

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 963 631**

51 Int. Cl.:

F04D 1/00 (2006.01)

F04D 15/00 (2006.01)

F04D 29/66 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2020** **E 20306374 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.08.2023** **EP 4001652**

54 Título: **Funcionamiento de una bomba centrífuga**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.04.2024

73 Titular/es:

SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS
(100.0%)
33, rue André Blanchet
27120 Pacy-sur-Eure, FR

72 Inventor/es:

EJJABRAOUI, KAMAL

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 963 631 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

Funcionamiento de una bomba centrífuga

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de control de un sistema de bombeo hidráulico. En particular, la invención se refiere a la evitación de fenómenos de cavitación en bombas centrífugas.

Antecedentes

Una bomba centrífuga es una bomba que convierte una energía cinética de rotación en energía hidrodinámica de un fluido, utilizando un motor. El fluido entra, por ejemplo, a través de una brida de aspiración de la bomba centrífuga y es acelerado por una pluralidad de álabes de un impulsor.

10 Las bombas centrífugas pueden sufrir fenómenos de cavitación durante su utilización. La cavitación puede comprender dos etapas :

- una primera etapa de creación de burbujas de vapor de agua en un ojo de un impulsor debido a una presión decreciente del fluido que provoca su vaporización,
- 15 • una segunda etapa de implosión de burbujas de vapor en el interior de un núcleo de la bomba centrífuga debido a un aumento de la presión del fluido que provoca la condensación de las burbujas.

La cavitación y, en particular, la implosión de las burbujas de vapor provoca daños mecánicos, ruidos y vibraciones en las bombas centrífugas que pueden causar daños permanentes. De hecho, la cavitación puede reducir la vida útil de las bombas y aumentar sus costes de mantenimiento. Además, cuando aparecen fenómenos de cavitación, la potencia del motor de la bomba a una velocidad determinada puede reducirse en comparación con el funcionamiento nominal de la bomba.

Se pueden considerar algunas soluciones para preservar las bombas centrífugas de la cavitación.

Por ejemplo, una solución es comparar la presión de entrada de la bomba con un umbral y emitir una alerta cuando la presión de entrada cae por debajo del umbral. Sin embargo, el umbral no corresponde a la presión de entrada real que provoca la cavitación.

25 Otra solución consiste en detectar la cavitación controlando la potencia del motor en función de su velocidad y, cuando se detecta una caída significativa de la potencia (es decir, se detecta cavitación), reducir la velocidad de un motor de la bomba. Sin embargo, esta solución implica que la cavitación aparezca antes de reducir la velocidad del motor para reabsorber el fenómeno y, por tanto, inducir daños en la bomba.

30 Otra solución es tener una altura neta positiva de aspiración disponible (en lo sucesivo denominada "NPSH_a") mayor que la altura neta positiva de aspiración requerida (en lo sucesivo denominada "NPSH_r") en un punto funcional de la bomba centrífuga. Tanto el NPSH, como el NPSH_r, corresponden a una presión en una brida de aspiración de la bomba centrífuga. El NPSH_r suele calcularlo el fabricante y es una característica de la bomba, mientras que el NPSH lo calcula el usuario de la bomba y depende del sistema hidráulico. El NPSH_r es tal que, en un punto funcional de la bomba centrífuga, si un valor de NPSH, es mayor que el NPSH_r, la cavitación no debería aparecer o no debería dañar la bomba centrífuga.

Sin embargo, durante la vida útil de la bomba centrífuga, la curva NPSH proporcionada por el fabricante es cada vez menos fiable, ya que los parámetros hidráulicos de la bomba cambian con el tiempo, y el diseño de la curva NPSH depende de los parámetros hidráulicos. Por lo tanto, a largo plazo, incluso en el caso de que el NPSH_a sea mayor que el NPSH, proporcionado por el fabricante, puede aparecer cavitación que cause daños irreversibles.

40 El documento US 6,663,349 B1 divulga un sistema de control de bomba y un controlador que operan una bomba motorizada de manera controlada. El controlador proporciona una señal de control a un accionamiento de motor de acuerdo con un punto de consigna o de acuerdo con una señal de cavitación de un componente de detección de cavitación en el controlador. Si el componente de detección de cavitación determina que la cavitación de la bomba es probable o sospechada, el controlador puede operar el motor de la bomba de acuerdo con la señal de cavitación, con el fin de reducir o eliminar la condición de cavitación, antes de reanudar el control normal de acuerdo con el punto de ajuste.

50 El documento WO2005080798 A1 divulga un sistema simplificado de la bomba del abastecimiento de agua a bajo coste derivando un NPSH requerido en la condición real de la operación con una alta exactitud. Corrigiendo un primer NPSH requerido según un agua de prueba a la temperatura normal, saturación de aire, y conteniendo impurezas, se deriva un segundo NPSH requerido a la alta temperatura, desaireación, y en estado de agua pura según la condición de operación real y el sistema se define según el segundo NPSH requerido.

El documento JP 2000110769 se describe que un punto de funcionamiento de una bomba de velocidad variable se obtiene mediante medios de almacenamiento que almacenan una curva característica de caudal de descarga y presión de la bomba de velocidad variable, un valor de presión de descarga de la bomba de velocidad variable medido por un medio de detección de presión y un valor de caudal de descarga de la bomba de velocidad variable medido por un medio de detección de caudal de descarga.

El documento JP 2020510154 divulga un procedimiento de control de la velocidad de rotación de una bomba centrífuga que funciona en un circuito hidráulico abierto. El controlador de control de la bomba calcula la velocidad de rotación deseada del accionamiento de la bomba teniendo en cuenta los niveles de descarga deseado y real, así como la velocidad de rotación real, y el controlador considera los parámetros de corrección para describir la altura geodésica para calcular la velocidad de rotación deseada.

Sumario

Un objetivo de la presente divulgación es por tanto proponer un procedimiento de control de un sistema de bombeo hidráulico evitando que aparezca cavitación causante de daños, en particular en casos de una bomba centrífuga usada.

Otro objetivo es permitir detectar una cavitación actual o futura de la bomba centrífuga con el fin de emitir alertas.

Para alcanzar estos objetivos, la presente divulgación propone determinar un valor NPSH adaptado de una bomba centrífuga basándose en la evolución de los parámetros hidráulicos de la bomba centrífuga durante su vida útil y en las características de final de línea de la bomba centrífuga. Por valor NPSH, adaptado, entendemos un valor actualizado de NPSHr en función de la evolución de los parámetros hidráulicos de la bomba centrífuga durante su vida útil. Por lo tanto, el valor NPSH, adaptado puede sustituir al valor NPSH, calculado cuando la bomba centrífuga era nueva para evitar la cavitación de la bomba centrífuga en cada momento de su vida útil.

