

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 709 650**

51 Int. Cl.:

**F04D 13/12** (2006.01)

**F04D 15/00** (2006.01)

**F04D 13/06** (2006.01)

**F04D 15/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.09.2017 E 17193842 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2018 EP 3318761**

54 Título: **Procedimiento y sistema de control de un equipo multibomba**

30 Prioridad:

**08.11.2016 FR 1660760**

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

**17.04.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**COIN, SYLVAIN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 709 650 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 y sistema de control de un equipo multibomba

**Campo técnico de la invención**

La presente invención se refiere a un procedimiento y a un sistema de control de un equipo multibomba.

**5 Estado de la técnica**

Un equipo multibomba consta al menos de dos bombas, siendo cada bomba controlada por un variador de velocidad para proporcionar un caudal o una presión determinados. En equipos multibomba, las bombas están conectadas en paralelo al mismo conducto de entrada y sus salidas se encuentran en un conducto de salida común. Para una instrucción global, las bombas de los equipos son controladas de manera independiente. La velocidad requerida en cada bomba y el número de bombas activadas son una función de la referencia global de ajuste y posiblemente de diversos parámetros o restricciones de entrada, tales como, por ejemplo, las restricciones de ahorro de energía eléctrica. De este modo, se entiende que, para una misma instrucción global, el número de bombas activadas y la velocidad requerida para cada bomba pueden variar.

10

Las solicitudes de patente referenciadas EP0735273A1, los documentos WO2015/105832A1 y EP2743507A1 describen soluciones de control de un equipo multibomba.

15

En ciertas aplicaciones como el control de instalación de calefacción/ventilación/climatización (HVAC), es ventajoso controlar la diferencia de presión entre la entrada y la salida del equipo multibomba empleado en función del caudal requerido. Para ello, lo más sencillo es emplear sensores de presión y caudal.

20

No obstante, por diferentes razones, en particular, de coste, de mantenimiento, de facilidad de instalación, es interesante prescindir de los sensores de presión y de caudal y proponer soluciones de control para un equipo multibomba sin sensores (soluciones llamadas "sensorless").

Las soluciones sin sensores se basan generalmente en el control de la altura manométrica. En estas soluciones sin sensores, incluso con una instrucción global constante y bombas todas idénticas, se produce, no obstante, discontinuidades en el caudal. Las razones de estas discontinuidades son diversas:

25

- Una primera razón está relacionada con el número variable de bombas que el equipo puede activar para una misma instrucción. Dicho de otro modo, para una misma instrucción, el equipo podrá optar por activar más o menos bombas, accionar ciertas y detener otras durante el procedimiento de bombeo.
- Una segunda razón está relacionada con los desequilibrios entre las bombas del equipo. Dos bombas idénticas, con una misma instrucción, no necesariamente producirán el mismo caudal de salida.

30

El objeto de la invención es, por lo tanto, proponer un procedimiento de control de un equipo multibomba, que pueden resolver los inconvenientes de la técnica anterior, eliminando los problemas de desequilibrio entre las bombas y la estrategia de control individual de las bombas del equipo.

**Descripción de la invención**

35

Este objeto se logra mediante un procedimiento de control de un equipo multibomba destinado a bombear un fluido, constando dicho equipo de n células de bombeo conectadas en paralelo, con n superior o igual a 2, y comprendiendo cada una una entrada, una salida y una bomba conectada entre la entrada y la salida, al menos un punto de unión de entrada conectado a cada entrada de las células de bombeo y al menos un punto de unión de salida conectado a cada salida de las células de bombeo, siendo dicho equipo controlado a partir de una instrucción diferencial de presión entre dicho punto de unión de entrada y dicho punto de unión de salida, consistiendo dicho procedimiento en:

40

- Determinar por estimación un diferencial de presión estimado generado por cada célula de bombeo entre su entrada y su salida teniendo en cuenta un valor de corrección, por ejemplo, cuadrático, representativo de las pérdidas de carga en la célula de bombeo,
- Determinar por estimación un diferencial de presión del equipo multibomba a partir de los diferenciales de presión estimados para cada célula de bombeo,
- Comparar dicho diferencial de presión estimado del equipo multibomba con dicho diferencial de presión de instrucción para controlar una velocidad de referencia a inyectar en un bucle de control del equipo multibomba.

45

Según una particularidad, para cada célula de bombeo, consta de una etapa de determinación del caudal estimado de la bomba a partir de una potencia mecánica estimada de la bomba y de una curva de bomba de tipo PQ a una velocidad estimada de la bomba.

50

Según otra particularidad, el procedimiento consta de, para cada célula de bombeo, una etapa de determinación de una altura manométrica estimada a partir del caudal estimado y de una curva de bomba de tipo HQ a una velocidad estimada de la bomba.

Según otra particularidad, para cada célula de bombeo, el diferencial de presión estimado de la célula de bombeo se determina a partir de la altura manométrica estimada y dicho valor de corrección.

Según un modo de realización particular, el procedimiento consta de una etapa de corrección del diferencial de presión de instrucción con ayuda de un coeficiente de compensación cuadrático.

5 Según un primer modo de realización, el procedimiento consta de una etapa inicial de aprendizaje implementada para determinar el valor de corrección cuadrática, representativo de las pérdidas de carga en la célula de bombeo, consistiendo dicha etapa inicial de aprendizaje en:

- Accionar cada bomba del equipo de manera individual a un caudal de instrucción individual determinado,
- Accionar al menos de dos en dos, bombas del equipo a un caudal de instrucción total idéntico a dicho caudal de instrucción individual,
- 10 - Determinar un coeficiente de compensación de las pérdidas de carga para cada célula de bombeo,
- Determinar el valor de corrección a partir del coeficiente de compensación de las pérdidas de carga.

Según un segundo modo de realización, el valor de corrección cuadrática se determina teóricamente a partir de la altura manométrica equivalente a las pérdidas de carga de la célula de bombeo del equipo a un caudal dado.

