

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 971 008**

51 Int. Cl.:

F04B 1/128 (2010.01)
F04B 1/14 (2010.01)
F04B 1/18 (2010.01)
F04B 9/02 (2006.01)
F04B 11/00 (2006.01)
F04B 13/00 (2006.01)
F04B 17/03 (2006.01)
F04B 23/06 (2006.01)
F04B 49/06 (2006.01)
F04B 49/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.11.2018** **PCT/US2018/063101**
87 Fecha y número de publicación internacional: **06.06.2019** **WO19108819**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2018** **E 18884271 (0)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2024** **EP 3721088**

54 Título: **Sistema de accionamiento electromecánico para una bomba de fluido accionada por pistón**

30 Prioridad:

30.11.2017 US 201715828177

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.06.2024

73 Titular/es:

ACD, LLC (100.0%)
2321 South Pullman Street
Santa Ana CA 92705, US

72 Inventor/es:

STARKEY, BENJAMIN y
MANZANARES, DAVID J.

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 971 008 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de accionamiento electromecánico para una bomba de fluido accionada por pistón

Referencia cruzada a solicitud relacionada

- 5 La presente solicitud reivindica prioridad sobre la solicitud estadounidense n.º 15/828.177 titulada SISTEMA DE ACCIONAMIENTO ELECTROMECHANICO PARA UNA BOMBA DE FLUIDO ACCIONADA POR PISTÓN presentada el 30 de noviembre de 2017.

Antecedentes

- 10 En los sistemas de fluidos a gran escala, un usuario de fluidos puede consumir fluidos a un caudal y una presión elevados. Los sistemas de fluidos a gran escala pueden implementarse en diversas aplicaciones, incluyendo la minería, la construcción o la marina, entre otras. Normalmente, en estos sistemas de fluidos a gran escala, un fluido se almacena en un depósito y se bombea mediante una bomba de fluido a un caudal elevado, por ej., 189-379 litros/minuto (50-100 galones/minuto), y a una presión elevada, por ej., 345 bares (5000 PSI), al usuario del fluido.

- 15 En un ejemplo, una bomba de fluido incluye una pluralidad de pistones de bomba que son accionados por un cigüeñal para bombear el fluido desde el depósito de almacenamiento hasta el usuario del fluido. La velocidad a la que el cigüeñal acciona los pistones de la bomba es de naturaleza sinusoidal debido a la forma del cigüeñal. El caudal y la presión de salida del sistema de bombeo son proporcionales a la velocidad del cigüeñal. De este modo, el caudal y la presión de salida del sistema de bombeo fluctúan de acuerdo con las características sinusoidales del cigüeñal. Estas fluctuaciones provocan un efecto de ondulación que interrumpe el suministro de fluido al usuario. Además, dado que el funcionamiento de todos los pistones de bomba está vinculado a la rotación del cigüeñal, el sistema de bombeo es incapaz de controlar independientemente uno o más pistones de la bomba para compensar los efectos de ondulación o cualquier otro cambio dinámico en las condiciones operativas.

La publicación internacional n.º WO2017090148 divulga un dispositivo de alimentación de líquidos convencional y un método de control de alimentación de líquidos.

Resumen

- 25 Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema según lo definido en la reivindicación 1 que figura más adelante.

Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método tal como se define en la reivindicación 9 que figura más adelante.

Breve descripción de las ilustraciones

- 30 La FIG. 1 muestra un sistema de bomba de ejemplo. La FIG. 2 muestra un ejemplo de conjunto de accionamiento electromecánico acoplado operativamente a un conjunto de pistón y cilindro de bomba. La FIG. 3 muestra un ejemplo de un gráfico de posición frente a tiempo que representa el funcionamiento de los seis canales de un sistema de bomba de accionamiento electromecánico de seis canales. La FIG. 4 muestra un ejemplo de gráfico de velocidad frente a tiempo que representa el funcionamiento de los seis canales de un sistema de bomba de accionamiento electromecánico de seis canales. La FIG. 5 muestra un ejemplo de gráfico de flujo total frente a tiempo que representa el funcionamiento de los seis canales de un sistema de bomba de accionamiento electromecánico de seis canales. La FIG. 6 muestra un ejemplo de gráfico de posición frente a tiempo que representa el funcionamiento de cinco de los seis canales de un sistema de bomba de accionamiento electromecánico de seis canales con un caudal total reducido. La FIG. 7 muestra un ejemplo de gráfico de velocidad frente a tiempo que representa el funcionamiento de cinco de los seis canales de un sistema de bomba de accionamiento electromecánico de seis canales con un caudal total reducido. La FIG. 8 muestra un ejemplo de gráfico de flujo total frente a tiempo que representa el funcionamiento de cinco de los seis canales de un sistema de bomba de accionamiento electromecánico de seis canales con un caudal total reducido. La FIG. 9 muestra un ejemplo de gráfico de posición frente a tiempo que representa el funcionamiento de cinco de los seis canales de un sistema de bomba de accionamiento electromecánico de seis canales para mantener un caudal total. La FIG. 10 muestra un ejemplo de gráfico de velocidad frente a tiempo que representa el funcionamiento de cinco de los seis canales de un sistema de bomba de accionamiento electromecánico de seis canales para mantener un caudal total. La FIG. 11 muestra un ejemplo de gráfico de flujo total frente a tiempo que representa el funcionamiento de cinco de los seis canales de un sistema de bomba de accionamiento electromecánico de seis canales para mantener un caudal total. La FIG. 12 muestra un método de ejemplo de control de un sistema de accionamiento electromecánico para una bomba de fluido.

