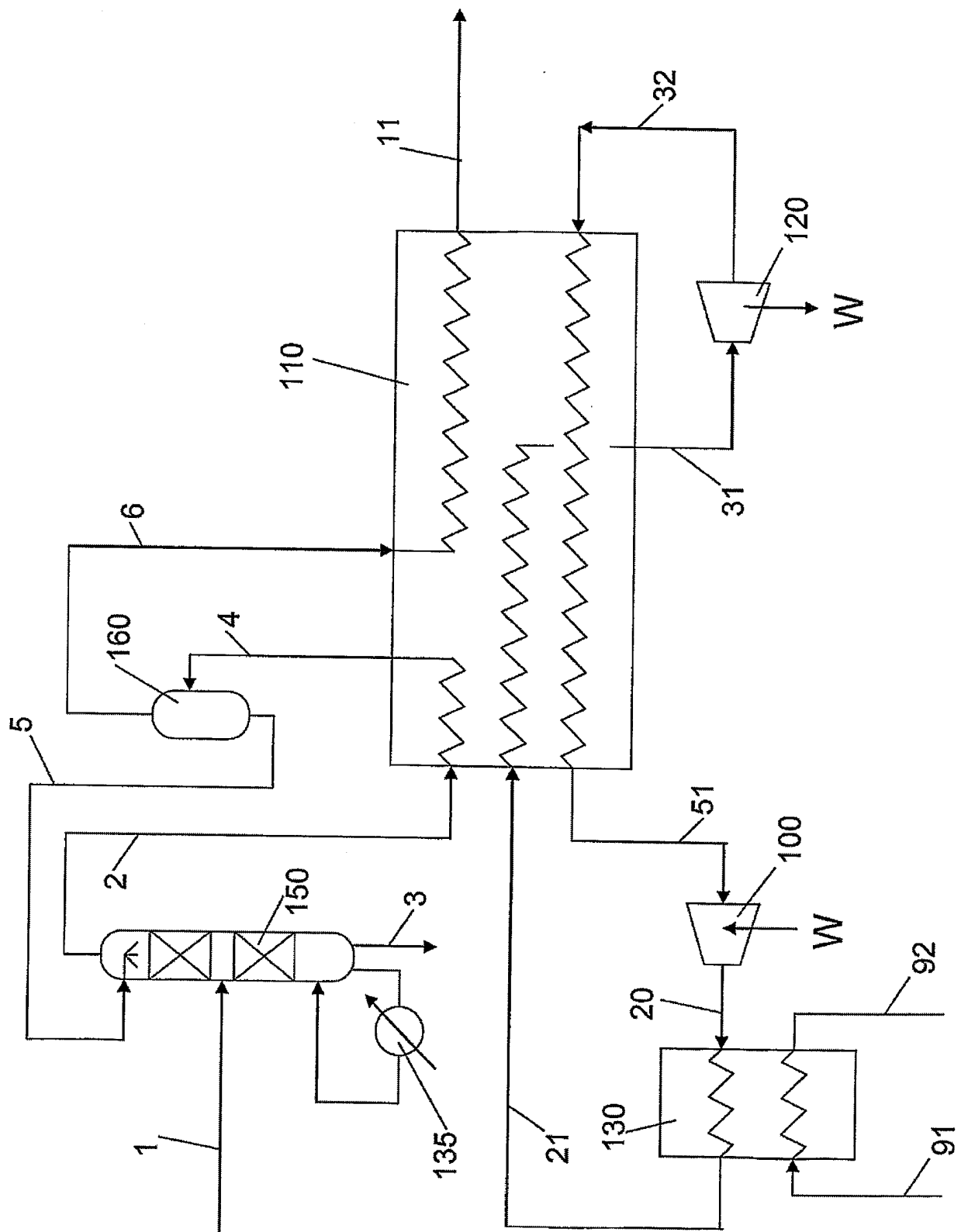


Figura 3