15 La invención también se refiere a un sistema de control de un equipo multibomba destinado a bombear un fluido, constando dicho equipo de n células de bombeo conectadas en paralelo, con n superior o igual a 2, y comprendiendo cada una una entrada, una salida y una bomba conectada entre la entrada y la salida, al menos un punto de unión de entrada conectado a cada entrada de las células de bombeo y un punto de unión de salida conectado a cada salida de las células de bombeo, siendo dicho equipo controlado a partir de una instrucción diferencial de presión entre dicho punto de unión de entrada y dicho punto de unión de salida, constando dicho sistema de:

- Un módulo de determinación, por estimación, de un diferencial de presión estimado generado por cada célula de bombeo entre su entrada y su salida, teniendo en cuenta un valor de corrección representativo de las pérdidas de carga en la célula de bombeo,
- 25 - Un módulo de determinación de un diferencial de presión del equipo multibomba a partir de los diferenciales de presión estimados para cada célula de bombeo,
- Un módulo de comparación de dicho diferencial de presión estimado del equipo multibomba con dicho diferencial de presión de instrucción para controlar una velocidad de referencia a inyectar en un bucle de control del equipo multibomba.

30 Según una particularidad, para cada célula de bombeo, el sistema consta de un bloque de estimación del caudal estimado de la bomba a partir de una potencia mecánica estimada de la bomba y de una curva de bomba de tipo PQ a una velocidad estimada de la bomba.

Según otra particularidad, el sistema consta de, para cada célula de bombeo, un bloque de estimación de una altura manométrica estimada a partir del caudal estimado y de una curva de bomba de tipo HQ a una velocidad estimada de la bomba.

35 Según otra particularidad, para cada célula de bombeo, el sistema consta de un bloque de estimación del diferencial de presión estimado de la célula de bombeo que se determina a partir de la altura manométrica estimada y dicho valor de corrección.

40 Según un modo de realización particular, el sistema consta de un bloque de corrección del diferencial de presión de instrucción con ayuda de un coeficiente de compensación cuadrático.

Según un primer modo de realización, el sistema consta de un módulo de aprendizaje ejecutado para determinar el valor de corrección, constando dicho módulo de:

- Un módulo de control de cada bomba del equipo de manera individual a un caudal de instrucción individual determinado,
- 45 - Un módulo de control al menos de dos en dos, bombas del equipo a un caudal de instrucción total idéntico a dicho caudal de instrucción individual,
- Un módulo de determinación de un coeficiente de compensación de las pérdidas de carga para cada célula de bombeo,
- Un módulo de determinación del valor de corrección a partir del coeficiente de compensación de las pérdidas de carga.

50 Según un segundo modo de realización, el sistema consta de un módulo de determinación del valor de corrección a partir de la altura manométrica equivalente a las pérdidas de carga de la célula de bombeo del equipo a un caudal dado.

**Breve descripción de las figuras**

Otras características y ventajas se mostrarán en la descripción detallada que sigue hecha con respecto a los dibujos adjuntos en los que:

- La figura 1 representa de manera esquemática la arquitectura de un equipo multibomba.
- 5 - La figura 2 representa la arquitectura de control de un equipo multibomba.
- Las figuras 3A a 3C representan tres curvas de bomba de tipo Altura Manométrica-Caudal aplicadas para el control de una bomba e ilustran un modo de control de la altura manométrica que es respectivamente de tipo constante, proporcional y cuadrático.
- 10 - Las figuras 4A a 4C representan tres curvas de bomba de tipo HQ aplicadas para el control de una bomba y que ilustran a la vez el principio de control de la invención en la diferencia de presión, respectivamente de tipo constante, proporcional y cuadrático y también el perfil de curva de altura manométrica resultante.
- La figura 5 representa, de manera esquemática, un diagrama de funcionamiento de la invención, durante un control de tipo constante.
- 15 - La figura 6 representa, de manera esquemática, un diagrama de funcionamiento de la invención, durante un control de tipo cuadrático.
- La figura 7 representa un diagrama de funcionamiento que ilustra el principio de corrección entre la altura manométrica y el diferencial de presión.

**Descripción detallada de al menos un modo de realización**

20 La invención se aplica a un equipo 1 multibomba de fluido, que consta de varias bombas controladas. Dicho equipo multibomba se emplea en particular para el bombeo de un fluido, por ejemplo, en instalaciones de tipo calefacción/ventilación/climatización (HVAC) o en instalaciones de tratamiento de agua.

Con referencia a la figura 1, un equipo 1 multibomba consta de  $n$  células de bombeo  $C_i$ , con  $i$  yendo de 1 a  $n$ , y  $n$  superior o igual a 2, constando cada célula de bombeo  $C_i$  de una entrada  $IN_i$ , una salida  $OUT_i$  y una bomba  $P_i$  colocadas entre la entrada y la salida para bombear un fluido desde la entrada hacia la salida. En el equipo 1, las  $n$  células de bombeo  $C_i$  están conectadas en paralelo, es decir, el equipo consta al menos de un punto de unión de entrada A al que están conectadas las entradas de todas las células de bombeo y al menos un punto de unión de salida B al que están conectadas las salidas de todas las células de bombeo. El equipo 1 multibomba tiene, por lo tanto,  $n$  ramas en paralelo, correspondiendo cada rama a una célula de bombeo distinta.

En la figura 1, un equipo 1 con tres células de bombeo  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  está representado. Por supuesto, la invención puede aplicarse completamente a un equipo que consta de al menos dos células de bombeo.

Cada célula de bombeo  $C_i$  consta de, por otra parte, un motor eléctrico, por ejemplo, incluido en la bomba, y controlado a velocidad variable por un variador de velocidad  $VSD_i$ , formando el variador de velocidad ventajosamente parte de la célula  $C_i$ . De manera conocida, un variador de velocidad controla un motor eléctrico aplicándole señales de tensión de salida, determinadas por un bucle de control que recibe como entrada uno o varios valores de instrucción. El bucle de control se implementa mediante un módulo de control ejecutado por una unidad de control del variador de velocidad.