Descripción detallada

Según lo comentado más arriba, un sistema de bomba accionado por cigüeñal puede suministrar el fluido a un usuario del fluido de una manera inconsistente y disruptiva. Asimismo, dicho sistema de bomba accionada por cigüeñal puede tener una flexibilidad de control limitada para compensar los cambios dinámicos en condiciones operativas

- 55 Por consiguiente, la presente descripción se refiere a un sistema de accionamiento electromecánico multicanal para una bomba de fluido accionada por pistón que tiene una pluralidad de cilindros. Cada cilindro incluye un pistón operable

que oscila dentro del cilindro para bombear un fluido. Cada actuador electromecánico está acoplado operativamente a un pistón correspondiente. El sistema de control está configurado para determinar un rendimiento objetivo de fluido a bombear por la bomba de fluido, controlar individualmente una velocidad y una fase en la que cada actuador electromecánico acciona un pistón correspondiente, de manera que la pluralidad de cilindros bombea colectivamente el fluido a un rendimiento real que se corresponde con el rendimiento objetivo. Asimismo, el sistema de control está configurado para detectar diversas condiciones operativas y, en respuesta a la detección de una condición operativa, ajustar individualmente la velocidad y/o la fase a la que uno o más de los actuadores electromecánicos accionan el pistón correspondiente en base a la condición operativa detectada para, de este modo, causar que el rendimiento real de la bomba de fluido se corresponda con un rendimiento objetivo actualizado. En algunas implementaciones, el sistema de control controla los actuadores electromecánicos para minimizar la ondulación del rendimiento real.

Dicha configuración puede permitir un control altamente granular de la bomba de fluido. Por ejemplo, el sistema de control puede estar configurado para ajustar el funcionamiento de la bomba de fluido de manera que permita una elevada ratio de reducción de la bomba de fluido (por ej., de un caudal de 50 g/m a 1 g/m) en función de una condición operativa detectada, como una demanda de flujo reducido. En particular, el sistema de control puede desactivar uno o más de los actuadores electromecánicos, y ajustar la velocidad y/o fase y/o perfil de uno o más de los otros actuadores electromecánicos para lograr un rendimiento real que se corresponda con un rendimiento objetivo actualizado. Además, dicha configuración puede proporcionar redundancia en caso de degradación. Por ejemplo, el sistema de control puede detectar la degradación de uno o más actuadores electromecánicos y/o de los pistones correspondientes, y ajustar la velocidad y/o la fase de uno o más de los otros actuadores electromecánicos no degradados (y/o del actuador electromecánico degradado si aún está parcialmente operativo) para conseguir un rendimiento real que se corresponda con un rendimiento objetivo actualizado. Hay que tener en cuenta que el rendimiento objetivo actualizado puede ser el mismo que el rendimiento objetivo determinado antes de detectar la condición operativa, o el rendimiento objetivo actualizado puede diferir del rendimiento objetivo determinado antes de detectar la condición operativa.

La FIG. 1 muestra un ejemplo de sistema de bombeo 100. El sistema de bombeo 100 puede incorporarse en cualquier implementación adecuada que implique un consumo de fluido a gran escala por parte de un usuario del fluido. Tal como se utiliza en este documento, un usuario del fluido incluye cualquier tipo de motor, central eléctrica, motor primario, propulsor de chorro de fluido u otra máquina que consuma la salida de fluido del sistema de bombeo 100.

