

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 665 719**

51 Int. Cl.:

**F25J 3/02** (2006.01)

**F25J 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.10.2009 PCT/FR2009/051884**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.04.2010 WO10040935**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.10.2009 E 09755956 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.01.2018 EP 2344821**

54 Título: **Procedimiento de producción de corrientes de nitrógeno líquido y gaseoso, de una corriente gaseosa rica en helio y de una corriente desnitrógenada e instalación asociada**

30 Prioridad:

**07.10.2008 FR 0856788**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**26.04.2018**

73 Titular/es:

**TECHNIP FRANCE (100.0%)  
6-8, Allée de l'Arche Faubourg de l'Arche ZAC  
Danton  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**PARADOWSKI, HENRI y  
VOVARD, SYLVAIN**

74 Agente/Representante:

**SALVA FERRER, Joan**

ES 2 665 719 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento de producción de corrientes de nitrógeno líquido y gaseoso, de una corriente gaseosa rica en helio y de una corriente desnitrógenada e instalación asociada

5

**[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento de producción de una corriente de nitrógeno líquido, de una corriente de nitrógeno gaseoso, de una corriente gaseosa rica en helio y de una corriente de hidrocarburos desnitrógenada, a partir de una corriente de carga que contiene hidrocarburos, helio y nitrógeno.

10 **[0002]** Dicho procedimiento se aplica en concreto al tratamiento de las corrientes de carga constituidas por gas natural licuado (GNL) o también por gas natural (GN) en forma gaseosa.

**[0003]** Este procedimiento se aplica a las nuevas unidades de licuefacción de gas natural o las nuevas unidades de tratamiento de gas natural en forma gaseosa. La invención se aplica asimismo a la mejora de los resultados de las  
15 unidades existentes.

**[0004]** En estas instalaciones, hay que desnitrógenar el gas natural antes de enviárselo al consumidor o antes de almacenarlo o transportarlo. Efectivamente, el gas natural extraído de los yacimientos subterráneos contiene a menudo una cantidad importante de nitrógeno. Además, frecuentemente contiene helio.  
20

**[0005]** Los procedimientos de desnitrógenación conocidos permiten obtener una corriente de hidrocarburos desnitrógenada que puede enviarse hacia una unidad de almacenamiento en forma líquida en el caso del GNL, o hacia una unidad de distribución de gas en el caso del GN.

25 **[0006]** Estos procedimientos de desnitrógenación producen además corrientes ricas en nitrógeno que se utilizan bien para suministrar el nitrógeno necesario para el funcionamiento de la instalación, bien para proporcionar un gas combustible rico en nitrógeno que sirve de combustible para las turbinas de gas de los compresores que se utilizan para la realización del procedimiento. En una variante, estas corrientes ricas en nitrógeno se liberan a la atmósfera en una antorcha tras incineración de las impurezas, como el metano.  
30

**[0007]** Los procedimientos mencionados no son completamente satisfactorios, en concreto a causa de las nuevas limitaciones medioambientales que se aplican a la producción de hidrocarburos. De hecho, para que el nitrógeno producido por el procedimiento se pueda utilizar en la unidad de producción o pueda ser liberado en la atmósfera, debe ser muy puro.  
35

**[0008]** Las corrientes de combustible producidas por el procedimiento y destinadas a ser utilizadas en las turbinas de gas deben, al contrario, contener menos del 15 al 30 % de nitrógeno para ser quemadas en quemadores especiales diseñados para limitar la producción de óxidos de nitrógeno liberados a la atmósfera. Estas emisiones se producen en particular durante las fases de arranque de las instalaciones utilizadas para la puesta en marcha del  
40 procedimiento, en las que el procedimiento de desnitrógenación no es aún muy eficaz.

**[0009]** Además, por cuestiones económicas, el rendimiento energético de dichos procedimientos de desnitrógenación debe mejorarse continuamente. Los procedimientos del tipo mencionado no permiten reutilizar el helio contenido en el gas natural extraído del subsuelo, sin embargo este helio es un gas raro de un gran valor  
45 económico.

**[0010]** Para remediar al menos parcialmente estos problemas, el documento US 2007/0245771 describe un procedimiento del tipo mencionado, que produce simultáneamente una corriente de nitrógeno líquido, una corriente rica en helio y una corriente gaseosa que contiene aproximadamente un 30 % de nitrógeno y aproximadamente un  
50 70 % de hidrocarburos. Esta corriente gaseosa rica en nitrógeno está destinada, en esta instalación, a formar una corriente de combustible.

**[0011]** Sin embargo, este procedimiento no es enteramente satisfactorio, porque la cantidad de nitrógeno puro producida es relativamente baja. Además, la corriente de combustible contiene una alta cantidad de nitrógeno que no es compatible con todas las turbinas de gas existentes, y que es susceptible de generar numerosas emisiones  
55 contaminantes.

**[0012]** El documento US 2004/231359 describe un procedimiento de eliminación de nitrógeno a partir de gas natural condensado para producir un gas natural licuado subenfriado. Este procedimiento no está destinado a producir

una corriente de nitrógeno líquido, ni una corriente gaseosa rica en helio.

**[0013]** El documento US 4 778 498 describe un procedimiento de producción de gas metano a presión que produce una fase gaseosa que contiene helio.

5 **[0014]** El documento US 5 339 641 describe un procedimiento de producción de nitrógeno líquido y de un gas rico en helio.

**[0015]** Una finalidad de la invención es obtener un procedimiento económico de desnitrógenación de una corriente de carga de hidrocarburos, que permita reutilizar el nitrógeno y el helio contenido en la corriente de carga, al  
10 tiempo que limite al mínimo las emisiones nocivas para el medioambiente.

**[0016]** Para ello, la invención tiene por objeto un procedimiento según la reivindicación 1.

**[0017]** El procedimiento según la invención puede comprender una o varias de las características de las  
15 reivindicaciones 2 a 10.

**[0018]** La invención también tiene por objeto una instalación según la reivindicación 11.

**[0019]** La instalación según la invención puede comprender una o varias de las características de las  
20 reivindicaciones 12 a 13.

**[0020]** La invención se comprenderá mejor a partir de la lectura de la siguiente descripción, dada únicamente a título de ejemplo y que se refiere a los dibujos anexos en los que:

- 25 - la Figura 1 es un esquema sinóptico funcional de una primera instalación de puesta en marcha de un primer procedimiento de producción según la invención;  
- la Figura 2 es una vista análoga a la figura 1 de una segunda instalación de puesta en marcha de un segundo procedimiento de producción según la invención;  
- la Figura 3 es una vista análoga a la figura 1 de una tercera instalación de puesta en marcha de un tercer  
30 procedimiento de producción según la invención;  
- la Figura 4 es una vista análoga a la figura 1 de una cuarta instalación de puesta en marcha de un cuarto procedimiento de producción según la invención;  
- la Figura 5 es una vista análoga a la figura 1 de una quinta instalación de puesta en marcha de un quinto procedimiento de producción según la invención; y  
35 - la Figura 6 es una vista análoga a la figura 1 de una sexta instalación de puesta en marcha de un sexto procedimiento de producción según la invención.

**[0021]** La Figura 1 ilustra una primera instalación 10 según la invención destinada a producir, a partir de una corriente de carga líquida 12 obtenida a partir de una carga de gas natural licuado (GNL), una corriente 14 de GNL  
40 desnitrógenado rico en hidrocarburos, una corriente de nitrógeno gaseoso 16 destinada a ser utilizada en la instalación 10, una corriente de nitrógeno líquido 18, y una corriente 20 rica en helio.

**[0022]** Como se ilustra en la Figura 1, la instalación 10 comprende una parte aguas arriba 22 de refrigeración de la carga y una parte aguas abajo 24 de fraccionamiento.  
45

**[0023]** La parte aguas arriba 22 comprende una turbina líquida de expansión 26, un intercambiador de calor aguas arriba 28, destinado a la refrigeración de la corriente de carga 12 con ayuda de un ciclo de refrigeración 30.

**[0024]** En este ejemplo, el ciclo de refrigeración 30 es un ciclo cerrado de tipo Brayton invertido. Comprende  
50 un intercambiador térmico de ciclo 32, un aparato aguas arriba 34 de compresión por etapas y una turbina de expansión dinámica 36.

**[0025]** En el ejemplo de la Figura 1, el aparato aguas arriba de compresión por etapas 34 comprende dos etapas, cada etapa comprende un compresor 38A, 38B y un refrigerante 40A, 40B refrigerado con aire o con agua. Al  
55 menos uno de los compresores 38A del aparato aguas arriba 34 está acoplado a la turbina de expansión dinámica 36 para aumentar la eficacia del procedimiento.