La presente divulgación describe un procedimiento implementado por ordenador para controlar un sistema de bombeo hidráulico, comprendiendo el sistema una bomba centrífuga que opera en un punto funcional, comprendiendo el procedimiento:

- estimar una presión de aspiración de la bomba centrífuga que represente una presión en un punto de entrada de la bomba centrífuga;
- estimar una presión de descarga de la bomba centrífuga que represente una presión en un punto de salida de la bomba centrífuga;
- calcular una altura actual de la bomba centrífuga en función de la presión de aspiración y de la presión de descarga;
- determinar una altura teórica basada en el valor de un parámetro funcional específico vinculado al punto funcional de la bomba centrífuga en el sistema y en las características de final de línea de la bomba centrífuga;
- calcular una diferencia de altura entre la altura actual y la altura teórica; y
- determinar, para el punto funcional, un valor adaptado de altura neta positiva de aspiración requerida, $aNPSH_r$, de la bomba centrífuga, basándose en la diferencia de altura y en las características de final de línea.

Tal procedimiento de control permite determinar, en tiempo real, un valor NPSH adaptado de la bomba centrífuga adaptado a sus parámetros hidráulicos durante el tiempo de vida de la bomba. El valor NPSH adaptado, permite a un usuario de la bomba evitar que la bomba centrífuga se someta a cavitación o al menos anticiparse a la cavitación durante la vida útil de la bomba centrífuga.

Opcionalmente, el parámetro funcional específico es una de las potencias del motor de la bomba centrífuga o un caudal de la bomba centrífuga.

Dichos parámetros permiten implementar el procedimiento de control con los datos de la bomba centrífuga que están fácilmente disponibles en el sistema de la bomba hidráulica. En efecto, el caudal puede ser medido por un caudalímetro y la potencia del motor puede ser estimada por un variador de velocidad o puede ser estimada a partir de la medida de un contador de energía.

Opcionalmente, las características de final de línea comprenden una pluralidad de representaciones, estando cada representación asociada a una velocidad específica de la bomba centrífuga, asociando cada representación valores de un primer parámetro de referencia respectivo a valores de un segundo parámetro de referencia respectivo, siendo el primer parámetro de referencia respectivo diferente del segundo parámetro de referencia respectivo.

Dicha representación permite determinar la evolución de los parámetros hidráulicos de la bomba centrífuga y la evolución del NPSH, valor entre un estado de la bomba centrífuga cuando es nueva y un estado de la bomba centrífuga en el momento de ejecución del procedimiento.

5 Opcionalmente, uno de los primeros o segundos parámetros de referencia corresponde al parámetro funcional específico.

Dicho parámetro de referencia correspondiente al parámetro funcional específico permite determinar la evolución de los parámetros hidráulicos de la bomba centrífuga entre la nueva bomba centrífuga y la bomba centrífuga en el momento de la ejecución del procedimiento de manera directa, sin tener que proceder a una conversión.

10 Opcionalmente, el primer o el segundo parámetro de referencia corresponden a una de las potencias del motor de la bomba centrífuga, un caudal de la bomba centrífuga, una altura neta positiva de aspiración requerida, $NPSH_r$, de la bomba centrífuga o una altura de la bomba centrífuga. Dicho primer y segundo parámetro de referencia permite, entre otras determinaciones:

- la diferencia de altura en función de un caudal o de una potencia del motor de la bomba centrífuga,
- un valor de $NPSH_r$ basado en una altura, un caudal o una potencia del motor de la bomba centrífuga.

15 Opcionalmente, el parámetro funcional específico es un caudal funcional de la bomba centrífuga, comprendiendo la pluralidad de representaciones una representación de altura que asocia valores de caudal a valores de altura, y una representación de $NPSH_r$ que asocia valores de caudal a valores de $NPSH_r$,

en el que la determinación de la altura teórica comprende la selección de un valor de altura de la representación de altura basado en el caudal funcional de la bomba centrífuga;

20 y en el que la determinación del valor $aNPSH_r$ comprende la selección de un valor $NPSH_r$ de la representación $NPSH_r$ basada en el caudal funcional de la bomba centrífuga.

Dicha realización permite determinar el valor $NPSH_r$ adaptado, basándose en un caudal de la bomba centrífuga en el punto funcional.

25 Opcionalmente, el parámetro funcional específico es una potencia de motor funcional de la bomba centrífuga, comprendiendo la pluralidad de representaciones una representación de altura que asocia valores de potencia de motor a valores de altura y una representación de $NPSH_r$ que asocia valores de potencia de motor a valores de $NPSH_r$,

en el que la determinación de la altura teórica comprende la selección de un valor de altura de la representación de altura basado en la potencia funcional del motor de la bomba centrífuga; y

30 en el que la determinación del valor $aNPSH_r$ comprende la selección de un valor $NPSH_r$ de la representación $NPSH_r$ basado en la potencia funcional del motor de la bomba centrífuga.

Dicha realización permite determinar el valor $NPSH_r$ adaptado en función de una potencia de motor de la bomba centrífuga en el punto funcional.

Opcionalmente, el valor $aNPSH_r$ se obtiene sumando el valor $NPSH_r$ seleccionado y la diferencia de altura.

35 Dicha adición permite obtener el valor $NPSH_r$ adaptado, directamente a partir de una diferencia de alturas entre la nueva bomba centrífuga y la bomba centrífuga durante la ejecución del procedimiento y del $NPSH_r$ de la nueva bomba en el punto funcional.

Opcionalmente, el parámetro funcional específico (fp) es un caudal funcional de la bomba centrífuga y en el que el procedimiento comprende además:

- adquirir el caudal funcional de la bomba centrífuga mediante un caudalímetro.

40 Dicha adquisición permite determinar el parámetro funcional específico basándose en una medida de un sensor.

Opcionalmente, el procedimiento también comprende :

- bombear, con la bomba centrífuga, un fluido con una densidad superior a la densidad del agua.

45 Dicho bombeo permite que el procedimiento evite la cavitación de la bomba centrífuga en sistemas hidráulicos que pueden ser más propensos a producir daños en la bomba, como los sistemas para fluidos como el agua salada para la cría de peces y mariscos, por ejemplo.

Opcionalmente, el procedimiento también comprende :

- bombear, con la bomba centrífuga, un fluido que contenga sólidos.

Tal bombeo permite que el procedimiento prevenga la cavitación de la bomba centrífuga en los sistemas hidráulicos que pueden ser más probables producir daño de la bomba, tales como sistemas para el líquido según lo utilizado en planta de tratamiento de aguas por ejemplo.

5 Opcionalmente, el procedimiento también comprende :

- determinar una altura neta positiva de aspiración disponible en función de la presión de aspiración ; y
- activar una alerta de cavitación cuando la diferencia entre el valor de la altura neta positiva de aspiración disponible, NPSH, y el valor $aNPSH_r$ sea inferior a un umbral predeterminado.

10 Este procedimiento permite controlar la cavitación inminente y emitir una alerta cuando el valor de NPSH se acerca al valor de NPSH adaptado.