El sistema de bombeo 100 incluye un depósito de almacenamiento 102 configurado para contener un fluido. El depósito de almacenamiento 102 puede contener cualquier fluido adecuado, incluyendo agua y nitrógeno líquido (NL). El depósito de almacenamiento 102 puede estar dimensionado para contener cualquier cantidad adecuada de fluido en estado líquido. En algunas implementaciones, el depósito de almacenamiento puede estar configurado para contener un fluido criogénico.

Una bomba de fluido 104 está acoplada operativamente al depósito de almacenamiento 102. La bomba de fluido 104 incluye una pluralidad de cilindros de alta presión 106 sumergidos en el depósito de almacenamiento 102 para interactuar con el fluido. Cada cilindro 106 incluye un pistón 108 que está configurado para oscilar dentro del cilindro 106 para bombear el fluido desde el depósito de almacenamiento 102. La bomba de fluido 104 puede incluir cualquier número adecuado de cilindros 106. Hay que tener en cuenta que la bomba de fluido 104 debe incluir al menos dos cilindros con el fin de proporcionar un rendimiento con la mínima ondulación. En el ejemplo representado, la bomba de fluido 104 incluye seis cilindros.

Una bomba de impulsión opcional 110 está dispuesta dentro del depósito de almacenamiento 102. La bomba de impulsión 110 está conectada a una válvula de entrada 218 (mostrada en la FIG. 2) de cada cilindro 106. La bomba de impulsión 110 está configurada para suministrar fluido desde el depósito de almacenamiento 102 a los cilindros 106 a una presión de entrada determinada para garantizar que el cilindro 106 tenga suficiente presión de aspiración positiva neta para producir una salida de alta presión y evitar la cavitación. La bomba de impulsión 110 puede ser impulsada por un dispositivo variador de frecuencia 124.

Un sistema de accionamiento electromecánico 112 está dispuesto en el exterior del depósito 102. El sistema de accionamiento electromecánico 112 incluye una pluralidad de actuadores electromecánicos 114. Cada actuador electromecánico 114 está acoplado operativamente a un pistón 108 correspondiente de la pluralidad de cilindros 106. Cada actuador electromecánico 114 está configurado para ejercer una fuerza controlada y recíproca en el pistón 108 correspondiente para hacer que el cilindro 106 correspondiente produzca un flujo de fluido a alta presión desde el depósito 102. Generalmente, los actuadores electromecánicos 114 controlan los pistones 108 para que se extiendan y retraigan completamente dentro de los cilindros 106 con el fin de maximizar la eficiencia volumétrica de la bomba de fluido 104. El sistema de accionamiento electromecánico 112 puede incluir cualquier número adecuado de actuadores electromecánicos correspondientes al número de cilindros 106 de la bomba de fluido 104. En el ejemplo representado, el sistema de accionamiento electromecánico 112 incluye seis actuadores electromecánicos 114 que corresponden a los seis cilindros 106 de la bomba de fluido 104.

La FIG. 2 muestra un ejemplo de conjunto de actuador electromecánico 200. El conjunto de actuador electromecánico 200 es representativo de cada canal del sistema de accionamiento electromecánico 112 de la FIG. 1. El conjunto 200 incluye un motor eléctrico 202 configurado para generar un par de salida basado en señal(es) de control recibidas de la ECPU 120 de la FIG. 1. El motor eléctrico 202 puede ser de cualquier tipo de motor eléctrico adecuado. En un

ejemplo, el motor eléctrico 202 es un servomotor magnético permanente. El motor eléctrico 202 está conectado operativamente a una caja de engranajes 204, y la caja de engranajes 204 está conectada además a un husillo esférico 206. La caja de engranajes 204 está configurada para aumentar el par de salida del motor eléctrico 202 que se aplica para hacer girar el husillo esférico 206. En algunas implementaciones, la caja de engranajes puede omitirse, y el motor puede accionar directamente el husillo esférico. Una tuerca esférica 208 va roscada en el husillo esférico 206 de forma que cuando el motor eléctrico 202 gira el husillo esférico 206 en una dirección, la tuerca esférica 208 se mueve hacia el motor eléctrico 202. Por otra parte, cuando el motor eléctrico 202 gira el husillo esférico 206 en la dirección opuesta, la tuerca esférica 208 se aleja del motor eléctrico 202. Una barra de salida 210 está acoplada a la tuerca esférica 208. La barra de salida 210 se extiende cuando la tuerca esférica 208 se aleja del motor eléctrico 202, y se retrae cuando la tuerca esférica 208 se acerca al motor eléctrico 202. La barra de salida 210 está acoplada a un acoplamiento compatible 212. El acoplamiento compatible 212 está acoplado además a un pistón 214 dispuesto en un cilindro 216. El acoplamiento compatible 212 está configurado para absorber la energía del motor eléctrico 202 en caso de que el pistón 214 toque fondo o golpee un tope duro en el cilindro 216 con el fin de inhibir la degradación del pistón 214 y/u otros componentes del conjunto 200. En otras implementaciones, el acoplamiento compatible puede sustituirse por un limitador de par. Aún en otras implementaciones, el acoplamiento compatible puede omitirse del conjunto.

