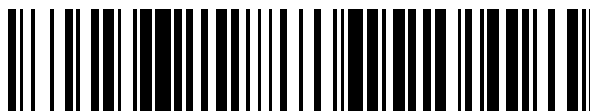


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 703 380**

51 Int. Cl.:

**F04D 31/00** (2006.01)

**F04D 15/00** (2006.01)

**F04D 27/00** (2006.01)

**F04D 27/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.10.2015** **E 15189340 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018** **EP 3037668**

54 Título: **Procedimiento operativo para una bomba, en particular una bomba multifásica, así como bomba**

30 Prioridad:

**18.12.2014 EP 14198870**

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

**08.03.2019**

73 Titular/es:

**SULZER MANAGEMENT AG (100.0%)**

**Neuwiesenstrasse 15  
8401 Winterthur, CH**

72 Inventor/es:

**SCHNEIDER, LORENZ**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 703 380 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento operativo para una bomba, en particular una bomba multifásica, así como bomba

5 La invención se refiere a un procedimiento operativo para una bomba, en particular una bomba multifásica, así como a una bomba, en particular una bomba multifásica para transportar un fluido de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación independiente de la respectiva categoría.

10 Las bombas multifásicas son bombas con las que pueden transportarse fluidos que contienen una mezcla de varias fases, por ejemplo una fase líquida y una fase gaseosa. Tales bombas se conocen desde hace tiempo y se fabrican en numerosas formas de realización, con frecuencia como bombas centrífugas, por ejemplo como bombas de una o dos entradas y como bombas unicelulares o multicelulares. El ámbito de aplicación de estas bombas es muy amplio; por ejemplo se usan en la industria petrolífera y del gas para transportar mezclas de crudo-gas natural y, especialmente, como bombas de aumento de presión, que también se denominan bombas de tipo *booster*.

15 Es una tecnología conocida aumentar o prolongar, con tales bombas de aumento de presión, el aprovechamiento o el agotamiento de campos petrolíferos. En particular, cuando la presión presente naturalmente en un campo petrolífero disminuye a medida que se va transportando petróleo, se disminuye con una bomba de tipo *booster* la presión que queda en el pozo de sondeo mediante el transporte de la bomba, de modo que el petróleo puede seguir saliendo del pozo de sondeo.

20 Muy a menudo, estas bombas de aumento de presión tienen que generar altas presiones, porque los pozos de sondeo son muy profundos o difícilmente accesibles, de modo que son necesarias tuberías muy largas o *pipelines* entre el pozo de sondeo y los equipos de tratamiento o almacenamiento. Esto sucede en particular también en el caso de las aplicaciones submarinas, cuando por ejemplo la salida del pozo de sondeo se sitúa sobre el lecho marino y los equipos de tratamiento o almacenamiento están previstos como FPSO (*Floating Production Storage and Offloading Unit*) en tierra, sobre una plataforma de perforación o sobre un buque. Precisamente en tales casos, una bomba de tipo *booster* tiene que transportar a lo largo de grandes alturas geodésicas y tiene que poder generar una presión correspondientemente alta.

30 La eficiencia y el rendimiento de una bomba multifásica dependen en gran medida de la actual composición de fases o distribución de fases del fluido multifásico que va a transportarse. Los porcentajes volumétricos relativos de la fase líquida y la gaseosa –por ejemplo en el transporte de petróleo– están sujetos a oscilaciones muy grandes, lo que por un lado se debe al origen natural, pero por otro lado también está causado por las tuberías de conexión. En este caso hay varios efectos por los cuales la fase líquida puede acumularse en ciertas zonas hasta que la sección transversal de la tubería esté totalmente llena con la fase líquida, de modo que se produce aguas arriba un aumento de presión en la fase gaseosa, hasta que la presión se vuelve tan grande que la fase líquida es lanzada bruscamente. Otras interacciones entre la fase gaseosa y la líquida pueden conducir también a pulsaciones de presión en la tubería. Las oscilaciones en la distribución de fase del fluido multifásico son provocadas, por tanto, también por la arquitectura y la dinámica del sistema de tuberías.

45 Tales efectos pueden provocar que la bomba multifásica, debido a un caudal demasiado bajo, pase a un estado operativo inestable, que también se denomina *surge* o *surging*. Tales estados operativos inestables se caracterizan por caudales extremadamente oscilantes, golpes de ariete, grandes oscilaciones de potencia y presión así como fuertes vibraciones de la bomba. Tales estados operativos inestables representan una carga extremadamente intensa para la propia bomba y las instalaciones adyacentes. Si una bomba multifásica funciona demasiado tiempo en tal estado operativo inestable, esto puede conducir a una fatiga prematura de los materiales, a un desgaste notablemente superior, a defectos y hasta a la avería de la bomba completa, con lo cual se producirán repercusiones desventajosas en las instalaciones previstas aguas abajo de la bomba. Debido a la avería de la bomba multifásica puede suceder, incluso, que todo el proceso de producción se vea interrumpido, lo que naturalmente es muy desventajoso desde el punto de vista económico.

50 Para resolver o al menos paliar los problemas que se producen debido a variaciones en la distribución de fases se conoce prever aguas arriba de la bomba multifásica un depósito intermedio, cuyo volumen y configuración interna se adapta al caso de aplicación respectivo. Este depósito intermedio actúa prácticamente como un filtro o como un integrador y puede absorber o amortiguar así repentinas variaciones en la distribución de fases del fluido, de modo que estas no puedan avanzar, o solo muy amortiguadas, a la entrada de la bomba multifásica.

60 Sin embargo, puesto que tales depósitos intermedios no pueden configurarse en cualquier tamaño y además tampoco pueden amortiguar todas las variaciones de la distribución de fases, en una bomba multifásica con frecuencia se prevé una protección frente a un flujo bajo o una regulación de límite de bombeo, que habitualmente también se denomina *surge control* o *surge protection* y que evitará que la bomba multifásica pase a tal estado operativo inestable. Para el control o regulación de límite de bombeo es una medida conocida prever un conducto de realimentación a través del cual puede realimentarse el fluido transportado por la bomba multifásica desde el lado de presión de la bomba al lado de succión. En este conducto de realimentación están previstas una o también varias, por ejemplo dos, válvulas de control, que pueden activarse por la regulación de límite de bombeo y, por

consiguiente, posibilitan un flujo mínimo o superior por el conducto de realimentación. Si, por ejemplo, están previstas dos válvulas de control, con frecuencia una está pensada para compensar oscilaciones en la distribución de fases, mientras que la otra abre, en caso de oscilaciones extremadamente grandes, muy rápidamente toda la sección transversal de flujo del conducto de realimentación. La lógica de la regulación de límite de bombeo está integrada, por lo general, en el equipo de control de la bomba, que hoy en día está configurado normalmente como sistema de control digital.

