

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 628 502**

51 Int. Cl.:

F25J 1/02 (2006.01)
F25J 3/00 (2006.01)
F25J 3/08 (2006.01)
B01D 53/52 (2006.01)
F28D 7/04 (2006.01)
F28F 27/02 (2006.01)
F25J 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2002 E 07017306 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.05.2017 EP 1867939**

54 Título: **Aparato para la licuefacción de gas natural y métodos relacionados con el mismo**

30 Prioridad:

27.02.2002 US 86066

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

03.08.2017

73 Titular/es:

BATTELLE ENERGY ALLIANCE, LLC (100.0%)
1765 N. Yellowstone Highway
Idaho Falls, ID 83415, US

72 Inventor/es:

WILDING, BRUCE M.;
BINGHAM, DENNIS N.;
MCKELLAR, MICHAEL G.;
TURNER, TERRY D.;
RATERMAN, KEVIN T.;
PALMER, GARY L.;
KLINGLER, KERRY M. y
VRANICAR, JOHN J.

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 628 502 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

Aparato para la licuefacción de gas natural y métodos relacionados con el mismo

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se refiere, en general, a la compresión y la licuefacción de gases, y, más en particular, a la licuefacción parcial de un gas, tal como el gas natural, a pequeña escala utilizando un proceso combinado de refrigerante y expansión.

10

Estado de la técnica

El gas natural es una alternativa conocida a los combustibles de combustión, tales como la gasolina y el gasóleo. Se ha dedicado mucho esfuerzo al desarrollo del gas natural como combustible de combustión alternativo con el fin de combatir diversos inconvenientes de la gasolina y del gasóleo, incluyendo los costes de producción y las emisiones subsiguientes creadas por su uso. Como se conoce en la técnica, el gas natural es un combustible susceptible de arder más limpio que otros combustibles de combustión. Además, se considera que el gas natural es más seguro que la gasolina o el gasóleo, ya que el gas natural se elevará en el aire y se disipará, en lugar de asentarse.

15

20

Para usarse como combustible de combustión alternativo, el gas natural (también denominado "gas de alimentación" en el presente documento) se convierte convencionalmente en gas natural comprimido (GNC) o en gas natural licuado (o líquido) (GNL) con el fin de almacenar y transportar el combustible antes de su uso. Convencionalmente, dos de los ciclos básicos conocidos para la licuefacción de gases naturales se denominan "ciclo en cascada" y "ciclo de expansión".

25

Brevemente, el ciclo en cascada consiste en una serie de intercambios de calor con el gas de alimentación, siendo cada intercambio a temperaturas sucesivamente más bajas hasta que se logra la licuefacción deseada. Los niveles de refrigeración se obtienen con diferentes refrigerantes o con el mismo refrigerante a diferentes presiones de evaporación. El ciclo en cascada se considera muy eficiente en la producción de GNL, ya que los costes de funcionamiento son relativamente bajos. Sin embargo, la eficiencia en el funcionamiento se ve a menudo contrarrestada por los costes de inversión relativamente altos asociados con el costoso intercambio de calor y el equipo de compresión asociado con el sistema refrigerante. Además, una planta de licuefacción que incorpora un sistema de este tipo puede ser impracticable cuando el espacio físico es limitado, ya que los componentes físicos usados en los sistemas en cascada son relativamente grandes.

30

35

En un ciclo de expansión, el gas se comprime convencionalmente a una presión seleccionada, se enfría, a continuación se deja expandir a través de una turbina de expansión, produciendo de este modo trabajo, así como reduciendo la temperatura del gas de alimentación. A continuación, el gas de alimentación de baja temperatura se intercambia térmicamente para efectuar la licuefacción del gas de alimentación. Convencionalmente, se ha visto que un ciclo de este tipo es impracticable en la licuefacción de gas natural, ya que no hay ninguna disposición para manipular algunos de los componentes presentes en el gas natural que se congelan a las temperaturas encontradas en los intercambiadores de calor, por ejemplo agua y dióxido de carbono.

40

45

Además, para hacer rentable el funcionamiento de los sistemas convencionales, tales sistemas se construyen convencionalmente a gran escala para manejar grandes volúmenes de gas natural. Como resultado, se construyen menos instalaciones, lo que hace más difícil proporcionar el gas en bruto a la planta o instalación de licuefacción, y también convierte la distribución del producto licuado en un problema. Otro problema importante de las instalaciones a gran escala son los gastos de capital y de funcionamiento asociados con las mismas. Por ejemplo, una planta de licuefacción a gran escala convencional, es decir, que produce del orden de 265.000 litros (70.000 galones) de GNL por día, puede costar de 2 millones a 15 millones de dólares, o más, en gastos de capital. Además, una planta de este tipo puede requerir miles de caballos de potencia para accionar los compresores asociados con los ciclos de refrigerante, haciendo caro el funcionamiento de las plantas.

50

55

Un problema adicional de las grandes instalaciones es el coste asociado con el almacenamiento de grandes cantidades de combustible en previsión del uso y/o transporte futuro. No solo hay un coste asociado con la construcción de grandes instalaciones de almacenamiento, sino que también hay un problema de eficiencia relacionado con esto ya que el GNL almacenado tiende a calentarse y evaporarse con el tiempo creando una pérdida del producto combustible de GNL. Además, la seguridad puede convertirse en un problema cuando se almacenan mayores cantidades de producto combustible de GNL.

60

Al afrontar los problemas anteriores, se han ideado diversos sistemas que intentan producir GNL o GNC a partir de gas de alimentación a menor escala, en un esfuerzo por eliminar los problemas de almacenamiento a largo plazo y reducir los gastos de capital y de funcionamiento asociados con la licuefacción y/o compresión de gas natural. Sin embargo, tales sistemas y técnicas han sufrido uno o más inconvenientes.

65

La patente de Estados Unidos 5.505.232 de Barclay, expedida el 9 de abril de 1996, se refiere a un sistema para

5 producir GNL y/o GNC. Se dice que el sistema desvelado funciona a pequeña escala produciendo aproximadamente 3785 litros (1.000 galones) al día de producto combustible licuado o comprimido. Sin embargo, la parte de licuefacción del propio sistema requiere el flujo de un gas "limpio" o "purificado", lo que significa que diversos componentes del gas, tales como dióxido de carbono, agua o hidrocarburos pesados, deben extraerse antes de que pueda comenzar el proceso de licuefacción real.

10 De manera similar, las patentes de Estados Unidos 6.085.546 y 6.085.547 de Johnston, ambas expedidas el 11 de julio de 2000, describen métodos y sistemas de producción de GNL. Las patentes de Johnston se refieren a la producción a pequeña escala de GNL, pero una vez más, ambas requieren una "prepurificación" del gas con el fin de implementar el ciclo de licuefacción real. La necesidad de proporcionar un gas "limpio" o "prepurificado" al ciclo de licuefacción se basa en el hecho de que ciertos componentes de gas podrían congelar y taponar el sistema durante el proceso de licuefacción debido a sus puntos de congelación relativamente más altos en comparación con el metano que constituye la mayor parte del gas natural.

15 El documento US 3.548.606 se refiere a un proceso de refrigeración para la licuefacción de gas natural, en el que una corriente de alimentación gaseosa se enfría mediante un refrigerante expandido en serie para obtener partes de refrigerante de nivel de presión diferentes, pasando las partes diferentes a zonas de intercambio de calor separadas para enfriar la alimentación gaseosa. El documento US 3.548.606 desvela un intercambiador de calor de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 adjunta.

20 Puesto que muchas fuentes de gas natural, tales como el gas de servicio residencial o industrial, se consideran relativamente "sucias", el requisito de proporcionar un gas "limpio" o "prepurificado" es realmente un requisito de implementación de sistemas de filtración y de purificación costoso y a menudo complejo antes del proceso de licuefacción. Este requisito simplemente añade gastos y complejidad a la construcción y el funcionamiento de tales plantas o instalaciones de licuefacción.

25 A la vista de las deficiencias de la técnica, sería ventajoso proporcionar un proceso, y una planta para realizar dicho proceso, para producir eficientemente gas natural licuado a pequeña escala. Más especialmente, sería ventajoso proporcionar un sistema para producir gas natural licuado a partir de una fuente de gas natural relativamente "sucio" o "no purificado" sin la necesidad de una "prepurificación". Tal sistema o proceso puede incluir diversos ciclos de limpieza que se integran con el ciclo de licuefacción con fines de eficiencia.

35 Además, sería ventajoso proporcionar una planta para la licuefacción de gas natural que fuera relativamente barata de construir y de hacer funcionar, y que deseablemente requiera poca o ninguna supervisión del operario.

Además, sería ventajoso proporcionar una planta que fuera fácilmente transportable y que pudiera localizarse y hacerse funcionar en fuentes existentes de gas natural que estén dentro o cerca de comunidades pobladas, proporcionando de este modo un fácil acceso a los clientes de combustible de GNL.

40 **Objeto de la invención**

45 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un intercambiador de calor que comprende: un tanque; al menos dos serpentines dispuestos en el tanque en el que los al menos dos serpentines se acoplan juntos en serie; al menos una entrada de serpentín configurada para admitir una primera corriente a través de al menos uno de los al menos dos serpentines; una pluralidad de salidas de serpentín configuradas para hacer pasar la primera corriente procedente de los serpentines; estando el intercambiador de calor caracterizado por al menos dos entradas de tanque configuradas para hacer fluir una segunda corriente a través del tanque, estando cada una de las al menos dos entradas de tanque colocada cerca de un serpentín correspondiente de los al menos dos serpentines para hacer que la segunda corriente fluya a lo largo de al menos el serpentín del que está colocada cerca la entrada de tanque respectiva; y una salida de tanque configurada para extraer la segunda corriente del tanque y estando el intercambiador de calor configurado de tal manera que la primera corriente puede hacerse fluir selectivamente en serie a través de un número deseado de los al menos dos serpentines y de tal manera que la segunda corriente puede hacerse fluir de manera sustancialmente simultánea a lo largo de los mismos serpentines a través de los que se ha hecho fluir selectivamente la primera corriente.

55 Las realizaciones de la presente invención se definen en las reivindicaciones dependientes adjuntas.

Descripción de las figuras

60 Las anteriores y otras ventajas de la invención se harán evidentes tras la lectura de la siguiente descripción detallada y tras la referencia a los dibujos, en los que:

la figura 1 es una vista general esquemática de una planta de licuefacción que no forma parte de la presente invención;

65 la figura 2 es un diagrama de flujo de proceso que representa el ciclo básico de una planta de licuefacción que no forma parte de la presente invención;

la figura 3 es un diagrama de flujo de proceso que representa un ciclo de limpieza de agua integrado con el ciclo de licuefacción que no forma parte de la presente invención;

la figura 4 es un diagrama de flujo de proceso que representa un ciclo de limpieza de dióxido de carbono integrado con un ciclo de licuefacción que no forma parte de la presente invención;

5 las figuras 5A y 5B muestran un intercambiador de calor de acuerdo con una realización de la presente invención;

las figuras 6A y 6B muestran vistas en planta y en alzado de los serpentines de enfriamiento usados en el intercambiador de calor de las figuras 5A y 5B;

10 las figuras 7A a 7C muestran un diagrama esquemático de diferentes modos de funcionamiento del intercambiador de calor representado en las figuras 5A y 5B de acuerdo con diversas realizaciones de la invención;

las figuras 8A y 8B muestran una vista en perspectiva y una vista en alzado, respectivamente, de un tapón que puede usarse junto con el intercambiador de calor de las figuras 5A y 5B;

15 la figura 9 es una vista en sección transversal de un filtro de CO₂ a modo de ejemplo usado junto con la planta y el proceso de licuefacción de la figura 4;

la figura 10 es un diagrama de flujo de proceso que representa un ciclo de licuefacción que no forma parte de la presente invención;

la figura 11A es un diagrama esquemático de proceso que muestra un circuito de presión diferencial incorporado en la planta y el proceso de la figura 10;

20 la figura 11B es un diagrama esquemático de proceso que muestra un circuito de presión diferencial preferido incorporado en la planta y el proceso de la figura 10;

la figura 12 es un diagrama de flujo de proceso que representa un ciclo de licuefacción que no forma parte de la presente invención;

25 la figura 13 es una vista en perspectiva de la planta de licuefacción de acuerdo con una realización de la presente invención;

la figura 14 muestra la planta de licuefacción de la figura 4 durante el transporte a un sitio de planta; y

la figura 15 es un diagrama de flujo de proceso que muestra los puntos de estado de la masa de flujo a lo largo del sistema de acuerdo con una realización de la presente invención.

30 Descripción detallada de la invención

Haciendo referencia a la figura 1, se muestra una vista general esquemática de una parte de una estación de gas natural licuado (GNL) 100. Se observa que, aunque la presente invención se expone en términos de licuefacción de gas natural, la presente invención puede utilizarse para la licuefacción de otros gases como se apreciará y se comprenderá por los expertos en la materia.

35 La estación de licuefacción 100 incluye una planta de licuefacción de gas natural a "pequeña escala" 102 que está acoplada a una fuente de gas natural, tal como una tubería 104, aunque otras fuentes, tales como un cabezal de pozo, se consideran igualmente adecuadas. La expresión "pequeña escala" se usa para diferenciarse de una planta a mayor escala que tiene la capacidad de producir, por ejemplo, 265.000 litros (70.000 galones) de GNL o más por día. En comparación, la planta de licuefacción desvelada actualmente puede tener capacidad para producir, por ejemplo, aproximadamente 37850 litros (10.000 galones) de GNL al día, pero puede hacerse a escala para una salida diferente según sea necesario y no se limita a operaciones o plantas a pequeña escala. Además, tal como se expondrá con más detalle a continuación, la planta de licuefacción 102 de la presente invención es considerablemente más pequeña en tamaño que una planta a gran escala y puede transportarse fácilmente de un sitio a otro.

Uno o más reguladores de presión 106 están colocados a lo largo de la tubería 104 para controlar la presión del gas que fluye a su través. Una configuración de este tipo es representativa de una estación de descarga de presión en la que la presión del gas natural se reduce de las altas presiones de transmisión en una localización aguas arriba a una presión adecuada para su distribución a uno o más clientes en una localización aguas abajo. Aguas arriba de los reguladores de presión 106, por ejemplo, la presión en la tubería puede ser de aproximadamente 2068 a 6894 kPa absolutos (kPaa) (300 a 1000 libras por pulgada cuadrada absoluta (psia)) mientras que la presión aguas abajo de los reguladores puede reducirse a aproximadamente 448 kPaa (65 psia) o menos. Por supuesto, tales presiones son a modo de ejemplo y pueden variar dependiendo de la tubería específica 104 y las necesidades de los clientes aguas abajo. Se observa además que la presión disponible del gas aguas arriba en la tubería 104 (es decir, en la entrada de planta 112) no es crítica ya que puede elevarse su presión, por ejemplo, mediante el uso de una bomba auxiliar de refuerzo y un intercambiador de calor antes de que el gas entre en el proceso de licuefacción descrito en el presente documento.

60 Antes de cualquier reducción de presión a lo largo de la tubería 104, una corriente de gas de alimentación 108 se separa de la tubería 104 y se alimenta a través de un medidor de flujo 110 que mide y registra la cantidad de gas que fluye a su través. La corriente de gas de alimentación 108 entra, a continuación, en la planta de licuefacción a pequeña escala 102 a través de una entrada de planta 112 para su procesamiento como se detallará a continuación en el presente documento. Una parte del gas de alimentación que entra en la planta de licuefacción 102 se convierte en GNL y sale de la planta 102 por una salida de planta 114 para almacenarse en un tanque o recipiente adecuado

116. El recipiente 116 está configurado, preferentemente, para mantener al menos 37850 litros (10.000 galones) de GNL a una presión de aproximadamente 206 a 241 kPaa (30 a 35 psia) y a temperaturas tan bajas como aproximadamente -151 °C (-240 grados °F). Sin embargo, pueden utilizarse otros tamaños y configuraciones de recipiente dependiendo de los requisitos de salida específicos de la planta 102.

5 Una salida de recipiente 118 está acoplada a un medidor de flujo 120 en asociación con la dispensación del GNL desde el recipiente 116, tal como a un vehículo que se alimenta con GNL, o a un vehículo de transporte según se requiera. Una entrada de recipiente 122, acoplada con un conjunto de válvula/medidor 124 que podría incluir dispositivos de medición de flujo y/o de proceso, permite la ventilación y/o la purga del tanque de vehículo durante la
10 dispensación de GNL desde el recipiente 116. La canalización 126 asociada con el recipiente 116 y que se conecta con una segunda entrada de planta 128 proporciona flexibilidad para controlar el flujo de GNL desde la planta de licuefacción 102 y también permite que el flujo se desvíe del recipiente 116 o para extraer vapor del recipiente 116, si las condiciones hacen que tal acción sea deseable.

15 La planta de licuefacción 102 también está acoplada a una sección aguas abajo 130 de la tubería 104 en una segunda salida de planta 132 para descargar la parte de gas natural no licuado durante el proceso realizado dentro de la planta de licuefacción 102 junto con otros componentes que pueden extraerse durante la producción del GNL. Opcionalmente, adyacente a la entrada de recipiente 122, la canalización de ventilación 134 puede acoplarse con la canalización de la planta de licuefacción 102 como se indica por los puntos de interfaz 136A y 136B. Dicha
20 canalización de ventilación 134 transportará de manera similar gas en la sección aguas abajo 130 de la tubería 104.

A medida que los diversos componentes de gas salen de la planta de licuefacción 102 y entran en la sección aguas abajo 130 de la tubería 104, un conjunto de válvula/medidor 138, que podría incluir dispositivos de medición de flujo y/o de proceso, puede usarse para medir el flujo del gas a su través. Los conjuntos de válvula/medidor 124 y 138,
25 así como los medidores de flujo 110 y 120, pueden colocarse fuera de la planta 102 y/o dentro de la planta según se desee. Por lo tanto, los medidores de flujo 110 y 126, cuando se comparan las salidas de los mismos, ayudan a determinar la cantidad neta de gas de alimentación extraído de la tubería 104 a medida que el medidor de flujo aguas arriba 110 mide la cantidad bruta de gas extraído y el medidor de flujo aguas abajo 130 mide la cantidad de gas devuelto a la tubería 104, siendo la diferencia la cantidad neta de gas de alimentación extraído de la tubería 104.
30 De forma similar, los medidores de flujo opcionales 120 y 124 indican la descarga neta de GNL del recipiente 116.