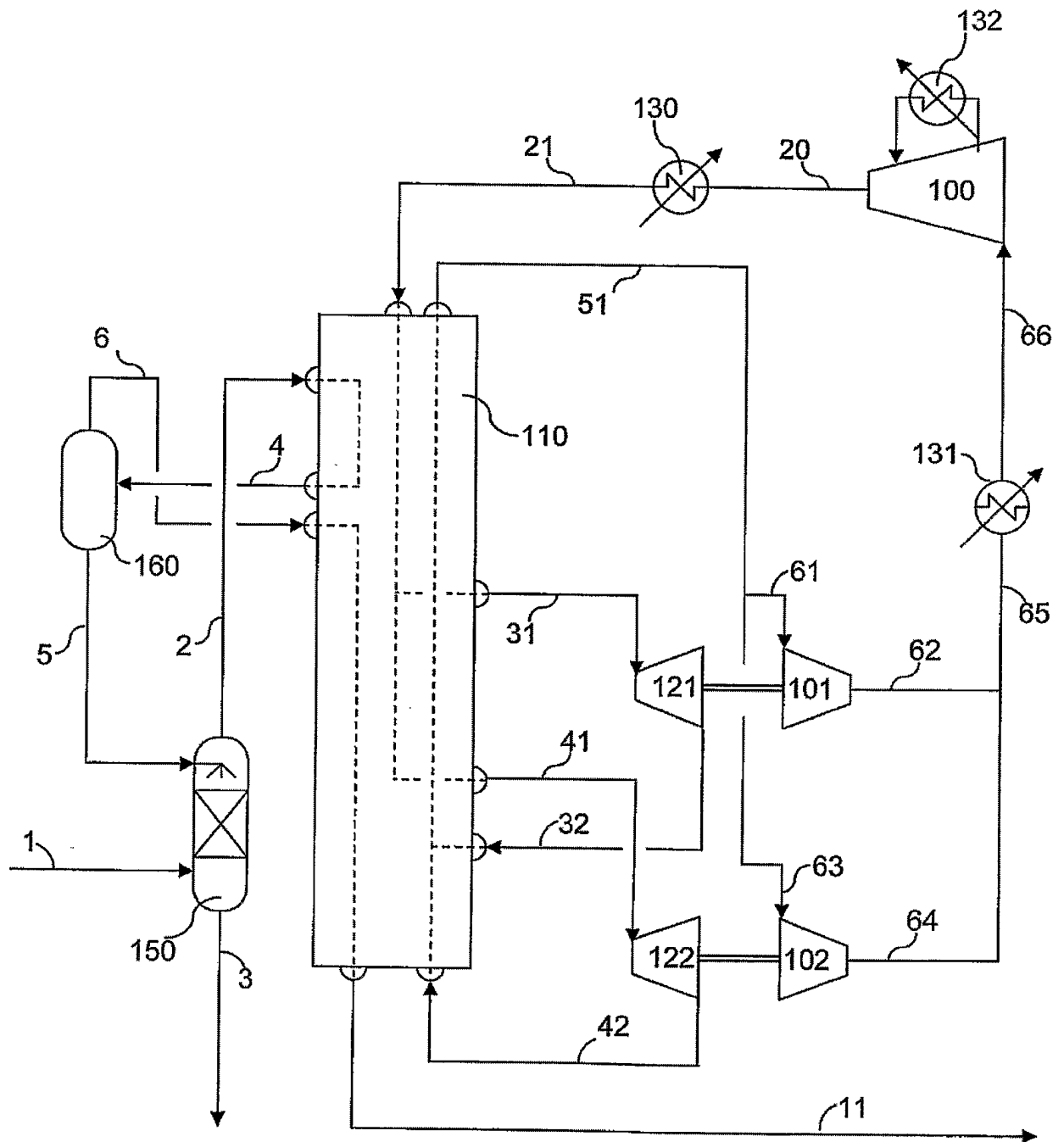