En particular, en caso de porcentajes de gas muy altos en el fluido multifásico que va a transportarse puede estar previsto en el conducto de realimentación también un sistema de refrigeración para evitar una carga térmica o acumulación de calor demasiado intensa.

Además, entre la desembocadura del conducto de realimentación en el lado de succión y la entrada de la bomba multifásica está previsto un medidor de flujo.

Para la regulación de límite de bombeo, habitualmente está almacenada en la correspondiente unidad de control una curva límite, debiendo adoptarse contramedidas en caso de alcanzarse. La curva límite se establece basándose en una línea de límite de bombeo inferior, que indica a qué constelaciones de parámetros se produce la transición a un estado operativo inestable. Esta línea de límite de bombeo se determina sobre la base de valores empíricos y/o datos determinados experimentalmente. La curva límite se establece entonces con una cierta "distancia de seguridad" respecto a la línea de límite de bombeo, para evitar durante el funcionamiento de la bomba estados operativos inestables. Si la bomba llega durante el funcionamiento a la curva límite, la regulación de límite de bombeo activa la válvula de control o las válvulas de control de tal modo que el flujo de retorno aumenta en el conducto de realimentación, por lo que la bomba se aleja de nuevo de la curva límite.

Hoy en día, las regulaciones de límite de bombeo conocidas o protecciones frente a un flujo bajo requieren conocer el caudal actual, la distribución de fases actual del fluido multifásico transportado y la velocidad de rotación actual de la bomba. Una medición directa del caudal y de la distribución de fases actual con un único instrumento o sensor no es posible, sin embargo, porque no existen tales instrumentos de medición. Por tanto, el medidor de flujo tiene que estar configurado como medidor de flujo multifásico. El medidor de flujo multifásico determina el caudal basándose en una detección simultánea, conforme a la técnica de medición, de magnitudes de proceso directamente accesibles como, por ejemplo, presión absoluta, presión diferencial, densidad, temperatura, que después se procesan en un modelo semiempírico, para determinar o estimar el caudal actual y la distribución de fases actual del fluido en el medidor de flujo multifásico.

Tales medidores de flujo multifásico son dispositivos muy complicados, caros y complejos, que tienen algunas desventajas adicionales. Los diversos sensores en un medidor de flujo multifásico para medir las diversas magnitudes de proceso tienen variaciones muy grandes por lo que respecta a la frecuencia de actualización de las magnitudes de proceso determinadas en cada caso. Naturalmente, el sensor determina entonces con la frecuencia de actualización más pequeña la máxima frecuencia de actualización posible del medidor de flujo multifásico. Esta máxima frecuencia de actualización a veces no es suficiente para garantizar un control de límite de bombeo fiable o una protección fiable frente a un flujo bajo. En particular en instalaciones submarinas y el entorno marítimo asociado, los correspondientes dispositivos tienen frecuencias de actualización todavía inferiores, lo que reduce adicionalmente el rendimiento dinámico de la regulación de límite de bombeo. Puesto que, así, son necesarias distancias de seguridad mayores respecto a la curva límite, para evitar estados operativos inestables, se restringe aún más el margen operativo de la bomba multifásica.

Además, estos complejos medidores de flujo multifásicos requieren bastante espacio para su instalación, que con frecuencia no está disponible, por ejemplo en plataformas, FPSO o en una disposición submarina sobre el lecho marino.

Además, el flujo de un fluido multifásico presenta efectos dinámicos, que varían la actual distribución de fases a lo largo de la tubería. Por tanto sería deseable, para un control de límite de bombeo robusto y fiable, medir los caudales inmediatamente aguas arriba de la entrada de la bomba, para que también se determine realmente la distribución de fases presenta en la bomba multifásica. La instalación de un medidor de flujo multifásico inmediatamente aguas arriba de la entrada de la bomba con frecuencia no es en absoluto posible, sin embargo, por ejemplo por motivos de espacio.

Problemas similares pueden aparecer, también, en bombas monofásicas, es decir en bombas que sirven para transportar un fluido monofásico, por ejemplo un líquido. También en este caso es con frecuencia necesario o deseable prever regulaciones de límite de bombeo o protecciones frente a un flujo bajo para la bomba. Hoy en día, las regulaciones de límite de bombeo conocidas usan normalmente señales de medidores de flujo que, de manera equivalente a lo que se ha descrito anteriormente con ayuda de los medidores de flujo multifásicos, miden el caudal del fluido. También con estos medidores de flujo surgen problemas similares a los descritos más arriba, concretamente en particular, que a menudo no pueden colocarse, o solo con gran esfuerzo, en el lugar deseado y que sus frecuencias de actualización con frecuencia son demasiado bajas o los retardos en la transmisión de señales son demasiado grandes, de modo que la regulación de límite de bombeo tiene que configurarse con

distancias de seguridad muy grandes. Debido a ello se restringe el margen operativo en el que puede funcionar la bomba de manera segura.

5 Tanto el documento US 6 007 306 A, el documento DE 10 2010 047298 A1 como el documento WO 01/06128 A1 describen un procedimiento operativo para una bomba, en el que una válvula de control se regula a través de un parámetro operativo que no puede ajustarse directamente en la bomba.

10 Partiendo de este estado de la técnica es por tanto un objetivo de la invención proponer un procedimiento operativo para una bomba, en particular para una bomba multifásica, y una correspondiente bomba, en particular una bomba multifásica, en el/la que de manera sencilla esté implementado un control de límite de bomba fiable o una protección frente a un flujo bajo fiable, que en particular no esté supeditado/a a complicados medidores de flujo multifásico o medidores de flujo.

15 Los objetos de la invención que alcanzan este objetivo están caracterizados por las características de la reivindicación independiente de la respectiva categoría.

20 De acuerdo con la invención se propone, por lo tanto, un procedimiento operativo para una bomba, en particular para una bomba multifásica, para transportar un fluido desde un lado de baja presión a un lado de alta presión, donde está previsto un conducto de realimentación para realimentar el fluido del lado de alta presión al lado de baja presión, procedimiento en el que por medio de una unidad de control de límite de bombeo se activa, para evitar un estado operativo inestable, una válvula de control en el conducto de realimentación, que controla el paso de flujo por el conducto de realimentación, donde se mantiene una curva límite para un parámetro de control en la unidad de control de límite de bombeo, se compara un valor actual del parámetro de control durante el funcionamiento de la bomba con la curva límite y donde, tan pronto como el valor actual del parámetro de control alcanza la curva límite, se activa la válvula de control en el conducto de realimentación de tal manera que el valor actual del parámetro de control se aleje de la curva límite, y donde como parámetro de control se usa un parámetro operativo de la bomba.