Haciendo referencia ahora a la figura 2, que no forma parte de la presente invención, se muestra un diagrama de flujo de proceso, representativo de una realización de la planta de licuefacción 102 representada esquemáticamente en la figura 1. Como se ha indicado anteriormente con respecto a la figura 1, una corriente de alta presión de gas de alimentación (es decir, 2068 a 6894 kPaa (300 a 1000 psia)), por ejemplo, a una temperatura de aproximadamente
35 16 °C (60 °F) entra en la planta de licuefacción 102 a través de la entrada de planta 112. Antes de procesar el gas de alimentación, una pequeña parte del gas de alimentación 140 puede separarse, pasar a través de un filtro de secado 142 y utilizarse como gas de control de instrumento junto con el funcionamiento y control de diversos componentes en la planta de licuefacción 102. Aunque solo se representa una única corriente 144 de gas de instrumento, los expertos en la materia apreciarán que pueden formarse de manera similar múltiples líneas de gas de instrumento.

Como alternativa, puede proporcionarse una fuente separada de gas de instrumento, tal como, por ejemplo, nitrógeno, para controlar diversos instrumentos y componentes dentro de la planta de licuefacción 102. Como apreciarán los expertos en la materia, también pueden implementarse controles de instrumento alternativos, tales como un accionamiento eléctrico.
45

Tras entrar en la planta de licuefacción 102, el gas de alimentación fluye a través de un filtro 146 para eliminar cualquier objeto de tamaño considerable que pueda provocar daños, u obstruir de uno u otro modo, el flujo de gas a través de los diversos componentes de la planta de licuefacción 102. El filtro 146 puede utilizarse adicionalmente para eliminar ciertos componentes líquidos y sólidos. Por ejemplo, el filtro 146 puede ser un filtro de tipo coalescente. Un filtro a modo de ejemplo está disponible en Parker Filtration, localizado en Tewksbury, Massachusetts, y está diseñado para procesar aproximadamente 142 metros cúbicos (5000 pies cúbicos estándar) por minuto (SCFM) de gas natural a aproximadamente 16 °C (60 °F) a una presión de aproximadamente 3447 kPaa (500 psia).
50

El filtro 146 puede estar provisto de un desagüe opcional 148 que se descarga en la canalización cerca de la salida de planta 132, como se indica por las conexiones de interfaz 136C y 136A, reintroduciéndose finalmente la descarga en la sección aguas abajo 130 de la tubería 104 (véase la figura 1). La canalización de derivación 150 se encamina alrededor del filtro 146, permitiendo que el filtro 146 se aisle y se revise según se requiera sin interrumpir el flujo de gas a través de la planta de licuefacción 102.
55

Después de que el gas de alimentación fluya a través del filtro 146 (o alternativamente alrededor del filtro por medio de la canalización 150), el gas de alimentación se divide en dos corrientes, una corriente de enfriamiento 152 y una corriente de proceso 154. La corriente de enfriamiento 152 pasa a través de un turboexpansor 156 y se extiende a una corriente de enfriamiento expandida 152' que muestra una presión más baja, por ejemplo, entre la presión atmosférica y aproximadamente 689 kPaa (100 psia), a una temperatura reducida de aproximadamente (38 °C) 100
65

°F. El turboexpansor 156 es una turbina que expande el gas y extrae potencia del proceso de expansión. Un compresor rotatorio 158 se acopla al turboexpansor 156 por medios mecánicos, tal como con un árbol 160, y utiliza la potencia generada por el turboexpansor 156 para comprimir la corriente de proceso 154. La proporción de gas en cada una de las líneas de enfriamiento y de proceso 152 y 154 está determinada por las necesidades de potencia del compresor 158, así como por la caída de flujo y de presión a través del turboexpansor 156. Pueden usarse válvulas de control de paletas dentro del turboexpansor 156 para controlar la proporción de gas entre las líneas de enfriamiento y de proceso 152 y 154, según se requiera, de acuerdo con los parámetros indicados anteriormente.

Un sistema de turboexpansor 156 y de compresor 158 a modo de ejemplo incluye un sistema de tamaño diez (10) de bastidor disponible en GE Rotoflow, localizado en Gardona, California. El sistema de expansor 156 y compresor 158 está diseñado para funcionar a aproximadamente 3034 kPaa (440 psia) a 2267 kg (5.000 libras de masa) por hora a aproximadamente 16 °C (60 °F). El sistema de expansor/compresor también puede estar equipado con rodamientos magnéticos para reducir el tamaño del expansor 156 y el compresor 158, así como simplificar su mantenimiento.

La canalización de derivación 162 encamina la corriente de enfriamiento 152 alrededor del turboexpansor 156. De manera similar, la canalización de derivación 164 encamina la corriente de proceso 154 alrededor del compresor 158. La canalización de derivación 162 y 164 puede usarse durante la puesta en marcha para llevar ciertos componentes a una condición de estado estacionario antes del procesamiento de GNL dentro de la planta de licuefacción 102. Por ejemplo, la canalización de derivación 162 y 164 permite que el intercambiador de calor 166, y/u otros componentes, lleguen a una temperatura de estado estacionario sin provocar un choque térmico. Sin la canalización de derivación 162 y 164, el choque térmico podría resultar del flujo inmediato de gas procedente del turboexpansor 156 y el compresor 154. Dependiendo del diseño de los componentes específicos (es decir, el intercambiador de calor 166) que se usan en la planta de licuefacción 102, podrían ser necesarias varias horas para llevar el sistema a una condición de estado térmicamente estable tras la puesta en marcha de la planta de licuefacción 102.

Por ejemplo, encaminando la corriente de proceso 154 alrededor del compresor 158, no se aumenta la temperatura de la corriente de proceso 154 antes de su introducción en el intercambiador de calor 166. Sin embargo, la corriente de enfriamiento 152, a medida que elude el expansor 156, pasa a través de una válvula Joule-Thomson (JT) 163 que permite que se expanda la corriente de enfriamiento, reduciendo de este modo su temperatura. La válvula JT 163 utiliza el principio de Joule-Thomson de acuerdo con el cual la expansión del gas también dará como resultado un enfriamiento asociado del gas, como se entiende por los expertos en la materia. A continuación, la corriente de enfriamiento 152 puede usarse para reducir gradualmente la temperatura del intercambiador de calor 166.

En una realización, como se expone con más detalle a continuación, el intercambiador de calor 166 es un intercambiador de calor de alta eficiencia fabricado de aluminio. En situaciones de puesta en marcha puede ser deseable reducir la temperatura de dicho intercambiador de calor 166 tanto como 1 °C (1,8 °F) por minuto hasta que se alcance un límite de temperatura definido. Durante la puesta en marcha de la planta de licuefacción, la temperatura del intercambiador de calor 166 puede monitorizarse a medida que disminuye gradualmente. La válvula JT 163 y otras válvulas 165 o instrumentos pueden controlarse en consecuencia con el fin de actuar sobre la velocidad y la presión del flujo en la corriente de enfriamiento 152' y la corriente de proceso 154' que controla en última instancia la velocidad de enfriamiento del intercambiador de calor 166 y/o los otros componentes de la planta de licuefacción.

Además, durante la puesta en marcha, puede ser deseable tener una cantidad de GNL ya presente en el tanque 116 (figura 1). Parte del vapor frío tomado del GNL presente en el tanque, o del vapor o gas frío procedente de otra fuente, puede hacerse circular a través del sistema con el fin de enfriar diversos componentes si así se desea o se considera necesario. Además, como resultará evidente tras la lectura de la siguiente descripción adicional, otros dispositivos de enfriamiento, incluyendo válvulas JT adicionales, localizados en diversos "bucles" o corrientes de flujo, pueden controlarse de manera similar durante la puesta en marcha con el fin de enfriar el intercambiador de calor 166 u otros componentes de la planta de licuefacción 102.

Tras alcanzar una condición de estado estacionario, la corriente de proceso 154 se hace fluir a través del compresor 158 que eleva la presión de la corriente de proceso 154. Una relación a modo de ejemplo de las presiones de salida y entrada de un compresor rotatorio es de aproximadamente 1,5 a 2,0, con una relación media de aproximadamente 1,7. El proceso de compresión no es ideal y, por lo tanto, cuando se comprime, añade calor a la corriente de proceso 154. Para eliminar el calor de la corriente de proceso comprimida 154', se hace fluir a través del intercambiador de calor 166 y se enfría a una temperatura muy baja, por ejemplo, aproximadamente -129 °C (-200 °F). El intercambiador de calor a modo de ejemplo 166 representado en la figura 2 es de un tipo que utiliza flujo en contracorriente, como es conocido por los expertos en la materia.

Después de salir del intercambiador de calor 166, la corriente de proceso comprimida enfriada 154'' se divide en dos nuevas corrientes, una corriente de enfriamiento 170 y una corriente de producto 172. La corriente de enfriamiento 170 y la corriente de producto 172 se expanden cada una a través de las válvulas JT 174 y 176, respectivamente. La expansión de las corrientes de enfriamiento y de proceso 170 y 172 a través de las válvulas JT 174 y 176 da como

resultado una presión reducida, tal como, por ejemplo, entre atmosférica y aproximadamente 100 psia, y una temperatura reducida, por ejemplo, de aproximadamente -151 °C (-240 °F). La presión y las temperaturas reducidas harán que las corrientes de refrigeración y de producto 170 y 172 formen una mezcla de gas natural líquido y vapor.

5 La corriente de enfriamiento 170 se combina con la corriente de enfriamiento expandida 152' que sale del turboexpansor 156 para crear una corriente de enfriamiento combinada 178. A continuación, la corriente de enfriamiento combinada 178 se usa para enfriar la corriente de proceso comprimida 154' a través del intercambiador de calor 166. Después de enfriar la corriente de proceso comprimida 154' en el intercambiador de calor 166, la corriente de enfriamiento combinada 178 puede descargarse nuevamente en la tubería de gas natural 104 en la sección corriente abajo 130 (figura 1).

15 Después de la expansión a través de la válvula JT 176, la corriente de producto 172 entra en un separador de líquido/vapor 180. El componente de vapor del separador 180 se recoge y se extrae del mismo a través de la canalización 182 y se añade a la corriente de enfriamiento combinada 178 aguas arriba del intercambiador de calor 166. El componente líquido en el separador es el producto combustible de GNL y pasa a través de la salida de planta 114 para su almacenamiento en el recipiente 116 (figura 1).

20 Controlando la proporción de gas que fluye a través de las corrientes de enfriamiento y de producto 170 y 172, respectivamente, la termodinámica del proceso producirá una corriente de producto que tiene una alta fracción líquida. Si la fracción líquida es alta, es decir, superior al 90 %, el contenido de metano en el líquido será alto y los hidrocarburos pesados (etano, propano, etc.) serán bajos, acercándose de este modo a la misma composición que la corriente de gas entrante 112. Si la fracción líquida es baja, el contenido de metano en el líquido será bajo, y el contenido de hidrocarburos pesados en el líquido será alto. Los hidrocarburos pesados añaden más contenido energético al combustible, lo que hace que el combustible se quemara más caliente en los procesos de combustión.

25 El proceso de licuefacción representado y descrito con respecto a la figura 2, que no forma parte de la presente invención, proporciona medios económicos, eficientes y eficaces de producir GNL cuando el agua y/o el dióxido de carbono no están presentes en el gas fuente que va a someterse al ciclo de licuefacción.

30 Haciendo referencia ahora a la figura 3, se muestra un diagrama de flujo de proceso que representa un proceso de licuefacción realizado de acuerdo con otra realización de una planta de licuefacción 102'. Como la planta de licuefacción 102' y el proceso realizado comparten, por lo tanto, una serie de similitudes con la planta 102 y el proceso representado en la figura 2, los componentes similares se identifican con los mismos números de referencia por motivos de claridad.

35 La planta de licuefacción 102', como se muestra en la figura 3, modifica esencialmente el ciclo básico mostrado en la figura 2 para permitir la extracción de agua de la corriente de gas natural durante la producción de GNL y para evitar la formación de hielo en todo el sistema. Como se ilustra en la figura 3, el ciclo de limpieza de agua incluye una fuente de metanol 200, o algún otro producto de absorción de agua, que se inyecta en la corriente de gas, a través de una bomba 202, en una localización antes de que el gas se divida en la corriente de enfriamiento 152 y la corriente de proceso 154. La bomba 202 incluye, deseablemente, una capacidad de flujo variable para inyectar metanol en la corriente de gas, preferentemente a través de al menos una de una boquilla de atomización o de vaporización. Como alternativa, la válvula 203 puede usarse para alojar múltiples tipos de boquillas, de tal manera que puede usarse una boquilla adecuada dependiendo de las características de flujo del gas de alimentación. 45 Preferentemente, se usa una única boquilla sin la válvula 203 cuando el contenido de agua en el gas fuente no fluctúa significativamente.

50 Una bomba adecuada 202 para inyectar el metanol puede incluir un control de flujo variable en el intervalo de 1,5 a 9,5 litros (0,4 a 2,5 galones) por minuto a una presión de diseño de aproximadamente 6894 kPaa (1000 psia) para un contenido de agua de aproximadamente 0,9 a 3,2 kg (2 a 7 libras de masa) por 28318 metros cúbicos (millones de pies cúbicos estándar). El control de caudal variable puede lograrse mediante el uso de una unidad de frecuencia variable acoplada a un motor de la bomba 202. Tal bomba a modo de ejemplo está disponible en América LEWA localizada en Holliston, Massachusetts.

55 El metanol se mezcla con la corriente de gas para bajar el punto de congelación de cualquier agua que pueda estar contenida en el mismo. El metanol se mezcla con la corriente de gas y se une con el agua para evitar la formación de hielo en la corriente de enfriamiento 152 durante la expansión en el turboexpansor 156. Además, como se ha indicado anteriormente, el metanol está presente en la corriente de proceso 154 y pasa con la misma a través del compresor 158. Aproximadamente a la mitad del proceso de intercambio de calor (es decir, entre aproximadamente -51 °C y -67 °C (-60 °F y -90 °F) el metanol y el agua forman un líquido. La corriente de proceso comprimida 154' se desvía temporalmente del intercambiador de calor 166 y se hace pasar a través de un tanque de separación 204 en el que el líquido de metanol/agua se separa de la corriente de proceso comprimida 154', descargándose el líquido a través de una válvula 206 y fluyendo el gas hasta un filtro coalescente 208 para extraer una cantidad adicional de la mezcla de metanol/agua. La mezcla de metanol/agua puede descargarse desde el filtro coalescente 208 a través de una válvula 210 con el gas seco reintroduciéndose en el intercambiador de calor 166 para un enfriamiento y un procesamiento adicionales. Como se indica por las conexiones de interfaz 136D y 136A, ambas válvulas 206 y 210

ES 2 628 502 T3

descargan la mezcla de metanol/agua extraída en una canalización próxima a la salida de planta 132 para descargarla en la sección aguas abajo 130 de la tubería 104 (véase la figura 1).

5 Un filtro coalescente a modo de ejemplo 208 usado para extraer la mezcla de metanol/agua puede diseñarse para procesar gas natural a aproximadamente $-56\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-70\text{ }^{\circ}\text{F}$) en flujos de aproximadamente 71 metros cúbicos por minuto (2500 SCFM) y a una presión de aproximadamente 5515 kPaa (800 psia). Dicho filtro puede mostrar una eficiencia de extracción de la mezcla de metano/agua a menos de 75 ppm/w. Un filtro adecuado está disponible en Parker Filtration, localizado en Tewksbury, Massachusetts.

10 Por lo tanto, el proceso de licuefacción mostrado en la figura 3 proporciona una producción eficiente de gas natural integrando la extracción de agua durante el proceso sin un equipo costoso y el preprocesamiento requerido antes del ciclo de licuefacción y, especialmente, antes de la expansión del gas a través del expansor de turbina 156.

15 Haciendo referencia ahora a la figura 4, se muestra un diagrama de flujo de proceso que representa un proceso de licuefacción realizado de acuerdo con otra realización de la planta de licuefacción 102". Como la planta 102" y el proceso realizado en la misma comparten una serie de similitudes con las plantas 102 y 102' y los procesos representados en las figuras 2 y 3, respectivamente, los componentes similares se identifican de nuevo con números de referencia similares por razones de claridad. Además, por razones de claridad, la parte del ciclo entre la entrada de planta 112 y el expansor 156/compresor 158 se omite en la figura 4, pero puede considerarse una parte integral de la planta 102" y el proceso mostrado en la figura 4.

20 La planta de licuefacción 102 mostrada en la figura 4 modifica el ciclo básico mostrado en la figura 2 para incorporar un ciclo adicional para extraer dióxido de carbono (CO_2) de la corriente de gas natural durante la producción de GNL. Aunque se muestra que la planta 102" y el proceso de la figura 4 incluyen el ciclo de limpieza de agua descrito en referencia a la planta 102' y el proceso de la figura 3, el ciclo de limpieza de CO_2 no depende de la existencia del ciclo de limpieza del agua y puede integrarse independientemente con el proceso de licuefacción de la invención.

25 El proceso de intercambio de calor puede dividirse entre tres intercambiadores de calor diferentes 166, 220 y 224. El primer intercambiador de calor 220 en la trayectoria de flujo de la corriente de proceso comprimida 154' usa condiciones ambientales, tales como, por ejemplo, la temperatura del aire, del agua o de la tierra o una combinación de las mismas para enfriar la corriente de proceso comprimida 154'. El intercambiador de calor 220 a condición ambiente sirve para reducir la temperatura de la corriente de proceso comprimida 154' para garantizar que el calor generado por el compresor 158 no daña térmicamente el intercambiador de calor de alta eficiencia 166 que sigue secuencialmente al intercambiador de calor ambiente 220.

30 Un intercambiador de calor ambiente a modo de ejemplo 220 puede diseñarse para procesar la corriente de proceso comprimida 154' a aproximadamente 3038 a 3084 kg (6700 a 6800 libras de masa) por hora a una presión de diseño de aproximadamente 5515 kPaa (800 psia). El intercambiador de calor 220 puede configurarse además de manera que la temperatura de entrada del gas sea de aproximadamente $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($240\text{ }^{\circ}\text{F}$) y la temperatura de salida del gas sea de aproximadamente $77\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($170\text{ }^{\circ}\text{F}$) con una temperatura de fuente ambiente (es decir, temperatura del aire, etc.) que sea de aproximadamente $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($100\text{ }^{\circ}\text{F}$). Si dicho intercambiador de calor está provisto de un ventilador, este puede accionarse por un motor eléctrico adecuado.

