

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 476 282**

51 Int. Cl.:

F04D 13/14 (2006.01)
F04D 25/16 (2006.01)
F04D 29/58 (2006.01)
F04D 31/00 (2006.01)
F25J 3/02 (2006.01)
F04B 41/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2011 E 11702673 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.05.2014 EP 2536955**

54 Título: **Sistema único con compresor y bomba integrados y procedimiento**

30 Prioridad:

17.02.2010 IT CO20100006

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

14.07.2014

73 Titular/es:

**NUOVO PIGNONE S.P.A. (100.0%)
Via Felice Matteucci 2
50127 Florence, IT**

72 Inventor/es:

**SASSANELLI, GIUSEPPE;
BERTI, MATTEO;
BERGAMINI, LORENZO;
BRESCIANI, STEFANO;
DEIACO, MARCO y
BANCHI, NICOLA**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 476 282 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

Sistema único con compresor y bomba integrados y procedimiento

Antecedentes

Campo de la invención

- 5 Las realizaciones del objeto desvelado en el presente documento se refieren, en general, a procedimientos y sistemas y, más en particular, a mecanismos y técnicas para integrar una parte de compresor y una parte de bomba en un sistema único para comprimir y bombear un fluido determinado.

Análisis de los antecedentes

- 10 Durante los años pasados, la dependencia incrementada de productos petroquímicos ha generado no solo un gran incremento en las emisiones contaminantes (por ejemplo, CO₂), sino también una necesidad de tener más compresores, bombas y otra maquinaria que se use para procesar los productos derivados del petróleo y el gas.

- 15 Por ejemplo, en el campo de la Generación de Potencia, se han producido una gran cantidad de emisiones de CO₂. Ya que el mundo se está volviendo más sensible hacia las emisiones contaminantes y los gobiernos se mueven hacia un sistema que penaliza estas emisiones en el medio ambiente, es más crucial que nunca desarrollar tecnologías que reduzcan la cantidad de contaminación, las llamadas tecnologías verdes. En un campo diferente, la Recuperación de Petróleo Mejorada (EOR, que se refiere a técnicas para incrementar la cantidad de petróleo crudo que puede extraerse de un campo de petróleo), la necesidad para transportar CO₂ y/o una mezcla de CO₂ de una manera más eficaz y fiable también es importante para la industria y para el medio ambiente. De acuerdo con la EOR, el CO₂ y/o la mezcla de CO₂ desde una instalación de almacenamiento se proporciona a una ubicación de perforación, ya sea tierra adentro o en la costa para bombearse bajo tierra y retirar el petróleo. Como tal, el transporte de CO₂ y/o mezcla de CO₂ es importante para este campo. Con respecto a la generación de potencia, la reducción de las emisiones de CO₂ es un desafío ya que este fluido tiene un alto peso molecular y su punto crítico está en una presión muy baja (7400 kPa) a temperatura ambiente. Para retirar el CO₂ que se produce normalmente como un gas mediante generación de potencia, el CO₂ necesita separarse de los otros contaminantes y/o sustancias que están presentes en el escape de la central eléctrica. Esta parte se llama tradicionalmente captura. Después de capturar el CO₂, el gas necesita comprimirse para llegar a una presión predeterminada, enfriarse para cambiar de una fase de gas a una fase densa, por ejemplo una fase líquida y, después, transportarse en esta fase más densa a una ubicación de almacenamiento. Tal como se analizará más adelante, la fase densa depende del tipo de fluido, la cantidad de impurezas en el fluido y otros parámetros. Sin embargo, no hay un único parámetro que pueda describir de manera cuantitativa la fase densa para un fluido en general, a menos que se conozca una composición precisa del fluido. El mismo procedimiento puede usarse para la EOR, donde el CO₂ y/o la mezcla de CO₂ necesitan capturarse y después comprimirse y transportarse hasta la ubicación deseada para su reinyección.

- 25 El documento US 4 747 749 desvela una máquina que comprende una pluralidad de etapas de compresión conectadas en serie, que incorporan al menos dos tipos diferentes de compresor. Las etapas de entrada de la máquina se constituyen mediante compresores centrífugos y las etapas de salida se constituyen mediante compresores periféricos.

35 El documento US 2009/0075219 A1 desvela un procedimiento de combustión con captura de dióxido de carbono.

El documento WO2008/009930 A2 desvela la licuefacción de gas natural suministrado mediante un lugar de campo.

- 40 De esta manera, convencionalmente, después de la fase de captura, un compresor se usa para llevar el CO₂ inicial en la fase de gas a la fase densa o a una fase líquida. Después, el CO₂ se suministra a una bomba que transporta el fluido en la fase densa o líquida a una instalación de almacenamiento o a otra ubicación deseada para su reinyección. Se aprecia que para que tanto la bomba como el compresor procesen de manera eficaz el CO₂, ciertas presiones y temperaturas del CO₂ en la fase de gas y la fase densa/líquida deben alcanzarse ya que la eficacia del compresor y de la bomba es sensible a ellas. Por tanto, los compresores y bombas tradicionales necesitan estar bien ajustados entre sí de manera que la fase precisa de CO₂ se transfiera desde el compresor a la bomba. Sin embargo, ya que el compresor y la bomba los fabrican tradicionalmente diferentes proveedores, hacer que estos dos elementos coincidan puede llevar mucho tiempo y requerir mucha coordinación entre los fabricantes. Además, los sistemas existentes que usan compresores independientes y bombas independientes tienen una gran presencia, lo que puede ser caro.

- 50 Por consiguiente, sería deseable proporcionar sistemas y procedimientos para evitar los problemas e inconvenientes antes descritos.

Sumario

De acuerdo con una realización ejemplar, existe un sistema para comprimir un fluido en una fase de gas y para bombear el fluido en una fase densa. El sistema incluye una parte de compresor que tiene al menos un impulsor

5 configurado para comprimir el fluido en la fase de gas; una entrada de parte de compresor conectada a la parte de compresor y configurada para recibir el fluido en la fase de gas y para proporcionar el fluido al al menos un impulsor; una salida de parte de compresor configurada para proporcionar el fluido en la fase de gas en una densidad igual o mayor que una densidad predeterminada; un dispositivo de cambio de temperatura conectado a la salida de parte de compresor y configurado para cambiar el fluido a la fase densa; una parte de bomba que tiene al menos un impulsor configurado para bombear el fluido en la fase densa; una entrada de parte de bomba configurada para recibir el fluido en la fase densa desde la salida de parte de compresor; una salida de parte de bomba configurada para hacer salir el fluido en la fase densa desde el sistema; un único engranaje principal configurado para rotar alrededor de un eje axial con una velocidad predeterminada; piñones plurales que hacen contacto con el único engranaje principal y se configuran para rotar con velocidades predeterminadas, diferentes entre sí, configurándose cada piñón para activar un impulsor correspondiente de parte de compresor, y un eje de bomba que se extiende desde la parte de bomba y se configura para engranar con el único engranaje principal para rotar el al menos un impulsor de la parte de bomba. El al menos un impulsor de la parte de compresor tiene una velocidad diferente que el al menos un impulsor de la parte de bomba y la fase densa se define porque tiene una densidad superior que la densidad predeterminada.

20 De acuerdo con otra realización ejemplar, existe un procedimiento para comprimir un fluido en una fase de gas y para bombear el fluido en una fase densa con un sistema que incluye una parte de compresor y una parte de bomba, teniendo la parte de compresor al menos un impulsor de parte de compresor y teniendo la parte de bomba al menos un impulsor de parte de bomba. El procedimiento incluye recibir en una entrada de parte de compresor de la parte de compresor el fluido en la fase de gas; comprimir el fluido en la fase de gas en una o más etapas de la parte de compresor de manera que el fluido emerge en una salida de parte de compresor de la parte de compresor como un fluido en la fase de gas en una densidad igual o mayor que una densidad predeterminada; transformar una fase del fluido a la fase densa enfriando el fluido después de que salga de la parte de compresor; recibir el fluido en la fase densa en una entrada de parte de bomba de la parte de bomba; bombear el fluido en la fase densa a través de una o más o etapas de la parte de bomba de manera que el fluido emerge en una salida de parte de bomba de la parte de bomba que tiene una presión mayor que en la entrada de la parte de bomba; y rotar un único engranaje principal para activar todas las al menos una o más etapas de compresor y las al menos una o más etapas de bomba. La fase densa se define porque el fluido tiene una densidad superior que la densidad predeterminada.

