

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 230**

51 Int. Cl.:

F25J 1/02 (2006.01)

F25J 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.11.2009 PCT/FR2009/052239**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.06.2010 WO10061102**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.11.2009 E 09795481 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019 EP 2368083**

54 Título: **Procedimiento para producir una corriente de gas natural licuado subenfriado a partir de una corriente de alimentación de gas natural e instalación asociada**

30 Prioridad:

25.11.2008 FR 0857996

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

19.03.2020

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:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 749 230 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 para producir una corriente de gas natural licuado subenfriado a partir de una corriente de alimentación de gas natural e instalación asociada

5

[0001] La presente invención se refiere a un procedimiento y una instalación asociada para producir una corriente de gas natural licuado subenfriado a partir de una corriente de alimentación de gas natural, cuyo procedimiento está destinado a formar gas natural subliquificado (GNL) enfriado por debajo de -120 °C.

10 **[0002]** Dicho procedimiento está destinado a implementarse particularmente en las proximidades de los sitios de producción de gas natural, para transformar una gran carga de gas natural en un gas natural licuado de volumen reducido. En particular, el GNL puede cargarse en transportadores de GNL para ser transportados por mar a los hogares para su consumo.

15 **[0003]** Este procedimiento está destinado a implementarse en nuevas unidades de licuefacción de gas natural o en unidades existentes.

[0004] Para licuar una carga de gas natural, es común usar un procedimiento que comprende varios ciclos de refrigeración usando fluidos refrigerantes formados por hidrocarburos C₂⁺.

20

[0005] Un ejemplo de dicho procedimiento, designado por el acrónimo "C3/MR" utiliza dos ciclos de refrigeración, con un primer ciclo de propano y un segundo ciclo que utiliza una mezcla de refrigerantes compuestos de nitrógeno, metano, etano y de propano.

25 **[0006]** Los refrigerantes que circulan en estos ciclos se licúan al menos parcialmente después de la compresión en forma gaseosa, por ejemplo experimentando una expansión estática en una válvula de expansión.

[0007] El líquido así obtenido se coloca en relación de intercambio de calor con la carga a diferentes niveles de temperatura. El refrigerante líquido se evapora por intercambio de calor con la alimentación, proporcionando así frigoríficos para enfriar, licuar y subenfriar la materia prima. Estos ciclos de refrigerante pueden adaptarse termodinámicamente a la carga para obtener rendimientos muy altos.

30

[0008] Sin embargo, estos procedimientos requieren el uso y almacenamiento de refrigerantes en forma líquida, tanto dentro como fuera de la unidad de licuefacción. Por lo tanto, es necesario producir o suministrar en forma líquida, y almacenar al menos temporalmente hidrocarburos como el propano y el etano. Esto requiere precauciones especiales en términos de seguridad y una infraestructura adecuada para evitar accidentes.

35

[0009] Tales métodos, por lo tanto, no son adecuados para entornos con poco espacio disponible y/o limitaciones de seguridad, como en particular las unidades flotantes para la recuperación, almacenamiento y tratamiento de hidrocarburos designados por el acrónimo "FPSO" o las plataformas ubicadas en el mar directamente sobre depósitos submarinos de gas natural.

40

[0010] Por lo tanto, en los últimos dos casos, es necesario transportar el gas natural a una unidad de licuefacción ubicada en el suelo, que no es rentable y que requiere la instalación de una tubería submarina.

45

[0011] Para superar este problema, se conoce del documento US-5.768.912 un procedimiento del tipo mencionado anteriormente que utiliza para el preenfriamiento y la licuefacción de gas natural un primer ciclo de refrigerante mixto convencional, seguido de un segundo ciclo complejo que comprende tres turbinas dinámicas de expansión de gas.

50

[0012] En el segundo ciclo, el fluido refrigerante está formado esencialmente por nitrógeno que permanece gaseoso durante toda su circulación en el ciclo.

[0013] Dicho método permite superar en parte las dificultades asociadas con el transporte, almacenamiento y uso de líquidos y fluidos refrigerantes peligrosos formados por hidrocarburos C₂⁺. También es insensible a los movimientos de la unidad en la que se implementa, especialmente cuando esta unidad está embarcada en un conjunto flotante.

55

[0014] Sin embargo, este método tiene una baja eficiencia termodinámica, lo que hace que su operación sea costosa. Un documento y una instalación según los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 16 respectivamente se conocen del documento US-A-2003/0089125.

60

[0015] Por lo tanto, un objeto de la invención es preenfriar, licuar y enfriar una carga de gas natural de forma segura, en un espacio limitado y potencialmente flotando en un cuerpo de agua, a la vez que es muy económico.

65

[0016] A estos efectos, 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 reivindicaciones 2 a 15.

5

[0018] La invención tiene igualmente como objeto una instalación según la reivindicación 16.

[0019] La instalación según la invención puede comprender una o varias de las características de las reivindicaciones 17 a 20.

10

[0020] La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción que se ofrece a continuación, dada únicamente a modo de ejemplo y realizada en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es un diagrama de bloques funcional de una primera instalación para implementar un primer método de producción según la invención;

15

la figura 2 es una vista similar a la figura 1 de una segunda instalación para implementar un segundo método de producción según la invención;

la figura 3 es una vista similar a la figura 1 de una tercera instalación para implementar un tercer método de producción según la invención;

20

la figura 4 es una vista similar a la figura 1 de una cuarta instalación para implementar un cuarto método de producción según la invención;

la figura 5 es una vista similar a la figura 1 de una quinta instalación para implementar un quinto método de producción según la invención;

25

la figura 6 es una vista similar a la figura 1 de una sexta instalación para implementar un sexto método de producción según la invención;

la figura 7 es una vista similar a la figura 1 de una séptima instalación para implementar un séptimo método de producción según la invención;

la figura 8 es una vista similar a la figura 1 de una octava instalación para implementar un octavo método de producción según la invención;

30

la figura 9 es una vista similar a la figura 1 de una novena instalación para implementar un noveno método de producción según la invención.

[0021] La figura 1 ilustra una primera instalación 10 según la invención, destinada a licuar y subenfriar una corriente 12 de una carga de gas natural obtenida en forma gaseosa para formar una corriente 14 de gas natural licuado (GNL) subenfriado.

35

Esta instalación 10 comprende un primer intercambiador de calor 16 para preenfriar la corriente de alimentación 12 para formar una corriente de alimentación preenfriada 18, un segundo intercambiador de calor 20 para licuar la corriente de alimentación preenfriada 18 para formar una corriente 22 de gas natural licuado y un tercer intercambiador de calor 24 para subenfriar la corriente de gas natural licuado y formar la corriente de GNL subenfriada 14.

40

[0022] La instalación 10 comprende además un primer ciclo de refrigeración 26 destinado a alimentar el primer intercambiador de calor 16, un segundo ciclo de refrigeración 28 destinado a alimentar el segundo intercambiador de calor 20 y un tercer ciclo de refrigeración 30 destinado a alimentar el tercer intercambiador de calor 24.

45

[0023] Los ciclos de refrigeración 26, 28, 30 son ciclos de tipo "Brayton inverso", cada uno de los cuales funciona con un fluido refrigerante sustancialmente gaseoso que experimenta una expansión dinámica.

[0024] Así, el primer ciclo de refrigeración 26 comprende un primer dispositivo de compresión 32 y una primera turbina de expansión dinámica 34.

50

[0025] El primer aparato de compresión 32 comprende, en este ejemplo, varias etapas de compresión, y cada etapa comprende un compresor 36A, 36B, 36C y un refrigerante 38A, 38B, 38C conectado en serie a la salida de un compresor 36A, 36B, 36C.

55

[0026] El último compresor 36C del primer aparato 32 está acoplado en rotación con la primera turbina 34 para ser rotado preferiblemente principalmente por esta turbina 34. Los compresores 36A, 36B son rotados preferiblemente por un motor común.

[0027] El segundo ciclo de refrigeración 28 comprende un segundo aparato de compresión 40, y una segunda turbina de expansión dinámica 42 distinta de la primera turbina 34. Además comprende un segundo intercambiador de ciclo 44.

60

[0028] El segundo aparato de compresión 40 comprende una estructura similar a la del primer aparato de compresión 32. Presenta así, en este ejemplo, varias etapas de compresión, y cada etapa comprende un compresor 46A, 46B, 46C y un refrigerante 48A, 48B, 48C conectado en serie a la salida de un compresor 46A, 46B, 46C.

65

- 5 **[0029]** El último compresor 46C del segundo aparato 40 está acoplado en rotación con la segunda turbina 42 para ser rotado preferiblemente principalmente por esta turbina 42. Los compresores 46A, 46B son rotados preferiblemente por un motor común.
- [0030]** El tercer ciclo de refrigeración 30 comprende un tercer aparato de compresión 50, una tercera turbina de expansión 52 y un tercer intercambiador de ciclo 54.
- 10 **[0031]** El tercer aparato de compresión 50 presente una estructura similar a la del primer aparato de compresión 32. Presenta así, en este ejemplo, varias etapas de compresión, y cada etapa comprende un compresor 56A, 56B, 56C y un refrigerante 58A, 58B, 58C conectado en serie a la salida de un compresor 56A, 56B, 56C.
- [0032]** El último compresor 56C del tercer aparato 50 está acoplado en rotación con la tercera turbina 52 para ser rotado preferiblemente principalmente por esta turbina 52. Los compresores 56A, 56B son rotados preferiblemente
15 por un motor común.
- [0033]** En el ejemplo que se muestra en la figura 1, los tres ciclos de refrigeración 26, 28, 30 son totalmente disjuntos. Cada uno de ellos opera respectivamente con un primer fluido refrigerante, con un segundo fluido refrigerante y con un tercer fluido refrigerante, sin mezcla o intercambio de calor entre estos fluidos.
20
- [0034]** Los compresores respectivos del primer aparato de compresión 26, el segundo aparato de compresión 28 y el tercer aparato de compresión 30 son todos distintos.
- [0035]** Ahora se describirá un primer procedimiento de licuefacción y subenfriamiento según la invención.
25
- [0036]** En lo que sigue, designaremos por una sola referencia una corriente de fluido y la tubería que la transporta. De manera similar, las presiones consideradas son presiones absolutas y, a menos que se indique lo contrario, los porcentajes considerados son porcentajes molares.
- 30 **[0037]** La eficiencia de cada compresor en este ejemplo del 82 % politrópico y la eficiencia de cada turbina es del 86 % adiabática.
- [0038]** La corriente de alimentación 12 es, en este ejemplo, una corriente de gas natural que comprende en moles 4,00 % de nitrógeno, 87,50 % de metano, 5,50 % de etano, 2,10 % de propano, 30 % de hidrocarburos en i-C₄,
35 0,50 % de hidrocarburos n-C₄ y 0,10 % de hidrocarburos en i-C₅. Por lo tanto, esta corriente 12 comprende un contenido molar de hidrocarburo mayor del 80 % y un contenido molar de nitrógeno de entre 0 % y 20 %.
- [0039]** Esta corriente de alimentación tiene una temperatura inferior a 50 °C y, por ejemplo, entre 50 °C y 0 °C, en este ejemplo igual a 35 °C. Tiene una presión superior a 30 bares y, en particular, entre 30 bares y 90 bares,
40 preferiblemente igual a 66,5 bares.
- [0040]** Esta corriente de alimentación 12 es, en este ejemplo, exclusivamente gaseosa. Tiene una fracción líquida inferior al 0,1 % en peso.
- 45 **[0041]** En este ejemplo, la velocidad de alimentación molar a tratar es mayor que 20 kmol/h y es ventajosamente igual a 40.000 kmol/h.
- [0042]** La corriente de alimentación 12 se introduce en el primer intercambiador de calor 16, donde se enfría previamente a una temperatura inferior a -20 °C, en particular igual a -40 °C, por intercambio de calor con una primera corriente de refrigerante 60 formado por el primer fluido refrigerante que circula en el primer ciclo de refrigeración 26.
50
- [0043]** Esta corriente 12 forma, en la salida del primer intercambiador de calor 16, la corriente de alimentación preenfriada 18. Esta corriente de alimentación 18 es esencialmente gaseosa, por lo que tiene una fracción de volumen de líquido inferior al 5 %
55
- [0044]** A continuación, la corriente de alimentación preenfriada 18 se introduce en el segundo intercambiador de calor 20, donde se condensa contra una corriente de una segunda corriente 62 de refrigerante gaseoso formado por el segundo fluido refrigerante que circula en el segundo ciclo de refrigeración 28.
- 60 **[0045]** La corriente 18 forma, a la salida del segundo intercambiador de calor 20, la corriente de GNL 22, que tiene una temperatura inferior a -80 °C, y en particular sustancialmente igual a -90 °C.
- [0046]** Luego, la corriente de GNL 22 se introduce en el tercer intercambiador de calor 24, donde se coloca en una relación de intercambio de calor a contracorriente con una tercera corriente 64 de refrigerante gaseoso formado
65 por el tercer fluido refrigerante que circula en el tercer ciclo 30.

[0047] La corriente 22 forma, a la salida del tercer intercambiador de calor 24, la corriente 14 de GNL subenfriada, que se produce a una temperatura inferior a $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$, y especialmente igual a $-148,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5 **[0048]** La corriente de GNL subenfriada 14 también tiene una presión ligeramente más baja que la presión de la corriente de alimentación 12, por ejemplo, menos del 10 % de la presión de la corriente de alimentación 12 y en este ejemplo igual a 62 bares.