Con referencia a la figura 2, la arquitectura de control de una instalación (por ejemplo, de tipo HVAC) que incluye tal equipo 1 multibomba es, por ejemplo, la siguiente:

- 40 - Un módulo de control  $M10$  de la instalación recibe uno o varios valores de instrucción de entrada  $Ref$  (por ejemplo, una temperatura de instrucción) y determina un diferencial de presión de instrucción  $dP_{sp}$ .
- El módulo de control  $M20$  del equipo 1 multibomba determina la estrategia de control a aplicar a las células de bombeo  $C_i$  del equipo y envía una velocidad de instrucción  $W_{ref\_i}$  al módulo de control  $M1\_i$  de la bomba de cada célula de bombeo.
- 45 - La bomba  $P_i$  de cada célula de bombeo  $C_i$  es controlada por su variador de velocidad  $VSD_i$  según un bucle de control ejecutado por el módulo de control  $M1\_i$  de la unidad de control del variador de velocidad. Cada módulo de control  $M1\_i$  determina las tensiones a aplicar de salida para controlar la bomba  $P_i$  de la célula  $C_i$ , en particular, en función de una instrucción en velocidad individual aplicada en la entrada.
- 50 - Un módulo de supervisión  $M2\_i$  de la unidad de control del variador de velocidad  $VSD_i$  de cada célula de bombeo  $C_i$  recupera los datos de funcionamiento de la bomba  $P_i$  proveniente del módulo de control  $M1\_i$ , siendo estos datos, en particular, la potencia mecánica  $P_{m\_pi}$  estimada aplicada a la bomba y la velocidad  $W_{pi}$  estimada aplicada a la bomba  $P_i$ . Estos datos se obtienen ventajosamente sin el uso de sensores de velocidad.
- 55 - El módulo de supervisión  $M2\_i$  de cada célula de bombeo  $C_i$  envía datos calculados a intervalos regulares hacia un módulo de supervisión del equipo 1 multibomba, siendo estos datos, en particular, el caudal  $Q_{pumpi}$  teórico en la salida de la célula, la altura manométrica de  $H_{pumpi}$  estimada para obtener este caudal, la diferencia de presión  $dP_{pumpi}$  estimada entre la entrada y la salida de la célula.

- El módulo de supervisión M30 del equipo 1 multibomba envía hacia el módulo de control M20 del equipo multibomba, un diferencial de presión estimado  $dPSys$  para el equipo multibomba.
- El módulo de control M20 del equipo 1 multibomba determina la velocidad de instrucción  $Wref_i$  a aplicar a cada célula de bombeo del equipo en función del diferencial de presión estimada  $dPSys$  y del diferencial de presión de instrucción  $dPsp$  recibidos.

El módulo de control M20 del equipo multibomba y el módulo de supervisión M30 del equipo multibomba se ejecutan, por ejemplo, en una unidad central UC de un autómata programable o en la unidad de control de uno de los variadores de velocidad de una célula de bombeo del equipo.

Igualmente, el módulo de control M10 de la instalación se ejecuta, por ejemplo, en una unidad central UC de un autómata programable, pudiendo ser idéntica a la descrita anteriormente, o en otra unidad de control, tal como la de uno de los variadores de velocidad de una célula de bombeo del equipo.

Según la invención, los módulos de control  $M1_i$  y la supervisión  $M2_i$  de las células de bombeo y el módulo de control M10 y de supervisión M20 del equipo 1 se incluirán en un sistema de control que permite implementar el procedimiento de control de la invención.

En la figura 2, se ha representado, de manera no limitativa, el módulo de control M10 de la instalación, el módulo de control M20 del equipo multibomba y el módulo de supervisión M30 del equipo multibomba ejecutados por la unidad central de un autómata programable, estando esto disociado de las unidades de control asociadas con cada variador de velocidad VSDi de las células de bombeo Ci.

De manera general, el control de una bomba Pi se realiza ajustando su altura manométrica (denominada "cabezal" en inglés) al caudal solicitado. Para ello, el variador de velocidad se basa en curvas de bombas pregrabadas. De manera conocida, cada bomba está definida por una primera curva característica de bomba. Esta curva ilustra la relación existente entre la altura manométrica H de la bomba y su caudal de volumen de  $Qpumpi$  a una velocidad dada. La altura manométrica  $Hpumpi$  de la bomba se expresa en metros, mientras que el caudal de volumen  $Qpumpi$  se expresa, por ejemplo, en  $m^3/hora$ . Cada bomba también se define por una segunda curva característica de bomba que expresa la relación entre la potencia mecánica proporcionada a la bomba y el caudal de  $Qpumpi$  de salida de la bomba a una velocidad determinada.

Para el control de una sola bomba, se sabe que el control de la altura manométrica de la bomba se realiza directamente siguiendo una curva de control  $Hctrl$  predefinida, pudiendo esta curva ser constante (figura 3A), proporcional (figura 3B) o de forma cuadrática (figura 3C). Aplicar este tipo de control basándose en la altura manométrica no es relevante en el ámbito de equipos multibomba.

El principio de la invención se basa, por lo tanto, en la aplicación de un control en diferencia de presión al equipo multibomba, lo que equivale a aplicar virtualmente una corrección a la altura manométrica del equipo. Esta solución permite tener en cuenta mejor las pérdidas de carga presentes en cada célula de bombeo del equipo.

Con referencia a las figuras 5 y 6, el principio de funcionamiento implementado para este control se describe a continuación.