**[0026]** La parte aguas abajo de fraccionamiento 24 comprende una columna de fraccionamiento 50 que presenta una pluralidad de etapas teóricas de fraccionamiento. La parte aguas abajo 24 comprende además un primer

intercambiador aguas abajo 52 de fondo de columna, un segundo intercambiador aguas abajo 54 y un tercer intercambiador aguas abajo 56.

5 **[0027]** La parte aguas abajo 24 comprende además un aparato aguas abajo 58 de compresión por etapas y un primer depósito de separación 60 de cabeza de columna.

**[0028]** El aparato de compresión aguas abajo 58 comprende en este ejemplo tres etapas de compresión montadas en serie, cada etapa comprende un compresor 62A, 62B, 62C colocado en serie con un refrigerante 64A, 64B, 64C refrigerado con agua o con aire.

10 **[0029]** Un primer procedimiento de producción según la invención se va a describir a continuación.

**[0030]** En adelante, se designará con una misma referencia una corriente de fluido y el conducto que la vehicula. Asimismo, las presiones consideradas son presiones absolutas y, salvo indicación contraria, los porcentajes  
15 considerados son porcentajes molares.

**[0031]** La corriente de carga líquida 12 es, en este ejemplo, una corriente de gas natural licuado (GNL) que comprende en moles un 0,1009 % de helio, 8,9818 % de nitrógeno, 86,7766 % de metano, 2,9215 % de etano, 0,8317 % de propano, 0,2307 % de hidrocarburos i-C4, 0,1299 % de hidrocarburos n-C4, 0,0128 % de hidrocarburos  
20 i-C5, 0,0084% de hidrocarburos n-C5, 0,0005 % de hidrocarburos n-C6, 0,0001% de benceno, 0,0050 % de dióxido de carbono.

**[0032]** Así, esta corriente 12 comprende un contenido molar en hidrocarburos superior al 70 %, un contenido molar en nitrógeno comprendido entre el 5 % y el 30 %, y un contenido molar de helio comprendido entre el 0,01 % y  
25 el 0,5 %.

**[0033]** La corriente de carga 12 presenta una temperatura inferior a -130 °C, por ejemplo inferior a -145 °C. Esta corriente presenta una presión superior a 25 bares y en particular igual a 34 bares.

30 **[0034]** En esta primera realización, la corriente de carga 12 es líquida, de forma que constituye una corriente de carga líquida 68 directamente utilizable en el procedimiento.

**[0035]** La corriente de carga líquida 68 se introduce en la turbina de expansión líquida 26, donde se expande hasta una presión inferior a 15 bares, en concreto igual a 6 bares hasta una temperatura inferior a -130 °C y  
35 concretamente igual a -150,7 °C.

**[0036]** A la salida de la turbina de recuperación líquida 26, se forma una corriente de carga expandida 70. Esta corriente de carga expandida 70 se divide en una primera corriente principal de introducción 72, destinada a ser  
40 refrigerada por el ciclo de refrigeración 30 y en una segunda corriente secundaria de introducción 74.

**[0037]** La primera corriente de introducción 72 presenta un caudal másico superior al 10 % de la corriente de carga expandida 70. Se introduce en el intercambiador de calor aguas arriba 28, donde se refrigera hasta una temperatura inferior a -150 °C y en concreto igual a -160 °C para producir una primera corriente de introducción  
45 refrigerada 76.

**[0038]** En el intercambiador aguas arriba 28, la primera corriente de introducción 72 se sitúa en relación de intercambio térmico con la corriente de refrigerante que circula en el ciclo 30, como se describirá más adelante.

**[0039]** La primera corriente de introducción refrigerada 76 se expande en una primera válvula de expansión 78  
50 hasta una presión inferior a 3 bares y después se introduce en una etapa intermedia N1 de la columna de fraccionamiento 50.

**[0040]** La segunda corriente de introducción 74 se envía hasta el primer intercambiador aguas abajo 52 de fondo de columna, donde se refrigera hasta una temperatura inferior a -150 °C, y concretamente igual a -160 °C para  
55 producir una segunda corriente de introducción refrigerada 80.

**[0041]** La segunda corriente de introducción refrigerada 80 se expande en una segunda válvula 82 de expansión hasta una presión inferior a 3 bares y después se introduce en una etapa intermedia N1 de la columna de fraccionamiento 50.

- [0042]** En este ejemplo, la primera corriente de introducción refrigerada 76 y la segunda corriente de introducción refrigerada 80 se introducen en la misma etapa N1 de la columna 50.
- 5 **[0043]** Una corriente de rebullido 84 se trasiega de una etapa inferior N2 de la columna de fraccionamiento 50 situada bajo la etapa intermedia N1. La corriente de rebullido 84 pasa por el primer intercambiador aguas abajo de fondo 52, para ser posicionado en relación de intercambio térmico con la segunda corriente de introducción 74 y refrigerar esta segunda corriente 74. Después se introduce en las cercanías del pie de la columna de fraccionamiento 50, debajo de la etapa inferior N2.
- 10 **[0044]** La columna de fraccionamiento 50 opera a baja presión, concretamente inferior a 5 bares, ventajosamente inferior a 3 bares. En este ejemplo, la columna 50 opera sensiblemente a 1,3 bares.
- [0045]** La columna de fraccionamiento 50 produce una corriente de pie 86 destinada a formar la corriente rica de GNL desnitrogenado 14. Esta corriente de GNL desnitrogenado contiene una cantidad de nitrógeno controlada, por ejemplo inferior al 1 % molar.
- 15 **[0046]** La corriente de pie 86 se bombea a 5 bares en una bomba 88 para formar la corriente desnitrogenada 14 rica en hidrocarburos y para enviarla hacia un almacenamiento que opera a presión atmosférica y formar la corriente de GNL desnitrogenada destinada a ser explotada. La corriente 14 es una corriente de GNL que puede ser transportada en forma líquida, por ejemplo en un metanero.
- 20 **[0047]** La columna de fraccionamiento 50 produce además una corriente de cabeza 90 rica en nitrógeno que se extrae de la cabeza de esta columna 50. Esta corriente de cabeza 90 presenta un contenido molar en hidrocarburos inferior ventajosamente al 1 %, e incluso más ventajosamente inferior al 0,1 %. Presenta un contenido molar en helio superior al 0,2 % y ventajosamente superior al 0,5 %.
- 25 **[0048]** En el ejemplo representado en la figura 1, la composición molar de la corriente de cabeza 90 es la siguiente: helio 0,54 %, nitrógeno 99,40 % y metano 0,06 %.
- 30 **[0049]** La corriente de cabeza rica en nitrógeno 90 pasa entonces sucesivamente por el segundo intercambiador aguas abajo 54, por el primer intercambiador aguas abajo 52, después por el tercer intercambiador aguas abajo 56 para ser calentado sucesivamente hasta -20 °C.
- 35 **[0050]** A la salida del tercer intercambiador aguas abajo 56, se obtiene una corriente rica en nitrógeno calentada 92. Esta corriente 92 se divide entonces en una primera parte minoritaria 94 de nitrógeno producido y en una segunda parte 96 de nitrógeno reciclado.
- [0051]** La parte minoritaria 94 presenta un caudal másico comprendido entre el 10 % y el 50 % del caudal másico de la corriente 92. La parte minoritaria 94 se expande a través de una tercera válvula de expansión 98 para formar la corriente de nitrógeno gaseoso 16.
- 40 **[0052]** Esta corriente de nitrógeno gaseoso 16 presenta una presión superior a la presión atmosférica y en concreto superior a 1,1 bares. Presenta un contenido molar de nitrógeno superior al 99 %.
- 45 **[0053]** La parte mayoritaria 96 se introduce a continuación en el aparato de compresión aguas abajo 58, por donde pasa sucesivamente en cada etapa de compresión a través de un compresor 62A, 62B, 62C y un refrigerante 64A, 64B, 64C.
- 50 **[0054]** La parte mayoritaria 96 se comprime así hasta una presión superior a 20 bares y en concreto sensiblemente igual a 21 bares, para formar una corriente de nitrógeno reciclado comprimido 100.
- [0055]** La corriente de nitrógeno reciclado comprimido 100 presenta así una temperatura superior a 10 °C y concretamente igual a 38 °C.
- 55 **[0056]** La corriente de nitrógeno reciclado comprimido 100 pasa sucesivamente a través del tercer intercambiador aguas abajo 56, después a través del primer intercambiador aguas abajo de fondo 52 y seguidamente a través del primer intercambiador aguas abajo 54.