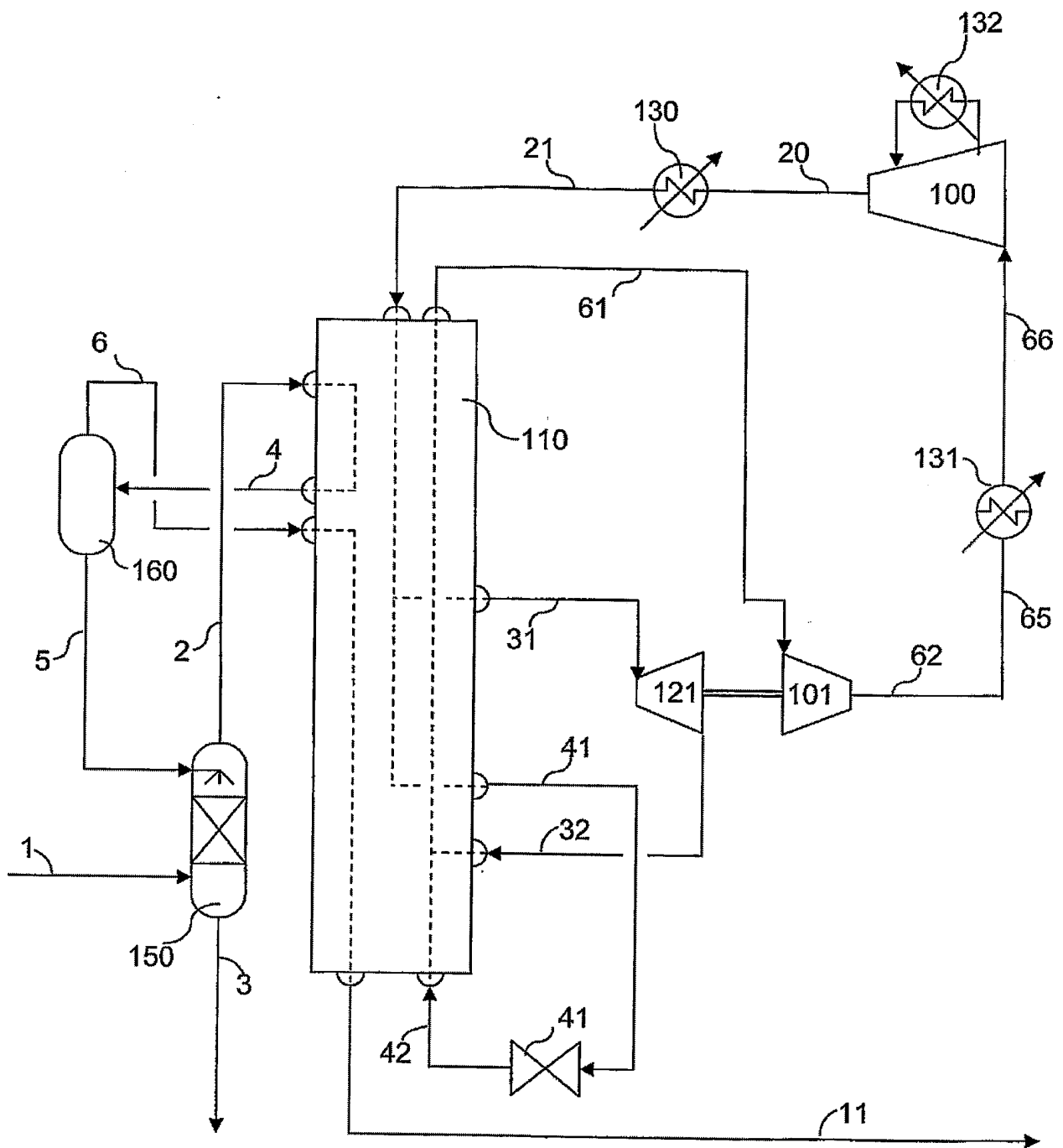
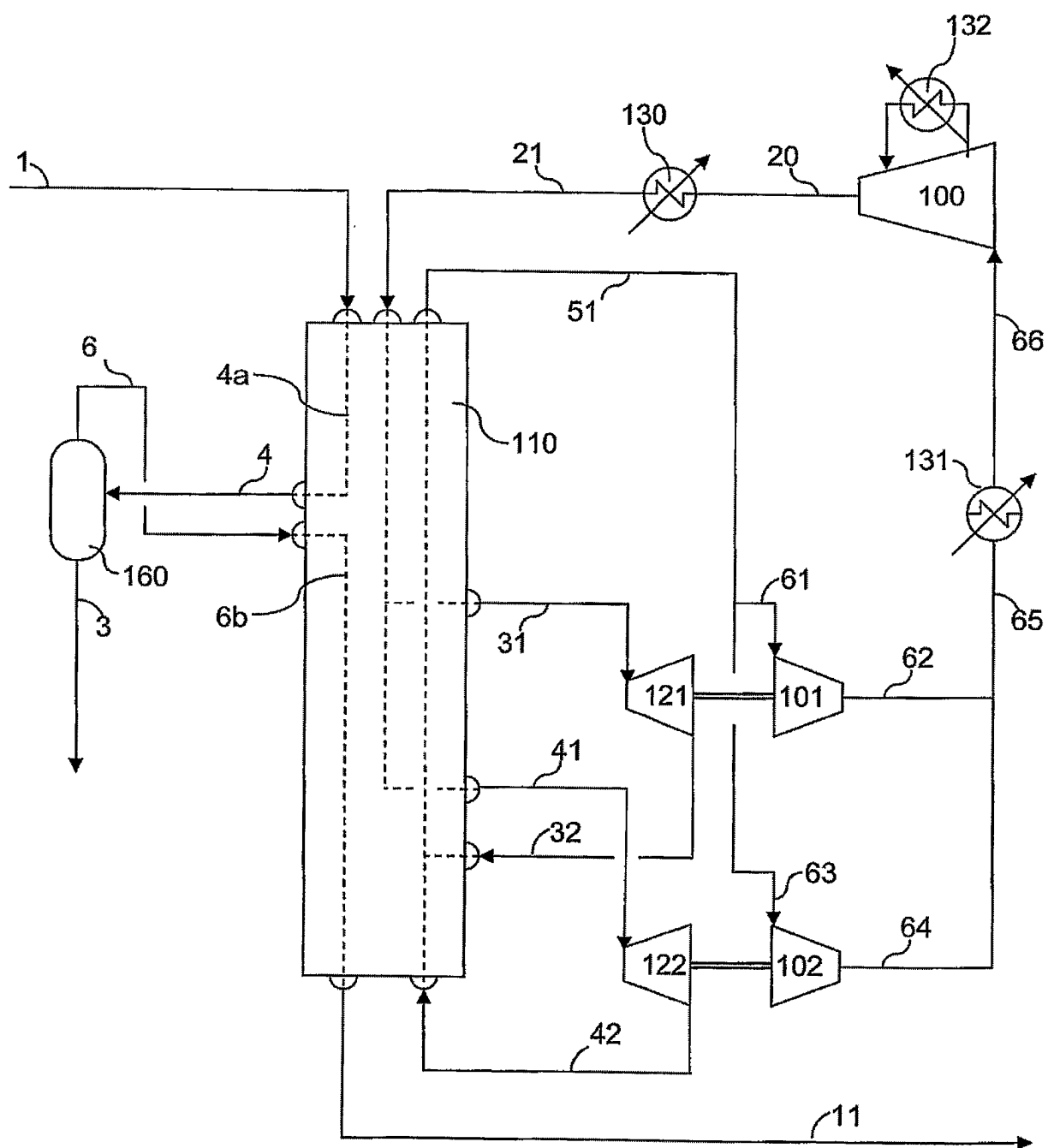