10 **[0049]** En el ejemplo mostrado en la figura 1, el primer ciclo de refrigeración 26 es un ciclo cerrado de tipo Brayton invertido.

[0050] En este ciclo, la primera corriente 66 de refrigerante calentado desde el primer intercambiador de calor 16 forma toda una primera corriente 68 de fluido refrigerante a baja presión, que se inyecta en una entrada del primer compresor 36A del aparato de compresión 32.

15 **[0051]** La primera corriente de refrigerante calentado 66 se transporta al primer aparato de compresión 32 sin pasar a través del segundo intercambiador de calor 20 o el tercer intercambiador de calor 24. No se pone en relación de intercambio de calor con la carga de gas natural entre la salida del primer intercambiador de calor 16 y la entrada del primer dispositivo de compresión 32.

20 **[0052]** La primera corriente de baja presión 68 se comprime sucesivamente en cada compresor 36A, 36B, 36C, al enfriarse en la salida de cada compresor 36A, 36B, 36C mediante un refrigerante 38A, 38B, 38C.

25 **[0053]** El refrigerante se basa en agua o aire disponible en la instalación 10. Por lo tanto, tiene una temperatura de, por ejemplo, entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

[0054] En la salida del primer aparato de compresión 26, la corriente 68 forma una primera corriente 70 de refrigerante comprimido que tiene una presión superior a 60 bares y en particular sustancialmente igual a 75 bares. La corriente 70 tiene una temperatura sustancialmente igual a la de los refrigerantes 38A, 38B, 38C, es decir, 30 aproximadamente $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ en este ejemplo.

[0055] A continuación, la corriente 70 se inyecta en la primera turbina de expansión dinámica 34, donde experimenta una expansión dinámica a una presión de menos de 25 bares, y en particular igual a aproximadamente 17 bares. La corriente 70 forma, en la salida de la turbina de expansión 34, una primera corriente de refrigeración 35 expandida 72 que constituye en su totalidad la primera corriente de refrigerante 60. Esta corriente 60 tiene una temperatura inferior a $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ y, en particular, sustancialmente igual a $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

[0056] La velocidad de flujo de la primera corriente de refrigerante es en este ejemplo sustancialmente igual a 40 59960 kmol/h.

[0057] El primer fluido refrigerante que circula en el primer ciclo de refrigeración 26 es exclusivamente gaseoso. Por lo tanto, comprende un contenido líquido de menos del 1 % en volumen.

45 **[0058]** En una primera realización (caso 1), este fluido está compuesto por más de 90 % en moles de nitrógeno, preferiblemente 100 % en moles de nitrógeno.

[0059] En otra alternativa (Caso 1bis), este fluido se compone de gas natural que comprende preferiblemente más de 70 % de metano, y en particular el metano más del 85 % y más de 5 % de C_2+ hidrocarburos. Este refrigerante está formado ventajosamente por el gas de carga 12.

50 **[0060]** Cuando el dióxido de carbono está disponible en la instalación 10, por ejemplo, al ser producido en la instalación por descarbonización del gas natural crudo, es ventajoso introducir al menos 10 %, ventajosamente al menos 18 %, en el primer fluido refrigerante. En una variante (caso 1ter), el primer fluido refrigerante comprende 55 aproximadamente 20 % de dióxido de carbono.

[0061] En la salida del segundo intercambiador de calor 20, la segunda corriente 62 forma una segunda corriente de refrigerante calentado 76 que se introduce en el intercambiador de calor del segundo ciclo 44 para formar una segunda corriente 78 de refrigerante de baja presión destinada a introducirse en el segundo aparato de compresión 28.

60 **[0062]** La segunda corriente de refrigerante calentado 76 se transporta al primer aparato de compresión 32 sin pasar a través del primer intercambiador de calor 16 o el tercer intercambiador de calor 24. No se pone en relación de intercambio de calor con la carga de gas natural entre la salida del segundo intercambiador de calor 20 y la entrada del segundo dispositivo de compresión 40.

65

- 5 **[0063]** La segunda corriente de baja presión 78 pasa sucesivamente en cada compresor 46A, 46B, 46C y en cada refrigerante 48A, 48B, 48C, para ser comprimida a una presión mayor de 40 bares, por ejemplo igual a aproximadamente 50 bares, después de pasar a través del compresor 46B, luego hasta una presión preferiblemente superior a 60 bares y, por ejemplo, sustancialmente igual a 75 bares después de pasar a través del compresor 46C preferiblemente acoplado a la segunda turbina de expansión 42.
- [0064]** En la salida del refrigerante 48C, se forma una segunda corriente 80 de refrigerante comprimido.
- 10 **[0065]** Esta corriente 80 se enfría en el segundo intercambiador de ciclos 44 contra la corriente de la segunda corriente de refrigerante calentado 76, para formar una segunda corriente comprimida 81 enfriada a una temperatura inferior a -20 °C y en particular igual a aproximadamente -37 °C.
- 15 **[0066]** A continuación, la corriente 81 se introduce en la segunda turbina de expansión 42 para formar una segunda corriente 82 de refrigerante expandido que constituye en su totalidad la segunda corriente de refrigerante 62 introducida en el segundo intercambiador 20.
- [0067]** La presión de la segunda corriente de refrigerante 62 en la entrada del intercambiador 20 es inferior a 32 bares y es en particular igual a aproximadamente 27 bares.
- 20 **[0068]** La temperatura de la segunda corriente de refrigerante 62 en la entrada del intercambiador 20 es inferior a -80 °C y en particular es igual a -92 °C. La velocidad de flujo de la segunda corriente de refrigerante 62 es en este ejemplo sustancialmente igual a 164 850 kmol/h.
- 25 **[0069]** El segundo fluido refrigerante que circula en el segundo ciclo de refrigeración 28 también es exclusivamente gaseoso. Por lo tanto, comprende un contenido líquido de menos del 1 % en volumen.
- [0070]** En un primer modo de realización, el segundo fluido refrigerante que fluye en el segundo ciclo 28 está formado por más del 90 % de nitrógeno, preferiblemente aproximadamente el 100 % de nitrógeno.
- 30 **[0071]** En una variante, este segundo fluido refrigerante está formado por gas natural que contiene más del 70 % de metano y menos del 10 % de nitrógeno.
- [0072]** Después de pasar a través del tercer intercambiador de calor 24, la tercera corriente de refrigerante 64 forma una tercera corriente de refrigerante calentado 86 que se introduce en el intercambiador de calor del tercer ciclo 35 54 para formar una tercera corriente de refrigerante calentado a baja presión 88 a una temperatura ambiente y en particular sustancialmente igual a 34 °C
- 40 **[0073]** La tercera corriente de refrigerante calentado 86 se transporta al tercer aparato de compresión 50 sin pasar a través del primer intercambiador de calor 16 o el segundo intercambiador de calor 20. No se pone en relación de intercambio de calor con la carga de gas natural entre la salida del tercer intercambiador de calor 24 y la entrada del tercer aparato de compresión 50.
- 45 **[0074]** Luego, la tercera corriente de baja presión 88 se introduce sucesivamente en cada compresor 56A, 56B, 56C y en cada refrigerante 58A, 58B, 58C para formar, en la salida del tercer aparato de compresión 30, una tercera corriente de refrigerante de alta presión 90.
- 50 **[0075]** La presión de la corriente 90 a la salida del compresor 56B es preferiblemente mayor que 40 bares. Después de pasar a través del compresor 56C, preferiblemente acoplado a la tercera turbina de expansión 52, esta presión es preferiblemente mayor que 50 bares, y especialmente 70 bares.
- 55 **[0076]** La tercera corriente de alta presión 90 se introduce luego en el tercer intercambiador de ciclo 54 para ser enfriada a contracorriente por la tercera corriente de refrigeración calentado 86 y formar una tercera corriente comprimida 91 enfriada a una temperatura por debajo de -60 °C y en particular igual a aproximadamente -75 °C.
- [0077]** Esta corriente 91 se introduce luego en la tercera turbina de expansión 42, para formar una tercera corriente de refrigeración expandida 92 que constituye en su totalidad la tercera corriente de refrigerante 64 introducida en el tercer intercambiador 24.
- 60 **[0078]** La presión de la tercera corriente de refrigerante 64 en la entrada del intercambiador 24 es inferior a 20 bares y es en particular igual a aproximadamente 13 bares.
- 65 **[0079]** La temperatura de la tercera corriente de refrigerante 64 en la entrada del intercambiador 24 es inferior a -120 °C y en particular es igual a -150 °C. La velocidad de flujo de la tercera corriente de refrigerante 64 es en este ejemplo sustancialmente igual a 79.818 kmol/h.

ES 2 749 230 T3

[0080] En el ejemplo mostrado en la figura 1, el tercer fluido refrigerante que fluye en el tercer ciclo 30 es sustancialmente gaseoso, es decir, comprende menos del 1 % en volumen de líquido.

[0081] El contenido molar de nitrógeno del tercer fluido refrigerante es superior al 90 %, y preferiblemente es del 100 %.

[0082] Los ejemplos de temperatura, presión y flujo másico de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la figura 1 se resumen en las tablas a continuación.

		Corriente	Caso 1	Caso 1bis
Gas natural				
T° Preenfriamiento	C°	18	-40,00	-40,00
T° Licuefacción	C°	22	-90,00	-90,00
T° Subenfriamiento	C°	14	-148,10	-148,10
Ciclo de refrigerante 26				
T° después de la relajación	C°	60	-59,70	-42,30
Baja presión	Bara	68	16,60	18,80
Alta presión	Bara	70	75,00	75,00
Débito	kmoles/h	70	59960	66091
Turbina	kW		43196	41005
Compresor	kW		46288	40610
Contenido de metano	% mol	70	0,00	87,50
Contenido en C2+	% mol	70	0,00	8,50
Contenido de nitrógeno	% mol	70	100,00	4,00
Ciclo de refrigerante 28				
Preenfriamiento	°C	81	-36,85	-27,75
T°C después de la relajación	°C	62	-92,00	-92,00
Baja presión	Bara	78	26,75	22,40
Alta presión	Bara	80	75,00	75,00
Débito	kmoles/h	80	164853	124200
Turbina	kW		61445	45448
Compresor	kW		100891	90299
Contenido de metano	% mol	80	0,00	93,00
Contenido en C2+	% mol	80	0,00	0,50
Contenido de nitrógeno	% mol	80	100,00	6,50
Ciclo de refrigerante 30				
Preenfriamiento	°C	91	-74,95	-74,95
T°C después de la relajación	°C	64	-150,10	-150,10
Baja presión	Bara	88	12,55	12,55
Alta presión	Bara	90	75,00	75,00
Ciclo de refrigerante 30				

ES 2 749 230 T3

(continuación)

Débito	kmoles/h	90	79818	79818
Turbina	kW		34839	34839
Compresor	kW		107177	107177
Contenido de metano	% mol	90	0,00	0,00
Contenido de nitrógeno	% mol	90	100,00	100,00

[0083] El consumo de energía del procedimiento para diferentes tipos de refrigerante se muestra en la tabla 2.

		Caso 1	Cas1bis	Caso 1ter
Ciclo de refrigerante 1	-	N2	GN2	GN2+CO2
Ciclo de refrigerante 2	-	N2	GN1	GN1
Ciclo de refrigerante 3	-	N2	N2	N2
Ciclo de potencia 1	kW	46288	40610	35895
Ciclo de potencia 2	kW	100891	90299	90299
Ciclo de potencia 3	kW	107177	107177	107177
Potencia total	kW	254356	238086	233371

5 **[0084]** Como se puede ver en estas tablas, a pesar de la baja eficiencia energética teórica de los ciclos de refrigeración por expansión de gas, es posible, utilizando al menos tres ciclos de refrigeración 26, 28, 30 con expansión dinámica de gases dispuestos en serie, desde para obtener un rendimiento global muy satisfactorio.

10 **[0085]** La optimización de la naturaleza de los fluidos refrigerantes presentes en cada ciclo de refrigeración 26, 28, 30 permite mejorar aún más la eficiencia de estos ciclos en más de 15 MW o incluso más de 20 MW dependiendo del contenido de refrigerante elegido, lo cual es considerable considerando los caudales del fluido tratado.

15 **[0086]** Una segunda instalación 100 según la invención se muestra en la figura 2. Esta segunda instalación 100 está destinada a la implementación de un segundo método de producción según la invención.

20 **[0087]** El segundo método según la invención difiere del primer método en que la primera corriente de refrigeración expandida 72 de la primera turbina de expansión dinámica 34 se separa en la primera corriente de refrigerante 60 destinada a ser transportada al primer intercambiador 16 y en una primera corriente de enfriamiento auxiliar 102 del segundo ciclo de refrigeración 28.

25 **[0088]** La primera corriente de refrigeración auxiliar 102 tiene una velocidad de flujo molar de entre 0 % y 30 % de la velocidad de flujo molar de la primera corriente de refrigeración expandida 72.

30 **[0089]** La primera corriente de refrigeración auxiliar 102 se introduce en el segundo intercambiador de ciclos 44 del segundo ciclo de refrigeración 28 para enfriar a contracorriente la segunda corriente de refrigerante de alta presión 80 antes de que pase a través de la segunda turbina de expansión 42.