Opcionalmente, en función del valor de la diferencia entre el valor NPSH, y el valor $aNPSH_r$, la alerta de cavitación comprende varios niveles de alerta.

Este procedimiento permite disponer de varios tipos de alertas en función del nivel de criticidad de la situación.

15 Opcionalmente, se asocia un número de identificación (ID) a la bomba centrífuga (2) y el procedimiento también comprende :

- almacenar el $aNPSH_r$ junto con el número de identificación (ID) de la bomba centrífuga (2) en una memoria de un aparato de procesamiento de datos.

Este procedimiento permite recopilar estadísticas, como las de $NPSH_r$, para conjuntos de bombas centrífugas.

20 La presente divulgación también describe un medio de almacenamiento legible por ordenador que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas por un procesador, hacen que el procesador lleve a cabo cualquiera de los procedimientos aquí descritos. Dicho procesador puede ser, por ejemplo, un procesador de un controlador de un sistema de bombeo hidráulico.

La presente divulgación también describe un aparato de datos que comprende un procesador adaptado para controlar un sistema de bombeo hidráulico según un procedimiento de control presentado anteriormente.

25 **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 ilustra un ejemplo de sistema de bombeo hidráulico.

La figura 2 ilustra un ejemplo de procedimiento.

La figura 3 ilustra un ejemplo de características de final de línea que comprende representaciones.

La figura 4 ilustra otro ejemplo de procedimiento.

30 La figura 5 ilustra otro ejemplo más de procedimiento.

La figura 6 ilustra otro ejemplo adicional de procedimiento.

La figura 7 ilustra un ejemplo adicional de procedimiento.

Descripción detallada

35 La divulgación se aplica a procedimientos de control de un sistema de bombeo hidráulico. Por sistema de bombeo hidráulico, entendemos un sistema para bombear un fluido desde un depósito de fluido a otro depósito de fluido utilizando una bomba centrífuga. Por ejemplo, un sistema de bombeo hidráulico puede ser una planta de tratamiento de aguas que bombea agua usada, una estación de bombeo de petróleo, un sistema de distribución de agua potable o un sistema de desalinización. En la figura 1 se representa un ejemplo de sistema de bombeo hidráulico. El sistema de bombeo hidráulico 1 de la figura 1 comprende un primer depósito de fluido 3 desde el que puede bombearse un fluido mediante una bomba centrífuga 2. El fluido puede ser agua, agua usada, agua salada, aceite u otros fluidos. Por ejemplo, el fluido puede tener mayor densidad que el agua. El fluido también puede contener sólidos.

45 El sistema de bombeo hidráulico 1 puede comprender un segundo depósito de fluido 4 al que se bombea el fluido. En el ejemplo ilustrado en la figura 1, el fluido es bombeado desde el primer depósito 3 al segundo depósito 4 por la bomba centrífuga 2. En algunos ejemplos, la operación de bombeo es reversible. Por lo tanto, un fluido del segundo depósito de fluido 4 puede ser bombeado por la bomba centrífuga 2 al primer depósito 3. Como se ilustra en la figura 1, el fondo del segundo depósito 4 está situado por encima del fondo del primer depósito 3 por efecto de la gravedad.

Por lo tanto, cuando el fluido se bombea desde el primer depósito 3 al segundo depósito 4, la bomba centrífuga 2 está en un modo de succión, mientras que cuando el fluido se bombea desde el segundo depósito 4 al primer depósito 3, la bomba centrífuga está en un modo de carga.

5 El sistema de bombeo hidráulico 1 también comprende un sensor de presión de descarga (no mostrado) para medir una presión de descarga P_d que corresponde a una presión de fluido a la salida de una bomba centrífuga 2. El sistema de bombeo hidráulico 1 puede comprender un sensor de presión de aspiración (no representado) para medir una presión de aspiración P_s que corresponde a una presión de fluido en la entrada de una bomba centrífuga 2. Las presiones descritas en la presente divulgación pueden expresarse en metros columna de agua (mH₂O), donde un metro columna de agua corresponde a 10^5 pascuales.

10 El sistema de bombeo hidráulico puede comprender un caudalímetro para medir un caudal de la bomba centrífuga 2. El caudal puede expresarse en metros cúbicos por hora (m³/h).

15 El sistema de bombeo hidráulico 1 puede comprender un variador de velocidad (no mostrado) para controlar un motor de la bomba centrífuga 2. Por variador de velocidad debe entenderse una unidad de control electrónica, virtual o implementada en software para un motor de la bomba centrífuga 2. El variador de velocidad puede estimar la potencia del motor de la bomba centrífuga 2. La potencia del motor puede expresarse en vatios (W). Por ejemplo, el variador de velocidad puede aplicar una orden eléctrica determinada a un motor de la bomba centrífuga 2 para, por ejemplo, alcanzar una velocidad determinada del motor. El variador de velocidad también puede medir una respuesta del motor a la orden eléctrica. A continuación, el variador de velocidad puede estimar una potencia del motor basada en el comando eléctrico determinado y en la respuesta del motor.

20 El sistema de bombeo hidráulico 1 puede incluir un contador de energía (no mostrado) para medir el consumo de energía de la bomba centrífuga 2. La potencia del motor de la bomba centrífuga 2 puede estimarse basándose en una medida del consumo de energía de la bomba centrífuga 2.

25 El sistema de bombeo hidráulico 1 también puede comprender un aparato de procesamiento de datos 5 que comprende un procesador PROC, estando el procesador PROC configurado para funcionar de acuerdo con cualquiera de los procedimientos aquí descritos. El procesador PROC puede incluir circuitos electrónicos de cálculo gestionados por un sistema operativo. El aparato de procesamiento de datos 5 puede comprender un medio de almacenamiento no transitorio legible por máquina o un medio de almacenamiento legible por ordenador, como, por ejemplo, una memoria o unidad de almacenamiento MEM, en el que el medio de almacenamiento no transitorio legible por máquina está codificado con instrucciones ejecutables por un procesador como el procesador PROC, el medio de almacenamiento legible por máquina que comprende instrucciones para operar el procesador PROC para realizar cualquiera de los procedimientos de ejemplo aquí descritos. Un almacenamiento legible por ordenador según la presente divulgación puede ser cualquier dispositivo de almacenamiento electrónico, magnético, óptico u otro dispositivo de almacenamiento físico que almacene instrucciones ejecutables. El almacenamiento legible por ordenador puede ser, por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de sólo lectura programable y borrrable eléctricamente (EEPROM), una unidad de almacenamiento, un disco óptico y similares. Como se describe en el presente documento, el almacenamiento legible por ordenador puede codificarse con instrucciones ejecutables de acuerdo con cualquiera de los procedimientos descritos en el presente documento. El almacenamiento o la memoria pueden incluir cualquier dispositivo de almacenamiento electrónico, magnético, óptico o físico de otro tipo que almacene instrucciones ejecutables como las descritas en el presente documento.