35 El intercambiador de calor de alta eficiencia 166, que sigue secuencialmente al intercambiador de calor ambiente 220 a lo largo de la trayectoria de flujo, puede formarse como un intercambiador de calor de flujo a contracorriente de tipo placa y aleta. Además, las placas y las aletas pueden estar formadas de un material conductor altamente térmico tal como, por ejemplo, el aluminio. El intercambiador de calor de alta eficiencia 166 se coloca y se configura para transferir eficientemente tanto calor como sea posible desde la corriente de proceso comprimida 154' a la corriente de enfriamiento combinada 178'. El intercambiador de calor de alta eficiencia 166 puede configurarse de tal manera que la temperatura de entrada del gas será de aproximadamente $170\text{ }^{\circ}\text{F}$ y la temperatura de salida del gas será de aproximadamente $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-105\text{ }^{\circ}\text{F}$). La planta de licuefacción 102' está deseablemente configurada de tal manera que las temperaturas generadas dentro del intercambiador de calor de alta eficiencia 166 no sean nunca lo suficientemente bajas como para generar CO_2 sólido, lo que podría dar como resultado un bloqueo en la trayectoria de flujo de la corriente de proceso comprimida 154'.

40 El tercer intercambiador de calor 224 localizado secuencialmente a lo largo de la trayectoria de flujo de la corriente de proceso está asociado, en parte, con el procesamiento de CO_2 sólido extraído de la corriente de proceso en un punto posterior del ciclo. Más específicamente, el intercambiador de calor 224 permite que el CO_2 se reintroduzca en la tubería de gas 104 en la sección aguas abajo sublimando el CO_2 sólido extraído en previsión de su nueva descarga en la tubería 104. La sublimación de CO_2 sólido en el intercambiador de calor 224 ayuda a evitar el daño en, o el taponamiento de, el intercambiador de calor 166. Se observa que los intercambiadores de calor 166 y 224 podrían combinarse si se desea. La sublimación del CO_2 sólido también sirve para enfriar más el gas del proceso en previsión de la licuefacción del mismo.

45 Un intercambiador de calor a modo de ejemplo 224 usado para procesar el CO_2 sólido puede incluir un intercambiador de calor de tipo tubo-en-carcasa. Haciendo referencia a la figura 5A, se muestra un intercambiador

de calor de tubo-en-carcasa a modo de ejemplo 224 construido de acuerdo con la presente invención con una parte del tanque 230 retirado para revelar una pluralidad de, en este caso tres, serpentines de enfriamiento 232A-232C apilados verticalmente en el mismo. Un material de filtro 234 también puede disponerse en el tanque 230 alrededor de una parte del serpentín inferior 232A para garantizar que no sale nada de CO₂ del intercambiador de calor 224. El material de filtro 234 puede incluir, por ejemplo, una malla de acero inoxidable. Uno o más soportes estructurales 236 pueden colocarse en el tanque para soportar los serpentines 232A-232C según se requiera dependiendo del tamaño y la construcción de los serpentines 232A-232C.

Haciendo referencia brevemente a las figuras 6A y 6B, un serpentín de enfriamiento a modo de ejemplo, o un haz enrollado 232, puede incluir unos conductos de entrada/salida 238 y 240 con una pluralidad de serpentines de tubería individuales 242 acoplados entre los mismos. Los serpentines de tubería 242 están en comunicación de fluidos con cada uno de los conductos de entrada/salida 238 y 240 y están acoplados de manera estructural y estanca con los mismos. Por lo tanto, durante el funcionamiento, el fluido puede fluir en el primer conducto de entrada/salida 240 para su distribución entre la pluralidad de serpentines de tubería 242 y pasar desde los serpentines de tubería 242 al segundo conducto de entrada/salida 238 para descargarse posteriormente desde el mismo. Por supuesto, si se desea, el flujo a través de los serpentines de enfriamiento 232 podría ser en la dirección inversa como se expone a continuación.

Un serpentín a modo de ejemplo 232 puede incluir, por ejemplo, unos conductos de entrada/salida 238 y 240 que están formados por un conducto de acero inoxidable Schedule 80 304L de 76mm (3 pulgadas) de diámetro. Los serpentines de tubería 242 pueden estar formados por una tubería de acero inoxidable 304L que tiene un espesor de pared de 1,24 mm (0,049 pulgadas). Los serpentines de enfriamiento 232 pueden además diseñarse y dimensionarse para alojar flujos que tienen, por ejemplo, pero sin limitarse a, presiones de aproximadamente 5619 kPaa (815 psia) a una temperatura de entre aproximadamente -151 °C y -129 °C (-240 °F y -200 °F). Tales serpentines 232 están disponibles en la Graham Corporation localizada en Batavia, Nueva York.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 5A, los extremos de los conductos de entrada/salida 238 y 240 de cada serpentín de enfriamiento individual, por ejemplo, el serpentín 232B, están acoplados de manera estanca y estructural a los conductos de entrada/salida correspondientes 238 y 240 de cada serpentín adyacente, es decir, 232A y 232C. Dicha conexión puede realizarse, por ejemplo, mediante soldadura u otros medios mecánicos.

Haciendo referencia ahora a la figura 5B, el tanque 230 incluye una carcasa 244 y unas tapas de extremo 246 con una pluralidad de entradas y salidas acopladas con las mismas. La carcasa 244 y las tapas de extremo 246 pueden estar formadas, por ejemplo, de acero inoxidable 304 o 304L, de tal manera que el tanque 230 tiene una presión de diseño de aproximadamente 655 kPaa (95 psia) para temperaturas de funcionamiento de aproximadamente -151 °C (-240 °F). De manera deseable, el tanque 230 puede diseñarse con tolerancias de corrosión adecuadas para una vida útil mínima de 20 años.

El fluido puede introducirse en los tubos de enfriamiento 232A-232C a través de una de un par de entradas de serpentín 248A y 250A que están acopladas, respectivamente, con el conducto(s) de entrada/salida 238 y 240 de un serpentín de enfriamiento 232A. Las entradas de serpentín 248A y 250A pueden diseñarse, por ejemplo, para alojar un flujo de gas de alta densidad de aproximadamente 2267 kg/hr (5000 lbm/hr) que tiene una presión de aproximadamente 5171 kPaa (750 psia) a una temperatura de aproximadamente -74 °C (-102 °F).

Un conjunto de salidas de serpentín 248B y 250B están respectivamente asociadas con, y acopladas de manera estanca a, los conductos de entrada/salida 238 y 240 de un serpentín 232C. Cada salida de tubo 248B y 250B puede diseñarse, por ejemplo, para alojar un flujo de fluido de alta densidad de al menos aproximadamente 2267 kg/h (5000 lbm/h) que tiene una presión de aproximadamente 5102 kPaa (740 psia) a una temperatura de aproximadamente -132 °C (-205 °F).

Una pluralidad de entradas de tanque 252A-252I están acopladas con el tanque 230 permitiendo que las corrientes de enfriamiento 253 y 255 (figura 4), incluyendo el CO₂ sólido extraído, entren en el tanque 230 y fluyan a lo largo de uno o más serpentines 232A-232C. Por ejemplo, las entradas de tanque 252A-252C permiten que una o más de las corrientes de enfriamiento 253 y 255 entren en el tanque 230 y fluyan a lo largo del serpentín 232A, mientras que las entradas de tanque 252D-252F permiten que una o más de las corrientes de enfriamiento 253 y 255 entren en el tanque 230 y fluyan, en primer lugar, a lo largo del serpentín 232B y, a continuación, a lo largo del serpentín 232A. Las entradas de tanque 252A-252I pueden colocarse alrededor de la periferia de la carcasa 244 para proporcionar una distribución deseada de las corrientes de enfriamiento 253 y 255 con respecto a los serpentines 232A-232C.

Cada entrada de tanque 252A-252I puede diseñarse para alojar flujos que tienen características variables. Por ejemplo, la entrada de tanque 252G puede diseñarse para alojar una suspensión de metano líquido que tiene aproximadamente un 10 % de CO₂ sólido a un caudal másico de aproximadamente 241 kg/hr (531 lbm/h) que tiene una presión de aproximadamente 483 kPaa (70 psia) y una temperatura de aproximadamente -150 °C (-238 °F). La entrada de tanque 252H puede diseñarse para alojar un flujo de gas, líquido y CO₂ sólido mezclados a un caudal de aproximadamente 459 kg/h (1012 lbm/h) que muestra una presión de aproximadamente 483 kPaa (70 psia) y una temperatura de aproximadamente -138°C (-218°F). La entrada del tanque 252I puede diseñarse para alojar un flujo

de gas, líquido y CO₂ sólido mezclados a un caudal de aproximadamente 1859 kg/h (4100 lbm/h) que muestra una presión de aproximadamente 483 kPaa (70 psia) y una temperatura de aproximadamente -138 °C (-218 °F).

5 También se observa que, como se muestra en la figura 6A de los dibujos, puede formarse una carcasa o camisa de salpicadura interior más externa 292 alrededor de los serpentines de enfriamiento 232A-232C, de tal manera que puede formarse un anillo entre la carcasa interior y la carcasa de tanque 244. La carcasa interior puede configurarse para controlar el flujo de las corrientes de enfriamiento entrantes a través de las diversas entradas de tanque 252A-252I, de tal manera que las corrientes de enfriamiento fluyen a lo largo de los serpentines de enfriamiento 232A-232C pero no entran en contacto con la carcasa de tanque 244 del intercambiador de calor 224. Además, puede formarse una carcasa o camisa de salpicadura interior más interna 294 dentro de los serpentines de enfriamiento 232A-232C, de tal manera que puede formarse un anillo entre el interior de los serpentines y el conducto de entrada/salida 240. El acero inoxidable, tal como 304L, u otros materiales resistentes a la corrosión, son adecuados para su uso en la formación de las camisas 292 y/o 294.

15 Una salida de tanque 254 permite la descarga de las corrientes de enfriamiento 253 y 255 después de haber pasado a lo largo de uno o más serpentines 232A-232C. La salida de tanque 254 puede diseñarse, por ejemplo, para alojar un flujo de gas a un caudal másico de aproximadamente 2555 kg/h (5637 lbm/h) que tiene una presión de aproximadamente 475 kPaa (69 psia) y una temperatura de aproximadamente -106°C (-158 °F).

20 Haciendo referencia ahora a las figuras 7A a 7C, se muestra un diagrama esquemático de diversas configuraciones de flujo posibles con el intercambiador de calor 224. El intercambiador de calor 224 puede configurarse de tal manera que la corriente de proceso 154^{'''} que entra a través de la entrada de tubo 248A puede pasar a través de menos que el número total de serpentines de enfriamiento 232A-232C. Por lo tanto, si se desea, la corriente de proceso 154^{'''} puede fluir a través de los tres serpentines de enfriamiento 232A-232C, solo dos de los serpentines de enfriamiento 232A y 232B, o a través de solo uno de los serpentines de enfriamiento 232A o 250B. Al fluir a través del primer serpentín 232A, la canalización apropiada permitirá que la corriente de proceso 154^{'''} salga a través de la salida de tubería asociada 250A. De manera similar, si se desea que la corriente de proceso 154^{'''} fluya a través de los serpentines 232A y 232B, puede salir a través de la salida de tubería asociada 248B.

30 Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 7A, la corriente de proceso 154^{'''} puede entrar en la entrada de serpentín 248A para fluir, inicialmente, a través del conducto de entrada/salida 240. En una localización por encima de donde el primer serpentín 232A está acoplado con el conducto de entrada/salida 240, un desviador de flujo 251A bloquea la corriente de proceso 154^{'''} forzándola a fluir a través del primer serpentín de enfriamiento 232A. Aunque puede haber algún flujo transitorio en los otros serpentines 232B y 232C, el flujo en estado estacionario de la corriente de proceso 154^{'''} será a través del conducto de entrada/salida 238 que sale de la salida de serpentín 250B y/o de la salida de serpentín 250A.

40 Haciendo referencia a la figura 7B, puede verse que el uso de dos desviadores de flujo 251A y 251B hará que la corriente de proceso 154^{'''} atraviese el primer serpentín 232A, como se ha descrito con respecto a la figura 7A, y, a continuación, fluya a través del conducto de entrada/salida 238 hasta que se encuentre con el segundo desviador 251B. El segundo desviador hará que la corriente de proceso 154^{'''} fluya a través del segundo serpentín 232B y, a continuación, a través del conducto de entrada/salida 240 a través de la salida de serpentín 248B.

45 Haciendo referencia a la figura 7C, se muestra que el uso de tres desviadores de flujo 251A-251C hará que la corriente de proceso 154^{'''} atraviese los dos primeros serpentines, tal como se ha descrito con respecto a la figura 7B, y, a continuación, a través del conducto de entrada/salida 240 hasta que se encuentre con el tercer desviador 251C. El tercer desviador hará que la corriente de proceso 154^{'''} fluya a través del tercer serpentín 232C, y, a continuación, a través del conducto de entrada/salida 238 que sale de la salida de serpentín 250B. Por lo tanto, dependiendo de la colocación de los desviadores 251A-251C, la capacidad del intercambiador de calor se adapta fácilmente a diversas condiciones de procesamiento y requisitos de salida.

55 Los desviadores de flujo 251A-251C pueden comprender tapones, válvulas o bridas ciegas según sea apropiado. Mientras que las válvulas o las bridas ciegas pueden adaptarse fácilmente al proceso cuando están localizadas externamente al intercambiador de calor 224 (por ejemplo, en la salida de serpentín 248B) es deseable que los tapones se usen en las localizaciones internas (por ejemplo, para los desviadores 251A y 251B adyacentes a los serpentines primero y segundo respectivamente). En las figuras 8A y 8B, se muestra un ejemplo de tapón 251. El tapón 251 puede incluir una parte exterior roscada 290 para su acoplamiento con una estructura roscada cooperativamente dentro de los conductos de entrada/salida 238 y 240. Un cabezal enchavetado 292 está configurado para acoplarse cooperativamente con una herramienta para hacer rotar el tapón 251 en asociación con la instalación de tapones o retirarlo de los conductos de entrada/salida 238 y 240. Además, puede formarse un conjunto de roscas interiores 294 en el cabezal enchavetado con el fin de acoplar de manera bloqueante la herramienta de instalación retirada con el mismo, de tal manera que el tapón pueda disponerse en un conducto de entrada/salida 238 y 240 de longitud sustancial. Además, la configuración, la cantidad y la colocación de los desviadores de flujo y de los serpentines de enfriamiento, como se ha expuesto e ilustrado, son a modo de ejemplo. Por lo tanto, se entenderá que puede usarse una amplia diversidad de disposiciones alternativas de desviadores de flujo y serpentines de enfriamiento de acuerdo con la presente invención.

Conjuntamente con el control del flujo de la corriente de proceso 154''' a través de los serpentines de enfriamiento 232A-232C, la corriente(s) de enfriamiento que entra a través de las entradas de tanque 252A-252I puede controlarse de manera similar a través de las válvulas y la canalización apropiadas.

5 Haciendo referencia de nuevo a la figura 4, a medida que la corriente de proceso 154''' sale del intercambiador de calor 224 a través de la línea 256, se divide en una corriente de enfriamiento 170' y una corriente de producto 172'. La corriente de enfriamiento 170' pasa a través de una válvula JT 174' que expande la corriente de enfriamiento 170' produciendo diversas fases de CO₂, incluyendo CO₂ sólido, en la misma, formando una suspensión de gas natural y CO₂. Esta suspensión rica en CO₂ entra en el intercambiador de calor 224 a través de una o más de las entradas de tanque 252A-252I para pasar a lo largo de uno o más serpentines 232A-232C (véanse las figuras 5A y 5B).

15 La corriente de producto 172' pasa a través de una válvula JT 176' y se expande a una baja presión, por ejemplo, de aproximadamente 241 kPaa (35 psia). La expansión a través de la válvula JT 176' también sirve para bajar la temperatura, por ejemplo, a aproximadamente -151 °C (-240 °F). En este punto del proceso, se forma CO₂ sólido en la corriente de producto 172'. La corriente de producto expandida 172'', que ahora contiene CO₂ sólido, entra en el separador de líquido/vapor 180 en el que el vapor se recoge y se extrae del separador 180 a través de la canalización 182' y se añade a una corriente de enfriamiento combinada 257 para usar como refrigerante en el intercambiador de calor 224. El líquido en el separador de líquido/vapor 180 será una suspensión que comprende el producto combustible de GNL y el CO₂ sólido.

20 [258] La suspensión puede extraerse del separador 180 a un hidrociclón 258 a través de una bomba dimensionada y configurada adecuadamente 260. La bomba 260 se usa, principalmente, para gestionar la generación de vapor resultante de una caída de presión a través del hidrociclón 258. Es decir, la bomba 260 gestiona el vapor tomando la suspensión fría y presurizándola en un estado subenfriado. Tras el paso de suspensión subenfriada a través del hidrociclón 258, la suspensión retorna a un estado de equilibrio evitando de este modo la formación de un vapor de producto combustible y/o de CO₂ vaporizado como resultado de que la suspensión experimenta una caída de presión mientras que pasa a través del hidrociclón. La bomba 260 que se muestra esquemáticamente en la figura 4 es externa al separador de líquido/vapor 180, pudiendo localizarse físicamente la bomba, si se desea, dentro del separador de líquido/vapor 260. En una configuración de este tipo, la bomba puede sumergirse en la parte inferior del separador 180. Una bomba adecuada puede configurarse para tener un caudal ajustable de aproximadamente 7,5 a 23,5 litros por minuto (2 a 6,2 galones por minuto (gpm)) de GNL con una presión diferencial de 551 kPaa (80 psi) mientras funciona a -151 °C (-240 °F). El caudal ajustable puede controlarse por medio de una unidad de frecuencia variable. Tal bomba a modo de ejemplo está disponible en Barber-Nichols localizado en Arvada, Colorado.

35 El hidrociclón 258 actúa como un separador para eliminar el CO₂ sólido de la suspensión permitiendo que se recoja y se almacene el producto combustible de GNL. Un hidrociclón a modo de ejemplo 258 puede diseñarse, por ejemplo, para funcionar a una presión de aproximadamente 862 KPaa (125 psia) a una temperatura de aproximadamente -150 °C (-238 °F). El hidrociclón 258 usa una caída de presión para crear una fuerza centrífuga que separa los sólidos del líquido. Una pasta espesada, formada por una parte del gas natural líquido con el CO₂ sólido, sale del hidrociclón 258 a través de un subdesbordamiento 262. El resto del gas natural líquido se hace pasar a través de un desbordamiento 264 para un filtrado adicional. Existe un ligero diferencial de presión, por ejemplo, de aproximadamente 3kPa (0,5 psi), entre el subdesbordamiento 262 y el desbordamiento 264 del hidrociclón. Por lo tanto, por ejemplo, la pasta espesada puede salir del subdesbordamiento 262 a aproximadamente 279 kPaa (40,5 psia), saliendo el gas natural líquido del desbordamiento 264 a aproximadamente 276 kPaa (40 psia). Sin embargo, otros diferenciales de presión pueden ser más adecuados dependiendo del hidrociclón específico 258 utilizado. Una válvula de control 265 puede colocarse en el desbordamiento 264 del hidrociclón 258 para ayudar a controlar el diferencial de presión experimentado dentro del hidrociclón 258.