35 **[0090]** En la salida del intercambiador de calor del segundo ciclo 44, la corriente 102 se mezcla con la primera corriente refrigerante calentado 66 para formar la primera corriente calentado a baja presión 68.

[0091] En este ejemplo, el primer fluido refrigerante y el segundo fluido refrigerante permanecen totalmente separados y no se mezclan entre sí, especialmente en el intercambiador de segundo ciclo 44.

[0092] Diversos ejemplos de temperatura y flujo másico de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la figura 2 se resumen en las tablas a continuación.

ES 2 749 230 T3

		Corriente	Caso 2
Gas natural			
T° Preenfriamiento	°C	18	-40,00
T Licuefacción	°C	22	-90,00
T° Subenfriamiento	°C	14	-148,10
Ciclo de refrigerante 26			
T°C después de la relajación	°C	72, 60, 102	-42,30
Baja presión	Bara	68	18,80
Alta presión	Bara	70	75,00
Débito	kmoles/h	70	81091
Turbina	kW		50312
Compresor	kW		50232
Contenido de metano	% mol	70	87,50
Contenido en C2+	% mol	70	8,50
Contenido de nitrógeno	% mol	70	4,00
Ciclo de refrigerante 28			
Preenfriamiento	°C	81	-33,90
T°C después de la relajación	°C	62	-92,00
Baja presión	Bara	78	25,15
Alta presión	Bara	80	75,00
Débito	kmoles/h	80	118107
Turbina	kW		37040
Compresor	kW		78811
Contenido de metano	% mol	80	93,00
Contenido en C2+	% mol	80	0,50
Contenido de nitrógeno	% mol	80	6,50
Ciclo de refrigerante 30			
Preenfriamiento	°C	91	-74,00
T°C después de la relajación	°C	64	-150,30
Baja presión	Bara	88	12,20
Alta presión	Bara	90	75,00
Débito	kmoles/h	90	78441
Turbina	kW		34640
Compresor	kW		107121
Contenido de metano	% mol	90	3,00
Contenido de nitrógeno	% mol	90	97,00

[0093] Como se ilustra en la tabla a continuación, se obtiene una ganancia de 1,8 MW en comparación con el procedimiento de la figura 1 con composición de fluido refrigerante constante.

ES 2 749 230 T3

		Procedimiento según la figura 1	Procedimiento según la figura 2
Ciclo de potencia 26	kW	40610	50232
Ciclo de potencia 28	kW	90299	78811
Total de 2 ciclos	kW	130909	129043

[0094] Una tercera instalación 110 según la invención se muestra en la figura 3. Esta tercera instalación 110 está destinada a la implementación de un tercer método de producción según la invención.

5

[0095] El tercer método según la invención difiere del primer método descrito en la figura 1 en que la segunda corriente de refrigerante expandido 82 se separa en la segunda corriente de refrigeración 62 destinada a introducirse en el segundo intercambiador de calor 20 y en una segunda corriente refrigeración auxiliar 112 para suministrar refrigerantes al tercer ciclo de refrigeración 30.

10

[0096] El caudal molar de la segunda corriente de refrigeración auxiliar 112 es inferior al 25 % del caudal molar de la segunda corriente de refrigeración expandida 82 desde la segunda turbina de expansión 42.

[0097] Esta segunda corriente de refrigeración auxiliar 112 se introduce en el tercer intercambiador de ciclo 54 para enfriar a contracorriente la tercera corriente de refrigeración de alta presión 90, antes de su introducción en la tercera turbina de expansión 52.

[0098] La corriente 112, después de pasar a través del tercer intercambiador 54, se mezcla con la segunda corriente de refrigerante calentado 76, antes de introducirse en el segundo intercambiador de ciclo 44 para formar en la salida de este intercambiador 44 la segunda corriente de bajo refrigerante presión 78.

[0099] En las tablas anteriores se resumen ejemplos de temperatura, presión y flujo molar de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la figura 3.

		Corriente	Caso 3
Gas natural			
T° Preenfriamiento	°C	18	-40,00
T Licuefacción	°C	22	-90,00
T° Subenfriamiento	°C	14	-148,10
Ciclo de refrigerante 26			
T°C después de la relajación	°C	60	-43,00
Baja presión	Bara	68	18,50
Alta presión	Bara	70	75,00
Débito	kmoles/h	70	63288
Turbina	kW		39657
Compresor	kW		39951
Contenido de metano	% mol	70	87,50
Contenido en C ₂ ⁺	% mol	70	8,50
Contenido de nitrógeno	% mol	70	4,00
Ciclo de refrigerante 28			
Preenfriamiento	°C	81	-27,65
T°C después de la relajación	°C	62, 82, 112	-92,00
Baja presión	Bara	78	22,35

ES 2 749 230 T3

(continuación)

Alta presión	Bara	80	75,00
Débito	kmoles/h	80	139232
Turbina	kW		51081
Compresor	kW		101456
Contenido de metano	% mol	80	93,00
Contenido en C ₂ ⁺	% mol	80	0,50
Contenido de nitrógeno	% mol	80	6,50
Ciclo de refrigerante 30			
Preenfriamiento	°C	91	-83,75
Ciclo de refrigerante 30			
T°C después de la relajación	°C	64	-150,10
Baja presión	Bara	88	15,25
Alta presión	Bara	90	75,00
Débito	kmoles/h	90	74474
Turbina	kW		26942
Compresor	kW		89667
Contenido de metano	% mol	90	3,00
Contenido de nitrógeno	% mol	90	97,00

[0100] El consumo de energía se da en la tabla a continuación. Con esta disposición se obtiene una ganancia de rendimiento de aproximadamente 6,5 MW.

		Procedimiento según la figura 1	Procedimiento según la figura 3
Ciclo de potencia 28	kW	90299	101456
Ciclo de potencia 30	kW	107121	89667
Total de 2 ciclos	kW	197420	191123

5

[0101] Una cuarta instalación 120 según la invención se muestra en la figura 4. A diferencia de la segunda instalación 100, la segunda corriente de refrigeración expandida 82 se divide en la segunda corriente de refrigeración 62 y la segunda corriente de refrigeración auxiliar 112 del tercer ciclo 30, como en la realización de la figura 3.

10 **[0102]** Diversos ejemplos de temperatura y flujo másico de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la figura 4 se resumen en las tablas a continuación.

		Corriente	Caso 4
Gas natural			
T° Preenfriamiento	°C	18	-40,00
T Licuefacción	°C	22	-90,00
T° Subenfriamiento	°C	14	-148,10
Ciclo de refrigerante 26			
T°C después de la relajación	°C	60, 72, 102	-42,30
Baja presión	Bara	68	18,80

ES 2 749 230 T3

(continuación)

Alta presión	Bara	70	75,00
Débito	kmoles/h	70	81091
Turbina	kW		50312
Compresor	kW		50237
Contenido de metano	% mol	70	87,50
Contenido en C ₂ ⁺	% mol	70	8,50
Contenido de nitrógeno	% mol	70	4,00
Ciclo de refrigerante 28			
Preenfriamiento	°C	81	-33,05
Ciclo de refrigerante 28			
T°C después de la relajación	°C	62, 82, 112	-92,00
Baja presión	Bara	78	24,75
Alta presión	Bara	80	75,00
Débito	kmoles/h	80	133974
Turbina	kW		42973
Compresor	kW		90525
Contenido de metano	% mol	80	93,00
Contenido en C ₂ ⁺	% mol	80	0,50
Contenido de nitrógeno	% mol	80	6,50
Ciclo de refrigerante 30			
Preenfriamiento	°C	91	-84,10
T°C después de la relajación	°C	64	-150,10
Baja presión	Bara	88	15,35
Alta presión	Bara	90	75,00
Débito	kmoles/h	90	74147
Turbina	kW		26633
Compresor	kW		88877
Contenido de metano	% mol	90	3,00
Contenido de nitrógeno	% mol	90	97,00

[0103] El consumo de energía de este procedimiento es de aproximadamente 8,5 MW menos en comparación con el procedimiento de la figura 1.

5 **[0104]** Una quinta instalación 130 según la invención se muestra en la figura 5.

[0105] La quinta instalación 130 según la invención difiere de la primera instalación 10 en que comprende un tanque de separación 132 de una parte de la corriente de alimentación preenfriada 18, una turbina de expansión de gas 134, conectada a una parte globo superior 132 y una válvula de expansión estática 136, conectada a una parte inferior del globo 132.

[0106] El quinto método según la invención difiere del primer método según la invención en que la corriente de alimentación preenfriada 18 se separa a la salida del primer intercambiador de calor 16, en una corriente principal de alimentación preenfriada 138 y en una corriente de alimentación preenfriada corriente auxiliar 140 de alimentación preenfriada.

ES 2 749 230 T3

[0107] La corriente 138 de alimentación principal preenfriada se envía al segundo intercambiador de calor 20 para formar una corriente 22 de GNL a alta presión y luego, después de pasar a través del tercer intercambiador 24, una corriente 14 de GNL a alta presión subenfriada a una presión más alta. a 30 bares y en particular aproximadamente 5 igual a 62 bares.

[0108] La corriente auxiliar de alimentación preenfriada 140 se introduce en el tanque separador 132. La fracción de vapor 142 del tanque separador 132 se introduce en la turbina de gas de expansión 134 para expandirse a una presión al menos 5 bares inferior a la presión inicial, y en particular sustancialmente igual a 40 bares.

10

[0109] La fracción líquida 144 se introduce en la válvula de expansión estática 136 para expandirse a una presión sustancialmente idéntica a la de la salida de la turbina de expansión y, en particular, sustancialmente igual a 40 bares.

15 **[0110]** Las fracciones 144, 142, después de sus respectivos retenes, se unen y luego se introducen en el segundo intercambiador de calor 20. Forman, en la salida del segundo intercambiador 20, una corriente auxiliar de GNL a baja presión 146 que se subenfriaba en el tercer intercambiador de calor 24 para formar una corriente auxiliar subenfriada 148 de GNL. La temperatura de la corriente auxiliar 148 es sustancialmente igual a la de la corriente principal 14.

20

[0111] Por lo tanto, el método entrega dos corrientes de GNL subenfriadas 14, 148 a diferentes presiones diferentes de al menos 5 bares.

25 **[0112]** Diversos ejemplos de temperatura y flujo másico de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la figura 5 se resumen en las tablas a continuación.

		Corriente	Figura 5
Gas natural			
T° Preenfriamiento	°C	18	-40,00
T Licuefacción	°C	22	-94,00
T° Subenfriamiento	°C	14	-148,10
Ciclo de refrigerante 26			
T°C después de la relajación	°C	60	-42,30
Baja presión	Bara	68	18,80
Alta presión	Bara	70	75,00
Débito	kmoles/h	70	83141
Turbina	kW		51584
Compresor	kW		51499
Contenido de metano	% mol	70	87,50
Contenido en C ₂ ⁺	% mol	70	8,50
Contenido de nitrógeno	% mol	70	4,00
Ciclo de refrigerante 28			
Preenfriamiento	°C	81	-34,10
T°C después de la relajación	°C	62	-96,00
Baja presión	Bara	78	23,15
Alta presión	Bara	80	75,00
Débito	kmoles/h	80	137986
Turbina	kW		46005

ES 2 749 230 T3

(continuación)

Compresor	kW		100381
Contenido de metano	% mol	80	93,00
Contenido en C ₂ ⁺	% mol	80	0,50
Contenido de nitrógeno	% mol	80	6,50
Ciclo de refrigerante 30			
Preenfriamiento	°C	91	-92,85
T°C después de la relajación	°C	64	-150,10
Baja presión	Bara	88	18,50
Alta presión	Bara	90	75,00
Débito	kmoles/h	90	69200
Turbina	kW		20207
Compresor	kW		74057
Contenido de metano	% mol	90	3,00
Contenido de nitrógeno	% mol	90	97,00

[0113] [0113] El consumo de energía se da en la tabla a continuación. Se obtiene una ganancia de más de 1 MW en comparación con el procedimiento de la figura 4, sin contar los 600 kW de electricidad producidos por la turbina 5 134.

		Procedimiento según la figura 4	Procedimiento según la figura 5
Ciclo de potencia 26	kW	50237	46470
Ciclo de potencia 28	kW	90525	92740
Ciclo de potencia 30	kW	88877	89310
Total	kW	229639	228520

[0114] Una sexta instalación 150 según la invención se muestra en la figura 6. Esta sexta instalación está destinada a la implementación de un sexto método de producción según la invención. 10

[0115] La sexta instalación 150 difiere de la segunda instalación 100 en que el tercer ciclo de refrigeración 30 es un ciclo de tipo "Brayton invertido indirecto" que incluye una turbina de expansión líquida 152.

[0116] El sexto método según la invención difiere del segundo método según la invención en que la tercera corriente de refrigerante comprimido 90 se separa, antes de pasar a través del tercer intercambiador de ciclo 54, en una corriente 154 para formar la tercera corriente de refrigerante. 66 y una corriente gaseosa 156 para enfriar la corriente de formación 154. 15

[0117] La corriente de formación 154 forma una fracción molar de menos del 50 % de la corriente de refrigerante comprimido 90. 20

[0118] La corriente 154 se introduce en el intercambiador de calor del tercer ciclo 54 y luego en el tercer intercambiador de calor 24 para licuarse sustancialmente por completo para producir una corriente líquida 158 de refrigerante a alta presión. 25

[0119] La fracción de volumen de líquido en la corriente de líquido 158 es mayor del 99 %. Esta corriente 158 se introduce en la turbina de expansión líquida 152 a una presión superior a 50 bares sustancialmente igual a 73 bares y a una temperatura sustancialmente igual a la temperatura del GNL bajo enfriamiento.