30 Con el término "parámetro operativo" quiere decirse aquellos parámetros que determinan el funcionamiento de la bomba y que pueden ser ajustados por el equipo de control de la bomba, es decir, por ejemplo, el número de revoluciones de la bomba, su consumo de potencia, el par motor con el que se acciona la bomba, etc. En particular, no son un parámetro operativo en el sentido de esta solicitud aquellas magnitudes que vienen dadas por el propio fluido, es decir, por ejemplo, la distribución de fases del fluido (en el caso de un fluido multifásico) o su viscosidad, ya que estas magnitudes no pueden especificarse o ajustarse en la propia bomba.

35 Debido a que la unidad de control de límite de bombeo usa un parámetro operativo para evitar un estado operativo inestable de la bomba, ya no es necesario estimar o determinar magnitudes que solo pueden detectarse con mucha dificultad conforme a la tecnología de medición –si es que es siquiera posible–, tales como, por ejemplo, la distribución de fases actual en el fluido que va a transportarse. En particular puede prescindirse así de dispositivos complicados y muy caros tales como un medidor de flujo multifásico o también de un medidor de flujo y aun así garantizar una regulación de control de límite fiable y estable o una protección frente a un flujo bajo de la bomba, en particular de la bomba multifásica.

45 De acuerdo con un ejemplo de realización preferido de la invención, la curva límite indica una relación unívoca entre el parámetro operativo y la diferencia de presión generada por la bomba, en particular la bomba, porque esta diferencia de presión puede determinarse muy fácilmente o detectarse conforme a la tecnología de medición.

50 Preferiblemente, para comparar el valor actual del parámetro operativo con la curva límite se detecta la diferencia de presión entre la presión en una entrada y la presión en una salida de la bomba conforme a la tecnología de medición. De este modo puede asegurarse de manera sencilla que en cada caso se detecta exactamente el valor actual de la diferencia de presión generada en ese momento por la bomba.

En la práctica ha resultado ventajoso que el parámetro operativo usado por la unidad de control de límite de bombeo se encuentre en una relación unívoca con el par motor con el que es accionada la bomba.

55 En particular se usa preferiblemente como parámetro operativo el par motor con el que es accionada la bomba. Resulta sorprendente observar en este caso que la dependencia del par motor momentáneo respecto a la diferencia de presión generada por la bomba posibilita el establecimiento de una curva límite con la que puede evitarse de manera fiable que la bomba llegue a un estado operativo inestable.

60 Una medida preferida consiste en que la curva límite indique la dependencia del par motor respecto a la diferencia de presión a la que funciona la bomba de manera aún segura en un estado operativo estable. Esto significa que la curva límite se establece preferiblemente de tal modo que no discurre exactamente por donde se produce la transición de la bomba a un estado operativo inestable, sino que se prevé una reserva de seguridad.

65 Para ello resulta ventajoso que la curva límite se establezca distanciada respecto a una línea de límite de bombeo inferior, indicando la línea de límite de bombeo inferior el respectivo valor del parámetro operativo al que la bomba

pasa a un estado operativo inestable.

Preferiblemente, esta línea de límite de bombeo inferior se determina con ayuda de datos de prueba experimentales, para cuya determinación se lleva la bomba a un estado operativo inestable. Esto puede efectuarse, por ejemplo, antes de la puesta en marcha de la bomba en una fase de pruebas, donde la bomba se lleva entonces a sabiendas al estado operativo inestable (*surging*) para determinar así a qué valores del parámetro operativo se produce esta transición.

Naturalmente, también puede ser ventajoso que, para la determinación de la línea de límite de bombeo inferior, se usen valores empíricos. De este modo, puede ahorrarse tiempo gracias a la reducción del esfuerzo experimental para determinar la línea de límite de bombeo inferior para la respectiva bomba.

Desde el punto de vista de los aparatos resulta preferible que la unidad de control de límite de bombeo se integre en un equipo de control para la activación de la bomba.

A fin de minimizar el esfuerzo y hacer así el procedimiento operativo especialmente sencillo, es una medida ventajosa que el valor actual del parámetro operativo lo proporcione un accionamiento de frecuencia variable para la bomba.

Una aplicación preferida del procedimiento operativo es cuando la bomba se usa como bomba de aumento de presión (bomba de tipo *booster*) en el transporte de petróleo y gas, en particular en el transporte submarino de petróleo y gas.

Mediante la invención se propone, además, una bomba, en particular una bomba multifásica, para transportar un fluido desde un lado de baja presión a un lado de alta presión, con una entrada y una salida para el fluido, y con una unidad de control de límite de bombeo para evitar un estado operativo inestable, que proporciona una señal de activación para una válvula de control en un conducto de realimentación para realimentar el fluido del lado de alta presión al lado de baja presión, donde en la unidad de control de límite de bombeo está presente una curva límite para un parámetro de control, donde la unidad de control de límite de bombeo compara un valor actual del parámetro de control durante el funcionamiento de la bomba con la curva límite, y donde la unidad de control de límite de bombeo, tan pronto como el valor actual del parámetro de control alcanza la curva límite, proporciona la señal de activación que puede activar la válvula de control en el conducto de realimentación de tal manera que el valor actual del parámetro de control se aleje de la curva límite, donde el parámetro de control es un parámetro operativo de la bomba.

Las ventajas y las configuraciones preferidas de la bomba se corresponden a este respecto con aquellas que se han explicado anteriormente en relación con el procedimiento operativo de acuerdo con la invención.

En particular es también especialmente preferible, con respecto a la bomba, que el parámetro operativo sea el par motor para el accionamiento de la bomba y que la curva límite indique la dependencia del par motor respecto a la diferencia de presión entre la presión en la entrada y la presión en la salida.

Preferiblemente, la bomba está configurada como bomba centrífuga y como bomba de aumento de presión para el transporte de petróleo y gas, en particular para el transporte submarino de petróleo y gas.

Gracias al procedimiento operativo de acuerdo con la invención o a la bomba de acuerdo con la invención es posible un control de límite de bombeo extremadamente fiable para evitar estados operativos inestables. Puesto que el parámetro operativo necesario para el control se proporciona de manera muy sencilla y con una frecuencia de actualización muy alta, también pueden identificarse variaciones muy rápidas en las condiciones de proceso y reaccionar a las mismas. Especialmente en aplicaciones submarinas se garantiza mediante el uso del parámetro operativo de la bomba que no se produzca ningún retardo de señal provocado, por ejemplo, por los componentes instalados bajo el mar o su conexión a los componentes dispuestos sobre el mar. Además se obtiene la ventaja de que la distancia de seguridad respecto a los estados operativos inestables puede reducirse o minimizarse, de modo que la bomba puede funcionar en un margen operativo notablemente mayor.