- [0057]** En el segundo intercambiador aguas abajo 54 y en el tercer intercambiador aguas abajo 56, la corriente de nitrógeno reciclado 100 circula a contracorriente y en relación de intercambio térmico con la corriente de nitrógeno de cabeza 90. Así, la corriente de nitrógeno de cabeza 90 cede frigorías a la corriente de nitrógeno reciclado 100.
- 5 **[0058]** En el primer intercambiador de calor 52 de fondo, la corriente de nitrógeno reciclado 100 además se pone en relación de intercambio térmico con la corriente de rebullido 84 para ser refrigerada por esta corriente 84.
- [0059]** Después de su paso por el segundo intercambiador aguas abajo 54, la corriente de nitrógeno reciclado 100 forma una corriente 102 de nitrógeno reciclado condensado, esencialmente líquido. Esta corriente líquida contiene  
10 una fracción de líquido superior al 90 % y presenta una temperatura inferior a -160 °C y ventajosamente igual a -170 °C.
- [0060]** A continuación, la corriente condensada 102 se expande en una cuarta válvula de expansión 104 para producir un caudal difásico 106 que introduce en el primer depósito separador 60.  
15
- [0061]** El primer depósito separador 60 produce en cabeza una corriente de cabeza gaseosa rica en helio que, tras el paso por una quinta válvula de expansión 108, forma la corriente gaseosa rica en helio 20.
- [0062]** La corriente gaseosa rica en helio 20 presenta un contenido en helio superior al 10 % molar. Está  
20 destinado a ser enviado hasta una unidad de producción de helio puro para ser tratado allí. El procedimiento según la invención permite recuperar al menos el 60 % en moles de helio presente en la corriente de carga 12.
- [0063]** El primer depósito separador 60 produce en pie una corriente de pie de nitrógeno líquido 110. Esta corriente de pie 110 se separa en una parte minoritaria de nitrógeno líquido producido 112 y una parte mayoritaria de  
25 nitrógeno de reflujo 114.
- [0064]** La parte minoritaria 112 presenta un caudal másico inferior al 10 %, y en concreto comprendido entre el 0 % y el 10 % del caudal másico de la corriente de pie 110. La parte minoritaria 112 se expande en una sexta válvula de expansión 116 para formar la corriente de nitrógeno líquido producido 18. La corriente de nitrógeno producido  
30 presenta un contenido molar de nitrógeno superior al 99 %.
- [0065]** La parte mayoritaria 114 se expande hasta la presión de columna a través de una séptima válvula de expansión 118, para formar una primera corriente de reflujo, que después se introduce en una etapa de cabeza N3 de la columna de fraccionamiento 50, situada bajo la cabeza de esta columna y encima de la etapa intermedia N1. La  
35 fracción molar de nitrógeno de la parte mayoritaria 114 es superior al 99 %.
- [0066]** En el ejemplo representado en la Figura 1, el ciclo de refrigeración 30 es un ciclo cerrado de tipo Brayton invertido que utiliza una corriente de refrigerante exclusivamente gaseoso.
- 40 **[0067]** En este ejemplo, la corriente de refrigerante se forma por nitrógeno sensiblemente puro cuyo contenido en nitrógeno es superior al 99 %.
- [0068]** La corriente de refrigerante 130 entregada al intercambiador aguas arriba 28 presenta una temperatura inferior a -150 °C, en concreto igual a -165 °C, y una presión superior a 5 bares, y en concreto sensiblemente igual a  
45 9,7 bares. La corriente de refrigerante 130 circula a través del intercambiador térmico de ciclo 32, donde se calienta por intercambio térmico con la primera corriente principal de introducción 72.
- [0069]** Así, la temperatura de la corriente de refrigerante calentado 132 a la salida del intercambiador aguas arriba 28 es inferior a -150 °C y en concreto igual a -153 °C.  
50
- [0070]** La corriente calentada 132 sufre un nuevo calentamiento en el intercambiador térmico de ciclo 32, antes de ser introducida en la sucesión de compresores 38A, 38B y de refrigerantes 40A, 40B del aparato aguas arriba de compresión por etapas 34.
- 55 **[0071]** A la salida del aparato aguas arriba 34, forma una corriente comprimida de refrigerante 134 que se refrigera por intercambio térmico con la corriente de refrigerante calentado 132 salida del intercambiador aguas arriba 28 en el intercambiador térmico de ciclo 32.
- [0072]** La corriente comprimida refrigerada 136 presenta así una presión superior a 15 bares y en concreto

## ES 2 665 719 T3

sensiblemente igual a 20 bares y una temperatura inferior a -130 °C y en concreto sensiblemente igual a -141 °C.

**[0073]** La corriente comprimida refrigerada 136 se introduce después en la turbina de expansión dinámica 36. Sufre una expansión dinámica en la turbina de expansión 36 para producir la corriente de refrigerante 130 a la temperatura y a la presión descritas más arriba.

**[0074]** En una variante ventajosa, los aparatos de compresión aguas arriba y aguas abajo 34 y 58 se integran en una misma máquina de varios cuerpos, con un solo motor para propulsar los compresores 38A, 38B y los compresores 62A a 62C.

10

**[0075]** Los ejemplos de temperatura, de presión y de caudales máscicos de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la Figura 1 están resumidos en las siguientes tablas.

CORRIENTE	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (Bares)	CAUDAL (Kg/h)
12	- 149,5	34	177 365
70	- 150,7	6	177 365
76	- 160	6	135 142
80	- 160	6	42 223
84	-163,6	1,4	168 931
86	- 159,7	1,4	154 923
14	-159,5	5	154 923
90	- 193,4	1,3	55 761
92	-20	1,3	55 761
16	-20,4	1,1	20 219
100	38	21	35 541
106	- 173	9	35 541
20	- 180,5	4	1 663
18	- 182	4	560
114	- 173	9	33 319
130	- 165	9,7	86 840
132	- 153	9,7	86 840
136	- 141,5	19,5	86 840

15 **[0076]** El consumo energético del procedimiento es el siguiente:

Compresor 62A: 1300 kW  
 Compresor 62B: 1358 kW  
 Compresor 62C: 1365 kW  
 Compresor 38B: 2023 kW  
 Total: 6046 kW

20

**[0077]** Una segunda instalación 140 según la invención está representada en la Figura 2. Esta segunda instalación 140 está destinada a la puesta en marcha de un segundo procedimiento de producción según la invención.

25

**[0078]** Esta instalación 140 difiere de la primera instalación 10 en que comprende un segundo depósito separador 142 interpuesto entre la salida de la cuarta válvula de expansión 104 y la entrada del primer depósito separador 60.

5 **[0079]** El segundo procedimiento según la invención difiere del primer procedimiento en que solamente una parte del flujo difásico 106 que resulta de la expansión de la corriente de nitrógeno reciclado refrigerado 102 en la cuarta válvula de expansión 104 se recibe en el primer depósito separador 60.

**[0080]** Así, el flujo difásico 106 que se forma a la salida de la cuarta válvula de expansión 104 se introduce en el segundo depósito separador 142 y no directamente en el primer depósito separador 60. Además, la corriente de nitrógeno refrigerada 102 no pasa a través del segundo intercambiador aguas abajo 54.

**[0081]** El flujo de cabeza 144 producido en el segundo depósito separador 142 pasa a través del segundo intercambiador aguas abajo 54 para ser refrigerado, y después se introduce en forma de un flujo de cabeza refrigerado 15 146 en el primer depósito separador 60.

**[0082]** El flujo de pie 148 sacado del pie del segundo depósito separador 142 se divide en una segunda corriente de reflujo de nitrógeno 150 y en una corriente de apoyo de refrigeración 152.

20 **[0083]** La segunda corriente de reflujo de nitrógeno 150 se introduce, tras la expansión, en una octava válvula de expansión 154, a una etapa de cabeza N4 de la columna de fraccionamiento 50 situado en las cercanías y debajo de la etapa de introducción N3 de la primera corriente de reflujo 114 en la columna de fraccionamiento 50.

**[0084]** En una variante representada con línea de puntos en la Figura 2, las corrientes de reflujo 114, 150 se introducen en la misma etapa de cabeza N3 de la columna 50.

**[0085]** El caudal másico de la segunda corriente de reflujo 150 es superior al 90 % del flujo del caudal másico del flujo de pie 148.