50 Un hidrociclón adecuado 258 está disponible, por ejemplo, en Krebs Engineering de Tucson, Arizona. Un hidrociclón a modo de ejemplo puede configurarse para funcionar a presiones de diseño de hasta aproximadamente 862 kPa (125 psi) dentro de un intervalo de temperatura de aproximadamente 38 °C a -184 °C (100 °F a -300 °F). Además, un hidrociclón a modo de ejemplo incluye deseablemente un interior que está micro-pulido con un acabado de 0,2 a 0,3 mm (8-12 micro pulgadas) o mejor.

55 El gas natural líquido pasa a través de uno de una pluralidad, en este caso dos, de filtros de pantalla de CO₂ 266A y 266B colocados en paralelo. Los filtros de pantalla 266A y 266B capturan todo el CO₂ sólido restante que puede no haberse separado en el hidrociclón 258. Haciendo referencia brevemente a la figura 9, un filtro de pantalla a modo de ejemplo 266 puede estar formado por un conducto de acero inoxidable Schedule 40 de 6 pulgadas 268, e incluye una primera pantalla de filtro 270 de malla gruesa de acero inoxidable, una segunda pantalla de filtro de forma cónica 272 de malla de acero inoxidable menos gruesa que la primera pantalla de filtro 270, y una tercera pantalla de filtro 274 formada de malla fina de acero inoxidable. Por ejemplo, en una realización, la primera pantalla de filtro 270 puede estar formada de acero inoxidable de malla 50 a 75, la segunda pantalla de filtro 272 puede estar formada de acero inoxidable de malla 75 a 100 y la tercera pantalla de filtro 274 puede estar formada de acero inoxidable de malla 100 a 150. En otra realización, dos de las pantallas de filtro 270 y 274 pueden estar formadas del mismo grado de malla, por ejemplo de acero inoxidable de malla 40 o más fina, y empaquetarse de una manera

menos densa o más densa para obtener el efecto deseado. Es decir, la pantalla de filtro 270 puede fabricarse a partir de un entramado o pantalla de malla que se enrolla relativamente suelto para proporcionar un empaquetado menos denso, o menos área de superficie, y la pantalla de filtro 274 puede fabricarse a partir del mismo material de entramado o pantalla de malla, pero enrollado más firmemente para producir un empaquetado más denso o de mayor área de superficie.

Los filtros de pantalla de CO₂ 266A y 266B pueden, de vez en cuando, llegar a obstruirse o taponarse con CO₂ sólido capturado en los mismos. Por lo tanto, cuando se usa un filtro, es decir, 266A, para capturar CO₂ a partir de la corriente de gas natural líquido, el otro filtro, es decir, 266B, puede purgarse de CO₂ haciendo pasar un gas natural de temperatura relativamente alta a través del mismo. Por ejemplo, puede extraerse gas después del ciclo de limpieza de agua a través de un cuarto intercambiador de calor 275 como se indica en los puntos de interfaz 276C y 276B para que fluya a través de y limpie el filtro de pantalla de CO₂ 266B. El gas puede hacerse fluir a través de una o más válvulas de regulación de presión 277 antes de pasar a través del intercambiador de calor 275 y al filtro de pantalla de CO₂ 266B, tal como puede ordenarse por las condiciones de presión y de flujo dentro del proceso.

Durante la limpieza del filtro 266B, el gas de limpieza puede descargarse de nuevo al intercambiador de calor de tipo serpentín 224 como se indica por las conexiones de interfaz 301B y 301C. Una válvula y una canalización apropiadas permiten que los filtros 266A y 266B se conmuten y se aislen uno de otro según se requiera. Otros métodos para eliminar los sólidos de CO₂ que se han acumulado en los filtros son fácilmente conocidos por los expertos en la materia.

El gas natural líquido filtrado sale de la planta 102'' para su almacenamiento, como se ha descrito anteriormente en el presente documento. Una válvula de tipo fallo de apertura 279 puede colocarse entre las líneas procedentes de la entrada y la salida de la planta como un dispositivo a prueba de fallos en caso de condiciones de desajuste, ya sea dentro de la planta 102'' o desde fuentes externas, tales como el tanque 116 (figura 1).

La pasta espesada formada en el hidrociclón 258 sale del subdesbordamiento 262 y pasa a través de la canalización 278 al intercambiador de calor 224, donde ayuda a enfriar la corriente de proceso 154' que fluye a través del mismo. El vapor que pasa a través de la línea 182' procedente del separador de líquido/vapor 180 pasa a través de una válvula de control de contrapresión 280A y se combina con una parte del gas extraído del intercambiador de calor 224 a través de la línea 259 para formar una corriente de enfriamiento combinada 257. La corriente de enfriamiento combinada 257 que fluye a través de la línea 259 sirve además como "maquillaje" para mantener el eductor 282 funcionando correctamente si el caudal a través de la válvula de control de contrapresión 280A es demasiado bajo. La válvula de control de contrapresión 280B se establece preferentemente un par de psi más alto que la válvula de control de presión 280A para mantener la corriente de enfriamiento combinada 257 moviéndose en la dirección correcta. La corriente de enfriamiento combinada 257 pasa, a continuación, a través de un eductor 282. Una corriente motriz 284, extraída de la corriente de proceso entre el intercambiador de calor de alta eficiencia 166 y el intercambiador de calor de tipo serpentín 224, también fluye a través del eductor y sirve para extraer la corriente de enfriamiento combinada 257 hacia una o más de las entradas de tanque 252A-252I (figura 5B). Un eductor a modo de ejemplo 282 puede estar configurado para funcionar a una presión de aproximadamente 5268 kPaa (764 psia) y una temperatura de aproximadamente -76 °C (-105 °F) para la corriente motriz, y una presión de aproximadamente 241 kPaa (35 psia) y una temperatura de aproximadamente -151 °C (-240 °F) para la corriente de aspiración con una presión de descarga de aproximadamente 476 KPaa (69 psia). Tal eductor está disponible en Fox Valve Development Corp. de Dover, Nueva Jersey.

Las suspensiones de CO₂ introducidas en el intercambiador de calor 224, ya sea a través de la corriente de enfriamiento 170', la corriente de enfriamiento combinada 257 o la corriente de subdesbordamiento 278, fluyen hacia abajo a través del intercambiador de calor 224 a lo largo de uno o más serpentines de enfriamiento 232A-232C haciendo que se sublime el CO₂ sólido. Esto produce una corriente de enfriamiento 286 que tiene una temperatura lo suficientemente alta para eliminar el CO₂ sólido en su interior. La corriente de enfriamiento 286 que sale del intercambiador de calor 224 se combina con la corriente de enfriamiento expandida 152' procedente del turboexpansor 156 para formar la corriente de enfriamiento combinada 178' que se usa para enfriar la corriente de proceso comprimida 154' en el intercambiador de calor de alta eficiencia 166. Tras salir del intercambiador de calor 166, la corriente de enfriamiento combinada 178' se combina adicionalmente con otros diversos componentes de gas que fluyen a través de la conexión de interfaz 136A, como se describe a lo largo del presente documento, para descargarse en la sección aguas abajo 130 de la tubería 104 (figura 1).

Haciendo referencia ahora a la figura 10, se muestra una planta de licuefacción 102'''. La planta de licuefacción 102''' funciona esencialmente de la misma manera que la planta de licuefacción 102' de la figura 4 con algunas modificaciones menores.

Un cuarto intercambiador de calor 222 está localizado a lo largo de la trayectoria de flujo de la corriente de proceso secuencialmente entre el intercambiador de calor de alta eficiencia 166' y el intercambiador de calor 224. El intercambiador de calor 222 está asociado con la extracción de CO₂ y sirve principalmente para calentar el CO₂ sólido que se extrae de la corriente de proceso en un punto posterior del ciclo, como se expondrá con mayor detalle a continuación. El cuarto intercambiador de calor 222 también ayuda a enfriar el gas en preparación para la

licuefacción y la extracción de CO₂.

La pasta espesada formada en el hidrociclón 258 sale del subdesbordamiento 262 y pasa a través de la canalización 278' al intercambiador de calor 222, donde se reduce la densidad del lodo espesado. A medida que la suspensión de CO₂ sale del intercambiador de calor 222, se combina con cualquier vapor que entra a través de la entrada de planta 128 (procedente del tanque 116 mostrado en la figura 1) así como el vapor que pasa a través de la línea 182' procedente del separador 180 de líquido/vapor formando la corriente de enfriamiento combinada 257'. La corriente de enfriamiento combinada 257' pasa a través de una válvula de control de presión 280A y, a continuación, a través de un eductor 282. Una corriente motriz 284', extraída de la corriente de proceso entre el intercambiador de calor 222 y el intercambiador de calor 224, también fluye a través del eductor y sirve para extraer la corriente de enfriamiento combinada 158 en una o más de las entradas de tanque 252A-252I (figura 5B).

Como con la realización descrita en referencia a la figura 4, las suspensiones de CO₂ introducidas en el intercambiador de calor 224, ya sea a través de la corriente de enfriamiento 170' o de la corriente de enfriamiento combinada 257, fluyen hacia abajo a través del intercambiador de calor 224 a lo largo de uno o más serpentines de enfriamiento 232A-232C haciendo que se sublime el CO₂ sólido. Esto produce una corriente de enfriamiento 286 que tiene una temperatura lo suficientemente alta para extraer el CO₂ sólido en su interior. La corriente de enfriamiento que sale del intercambiador de calor 224 se combina con la corriente de enfriamiento expandida 152' procedente del turboexpansor 156 para formar la corriente de enfriamiento combinada 178' que se usa para enfriar la corriente de proceso comprimida 154' en el intercambiador de calor de alta eficiencia 166. Tras salir del intercambiador de calor 166, la corriente de enfriamiento combinada 178' se combina adicionalmente con otros diversos componentes de gas que fluyen a través de la conexión de interfaz 136A, como se describe a lo largo del presente documento, para descargarse en la sección aguas abajo 130 de la tubería 104 (figura 1).

Como en las realizaciones expuestas anteriormente, los filtros de pantalla de CO₂ 266A y 266B pueden requerir limpieza o purga de vez en cuando. Sin embargo, en la realización mostrada en la figura 10, el gas puede extraerse después del ciclo de limpieza de agua en el punto de interfaz 276C e introducirse en el punto de interfaz 276A o 276B para fluir a través de y limpiar los filtros de pantalla de CO₂ 266A o 266B. Durante la limpieza del filtro 266B, el gas de limpieza puede descargarse de nuevo en la tubería 104 (figura 1) como se indica por las conexiones de interfaz 136E o 136F y 136B. Una válvula y una canalización apropiadas permiten que los filtros 266A y 266B se conmuten y se aislen uno de otro según se requiera. Otros métodos para eliminar los sólidos de CO₂ que se han acumulado en los filtros son fácilmente conocidos por los expertos en la materia. El gas natural líquido filtrado sale de la planta 102'' para almacenarse como se ha descrito anteriormente en el presente documento.

Haciendo referencia ahora a las figuras 11A y 12, se muestra un circuito de presión diferencial 300 de la planta 102'''. El circuito de presión diferencial 300 está diseñado para equilibrar el flujo que entra en la válvula JT 176' justo antes del separador de líquido/vapor 180 basándose en la diferencia de presión entre la corriente de proceso comprimida 154' y la corriente de producto 172'. La válvula JT 174' localizada a lo largo de la corriente de enfriamiento 170' actúa como la válvula de control primaria que hace pasar una mayoría del flujo de masa que sale del intercambiador de calor 224 con el fin de mantener la temperatura correcta en la corriente de producto 172'. En condiciones de funcionamiento normales, se supone que el gas fluirá siempre a través de la válvula JT 174'. La apertura de la válvula JT 174' aumenta el flujo de vuelta al intercambiador de calor 224 y, en consecuencia, disminuye la temperatura en la corriente de producto 172'. Por el contrario, restringir el flujo a través de la válvula JT 174' dará como resultado un aumento de temperatura en la corriente de producto 172'.

La válvula JT 176' localizada en la corriente de producto 172' sirve para equilibrar cualquier exceso de flujo en la corriente de producto 172' debido a variaciones, por ejemplo, en el control de la temperatura de la corriente de producto 172' o las sobrepresiones experimentadas debido al funcionamiento del compresor 158.

Una válvula de control diferencial de presión (PDC) 302 está dispuesta entre, y acoplada a, la corriente de proceso comprimida 154' y la corriente de producto 172' (como también se indica mediante las conexiones de interfaz 301A y 301B en la figura 4). Una línea piloto 304 está acoplada entre el lado de baja presión 306 de la válvula PDC 302 y el piloto 308 de la válvula JT 176'. Tanto la válvula PDC 302 como el piloto 308 de la válvula JT 176' se empujan (es decir, con resortes) para unos desplazamientos de presión para compensar las pérdidas de presión experimentadas por el flujo de la corriente de proceso 154' a través del circuito que contiene los intercambiadores de calor 166, 222 (si se usa) y 224.

Los siguientes son ejemplos de cómo puede comportarse el circuito de presión diferencial 300 en ciertas situaciones a modo de ejemplo.

En una situación, la presión y el flujo aumentan en la corriente de proceso comprimida 154' debido a fluctuaciones en el compresor 158. A medida que aumenta la presión en la corriente de proceso comprimida 154', el lado alto 310 de la válvula PDC 302 hace que se abra la válvula PDC 302, aumentando de este modo la presión dentro de la línea piloto 304 y el piloto 308 de la válvula JT 176'. Después de fluir a través de los diversos intercambiadores de calor, una nueva presión dará como resultado la corriente de producto 172'. Con el flujo mantenido por la válvula JT 174', el fluido de proceso excesivo acumulado en la corriente de producto 172' dará como resultado menos pérdida de

presión a través de los intercambiadores de calor, llevando la presión en la corriente de producto 172' más cerca de la presión mostrada por la corriente de proceso comprimida 154'. La presión aumentada en la corriente de producto 172' se detectará por la válvula PDC 302 y hará que se cierre, superando de este modo la presión en la línea piloto 304 y el elemento de empuje del piloto 308. Como resultado, la válvula JT 176' se abrirá y aumentará el flujo a su través. A medida que el flujo aumenta a través de la válvula JT 176', se reducirá la presión en la corriente de producto 172'.

En un segundo escenario, la presión y el flujo están en una condición de estado estacionario en la corriente de proceso comprimida 154'. En este caso, el compresor proporcionará más flujo que el que se extraerá por la válvula JT 174', dando como resultado un aumento de presión en la corriente de producto 172'. A medida que la presión se acumula en la corriente de producto, la válvula PDC 302 y la válvula JT 176' reaccionarán como se ha descrito anteriormente con respecto al primer escenario para reducir la presión en la corriente de producto 172'.

En un tercer escenario, la válvula JT 174' se abre de repente, magnificando la pérdida de presión a través de los intercambiadores de calor 224 y 166 y reduciendo de este modo la presión en la corriente de producto 172'. La pérdida de presión en la corriente de producto 172' se detectará por la válvula PDC 302, accionando de este modo el piloto 308, de tal manera que la válvula JT 176' se cierra hasta que el flujo vuelva a estar en equilibrio.

En un cuarto escenario, la válvula JT 174' se cierra de repente, provocando un pico de presión en la corriente de producto 172'. En este caso, el aumento de presión se detectará por la válvula PDC 302, accionando de este modo el piloto 308 y haciendo que la válvula JT 176' se abra y libere el exceso de presión/flujo hasta que la presión y el flujo vuelvan a estar en equilibrio.

En un quinto escenario, la presión disminuye en la corriente de proceso comprimida 154' debido a fluctuaciones en el compresor. Esto hará que el circuito 300 responda de tal manera que la válvula JT 176' se cierre momentáneamente hasta que la presión y el flujo se equilibren en la corriente de producto 172'.

La válvula JT 174' es un componente significativo del circuito de presión diferencial 300, ya que sirve para mantener la división entre la corriente de enfriamiento 170' y la corriente de producto 172' subsiguiente al flujo de la corriente de proceso comprimida 154' a través del intercambiador de calor 224. La válvula JT 174' logra esto manteniendo la temperatura de la corriente en la línea 256 que sale del intercambiador de calor 224. A medida que la temperatura en la línea 256 (y, por lo tanto, en la corriente de enfriamiento 170' y la corriente de proceso 172') cae por debajo de una temperatura deseada, el flujo a través de la válvula JT 174' puede ajustarse para proporcionar menos enfriamiento al intercambiador de calor 224. A la inversa, a medida que la temperatura en la línea 256 se eleva por encima de una temperatura deseada, el flujo a través de la válvula JT 174' puede ajustarse para proporcionar un enfriamiento adicional al intercambiador de calor 224.

Haciendo referencia ahora a la figura 11B, se muestra un circuito preferido 300'. El funcionamiento del circuito 300' es, en general, el mismo que el circuito 300 descrito anteriormente, sin embargo, en lugar de usar un control mecánico, el circuito 300' se controla electro-neumáticamente. Las diferencias principales entre los circuitos 300 y 300' incluyen reemplazar las líneas de detección de presión 370 y 372 con los sensores de presión 374 y 376 y los cables eléctricos 370' y 372'. Además, el regulador de presión diferencial 302 y la línea de control 304 se reemplazan por un controlador eléctrico 302' y una línea de detección electro-neumática 304', y el piloto 308 se reemplaza por un control piloto de corriente a neumática (I/P) 308'. Debe observarse que cuando se usa el circuito 300 o el circuito 300' funcionarán con cualquier número de intercambiadores de calor que proporcionen una caída de presión de 154' a 172'.

Haciendo referencia ahora a la figura 12, se muestra una planta de licuefacción 102'''' y un proceso. La planta de licuefacción 102'''' funciona esencialmente de la misma manera que la planta de licuefacción 102'''' de la figura 10 con algunas modificaciones menores. En lugar de hacer pasar la pasta de CO₂ espesada del hidrociclón 258 a través de un intercambiador de calor 222 (figura 10), una bomba 320 aloja el flujo de la pasta de CO₂ espesada de vuelta al intercambiador de calor 224. La configuración de la planta 102'''' elimina la necesidad de un intercambiador de calor adicional (es decir, 222 de la figura 10). Sin embargo, el flujo de la pasta de CO₂ espesada puede estar limitado por la capacidad de la bomba y la densidad de la pasta espesada en la configuración mostrada en la figura 10.