30 De acuerdo con otra realización ejemplar más, existe un medio legible por ordenador que incluye instrucciones ejecutables por ordenador, en el que cuando se ejecutan las instrucciones, estas implementan un procedimiento para comprimir un fluido en una fase de gas y para bombear el fluido en una fase densa con un sistema que incluye una parte de compresor y una parte de bomba, teniendo la parte de compresor al menos un impulsor de parte de compresor y teniendo la parte de bomba al menos un impulsor de parte de bomba. El procedimiento incluye las etapas nombradas en el párrafo anterior.

35 **Breve descripción de los dibujos**

Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de la memoria descriptiva, ilustran una o más realizaciones y, junto con la descripción, explican estas realizaciones. En los dibujos:

La Figura 1 es una vista general de un sistema que tiene un compresor y bomba integrados de acuerdo con una realización ejemplar;

40 La Figura 2 es un diagrama esquemático de un sistema que tienen un compresor y bomba integrados de acuerdo con una realización ejemplar;

La Figura 3 ilustra un diagrama de fase de un fluido que se comprime mediante el compresor y se bombea mediante la bomba a determinadas temperaturas y presiones de acuerdo con una realización ejemplar;

45 La Figura 4 es un diagrama esquemático de una parte de bomba conectada a un engranaje principal que activa una parte de compresor de acuerdo con una realización ejemplar;

La Figura 5 es una vista lateral de un sistema que tiene el compresor y bomba integrados de acuerdo con una realización ejemplar;

La Figura 6 es un diagrama esquemático de una parte de bomba del sistema de acuerdo con una realización ejemplar;

50 La Figura 7 es un diagrama esquemático de un sistema que tiene un compresor y bomba integrados y un sistema de control; y

La Figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para comprimir y transportar un fluido de acuerdo con una realización ejemplar.

Descripción detallada

La siguiente descripción de las realizaciones ejemplares se refiere a los dibujos adjuntos. Los mismos números de referencia en dibujos diferentes identifican los mismos elementos o similares. La siguiente descripción detallada no limita la invención. En lugar de eso, el alcance de la invención se define mediante las reivindicaciones adjuntas. Las siguientes realizaciones se analizan, por simplicidad, con respecto a la terminología y estructura de un compresor y bomba usados para CO₂. Sin embargo, las realizaciones que se analizarán a continuación no se limitan a este fluido, sino que pueden aplicarse a otros fluidos.

La referencia a través de la memoria descriptiva a “una realización” significa que un rasgo, estructura o característica particular descrita en conexión con una realización se incluye en al menos una realización del objeto desvelado. De esta manera, la aparición de la frase “en una realización” en diversos lugares a lo largo de la memoria descriptiva no se refiere necesariamente a la misma realización. Además, los rasgos, estructuras o características particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones.

De acuerdo con una realización ejemplar, existe un sistema único que incluye una parte de compresor y una parte de bomba. El sistema único se configura para tomar como entrada un fluido en una fase de gas, transformarlo en un fluido en una fase densa (o fase líquida) y transportar el fluido en la fase densa hasta una ubicación deseada. La fase densa puede definirse mediante una densidad, presión y temperatura del fluido. La densidad, que se predetermina para cada fluido, depende, entre otras cosas, de la composición del fluido. Se aprecia que el fluido en la fase densa puede ser un gas, pero tan denso que se comporta como un líquido cuando se bombea. Por esta razón, es deseable suministrar el fluido en la fase densa o la fase líquida a la parte de bomba. El sistema puede tener un único engranaje principal que acciona tanto la parte de compresor como la parte de bomba. Tal sistema puede tener una presencia más pequeña que un sistema tradicional que incluye un compresor independiente y una bomba independiente ya que tanto las etapas de compresor como las etapas de bomba se forman alrededor del engranaje principal. El sistema también puede usar menos potencia que el compresor independiente y la bomba independiente. El sistema puede usar uno o más dispositivos de enfriamiento proporcionados, por ejemplo, entre la parte de compresor y la parte de bomba para enfriar el fluido en la fase de gas desde el compresor para alcanzar la fase densa antes de que el mismo se suministre a la parte de bomba. Otros dispositivos de enfriamiento pueden instalarse de manera opcional entre diversas etapas de la parte de compresor y/o la parte de bomba. De acuerdo con una realización ejemplar ilustrada en la Figura 1, un sistema 10 integrado incluye una parte 12 de compresor y una parte 14 de bomba. La parte 12 de compresor se aloja en una cubierta 16. Dentro de la cubierta 16 hay una caja de engranajes 18 que incluye, entre otras cosas, un único engranaje principal 20 y uno o más piñones 22. En una aplicación, la caja de engranajes 18 puede proporcionarse fuera de la cubierta 16. Cada piñón 22 puede unirse a un eje 24 correspondiente que se conecta a un impulsor de compresor correspondiente. Un eje 23 se conecta a un extremo del engranaje principal 20, ya sea directamente o por medio de uno o más piñones 25 u otros mecanismos equivalentes y el otro extremo del eje 23 entra dentro de la parte 14 de bomba para activar la una o más etapas presentes en la parte de bomba. Un engranaje 26 puede proporcionarse entre el engranaje principal 20 y uno o más de los piñones 22. De acuerdo con una realización ejemplar, las etapas de la parte de compresor se distribuyen alrededor del engranaje principal 20 como radios alrededor del buje de una rueda mientras que las etapas de la parte 14 de bomba se distribuyen en línea, a lo largo del eje 23 tal como se mostrará más adelante, que es diferente desde una disposición en línea, en la que las etapas de compresor y bomba se distribuyen a lo largo de un eje común. Otra diferencia entre la disposición que se muestra en la Figura 1 y la disposición en línea es que las etapas del sistema 10 pueden tener su propia velocidad rotativa mientras que las etapas en la disposición en línea tienen una única velocidad rotativa.

La parte 12 de compresor puede incluir múltiples etapas, por ejemplo, múltiples impulsores que accionan el fluido deseado. En una aplicación, la parte 12 de compresor es un compresor centrífugo y el número de impulsores de compresor y, en consecuencia, etapas de compresor puede ser uno o más. De acuerdo con una realización ejemplar, los impulsores de compresor se seleccionan para acelerar el fluido que fluye debido a una fuerza centrífuga, de manera que la parte 12 de compresor actúa como un compresor centrífugo. Por ejemplo, la realización que se muestra en la Figura 1 muestra seis etapas 30-1 a 30-6, teniendo cada una un impulsor de compresor correspondiente. Cada etapa tiene una entrada y una salida. La parte 12 de compresor tiene una entrada 32 general de parte de compresor y una salida 36 general de parte de compresor. La entrada 32 de parte de compresor se configura para recibir el fluido en la fase de gas y la salida 36 general de parte de compresor se configura para proporcionar el fluido en la fase de gas en una presión y/o densidad incrementada. Por ejemplo, la presión de entrada puede ser 100 kPa mientras que la presión de salida puede estar entre 1000 y 100 000 kPa. En una aplicación, la presión de salida puede estar entre 1000 y 12 000 kPa. La densidad de salida puede estar entre 100 y 500 kg/m³ para CO₂ que tiene un contenido de impurezas relativamente bajo, entre 0 y 5 %. La parte 14 de bomba puede incluir también una o múltiples etapas, por ejemplo, múltiples impulsores que accionan el fluido en la fase densa o líquida. Cada etapa puede tener una entrada y una salida. La parte 14 de bomba tiene una entrada general de parte de bomba y una salida de parte de bomba (se mostrará más adelante). La entrada de parte de bomba puede configurarse para conectarse a la salida 36 general de parte de compresor para recibir el fluido en la fase densa de la parte de compresor. La salida de parte de bomba puede configurarse para descargar el fluido en la fase densa en una presión deseada para su transporte, por ejemplo, a una ubicación de almacenamiento. Para el CO₂ que tiene la impureza mencionada anteriormente, una densidad entre 400 y 800 kg/m³ es la densidad predeterminada que caracteriza la fase densa. En otras palabras, para esta pureza particular de CO₂, si la densidad

del fluido es de alrededor o mayor de 400 a 800 kg/m³ y la temperatura y presión del fluido están por encima de los valores críticos, se considera que el fluido está en la fase densa. Tal como ya se ha mencionado anteriormente, este valor es correcto para una pureza particular de CO₂ y, de esta manera, este valor cambia con la naturaleza del fluido y su pureza.