30 En la fase de funcionamiento del sistema de bombeo hidráulico 1, es decir, cuando la bomba centrífuga 2 bombea el fluido de un depósito al otro depósito, la bomba centrífuga 2 funciona en un punto funcional. El punto funcional de la bomba centrífuga 2 puede estar asociado a parámetros funcionales de la bomba centrífuga 2. En otras palabras, los parámetros funcionales caracterizan la bomba centrífuga 2 en un punto funcional específico. Por ejemplo, un parámetro funcional asociado al punto funcional de la bomba centrífuga 2 durante el funcionamiento puede ser una potencia del motor que puede expresarse en vatios (W) o un caudal que puede expresarse en metros cúbicos por hora (m³/h) de la bomba centrífuga 2. Cada uno de los parámetros funcionales puede asociarse a una velocidad funcional ω_r de la bomba centrífuga 2 que puede expresarse en radianes por segundo (rd/s).

35 La figura 2 ilustra un ejemplo de procedimiento 100 para controlar un sistema de bombeo hidráulico que puede implementarse en el ejemplo de sistema de bombeo hidráulico 1. El procedimiento 100 y otros procedimientos aquí presentados pueden ser procedimientos implementados por ordenador y pueden ser implementados por el aparato de procesamiento de datos 5.

40 Los procedimientos para controlar un sistema de bombeo hidráulico aquí presentados pueden implementarse en tiempo real durante el funcionamiento de la bomba centrífuga. En algunos ejemplos, la bomba centrífuga 2 está en modo de aspiración durante la ejecución de los procedimientos, es decir, la bomba centrífuga 2 bombea el fluido en contra de la gravedad desde el primer depósito 3 al segundo depósito 4. En algunos ejemplos, los procedimientos aquí descritos pueden aplicarse cuando la bomba centrífuga 2 está en modo de carga, es decir, bombeando en la misma dirección que la gravedad.

Procedimiento 100:

Con referencia a la figura 2, el procedimiento 100 comprende un bloque 110 de estimación de una presión de aspiración P_s de la bomba centrífuga 2. La presión de aspiración P_s corresponde a una presión del fluido en un punto de entrada de la bomba centrífuga 2. Un punto de entrada de las bombas centrífugas 2 puede corresponder a una brida de aspiración de la bomba centrífuga 2. Por lo tanto, la presión de aspiración P_s puede corresponder a una presión en un punto de entrada de una brida de aspiración de la bomba centrífuga 2. Por ejemplo, la presión de aspiración P_s puede estimarse basándose en una medida de un sensor de presión de aspiración o puede estimarse basándose en características del sistema de bombeo hidráulico 1. Por ejemplo, la presión de aspiración P_s puede estimarse basándose en una presión P en la parte superior del primer depósito 3 (equivalente a la presión atmosférica en la mayoría de los casos), un valor equivalente de fuerza gravitatoria g (más generalmente conocido como valor de fuerza g), una densidad ρ del fluido y una diferencia de altura h entre una distancia a lo largo de un eje vertical entre la bomba centrífuga 2 y el fondo del primer depósito 3 en la dirección de la gravedad.

Como se ilustra en el bloque 120, el procedimiento 100 comprende estimar una presión de descarga P_d de la bomba centrífuga 2. La presión de descarga P_d corresponde a una presión del fluido en un punto de salida de la bomba centrífuga 2. En otras palabras, la presión de descarga P_d corresponde a una presión de salida de la bomba centrífuga 2. Por ejemplo, la presión de descarga P_d puede estimarse basándose en una medida de un sensor de presión de descarga.

Como se ilustra en el bloque 130, el procedimiento 100 comprende el cálculo de una altura de elevación actual HMT_p de la bomba centrífuga 2. Por altura de corriente HMT_p , entendemos una presión proporcionada por la bomba centrífuga 2 en su punto de funcionamiento.

El cálculo de la altura actual HMT_p se basa en la presión de aspiración P_s y en la presión de descarga P_d . La altura de corriente HMT_p puede representar una diferencia entre la presión de descarga P_d y la presión de aspiración P_s en el punto funcional de la bomba centrífuga 2. De este modo, la altura de corriente HMT_p puede corresponder a una diferencia de presión entre la entrada y la salida de la bomba centrífuga 2 en su punto de funcionamiento. La altura actual HMT_p puede utilizarse como representación de un estado actual de los parámetros hidráulicos de la bomba centrífuga 2. La corriente HMT_p puede estar comprendida entre 0,5 y 200 mH₂O.

Como se ilustra en el bloque 140, el procedimiento 100 comprende determinar una altura teórica HMT_{th} de la bomba centrífuga 2. La altura teórica se determina basándose en un parámetro funcional específico f_p vinculado al punto funcional de la bomba centrífuga 2 en el sistema de bombeo hidráulico 1 y en las características de final de línea de la bomba centrífuga 2.

Por altura teórica HMT_{th} , entendemos una presión teórica proporcionada por la bomba centrífuga 2 cuando la bomba centrífuga 2 es significativamente nueva (al final de la línea, es decir, al final de la línea de producción de una bomba nueva) para un punto funcional correspondiente al punto funcional de la bomba centrífuga 2 durante la ejecución del procedimiento. En otras palabras, la altura teórica HMT_{th} y la altura actual HMT_p pueden tener significativamente el mismo valor al principio de la vida útil de la bomba centrífuga. La altura teórica HMT_{th} puede estar comprendida entre 0,5 y 200 mH₂O.

Por parámetro funcional específico f_p vinculado al punto funcional de la bomba centrífuga 2, entendemos un parámetro funcional como el definido anteriormente que está disponible para el sistema de bombeo hidráulico 1. Por ejemplo, cuando el sistema de bombeo hidráulico 1 comprende un caudalímetro, un parámetro funcional disponible y que caracteriza la bomba centrífuga 2 para el punto funcional puede ser un caudal de la bomba centrífuga 2. El caudal de la bomba centrífuga 2 puede estar comprendido entre 0 y 600 m³/h. Otro ejemplo de parámetro funcional disponible en el sistema de bombeo hidráulico 1 puede ser una potencia del motor de la bomba centrífuga 2 cuando la bomba centrífuga 2 está controlada por un variador de velocidad o/y cuando el sistema de bombeo hidráulico 1 comprende un contador de energía. Como se ha dicho anteriormente, la potencia del motor puede ser estimada por el variador de velocidad y puede ser estimada basándose en una medida de un contador de energía. La potencia del motor de la bomba centrífuga 2 puede estar comprendida entre 3 y 1000 kW. El parámetro funcional específico f_p puede estar asociado a una velocidad funcional ω_f de la bomba centrífuga 2 para el punto funcional de la bomba centrífuga 2. Una velocidad funcional ω_f de la bomba centrífuga 2 puede estar comprendida entre 60 y 360 rd/s.