[0120] La corriente 158 forma, después de pasar a través de la turbina de expansión líquida 152, la tercera corriente de refrigerante cuya fracción vaporizada no supera el 10 % en masa. 30

ES 2 749 230 T3

[0121] Esta corriente 64 se coloca en relación de intercambio de calor con la corriente de GNL 22 y con la corriente 154 del tercer intercambiador de ciclo 54 en el tercer intercambiador de calor 24.

[0122] La tercera corriente de refrigerante principalmente líquido 64 se vaporiza sustancialmente por completo en el tercer intercambiador de calor 24, de modo que su fracción de volumen en volumen del líquido en la salida del tercer intercambiador de calor 24 es inferior al 1 % para formar la tercera corriente de refrigerante gaseoso calentado 86.

[0123] La corriente gaseosa 156 se introduce en el intercambiador de calor del tercer ciclo 54 para formar la tercera corriente enfriada 91 enfriada, y luego se expande dinámicamente en la tercera turbina de expansión dinámica 52 para formar una corriente 92 de gas refrigerante expandido enfriado.

[0124] La temperatura de la corriente 92 es preferiblemente inferior a -100 °C y es, en particular, igual a -118 °C. Su presión es preferiblemente inferior a 20 bares, y en particular es igual a aproximadamente 14 bares.

[0125] Las corrientes 66, 92 se mezclan antes de introducirlas en el intercambiador 54 para enfriar a contracorriente la corriente de formación 154 que se licuará y la corriente de refrigeración 156.

[0126] Esta mezcla 161 forma, en la salida del tercer intercambiador de ciclo 54, la tercera corriente de refrigerante de baja presión 88.

[0127] Por lo tanto, la corriente de formación 154 y, en consecuencia, la tercera corriente de refrigerante 64 se obtienen al menos en parte a partir de la corriente gaseosa expandida 92 a partir de la expansión dinámica en la tercera turbina de expansión 52.

[0128] Además, los frigoríficos necesarios para la licuefacción de la corriente de formación 154 son suministrados principalmente por la corriente gaseosa expandida 92. Se forma un ciclo de refrigeración Brayton invertido con un refrigerante gaseoso entre la turbina 52, la corriente 92, la corriente 161, la corriente 88, el tercer compresor 50, la corriente 90, la corriente 156 y la corriente 91.

[0129] Diversos ejemplos de temperatura y flujo másico de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la figura 6 se resumen en las tablas a continuación.

		Corriente	Caso 6
Gas natural			
T° Preenfriamiento	°C	18	-40,00
T Licuefacción	°C	22	-110,00
T° Subenfriamiento	°C	14	-148,10
Ciclo de refrigerante 26			
T°C después de la relajación	°C	60	-45,30
Baja presión	Bara	68	17,40
Alta presión	Bara	70	75,00
Débito	kmoles/h	70	96500
Turbina	kW		62735
Compresor	kW		62366
Contenido de metano	% mol	70	87,50
Contenido en C ₂ ⁺	% mol	70	8,50
Contenido de nitrógeno	% mol	70	4,00
Ciclo de refrigerante 28			
Preenfriamiento	°C	81	-40,00
T°C después de la relajación	°C	62	-113,10

ES 2 749 230 T3

(continuación)

Baja presión	Bara	78	17,60
Alta presión	Bara	80	75,00
Débito	kmoles/h	80	102000
Turbina	kW		38693
Compresor	kW		95067
Contenido de metano	% mol	80	90,00
Contenido en C ₂ ⁺	% mol	80	0,00
Contenido de nitrógeno	% mol	80	10,00
Ciclo de refrigerante 30			
Preenfriamiento	°C	91	-110,00
T°C después de la relajación	°C	92	-150,20
T tras licuefacción	°C	158	-148.1
T después de expansión líquida	°C	64	-150.2
Baja presión	Bara	88	13,50
Alta presión	Bara	90	75,00
Débito	kmoles/h	90	52000
Turbina	kW		16696
Compresor	kW		68771
Contenido de metano	% mol	90	60,00
Contenido de nitrógeno	% mol	90	40,00

[0130] El consumo de energía de este procedimiento es de 226 MW.

[0131] Una séptima instalación según la invención 170 se muestra en la figura 7. Esta instalación 170 está destinada a la implementación de un séptimo método de producción según la invención.

[0132] La instalación 170 difiere de la tercera instalación 110 mostrada en la figura 3 en que los compresores 36C, 46C conectados respectivamente a la primera turbina de expansión dinámica 34 y a la segunda turbina de expansión dinámica 42 están formados cada uno por dos etapas de compresión de la misma potencia, estando separadas las etapas por un refrigerante intermedio 172 que enfría el gas a una temperatura ventajosamente inferior a 40 °C y, por ejemplo, sustancialmente igual a 36 °C.

[0133] Además, el séptimo método según la invención difiere del tercer método según la invención en que la segunda corriente de refrigeración auxiliar 112, después de pasar a través del tercer intercambiador de ciclo 54, se mezcla con la segunda corriente de refrigerante calentado 76, después del paso de esta corriente 76 en el intercambiador de segundo ciclo 44. Por lo tanto, la segunda corriente de refrigeración auxiliar 112 no pasa a través del segundo intercambiador de ciclos 44.

[0134] Los ejemplos de temperatura, presión y flujo másico de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la figura 7 para diferentes temperaturas a la salida de los intercambiadores 16, 20, 24 se resumen en la tabla a continuación

		Corriente	Caso 7-1	Caso 7-2	Caso 7-3
Gas natural					
T° Preenfriamiento	°C	18	-40,00	-35,50	-31,00
T Licuefacción	°C	22	-90,00	-98,50	-107,00
T° Subenfriamiento	°C	14	-148,10	-148,10	-148,10

ES 2 749 230 T3

(continuación)

Ciclo de refrigerante 26					
T°C después de la relajación	°C	60	-45,60	-42,30	-36,15
Baja presión	Bara	68	17,30	18,80	21,90
Alta presión	Bara	70	75,00	75,00	75,00
Débito	kmoles/h	70	111100	81940	98260
Turbina	kW		72490	50840	55100
Compresor	kW		71900	49510	50830
Contenido de metano	% mol	70	87,50	87,50	87,50
Contenido en C ₂ ⁺	% mol	70	8,50	8,50	8,50
Contenido de nitrógeno	% mol	70	4,00	4,00	4,00
Ciclo de refrigerante 28					
Preenfriamiento	°C	81	-40,00	-31,00	-31,00
T°C después de la relajación	°C	62	-93,10	-101,00	-108,00
Baja presión	Bara	78	27,50	19,50	16,50
Alta presión	Bara	80	75,00	75,00	75,00
Débito	kmoles/h	80	123700	124400	120200
Turbina	kW		33320	48260	51410
Compresor	kW		75900	103200	113700
Contenido de metano	% mol	80	93,00	93,00	93,00
Contenido en C ₂ ⁺	% mol	80	0,50	0,50	0,50
Contenido de nitrógeno	% mol	80	6,50	6,50	6,50
Ciclo de refrigerante 30					
Preenfriamiento	°C	91	-90,00	-96,00	-100,00
T°C después de la relajación	°C	64	-150,20	-149,7	-151,60
Baja presión	Bara	88	17,40	20,00	20,50
Alta presión	Bara	90	75,00	75,00	75,00
Débito	kmoles/h	90	70370	67200	57300
Turbina	kW		22080	17920	14120
Compresor	kW		76390	67020	57020
Ciclo de refrigerante 30					
Contenido de metano	% mol	90	3,00	3,00	3,00
Contenido de nitrógeno	% mol	90	97,00	97,00	97,00

[0135] Los consumos energéticos de estos procedimientos se indican en la siguiente tabla:

		Caso 7-1	Caso 7-2	Caso 7-3
Total compresión	kW	224190	219730	221550

5 **[0136]** En una variante (caso 7-4), cuando el dióxido de carbono está disponible en la instalación 10, por ejemplo, al ser producido en la instalación por descarbonización del gas natural crudo, es ventajoso introducir al menos

ES 2 749 230 T3

10 %, ventajosamente al menos 18 %, en el primer fluido refrigerante En una variante del caso 7 -2, el primer fluido refrigerante comprende aproximadamente 20 % de dióxido de carbono. El contenido de CO₂ debe limitarse a menos del 50 % en moles para evitar la cristalización de CO₂ en la turbina de expansión.

- 5 **[0137]** El consumo de energía del primer ciclo 26 de esta última variante se da en la tabla a continuación en comparación con el caso 7-2 anterior. La presencia de dióxido de carbono mejora en gran medida el rendimiento.

Ciclo 26		Caso 7-2	Caso 7-4
Contenido de N ₂ del refrigerante 1	% mol	4,0	3,2
Contenido de C ₁ del refrigerante 1	% mol	87,5	70
Contenido de C ₂₊ del refrigerante 1	% mol	8,5	6,8
Contenido de CO ₂ del refrigerante 1	% mol	0,0	20
Potencia de los compresores K1 y K2	kW	50840	46610

- 10 **[0138]** Una octava instalación según la invención 180 se muestra en la figura 8. Esta octava instalación está destinada a la implementación de un octavo método de producción según la invención.

- 15 **[0139]** Esta instalación 180 difiere de la tercera instalación 110 en que al menos un primer compresor 182 es común al primer aparato de compresión 32 y al segundo aparato de compresión 40 para comprimir simultáneamente el primer fluido refrigerante que circula en el primer ciclo de refrigeración 26, y el segundo fluido refrigerante que circula en el segundo ciclo de refrigeración 28, estos fluidos se mezclan antes de pasar al primer compresor común 182.

[0140] La instalación 180 comprende además un refrigerante común 184 colocado en la salida del compresor común 182.

- 20 **[0141]** El primer dispositivo de compresión 32 comprende así el compresor 182 común a los dos dispositivos 32, 40 y el compresor 36C acoplado a la primera turbina de expansión 34.

- 25 **[0142]** El segundo aparato de compresión 40 comprende, aguas arriba del compresor común 182, un compresor 46A, y aguas abajo del compresor común 182, el compresor 46C preferiblemente acoplado a la segunda turbina de expansión 42.

[0143] En el octavo método, la segunda corriente de baja presión 78 del segundo intercambiador de ciclos 44 se introduce en el primer compresor 46A del segundo aparato de compresión 40.

- 30 **[0144]** A la salida del compresor 46A, esta corriente 78 se mezcla con la primera corriente de baja presión 68 para formar una corriente de mezcla de presión intermedia 186 mayor que 20 bares y menor que 30 bares.

- 35 **[0145]** La corriente de mezcla de presión intermedia 186 se introduce luego en el compresor común 182 para formar una corriente de mezcla de presión media 188 después de pasar a través del refrigerante común 184.

[0146] Esta corriente 188 tiene una presión mayor que 35 bares y menor que 50 bares.

- 40 **[0147]** La corriente 188 se divide luego en una primera corriente intermedia 189A de refrigerante que se transporta en el compresor 36C preferiblemente acoplado a la primera turbina de expansión 34, para formar la primera corriente de refrigerante comprimido 70, y una segunda corriente intermedia 189B de refrigerante que se introduce en el compresor 46C del segundo aparato de compresión 40 preferiblemente acoplado a la segunda turbina de expansión 42, para formar la segunda corriente de refrigerante comprimido 82.

- 45 **[0148]** En las tablas anteriores se resumen ejemplos de temperatura y flujo molar de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la figura 8.

		Corriente	Caso 8
Gas natural			
T° Preenfriamiento	°C	18	-30,00
T Licuefacción	°C	22	-120,00
T° Subenfriamiento	°C	14	-148,10

ES 2 749 230 T3

(continuación)

Ciclo de refrigerante 26			
T°C después de la relajación	°C	60	-35,00
Baja presión	Bara	68	24,00
Alta presión	Bara	70	76,50
Débito	kmoles/h	70	98000
Turbina	kW		53726
Contenido de metano	% mol	70	90,00
Contenido en C ₂ +	% mol	70	0,00
Contenido de nitrógeno	% mol	70	10,00
Ciclo de refrigerante 28			
Preenfriamiento	°C	81	-30,50
T°C después de la relajación	°C	62	-123,20
Baja presión	Bara	78	11,00
Alta presión	Bara	80	75,00
Débito	kmoles/h	80	108000
Turbina	kW		57275
Compresores ciclos 26 +28	kW		183.545
Contenido de metano	% mol	80	90,00
Contenido en C ₂ +	% mol	80	0,00
Contenido de nitrógeno	% mol	80	10,00
Ciclo de refrigerante 30			
Preenfriamiento	°C	91	-98,60
T°C después de la relajación	°C	64	-163,10
Baja presión	Bara	88	14,00
Alta presión	Bara	90	75,00
Débito	kmoles/h	90	42000
Turbina	kW		13198
Compresor	kW		56818
Contenido de metano	% mol	90	0,00
Contenido de nitrógeno	% mol	90	100,00

[0149] Este procedimiento y la instalación 180 correspondiente son particularmente compactos.

[0150] Una novena instalación 190 según la invención se muestra en la figura 9. La instalación 190 está destinada a la implementación de un noveno método de producción según la invención.