Otra ventaja del procedimiento operativo de acuerdo con la invención o de la bomba de acuerdo con la invención consiste en que también puede equiparse posteriormente sin problemas en bombas ya existentes o en que pueden modificarse bombas existentes de manera sencilla para dar lugar a bombas de acuerdo con la invención. Con frecuencia no se precisan para ello grandes modificaciones de los aparatos.

Otras medidas ventajosas y configuraciones de la invención se desprenden de las reivindicaciones dependientes.

A continuación se explica más detalladamente la invención tanto desde el punto de vista de los aparatos como de la tecnología procedimental con ayuda de ejemplos de realización y con ayuda del dibujo. En el dibujo muestra:

la figura 1: una representación esquemática para ilustrar un ejemplo de realización de la invención,

la figura 2: una representación de la relación de la diferencia de presión generada por el ejemplo de realización de la bomba multifásica con el caudal, y

5 la figura 3: una representación de una curva límite y una línea de límite de bombeo inferior en un trazado del par motor frente a la diferencia de presión.

10 La figura 1 ilustra en una representación esquemática un ejemplo de realización de la invención tanto desde el punto de vista de los aparatos como de la tecnología procedimental. Con ayuda de la figura 1 se explica a continuación un ejemplo de realización del procedimiento operativo de acuerdo con la invención y un ejemplo de realización de una bomba de acuerdo con la invención, que está configurada en este caso como bomba multifásica, que se designa globalmente con la referencia 1. A este respecto se hace referencia, a título ilustrativo, al caso de aplicación importante en la práctica de que la bomba multifásica 1 esté configurada como bomba centrífuga y como bomba de aumento de presión, denominada habitualmente también como bomba de tipo *booster*. En este caso de aplicación, 15 la bomba multifásica se utiliza para el transporte de petróleo y gas y en particular para el transporte submarino de petróleo y gas, en el que la salida de un pozo de sondeo 100 se encuentra sobre el lecho marino, desde donde se transporta el crudo y el gas natural hasta un dispositivo de almacenamiento y tratamiento 200 dispuesto por encima del mar. El pozo de sondeo 100 se extiende hasta un campo petrolífero, que no está representado en la figura 1. El dispositivo de almacenamiento y tratamiento 200 puede estar instalado, a este respecto, en tierra firme o también mar adentro (*offshore*), por ejemplo sobre una plataforma anclada al lecho marino. El dispositivo de almacenamiento y tratamiento 200 también puede estar dispuesto, naturalmente flotando sobre el mar, por ejemplo en forma de FPSO.

25 En este ejemplo de realización, el fluido que va a transportar la bomba multifásica 1 es, por tanto, un fluido multifásico, que comprende al menos una fase gaseosa y una líquida. El objetivo de la bomba multifásica 1 usada como bomba de tipo *booster* es, a este respecto, disminuir la presión en la salida del pozo de sondeo 100, por ejemplo a un valor en el intervalo de 10 bar a 40 bar, para que el fluido pueda salir del pozo de sondeo 100, o para que aumente el caudal del fluido transportado desde el pozo de sondeo 100. Esta medida, conocida *per se*, es 30 ventajosa en particular a medida que aumenta el agotamiento del campo petrolífero, porque entonces disminuye la presión natural por debajo de la cual se encuentra el campo petrolífero. La bomba multifásica 1 puede generar, por ejemplo, diferencias de presión de hasta 150 bar, dependiendo naturalmente la diferencia de presión generada en gran medida de la densidad actual del fluido y por tanto de su distribución de fases actual. Según el caso de aplicación, la bomba multifásica 1 puede estar dispuesta sobre el lecho marino cerca del pozo de sondeo 100 o a 35 una cierta distancia del mismo, o mar adentro (*offshore*), es decir por ejemplo sobre una plataforma (de perforación) o una FPSO, o también en tierra.

40 Naturalmente, la invención no se limita a este caso de aplicación concreto, sino que también es apta para cualquier otra aplicación en la que puedan usarse o utilizarse bombas multifásicas. En particular, la invención es adecuada para bombas multifásicas que son bombas centrífugas. La invención tampoco se limita a bombas multifásicas, sino que es apta en general para bombas, es decir también para bombas monofásicas, en las que el fluido que va a transportarse solo incluye una fase, es decir que es, por ejemplo, un líquido.

45 En la figura 1 se representan con líneas continuas las tuberías a través de las cuales puede fluir el fluido, mientras que las conexiones de señales están representadas con líneas discontinuas.

50 La bomba multifásica 1 comprende una entrada 10 a través de la cual llega el fluido a la bomba multifásica 1 así como una salida 20 a través de la cual el fluido transportado abandona la bomba multifásica 1. A continuación, la zona situada aguas arriba de la bomba multifásica 1 se denomina lado de baja presión y la zona situada aguas abajo se denomina lado de alta presión.

55 En la entrada 10 de la bomba multifásica 1 está previsto un primer sensor de presión 11 con el que puede medirse la presión con la que entra el fluido a la bomba multifásica 1. En la salida 20 de la bomba multifásica está previsto un segundo sensor de presión 12 con el que puede medirse la presión con la que el fluido abandona la bomba multifásica 1. A partir de la señal de diferencia de ambos sensores de presión 11, 12 puede determinarse por tanto el valor actual en cada caso de la diferencia de presión generada por la bomba multifásica 1. Como sensores de presión 11,12 son aptos todos los sensores de presión conocidos *per se*. Preferiblemente, los sensores presión 11, 12 están dispuestos en cada caso inmediatamente en la entrada 10 o en la salida 20 de la bomba multifásica 1.

60 La bomba multifásica 1 es accionada por un accionamiento de frecuencia variable 2 (*variable frequency drive*, VFD o también *variable speed drive*, VSD), que hace rotar el árbol de la bomba multifásica 1 con el rodete dispuesto encima o los rodetes dispuestos encima (no representado). El accionamiento de frecuencia variable 2 está conectado por señales con un equipo de control 3 para la activación de la bomba multifásica, tal como indica la doble flecha A en la figura 1 y puede intercambiar datos bidireccionalmente con el equipo de control 3. El equipo de 65 control 3 está configurado preferiblemente como equipo de control 3 digital.

Los dos sensores de presión 11 y 12 están unidos por señales en cada caso con el equipo de control 3, tal como lo indican las dos flechas B y C en la figura 1.

5 Además está prevista una unidad de control de límite de bombeo 4 para evitar estados operativos inestables de la bomba multifásica 1, que está integrada preferiblemente en el equipo de control 3. Para la unidad de control de límite de bombeo 4 se usan habitualmente también las denominaciones "protección frente a un flujo bajo" o "*surge control*".