5 La parte de bomba que se muestra en la Figura 1 tiene el eje 23 que se extiende dentro de la cobertura 16 de la parte 12 de compresor de manera que el engranaje principal 20 activa el eje 23. De esta manera, la rotación del engranaje principal 20 (mediante un eje 21) determina no solo la rotación de los piñones de las etapas de compresor sino también la rotación del eje 23 de la bomba y, de esta manera, la rotación de los impulsores de la parte de bomba. En una aplicación, otro mecanismo puede usarse en lugar de un engranaje principal para activar las etapas de compresor y las etapas de bomba. Se aprecia que mientras que el engranaje principal 20 puede rotar con una velocidad determinada, cada impulsor de compresor puede rotar con una velocidad diferente dependiendo del tamaño del piñón correspondiente. Sin embargo, los impulsores de bomba se distribuyen en línea, por ejemplo, los impulsores de parte de bomba tienen una misma velocidad. En otras palabras, al usar un único engranaje principal, las diversas etapas de la parte de compresor y de la parte de bomba pueden diseñarse de manera que el sistema único recibe como entrada un fluido en una fase de gas y como salida el fluido en una fase densa o fase líquida.

De acuerdo con una realización ejemplar, en la Figura 2 se muestran las conexiones entre las diversas entradas y salidas de la parte de compresor y la parte de bomba.

La parte 12 de compresor incluye seis etapas en esta realización. Sin embargo, tal como se ha analizado anteriormente, este número es ejemplar y la parte de compresor puede incluir más o menos etapas según sea necesario para cada aplicación. La entrada 32 general y la salida 36 general de la parte 12 de compresor se han mostrado en la Figura 1.

La Figura 2 muestra las entradas y salidas entre las diferentes etapas de la parte 12 de compresor. Por ejemplo, después de que el fluido en la fase de gas entre en la entrada 32 general, la primera etapa descarga el fluido, todavía en la fase de gas, en la salida 34-1. Se aprecia que la salida 34-1 es la salida de la primera etapa mientras que la salida 36 general es la salida de la última etapa y la salida general de la parte 12 de compresor. El fluido en la fase de gas, que tiene una presión y temperatura incrementada en la salida 34-1, puede proporcionarse a un dispositivo 40-1 de enfriamiento de temperatura para reducir una temperatura del fluido en la fase de gas. El número de dispositivos de enfriamiento usados entre las diferentes etapas de la parte de compresor puede variar de aplicación a aplicación. El dispositivo de enfriamiento puede ser un refrigerador (un refrigerador es un dispositivo que hace circular agua u otro medio a una temperatura deseada alrededor de un líquido para retirar el calor del líquido), una máquina frigorífica (una máquina frigorífica es una máquina que retira el calor de un líquido por medio de un ciclo de compresión de vapor o de refrigeración de absorción) o un expansor (un dispositivo que es capaz de expandir un gas produciendo par de torsión mecánico, también llamado válvula Joule-Thomson).

La Figura 3 ilustra el procedimiento de la Figura 2 en un diagrama de presión-entalpía o Ph. En el diagrama Ph también se incluyen líneas de temperatura constante. Las líneas de temperatura constante se identifican mediante temperaturas correspondientes. Por ejemplo, la Figura 3 muestra que la temperatura es de alrededor de 25 °C y la presión es de alrededor de 100 kPa en la entrada 32 y la temperatura ha aumentado a alrededor de 120 °C y la presión ha aumentado a alrededor de 500 kPa en la salida 34-1 de la primera etapa. Los números que se muestran en la Figura 3 tienen fines explicativos y no se pretende que limiten la aplicabilidad de las realizaciones analizadas. Por simplicidad, los números de referencia usados para las entradas y salidas en la Figura 2 también se usan en la Figura 3 para mostrar sus temperaturas y presiones correspondientes. Todavía en referencia a la Figura 3, el dispositivo 40-1 de enfriamiento puede reducir la temperatura del fluido después de la primera etapa de aproximadamente 120 °C a aproximadamente 25 °C antes de entrar en la entrada 32-2 de la segunda etapa. Un dispositivo 42-1 separador puede conectarse entre la salida 34-1 de la primera etapa y la entrada 32-2 de la segunda etapa para retirar agua (u otros líquidos) del fluido de CO₂ comprimido. El número de dispositivos separadores puede variar de uno, entre cada dos etapas adyacentes, a cero, dependiendo de la aplicación. La segunda etapa expulsa el fluido todavía en la fase de gas en la salida 34-2 y, después de pasar a través de un segundo dispositivo 40-2 opcional de enfriamiento de temperatura, el gas llega a la entrada 32-3 de la tercera etapa. El fluido en la fase de gas continúa pasando de etapa a etapa, por ejemplo, a través de los elementos 34-3, 32-4, 34-4, 32-5, 34-5 y 32-6 hasta que el fluido en la fase de gas sale por la salida 36 general a una presión alta. La Figura 3 muestra que las temperaturas y presiones del fluido en la fase de gas se mantienen cerca, pero fuera de la cúpula 50. De acuerdo con una realización ejemplar, la parte 12 de compresor puede diseñarse para procesar un fluido en la fase de gas para evitar que el fluido entre en la cúpula 50, ya que esto tendría como resultado una pérdida de rendimiento del compresor o incluso daños al mismo.

Un punto 52 crítico del fluido, en este caso CO₂, se muestra en la parte superior de la cúpula 50 y sus valores ejemplares de referencia de presión y temperatura se enumeran en la Figura 3. Un punto crítico es un punto en el que los límites entre las fases del fluido dejan de existir. Los puntos que tienen presiones y temperaturas más altas que el punto crítico forman una fase supercrítica. De acuerdo con una realización ejemplar, la fase densa es la fase supercrítica. Sin embargo, tal como se analizará más adelante, la fase densa puede incluir puntos que forman un subconjunto de los puntos de la fase supercrítica. El fluido en la fase de gas que abandonaba la parte 12 de compresor y que tiene la presión más alta (en el compresor) se alcanza en el punto 36 en la Figura 3 y este fluido se

proporciona después a una entrada 60-1 de la parte 14 de bomba. Se aprecia que la parte de bomba se diseña para trabajar con un fluido en la fase densa o líquida y no en la fase de gas y, de esta manera, el fluido en la fase de gas de la parte 12 de compresor tiene que procesarse de manera adicional para alcanzar la fase densa o líquida.