Por características de final de línea se entiende una pluralidad de parámetros asociados a la bomba centrífuga 2 al final de línea, es decir, cuando la bomba centrífuga 2 es significativamente nueva. Por ejemplo, el fabricante de la bomba centrífuga 2 puede proporcionar las características de final de línea o un distribuidor o usuario de la bomba puede calcularlas en bancos de pruebas. Por ejemplo, las características de final de línea pueden comprender una pluralidad de representaciones R asociadas a una velocidad específica ω_s de la bomba centrífuga 2. Una velocidad específica ω_s de la bomba centrífuga 2 puede estar comprendida entre 60 y 360 rd/s. Una representación R puede ser, por ejemplo, una curva, una tabla o una lista. Cada representación R puede asociar valores de un primer parámetro de referencia respectivo $rp1$ a valores de un segundo parámetro de referencia respectivo $rp2$, siendo el primer parámetro de referencia respectivo diferente del segundo parámetro de referencia respectivo. El primer parámetro de referencia respectivo $rp1$ y el segundo parámetro de referencia respectivo $rp2$ pueden corresponder a magnitudes físicas y, en particular, a parámetros hidráulicos de la bomba centrífuga 2. Por ejemplo, al menos uno de los primeros parámetros de referencia $rp1$ o de los segundos parámetros de referencia $rp2$ de una representación R puede corresponder al parámetro funcional específico f_p . Por ejemplo, el primer parámetro de referencia respectivo $rp1$ y/o

el segundo parámetro de referencia respectivo $rp2$ pueden corresponder a uno de una potencia de motor de la bomba centrífuga 2, un caudal de la bomba centrífuga 2, un NPSH_r de la bomba centrífuga 2 o una altura de elevación HMT de la bomba centrífuga 2.

En la figura 3 se ilustra un ejemplo de dos representaciones R. Las características de fin de línea están representadas por un bloque EOL y comprenden un bloque R1 y un bloque R2. El bloque R1 ilustra una curva de NPSH, valores en función de los valores de potencia del motor a una velocidad específica ω_s de la bomba centrífuga 2. El bloque R2 ilustra una pestaña de valores de altura HMT asociados a valores de caudal a una velocidad ω_s específica de la bomba centrífuga 2. Debe tenerse en cuenta que la figura 3 no ilustra un ejemplo exhaustivo de las características de fin de línea y que el bloque EOL puede comprender otros bloques (R3, R4, ..., Rn), por ejemplo correspondientes a otras velocidades ω_s específicas.

Por ejemplo, el final de línea puede comprender, para una velocidad específica ω_s de la bomba centrífuga:

- una representación altura/caudal $R_{H/Q}$ que asocia valores de caudal a valores de altura HMT de la bomba centrífuga 2, significativamente nueva,
- una representación NPSH/caudal $R_{NPSH/Q}$ que asocia valores de caudal a valores de NPSH, de la bomba centrífuga significativamente nueva 2,
- una representación altura/potencia $R_{H/P}$ que asocia valores de caudal a valores de potencia del motor de la bomba centrífuga 2, significativamente nueva,
- una representación NPSH/potencia $R_{NPSH/P}$ que asocia valores de potencia del motor a valores de NPSH, de la bomba centrífuga significativamente nueva 2,
- una representación caudal/potencia $R_{Q/P}$ que asocia los valores de caudal a los valores de potencia del motor de la bomba centrífuga significativamente nueva 2.

Debe entenderse que el parámetro funcional específico fp que caracteriza el punto funcional de la bomba centrífuga 2 puede utilizarse para hallar la altura HMT asociada al punto funcional de la bomba centrífuga 2 en las características de final de línea, correspondiendo dicha altura HMT a la altura teórica HMT_{th} .

Debe tenerse en cuenta que si el parámetro funcional específico fp no corresponde a uno de los primeros parámetros de referencia $rp1$ o de los segundos parámetros de referencia $rp2$ asociados a los valores de altura HMT de la bomba centrífuga 2 en las características de final de línea, el parámetro funcional específico fp puede convertirse en otro parámetro funcional que esté asociado a los valores de altura HMT de la bomba centrífuga 2 en las características de final de línea. Por ejemplo, si el parámetro funcional específico fp es un caudal y las características de final de línea comprenden una representación de altura/potencia $R_{H/P}$ y una representación de caudal/potencia $R_{Q/P}$, el caudal puede convertirse en una potencia de motor basada en la representación de caudal/potencia $R_{Q/P}$ para determinar la altura teórica HMT_{th} basada en la representación de altura/potencia $R_{H/P}$.

También debe tenerse en cuenta que si el parámetro funcional específico fp está asociado a una velocidad funcional ω_f que es diferente de la velocidad específica ω_s de la pluralidad de representaciones R, toda o parte de cada representación R puede convertirse a la velocidad funcional ω_f . Por ejemplo, un caudal puede ser proporcional a una velocidad ω de la bomba centrífuga 2, una altura HMT y un NPSH, pueden ser proporcionales al cuadrado de la velocidad ω de la bomba centrífuga 2, y una potencia del motor puede ser proporcional al cubo de la velocidad ω de la bomba centrífuga 2.

Como se ilustra en el bloque 150, el procedimiento 100 comprende calcular una diferencia de altura ∂H entre la altura actual HMT_p y la altura teórica HMT_{th} . Como se ha dicho anteriormente, en el caso de que la bomba centrífuga 2 sea significativamente nueva durante la ejecución del procedimiento, la diferencia de altura ∂H puede ser inferior al 0,1% de la altura teórica HMT_{th} . Por ejemplo, para una bomba centrífuga 2 significativamente nueva, la diferencia de altura ∂H puede estar comprendida entre 0 y 0,2 mH₂O. Por tanto, la diferencia de altura ∂H puede corresponder a la evolución de los parámetros hidráulicos de la bomba centrífuga 2 desde la nueva bomba centrífuga 2 a la bomba centrífuga 2 durante el procedimiento de ejecución.

Como se ilustra en el bloque 160, el procedimiento 100 comprende la determinación, para el punto funcional, de un valor adaptado de Altura de Succión Positiva Neta Requerida, o valor $aNPSH_r$.

Por valor NPSH, adaptado, se entiende un valor actualizado de NPSH, en función de la evolución de los parámetros hidráulicos de la bomba centrífuga 2 durante su vida útil.

El valor $aNPSH_r$ se determina en función de la diferencia de altura ∂H y de las características de final de línea.

El procedimiento 100 permite así disponer de un valor actualizado de NPSH, adaptado a los parámetros hidráulicos de la bomba centrífuga 2 durante el tiempo de vida de la bomba centrífuga 2.

Procedimiento 200:

En la Figura 4 se ilustra un ejemplo de procedimiento 200. El procedimiento 200 comprende los bloques 110-160 en línea con los bloques 110-160 descritos en la Figura 2.