30 **[0086]** La segunda corriente de refrigeración de apoyo 152 se reintroduce en la corriente de cabeza 90, aguas arriba del segundo intercambiador aguas abajo 54, para proporcionar frigorías destinadas a refrigerar y condensar parcialmente el flujo de cabeza 144 pasando por el segundo intercambiador aguas abajo 54.

**[0087]** La corriente de mezcla 156 que resulta de la mezcla de la corriente de cabeza 90 y de la corriente de apoyo de refrigeración 152 se introduce sucesivamente en el segundo intercambiador aguas abajo 54, después en el primer intercambiador aguas abajo 52 donde entra en relación de intercambio térmico con la corriente de nitrógeno reciclado 100 y la segunda corriente de introducción 74, para refrigerar estas corrientes.

**[0088]** El segundo procedimiento según la invención además opera de forma análoga al primer procedimiento según la invención.

**[0089]** En este procedimiento, la corriente de carga 12 es una corriente de gas natural licuado (GNL) que comprende una composición idéntica a la descrita más arriba.

45 **[0090]** En el ejemplo representado en la figura 2, la composición molar de la corriente de cabeza 90 es la siguiente: helio 0,54 %, nitrógeno 99,35 % y metano 0,11 %.

**[0091]** Los ejemplos de temperatura, de presión y de caudales másicos de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la Figura 2 están resumidos en las siguientes tablas.

50

CORRIENTE	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (Bares)	CAUDAL (Kg/h)
12	- 149,5	34	177 365
70	- 150,7	6	177 365
76	- 160	6	134 400
80	- 160	6	43 150
84	- 163,6	1,4	169 069
86	- 159,7	1,4	155 100

14	- 159,5	5	155 100
90	- 193,4	1,3	52 390
92	- 32	1,3	52 678
16	- 32,1	1,1	22 140
100	38	19,7	30 550
106	- 180	5	30 550
146	- 186	4,7	3 940
150	- 179,8	5	26 320
152	- 179,8	5	288
20	- 186,3	4,7	271
18	- 186,3	4,7	28
114	- 186,3	4,7	3 640
130	- 163	9,7	112 100
132	- 154	9,7	112 100
136	-140	19,2	112 100

**[0092]** El consumo energético del procedimiento es el siguiente:

Compresor 62A: 1482 kW  
 5 Compresor 62B: 912 kW  
 Compresor 62C: 708 kW  
 Compresor 38B: 2584 kW  
 Total: 5686 k

10 **[0093]** Una tercera instalación 160 según la invención, para la puesta en marcha de un tercer procedimiento según la invención está ilustrada por la Figura 3.

15 **[0094]** La tercera instalación 160 difiere de la primera instalación 10 por la presencia de una sección de fraccionamiento 162 y de un intercambiador aguas arriba de licuefacción 164, colocados aguas arriba de la turbina de expansión líquida 26.

20 **[0095]** En este ejemplo, la corriente de carga 12 es gas natural (GN) en forma gaseosa. Se introduce en primer lugar en el intercambiador 164 de licuefacción para ser refrigerado a una temperatura inferior a -20 °C y sensiblemente igual a -30 °C.

**[0096]** La corriente de carga 12 se envía entonces a la sección de fraccionamiento 162 que produce un gas tratado 166 con bajo contenido en hidrocarburos C<sub>5</sub><sup>+</sup> y un corte 168 de gas licuado rico en hidrocarburos C<sub>5</sub><sup>+</sup>. El contenido molar en hidrocarburos C<sub>5</sub><sup>+</sup> en el gas tratado 166 es inferior a 300 ppm.

25 **[0097]** El gas tratado 166 se reintroduce en el intercambiador de licuefacción 164 para ser licuado y dar una corriente de carga líquida 68 a la salida del intercambiador de licuefacción 164.

30 **[0098]** Como el gas tratado 166 está desprovisto de constituyentes pesados, como el benceno cuya temperatura de cristalización es elevada, puede ser licuado fácilmente y sin riesgo de taponamiento en el intercambiador de licuefacción 164.

**[0099]** Para suministrar las frigorías necesarias para la refrigeración de la corriente de carga 12 y del gas tratado 166, el tercer procedimiento según la invención comprende el paso de la corriente rica en hidrocarburos desnitrógenada 14 a través del intercambiador 164 tras su paso por la bomba 88.

35 **[0100]** A estos efectos, la corriente de pie 86 líquida de la columna de fraccionamiento 50 se bombea a una presión superior a 20 bares, ventajosamente a 28 bares para ser vaporizada en el intercambiador de licuefacción 164 y permitir la refrigeración de la corriente de carga 12 y la licuefacción del gas tratado 166.

**[0101]** La refrigeración proporcionada por la vaporización de la corriente de hidrocarburos desnitrogenada 14 representa más del 90 %, ventajosamente más del 98 %, de la refrigeración necesaria para la licuefacción de la corriente de carga 12.

5 **[0102]** Asimismo, una corriente 170 de extracción se extrae de la corriente de nitrógeno 102 tras su paso por el intercambiador aguas abajo de fondo 52 y antes de su introducción en el tercer intercambiador aguas abajo 56. La corriente de extracción 170 se introduce a continuación en el intercambiador de licuefacción 164 antes de ser entregado en forma de una corriente de nitrógeno gaseoso auxiliar 172 a la salida del intercambiador 164.

10 **[0103]** El caudal másico de la fracción de extracción 170 respecto del caudal másico de la corriente de cabeza 90 rica en nitrógeno está por ejemplo comprendido entre el 0 % y el 50 %.

**[0104]** El tercer procedimiento según la invención funciona además de forma análoga al primer procedimiento según la invención.

15

**[0105]** La corriente de carga 12 es en este ejemplo una corriente de gas natural en forma gaseosa que comprende en moles un 0,1000 % de helio, 8,9000 % de nitrógeno, 85,9950 % de metano, 3,0000 % de etano, 1,0000 % de propano, 0,4000 % de hidrocarburos i-C4, 0,3000 % de hidrocarburos n-C4, 0,1000 % de hidrocarburos i-C5, 0,1000% de hidrocarburos n-C5, 0,0800 % de hidrocarburos n-C6, 0,0200% de benceno, 0,0050 % de dióxido de carbono.

20

**[0106]** La corriente de carga líquida 68 comprende entonces la misma composición que la corriente de GNL 12 descrita para el primer y el segundo procedimiento según la invención.

25 **[0107]** En el ejemplo representado en la figura 3, la composición molar de la corriente de cabeza 90 es la siguiente: helio 1,19 %, nitrógeno 98,64 % y metano 0,16 %.

**[0108]** Los ejemplos de temperatura, de presión y de caudales másicos de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la Figura 3 están resumidos en las siguientes tablas.

30

CORRIENTE	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (Bares)	CAUDAL (Kg/h)
12	38	40	182 700
166	- 38	35	177 470
68	- 152	34	177 470
70	- 152,8	6	177 470
76	- 159,5	6	139 733
80	- 160	6	37 779
84	- 161,5	2,7	174 559
86	- 158,3	2,7	165 811
14	-157,2	28	165 811
90	- 186,7	2,6	24 896
92	- 20	2,6	24 896
16	- 20,7	2,5	11 083
100	38	39,7	13 813
106	- 177	9	13 813
20	- 180,41	5	370
18	- 179,8	5	248
114	- 176,9	9	13 195
130	- 165,8	9,7	61 629
132	- 155	9,7	61 629
136	- 143	19,2	61 629

**[0109]** El consumo energético del procedimiento es el siguiente:

Compresor 62A: 632 kW  
Compresor 62B: 388 kW  
5 Compresor 62C: 325 kW  
Compresor 38B: 1440 kW  
Total: 2785 kW

**[0110]** Una cuarta instalación 180 según la invención, destinada a la puesta en marcha de un cuarto procedimiento según la invención está representada en la figura 4. Esta cuarta instalación 180 difiere de la tercera instalación 170 por la presencia de dos depósitos separadores 60, 142 como en la segunda instalación.

**[0111]** Además su funcionamiento es análogo al de la tercera instalación 160.

15 **[0112]** Una quinta instalación 190 según la invención está representada en la Figura 5, para la puesta en marcha de un quinto procedimiento según la invención.

**[0113]** La quinta instalación 190 difiere de la cuarta instalación 180 en que el ciclo de refrigeración 30 es un ciclo semiabierto. Con este fin, el fluido refrigerante del ciclo de refrigeración 30 se forma por una corriente de derivación 192 de la corriente de nitrógeno reciclado comprimido 100 extraído a la salida del aparato de compresión aguas arriba 58, con una primera presión P1 sensiblemente igual a 40 bares.