El procedimiento para transformar el fluido de la fase de gas a la fase densa es una función de la velocidad de cada etapa de compresor, de la temperatura y presión del fluido en cada etapa y de la coordinación de las temperaturas y presiones del fluido relativas a la cúpula 50. La Figura 3 muestra cómo puede ajustarse (disminuir) una temperatura después de cada etapa de compresor para que la próxima etapa de compresor incremente la eficacia del compresor mientras que se reduce la cantidad de trabajo de compresor necesario y también cómo la temperatura del fluido en la fase de gas en la salida general de la parte 12 de compresor se enfría hasta una temperatura apropiada para cambiar su fase para la entrada de la parte 14 de bomba. De acuerdo con una realización ejemplar, la transición de fase de la fase de gas a la fase densa ocurre a lo largo del tramo 54, por ejemplo, en el dispositivo 40-6 de enfriamiento, entre la parte 12 de compresor y la parte 14 de bomba. En una aplicación, una temperatura del fluido cambia de manera que una entalpía del fluido que se proporciona a la parte de bomba es más pequeña que la entalpía en el punto 52 crítico, tal como se muestra en la Figura 3. La Figura 3 muestra una línea 55 de densidad constante en correspondencia con una densidad predeterminada para el fluido CO₂. Tal como se ha analizado anteriormente, el fluido comprimido en la fase de gas necesita cruzar la curva 55 para entrar en la fase densa. Como un ejemplo, para una pureza de CO₂ igual o mayor del 95 %, la curva 55 de densidad predeterminada se caracteriza mediante una densidad constante en el intervalo de 400 a 800 kg/m³. La densidad predeterminada puede cambiar dependiendo de la aplicación, las características de la bomba, el tipo de fluido, la impureza del fluido, el ambiente, etc. De acuerdo con una realización ejemplar, la fase densa incluye solo aquellos puntos presentes en la fase supercrítica que tienen la densidad superior que la densidad predeterminada.

La Figura 2 muestra que el dispositivo 40-6 de enfriamiento de temperatura puede insertarse entre la última etapa de la parte 12 de compresor y la primera etapa de la parte 14 de bomba para controlar una temperatura del fluido mientras que cambia de la fase de gas a la fase densa. Este rasgo permite que el operador de la parte de bomba ajuste esa temperatura ya que la presión de la entrada de bomba depende de la temperatura de entrada de fluido para una presión determinada y también la presión de entrada de bomba determina la potencia requerida para accionar la bomba. Mientras que la presión del fluido que se va a proporcionar a la parte de bomba se controla mediante la parte 12 de compresor, la temperatura del fluido que se va a proporcionar a la parte de bomba se controla mediante el dispositivo 40-6 de enfriamiento.

Además, la Figura 2 muestra de manera esquemática que las etapas de la parte de compresor pueden emparejarse, por ejemplo, la primera etapa emparejada con la segunda etapa para tener un único eje 24-1 que se rota mediante un piñón correspondiente que está en contacto con el engranaje principal 20. Además, la Figura 2 muestra que el engranaje principal 20 puede transferir el movimiento rotativo a todos los piñones de la parte 12 de compresor y a todas las etapas de la parte 14 de bomba. Además, la Figura 2 muestra que un accionador 59 acciona el engranaje principal 20 y el accionador 59 puede colocarse fuera de la cubierta que aloja la parte de compresor. La Figura 2 también muestra que la parte 14 de bomba se acciona mediante el mismo engranaje principal 20. De acuerdo con una realización ejemplar, las conexiones entre las etapas de la parte de compresor y la parte de bomba con el engranaje principal 20 se ilustran en la Figura 4, que es una vista esquemática del sistema 10. La Figura 4 muestra la parte 12 de compresor que tiene seis etapas 30-1 a 30-6, cada una conectada al engranaje principal 20 y a la parte 14 de bomba que tiene un único eje 23 conectado al engranaje principal 20. La Figura 5 ilustra conexiones de tubería entre las etapas de bomba compresor y la parte de bomba desde un lado opuesto al accionador 59. Los números de referencia de la Figura 1 se usan en las Figuras 4 y 5 para los mismos elementos y, de esta manera, una descripción de estos elementos no se repite en el presente documento. El accionador 59 puede ser un motor eléctrico, turbina de gas, maquinaria turbo, etc. De acuerdo con una realización ejemplar, solo se usa un accionador para accionar tanto la parte de compresor como la parte de bomba. En otra realización ejemplar, el accionador puede proporcionarse fuera de la cubierta que alberga la parte de compresor y la parte de bomba o dentro de la cubierta.

La parte 14 de bomba puede implementarse, de acuerdo con una realización ejemplar mostrada en la Figura 6, para tener diez etapas. Pueden implementarse más o menos etapas dependiendo de la aplicación. La primera etapa tiene una entrada 60-1 que recibe el fluido en la fase densa y una salida (sin marcar) que descarga el fluido a la segunda etapa. La entrada de la segunda etapa recibe el fluido de la primera etapa y la segunda etapa descarga el fluido a la siguiente etapa hasta que el fluido llega a la salida 36 general de la décima etapa, que es también la salida general de la parte 14 de bomba. Se aprecia que de acuerdo con una realización ejemplar, los impulsores de parte de bomba se conectan al mismo eje 23 y, de esta manera, rotan con una misma velocidad. La velocidad de los impulsores de parte de bomba relativa a la velocidad del engranaje principal 20 se determina mediante el tamaño de un piñón 25 de conexión. De acuerdo con otras realizaciones ejemplares, la bomba tiene al menos ocho etapas. Además, la parte de bomba puede incluir otros dispositivos, por ejemplo, dispositivos de enfriamiento para reducir una temperatura del fluido en la fase densa. La parte de bomba se aloja en una cubierta 64 de bomba. La cubierta 64 de bomba puede unirse (empernarse) a o puede fabricarse de manera integral con la cubierta 16 de compresor. La caja de engranajes 18 puede colocarse en la cubierta 16 de compresor, en la cubierta 64 de bomba, entre las dos cubiertas o en ambas cubiertas.

Al tener la parte de compresor y la parte de bomba integradas en el mismo sistema y/o la misma plataforma y

5 también al tener un único engranaje principal que acciona las diversas etapas del compresor y la bomba, una o más realizaciones pueden tener la ventaja de que el operador del sistema no necesite pedir por encargo el compresor y la bomba, para que coincida la salida del compresor con la entrada de la bomba para tener una transición de fluido sin alteraciones en la fase de gas desde el compresor al fluido en la fase densa o líquida en la bomba. En otras palabras, al tener un único fabricante de la parte de compresor y de la parte de bomba que hace coincidir el rendimiento del compresor y de la bomba para manejar de manera eficaz un fluido específico, por ejemplo, CO₂, el operador del sistema se libera del problema de hacer coincidir de manera correcta un compresor fabricado por un primer proveedor y una bomba fabricada por un segundo proveedor para un fluido específico.

10 Otras ventajas de una o más realizaciones se refieren a la potencia reducida usada mediante las partes de compresor y de bomba integradas, la simplicidad del mecanismo impulsor, la reducción en componentes (por ejemplo, un accionador en lugar de dos accionadores), la sincronización mejorada de la parte de compresor con la parte de bomba ya que ambas partes se accionan mediante el mismo engranaje, la presencia reducida del sistema integrado y el tiempo de mantenimiento y coste reducidos ya que es el mismo fabricante el que realiza la revisión de ambas partes.

15 De acuerdo con una realización ejemplar, el control de temperatura del fluido en diferentes etapas en la parte de compresor y/o la parte de bomba puede alcanzarse mediante un procesador incorporado en un dispositivo de control. Tal como se muestra, por ejemplo, en la Figura 7, la unidad 70 de control incluye al menos un procesador 72 y la unidad de control se conecta a diversos sensores 74 proporcionados en el sistema 10. La conexión puede ser inalámbrica, tal como se muestra en la Figura 7, con cables o una combinación de los mismos. Los sensores 74 pueden incluir sensores de temperatura, sensores de presión, sensores de velocidad para el engranaje principal y otros sensores cuyo uso se conoce en la técnica para monitorear la parte de compresor y la parte de bomba. La unidad 70 de control puede programarse con instrucciones de software o puede implementarse en hardware para monitorear las presiones y temperaturas de las etapas de compresor y de bomba y para controlar los dispositivos de enfriamiento para enfriar el fluido hasta una temperatura deseada. De acuerdo con una realización ejemplar, una tabla o gráfico de consulta, tal como se muestra en la Figura 3, puede almacenarse en una memoria 76 que enlaza con el procesador 72 de manera que el procesador 72 puede determinar a qué temperatura enfriar el fluido en base a la ubicación del fluido en el sistema 10, la velocidad del engranaje principal y/o la presión del fluido. Además, el procesador 72 puede controlar el sistema 10 de manera que el fluido en la parte de compresor y en la parte de bomba no alcanza el área bajo la cúpula 50 indicada en la Figura 3. Además, el procesador 72 puede configurarse para cambiar la fase del fluido antes de entrar en la parte de bomba.