En cada célula de bombeo Ci, el módulo de supervisión  $M2_i$  determina un diferencial de presión  $dPi$  teórico de su célula de bombeo Ci. Para ello, el módulo de supervisión  $M2_i$  efectúa las siguientes operaciones:

- Ejecuta un bloque de estimación B1 del caudal  $Qpumpi$  generado por la bomba Pi a partir de la potencia mecánica  $Pm_pi$  aplicada a la bomba y la velocidad  $Wpi$  aplicada a la bomba, siendo esta potencia mecánica y esta velocidad, preferentemente, datos estimados y obtenidos en el bucle de control de la bomba. Para ello, se basa en la curva de bomba de tipo PQ definida anteriormente a la velocidad de la bomba.
- A partir del caudal de  $Qpumpi$  estimado para la bomba, ejecuta un bloque de estimación B2 de la altura manométrica  $Hpumpi$  a aplicar para obtener este caudal. Para ello, se basa en la curva HQ definida anteriormente a la velocidad de la bomba.
- Ejecuta un bloque de estimación de la diferencia de presión  $dPpumpi$  de la célula de bombeo Ci entre la entrada y la salida de la célula, aplicando un valor de corrección cuadrática  $HEGi$  a la altura manométrica, teniendo esta corrección en cuenta, en particular, las pérdidas de carga en su rama celular.

Estas tres operaciones se implementan en paralelo para cada módulo de supervisión  $M2_i$  de las células de bombeo Ci. El valor de corrección cuadrática  $HEGi$  aplicado es distinto para cada célula de bombeo Ci. Veremos a continuación el principio de determinación del valor de corrección cuadrática  $HEGi$  a aplicar a cada célula de bombeo Ci.

El módulo de supervisión M30 del equipo 1 multibomba es el responsable, entonces, de recuperar el valor de diferencial de presión  $dPpumpi$  determinada para cada célula de bombeo Ci.

El módulo de supervisión M30 del equipo 1 ejecuta un bloque de determinación B4 de un diferencial de presión para el equipo multibomba en su totalidad. Este diferencial de presión estimado del equipo corresponde a la diferencia de presión estimada entre el punto de unión de entrada A y el punto de unión de salida B del equipo. De manera ideal, el bloque de estimación B4 aplica la fórmula:

$$5 \quad dP_{Sys} = dP_{pumpi}$$

En esta variante de realización, para tener mejor en cuenta ciertas particularidades del equipo, el bloque de estimación B4 también puede basarse en la siguiente expresión:

$$dP_{Sys} = \sum_1^n (dP_{pumpi} \cdot Q_{pumpi}) / \sum_1^n Q_{pumpi}$$

10 El módulo de supervisión M30 del equipo luego inyecta el diferencial de presión dPSys estimado en el módulo de control M20 del equipo 1, recibiendo el módulo de control M20 también como entrada el diferencial de presión de instrucción dPsp.

Según el modo de control empleado, el bucle de control implementado por el equipo es diferente.

Con referencia a la figura 5, para una corrección de un control en diferencial de presión constante, el módulo de control M20 opera de la siguiente manera:

- 15 - Ejecuta un bloque de comparación B5 entre el diferencial de presión estimado dPSys para el equipo y el diferencial de presión de instrucción dPsp, para determinar la diferencia entre los dos.
- Inyecta la diferencia determinada en un corrector de acción proporcional integral derivada (PID) para deducir la velocidad de instrucción Wref del equipo 1, para hacer converger el diferencial de presión del equipo hacia el diferencial de presión de instrucción.

20 Con referencia a la figura 6, para una corrección de un control en diferencial de presión cuadrático, el módulo de control M20 opera de la siguiente manera:

- 25 - Ejecuta un módulo de corrección del diferencial de presión de instrucción. Este módulo de corrección implementa un bloque de estimación B6 del caudal total para el equipo 1 a partir del caudal estimado Qpumpi obtenido por cada célula de bombeo Ci. El caudal total Qtot estimado se inyecta en un bloque de corrección B7 aplicando una función de compensación de las pérdidas de carga del equipo (FLC para "Friction Loss Compensation"). El valor de corrección determinado se agrega al diferencial de presión de instrucción dPsp para obtener un diferencial de presión de instrucción corregido dPsp\_corr (bloque B8).
- Ejecuta un bloque de comparación B50 entre el diferencial de presión estimado dPSys para el equipo y el diferencial de presión de instrucción corregido dPsp\_corr, para determinar la diferencia entre los dos.
- 30 - Inyecta la diferencia determinada en un corrector de acción proporcional integral derivada (PID) para deducir la velocidad de instrucción Wref del equipo para hacer converger el diferencial de presión del equipo hacia el diferencial de presión de instrucción corregido.

35 En las dos soluciones definidas anteriormente, el módulo de control M20 en velocidad del equipo se carga, entonces, de determinar las velocidades de instrucción a aplicar a cada célula Ci de bombeo y las envía hacia los módulos de control de cada célula de bombeo en función de la velocidad de instrucción global Wref obtenida.

40 La figura 7 el principio de determinación del valor de corrección cuadrática HEGi a aplicar a cada célula de bombeo Ci. Este valor de corrección cuadrática se determina de distinta manera para cada célula de bombeo Ci. El procedimiento de determinación se implementa, por ejemplo, fuera del funcionamiento normal del equipo, por ejemplo, durante una etapa de aprendizaje. Se implementa, por ejemplo, al nivel de un módulo de aprendizaje particular asociado al equipo multibomba y, por ejemplo, se ejecuta mediante la unidad central del autómata programable definido anteriormente.

El principio que se expone a continuación tiene en cuenta el hecho de que el equipo es estable y no sufre variaciones de carga para un caudal dado. Las pérdidas en los conductos y en la carga se considerarán siempre idénticas.

45 La primera etapa E1 consiste en ejecutar un módulo de control para accionar cada bomba del equipo multibomba uno tras otro, siendo cada bomba controlada en el mismo caudal de instrucción.

Por cada bomba accionada, el módulo de aprendizaje recupera los datos de caudal y de altura manométrica estimados por el módulo de supervisión de cada célula de bombeo.