10 La entrada 10 de la bomba multifásica 1 está conectada, en el lado de baja presión, con el pozo de sondeo 100 a través de una tubería de alimentación 5, a través de la cual puede fluir el fluido desde el pozo de sondeo 100 hasta la entrada 10. La salida 20 de la bomba multifásica 1 está conectada, en el lado de alta presión, con el dispositivo de almacenamiento y tratamiento 200 a través de una tubería de salida 6, a través de la cual puede fluir el fluido desde la bomba multifásica 1 hasta el dispositivo de almacenamiento y tratamiento 200. En función de dónde esté dispuesta la bomba multifásica 1 en el caso en cuestión, la tubería de alimentación 5 y la tubería de salida 6 pueden tener una longitud en cada caso desde menos de un metro hasta muchos kilómetros.

15 En la tubería de alimentación 5 está previsto preferiblemente un depósito intermedio 7 que sirve de manera conocida *per se* para compensar variaciones en la distribución de fases del fluido. Estas variaciones pueden ser provocadas por oscilaciones naturales de la relación gas-líquido del fluido que sale del pozo de sondeo o también por la arquitectura y la dinámica de conducción de la tubería de alimentación 5. El depósito intermedio 7 actúa como un filtro o un integrador y puede así absorber o atenuar variaciones bruscas en la distribución de fases del fluido.

20 Además está previsto un conducto de realimentación 8 para el fluido que conecta el lado de alta presión con el lado de baja presión. El conducto de realimentación 8 se ramifica aguas abajo de la salida 20 de la bomba multifásica 1 desde la tubería de salida 6 y desemboca aguas arriba del depósito intermedio 7 en la tubería de alimentación 5, de modo que el fluido puede realimentarse a través del conducto de realimentación 8 desde el lado de alta presión al lado de baja presión. En el conducto de realimentación 8 está prevista al menos una válvula de control 9, que está conectada por señales con la unidad de control de límite de bombeo 4, tal como indica la flecha D en la figura 1. La válvula de control 9 está configurada como válvula reguladora, con la que puede modificarse la sección transversal de flujo del conducto de realimentación 8 del estado totalmente cerrado (sin realimentación de fluido) al estado totalmente abierto (sección transversal de flujo máxima abierta). El conducto de realimentación 8 sirve para el control del límite de bombeo y para evitar así estados operativos inestables de la bomba multifásica 1, que también se denominan *surging*.

35 En caso de que el flujo a través de la bomba multifásica 1 sea suficientemente grande, la válvula de control 9 está totalmente cerrada, de modo que no pueda retornar nada de fluido por el conducto de realimentación 8 al lado de baja presión. En caso de que, tal como se describe más abajo, desde la unidad de control de límite de bombeo 4 se detecte que se ha superado una curva límite para un parámetro de control, lo que por ejemplo es provocado por que llega demasiado poco fluido a la entrada 10 (área de flujo bajo), la unidad de control de límite de bombeo 4 activa entonces la válvula de control 9, de modo que esta abra parcial o totalmente el conducto de realimentación 8, para que una parte del fluido transportado pueda retornar desde el lado de alta presión al lado de baja presión. La válvula de control 9 se abre, a este respecto, hasta que el valor actual del parámetro de control vuelva a situarse por debajo de la curva límite.

45 Preferiblemente, la válvula de control 9 está configurada de tal modo que puede variar la sección transversal de flujo abierta del conducto de realimentación 8 gradualmente desde el estado totalmente cerrado hasta el estado totalmente abierto. Naturalmente, también es posible prever en el conducto de realimentación 8 más de una, por ejemplo dos, válvulas de control, que están dispuestas entonces en paralelo en el conducto de realimentación 8. Alternativamente, en el conducto de realimentación 8 también pueden estar dispuestas dos válvulas una tras otra, es decir en serie, siendo entonces preferiblemente una de las dos válvulas una válvula de apertura/cierre rápida y la otra válvula, una válvula de control, configurada como válvula reguladora.

50 Además, en el conducto de realimentación 8 puede estar prevista una refrigeración 13, por ejemplo un intercambiador de calor, para eliminar calor del fluido recirculado. Esta medida es en particular ventajosa cuando el fluido tiene un alto porcentaje de gas. Mediante la refrigeración 13 pueden evitarse entonces acumulación de calor.

55 Como ya se ha mencionado, la unidad de control de límite de bombeo 4 usa el valor actual de un parámetro de control para evitar estados operativos inestables de la bomba multifásica 1 o de la bomba 1. De acuerdo con la invención, este parámetro de control es un parámetro operativo. Como ya se ha explicado, con el término "parámetro operativo" quiere decirse aquellos parámetros que determinan el funcionamiento de la bomba 1 y que pueden ser ajustados por el equipo de control 4 de la bomba 1, es decir, por ejemplo, el número de revoluciones de la bomba multifásica 1, su consumo de potencia, el par motor con el que se acciona la bomba multifásica 1, etc. Son parámetros operativos por tanto aquellas magnitudes que regulan el funcionamiento de la bomba 1 o de la bomba multifásica 1 y que pueden ajustarse directamente —o indirectamente a través de otro parámetro operativo— en de la bomba 1 o la bomba multifásica 1.

65

El uso de un parámetro operativo como parámetro de control tiene en particular la ventaja de que aquellas magnitudes de proceso que no pueden determinarse, o solo muy difícilmente o solo de manera muy imprecisa, como por ejemplo la distribución de fases del fluido actual, ya no tienen que conocerse para el control de límite de bombeo. En el caso de una configuración de la bomba como bomba monofásica ya no es necesario, por ejemplo, conocer el flujo actual, de modo puede prescindirse de medidores de flujo.

En el ejemplo de realización descrito en este caso se usa la relación entre el parámetro operativo y la diferencia de presión generada por la bomba multifásica 1 para el control de límite de bombeo. Durante el funcionamiento de la bomba multifásica 1, esta diferencia de presión puede determinarse conforme a la tecnología de medición de manera muy sencilla y muy precisa por medio de los dos sensores de presión 11 y 12.

Para una mejor comprensión, la figura 2 muestra un diagrama operativo típico de la bomba multifásica 1, en el que se representa la relación de la diferencia de presión generada por la bomba multifásica 1 con el caudal del fluido transportado por la bomba multifásica 1. En el eje horizontal se ha trazado el caudal Q y en el eje vertical, la diferencia de presión DP. En el caso de un fluido multifásico, esta relación depende naturalmente en gran medida de la distribución de fases del fluido transportado. Esta distribución de fases de un fluido con una fase líquida y una gaseosa se caracteriza habitualmente con el valor GVF (GVF: *gas volume fraction*), que indica la proporción del flujo volumétrico de la fase gaseosa y el flujo volumétrico del fluido. El valor GVF se sitúa, por tanto, entre 0 y 1 o entre 0 y 100 %, donde el valor 0 significa que solo hay una fase líquida y el valor 1 o 100%, que solo hay una fase gaseosa.