20 **[0114]** El caudal másico de la corriente de derivación 192 es inferior al 99 % del caudal másico de la parte mayoritaria 96.

25 **[0115]** La corriente de derivación 192 se introduce en el intercambiador térmico de ciclo 32 para formar, a la salida del intercambiador 32, la corriente comprimida refrigerada 136, tras la expansión en la turbina 36, la corriente 130 de refrigeración introducida en el intercambiador aguas arriba 28.

30 **[0116]** La corriente de refrigeración 130 presenta así un contenido molar de nitrógeno superior al 99 % y un contenido en hidrocarburos inferior al 0,1 %.

**[0117]** Después de su paso por el intercambiador 32, la corriente de refrigeración calentada 132 se introduce en el compresor 38A acoplado a la turbina 36, después en el refrigerante 40A, antes de ser reintroducido en la corriente de nitrógeno reciclado comprimido 100, entre la penúltima etapa y la última etapa del aparato de compresión 58, con una segunda presión P2 inferior a la primera presión P1.

**[0118]** Una sexta instalación 200 según la invención está representada en la figura 6.

40 **[0119]** La sexta instalación 200 según la invención difiere de la cuarta instalación 180 en que el intercambiador de ciclo 32 está constituido por el primer intercambiador térmico que el tercer intercambiador aguas abajo 56.

**[0120]** La corriente de refrigerante calentada 132 salida del intercambiador aguas arriba 28 se introduce en el tercer intercambiador aguas abajo 56 donde se coloca en relación de intercambio térmico con la corriente de mezcla 45 156 salida del segundo intercambiador aguas abajo 52 y con la corriente de nitrógeno reciclado comprimido 100 salido del aparato aguas abajo de compresión 58.

**[0121]** Asimismo, la corriente comprimida de refrigerante 134 pasa por el tercer intercambiador aguas abajo 56 para ser refrigerado antes de su introducción en la turbina de expansión dinámica 36.

50 **[0122]** El funcionamiento del sexto procedimiento según la invención es además análogo al del tercer procedimiento según la invención.

**[0123]** Gracias a los procedimientos según la invención, es posible producir, de forma flexible y económica, 55 nitrógeno gaseoso sensiblemente puro 16, nitrógeno líquido 18 sensiblemente puro, y una corriente rica en helio 20 que puede reutilizarse posteriormente en una fábrica de producción de helio.

**[0124]** El procedimiento produce además una corriente 14 rica en hidrocarburo desnitrogenado que puede utilizarse en forma líquida o gaseosa.

**[0125]** Todos los fluidos producidos por el procedimiento son por tantos utilizables y reutilizables como tales.

**[0126]** Este procedimiento puede utilizarse indiferentemente con una corriente de carga 12 constituida por gas 5 natural licuado o por gas natural en forma gaseosa.

**[0127]** La cantidad de nitrógeno líquido 18 producida por el procedimiento puede solicitarse de manera sencilla regulando la potencia térmica extraída por la segunda corriente de introducción 72 en la corriente de refrigerante 130 del ciclo de refrigeración 30.

10

## REIVINDICACIONES

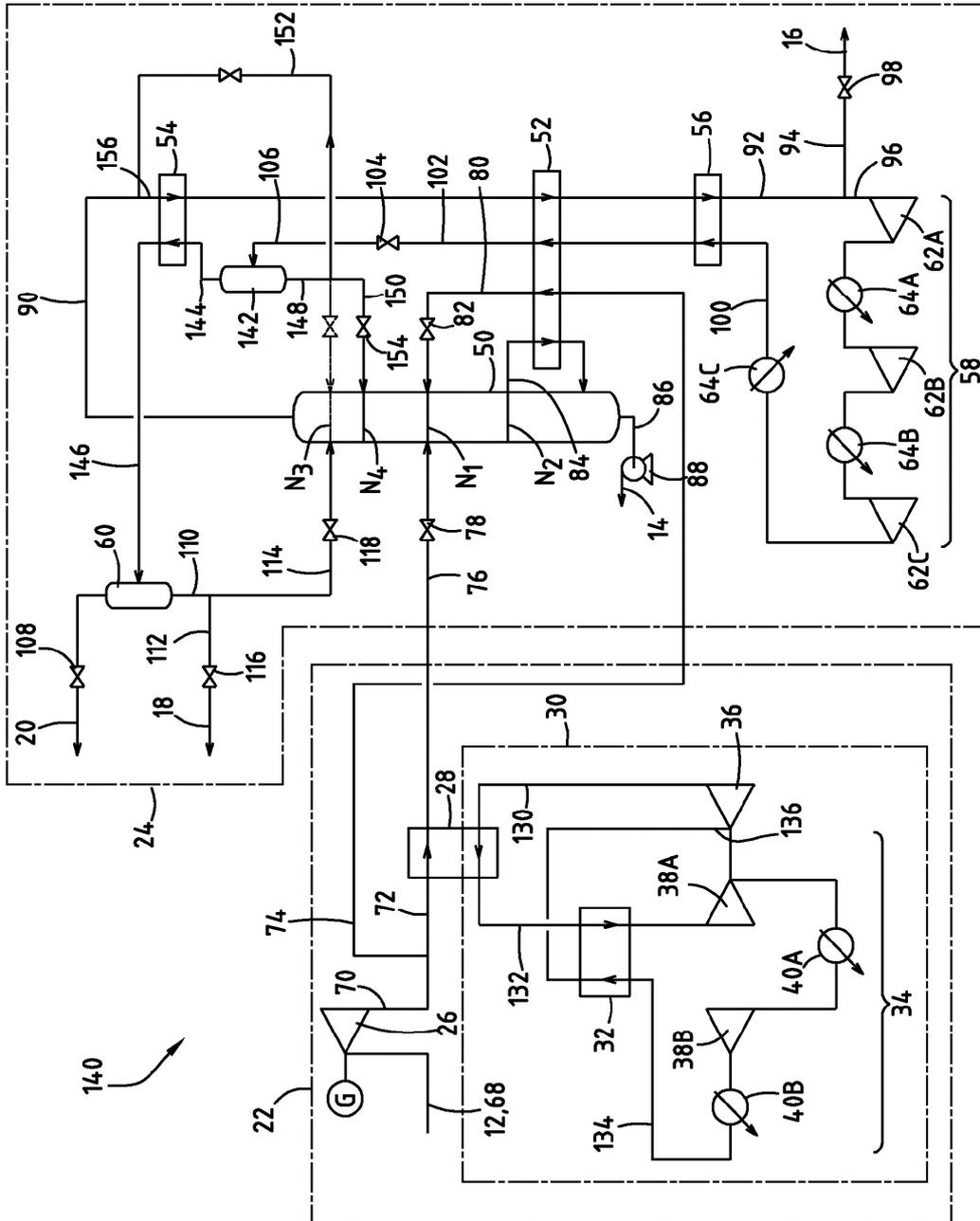
- 1 Procedimiento de producción de una corriente (18) de nitrógeno líquido, de una corriente (16) de nitrógeno gaseoso, de una corriente (20) gaseosa rica en helio y de una corriente (14) de hidrocarburos desnitrogenada a partir de una corriente de carga que contiene hidrocarburos, nitrógeno y helio, en el que el procedimiento comprende las siguientes etapas:
- expansión de la corriente de carga (12) para formar una corriente de carga expandida (70);
  - división de la corriente de carga expandida (70) en una primera corriente de introducción (72) y en una segunda corriente de introducción (74);
  - refrigeración de la primera corriente de introducción (72) en el interior de un intercambiador térmico aguas arriba (28) por intercambio térmico con una corriente de refrigerante gaseoso (130) obtenido por expansión dinámica en un ciclo de refrigeración (30), para obtener una primera corriente de introducción refrigerada (76);
  - refrigeración de la segunda corriente de introducción (74) a través de un primer intercambiador térmico aguas abajo (52) para formar una segunda corriente de introducción refrigerada (80);
  - introducción de la primera corriente de introducción refrigerada (76) y de la segunda corriente de introducción refrigerada (80) en una columna de fraccionamiento (50) que comporta varias etapas teóricas de fraccionamiento;
  - extracción de al menos una corriente de rebullido (84) y circulación de la corriente de rebullido (84) por el primer intercambiador térmico aguas abajo (52), para refrigerar la segunda corriente de introducción (74);
  - extracción al fondo de la columna de fraccionamiento (50) de una corriente de fondo (86) destinada a formar la corriente de hidrocarburos desnitrogenada (14);
  - extracción en cabeza de la columna de fraccionamiento (50) de una corriente de cabeza (90) rica en nitrógeno;
  - calentamiento de la corriente de cabeza rica en nitrógeno (90) a través de al menos un segundo intercambiador de calor aguas abajo (54, 56) para formar una corriente rica en nitrógeno calentado (92);
  - extracción y expansión de una primera parte (94) de la corriente rica en nitrógeno calentado (92) para formar la corriente de nitrógeno gaseoso (16);
  - compresión de una segunda parte (96) de la corriente rica en nitrógeno calentado (92) para formar una corriente de nitrógeno reciclado comprimido (100) y refrigeración de la corriente de nitrógeno reciclado comprimido (100) por circulación a través del primer intercambiador aguas abajo (52) y a través del o cada segundo intercambiador aguas abajo (54, 56);
  - licuefacción y expansión parcial de la corriente de nitrógeno reciclado (100) para formar una corriente rica en nitrógeno expandido (106);
  - introducción de al menos una parte (106; 146) proveniente de la corriente rica en nitrógeno expandido (106) en un primer depósito separador (60);
  - recuperación de la corriente de cabeza gaseosa salida del primer depósito separador (60) para formar la corriente rica en helio (20);
  - recuperación de la corriente líquida (110) salida del pie del primer depósito separador (60) y separación de esta corriente líquida (110) en una corriente de nitrógeno líquido (18) y en una primera corriente de reflujo (114);
  - introducción de la primera corriente de reflujo (114) en reflujo en la cabeza de la columna de fraccionamiento (50).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la totalidad de la corriente rica en nitrógeno expandido (106) se introduce en el primer depósito separador (60), directamente después de su expansión.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la corriente rica en nitrógeno expandido (106) se introduce en un segundo depósito separador (142) colocado aguas arriba del primer depósito separador (60), la corriente de cabeza (144) salida del segundo depósito separador (142) estando introducida en el primer depósito separador (60), al menos una parte de la corriente de pie (148) del segundo depósito separador (142) estando introducida en reflujo en la cabeza de la columna de fraccionamiento (50).
4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** la corriente de pie (148) del segundo depósito separador se separa en una segunda corriente de reflujo (150) introducida en la columna de fraccionamiento (50) y en una corriente de refrigeración de apoyo (152), la corriente de refrigeración de apoyo (152) estando mezclada con la corriente de cabeza rica en nitrógeno (90), antes de su paso por el segundo intercambiador térmico aguas abajo (54).
5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado porque** la presión de operación de la columna de fraccionamiento (50) es inferior a 5 bares, ventajosamente inferior a 3 bares.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el ciclo de