## ES 2 709 650 T3

Para esta primera etapa E1, tenemos:

$$\begin{aligned}
 H_i &= H_{\text{pumpi}} \\
 Q_i &= Q_{\text{pumpi}} \approx Q_{\text{ref}} \\
 H_i &= dP_{\text{Sys}} + Hf_i(Q_i^2) \quad (1)
 \end{aligned}$$

5 Con  $Hf_i(Q^2) = a_i \cdot Q^2$

Con:

- $H_i$  la altura manométrica estimada para cada célula de bombeo  $C_i$  del equipo;
- $Q_i$  el caudal estimado generado por cada célula de bombeo  $C_i$  del equipo;
- $Q_{\text{ref}}$  el caudal de instrucción solicitado en la entrada de cada altura manométrica equivalente a las pérdidas de carga de la célula de bombeo  $C_i$  del equipo;
- $dP_{\text{sys}}$ , el diferencial de presión del equipo;
- $a_i$  un coeficiente de compensación de las pérdidas de carga, que se explicará a continuación.

La segunda etapa E2 consiste en ejecutar un módulo de control para accionar las bombas del equipo de dos en dos, con una instrucción de caudal total idéntico al caudal de instrucción aplicado a cada bomba durante la primera etapa.

15 Para cada bomba, el módulo de aprendizaje recupera los datos de caudal y de altura manométrica estimados por el módulo de supervisión de cada célula de bombeo.

Para esta segunda etapa E2, tenemos:

$$\begin{aligned}
 HX_i &= H_{\text{pumpi}} \\
 QX_i &= Q_{\text{pumpi}} \text{ con } \sum QX_i \approx Q_{\text{ref}} \\
 HX_i &= dP_{\text{Sys}} + Hf_i(QX_i^2) \quad (2)
 \end{aligned}$$

20

con  $Hf_i(Q^2) = a_i \cdot Q^2$

Con:

- $HX_i$  la altura manométrica estimada para cada célula de bombeo  $C_i$  del equipo durante la segunda etapa;
  - $QX_i$  el caudal estimado generado por cada célula de bombeo  $i$  del equipo durante esta segunda etapa;
- 25 En una tercera etapa E3, el módulo de aprendizaje determina el coeficiente  $a_i$  evocado anteriormente y representativo de las pérdidas de carga en cada célula de bombeo. Para ello, el módulo de aprendizaje aplica el siguiente razonamiento:

De las relaciones (1) y (2), anteriores, se deduce la expresión del coeficiente  $a_i$ :

$$H_i \cdot HX_i = Hf_i(Q_i^2) = Hf_i(QX_i^2) = Hf_i(Q_i^2 - QX_i^2)$$

30 O bien:

$$a_i = \frac{H_i - HX_i}{Q_i^2 - QX_i^2} \quad (3)$$

A partir del coeficiente  $a_i$  obtenido al principio de la tercera etapa E3, el módulo de aprendizaje puede calcular entonces, en una cuarta etapa E4, la corrección HEG<sub>i</sub> a aplicar para cada célula de bombeo  $C_i$ :

$$dP_{\text{Pump}} = H_{\text{pump}} + HEG \times H_{\text{BEP}} \cdot \frac{Q_{\text{Pump}}^2}{Q_{\text{BEP}}^2}$$

35

$$dP_{\text{Pump}} = H_{\text{pump}} + a_i \cdot Q_{\text{Pump}}^2$$

Con:  $a = HEG \times \frac{H_{\text{BEP}}}{Q_{\text{BEP}}^2}$

A partir de la relación (3), se obtiene:

$$a_i = HEG_i \times \frac{H_{\text{BEP}}}{Q_{\text{BEP}}^2} = \frac{H_i - HX_i}{Q_i^2 - QX_i^2}$$

40 O bien:

## ES 2 709 650 T3

$$HEG_i = \frac{H_i - HX_i}{H_{BEP}} \times \frac{Q_{BEP}^2}{Q_i^2 - QX_i^2}$$

Con  $H_{BEP}$  y  $Q_{BEP}$  correspondiendo respectivamente a la altura manométrica y al caudal del equipo en el punto de rendimiento máximo ("Best Efficiency Point").

- 5 Luego, en una quinta etapa E5, el módulo de aprendizaje puede determinar el diferencial de presión del equipo a partir del siguiente razonamiento:  
De las relaciones (2) y (3) anteriores, se deduce que:

$$dP_{Sys} = HX_i - Hf_{li}(QX_i^2) = HX_i - a_i \times (QX_i^2) = HX_i - \frac{H_i - HX_i}{Q_i^2 - QX_i^2} \times QX_i^2$$

$$\text{O bien: } dP_{Sys} = \frac{H_i \cdot Q_i^2 - H_i \cdot QX_i^2}{Q_i^2 - QX_i^2} \quad (4)$$

- 10 En esta variante de realización, también es posible que el módulo de aprendizaje determine la corrección  $HEG_i$  para cada célula de bombeo de la siguiente manera, a partir de las pérdidas de carga "teóricas" a un caudal dado, por ejemplo, al caudal  $Q_{BEP}$  que corresponde al caudal tomado en el punto de rendimiento máximo:

$$P_{Pump} = H_{Pump} + HEG \times H_{BEP} \cdot \frac{Q_{ump}^2}{Q_{BEP}^2}$$

Y como:  $Hf_{li}(Q_{BEP})$  corresponde a las pérdidas de carga al caudal  $Q_{BEP}$ , se obtiene:

$$HEG_i = \frac{Hf_{li}(Q_{BEP})}{H_{BEP}}$$

- 15 La presente invención presenta, de este modo, numerosas ventajas. Permite el control centralizado, sin tener que tener en cuenta el control individual de las bombas en el equipo. Por lo tanto, el control es transparente independientemente de la estrategia de control adoptada. Además, la solución de la invención garantiza el control del diferencial presión del equipo teniendo en cuenta las pérdidas de carga en las diferentes ramas del equipo.