Figura 4

**Figura 5**

**Figura 6a**

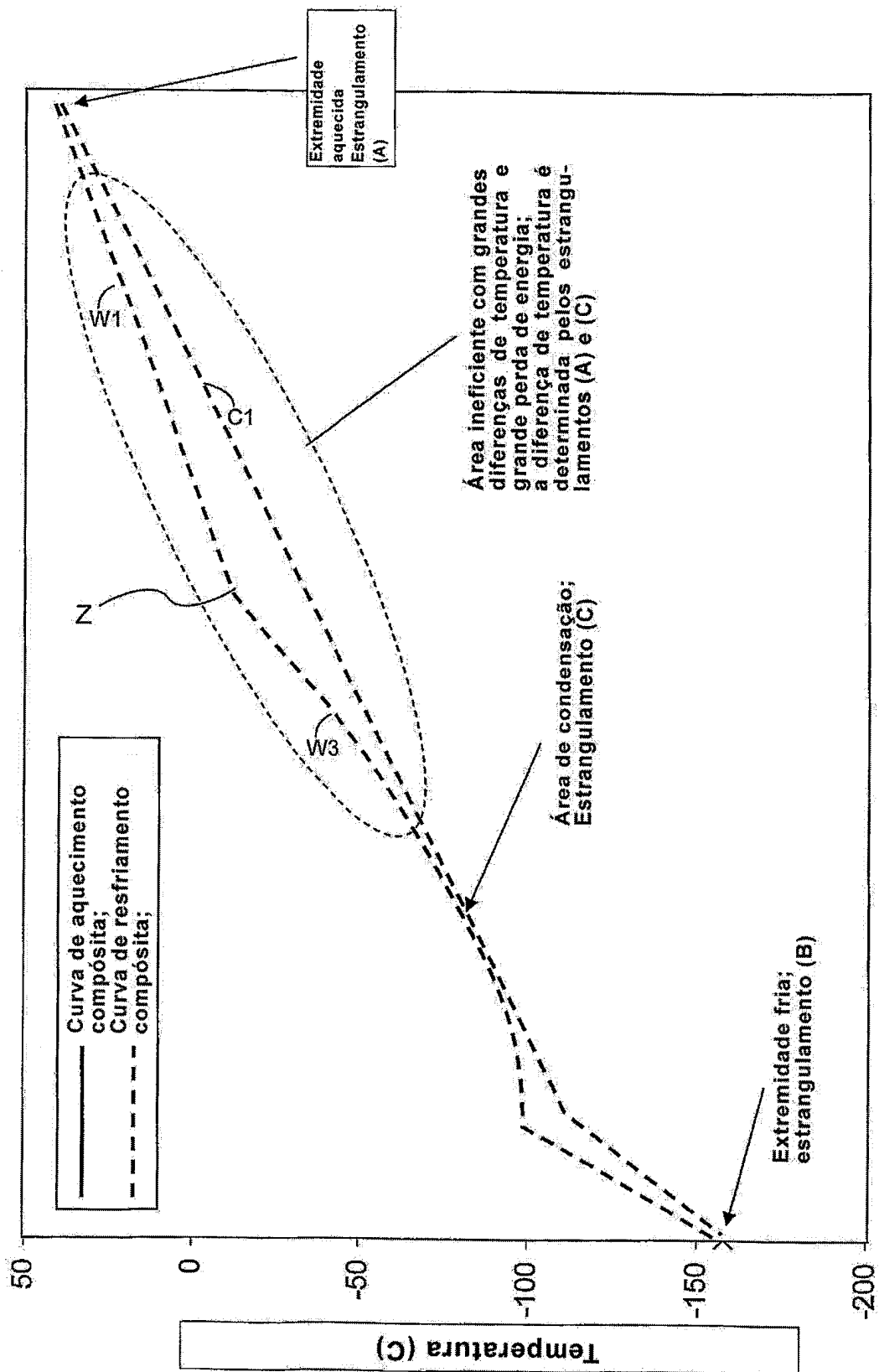


Figura 6b