En el procedimiento de ejemplo 200, el sistema de bombeo hidráulico 1 comprende un caudalímetro y el parámetro funcional específico f_p es un caudal funcional de la bomba centrífuga. Por caudal funcional se entiende un caudal de la bomba centrífuga 2 en el punto funcional. El procedimiento 200 comprende un bloque 221 de adquisición del caudal funcional de la bomba centrífuga 2 por un caudalímetro y el parámetro funcional específico corresponde al caudal funcional adquirido por el caudalímetro. El bloque 221 puede ejecutarse en cualquier momento antes del bloque 140 de cálculo de la altura teórica HMT_{th} .

Procedimiento 300:

En la Figura 5 se ilustra un ejemplo de procedimiento 300. El procedimiento 300 comprende los bloques 110-160 y 221 en línea con los bloques 110-160 y 221 descritos en las figuras 2 y 4. En esta realización, las características de final de línea comprenden una pluralidad de representaciones R. La pluralidad de representaciones R comprende una representación altura/caudal $R_{H/f}$ que asocia valores de caudal a valores de altura HMT y una representación $NPSH_r$ /caudal $R_{NPSH_r/f}$ que asocia valores de caudal a valores de $NPSH_r$.

En el procedimiento de ejemplo 300, el bloque 140 de determinación de la altura teórica HMT_{th} comprende un subbloque 341 de selección de un valor de altura HMT de la representación de altura/caudal $R_{H/f}$ basado en el caudal funcional de la bomba centrífuga 2 adquirido en el bloque 221. Por ejemplo, el valor de altura HMT seleccionado puede ser el valor de altura HMT de la representación de altura/caudal $R_{H/f}$ asociada al mismo o al valor de caudal más próximo del valor de caudal funcional.

En un caso en el que una velocidad funcional ω_f asociada al flujo funcional es diferente de una velocidad específica ω_s asociada a la representación de altura/flujo $R_{H/f}$, toda o parte de la representación de altura/flujo $R_{H/f}$ puede convertirse en la velocidad funcional ω_f antes de seleccionar el valor de altura en la representación de altura/flujo $R_{H/f}$. Como se ha dicho, el caudal puede considerarse proporcional a la velocidad ω de la bomba centrífuga 2 y la altura de elevación HMT puede considerarse proporcional al cuadrado de la velocidad ω .

La altura seleccionada HMT en la representación altura/flujo $R_{H/f}$ puede corresponder a la altura teórica HMT_{th} .

En el procedimiento de ejemplo 300, el bloque 160 de determinación del valor $aNPSH_r$ comprende un subbloque 361 de selección de un valor NPSH, de la representación $NPSH_r$ /caudal $R_{NPSH_r/f}$ basado en el caudal funcional de la bomba centrífuga. Por ejemplo, el valor NPSH seleccionado puede ser el valor NPSH de la representación $NPSH_r$ /caudal $R_{NPSH_r/f}$ asociada al mismo valor de caudal o al más próximo al valor de caudal funcional.

En un caso en el que una velocidad funcional ω_f asociada al flujo funcional es diferente de una velocidad específica ω_s asociada a la representación $NPSH_r$ /flujo $R_{NPSH_r/f}$, toda o parte de la representación $NPSH_r$ /flujo $R_{NPSH_r/f}$ puede convertirse en la velocidad funcional ω_f antes de seleccionar el valor NPSH, en la representación $NPSH_r$ /flujo $R_{NPSH_r/f}$. Como se ha dicho, el caudal puede considerarse proporcional a la velocidad ω de la bomba centrífuga 2 y el NPSH, puede considerarse proporcional al cuadrado de la velocidad ω .

Procedimiento 400 :

En la Figura 6 se ilustra otro ejemplo de procedimiento 400, que es una realización del procedimiento 100 según la presente divulgación. El procedimiento 400 comprende los bloques 110-160 en línea con los bloques 110-160 descritos en la Figura 2. En esta realización, el parámetro funcional específico f_p es una potencia funcional del motor de la bomba centrífuga 2. Por potencia de motor funcional se entiende una potencia de motor de la bomba centrífuga 2 en el punto funcional. La potencia del motor funcional puede obtenerse leyendo la potencia del motor de la bomba centrífuga 2 en el punto funcional. También en esta realización, las características de final de línea comprenden una pluralidad de representaciones R. La pluralidad de representaciones R comprende una representación altura/potencia $R_{H/P}$ que asocia valores de potencia del motor a valores de altura HMT y una representación $NPSH_r$ /potencia $R_{NPSH_r/P}$ que asocia valores de potencia del motor a valores de $NPSH_r$.

En el procedimiento de ejemplo 400, el bloque 140 de determinación de la altura teórica HMT_{th} comprende un subbloque 441 de selección de un valor de altura HMT de la representación de altura/potencia $R_{H/P}$ basado en la potencia del motor funcional de la bomba centrífuga 2. Por ejemplo, el valor HMT de altura seleccionado puede ser el valor HMT de altura de la representación de altura/potencia $R_{H/P}$ asociada al mismo o al valor de potencia de motor más cercano del valor de potencia de motor funcional.

En un caso en el que una velocidad funcional ω_f asociada a la potencia funcional del motor es diferente de una velocidad específica ω_s asociada a la representación de la altura/potencia $R_{H/P}$, toda o parte de la representación de la altura/potencia $R_{H/P}$ puede convertirse en la velocidad funcional ω_f antes de seleccionar el valor de la altura en la representación de la altura/potencia $R_{H/P}$. Como se ha dicho anteriormente, la potencia del motor puede considerarse

proporcional al cubo de la velocidad ω de la bomba centrífuga 2 y la altura de elevación HMT puede considerarse proporcional al cuadrado de la velocidad ω .

La altura HMT seleccionada en la representación altura/potencia $R_{H/P}$ puede corresponder a la altura teórica HMT_{th} .

5 En el procedimiento de ejemplo 400, el bloque 160 de determinación del valor $aNPSH_r$ comprende un subbloque 461 de selección de un valor NPSH, de la representación NPSH_r/potencia $R_{NPSH_r/P}$ basado en la potencia funcional del motor de la bomba centrífuga. Por ejemplo, el valor NPSH, seleccionado puede ser el valor NPSH, de la representación NPSH_r/potencia $R_{NPSH_r/P}$ que se asocia al mismo valor de potencia del motor o al más cercano del valor de potencia del motor funcional.

10 En un caso en el que una velocidad funcional ω_f asociada a la potencia funcional del motor es diferente de una velocidad específica ω_s asociada a la representación NPSH_r/potencia $R_{NPSH_r/P}$, toda o parte de la representación NPSH_r/potencia $R_{NPSH_r/P}$ puede convertirse en la velocidad funcional ω_f antes de seleccionar el valor NPSH, en la representación NPSH_r/potencia $R_{NPSH_r/P}$. Como se ha dicho anteriormente, la potencia del motor puede considerarse proporcional al cubo de la velocidad ω de la bomba centrífuga 2 y el NPSH, puede considerarse proporcional al cuadrado de la velocidad ω .