- 20 Las figuras 4A a 4C permiten ilustrar la corrección aplicada gracias al control de diferencial de presión  $dP_{ctrl}$  y la altura manométrica obtenida a partir de este control.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de control de un equipo (1) multibomba destinado a bombear un fluido, constando dicho equipo de n células de bombeo (Ci) conectadas en paralelo, con n superior o igual a 2, y comprendiendo cada una una entrada, una salida y una bomba (Pi) conectada entre la entrada y la salida, al menos un punto (A) de unión de entrada conectado a cada entrada de las células de bombeo y al menos un punto (B) de unión de salida conectado a cada salida de las células de bombeo, siendo dicho equipo controlado a partir de una instrucción diferencial de presión (dPsp) entre dicho punto de unión de entrada y dicho punto de unión de salida, estando dicho procedimiento **caracterizado porque** consiste en:
- Determinar, por estimación, un diferencial de presión estimado (dPpumpi) generado por cada célula de bombeo (Ci) entre su entrada y su salida, teniendo en cuenta un valor de corrección (HEGi) representativo de las pérdidas de carga en la célula de bombeo,
  - Determinar por estimación un diferencial de presión (dPSys) del equipo multibomba a partir de los diferenciales de presión estimados para cada célula de bombeo,
  - Comparar dicho diferencial de presión (dPSys) estimado del equipo multibomba con dicho diferencial de presión (dPsp) de instrucción para controlar una velocidad de referencia (Wref) a inyectar en un bucle de control del equipo multibomba.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** consta de, para cada célula de bombeo (Ci), una etapa de determinación del caudal (Qpumpi) estimado de la bomba a partir de una potencia mecánica (Pm\_pi) estimada de la bomba y de una curva de bomba de tipo potencia mecánica - caudal (PQ) a una velocidad (Wpi) estimada de la bomba.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** consta de, para cada célula de bombeo (Ci), una etapa de determinación de una altura manométrica (Hpumpi) estimada a partir del caudal estimado y de una curva de bomba de tipo altura manométrica - caudal (HQ) a una velocidad estimada de la bomba.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque**, para cada célula de bombeo (Ci), el diferencial de presión (dPpumpi) estimado de la célula de bombeo se determina a partir de la altura manométrica (Hpumpi) estimada y dicho valor de corrección (HEGi).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** consta de una etapa de corrección del diferencial de presión (dPsp) de instrucción con ayuda de un coeficiente de compensación cuadrático.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** consta de una etapa inicial de aprendizaje implementada para determinar el valor de corrección (HEGi), representativo de las pérdidas de carga en la célula de bombeo, consistiendo dicha etapa inicial de aprendizaje en:
- Accionar cada bomba (Pi) del equipo de manera individual a un caudal de instrucción individual determinado,
  - Accionar al menos de dos en dos, bombas del equipo a un caudal de instrucción total idéntico a dicho caudal de instrucción individual,
  - Determinar un coeficiente de compensación de las pérdidas de carga (ai) para cada célula de bombeo,
  - Determinar el valor de corrección a partir del coeficiente de compensación de las pérdidas de carga (ai).
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** consta de una etapa de determinación del valor de corrección (HEGi) a partir de la altura manométrica equivalente a las pérdidas de carga de la célula de bombeo del equipo a un caudal dado.
8. Sistema de control de un equipo (1) multibomba destinado a bombear un fluido, constando dicho equipo de n células de bombeo (Ci) conectadas en paralelo, con n superior o igual a 2, y comprendiendo cada una una entrada, una salida y una bomba (Pi) conectada entre la entrada y la salida, al menos un punto (A) de unión de entrada conectado a cada entrada de las células de bombeo y al menos un punto (B) de unión de salida conectado a cada salida de las células de bombeo, siendo dicho equipo controlado a partir de una instrucción diferencial de presión (dPsp) entre dicho punto de unión de entrada y dicho punto de unión de salida, estando dicho sistema **caracterizado porque** consta de:
- Un módulo de determinación, por estimación, de un diferencial de presión estimado (dPpumpi) generado por cada célula de bombeo (Ci) entre su entrada y su salida, teniendo en cuenta un valor de corrección (HEGi) representativo de las pérdidas de carga en la célula de bombeo,
  - Un módulo de determinación de un diferencial de presión (dPSys) del equipo multibomba a partir de los diferenciales de presión estimados para cada célula de bombeo,
  - Un módulo de comparación de dicho diferencial de presión (dPSys) estimado del equipo multibomba con dicho diferencial de presión (dPsp) de instrucción para controlar una velocidad de referencia (Wref) a inyectar en un bucle de control del equipo multibomba.
9. Sistema según la reivindicación 8, **caracterizado porque** consta de, para cada célula de bombeo (Ci), un bloque de determinación (B1) del caudal (Qpumpi) estimado de la bomba a partir de una potencia mecánica (Pm\_pi)

estimada de la bomba y de una curva de bomba de tipo potencia mecánica - caudal (PQ) a una velocidad ( $W_{pi}$ ) estimada de la bomba.

5 10. Sistema según la reivindicación 9, **caracterizado porque** consta de, para cada célula de bombeo ( $C_i$ ), un bloque de estimación (B2) de una altura manométrica ( $H_{pumpi}$ ) estimada a partir del caudal estimado y de una curva de bomba de tipo altura manométrica - caudal (HQ) a una velocidad estimada de la bomba.

11. Sistema según la reivindicación 10, **caracterizado porque**, para cada célula de bombeo ( $C_i$ ), consta de un bloque de estimación (B3) del diferencial de presión ( $dP_{pumpi}$ ) estimado de la célula de bombeo se determina a partir de la altura manométrica ( $H_{pumpi}$ ) estimada y dicho valor de corrección ( $HEG_i$ ).