Haciendo referencia ahora a la figura 13, una configuración física a modo de ejemplo de la planta 102'' descrita en referencia a la figura 4 está de acuerdo con una realización de la misma. La planta 102'' se muestra sin un revestimiento o un techo para su visibilidad. Sustancialmente, puede montarse toda una planta 102'' sobre una estructura de soporte, tal como una corredera 330, de tal manera que la planta 102'' pueda moverse y transportarse según sea necesario. Señalando algunos de los componentes principales de la planta 102'', el turboexpansor 156/compresor 158 se muestra en la parte derecha de la corredera 330. Un operario humano 332 se muestra junto al turboexpansor 156/compresor 158 para proporcionar un marco general de referencia con respecto al tamaño de la planta 102''. En general, la planta en conjunto puede estar configurada, por ejemplo, para tener aproximadamente 30 pies (9,14 m) de largo, 17 pies (5,18 m) de alto y 8½ pies (2,59 m) de ancho. Sin embargo, la planta en conjunto puede tener un tamaño menor o mayor según se desee.

El intercambiador de calor de alta eficiencia 166 y el intercambiador de calor 224 usados para la sublimación de CO₂ sólido se encuentran en el lado izquierdo de la corredera 330. Los filtros de CO₂ paralelos 266A y 266B pueden verse adyacentes al intercambiador de calor 224. El cableado 334 puede extenderse desde la corredera 330 hasta una localización remota, tal como un recinto separado 335 o sala de control, para controlar diversos componentes, tales como, por ejemplo, el turboexpansor 156/compresor 158, como se apreciará y se comprenderá por los expertos en la materia. Además, las líneas neumáticas y/o hidráulicas podrían extenderse desde la corredera 330 para el control o la entrada de alimentación externa según se desee. Se observa que localizando de manera remota los controles, o al menos algunos de los controles, pueden reducirse los costes, ya que tales controles e instrumentos localizados de manera remota no necesitan tener, por ejemplo, recintos a prueba de explosiones u otras características de seguridad que se requerirían si estuvieran localizados en la corredera 330.

También se observa que puede montarse un armazón 340 sobre la corredera 330 y configurarse para abarcar sustancialmente la planta 102". Se muestra una primera sección 342, que presenta una primera altura, que abarca sustancialmente el volumen alrededor del turboexpansor 156 y del compresor 158. Una segunda sección 344 abarca sustancialmente el volumen alrededor de los intercambiadores de calor 166, 224, los filtros 266A y 266B y otros componentes que funcionan a temperaturas reducidas. La segunda sección 344 incluye dos subsecciones 344A y 344B, siendo la subsección 344A sustancialmente equivalente en altura a la sección 342. La subsección 344B se extiende por encima de la altura de la sección 342 y puede ser desmontable con fines de transporte como se expone a continuación. La canalización asociada con la planta 102" puede aislarse con fines de minimizar la transferencia de calor no deseada. Como alternativa, o en combinación con conductos aislados y componentes seleccionados, una pared aislada 346 puede separar la sección 342 de la sección 344 y del entorno exterior de la planta 102". Además, pueden colocarse paredes aisladas en el armazón 340 alrededor del exterior de la planta 102" para aislar al menos una parte de la planta 102" de las condiciones de temperatura ambiente que podrían reducir la eficiencia de la planta 102". Además, pueden aislarse individualmente diversos componentes además de la canalización de interconexión, incluyendo, pero sin limitarse a, el tanque de separación 180, los módulos de filtro 266A, B, y los intercambiadores de calor 166 y 224.

Haciendo referencia ahora a la figura 14, la planta 102", o una parte sustancial de la misma, puede, por ejemplo, cargarse en un remolque 350 para transportarse por el camión 352 a un sitio de planta. Como alternativa, la estructura de soporte puede servir como remolque con la corredera 330 configurada con ruedas, suspensión y un enganche para montarse en el camión tractor 352 en un extremo y un segundo conjunto de ruedas 354 en el extremo opuesto. Otros medios de transporte serán fácilmente evidentes para los expertos en la materia.

Se observa que se ha retirado la subsección superior 344B y, aunque no se ha ilustrado explícitamente en el dibujo, se han retirado algunos componentes más grandes, tales como el intercambiador de calor de alta eficiencia 166 y el intercambiador de calor de procesamiento de CO₂ sólido 224. Esto permite potencialmente que la planta se transporte sin ningún permiso especial (es decir, carga ancha, carga sobredimensionada, etc.) manteniendo la planta sustancialmente intacta.

Se observa además que la planta puede incluir controles, de tal manera que se requiera una mínima entrada del operario. De hecho, puede ser deseable que cualquier planta 102-102"" funcione sin un operario en el sitio. Por lo tanto, con un diseño de programación y de control adecuado, puede accederse a la planta a través de telemetría remota para monitorizar y/o ajustar las operaciones de la planta. De manera similar, pueden incorporarse diversas alarmas en tales controles para avisar a un operario remoto o para apagar la planta en una condición de desajuste. Un controlador adecuado puede ser, por ejemplo, un controlador lógico programable de la serie DL405 (PLC) disponible en el mercado en Automation Direct de Cumming, Georgia.

Aunque la invención se ha desvelado principalmente en términos de licuefacción de gas natural, se observa que el presente aparato puede utilizarse simplemente para la extracción de componentes de gas, tales como, por ejemplo, CO₂ de una corriente de gas relativamente "sucio". Además, pueden procesarse otros gases y pueden extraerse otros componentes de gas, tales como, por ejemplo, nitrógeno. Por lo tanto, la presente invención no se limita a la licuefacción de gas natural y la extracción de CO₂ del mismo.

EJEMPLO

Haciendo referencia ahora a las figuras 4 y 15, se expone un ejemplo del proceso realizado en la planta de licuefacción 102". Se observa que la figura 14 es el mismo diagrama de flujo de proceso que la figura 4 (en combinación con los componentes adicionales de la figura 3, por ejemplo, el compresor 154 y el expansor 156 etc.), pero con los números de referencia de componentes omitidos para mayor claridad. Como el proceso general se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 4, el siguiente ejemplo expone condiciones a modo de ejemplo del gas/líquido/suspensión en diversas localizaciones a través de la planta, denominadas en el presente documento puntos de estado, de acuerdo con el diseño operativo calculado de la planta 102".

En el punto 400 del estado, a medida que el gas sale de la tubería de distribución y entra en la planta de licuefacción, el gas estará a aproximadamente 15,5 °C (60 °F) a una presión de aproximadamente 3034 kPaa (440 psia) con un flujo de aproximadamente 4530 kg/hr (10.000 lbm/hr).

ES 2 628 502 T3

En los puntos de estado 402 y 404, el flujo se dividirá de tal manera que fluirá aproximadamente a 2294 kg/hr (5.065 lbm/hr) a través del punto de estado 402 y fluirá aproximadamente a 2240 kg/hr (4.945 lbm/hr) a través del punto de estado 404, siendo las temperaturas y presiones de cada punto de estado similares a las del punto de estado 400.

5 En el punto de estado 406, a medida que la corriente sale del turboexpansor 156, el gas estará a aproximadamente -76 °C (-104 °F) a una presión de aproximadamente 448 kPaa (65 psia). En el punto de estado 408, a medida que el gas sale del compresor 158, el gas estará a aproximadamente 86 °C (187 °F) a una presión de aproximadamente 5309 kPaa (770 psia).

10 En el punto de estado 410, después del primer intercambiador de calor 220 y antes del intercambiador de calor de alta eficiencia 166, el gas estará aproximadamente a 79 °C (175 °F) a una presión de aproximadamente 5309 kPaa (770 psia). En el punto de estado 412, después de la limpieza de agua y a mitad de camino a través del intercambiador de calor de alta eficiencia 166, el gas estará aproximadamente a -57 °C (-70 °F) a una presión de aproximadamente 5281 kPaa (766 psia) y mostrará un caudal de aproximadamente 2237 kg/hr (4.939 lbm/hr).

15 El gas que sale del intercambiador de calor de alta eficiencia 166, como se muestra en el punto de estado 414, estará aproximadamente a -76 °C (-105 °F) a una presión de aproximadamente 5260 kPaa (763 psia).

20 El flujo a través de la corriente de producto 172' en el punto de estado 418 estará aproximadamente a -132 °C (-205 °F) a una presión de aproximadamente 5247 kPaa (761 psia) con un caudal de aproximadamente 1692 kg/hr (3.735 lbm/hr). En el punto de estado 420, después de pasar a través de la válvula Joule-Thomson, y antes de entrar en el separador 180, la corriente se convertirá en una mezcla de gas, gas natural líquido, y CO₂ sólido y estará aproximadamente a -151 °C (-240 °F) a una presión de aproximadamente 241 kPaa (35 psia). La suspensión de CO₂ sólido y gas natural líquido tendrá temperaturas y presiones similares, a medida que deja el separador 180, sin embargo, tendrá un caudal de aproximadamente 600 kg/h (1.324 lbm/hr).

25 En el punto de estado 422, se elevará la presión de la suspensión, a través de la bomba 260, a una presión de aproximadamente 786 kPaa (114 psia) y una temperatura de aproximadamente -149 °C (-236 °F). En el punto de estado 424, después de separarse a través del hidrociclón 258, el gas natural líquido estará aproximadamente a -151 °C (-240 °F) a una presión de aproximadamente 241 kPaa (35 psia) con un caudal de aproximadamente 479 kg/hr (1.059 lbm/hr). El estado del gas natural líquido será sustancialmente el mismo a medida que sale de la planta 102" en un recipiente de almacenamiento.

30 En el punto de estado 426 la pasta espesada (que incluye CO₂ sólido) que sale del hidrociclón 258 estará aproximadamente a -148 °C (-235 °F) a una presión de aproximadamente 472 kPaa (-68,5 psia) y fluirá a una velocidad de aproximadamente 120 kg/h (265 lbm/hr).

35 En el punto de estado 430, el gas que sale del separador 180 estará aproximadamente a -151 °C (-240 °F) a una presión de aproximadamente 241 kPaa (35 psia) con un caudal de aproximadamente 119 kg/h (263 lbm/hr).

40 En el punto de estado 434, el gas en la corriente motriz que entra en el eductor estará aproximadamente a -76 °C (-105 °F) a aproximadamente 5268 kPaa (764 psia). El caudal en el punto de estado 434 será de aproximadamente 546 kg/hr (1.205 lbm/hr). En el punto de estado 436, subsiguiente al eductor, la corriente mezclada estará aproximadamente a -138 °C (-217 °F) a aproximadamente 483 kPaa (70 psia) con un caudal combinado de aproximadamente 316 kg/h (698 lbm/hr).

45 En el punto de estado 438, antes de la válvula JT 174', el gas estará aproximadamente a -132 °C (-205 °F) a una presión de aproximadamente 5247 kPaa (761 psia) con un caudal de aproximadamente 972 kg/hr (2.147 lbm/hr). En el punto de estado 440, después de pasar a través de la válvula JT 174' por la que se forma CO₂ sólido, la suspensión estará aproximadamente a -141 °C (-221 °F) con una presión de aproximadamente 472 kPaa (68,5 psia).

50 En el punto de estado 442, tras salir del intercambiador de calor 224, la temperatura del gas será de aproximadamente -126 °C (-195 °F) y la presión será de aproximadamente 448 kPaa (65 psia). El caudal en el punto de estado 442 será de aproximadamente 1765 kg/hr (3.897 lbm/hr). En el punto de estado 444, después de combinar dos corrientes, el gas tendrá una temperatura de aproximadamente -102 °C (-151 °F) y una presión de aproximadamente 448 kPaa (65 psia).

55 En el punto de estado 446, tras salir del intercambiador de calor de alta eficiencia 166, y antes de descargarse en la tubería 104, el gas tendrá una temperatura de aproximadamente 37 °C (99 °F) y una presión de aproximadamente 448 kPaa (65 psia). El caudal en el punto de estado 446 será de aproximadamente 4059 kg/hr (8.962 lbm/hr).

60 A la luz de la divulgación anterior, se apreciará que el proceso de licuefacción representado y descrito en el presente documento proporciona medios económicos, eficientes y eficaces de producir GNL sin el requisito de "purificación" del gas antes de someter el gas al ciclo de licuefacción. Esto permite el uso del gas relativamente "sucio" encontrado habitualmente en líneas de servicio residenciales e industriales, y elimina la necesidad de equipos de pretratamiento costosos y proporciona una reducción significativa en los costes de funcionamiento para procesar dicho gas

65

relativamente "sucio".

5 Aunque la invención pueda ser susceptible de diversas modificaciones y formas alternativas, se hayan mostrado realizaciones específicas a modo de ejemplo en los dibujos y se haya descrito en detalle en el presente documento, debería entenderse que la invención no está destinada a limitarse a las formas específicas desveladas. Por el contrario, la invención incluye todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caen dentro de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un intercambiador de calor (224) que comprende:

5 un tanque (230);
 al menos dos serpentines (232A, 232B, 232C) dispuestos en el tanque (230) en el que los al menos dos
 serpentines (232A, 232B, 232C) se acoplan en serie;
 al menos una entrada de serpentín (248A, 250A) configurada para admitir una primera corriente (154''') a través
 de al menos uno de los al menos dos serpentines (232A, 232B, 232C);
 10 una pluralidad de salidas de serpentín (248B, 250B) configuradas para hacer pasar la primera corriente (154''')
 procedente desde los serpentines (232A, 232B, 232C);
 estando el intercambiador de calor (224) **caracterizado por** al menos dos entradas de tanque (252A-252I)
 configuradas para hacer fluir una segunda corriente (253, 255) a través del tanque (230), estando cada una de
 las al menos dos entradas de tanque (252A-252I) colocadas cerca de un serpentín correspondiente (232) de los
 15 al menos dos serpentines (232A, 232B, 232C) para hacer que la segunda corriente (253, 255) fluya a lo largo de
 al menos el serpentín (232) del cual está colocada cerca la entrada de tanque respectiva; y
 una salida de tanque (254) configurada para extraer la segunda corriente (253, 255) del tanque (230) y en la que
 el intercambiador de calor (224) está configurado de tal manera que la primera corriente puede hacerse fluir
 selectivamente en serie a través de un número deseado de los al menos dos serpentines (232A, 232B, 232C) y
 20 de tal manera que la segunda corriente (253, 255) puede hacerse fluir de manera sustancialmente simultánea a
 lo largo de los mismos serpentines (232) a través de los que se ha hecho fluir selectivamente la primera corriente
 (154''').

25 2. El intercambiador de calor (224) de la reivindicación 1, en el que el intercambiador de calor (224) está configurado
 de tal manera que la primera corriente (154''') puede fluir selectivamente a través de un solo serpentín (232) de los al
 menos dos serpentines (232A, 232B, 232C) y de tal manera que la segunda corriente (23, 255) puede hacerse fluir
 selectivamente a lo largo de un solo serpentín (232) de los al menos dos serpentines (232A, 232B, 232C) de manera
 sustancialmente simultánea.

30 3. El intercambiador de calor (224) de la reivindicación 1, en el que el tanque (224) está configurado como un
 recipiente a presión.

4. El intercambiador de calor (224) de la reivindicación 1, en el que el tanque (224) comprende acero inoxidable.

35 5. El intercambiador de calor (224) de la reivindicación 1, en el que los al menos dos serpentines (232A, 232B,
 232C) comprenden acero inoxidable.

40 6. El intercambiador de calor (224) de la reivindicación 1, que además comprende al menos un desviador de flujo
 (251A, 251B, 251C) colocado en una trayectoria de flujo de la primera corriente (154''') en el que el desviador de
 flujo ayuda a definir a través de qué serpentines (232) del número deseado de serpentines (232) fluirá la primera
 corriente (154''').

45 7. El intercambiador de calor (224) de la reivindicación 6, en el que el al menos un desviador de flujo (251A, 251B,
 251C) comprende al menos un tapón (251).

8. El intercambiador de calor (224) de la reivindicación 7, en el que el al menos un tapón (251) comprende un cuerpo
 (290) que tiene un primer conjunto de roscas externas y un cabezal enchavetado (292) configurado para acoplarse
 cooperativamente con una herramienta de instalación.

50 9. El intercambiador de calor (224) de la reivindicación 7, en el que el al menos un tapón (251) comprende además
 un conjunto de roscas internas (294) en el cabezal enchavetado (292).

10. El intercambiador de calor (224) de la reivindicación 6, en el que el al menos un desviador de flujo (251A, 251B,
 251C) comprende una válvula.

55 11. El intercambiador de calor (224) de la reivindicación 6, en el que el al menos un desviador de flujo comprende
 una brida ciega.

60 12. El intercambiador de calor (224) de la reivindicación 1, en el que los al menos dos serpentines (232A, 232B,
 232C) comprenden tres serpentines (232A, 232B, 232C).