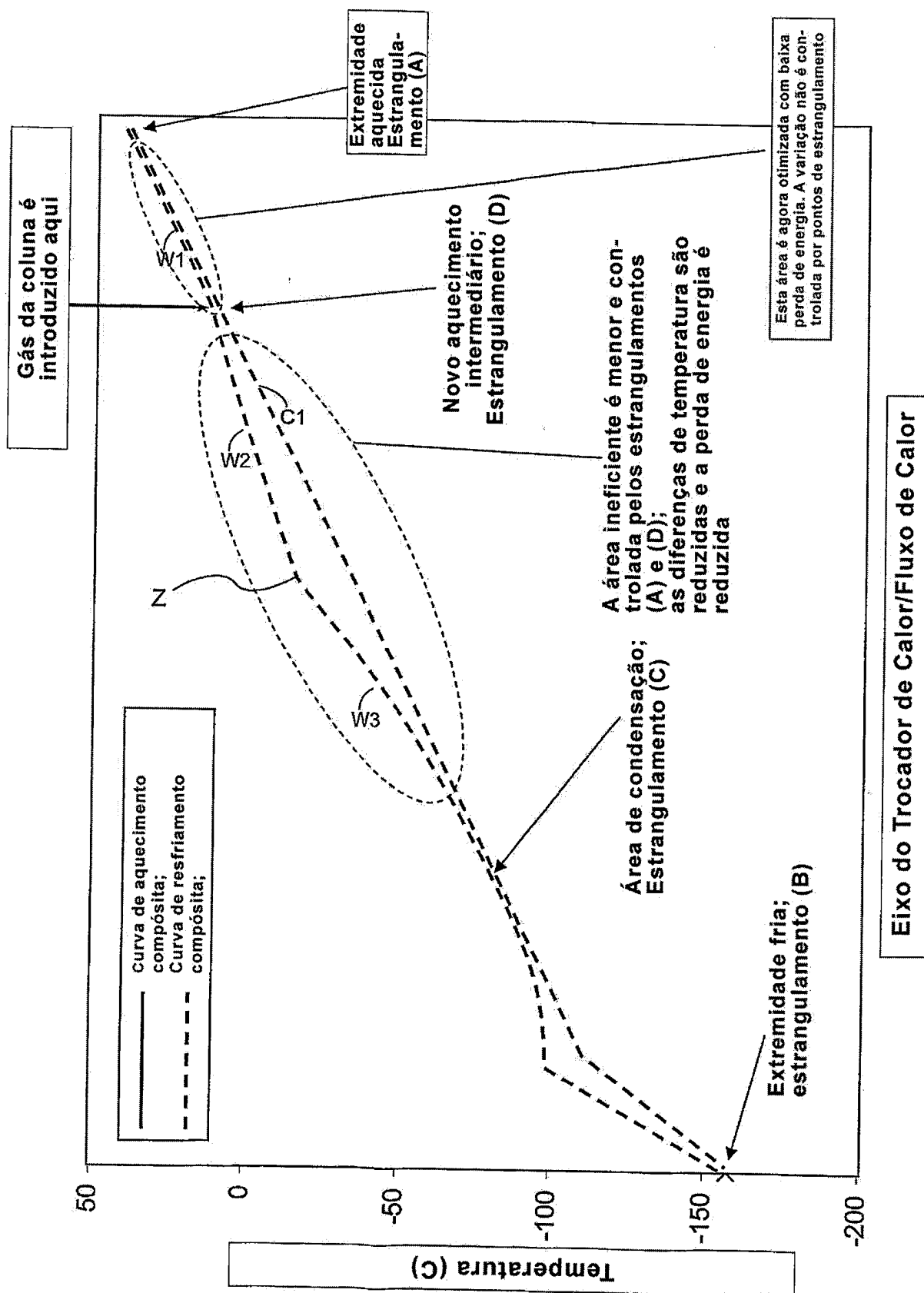


Figura 7b