10 12. Sistema según una de las reivindicaciones 8 a 10, **caracterizado porque** consta de un bloque de corrección (B7) del diferencial de presión ( $dP_{sp}$ ) de instrucción con ayuda de un coeficiente de compensación cuadrático.

13. Sistema según una de las reivindicaciones 8 a 12, **caracterizado porque** consta de un módulo de aprendizaje ejecutado para determinar el valor de corrección ( $HEG_i$ ), constando dicho módulo de aprendizaje de:

- 15 - Un módulo de control de cada bomba ( $P_i$ ) del equipo de manera individual a un caudal de instrucción individual determinado,
- Un módulo de control, al menos de dos en dos, de bombas del equipo a un caudal de instrucción total idéntico a dicho caudal de instrucción individual,
- Un módulo de determinación de un coeficiente de compensación de las pérdidas de carga ( $a_i$ ) para cada célula de bombeo,
- 20 - Un módulo de determinación del valor de corrección a partir del coeficiente de compensación de las pérdidas de carga ( $a_i$ )

14. Sistema según una de las reivindicaciones 8 a 12, **caracterizado porque** consta de un módulo de determinación del valor de corrección ( $HEG_i$ ) a partir de la altura manométrica equivalente a las pérdidas de carga de la célula de bombeo del equipo a un caudal dado.

Fig. 1

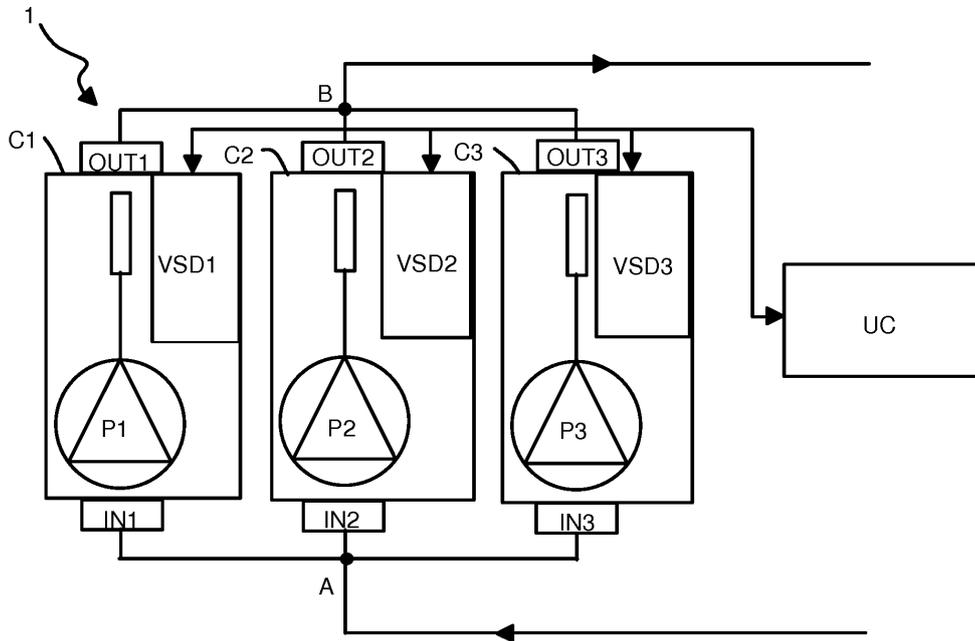
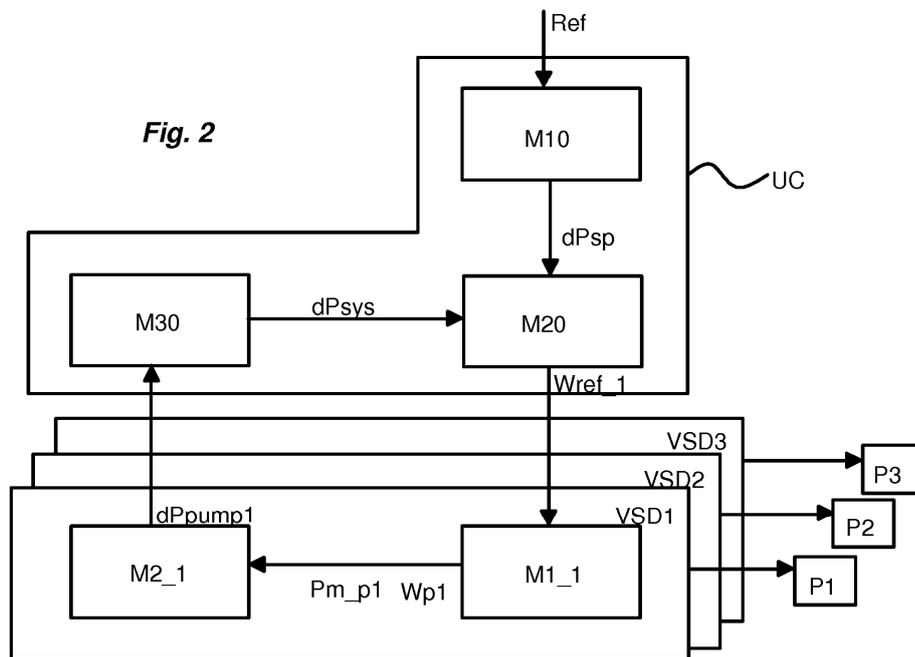