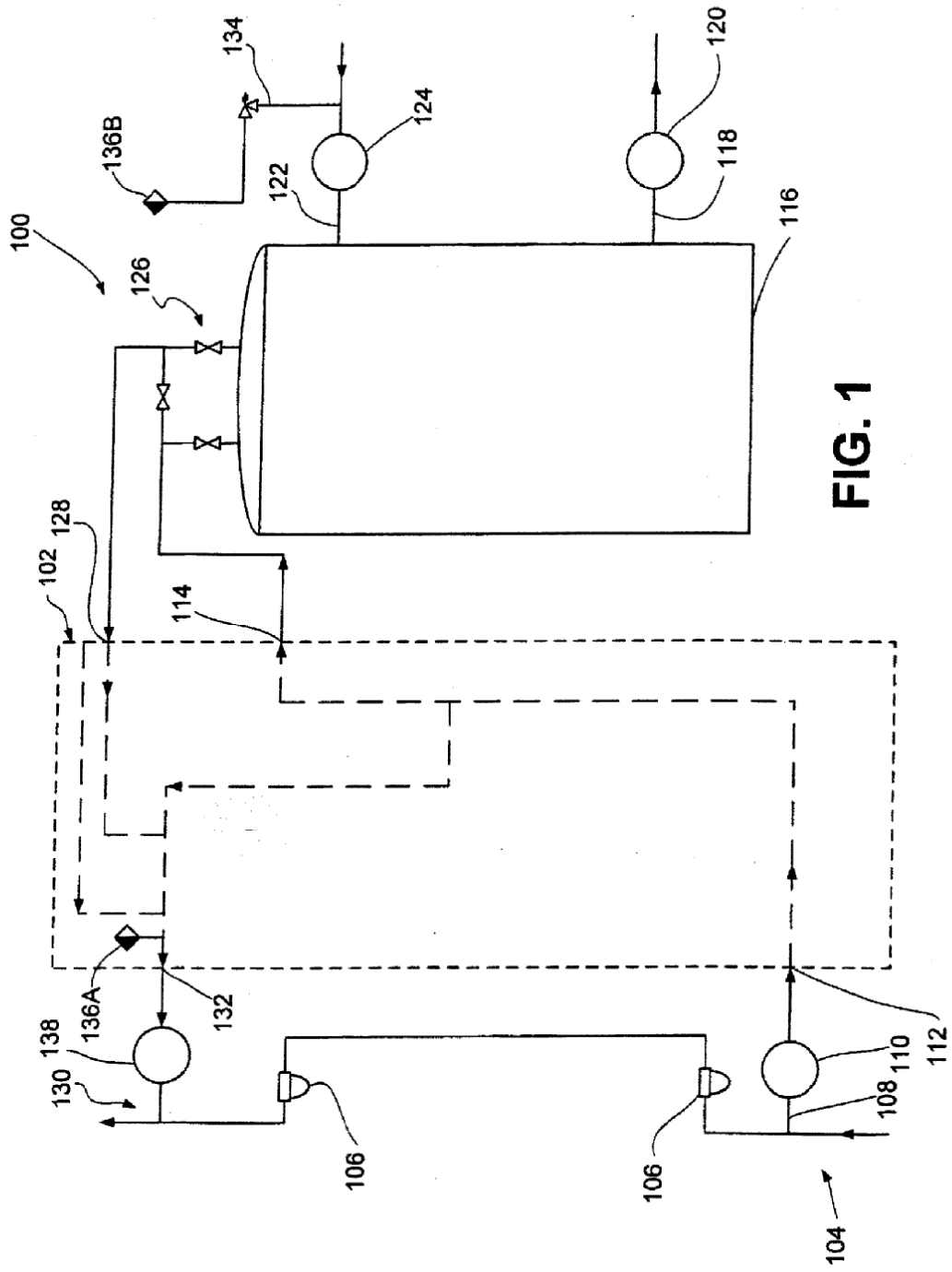


FIG. 1

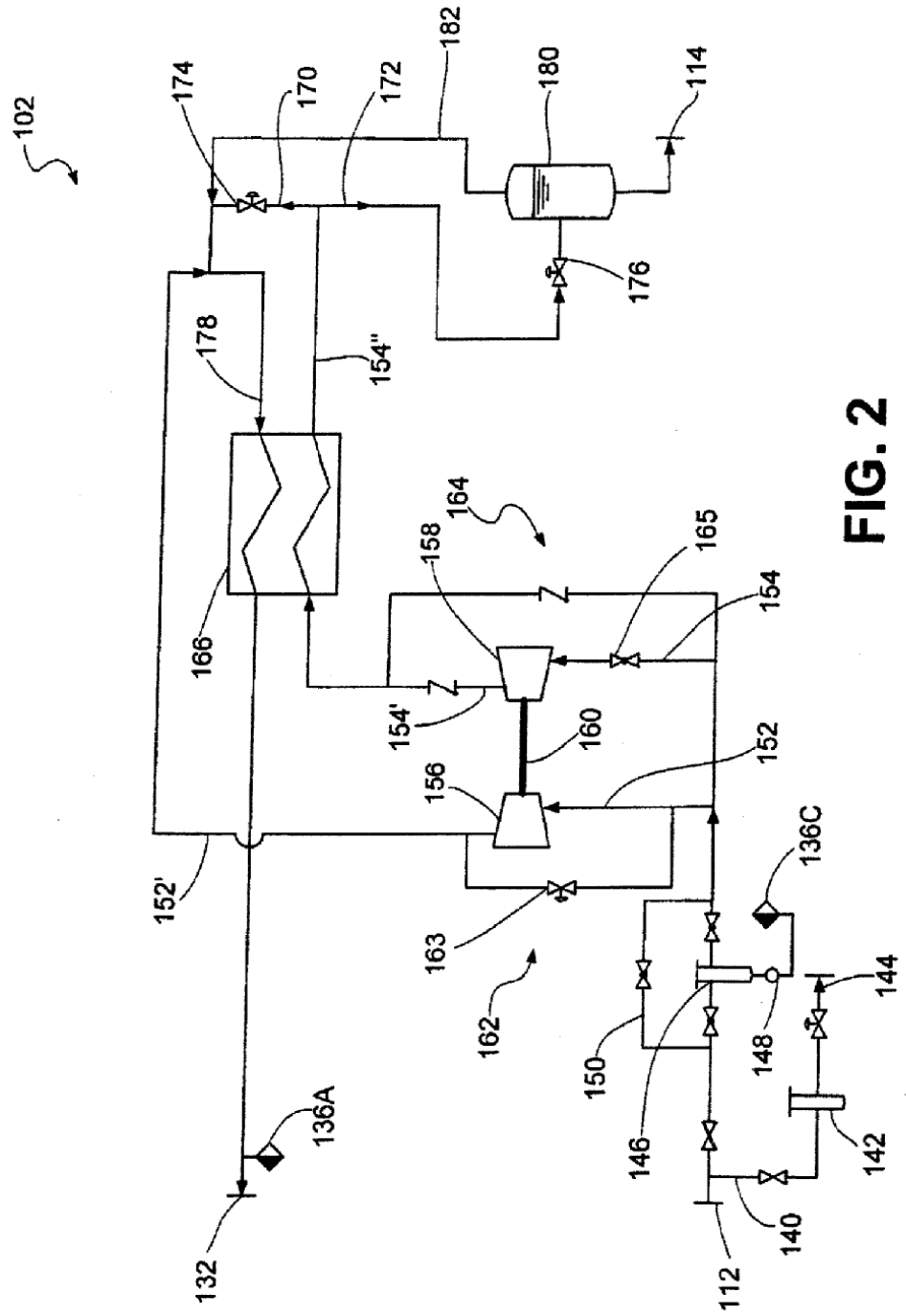


FIG. 2

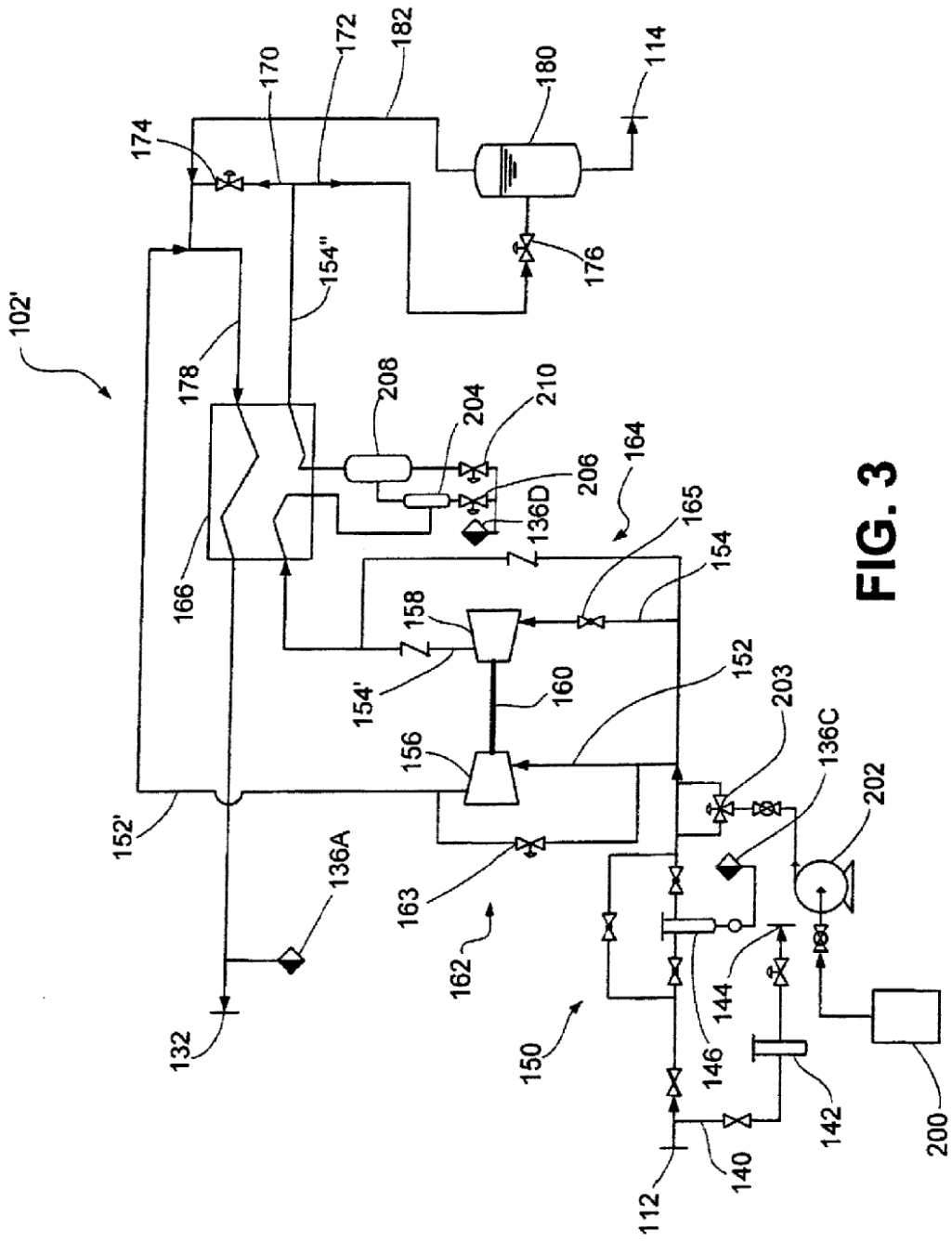


FIG. 3

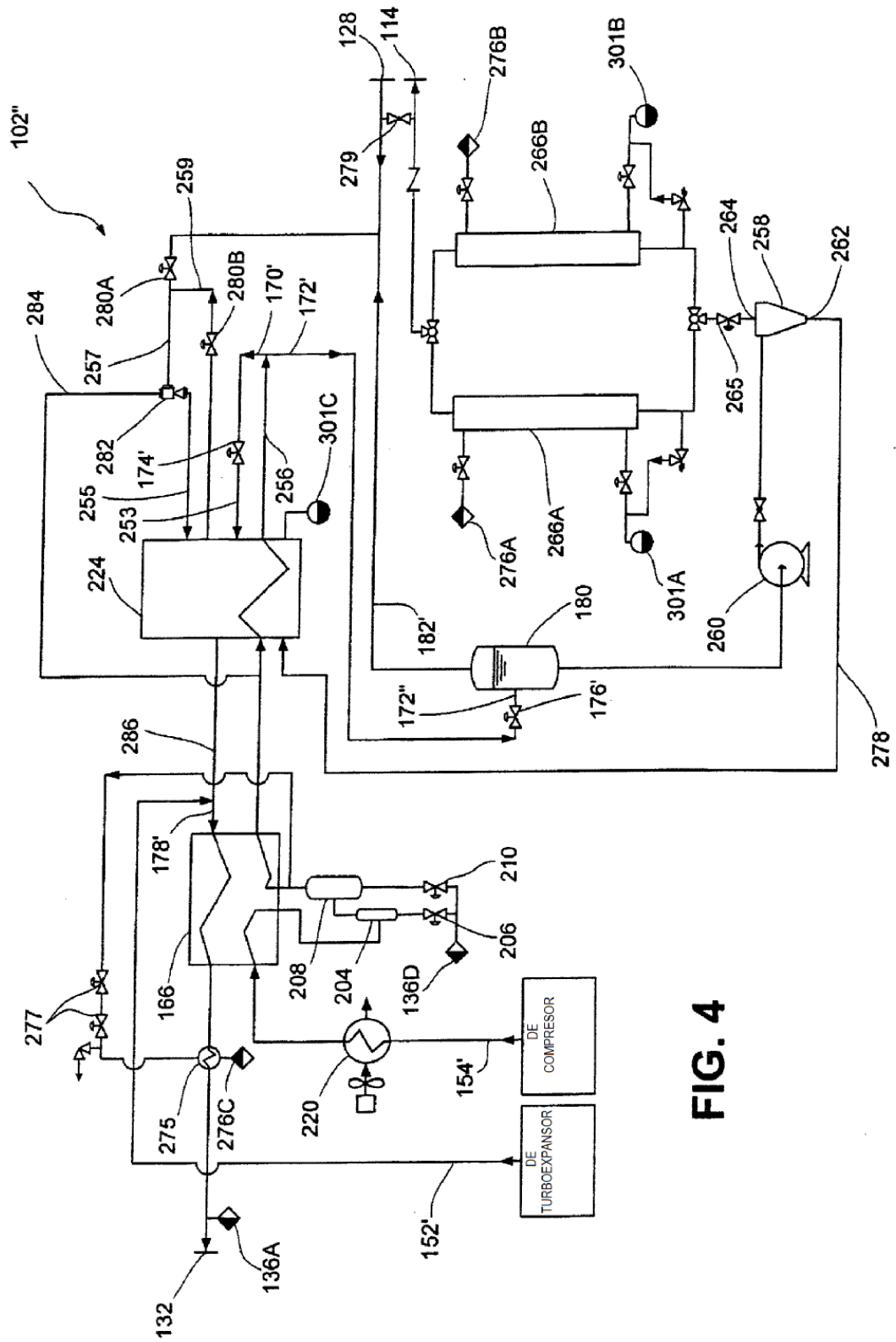


FIG. 4

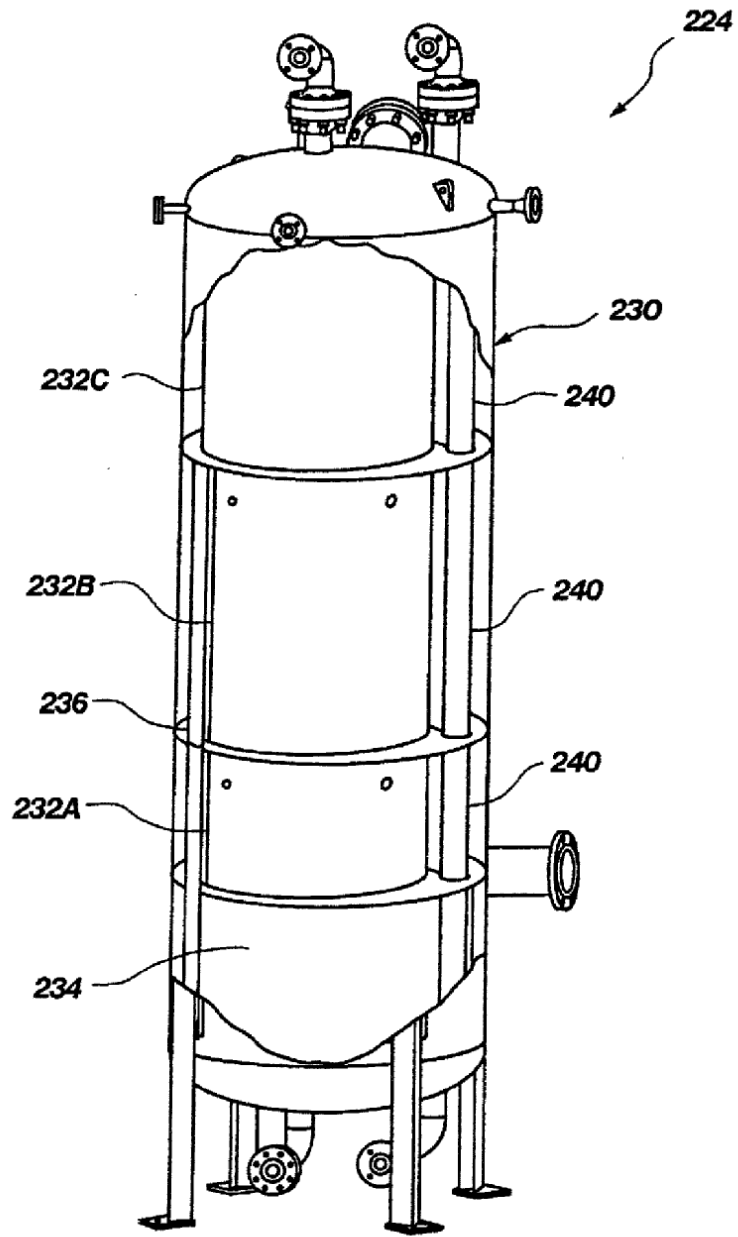


Fig. 5A

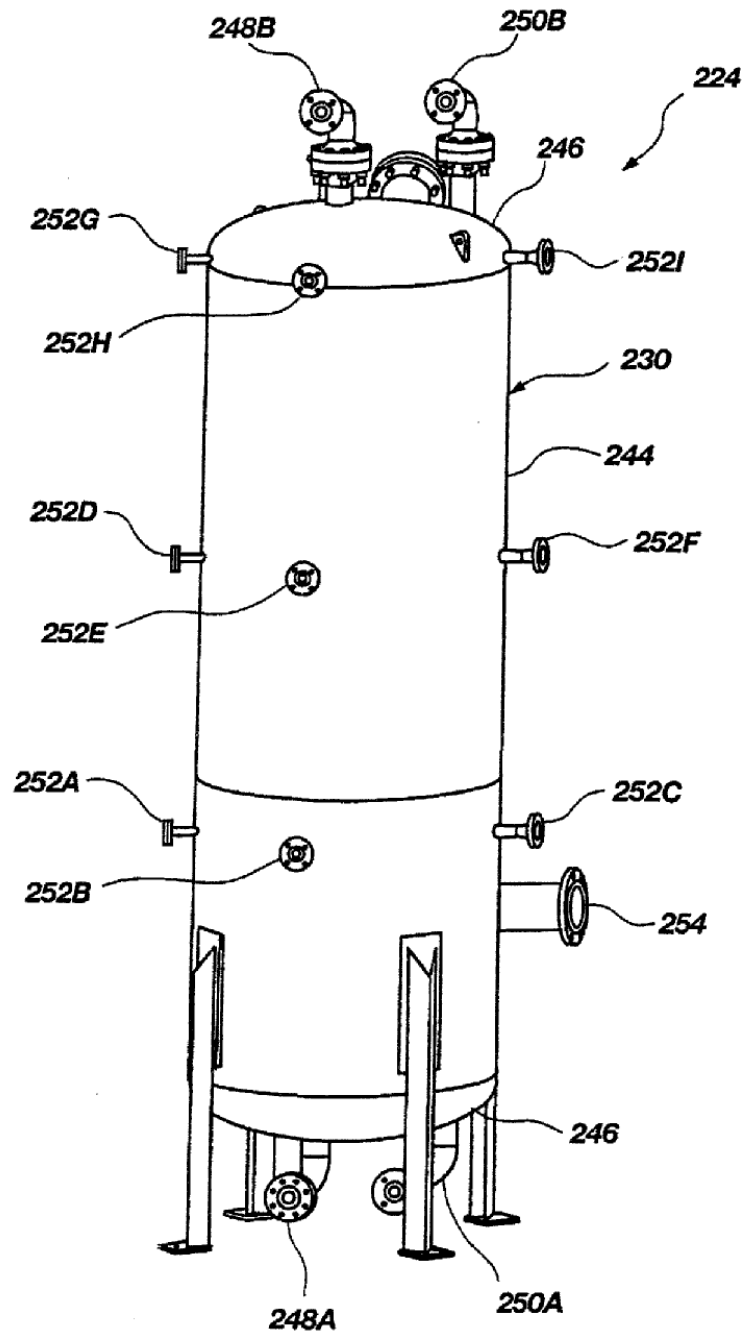


Fig. 5B