refrigeración (30) es un ciclo cerrado de tipo Brayton invertido, en el que el procedimiento comprende los siguientes pasos:

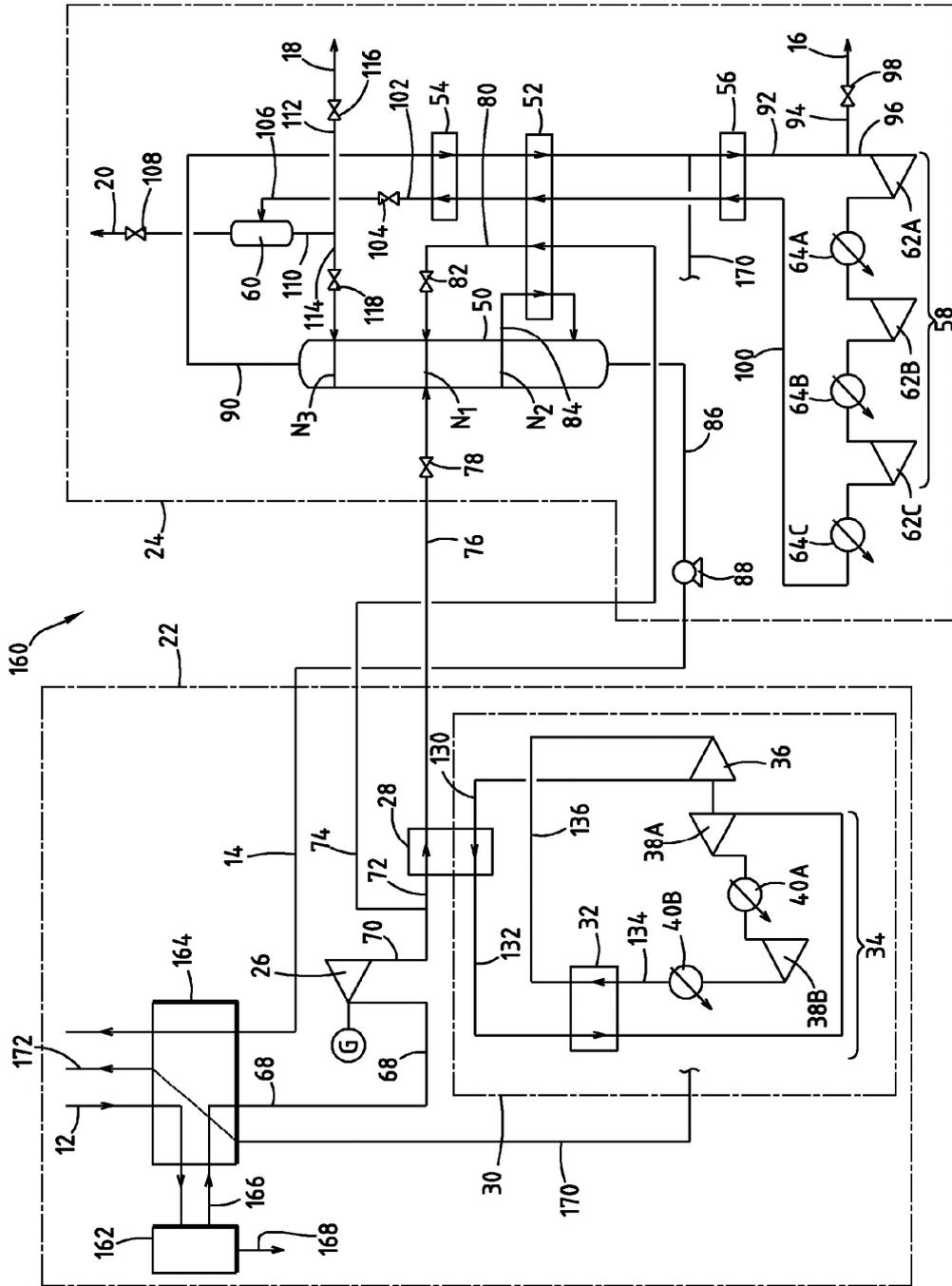
- calentamiento de la corriente de refrigerante (130) en un intercambiador térmico de ciclo (32) hasta una temperatura 5 sensiblemente ambiente;
  - compresión de la corriente de refrigerante calentado (132) para formar una corriente (134) de refrigerante comprimido y refrigeración en el intercambiador térmico de ciclo (32) por intercambio térmico con la corriente de refrigerante calentado (132) salida del primer intercambiador térmico aguas arriba (28) para formar una corriente comprimida refrigerada (136);
  - 10 - expansión dinámica de la corriente refrigerante comprimida refrigerada (136) para formar la corriente de refrigerante (130) e introducción de la corriente de refrigerante (130) en el primer intercambiador térmico aguas arriba (28).
7. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado porque** el intercambiador térmico de ciclo (32) está formado por uno (56) de los intercambiadores aguas abajo (52, 54, 56), la corriente refrigerante comprimida (134) 15 estando refrigerada al menos parcialmente por intercambio térmico en dicho intercambiador aguas abajo (56) con la corriente de cabeza rica en nitrógeno (90) salida de la cabeza de la columna de fraccionamiento (50).
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** el ciclo de refrigeración (30) es un ciclo semiabierto, en el que el procedimiento comprende las siguientes etapas: 20
- extracción de al menos una fracción de la corriente rica en nitrógeno reciclado comprimido (100) a una primera presión (P1) para formar una corriente extraída rica en nitrógeno (192);
  - refrigeración de la corriente extraída rica en nitrógeno (192) en un intercambiador térmico de ciclo (32) para formar una corriente extraída refrigerada;
  - 25 - expansión dinámica de la corriente extraída refrigerada salida del intercambiador térmico de ciclo (32) para formar la corriente de refrigerante (130) e introducción de la corriente de refrigerante (130) en el intercambiador térmico aguas arriba (28);
  - compresión de la corriente de refrigerante (132) salida del intercambiador térmico aguas arriba en un compresor y reintroducción de esta corriente en la corriente de nitrógeno reciclado comprimido (100) a una segunda presión (P2) 30 inferior a la primera presión (P1).
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la corriente de carga (12) es una corriente gaseosa, en el que el procedimiento comprende las siguientes etapas:
- 35 - licuefacción de la corriente de carga (12) para formar una corriente de carga líquida (68) por paso a través de un intercambiador térmico de licuefacción (164);
  - vaporización de la corriente de hidrocarburos desnitrogenada (14) salida del pie de la columna de fraccionamiento (50) por intercambio térmico con una corriente gaseosa (166) salida de la corriente de carga (12) en el intercambiador térmico de licuefacción (164).
  - 40
10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado porque** la refrigeración proporcionada por la vaporización de la corriente de hidrocarburos desnitrogenada (14) representa más del 90 %, ventajosamente más del 98 %, de la refrigeración necesaria para la licuefacción de la corriente de carga (121).
- 45 11. Instalación (10; 140; 160; 180; 190; 200) de producción de una corriente de nitrógeno líquido (18), de una corriente de nitrógeno gaseoso (16), de una corriente gaseosa (20) rica en helio y de una corriente de hidrocarburos desnitrogenada (14), a partir de una corriente de carga (12) que contiene hidrocarburos, nitrógeno y helio, en la que la instalación comprende:
- 50 - medios (26) de expansión de la corriente de carga (12) para formar una corriente de carga expandida (70);
  - medios de división de la corriente de carga expandida (70) en una primera corriente de introducción (72) y en una segunda corriente de introducción (74);
  - medios (28; 30) de refrigeración de la primera corriente de introducción (72) que comprenden un intercambiador térmico aguas arriba (28) y un ciclo de refrigeración (30), para obtener una primera corriente de introducción refrigerada 55 (76) por intercambio térmico con una corriente de refrigerante gaseoso (130) obtenido por expansión dinámica en el ciclo de refrigeración (30);
  - medios de refrigeración de la segunda corriente de introducción (74) que comprenden un primer intercambiador térmico aguas abajo (52) para formar una segunda corriente de introducción refrigerada (80);
  - una columna de fraccionamiento (50) que comporta varias etapas teóricas de fraccionamiento;