Fig. 2



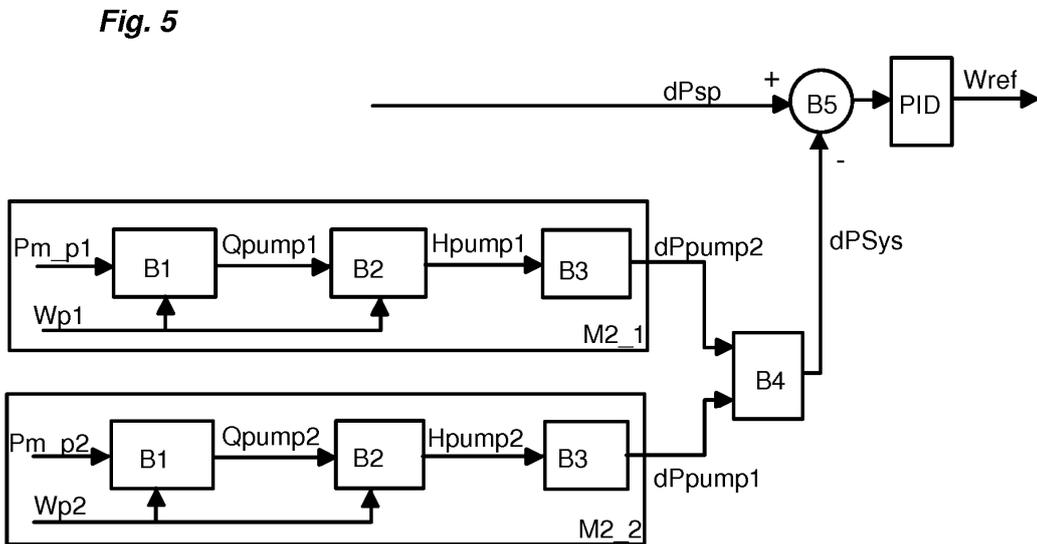
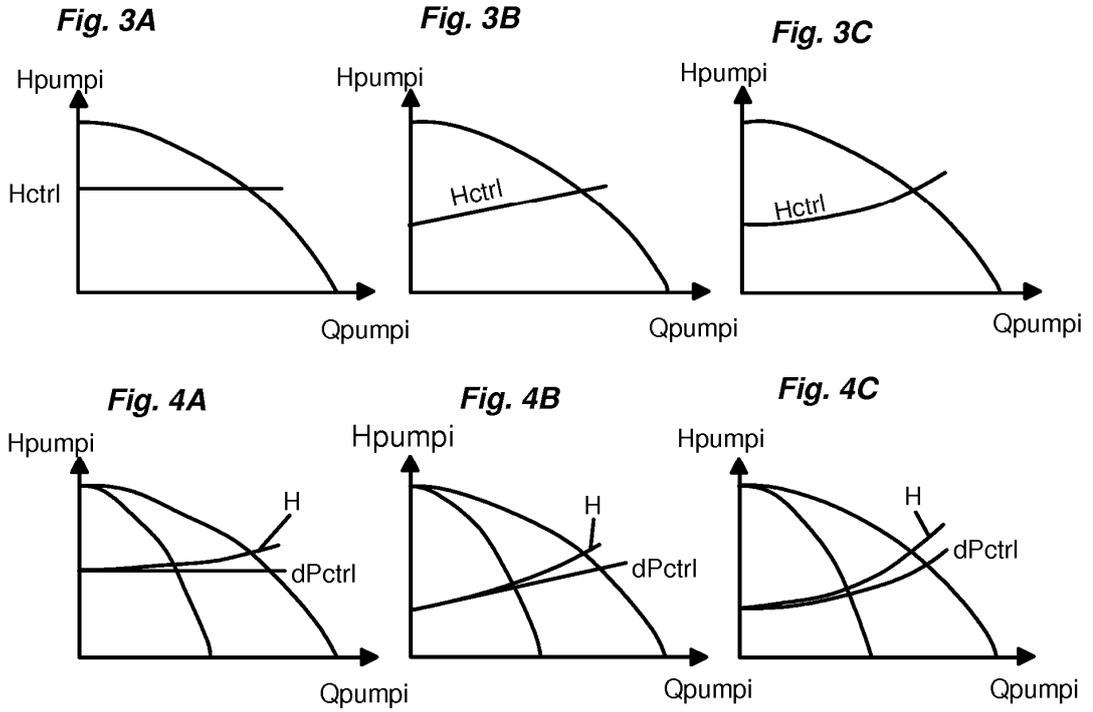


Fig. 6

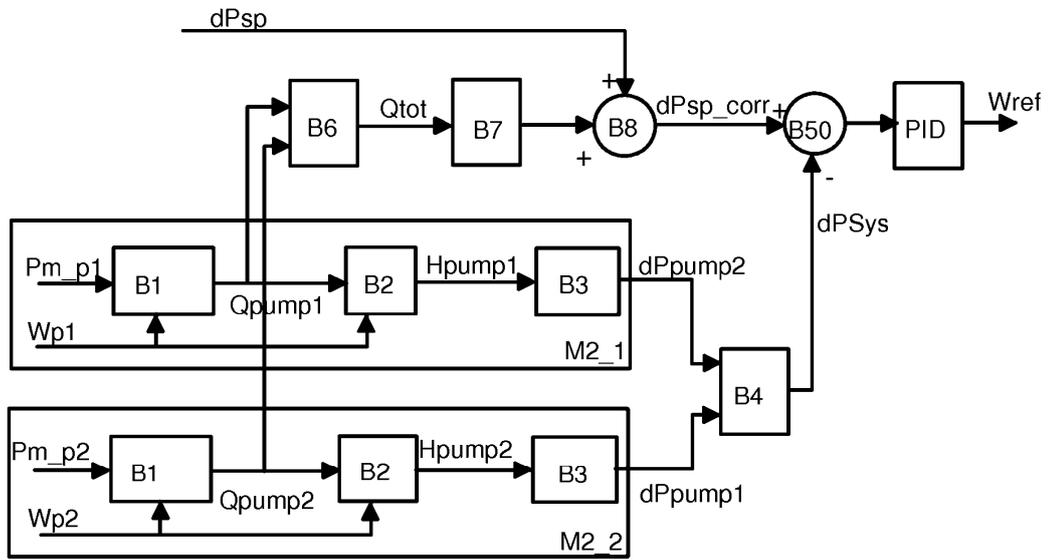


Fig. 7