La figura 2 muestra la diferencia de presión DP en función del caudal Q para cinco valores GVF diferentes. Sobre la isocurva de GVF designada con 101 y representada en línea continua, el valor GVF es en cada caso constante. A este respecto, la isocurva de GVF 101 situada más abajo, o situada más a la izquierda en función de la representación, corresponde al mayor valor GVF. Cuanto más arriba, o cuando más a la derecha en función de la representación, se sitúa la isocurva de GVF 101, menor será el correspondiente valor GVF. Además, en la figura 2 están representadas también isocurvas de potencia 102 mediante líneas de puntos y rayas, sobre las que en cada caso la potencia consumida por la bomba multifásica 1 es constante.

Además, en la figura 2 está representada una línea de límite de bombeo 50 inferior (con línea continua), que habitualmente se denomina *surge line*. Cuando se supera esta línea de límite de bombeo inferior 50, de modo que la bomba multifásica 1 llega, en el área designada con 40, por encima de la línea de límite de bombeo inferior 50, la bomba multifásica 1 está en un estado operativo inestable. Con ayuda de la figura 2 puede observarse bien cómo variaciones en la distribución de fases actual del fluido pueden conducir, de manera muy brusca, a superar la línea de límite de bombeo inferior 50 y con ello a estados operativos inestables. Una variación de la distribución de fases actual corresponde, por ejemplo, a un salto de una isocurva de GVF 101 a otra.

Para evitar de manera segura durante el funcionamiento de la bomba multifásica 1 tales estados operativos inestables en el área 40, se establece para el parámetro operativo utilizado como parámetro de control una curva límite 60 que discurre distanciada de la línea de límite de bombeo inferior 50; en la representación de acuerdo con la figura 2 por debajo de la línea de límite de bombeo inferior 50. La curva límite 60 está representada en la figura 2 mediante línea discontinua.

Si ahora durante el funcionamiento de la bomba multifásica 1 el parámetro operativo usado como parámetro de control alcanza la curva límite 60, la unidad de control de límite de bombeo 4 activa la válvula de control 9 de modo que aumenta el flujo por el conducto de realimentación 8, en concreto hasta que el valor actual del parámetro operativo usado como parámetro de control se aleje de la curva límite 60 y del área 40 de estados operativos inestables.

Para ello es necesario, naturalmente, conocer para el parámetro operativo usado en concreto en la unidad de control de límite de bombeo una curva límite o una línea de límite de bombeo inferior y su desarrollo en función de una magnitud, que puede medirse o determinarse de manera sencilla y fiable durante el funcionamiento de la bomba multifásica 1.

A este respecto ha resultado especialmente ventajoso determinar la dependencia del parámetro operativo respecto a la diferencia de presión actualmente generada por la bomba multifásica 1. La curva límite o la línea de límite de bombeo inferior indican entonces una relación unívoca entre el parámetro operativo y la diferencia de presión.

En principio, todos los parámetros operativos son aptos para el control de límite de bombeo. Sin embargo, ha resultado ventajoso que el parámetro operativo se encuentre en una relación unívoca con el par motor, con el que es accionada la bomba multifásica 1. De manera especialmente preferible se usa como parámetro operativo el par motor, con el que es accionada la bomba multifásica 1.

El par motor es un parámetro operativo que está siempre disponible durante el funcionamiento y por tanto hace posible una frecuencia de actualización muy alta. El valor actual del par motor recibido por la bomba multifásica 1 puede proporcionarlo en cualquier instante el accionamiento de frecuencia variable 2.



La diferencia de presión DP puede medirse de manera muy sencilla y fiable por medio de los dos sensores de presión 11, 12, que transmiten los valores de presión medidos por ellos a través de las conexiones de señales B o C a la unidad de control de límite de bombeo 4, que determina a partir de los mismos el valor actual de la diferencia de presión DP.

5 Para la determinación de una curva límite 60' (véase la figura 3) o de una línea de límite de bombeo inferior 50' para el par motor recibido por la bomba multifásica 1 se recurre preferiblemente a datos experimentales, que se determinan por ejemplo antes de la puesta en marcha de la bomba multifásica 1 en una fase de pruebas.

10 La figura 3 muestra una representación de la curva límite 60' y la línea de límite de bombeo inferior 50' en un trazado del par motor frente a la diferencia de presión. En el eje horizontal está representada la diferencia de presión DP y en el eje vertical, el par motor T recibido por la bomba multifásica. Los rombos designados con 105 representan datos de prueba determinados experimentalmente, a los que la bomba multifásica funciona en un estado operativo inestable. Para la determinación de estos datos de prueba 105 se lleva la bomba multifásica 1, a sabiendas, en una fase de pruebas, a un estado operativo inestable, por ejemplo variando el caudal y/o variando la distribución de fases del fluido. Esto último es posible naturalmente en una fase de pruebas. A este respecto, se determina en cada caso a qué valores del par motor T y a qué valores de la diferencia de presión DP llega la bomba multifásica 1 a un estado operativo inestable. Estos estados operativos inestables pueden detectarse muy fácilmente, por ejemplo por la aparición de fuertes vibraciones, por una caída súbita de la presión de transporte en la salida 20 de la bomba multifásica 1 o por otras variaciones. De esta manera pueden determinarse los datos de prueba 105.

25 A continuación se establece, entonces, la línea de límite de bombeo inferior 50' de tal modo que –conforme a la representación en la figura 3– todos los datos de prueba 105 se sitúen justo por debajo de la línea de límite de bombeo inferior 50'. La curva límite 60' representada en línea discontinua en la figura 3 se establece entonces, con una distancia de seguridad, por encima y preferiblemente discurriendo en paralelo a la línea de límite de bombeo inferior 50'. Elegir una distancia adecuada para el caso de aplicación entre la línea de límite de bombeo inferior 50' y la curva límite 60' no supone ningún problema para el experto en la técnica. Para el funcionamiento de la bomba multifásica 1 es ahora seguro que la bomba multifásica 1 no pase a un estado operativo inestable, siempre que funcione, de acuerdo con la representación (figura 3), por encima de la curva límite 60'.

30 Alternativamente o de manera complementaria también es posible, para la determinación de la curva límite 60', recurrir a valores empíricos, que ya hayan sido determinados por ejemplo por medio de otras bombas o que se conozcan de otro modo. También puede recurrirse, alternativamente o de manera complementaria, a datos operativos calculados o a datos obtenidos por simulación para la determinación de la línea de límite de bombeo inferior 50' o de la curva límite 60'.