[0151] A diferencia de la octava instalación 180, el primer compresor común 182 al primer aparato de compresión 32 y el segundo aparato de compresión 40 también es común al tercer aparato de compresión 50.

10 **[0152]** Además, el compresor de baja presión 192 del segundo aparato de compresión 40 es común al tercer aparato de compresión 50. El refrigerante de baja presión 194 colocado en la salida del compresor 192 también es común al segundo aparato de compresión 40 y al tercer aparato de compresión 50.

[0153] Así, el tercer aparato de compresión 50 comprende sucesivamente el compresor de baja presión 192,

ES 2 749 230 T3

común al segundo aparato de compresión 40 y al tercer aparato de compresión 50, el compresor 182 común a los tres compresores 32, 40, 50 y el compresor 56C preferiblemente acoplado a la tercera turbina de expansión 52.

5 **[0154]** En el noveno método según la invención, la segunda corriente de refrigerante de baja presión 78 y la tercera corriente de refrigerante de baja presión 88, respectivamente desde el intercambiador de calor del segundo ciclo 44 y el intercambiador de calor del tercer ciclo 54, se mezclan entre sí. otro para formar una corriente de mezcla a baja presión 196.

10 **[0155]** La corriente de mezcla de baja presión 196 se introduce en el compresor 192 común al segundo aparato 40 y al tercer aparato 50 y luego al refrigerante común 194.

[0156] Luego se mezcla con la primera corriente de refrigerante de baja presión 68 para formar la corriente de mezcla 186 introducida en el primer compresor común 182.

15 **[0157]** La corriente de mezcla de presión media 188 del refrigerante común 184 se divide luego en la primera corriente intermedia 189A, la segunda corriente intermedia 189B y una tercera corriente intermedia 198 que se introduce en el compresor 56C preferiblemente acoplado a la tercera turbina. el retén 52 para formar la tercera corriente de refrigerante comprimido 90.

20 **[0158]** En las tablas anteriores se resumen ejemplos de temperatura y flujo molar de las diferentes corrientes ilustradas en el procedimiento de la figura 9.

		Corriente	Caso 9
Gas natural			
T° Preenfriamiento	°C	18	-31,00
T Licuefacción	°C	22	-107,00
T° Subenfriamiento	°C	14	-148,10
Ciclo de refrigerante 26			
T°C después de la relajación	°C	60	-36,60
Baja presión	Bara	68	25,20
Alta presión	Bara	70	74,10
Débito	kmoles/h	70	96000
Turbina	kW		52750
Compresor	kW		-
Contenido de metano	% mol	70	0,00
Contenido en C ₂ ⁺	% mol	70	0,00
Contenido de nitrógeno	% mol	70	100,00
Ciclo de refrigerante 28			
Preenfriamiento	°C	81	-30,00
T°C después de la relajación	°C	62	-109,50
Baja presión	Bara	78	15,60
Alta presión	Bara	80	73,70
Débito	kmoles/h	80	155500
Turbina	kW		84538
Compresor	kW		-
Ciclo de refrigerante 28			
Contenido de metano	% mol	80	0,00

ES 2 749 230 T3

(continuación)

Contenido en C ₂ ⁺	% mol	80	0,00
Contenido de nitrógeno	% mol	80	100,00
Ciclo de refrigerante 30			
Preenfriamiento	°C	91	-105,00
T°C después de la relajación	°C	64	-153,40
Baja presión	Bara	88	15,60
Alta presión	Bara	90	54,20
Débito	kmoles/h	90	61500
Turbina	kW		15615
Compresores ciclos 26 + 28 + 30	kW		252952
Contenido de metano	% mol	90	0,00
Contenido de nitrógeno	% mol	90	100,00

[0159] De manera similar, la disposición descrita en la quinta instalación 130 según la cual la corriente de alimentación preenfriada 18 se separa para introducirse en parte en un globo 132, se puede disponer en cualquiera de las instalaciones 10, 100, 110, 120, 150, 170, 180, 190 descritos anteriormente.

5

[0160] Las instalaciones según la invención, descritas anteriormente, están dispuestas en el suelo, o ventajosamente en una estructura flotante o en una estructura fijada en la superficie de un cuerpo de agua, como una plataforma o una unidad de recuperación flotante almacenamiento y procesamiento de hidrocarburos designados por el acrónimo inglés "FPSO".

10

[0161] Los intercambiadores de calor 16, 20, 22 en los que la corriente de alimentación 12, la corriente de alimentación preenfriada 18, la corriente de gas natural licuado 22 y la corriente de GNL subenfriada 14 fluyen en las instalaciones 10, 100, 110, 120, 130, 150, 170, 180 y 190, son preferiblemente tubos y calendario que tienen secciones de tubo recto (tipo convencional) o enrollado helicoidalmente (tipo de herida). Estos intercambiadores están

15

atravesados por corrientes de gas natural que pueden contener impurezas que pueden afectar el funcionamiento adecuado o la integridad mecánica de los intercambiadores. Los intercambiadores de tubo y carcasa son más robustos que los intercambiadores de calor de placas y aumentan la fiabilidad de la instalación y su seguridad en la fabricación de estos intercambiadores. Para hacer estos intercambiadores, se prefiere el acero inoxidable austenítico, por ejemplo ASTM 304, a las aleaciones a base de aluminio.

20

[0162] En las instalaciones 10, 100, 110, 120, 170, 180 y 190, en las que los intercambiadores antes mencionados comprenden solo dos fluidos, estos intercambiadores son tubos y calandras del tipo estándar, hechas de acero inoxidable austenítico del tipo ASTM 304, fabricadas según normas publicadas por la Asociación de fabricación de intercambiadores térmicos o "TEMA".

25

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para producir una corriente (14) de gas natural licuado subenfriado a partir de una corriente (12) de alimentación de gas natural, del tipo que comprende las siguientes etapas:

- 5
- preenfriamiento de la corriente de alimentación de gas natural (12) pasando a través de un primer intercambiador de calor (16) para obtener una corriente de alimentación preenfriada (18) a una temperatura inferior a -20 °C;
 - licuefacción de la corriente de alimentación preenfriada (18) pasando a través de un segundo intercambiador de calor (20) para obtener al menos una corriente (22) de gas natural licuado a una temperatura inferior a -80 °C;

10

 - subenfriamiento de la corriente de gas natural licuado (22) pasando a través de un tercer intercambiador de calor (24) para obtener una corriente (14) de gas natural licuado subenfriado a una temperatura inferior a -120 °C;
 - vinculación del intercambio de calor de la corriente de alimentación (12) en el primer intercambiador de calor (16) con una primera corriente de refrigerante (60)
 - vinculación del intercambio de calor de la corriente de alimentación preenfriada (18) en el segundo intercambiador

15

 - de calor (20) con una segunda corriente (62) de refrigerante gaseoso que circula en un segundo ciclo de refrigeración (28), la segunda corriente refrigerante gaseoso (62) que se produce a partir de una segunda corriente gaseosa (82) de fluido expandido proveniente de una segunda turbina de expansión dinámica (42)
 - vinculación del intercambio de calor de la corriente de gas natural licuado (22) en el tercer intercambiador de calor

20

 - (24) con una tercera corriente (64) de refrigerante que circula en un tercer ciclo de refrigeración (30), la tercera corriente de refrigerante (64) que se produce al menos parcialmente a partir de una tercera corriente gaseosa (92) de fluido expandido desde una tercera turbina de expansión dinámica (52) distinta de la segunda turbina de expansión dinámica (42);
 - transporte de la primera corriente (66) de refrigerante calentado obtenido a la salida del primer intercambiador de calor (16) a un primer aparato de compresión (26) sin pasar por el segundo intercambiador de calor (20) y sin pasar

25

 - por el tercer intercambiador de calor (24);
 - transporte de la segunda corriente (76) de refrigerante calentado desde el segundo intercambiador de calor (20) a un segundo aparato de compresión (40), sin pasar por el primer intercambiador de calor (16) y sin pasar por el tercer intercambiador de calor (24);
 - transporte de la tercera corriente (86) de refrigerante calentado desde el tercer intercambiador de calor (24) a un

30

 - tercer aparato de compresión (30), sin pasar por el primer intercambiador de calor (16) y sin pasar por el segundo intercambiador de calor (24),

caracterizado porque la primera corriente de refrigerante es una corriente sustancialmente gaseosa, corriente que se produce en un primer ciclo de refrigeración (26) a partir de una primera corriente (72) de gas de fluido refrigerante expandido desde una primera turbina (34) de expansión dinámica, la segunda turbina de expansión dinámica es distinta de la primera turbina de expansión dinámica (34), la tercera turbina de expansión dinámica (52) es distinta de la primera turbina de expansión dinámica (34), y **porque** el primer intercambiador de calor comprende solo dos fluidos.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:

- 40
- separación de la primera corriente gaseosa de fluido refrigerante expandido (72) en la primera corriente de refrigerante gaseoso (60) y en una primera corriente de enfriamiento auxiliar (102);
 - vinculación de intercambio de calor de la primera corriente de enfriamiento auxiliar (102) en un segundo intercambiador de ciclo (44) con una segunda corriente de refrigerante comprimido (80) desde el segundo aparato de

45

 - compresión (40) para formar una segunda corriente refrigerante comprimido enfriado (81),
 - transporte de la segunda corriente de refrigerante comprimido enfriado (81) a la segunda turbina de expansión (42) para formar la segunda corriente gaseosa de fluido refrigerante expandido (82).

3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:

- separación de la segunda corriente gaseosa de fluido refrigerante expandido (82) en la segunda corriente de refrigerante gaseoso (62) y en una segunda corriente (112) de enfriamiento auxiliar, y
- vinculación de intercambio de calor de la segunda corriente de enfriamiento auxiliar (112) en un tercer intercambiador

55

- de ciclo con una tercera corriente (90) de refrigerante comprimido desde el tercer aparato de compresión (50) para formar una tercera corriente refrigerante comprimido enfriado (91),
- transporte de la tercera corriente de refrigerante comprimido enfriado (91) a la tercera turbina de expansión (52) para formar la tercera corriente gaseosa de fluido refrigerante expandido (92).

4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los fluidos refrigerantes que circulan respectivamente en el primer ciclo de refrigeración (26), en el segundo ciclo de refrigeración (28) y en el tercer ciclo de refrigeración (30) están totalmente separados, la primera corriente de refrigerante calentado (66) desde el primer intercambiador de calor (16), la segunda corriente de refrigerante calentado (76) desde el segundo intercambiador de calor (20), y la tercera corriente de refrigerante

65

calentado (86) desde el tercer intercambiador de calor (24) se transportan respectivamente a compresores separados,

respectivamente, del primer aparato de compresión (32), del segundo aparato de compresión (40) y del tercer aparato de compresión (50) para ser comprimidos por separado uno del otro.

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:

- formación de al menos una corriente de mezcla (186; 196) a partir de al menos dos de entre la primera corriente de refrigerante calentado (66), la segunda corriente de refrigerante calentado (76) y la tercera corriente de refrigerante calentado (86),

10 - compresión de la corriente o de cada corriente de mezcla (186; 196) en un compresor común (182; 192) con al menos dos del primer aparato de compresión (32), del segundo aparato de compresión (40) y del tercer aparato de compresión (50).

6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la tercera corriente de refrigerante (64) es sustancialmente gaseosa antes de la introducción en el tercer intercambiador de calor (24).

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 5, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:

20 - separación de la corriente de refrigerante comprimido (90) desde el tercer aparato de compresión (50) en una corriente (154) para formar la tercera corriente de refrigerante (64) y una corriente gaseosa refrigerante (156) de la corriente de formación (154),

25 - transporte de la corriente gaseosa de enfriamiento (156) a la tercera turbina de expansión (52), y vincular el intercambio de calor de la corriente gaseosa de enfriamiento expandido (92) desde la tercera turbina de expansión (52) con la corriente aparato de formación (154) para licuar la corriente de formación (154),

- transporte de la corriente de formación licuada (154) a una turbina de expansión hidráulica (152) para formar la tercera corriente de refrigerante (64) en forma sustancialmente líquida,

30 - vinculación del intercambio de calor de la tercera corriente de refrigerante (64) en forma sustancialmente líquida con la corriente de gas natural licuado (22) en el tercer intercambiador de calor (24).

8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:

35 - división de la corriente de alimentación preenfriada (18) desde el primer intercambiador de calor (16) en una corriente principal (138) de alimentación preenfriada y una corriente de expansión auxiliar (140),

- expansión de la corriente de expansión auxiliar (140) a una presión inferior de al menos 5 bares a la presión de la corriente principal (138), y

40 - paso sucesivo de una corriente desde la corriente de expansión (140) en el segundo intercambiador de calor (20) y en el tercer intercambiador de calor (24) para suministrar una corriente (148) de gas natural licuado subenfriado a baja presión.

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido molar de nitrógeno de cada una de la primera corriente de refrigerante (60), la segunda corriente de refrigerante (62) y la tercera corriente de refrigerante (64) es superior al 90 %.

10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** la primera corriente de refrigerante (60) se forma a partir de gas natural que tiene un contenido molar de metano superior al 70 %.

50 11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque** la segunda corriente de refrigerante (62) comprende un contenido molar de metano superior al 90 %.