El cilindro 216 incluye una válvula de entrada 218 y una válvula de salida 220. La válvula de entrada 218 es operable para permitir que el fluido fluya hacia el cilindro 216 desde una línea de conexión de fluido con la bomba de impulsión 110 (mostrada en la FIG. 1). En el ejemplo representado, la válvula de entrada 218 se abre durante una carrera de retracción del pistón 214. La válvula de salida 220 permite que el fluido fluya fuera del cilindro 216 a una línea de conexión de fluido aguas abajo 116 (mostrada en la FIG. 1). En el ejemplo representado, la válvula de salida 220 se abre durante una carrera de extensión del pistón 214.

Se apreciará que la configuración representada se proporciona a modo de ejemplo, pero se pueden contemplar otras configuraciones. En algunas implementaciones, el cilindro puede incluir una válvula(s) de entrada y/o válvula(s) de salida adicionales para permitir el bombeo de fluido tanto en las carreras de extensión como de retracción. En algunas implementaciones, puede utilizarse otro tren de engranajes en lugar de la configuración de husillo esférico y tuerca. Por ejemplo, se puede utilizar un engranaje de cremallera y piñón en el conjunto. El par de salida del motor eléctrico 202 puede traducirse en la reciprocación del pistón 214 en el cilindro 216 a través de cualquier tren de engranajes intermedio adecuado u otra conexión.

Volviendo a la FIG. 1, la bomba de fluido 104 está conectada fluidamente a un usuario de fluido 118 a través de la línea de conexión de fluido aguas abajo 116.

En algunas implementaciones, el depósito de almacenamiento 102 puede ser un depósito de almacenamiento primario, y el sistema de bombeo 100 puede incluir un depósito de sumidero que está separado del depósito de almacenamiento primario 102. En tales implementaciones, la bomba de fluido 104 puede estar conectada al depósito de sumidero en lugar de al depósito de almacenamiento primario 102. El fluido puede fluir desde el depósito de almacenamiento 102 hasta el depósito de sumidero, y la bomba de fluido 104 puede bombear el fluido desde el depósito de sumidero hasta el usuario del fluido 118.

El sistema de accionamiento electromecánico 112 incluye un sistema de control, también denominado aquí unidad electrónica de control y potencia (ECPU) 120. La ECPU está conectada eléctricamente a la pluralidad de actuadores electromecánicos 114. La ECPU 120 está configurada para monitorizar las condiciones operativas y el rendimiento del sistema de bombeo 100, y ajustar dinámicamente el funcionamiento de los actuadores electromecánicos 114 en base a las condiciones operativas detectadas. La ECPU 120 está configurada para suministrar potencia a un motor de cada actuador electromecánico 114 con el fin de controlar individualmente el accionamiento de cada pistón 108 correspondiente para controlar un caudal de salida y la presión de salida de cada cilindro 106.

La ECPU 120 incluye un procesador, una memoria volátil y una memoria no volátil. El procesador está configurado para ejecutar instrucciones que forman parte de una o más aplicaciones, programas, rutinas, bibliotecas, objetos, componentes, estructuras de datos u otras construcciones lógicas. Dichas instrucciones pueden implementarse para realizar una tarea, implementar un tipo de datos, transformar el estado de uno o más componentes, conseguir un efecto técnico o llegar a un resultado deseado.

El procesador está típicamente configurado para ejecutar las instrucciones de software almacenadas en la memoria no volátil utilizando porciones de memoria volátil. Adicional o alternativamente, el procesador puede incluir uno o más procesadores de hardware o firmware configurados para ejecutar instrucciones de hardware o firmware. El procesador puede ser mononuclear o multinuclear, y las instrucciones ejecutadas en el mismo pueden estar configuradas para el procesamiento secuencial, paralelo y/o distribuido.