- medios de introducción de la primera corriente de introducción refrigerada (76) y de la segunda corriente de introducción refrigerada (80) en la columna de fraccionamiento (50);
  - medios de extracción de al menos una corriente de rebullido (84) y medios de circulación de la corriente de rebullido (84) por el primer intercambiador térmico aguas abajo (52), para refrigerar la segunda corriente de introducción (74);
  - 5 - medios de extracción en el fondo de la columna de fraccionamiento (50) de una corriente de fondo (86) destinada a formar la corriente de hidrocarburos desnitrogenada (14);
  - medios de extracción en cabeza de la columna de fraccionamiento (50) de una corriente de cabeza rica en nitrógeno (90);
  - medios de calentamiento de la corriente de cabeza rica en nitrógeno (90) a través de al menos un segundo
  - 10 intercambiador de calor aguas abajo (54, 56) para formar una corriente rica en nitrógeno calentado (92);
  - medios de extracción y expansión de una primera parte (94) de la corriente rica en nitrógeno calentado (92) para formar la corriente de nitrógeno gaseoso (16);
  - medios (58) de compresión de una segunda parte (96) de la corriente rica en nitrógeno calentado (92) para formar una corriente de nitrógeno reciclado (100) y medios de refrigeración de la corriente de nitrógeno reciclado comprimido
  - 15 (100) por circulación a través del primer intercambiador aguas abajo (52) y a través del o cada segundo intercambiador aguas abajo (54, 56);
  - medios (104) de licuefacción parcial y de expansión de la corriente de nitrógeno reciclado (100) para formar una corriente rica en nitrógeno expandido (106);
  - un primer depósito separador (60);
  - 20 - medios de introducción de al menos una parte proveniente de la corriente rica en nitrógeno expandido (106) en el primer depósito separador (60);
  - medios de recuperación de la corriente de cabeza gaseosa salida del primer depósito separador (60) para formar la corriente rica en helio (20);
  - medios de recuperación de la corriente líquida (110) salida del pie del primer depósito separador (60) y de separación
  - 25 de esta corriente en una corriente de nitrógeno líquido (112) y en una primera corriente de reflujo (114);
  - medios de introducción de la primera corriente de reflujo (114) en reflujo en la cabeza de la columna de fraccionamiento (50).
12. Instalación (10; 160) según la reivindicación 11, **caracterizada porque** comprende medios de
- 30 introducción de la totalidad de la corriente rica en nitrógeno expandido (106) en el primer depósito separador (60).
13. Instalación (140; 180; 190; 200) según la reivindicación 11, **caracterizada porque** comprende un
- segundo depósito separador (142) colocado aguas arriba del primer depósito separador (60), y medios de introducción
- de la corriente rica en nitrógeno expandido (106) en el segundo depósito separador (142), en la que la instalación
- 35 comprende medios de introducción de la corriente de cabeza (144) salida del segundo depósito separador (142) en el primer depósito separador (60) y medios de introducción de al menos una parte de la corriente de pie (148) del segundo depósito separador (142) en reflujo en la cabeza de la columna de fraccionamiento (50).