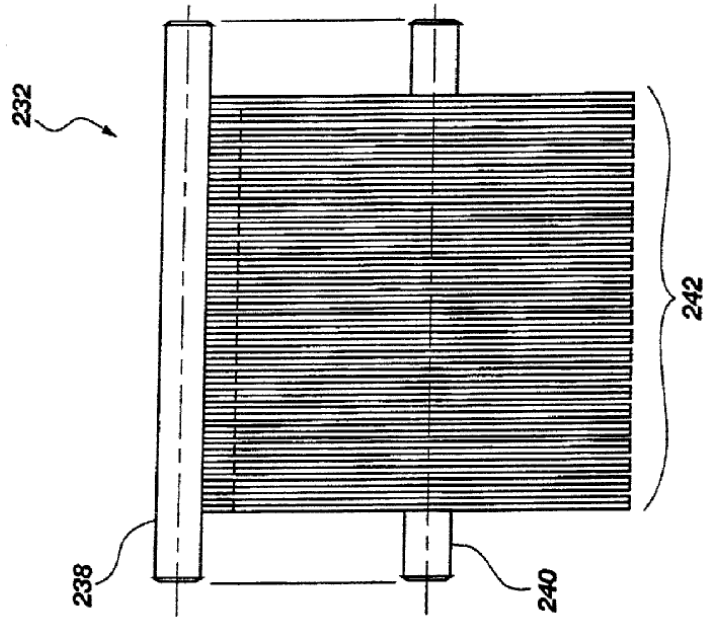


Fig. 6B

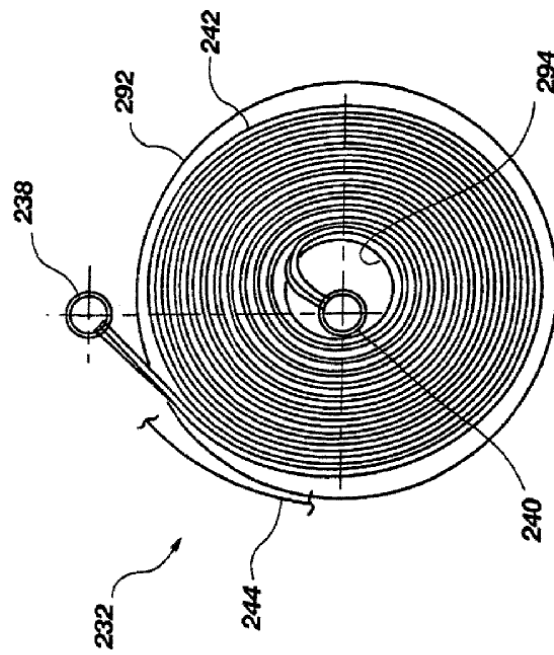


Fig. 6A

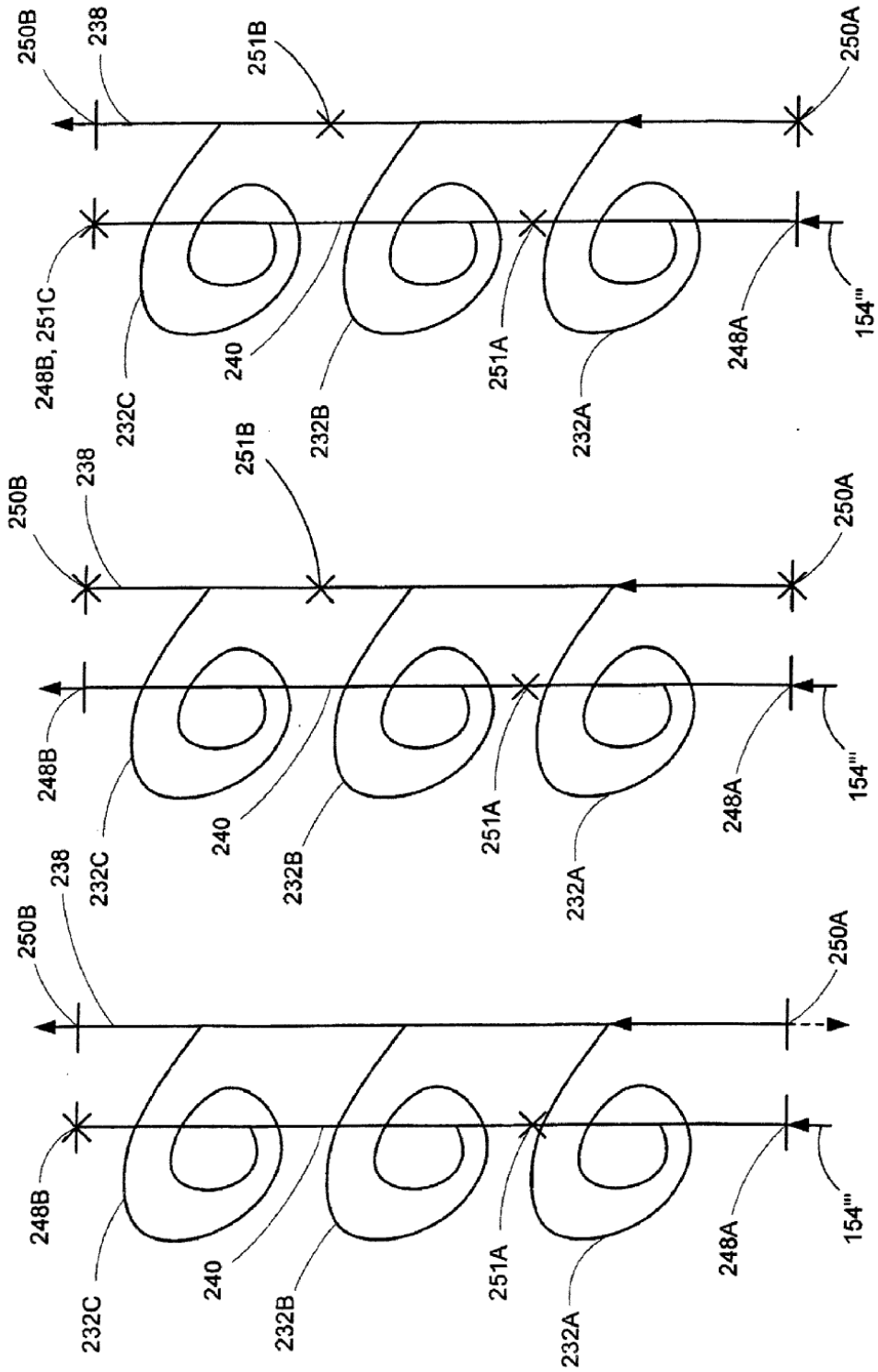


FIG. 7A

FIG. 7B

FIG. 7C

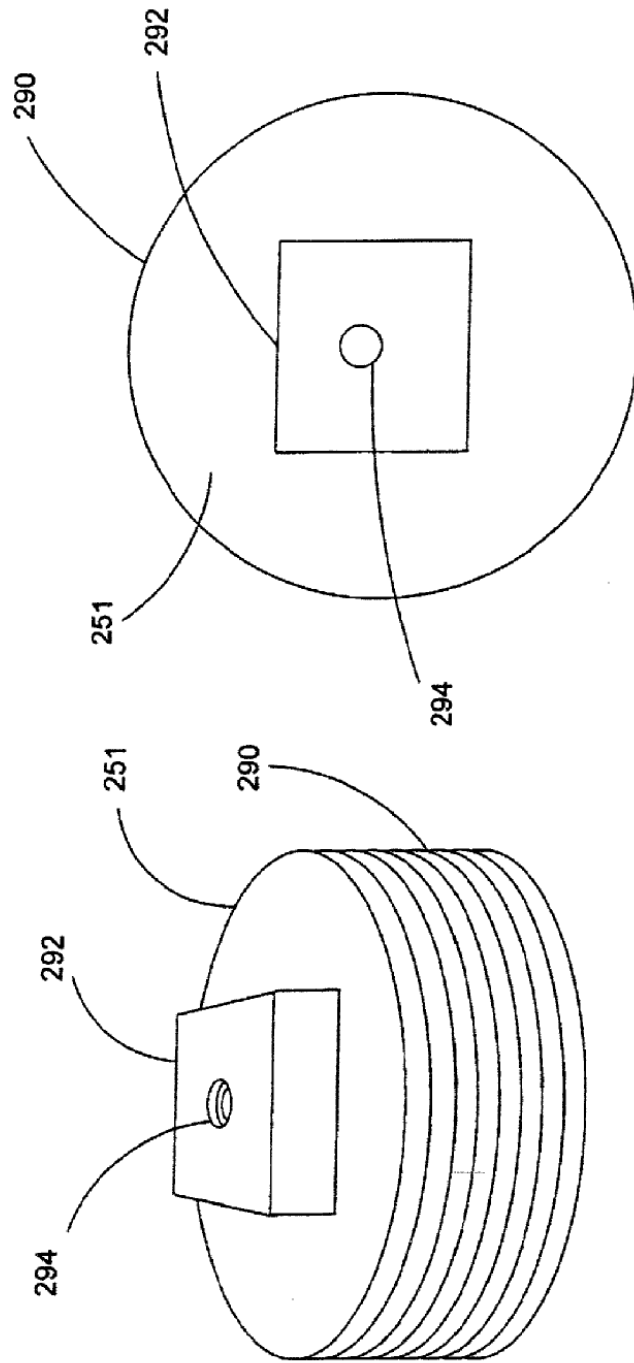


FIG. 8A

FIG. 8B

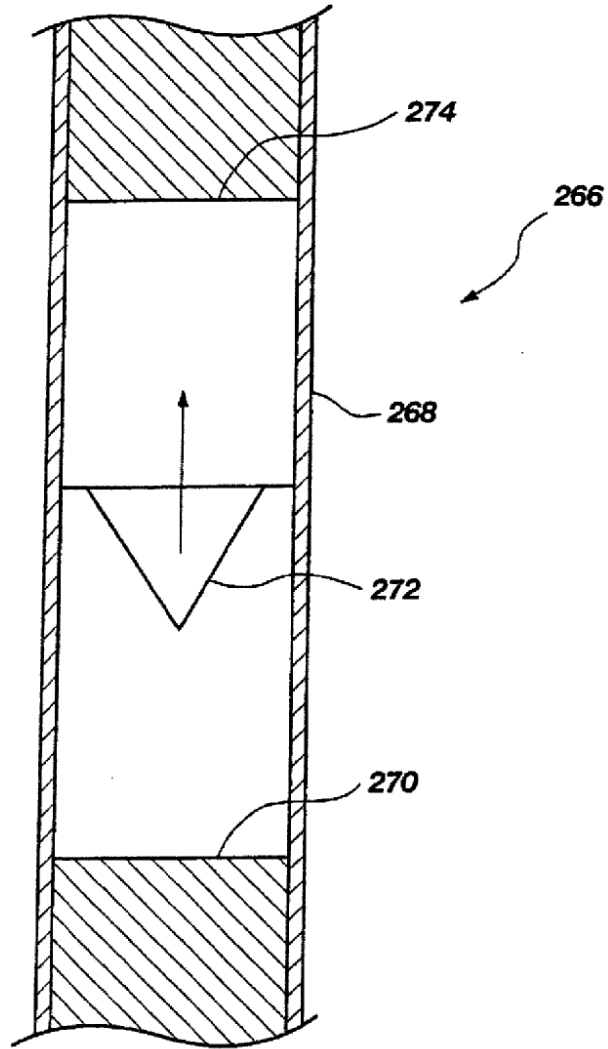


Fig. 9

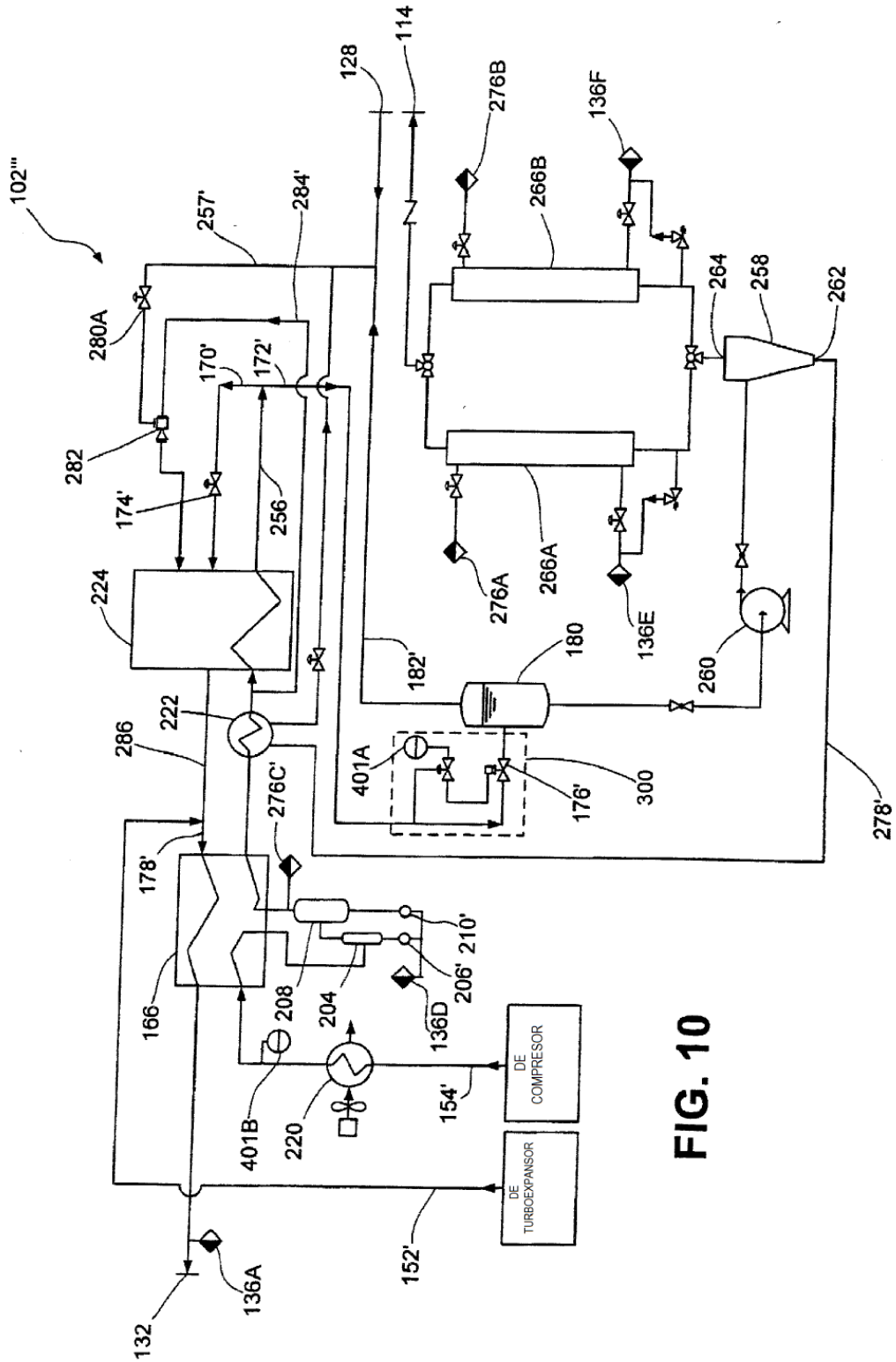