40 Para el funcionamiento normal se facilita ahora la curva límite 60' a la unidad de control de límite de bombeo 4. Esto puede implementarse, por ejemplo, almacenando la curva límite 60' como tabla de consulta o como función analítica parametrizada en la unidad de control de límite de bombeo 4. Si la relación determinada entre el parámetro operativo, en este caso el par motor T, y la diferencia de presión DP es especialmente sencilla, por ejemplo lineal, puede almacenarse entonces una correspondiente función, es decir por ejemplo una ecuación lineal, en la unidad de control de límite de bombeo 4. Durante el funcionamiento de la bomba multifásica 1, la unidad de control de límite de bombeo 4 determina por medio de las señales de los sensores de presión 11, 12 el valor en cada caso actual de la diferencia de presión DP, generada en ese momento por la bomba multifásica 1. Con el valor actual proporcionado por el accionamiento de frecuencia variable 2 para el par motor T, la unidad de control de límite de bombeo 4 puede determinar ahora, mediante una comparación con la curva límite 60', si el valor actual del par motor T todavía está lejos de la curva límite 60'. Tan pronto como el valor actual del par motor T, para la diferencia de presión DP actual, alcanza la curva límite 60', la unidad de control de límite de bombeo 4 activa la válvula de control 9 en el conducto de realimentación 8, por lo que de este modo el conducto de realimentación 8 se abre o se abre más. El conducto de realimentación 8 se abre más hasta que el par motor T vuelva a alejarse de la curva límite 60' y de la línea de límite de bombeo inferior 50'.

55 De este modo se garantiza que la bomba multifásica 1 no pase, durante el funcionamiento normal, a un estado operativo inestable. A este respecto son especialmente ventajosas en este caso las frecuencias de actualización muy altas, con las que pueden determinarse la diferencia de presión DP y el valor actual del parámetro operativo, en este caso el par motor T.

60 Se ha mostrado que el establecimiento de la curva límite con ayuda de una correlación del par motor T, recibido por la bomba multifásica 1, con la diferencia de presión DP generada por la bomba multifásica 1 conduce a una proporción unívoca para la respectiva configuración hidráulica, que por lo demás es independiente de las condiciones operativas actuales de esta bomba multifásica 1, como por ejemplo la distribución de fases actual en el fluido multifásico.

65 Aunque la invención se ha descrito con ayuda del ejemplo de realización de una bomba multifásica 1, se entiende que la invención no se limita a bombas multifásicas, sino que abarca de manera equivalente también bombas monofásicas y bombas en general. A este respecto, la bomba puede estar configurada en cada caso como bomba

unicelular o multicelular. Preferiblemente, la bomba está configurada como una bomba centrífuga o como una bomba helicoaxial.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento operativo para una bomba para transportar un fluido desde un lado de baja presión a un lado de alta presión, donde está previsto un conducto de realimentación (8) para realimentar el fluido del lado de alta presión al lado de baja presión, procedimiento en el que por medio de una unidad de control de límite de bombeo (4) se activa, para evitar un estado operativo inestable, una válvula de control (9) en el conducto de realimentación (8), la cual controla el caudal que pasa por el conducto de realimentación (8), donde se facilita una curva límite (60, 60') para un parámetro de control a la unidad de control de límite de bombeo (4), se compara un valor actual del parámetro de control, durante el funcionamiento de la bomba, con la curva límite (60, 60') y donde, tan pronto como el valor actual del parámetro de control alcanza la curva límite (60, 60'), se activa la válvula de control (9) en el conducto de realimentación (8) de tal manera que el valor actual del parámetro de control se aleje de la curva límite (60, 60'), **caracterizado por que** como parámetro de control se usa un parámetro operativo de la bomba (1) que es el par motor de la bomba, o el número de revoluciones de la bomba o el consumo de potencia de la bomba.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la curva límite (60, 60') indica una relación unívoca entre el parámetro operativo y la diferencia de presión (DP) generada por la bomba, en particular la bomba multifásica (1).
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que para comparar el valor actual del parámetro operativo con la curva límite (60, 60') se detecta conforme a la tecnología de medición la diferencia de presión entre la presión en una entrada (10) y la presión en una salida (20) de la bomba (1).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la curva límite (60') indica la dependencia del par motor (T) con respecto a la diferencia de presión (DT) a la que la bomba todavía funciona de manera segura en un estado operativo estable.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la curva límite (60, 60') se establece distanciada de una línea de límite de bombeo inferior (50, 50'), indicando la línea de límite de bombeo inferior (50, 50') el respectivo valor del parámetro operativo al que la bomba (1) pasa a un estado operativo inestable.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que la línea de límite de bombeo inferior (50, 50') se determina con ayuda de datos de prueba experimentales (105), para cuya determinación se lleva la bomba (1) a un estado operativo inestable.
7. Procedimiento según la reivindicación 5 o 6, en el que para la determinación de la línea de límite de bombeo inferior (50, 50') se usan valores empíricos.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la bomba (1) se activa a través de un equipo de control (3) y la unidad de control de límite de bombeo (4) se integra en el equipo de control (3).
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor actual del parámetro operativo es proporcionado por un accionamiento de frecuencia variable (2) para la bomba (1).
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, donde la bomba es una bomba multifásica.
11. Bomba para transportar un fluido desde un lado de baja presión a un lado de alta presión, con una entrada (10) y una salida (20) para el fluido, con un conducto de realimentación (8) para realimentar el fluido del lado de alta presión al lado de baja presión, con una válvula de control (9), y con una unidad de control de límite de bombeo (4) para evitar un estado operativo inestable, que proporciona una señal de activación para la válvula de control (9) en el conducto de realimentación (8) para realimentar el fluido del lado de alta presión al lado de baja presión, donde en la unidad de control de límite de bombeo (4) está presente una curva límite (60, 60') para un parámetro de control, donde la unidad de control de límite de bombeo (4) compara un valor actual del parámetro de control, durante el funcionamiento de la bomba, con la curva límite (60, 60'), y donde la unidad de control de límite de bombeo (4), tan pronto como el valor actual del parámetro de control alcanza la curva límite (60,60'), proporciona la señal de activación, que puede activar la válvula de control (9) en el conducto de realimentación (8) de tal manera que el valor actual del parámetro de control se aleje de la curva límite (60, 60'), **caracterizada por que** el parámetro de control es un parámetro operativo de la bomba que es el par motor de la bomba, o el número de revoluciones de la bomba o el consumo de potencia de la bomba.
12. Bomba según la reivindicación 11, en el que el parámetro operativo es el par motor (T) para el accionamiento de la bomba (1) y la curva límite (60') indica la dependencia del par motor (T) respecto a la diferencia de presión (DP) entre la presión en la entrada (10) y la presión en la salida (20).
13. Bomba según una de las reivindicaciones 11 o 12, configurada como bomba centrífuga y como bomba de aumento de presión para el transporte de petróleo y gas, en particular para el transporte submarino de petróleo y gas.