20 De acuerdo con una realización ejemplar que se ilustra en la Figura 8, existe un procedimiento para comprimir un fluido en una fase de gas y para bombear el fluido en una fase densa con un sistema que incluye una parte de compresor y una parte de bomba, teniendo la parte de compresor al menos un impulsor de parte de compresor y teniendo la parte de bomba al menos un impulsor de parte de bomba. El procedimiento incluye una etapa 800 de recibir en una entrada de parte de compresor de la parte de compresor el fluido en la fase de gas, una etapa 802 de empujar el fluido en la fase de gas a través de una o más etapas de la parte de compresor de manera que el fluido emerge en una salida de parte de compresor de la parte de compresor como un fluido en la fase de gas en una densidad incrementada, una etapa 804 de transformar una fase del fluido a la fase densa, una etapa 806 de recibir el fluido en la fase densa en una entrada de parte de bomba de la parte de bomba, una etapa 808 de conducir el fluido en la fase densa a través de una o más etapas de la parte de bomba de manera que el fluido emerge en una salida de parte de bomba de la parte de bomba que tiene una presión mayor que en la entrada de parte de bomba, y una etapa 810 de rotar un único engranaje principal para activar todas las al menos una o más etapas de compresor y las al menos una o más etapas de bomba. La fase densa se define mediante el fluido que tiene una densidad superior que la densidad incrementada.

45 Las realizaciones ejemplares desveladas proporcionan un sistema y un procedimiento para comprimir un fluido en una fase de gas y transportar el fluido en una fase densa o líquida. Debería entenderse que esta descripción no pretende limitar la invención. Al contrario, las realizaciones ejemplares pretenden cubrir las alternativas, modificaciones y equivalentes, que se incluyen en el espíritu y alcance de la invención, tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas. Además, en la descripción detallada de las realizaciones ejemplares se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar un entendimiento completo de la invención reivindicada. Sin embargo, un experto en la materia entendería que pueden practicarse diversas realizaciones sin tales detalles específicos.

55 Aunque los rasgos y elementos de las realizaciones ejemplares presentes se describen en realizaciones en combinaciones particulares, cada rasgo o elemento puede usarse solo sin los otros rasgos y elementos de las realizaciones o en diversas combinaciones con o sin otros rasgos y elementos desvelados en el presente documento. Esta descripción escrita usa ejemplos del objeto desvelado para hacer posible que cualquier experto en la materia practique el mismo, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y llevar a cabo cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable del objeto se define mediante las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Se pretende que tales otros ejemplos entren dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (10) configurado para comprimir un fluido en una fase de gas y para bombear el fluido en una fase densa, comprendiendo el sistema:

- 5 una parte (12) de compresor que tiene al menos un impulsor configurado para comprimir el fluido en la fase de gas;
 una entrada (32) de parte de compresor conectada a la parte de compresor y configurada para recibir el fluido en la fase de gas y para proporcionar el fluido a el al menos un impulsor;
 una salida (36) de parte de compresor configurada para proporcionar el fluido en la fase de gas a una densidad igual o superior que una densidad predeterminada;
- 10 un dispositivo (40-1) de cambio de temperatura conectado a la salida de parte de compresor y configurado para cambiar el fluido a la fase densa;
 una parte (14) de bomba que tiene al menos un impulsor configurado para bombear el fluido en la fase densa;
 una entrada de parte de bomba configurada para recibir el fluido en la fase densa desde la salida de la parte de compresor;
- 15 una salida (36) de parte de bomba configurada para hacer salir el fluido en la fase densa desde el sistema;
 un único engranaje principal (20) configurado para rotar alrededor de un eje axial con una velocidad predeterminada;
 piñones (22) plurales que contactan con el único engranaje principal y configurados para rotar con velocidades predeterminadas, diferentes entre sí, configurándose cada piñón para activar un impulsor correspondiente de
- 20 parte de compresor; y
 un eje (23) de bomba que se extiende desde la parte de bomba y está configurado para engranar con el único engranaje principal para rotar el al menos un impulsor de la parte de bomba, en el que el al menos un impulsor de la parte (12) de compresor tiene una velocidad diferente que el al menos un impulsor de la parte (14) de bomba, y
- 25 la fase densa se define mediante el fluido que tiene una densidad superior que la densidad predeterminada, en el que la fase densa es una fase donde el fluido puede ser un gas, pero es tan denso que se comporta como un líquido cuando se bombea.

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el dispositivo (40-1) de cambio de temperatura es uno de un dispositivo de enfriamiento, una máquina refrigeradora o un expansor y se proporciona entre la salida de la parte de compresor y la entrada de la parte de bomba, el fluido es CO₂, la parte de compresor está configurada para recibir el CO₂ en la fase de gas y para expulsar el CO₂ en la fase de gas y la parte de bomba está configurada para recibir el CO₂ en la fase densa y expulsar el CO₂ en la fase densa.

3. El sistema de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el dispositivo (40-1) de cambio de temperatura está configurado para reducir una entalpía del fluido en la fase de gas para ser igual o menor que una entalpía de un punto crítico del fluido.

4. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además:

un mecanismo (59) de accionamiento único que acciona el engranaje principal (20).

5. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además:

- 40 una cubierta (16) de compresor configurada para alojar la parte (12) de compresor y el engranaje principal (20);
 y
 una cubierta de bomba configurada para recibir la parte (14) de bomba,
 en el que la cubierta de bomba está unida a la cubierta de compresor.

45 6. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema está configurado para manejar solo un fluido con una eficacia predeterminada y el sistema no puede volver a configurarse para manejar otro fluido con la misma eficacia.

50 7. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el al menos un impulsor de la parte (12) de compresor y el al menos un impulsor de la parte (14) de bomba comprenden:

- impulsores primero a sexto de compresor configurados de manera que los impulsores primero y segundo de compresor se accionan en una misma primera velocidad, los impulsores tercero y cuarto de compresor se accionan en una misma segunda velocidad y los impulsores quinto y sexto de compresor se accionan en una misma tercera velocidad, siendo las primera, segunda y tercera velocidades diferentes entre sí y diferentes de la velocidad del engranaje principal; e impulsores primero a décimo de bomba configurados para accionarse en una misma cuarta velocidad mediante el eje de bomba.

8. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además:

- 5 N impulsores de compresor y M impulsores de bomba; salidas y entradas de conexión de tuberías de los N impulsores de compresor de manera que el fluido de entrada en la fase de gas se conduce en serie a través de todos los N impulsores de compresor; una tubería que conecta una salida del Enésimo impulsor de compresor a los M impulsores de bomba de manera que el fluido en la fase de gas desde el Enésimo impulsor de compresor se conduce en serie a través de todos los M impulsores de bomba después de sufrir un cambio de fase; los dispositivos de retirada de agua proporcionados entre una salida de un impulsor de compresor o impulsor de bomba y una entrada de un próximo impulsor de compresor o de bomba; y al menos un dispositivo de cambio de temperatura a lo largo de la tubería configurado para reducir una temperatura del fluido en la fase de gas o fase densa antes de entrar en un próximo impulsor de compresor o de bomba, en el que N es mayor que dos y M es igual o mayor que uno.
- 10
9. El sistema de la reivindicación 1, en el que existen seis impulsores de compresor y ocho impulsores de bomba y una presión de entrada en la parte (12) de compresor de un CO₂ en la fase de gas es 100 kPa y una presión de salida en la parte (14) de bomba del CO₂ en la fase densa está entre 1000 y 12 000 kPa.
- 15 10. Un procedimiento para comprimir un fluido en una fase de gas y para bombear el fluido en una fase densa con un sistema que incluye una parte de compresor y una parte de bomba, teniendo la parte de compresor al menos un impulsor de parte de compresor y teniendo la parte de bomba al menos un impulsor de parte de bomba, comprendiendo el procedimiento:
- 20 recibir en una entrada de parte de compresor de la parte de compresor el fluido en la fase de gas (800); comprimir el fluido en la fase de gas en una o más etapas de la parte de compresor de manera que el fluido emerge en una salida de parte de compresor de la parte de compresor como un fluido en la fase de gas en una densidad igual o mayor que una densidad predeterminada (802); transformar una fase del fluido a la fase densa enfriando el fluido después de su salida de la parte de compresor (804);
- 25 recibir el fluido en la fase densa en una entrada de parte de bomba de la parte de bomba (806); bombear el fluido en la fase densa a través de una o más etapas de la parte de bomba de manera que el fluido emerge en una salida de parte de bomba de la parte de bomba que tiene una presión mayor que en la entrada de parte de bomba (808); y
- 30 rotar un único engranaje principal para activar todas de las al menos una o más etapas de compresor y las al menos una o más etapas de bomba (810), en el que la fase densa se define mediante el fluido que tiene una densidad superior que la densidad predeterminada, siendo dicha fase densa una fase donde el fluido puede ser un gas, pero es tan denso que se comporta como un líquido cuando se bombea.

FIGURA 1

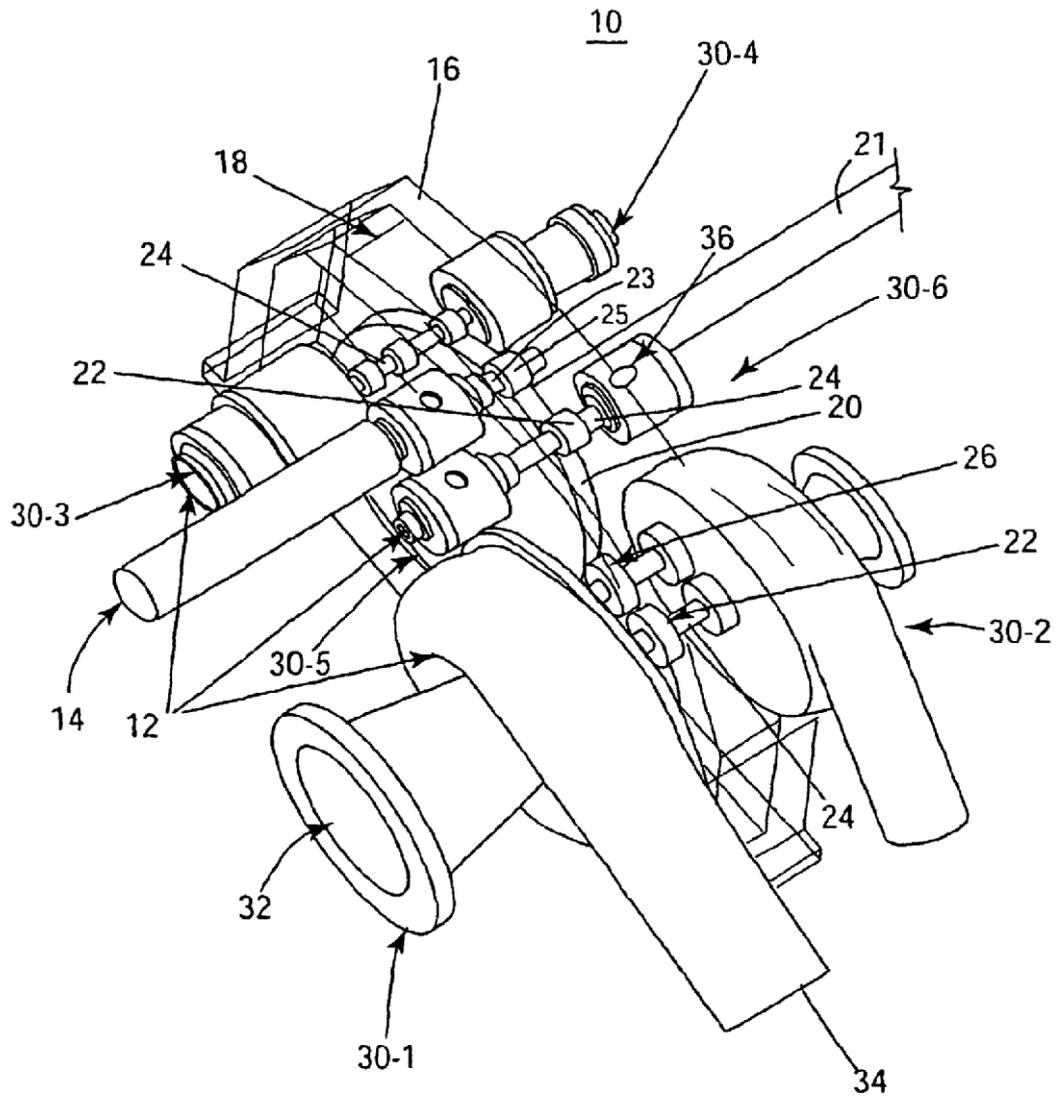
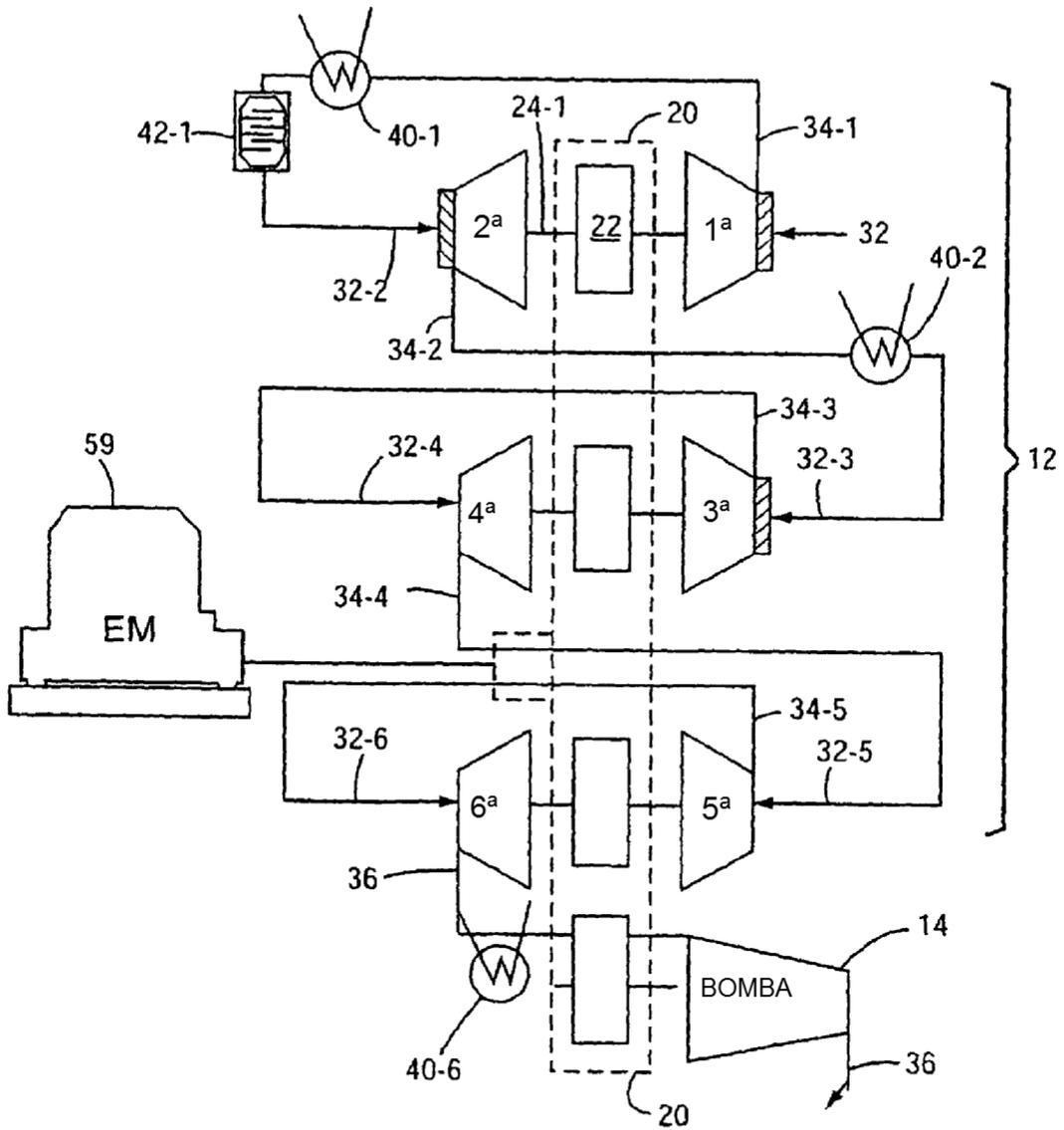