FIG. 10

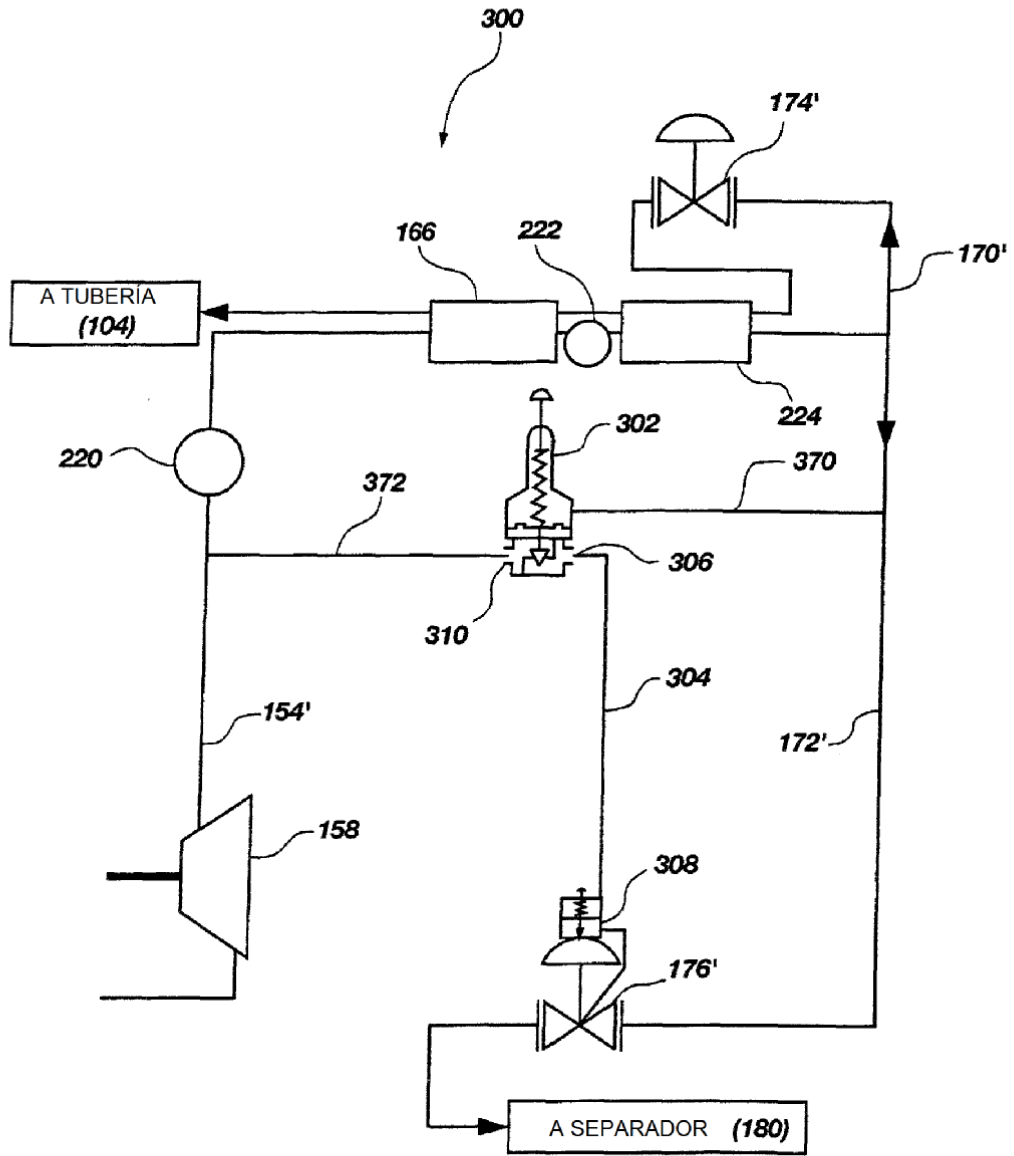


Fig. 11A

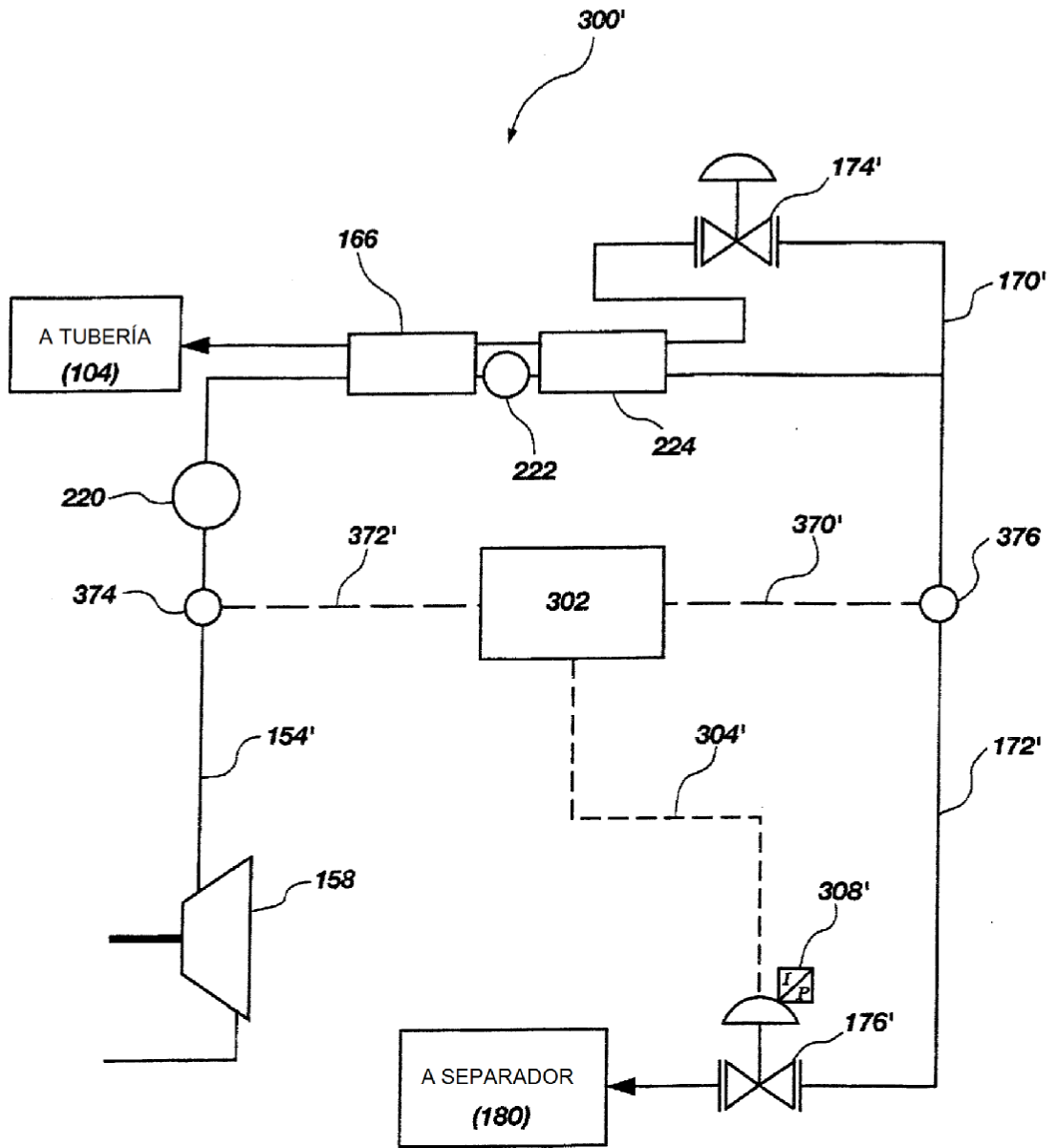


Fig. 11B

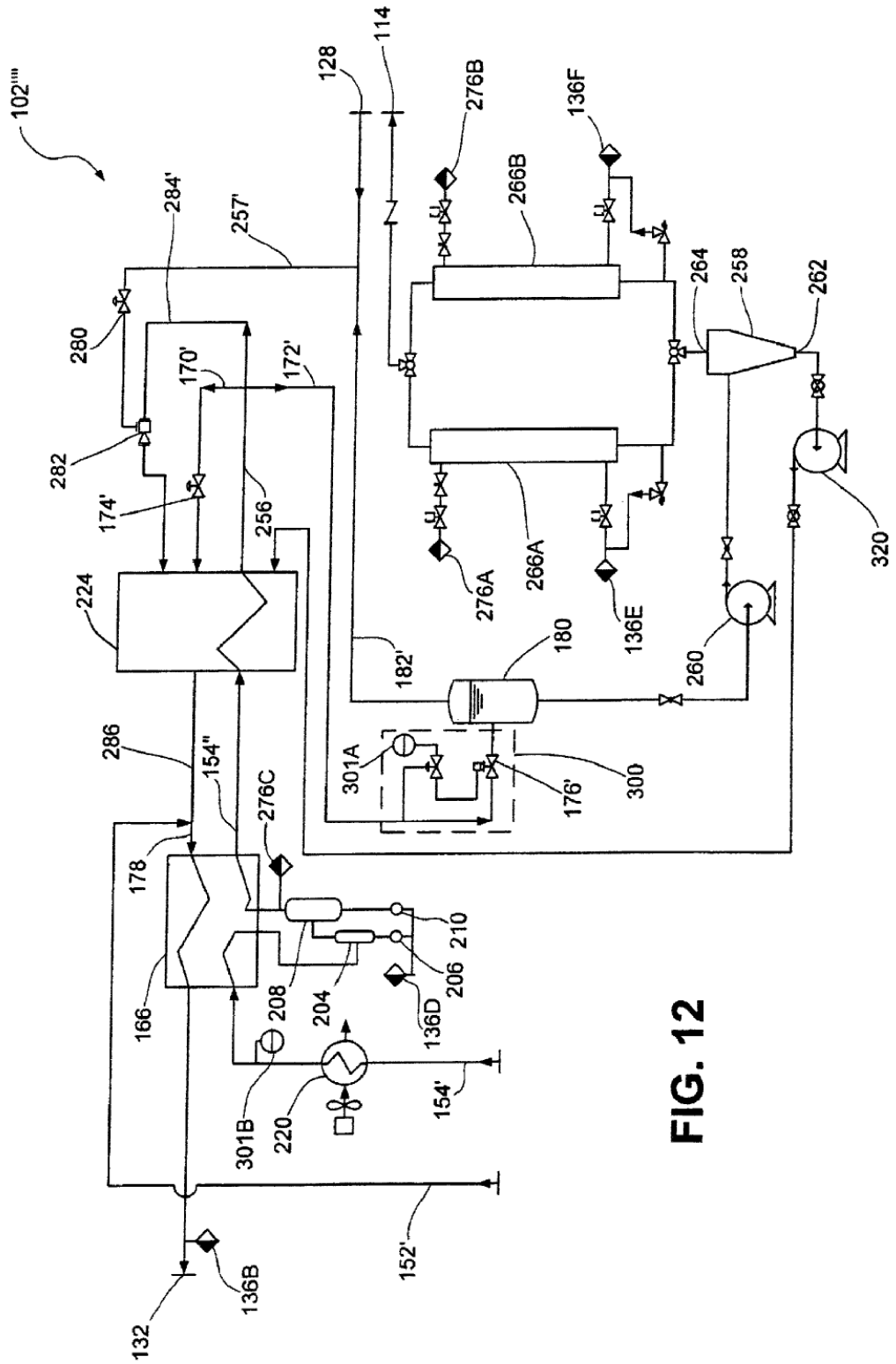


FIG. 12

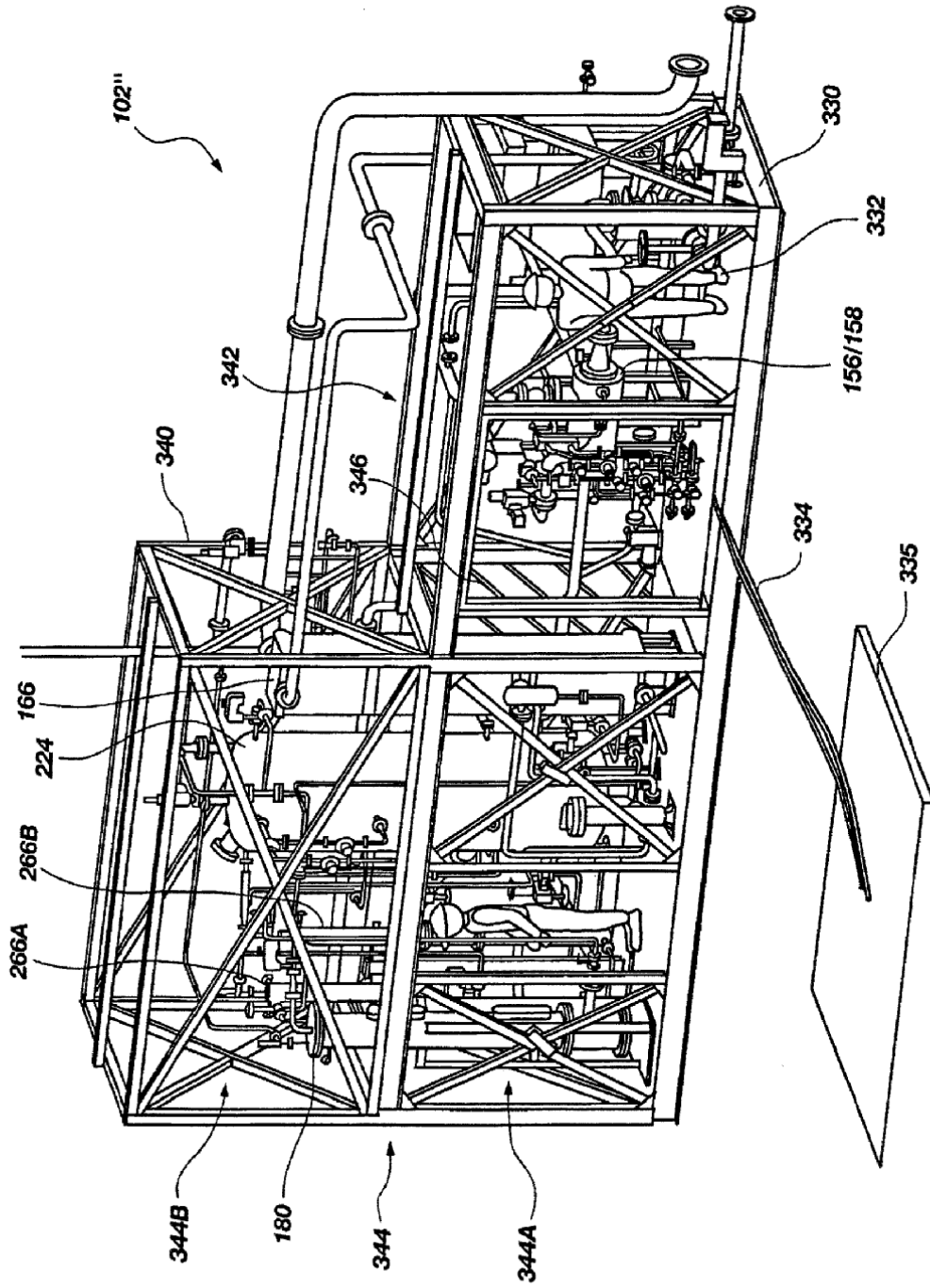


Fig. 13

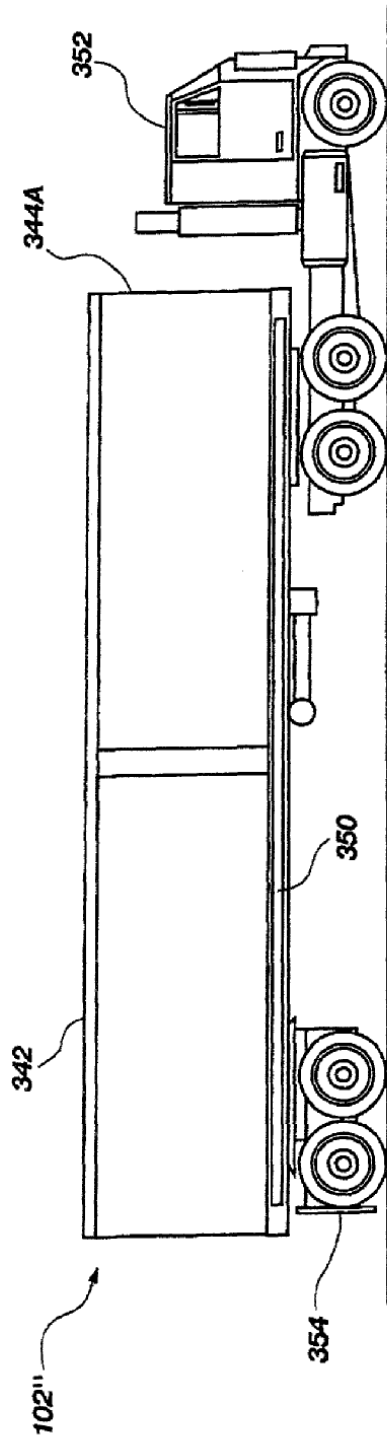


Fig. 14

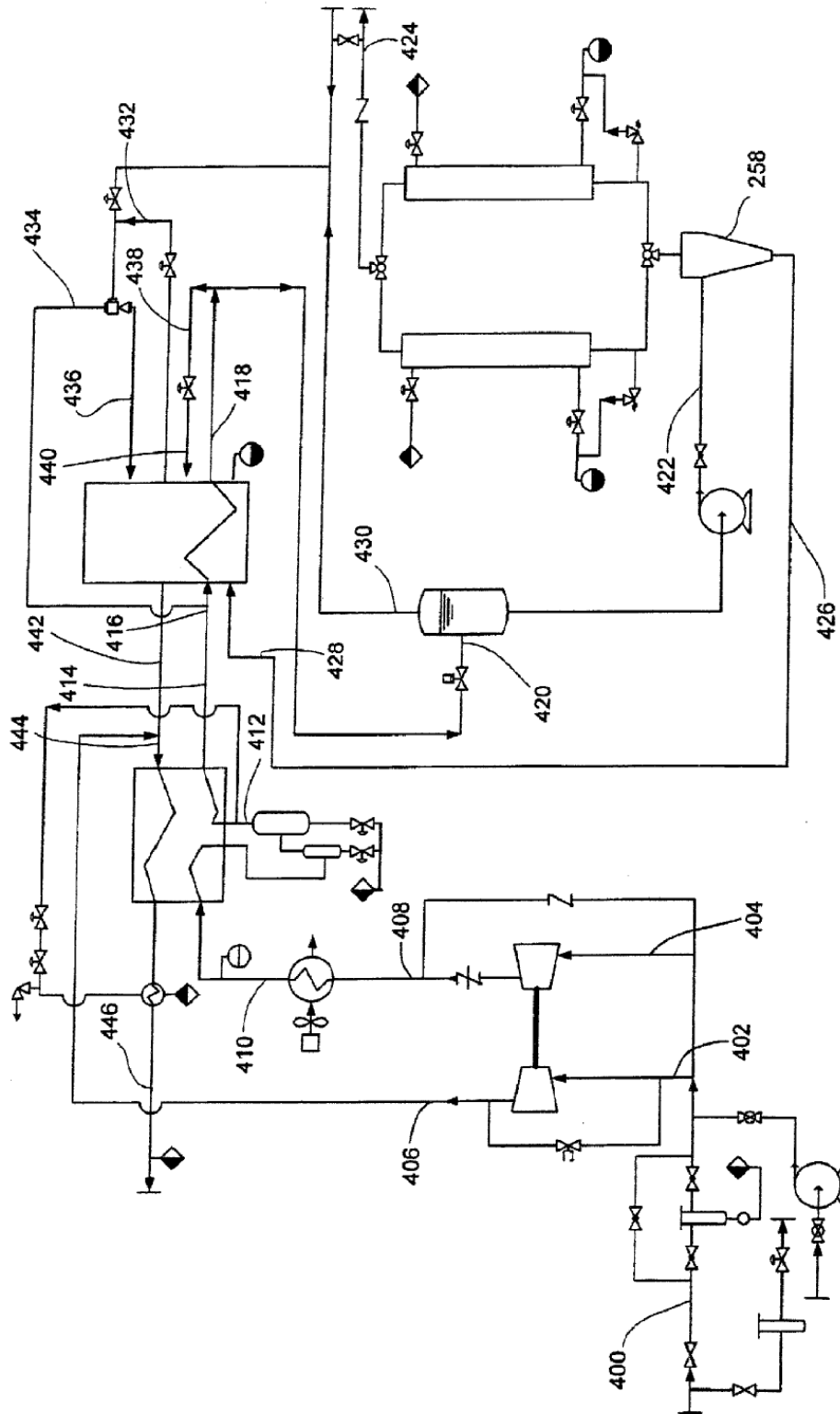


FIG. 15