15 Tanto en el procedimiento 300 como en el 400, el valor $aNPSH_r$ puede obtenerse sumando el valor NPSH, seleccionado en una representación $R_{NPSH_r/P}$ que asocia valores de uno de los parámetros de referencia (caudal o potencia del motor respectivamente en los procedimientos 300 y 400) a los valores NPSH, y la diferencia de altura ΔH .

Procedimiento 500:

20 En la Figura 7 se ilustra otro ejemplo de procedimiento 500 según la presente divulgación. El procedimiento 500 comprende los bloques 110-160 en línea con los bloques 110-160 descritos en la figura 2. De hecho, el procedimiento 500 puede ser una realización de cualquiera de los procedimientos 100 a 400 descritos anteriormente.

25 El procedimiento de ejemplo 500 comprende un bloque 570 de determinación de un valor de Altura de Succión Positiva Neta Disponible NPSH, basado en la presión de succión P_s . Por valor NPSH, entendemos una presión disponible en una brida de aspiración de la bomba centrífuga 2 para el punto funcional. Por ejemplo, el valor NPSH, puede obtenerse basándose en la presión de aspiración P_s y en una presión de vaporización del fluido.

30 Como se ilustra en la Figura 7, el procedimiento 500 también comprende un bloque 580 de activación de una alerta de cavitación cuando una diferencia entre el valor NPSH_a y el valor $aNPSH_r$ está por debajo de un umbral predeterminado. Como ya se ha dicho, cuando el valor NPSH_a es inferior al valor $aNPSH_r$, aparece la cavitación. El bloque 280 permite, por tanto, prevenir o alertar al usuario de la bomba en caso de cavitación. Por ejemplo, el umbral puede corresponder a 0,5 mH₂O o estar comprendido entre 0,2 y 1 mH₂O.

35 En otra realización del procedimiento 500, la alerta de cavitación comprende varios niveles de alerta en función del valor de la diferencia entre el valor NPSH, y el valor $aNPSH_r$. Por ejemplo, se puede activar una alerta de advertencia cuando la diferencia entre el valor NPSH, y el valor $aNPSH_r$ es inferior a 0,5 metros columna de agua (mH₂O). Por ejemplo, se puede activar una alerta de alarma cuando la diferencia entre el valor NPSH, y el valor $aNPSH_r$ es significativamente igual a cero. Por ejemplo, se puede activar una alerta de fallo cuando la diferencia entre el valor NPSH, y el valor $aNPSH_r$ es inferior a menos 0,1 mH₂O de columna de medidor de agua. Por ejemplo, en caso de alarma y/o alerta de avería, puede disminuirse la velocidad específica ω_f de la bomba centrífuga 2.

40 En una realización, cada uno de los procedimientos de ejemplo presentados aquí puede comprender el bombeo, con la bomba centrífuga 2, de un fluido que tenga una densidad superior a la densidad del agua y/o que comprenda sólidos. Por ejemplo, el fluido bombeado puede tener una densidad entre 1 y 1,2 veces la densidad del agua. Este tipo de bombeo permite, por ejemplo, evitar la cavitación de la bomba centrífuga en sistemas de bombeo hidráulico que trabajan con agua usada en plantas de tratamiento de aguas, o con agua salada utilizada para la cría de peces y mariscos.

45 En una realización, la bomba centrífuga 2 está asociada a un número de identificación ID. En esta realización, cada uno de los procedimientos de ejemplo aquí descritos puede comprender el almacenamiento del valor $aNPSH_r$ junto con el número de identificación ID de la bomba centrífuga 2 en una memoria de un aparato de procesamiento de datos. El almacenamiento del valor $aNPSH_r$ junto con el número de identificación ID permite construir estadísticas de la evolución de NPSH, valores entre diferentes bombas centrífugas. Por ejemplo, puede construirse un valor NPSH medio, basado en los valores NPSH_r de bombas centrífugas en un momento determinado de la vida, siendo las bombas centrífugas producidas por una misma línea de producción. El NPSH_r medio de las bombas centrífugas construidas a partir de diferentes líneas de producción puede compararse para identificar un problema en líneas de producción específicas. El valor medio NPSH, en una línea de producción también puede utilizarse para estudiar bombas centrífugas de esta línea de producción que tengan un valor NPSH, inferior al valor medio NPSH_r.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento implementado por ordenador para controlar un sistema de bombeo hidráulico (1), comprendiendo el sistema (1) una bomba centrífuga (2) que opera en un punto funcional, comprendiendo el procedimiento:
 - 5 - estimar (110) una presión de aspiración (P_s) de la bomba centrífuga (2) que representa una presión en un punto de entrada de la bomba centrífuga (2);
 - estimar (120) una presión de descarga (P_d) de la bomba centrífuga (2); que representa una presión en un punto de salida de la bomba centrífuga (2);
 - 10 - calcular (130) una altura actual (HMT_p) de la bomba centrífuga (2) en función de la presión de aspiración (P_s) y de la presión de descarga (P_d);
 - determinar (140) una altura teórica (HMT_{th}) en función de un valor de un parámetro funcional específico (fp) vinculado al punto funcional de la bomba centrífuga (2) en el sistema (1) y a características de final de línea de la bomba centrífuga (2), características de final de línea que comprenden parámetros asociados a la bomba centrífuga (2) cuando dicha bomba centrífuga (2) es significativamente nueva;
 - 15 - calcular (150) una diferencia de altura (∂H) entre la altura actual (HMT_p) y la altura teórica (HMT_{th}); y
 - determinar (160), para el punto funcional, un valor adaptado de altura neta positiva de aspiración requerida, valor $aNPSH_r$, de la bomba centrífuga (2), a fin de evitar la cavitación de la bomba centrífuga, basándose en la diferencia de altura (∂H) y en las características de final de línea.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el parámetro funcional específico (fp) es uno de una potencia del motor de la bomba centrífuga (2) o un caudal de la bomba centrífuga (2).
3. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las características de final de línea comprenden una pluralidad de representaciones (R), estando cada representación asociada a una velocidad específica (ω_s) de la bomba centrífuga (2), asociando cada representación (R) valores de un primer parámetro de referencia respectivo ($rp1$) a valores de un segundo parámetro de referencia respectivo ($rp2$), siendo el primer parámetro de referencia respectivo diferente del segundo parámetro de referencia respectivo.
4. Un procedimiento según la reivindicación anterior, en el que uno de los parámetros de referencia primero o segundo corresponde al parámetro funcional específico.
5. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 ó 4, en el que el primer o el segundo parámetro de referencia corresponde a uno de una potencia de motor de la bomba centrífuga (2), un caudal de la bomba centrífuga (2), una altura neta positiva de aspiración requerida, $NPSH_r$, de la bomba centrífuga (2) o una altura (HMT) de la bomba centrífuga (2).
6. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que el parámetro funcional específico (fp) es un caudal funcional de la bomba centrífuga (2), comprendiendo la pluralidad de representaciones (R) una representación altura/caudal ($R_{H/Q}$) que asocia valores de caudal a valores de altura (HMT), y una representación $NPSH_r$ /caudal ($R_{NPSH_r/Q}$) que asocia valores de caudal a valores de $NPSH_r$,
 - 35 en el que la determinación (140) de la altura teórica (HMT_{th}) comprende la selección (341) de un valor de altura (HMT) de la representación altura/caudal ($R_{H/Q}$) basada en el caudal funcional de la bomba centrífuga; y
 - 40 en el que la determinación (160) del valor $aNPSH_r$ comprende la selección (161) de un valor $NPSH_r$ de la representación $NPSH_r$ /caudal ($R_{NPSH_r/Q}$) basado en el caudal funcional de la bomba centrífuga.
7. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que el parámetro funcional específico es una potencia funcional del motor de la bomba centrífuga (2), comprendiendo la pluralidad de representaciones (R) una representación altura/potencia ($R_{H/P}$) que asocia valores de potencia del motor a valores de altura (HMT) y una representación $NPSH_r$ /potencia ($R_{NPSH_r/P}$) que asocia valores de potencia del motor a valores de $NPSH_r$,
 - 45 en el que la determinación (140) de la altura teórica (HMT_{th}) comprende la selección (141) de un valor de altura (HMT) de la representación altura/potencia ($R_{H/P}$) en base a la potencia funcional del motor de la bomba centrífuga (2); y
 - 50 en el que la determinación (160) del valor $aNPSH_r$ comprende la selección (161) de un valor $NPSH_r$ de la representación $aNPSH_r$ /potencia ($R_{NPSH_r/P}$) en base a la potencia funcional del motor de la bomba centrífuga (2).
8. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, en el que el valor $aNPSH_r$ se obtiene sumando el valor $NPSH_r$ seleccionado y la diferencia de altura (∂H).
9. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el parámetro funcional específico (fp) es un caudal funcional de la bomba centrífuga (2) y en el que el procedimiento comprende además:
 - 55 - la adquisición del caudal funcional de la bomba centrífuga (2) mediante un caudalímetro.

10. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:
 - bombear, con la bomba centrífuga (2), un fluido con una densidad superior a la densidad del agua, y/o
 - bombear, con la bomba centrífuga (2), un fluido que contiene sólidos.
11. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:
 - 5 - determinar (270) un valor de altura neta positiva de aspiración disponible, NPSH, basado en la presión de aspiración (Ps); y
 - activar (280) una alerta de cavitación cuando una diferencia entre el valor NPSH, y el valor aNPSH_r es inferior a un umbral predeterminado.
12. Un procedimiento según la reivindicación anterior, en el que la alerta de cavitación comprende varios niveles de alerta en función del valor de la diferencia entre el valor NPSH, y el valor aNPSH_r.
- 10 13. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que un número de identificación (ID) está asociado a la bomba centrífuga (2) y el procedimiento comprende además:
 - almacenar el valor aNPSH_r junto con el número de identificación (ID) de la bomba centrífuga (2) en una memoria de un aparato de procesamiento de datos (5).
- 15 14. Un medio de almacenamiento legible por ordenador que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas por un procesador (PROC), hacen que el procesador lleve a cabo el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones de procedimiento anteriores.
- 15 15. Un aparato de procesamiento de datos (5) que comprende un procesador adaptado para controlar un sistema de bombeo hidráulico (1) según cualquiera de las reivindicaciones de procedimiento anteriores.

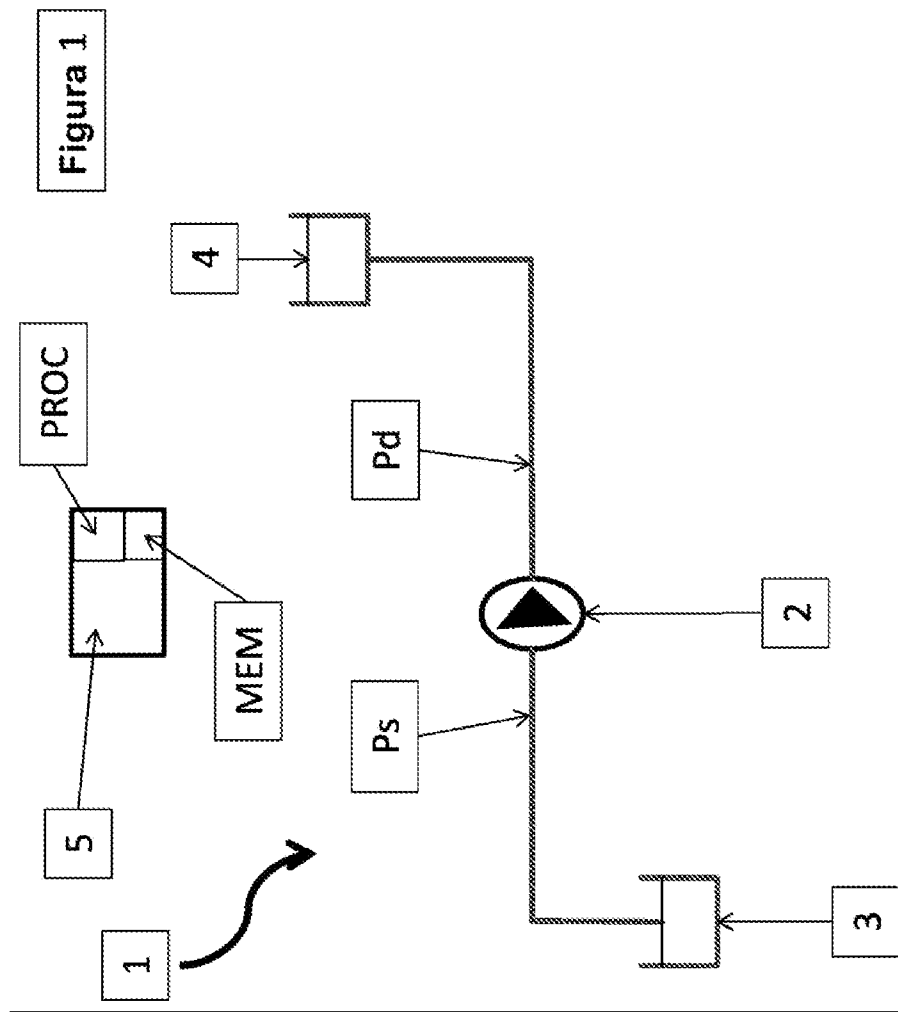


Figura 2