12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11, **caracterizado porque** la primera corriente de refrigerante (60) comprende un contenido molar de dióxido de carbono superior al 5 %

55 13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la presión a la salida del primer aparato de compresión (32) es superior a 50 bares, ventajosamente superior a 70 bares, y **porque** la presión a la entrada del primer aparato de compresión (32) es superior a 10 bares, preferiblemente mayor de 15 bares.

60 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** cada uno del segundo intercambiador de calor y el tercer intercambiador de calor comprenden solo dos fluidos.

65 15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** una segunda corriente de refrigerante comprimido se forma en la salida del segundo aparato de compresión, introduciéndose la

segunda corriente de refrigerante comprimido, después del enfriamiento, en la segunda turbina de expansión sin pasar por el primer intercambiador de calor ni el tercer intercambiador de calor.

16. Instalación (10; 100; 110; 120; 130; 150; 170; 180; 190) para producir una corriente (14) de gas natural
5 licuado subenfriado de una corriente (12) de alimentación de gas natural, del tipo que comprende:

- medios de preenfriamiento de la corriente de alimentación de gas natural (12) que comprenden un primer intercambiador de calor (16) para obtener una corriente de alimentación preenfriada (18) a una temperatura inferior a -20 °C;

10 - medios de licuefacción de la corriente de alimentación preenfriada que comprenden un segundo intercambiador de calor (20) para obtener al menos una corriente (22) de gas natural licuado a una temperatura inferior a -80 °C;

- medios de subenfriamiento de la corriente de gas natural licuado que comprenden un tercer intercambiador de calor (24) para obtener una corriente (14) de gas natural licuado subenfriado a una temperatura inferior a -120 °C;

15 - un primer ciclo de refrigeración (26), estando la corriente de alimentación (12) en relación de intercambio de calor en el primer intercambiador de calor (16) con una primera corriente de refrigerante (60)

- un segundo ciclo de refrigeración (28) que comprende una segunda turbina de expansión dinámica (42) y un segundo dispositivo de compresión (42), estando la corriente de alimentación preenfriada (18) en relación de intercambio de calor en el segundo intercambiador de calor (20) con una segunda corriente (62) de refrigerante gaseoso producido a partir de una segunda corriente gaseosa (76) de fluido refrigerante expandido que proviene de la segunda turbina de
20 expansión dinámica (42);

- un tercer ciclo de refrigeración (30) que comprende una tercera turbina de expansión dinámica separada (52) y la segunda turbina de expansión dinámica (42) y un tercer dispositivo de compresión (50), la corriente de gas natural licuado (22) estando en relación de intercambio de calor en el tercer intercambiador de calor (24) con una tercera corriente de refrigerante (64) que circula en el tercer ciclo de refrigeración (30), produciéndose la tercera corriente de
25 refrigerante (64) al menos parcialmente a partir de una tercera corriente gaseosa (92) de fluido expandido desde la tercera turbina de expansión dinámica (52);

el primer ciclo de refrigeración (26) comprende medios (66, 68) para transportar la primera corriente de refrigerante calentado (66) obtenida en la salida del primer intercambiador de calor (16) al primer aparato de compresión (32) sin
30 pasar por el segundo intercambiador de calor (20) y sin pasar por el tercer intercambiador de calor (24); el segundo ciclo de refrigeración (28) comprende medios (76, 78) para transportar la segunda corriente de refrigerante calentado (76) obtenida en la salida del segundo intercambiador de calor (20) al segundo aparato de compresión (40) sin pasar por el primer intercambiador de calor (16) y sin pasar por el tercer intercambiador de calor (24);

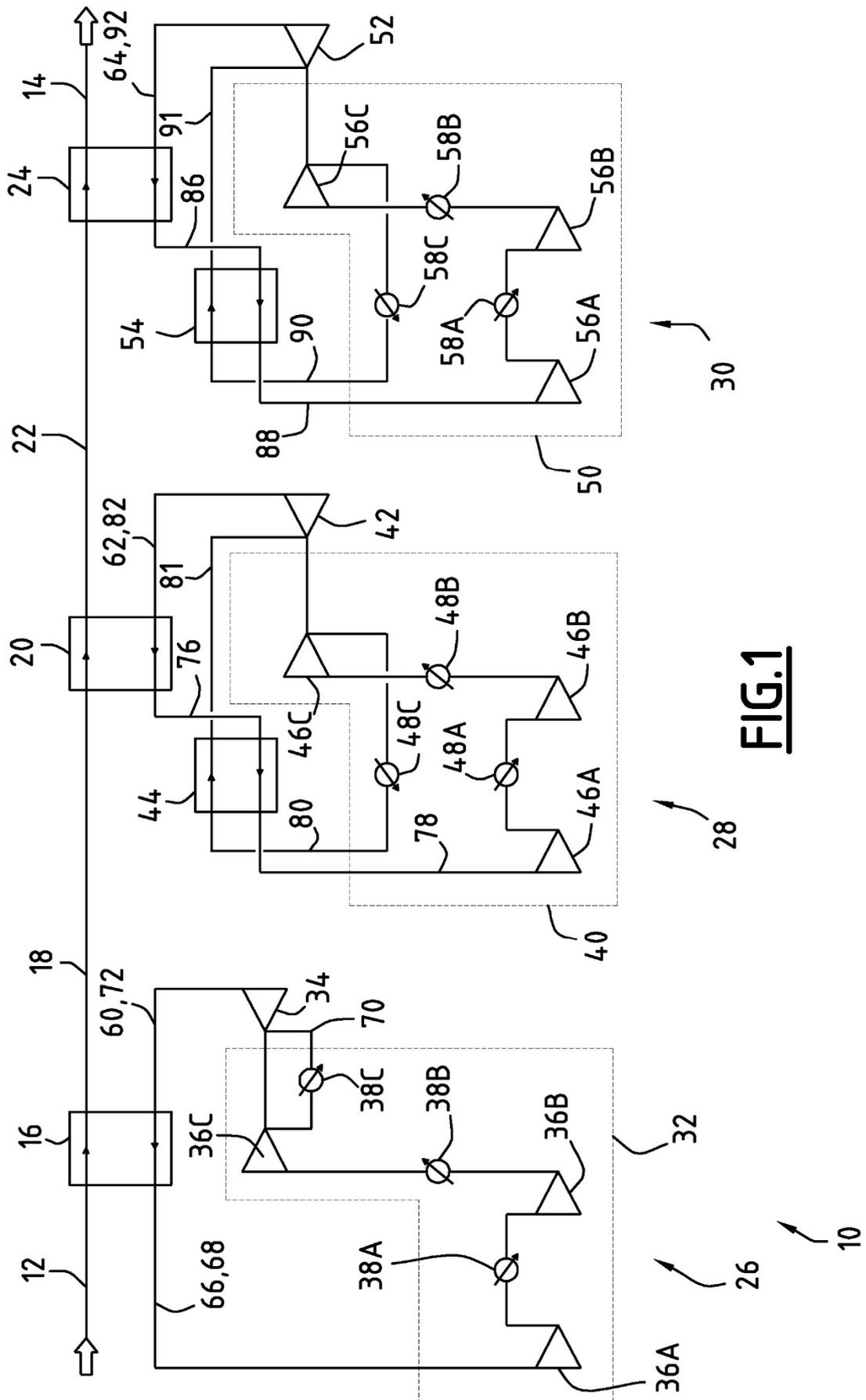
el tercer ciclo de refrigeración (30) comprende medios (86, 88) para transportar la tercera corriente de refrigerante calentado (86) desde el tercer intercambiador de calor (24) al tercer aparato de compresión (50) sin pasar a través del primer intercambiador de calor (16) y sin pasar por el segundo intercambiador de calor (20), **caracterizado porque** el primer ciclo de refrigeración comprende una primera turbina de expansión dinámica (34) y un primer dispositivo de compresión (32), la corriente de alimentación (12) se pone en relación de intercambio de calor en el primer intercambiador de calor (16) con una primera corriente (60) de refrigerante sustancialmente gaseoso producido en el
40 primer ciclo de refrigeración (26) a partir de una primera corriente gaseosa (72) de fluido refrigerante expandido desde la primera turbina de expansión dinámica (34), y **porque** la segunda turbina de expansión dinámica (42) es distinta de la primera turbina de expansión dinámica (34), siendo la tercera turbina de expansión dinámica (52) distinta de la primera turbina de expansión dinámica (34),
y **porque** el primer intercambiador de calor comprende solo dos fluidos.

45 17. Instalación (10, 100, 110, 120, 130; 150; 170; 180; 190) según la reivindicación 16, **caracterizada porque** el primer intercambiador de calor (16), el segundo intercambiador de calor (20) y el tercer intercambiador de calor (24), están hechos de tubos y calandra del tipo clásico o bobinados.

50 18. Instalación (10, 100, 110, 120, 130; 150; 170; 180; 190) según la reivindicación 17, **caracterizada porque** el primer intercambiador de calor (16), el segundo intercambiador de calor (20) y el tercer intercambiador de calor (24) están hechos de acero inoxidable austenítico.

19. Instalación (10; 100; 110; 120; 170; 180; 190) según cualquiera de las reivindicaciones 17 o 18,
55 **caracterizada porque** el primer intercambiador de calor (16), el segundo intercambiador de calor (20) y el tercer intercambiador de calor (24), son de tubos y calandra de tipo convencional.

20. Instalación (10; 100; 110; 120; 170; 180; 190) según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 19, **caracterizada porque** cada uno del segundo intercambiador térmico, y el tercer intercambiador térmico solo
60 comprenden dos fluidos.