FIGURA 2



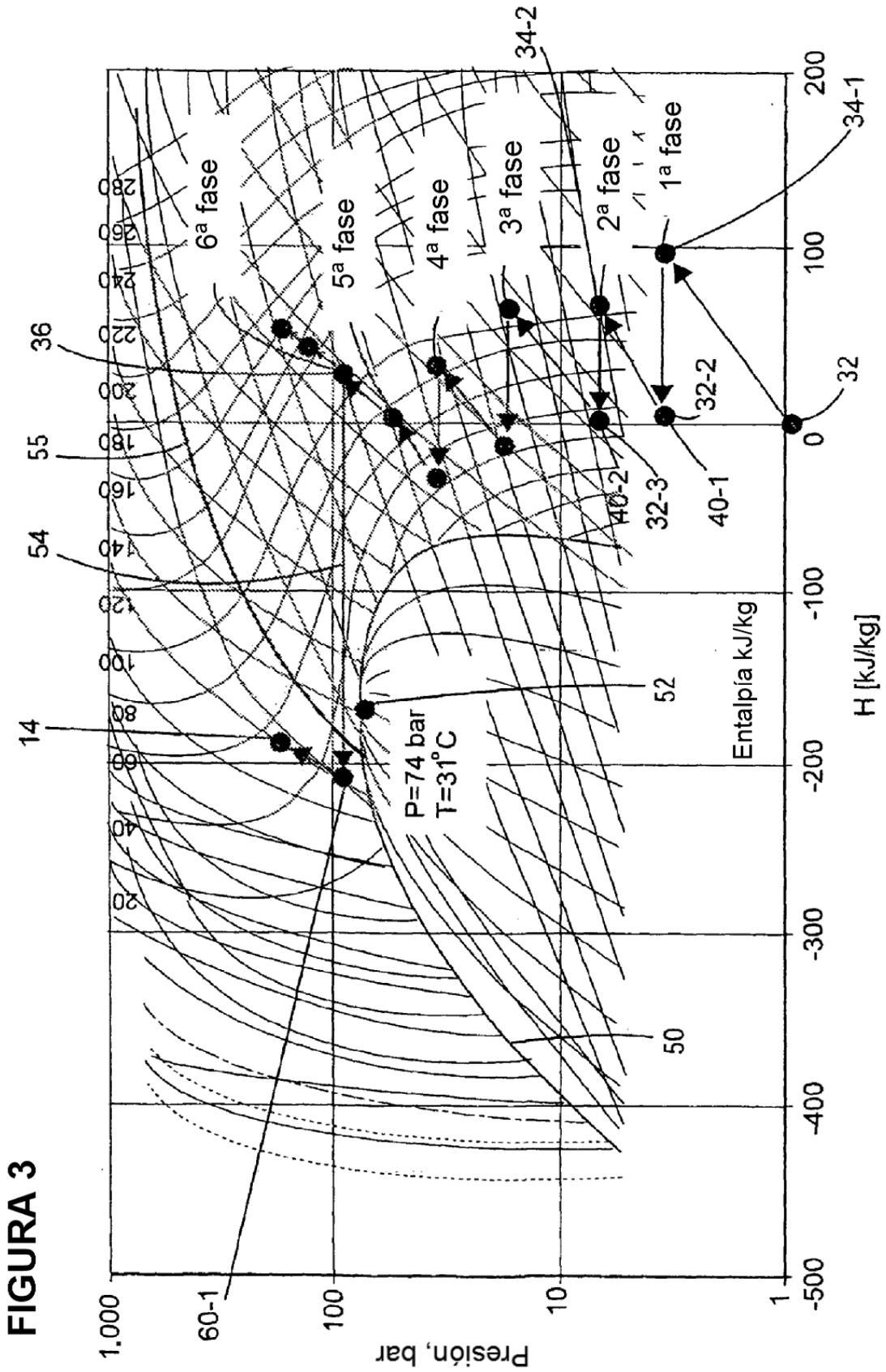


FIGURA 3

FIGURA 4

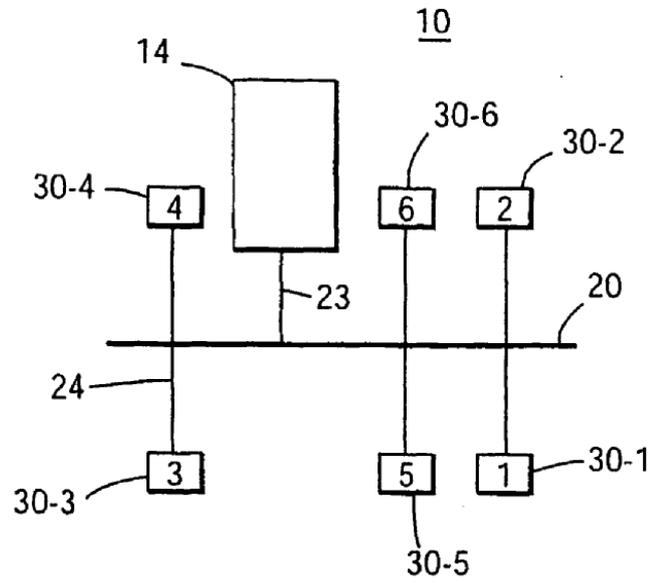


FIGURA 5