La memoria no volátil está configurada para mantener las instrucciones de software incluso en caso de corte de la alimentación a la ECPU, y puede incluir memoria óptica (por ej., CD, DVD, HDDVD, Blu-Ray Disc, etc.), memoria de estado sólido (por ej., EPROM, EEPROM, memoria FLASH, etc.), y/o memoria magnética (por ej., unidad de disco duro, unidad de disquete, unidad de cinta, MRAM, etc.), entre otras.

La memoria volátil está configurada para contener instrucciones de software y datos temporalmente durante la ejecución de los programas por el procesador, y normalmente dichos datos se pierden cuando se corta la alimentación del dispositivo. Como ejemplos de memoria volátil que pueden utilizarse se incluyen RAM, DRAM, etc.

Los aspectos del procesador, la memoria no volátil y la memoria volátil pueden integrarse juntos en uno o más componentes hardware-lógicos. Dichos componentes de hardware-lógicos pueden incluir matrices de puertas programables en campo (FPGA), circuitos integrados específicos para programas y aplicaciones (PASIC / ASIC), productos estándar específicos para programas y aplicaciones (PSSP / ASSP), system-on-a-chip (SOC) y dispositivos lógicos programables complejos (CPLD), por ejemplo.

La ECPU 120 y el dispositivo variador de frecuencia 124 son alimentados por una fuente de alimentación de corriente alterna 126.

La ECPU 120 está configurada para recibir señales de una pluralidad de sensores 122 del sistema de la bomba. Las señales de los sensores indican aspectos de diversas condiciones/estados operativos del sistema de la bomba 100. Los sensores 122 pueden proporcionar retroalimentación sobre cualquier aspecto adecuado del funcionamiento del sistema de la bomba 100. Algunos ejemplos de condiciones operativas controladas por los sensores 122 del sistema de la bomba pueden ser la temperatura del fluido, el caudal de salida del cilindro, la presión del fluido de salida del cilindro, el caudal total de salida de la bomba, la presión total del fluido de salida de la bomba, la posición/estado de la válvula del cilindro, el caudal de entrada de fluido, la presión de entrada de fluido, la posición/velocidad/fase/aceleración/par del actuador electromecánico, la temperatura del motor y la temperatura del aceite lubricante. La ECPU 120 puede estar configurada para determinar un estado operativo y/o las condiciones operativas del sistema de bombeo 100 en base a la retroalimentación de los sensores 122.

Además, la ECPU 120 está configurada para recibir información del usuario del fluido 118 y controlar el funcionamiento de la pluralidad de actuadores electromecánicos 114 en base a dicha información. En un ejemplo, la ECPU 120 recibe información relacionada con una cantidad objetivo de fluido requerida por el usuario del fluido 118 para generar un rendimiento (por ej., presión, velocidad del motor, corriente eléctrica). La ECPU 120 determina un rendimiento objetivo (por ej., un caudal objetivo y una presión de salida objetivo) de la bomba de fluido 104 para proporcionar la cantidad objetivo de fluido al usuario del fluido 118, y controla individualmente la pluralidad de actuadores electromecánicos 114 de manera que la bomba de fluido 104 genera un rendimiento real (por ej., un caudal real y una presión de fluido real) que se corresponde (por ej., está dentro de un umbral de tolerancia de) con el rendimiento objetivo (por ej., el caudal objetivo y la presión del fluido objetivo). En particular, la ECPU 120 controla una velocidad y una fase de cada actuador electromecánico 114 de forma que cada cilindro proporciona un rendimiento individual. La suma de los rendimientos individuales de la pluralidad de cilindros 106 representa un rendimiento total de la bomba de fluido 104.

Hay que tener en cuenta que la ECPU 120 puede controlar individualmente cada actuador electromecánico 114 por lo que la bomba de fluido 104 proporciona cualquier rendimiento adecuado. Asimismo, el rendimiento de la bomba de fluido 104 puede caracterizarse por cualquier parámetro adecuado. Ejemplos de parámetros que caracterizan el rendimiento de la bomba de fluido 104 incluyen el caudal, la presión del fluido, el flujo total y otros parámetros.