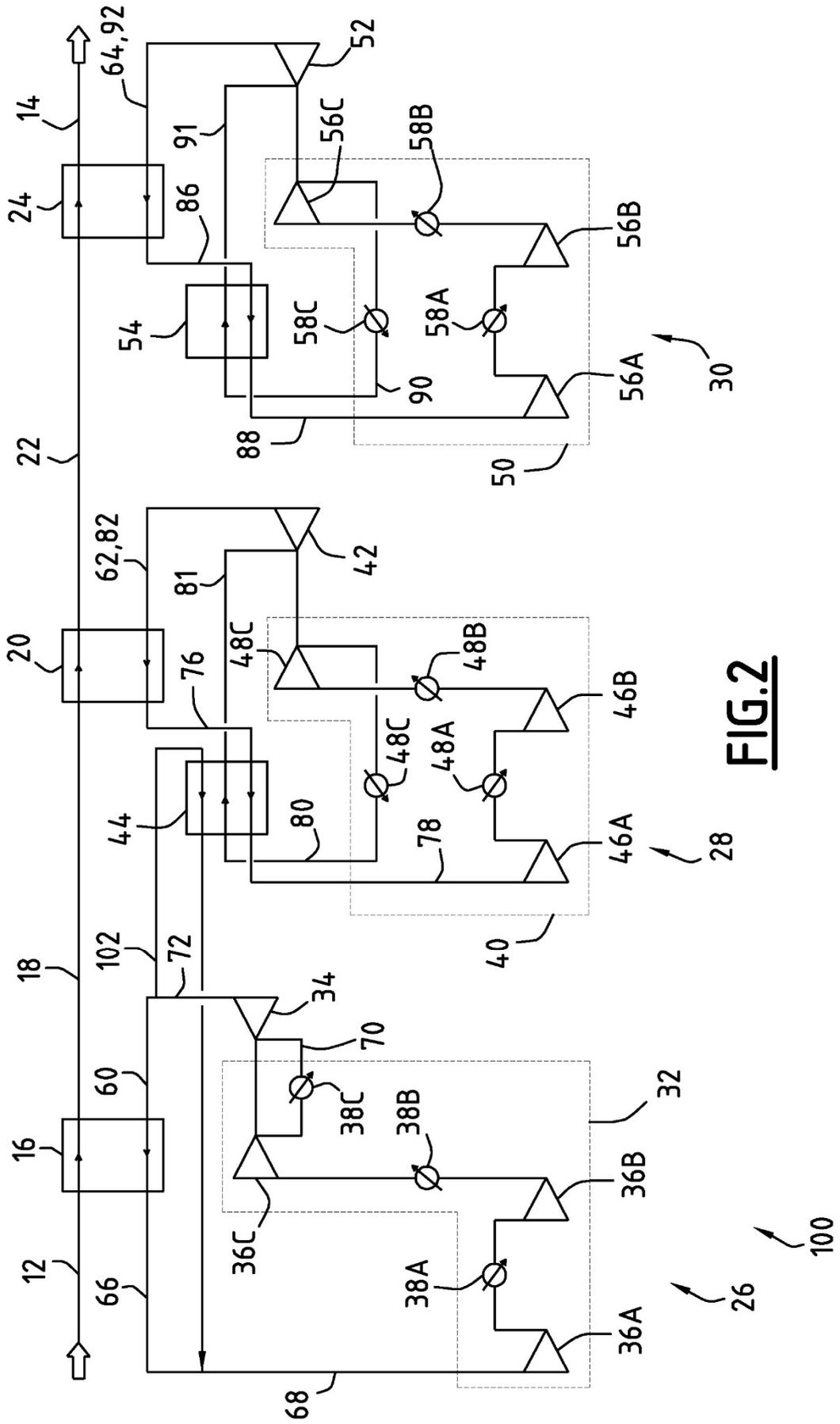


FIG. 2

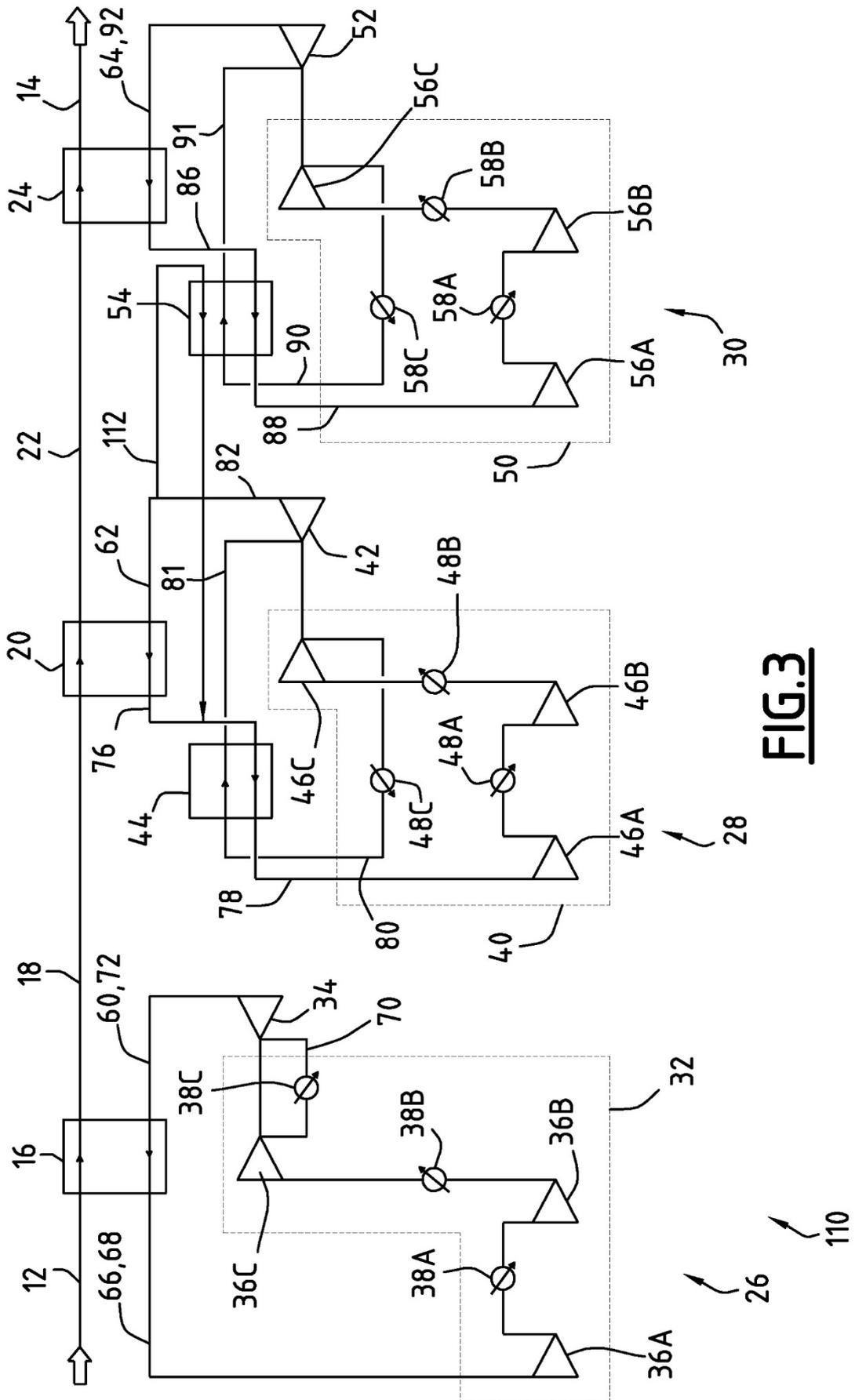


FIG. 3

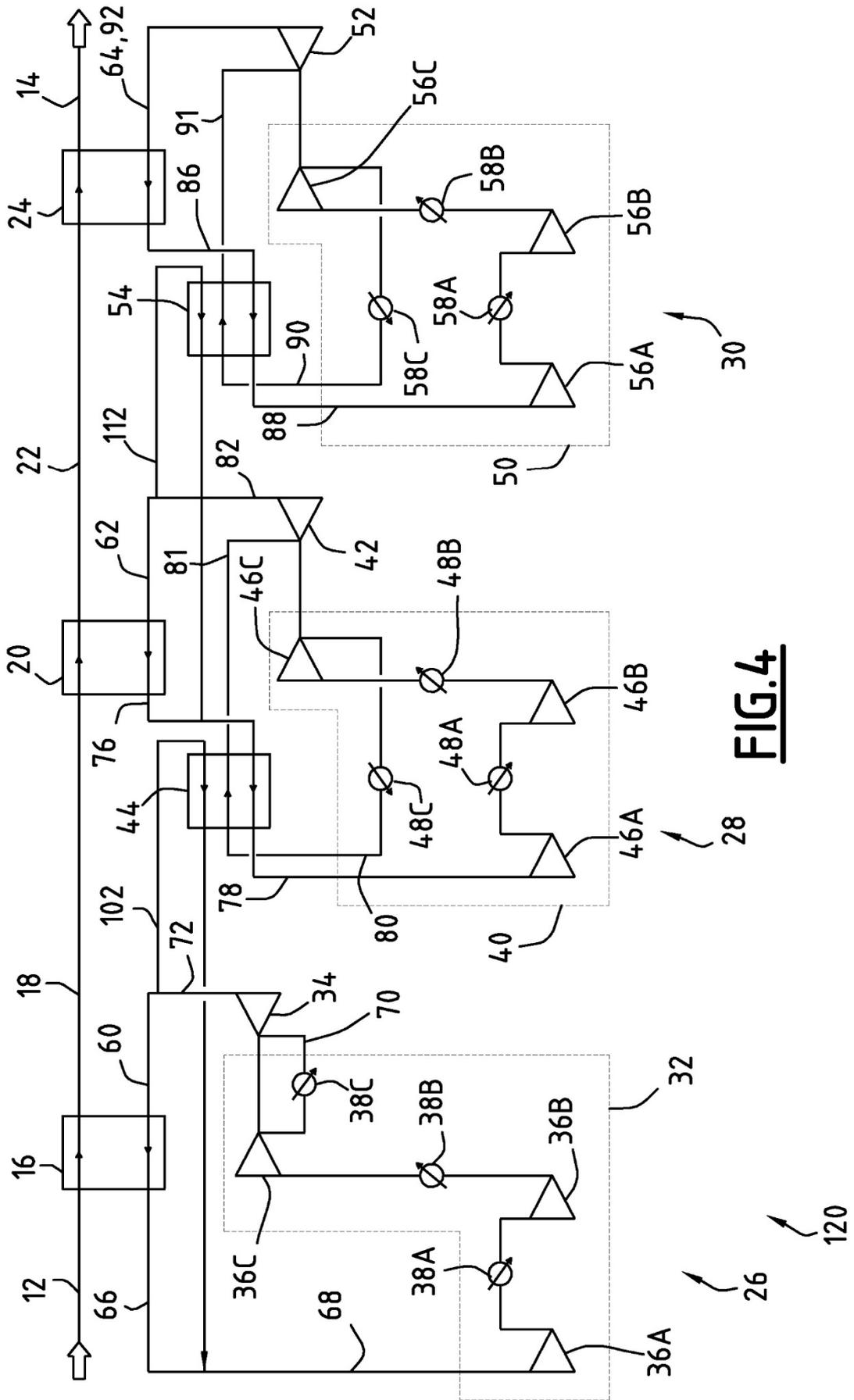


FIG.4

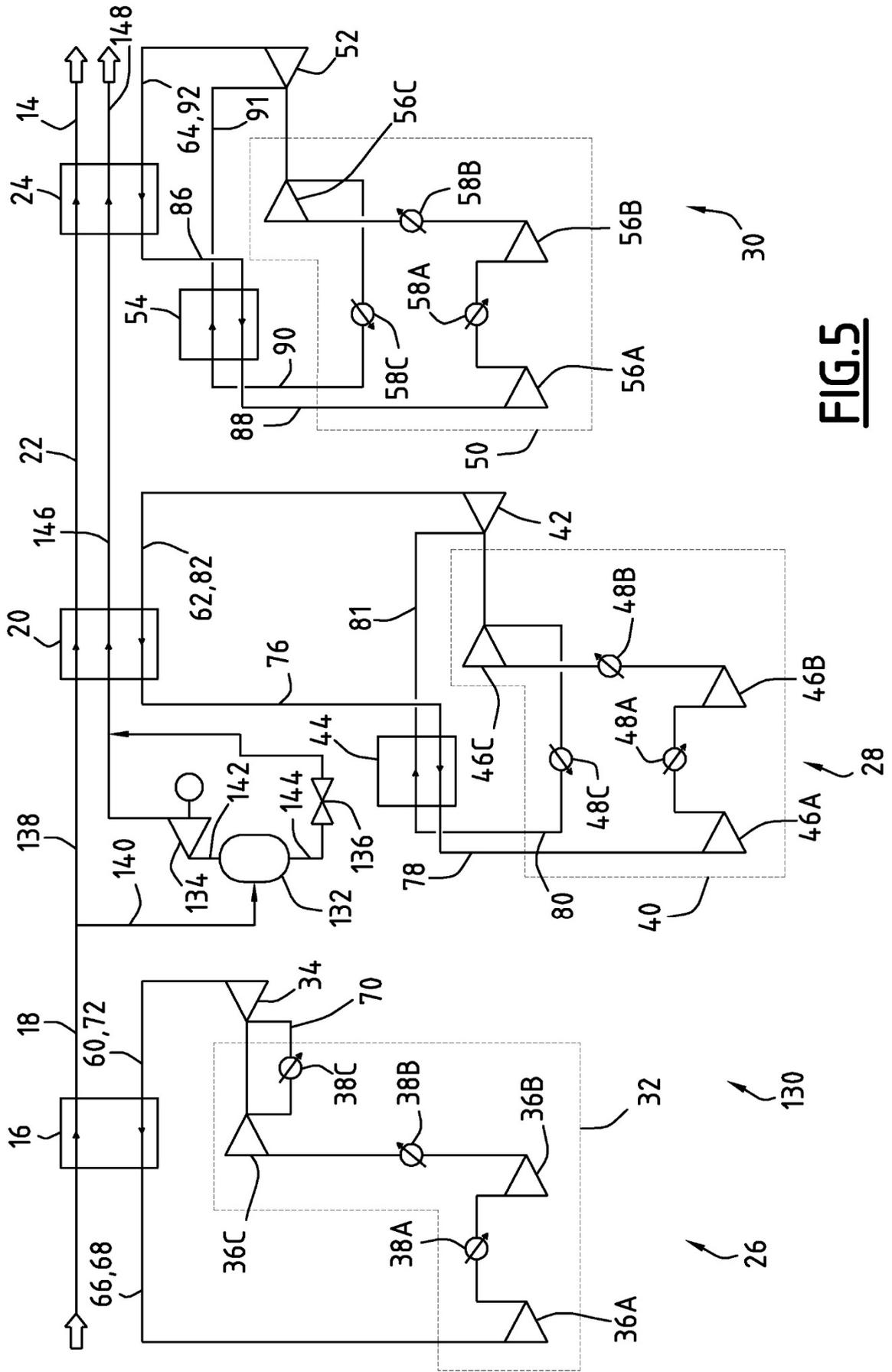


FIG. 5