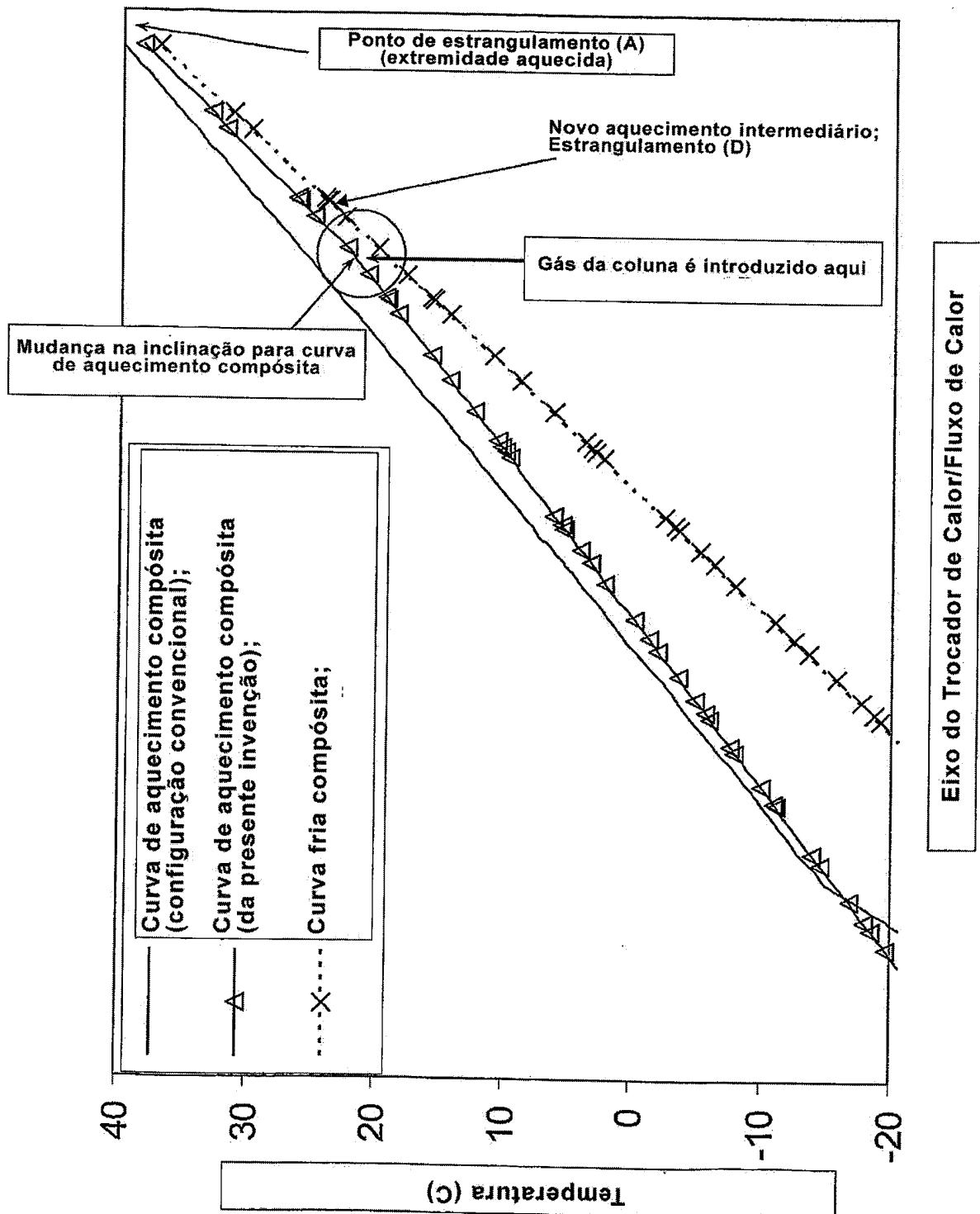


Figura 8