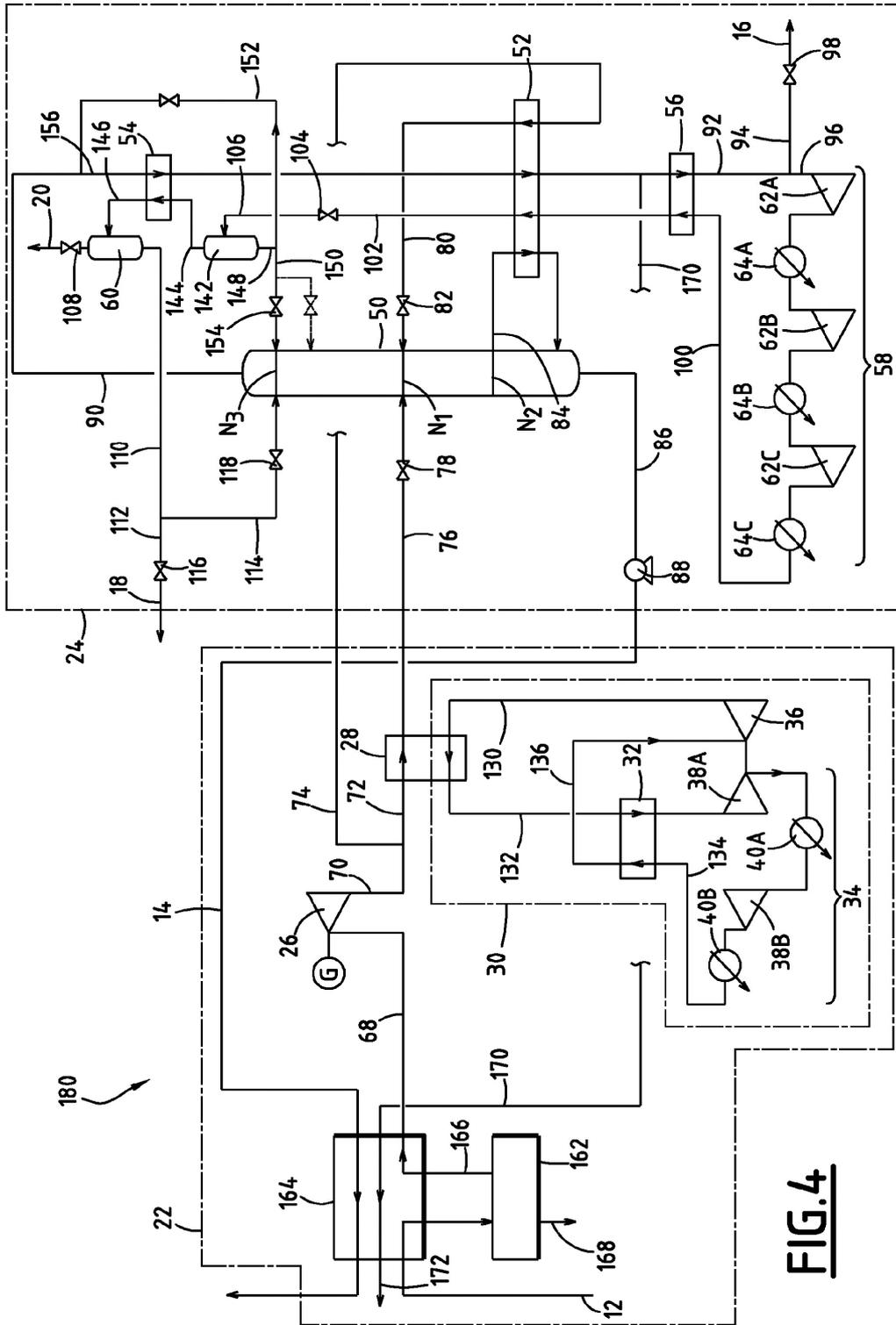




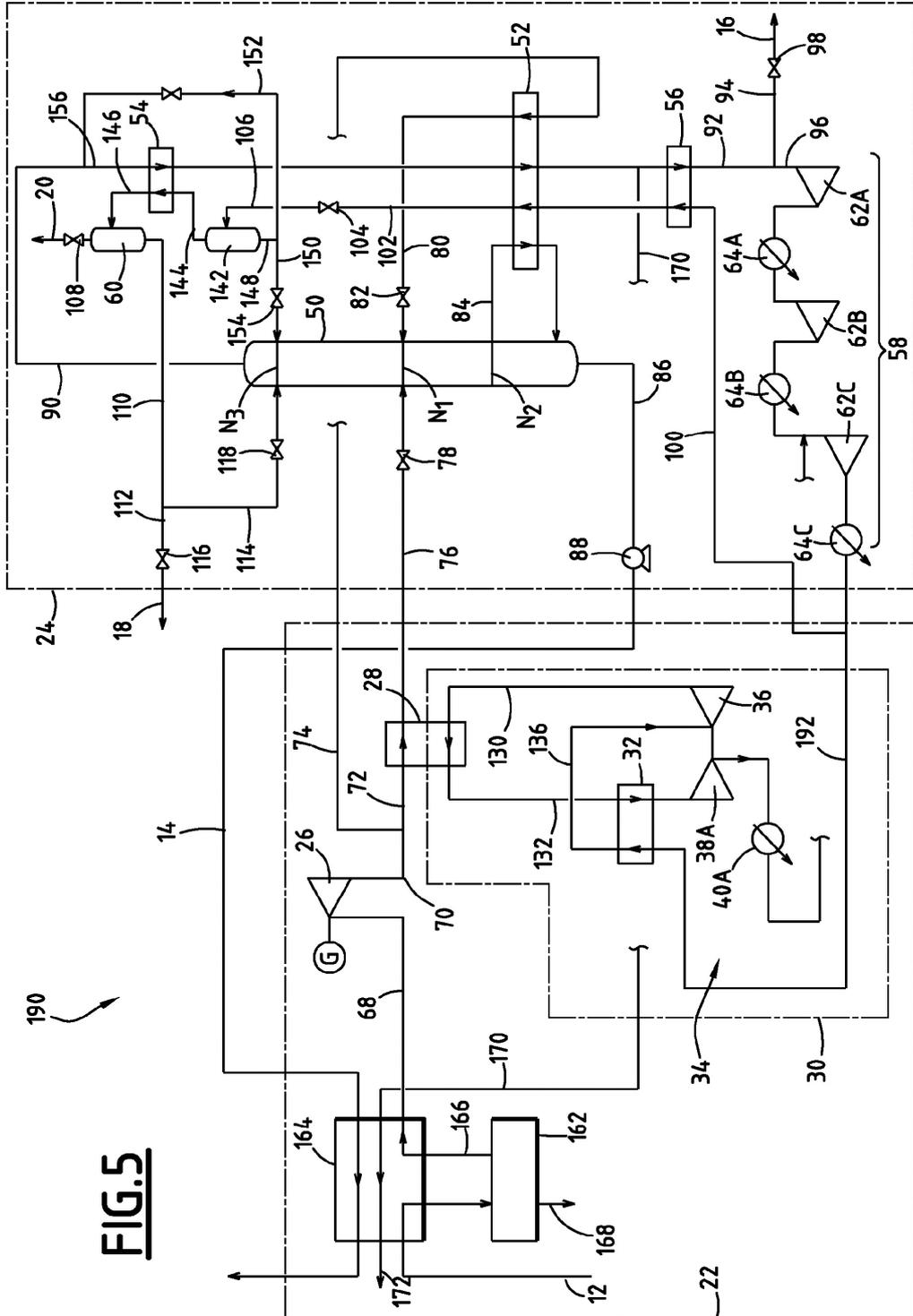
**FIG. 2**



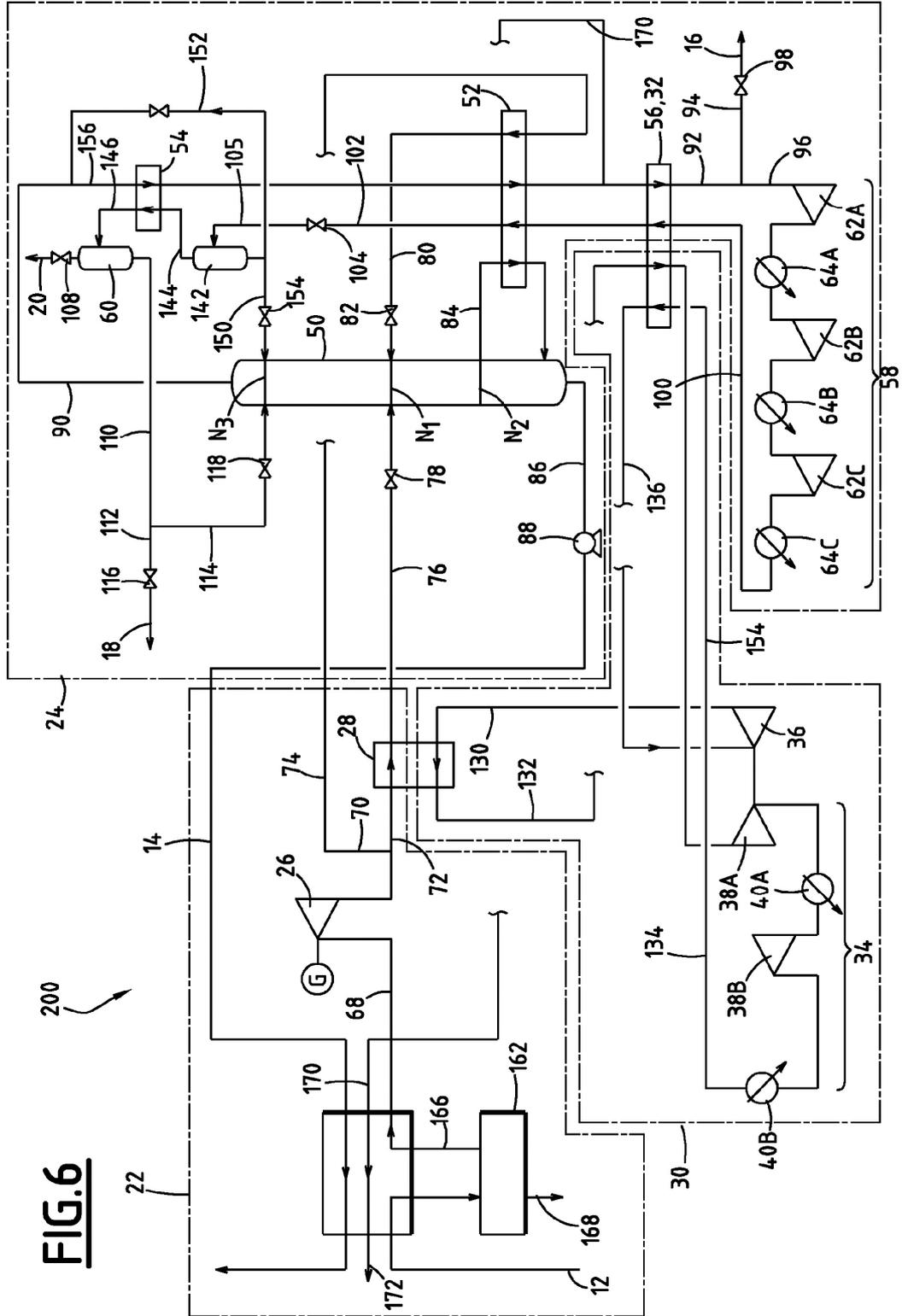
**FIG. 3**



**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**