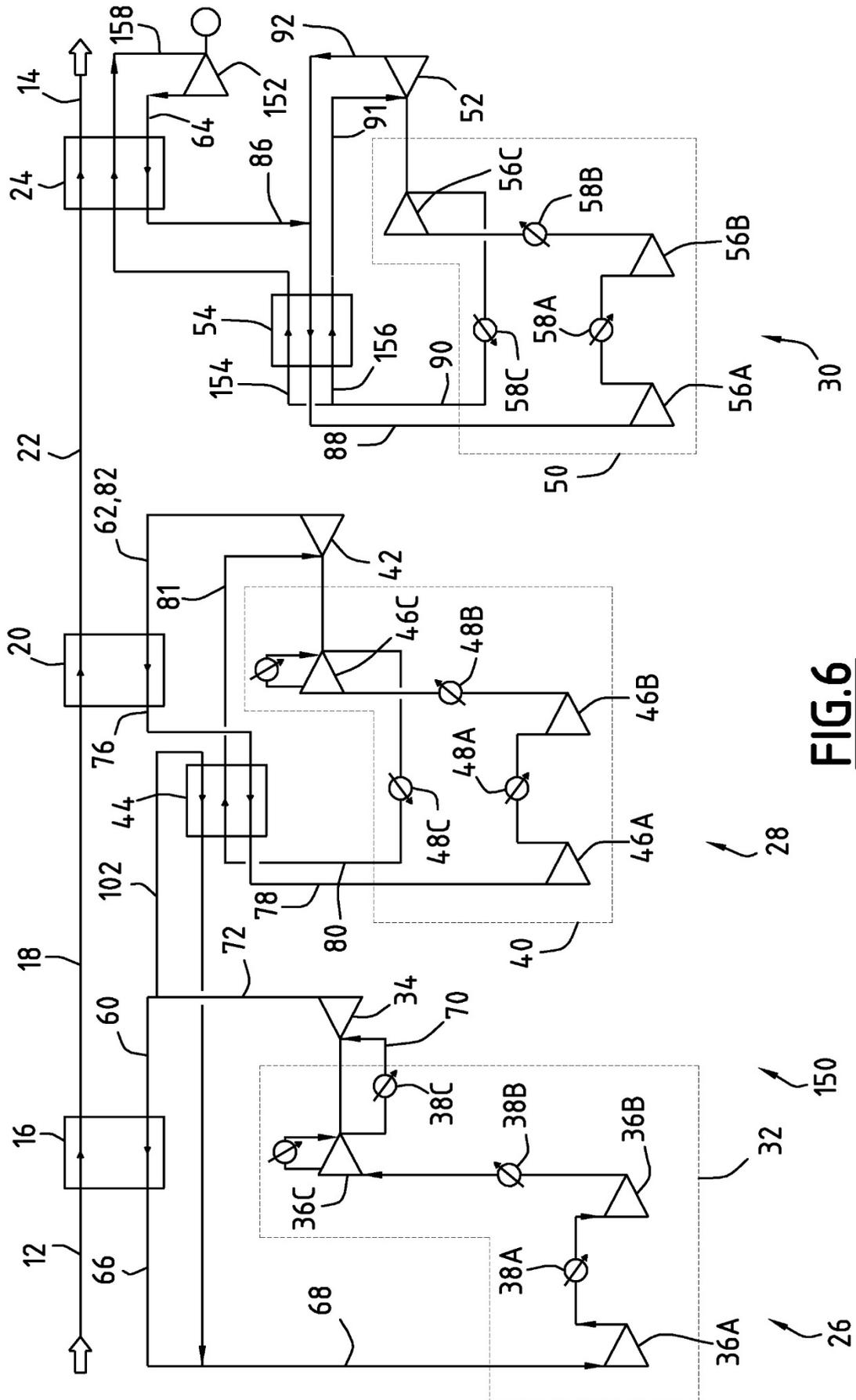


FIG.6

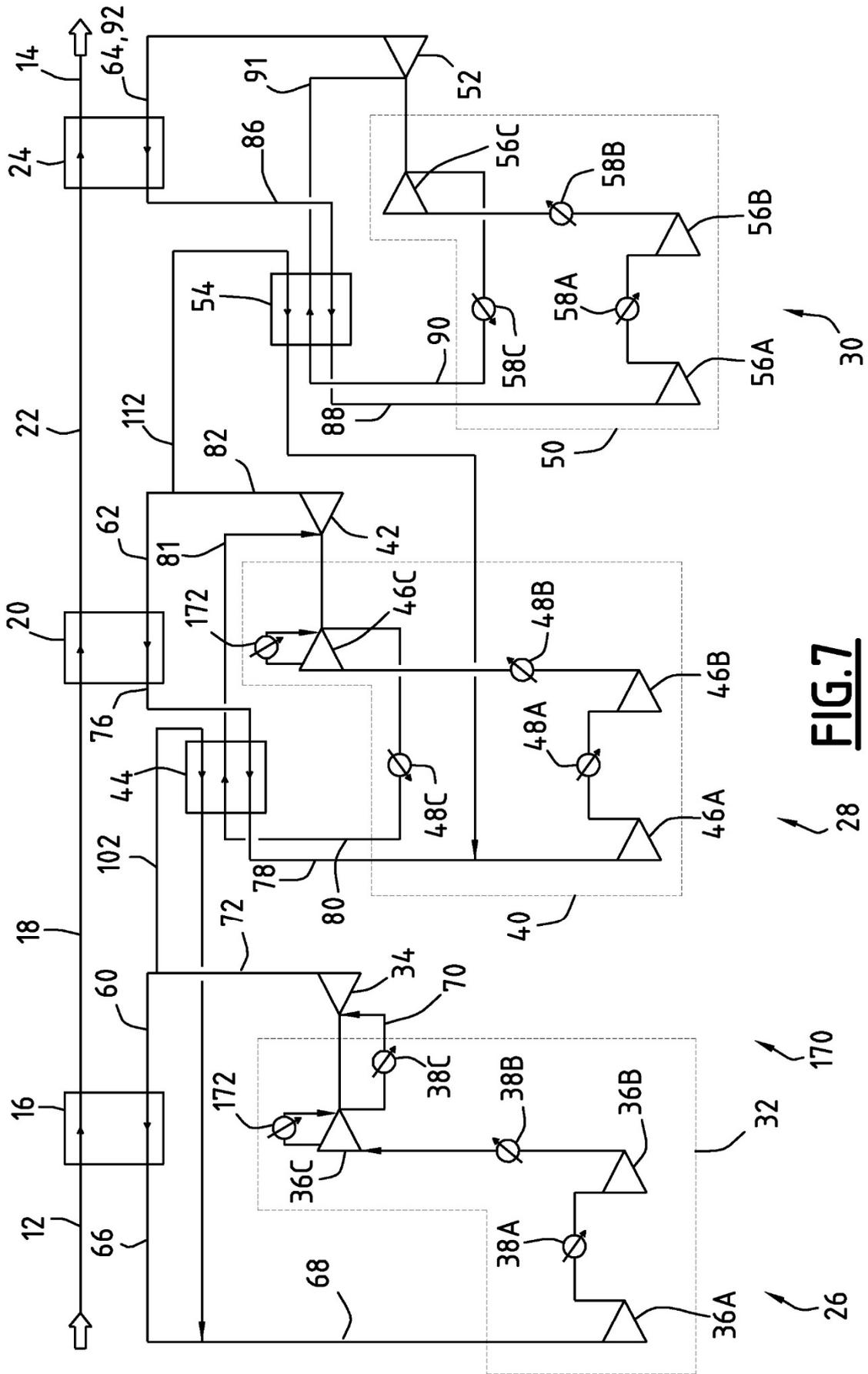


FIG.7

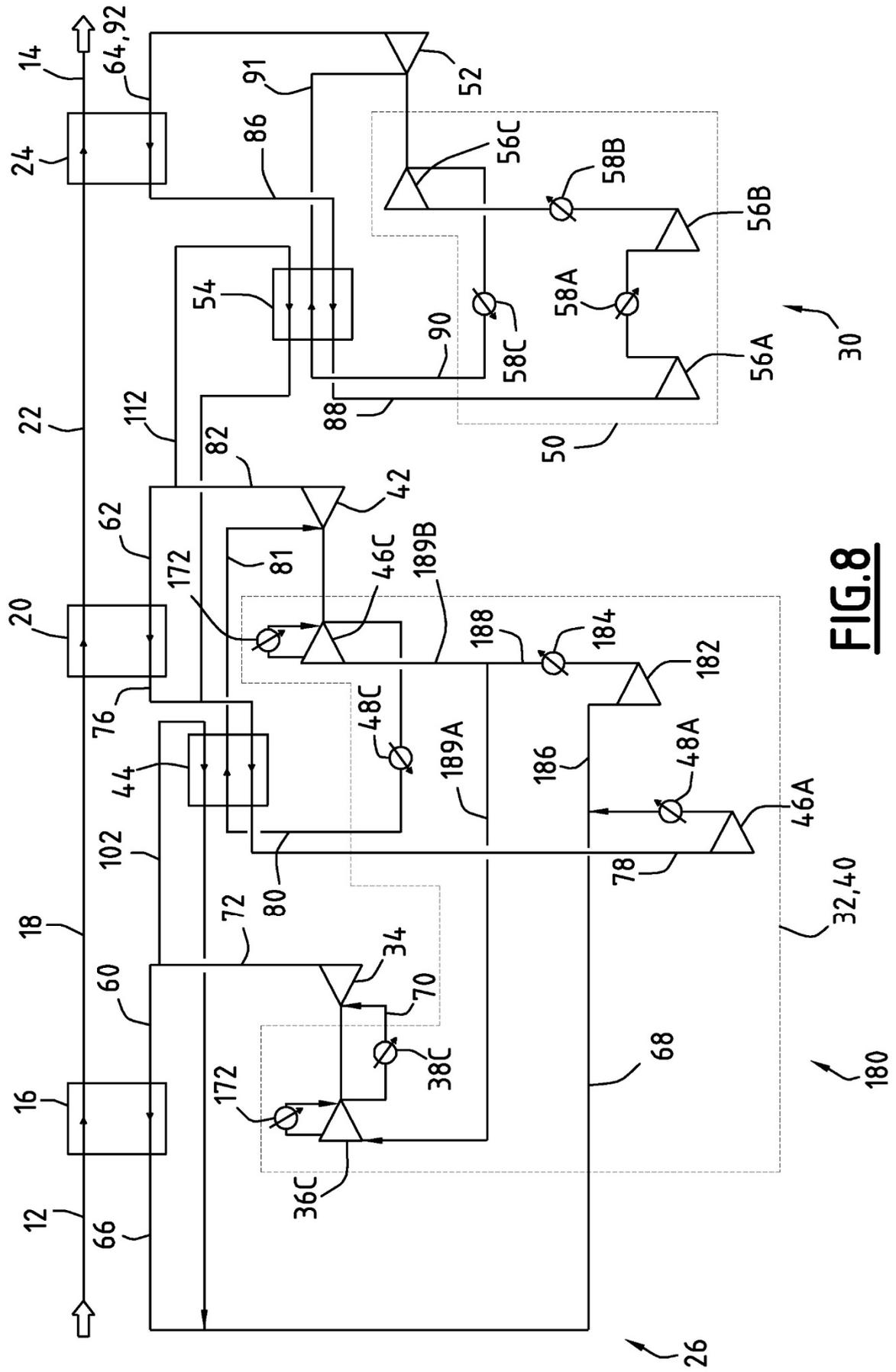


FIG. 8

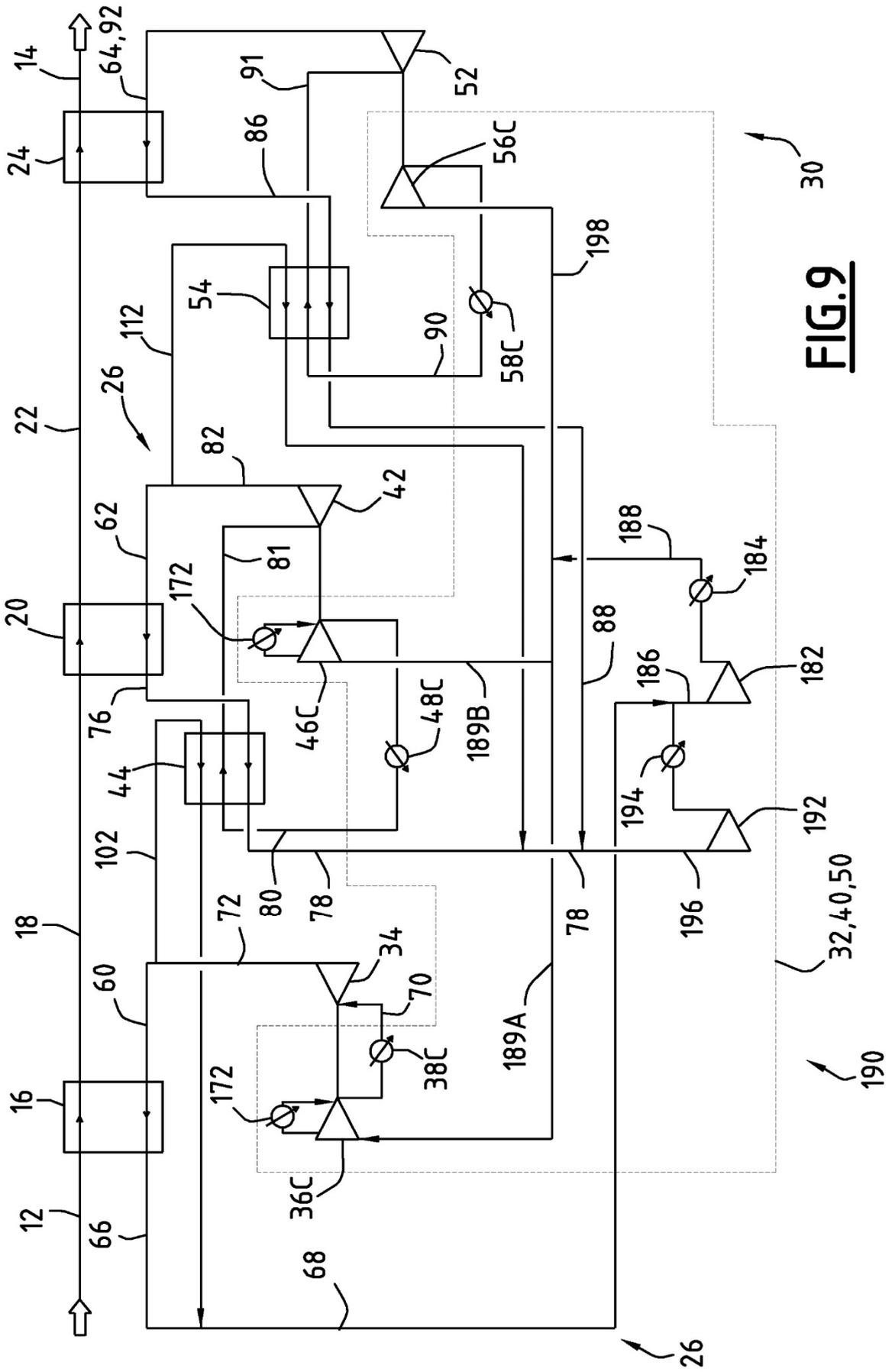


FIG. 9