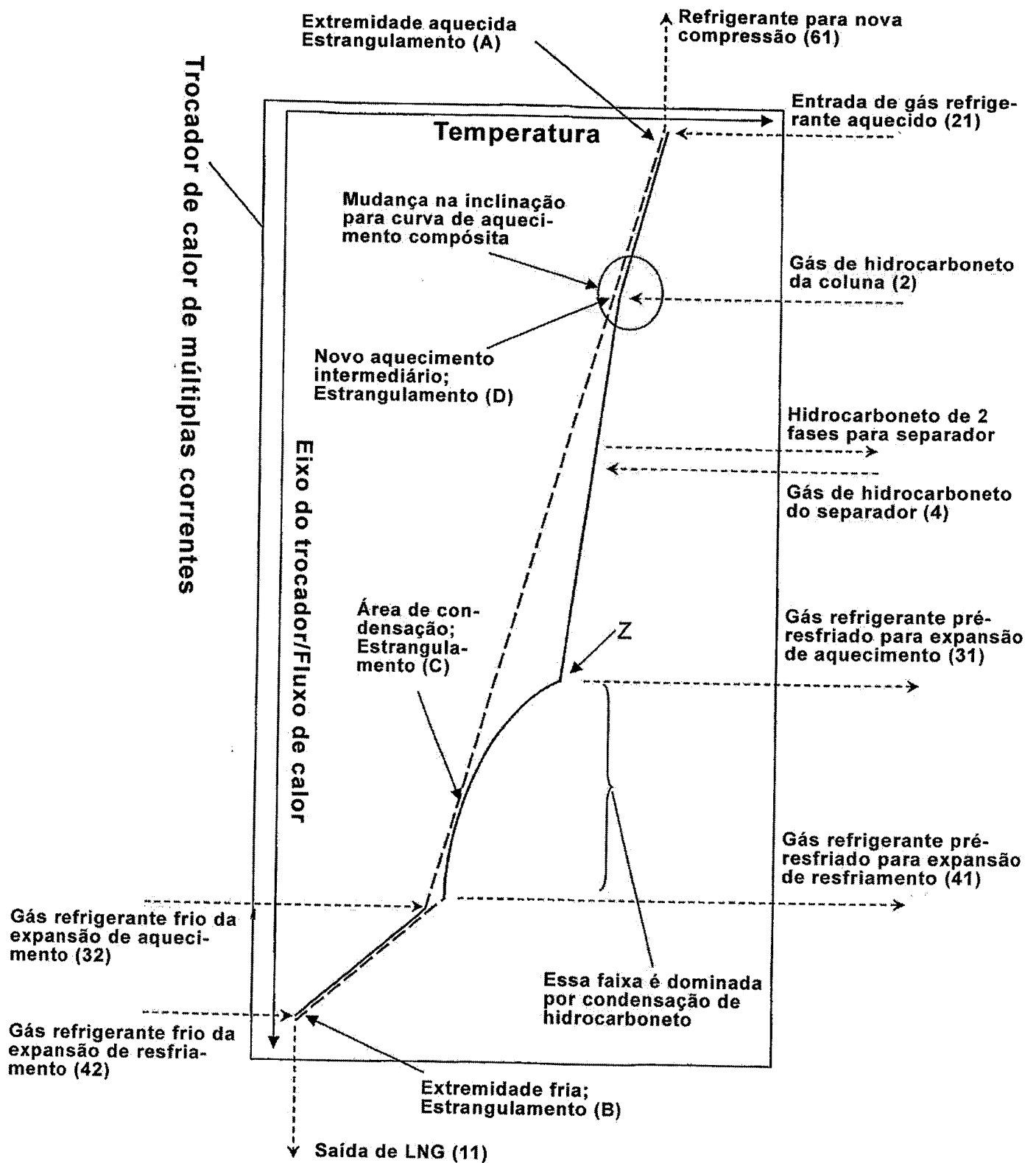


Figura 9