14. Bomba según una de las reivindicaciones 11 a 13, donde la bomba es una bomba multifásica.

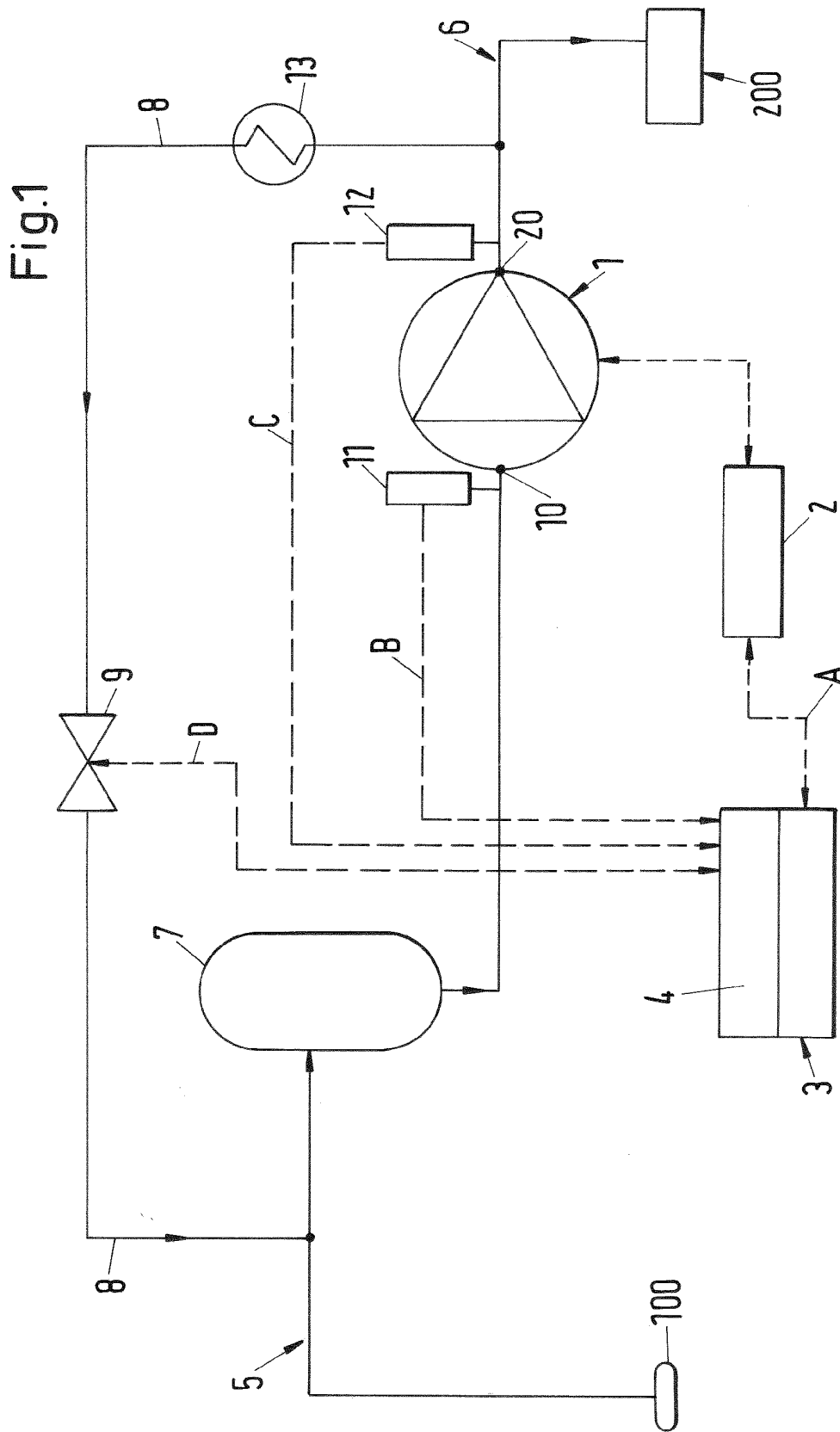


Fig.2

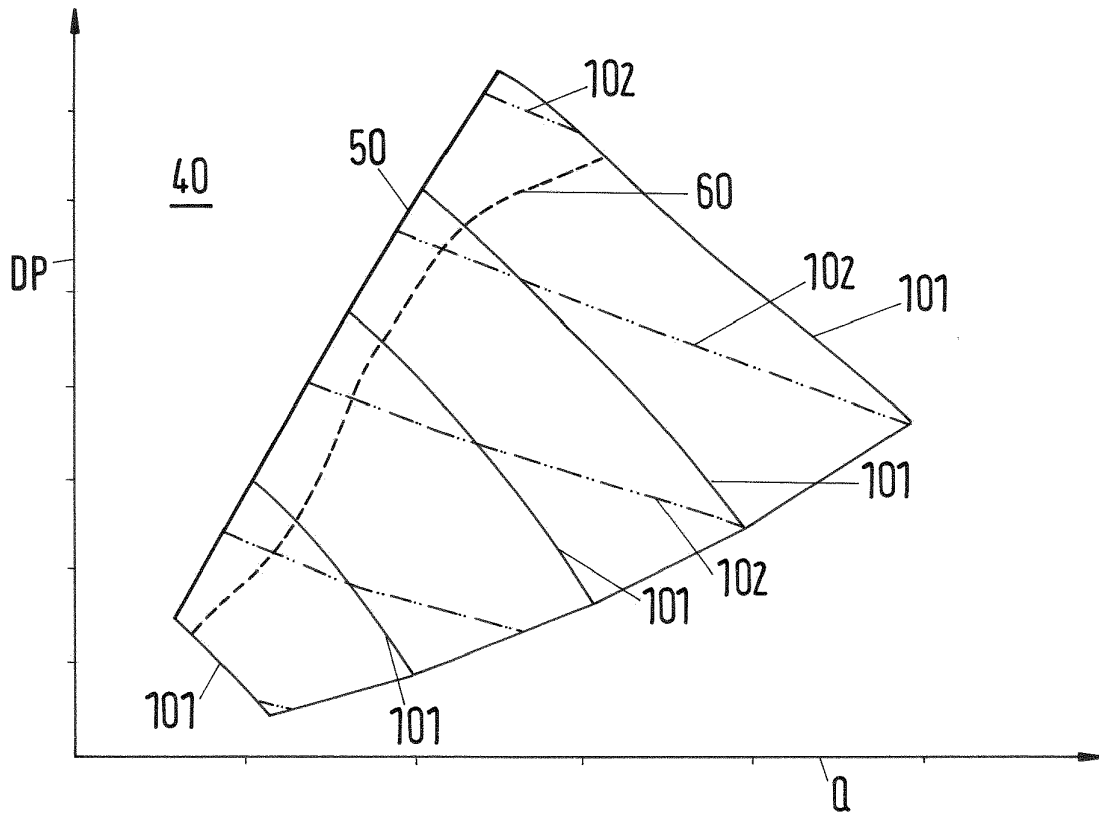


Fig.3