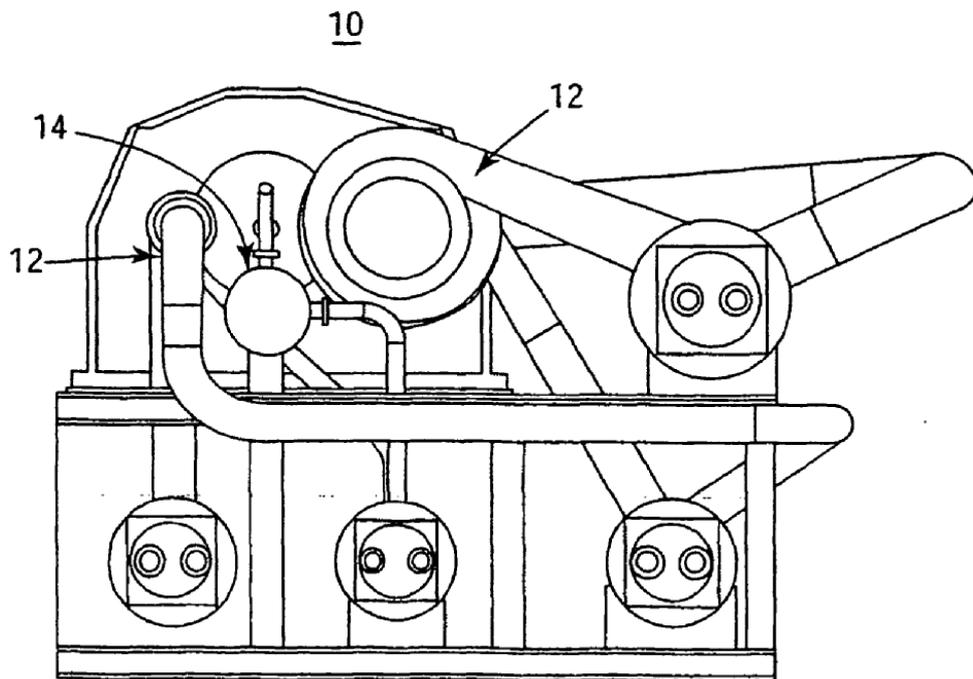


FIGURA 6

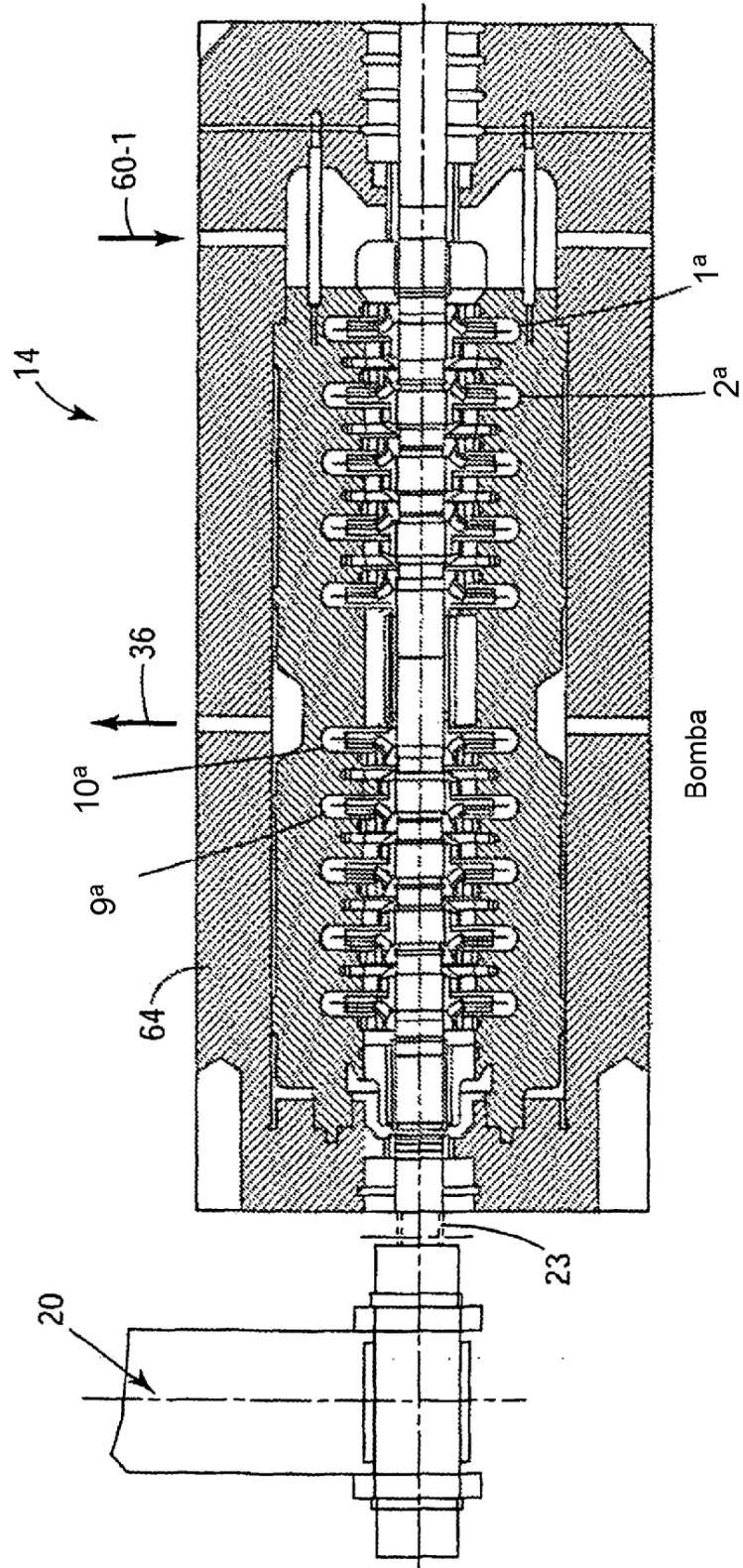


FIGURA 7

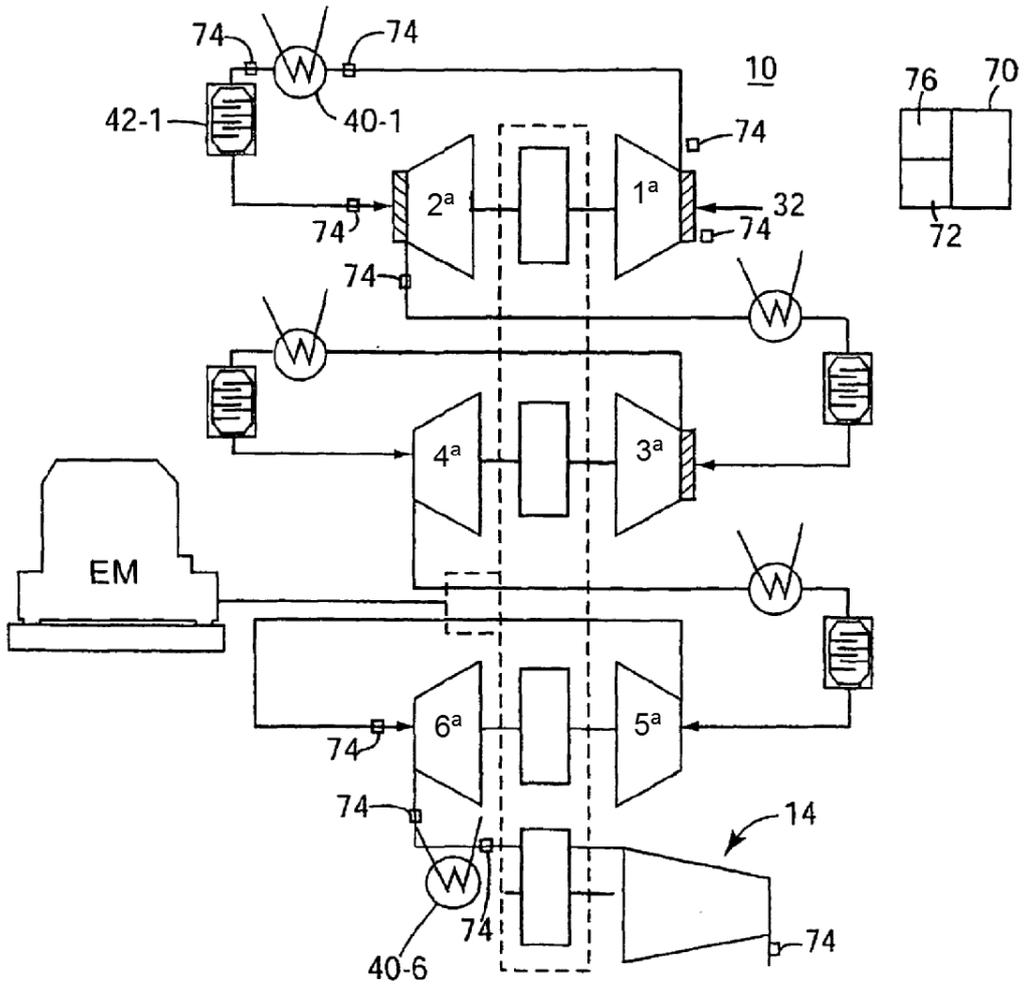


FIGURA 8