Tal como se usa aquí, la fase de un actuador electromecánico significa una compensación (*offset*) de temporización o secuenciación en el que se produce una carrera de bombeo de un pistón en un cilindro con respecto a otros pistones en otros cilindros de la bomba de fluido. La fase puede caracterizarse en términos de grados, donde un ciclo de carrera de la bomba equivale a trescientos sesenta grados. Por ejemplo, los pistones pueden estar en fase de forma que, en el tiempo T1, se produce el final de una carrera de extensión de un primer pistón y también se produce el final de una carrera de retracción de un segundo pistón. Posteriormente, en el tiempo T2, se produce un final de carrera de retracción del primer pistón y también se produce un final de carrera de extensión del segundo pistón. En este ejemplo, se dice que una fase del segundo pistón está desfasada ciento ochenta grados con respecto a una fase del primer pistón. Esta coordinación de los pistones primero y segundo minimiza la ondulación en el caudal de salida de la bomba de fluido 104, porque cada vez que se produce una carrera de retracción también se produce una carrera de extensión de la bomba, de forma que el caudal de salida es sustancialmente constante. Hay que tener en cuenta que un pistón puede ser coordinado de manera diferente dependiendo de un número de actuadores electromecánicos activos de la bomba de fluido 104 con el fin de minimizar la ondulación. El control de minimización de la ondulación puede lograrse ajustando uno o más factores operativos adicionales, incluyendo el solapamiento entre el inicio de la carrera de un actuador y el final de la carrera de otro actuador para compensar el tiempo necesario para que las válvulas de retención del cilindro se abran/cierren. Además, las compensaciones de fases entre los actuadores pueden variar con la velocidad de la bomba para minimizar la ondulación. La compresibilidad del fluido es otro factor operativo que puede utilizarse para determinar las compensaciones de fases y el solapamiento de los actuadores para minimizar la ondulación.

La ECPU 120 puede controlar la coordinación de la pluralidad de actuadores electromecánicos 114 para minimizar la ondulación en el rendimiento de la bomba de fluido 104 a través de las distintas condiciones operativas del sistema de la bomba 100. La ECPU 120 minimiza la ondulación controlando individualmente cada actuador electromecánico 114 de manera que cuando cada pistón correspondiente de la pluralidad de pistones 108 llega al final de una carrera de extensión, otro pistón llega al final de una carrera de retracción. En el ejemplo representado, la ECPU 120 controla la coordinación de la pluralidad de actuadores electromecánicos 114 de forma que cuatro actuadores se extienden siempre a un ritmo mientras que dos actuadores se retraen siempre aproximadamente al doble del ritmo de extensión de los otros cuatro actuadores. Cada vez que un actuador alcanza su final de carrera de extensión, otro actuador alcanza su final de carrera de retracción.

Como se ha comentado antes, la ECPU 120 está configurada para recibir información de los sensores 122 así como del usuario del fluido 118. Además, la ECPU 120 está configurada para detectar las condiciones operativas del sistema de la bomba 100 en base a dicha retroalimentación de los sensores.

En algunos casos, la ECPU 120 puede desactivar o reducir la salida de uno o más canales de los actuadores electromecánicos y/o detectar una condición operativa en la que uno o más canales de los actuadores electromecánicos están desactivados o tienen un rendimiento reducido en base a dicha retroalimentación. En algunos casos, la ECPU 120 puede detectar una condición operativa en la que uno o más actuadores electromecánicos y/o pistones/cilindros correspondientes están degradados. La ECPU 120 puede desactivar el (los) actuador(es) electromecánico (s) degradado(s) en respuesta a la detección de la condición operativa. Dicha condición operativa puede detectarse en base a distintos tipos de retroalimentación. Por ejemplo, la ECPU 120 puede detectar dicha condición operativa basándose en que la temperatura del motor de un actuador electromecánico está por encima de un umbral que indica un sobrecalentamiento del actuador. En otro ejemplo, la ECPU 120 puede detectar dicha condición operativa basándose en una velocidad o posición detectada de un actuador que difiere en más de un umbral de tolerancia de una velocidad o posición esperada. En otro ejemplo, la ECPU 120 puede detectar dicha condición operativa basándose en un rendimiento real (por ej., un caudal y/o presión de fluido) de un cilindro correspondiente que varía en más de un umbral de tolerancia con respecto a un rendimiento previsto.

En otro ejemplo, la ECPU 120 puede desactivar uno o más actuadores electromecánicos y/o detectar una condición operativa en la que uno o más de los actuadores electromecánicos está desactivado con el fin de reducir un rendimiento total de la bomba de fluido 104 para que se corresponda con un rendimiento objetivo inferior. Dicha operación puede denominarse ratio de reducción de la bomba de fluido 104. En otras palabras, la ratio de reducción puede indicar la ratio entre la velocidad más rápida a la que puede operar una bomba y la velocidad más lenta a la que la bomba puede operar. Desactivando los actuadores electromecánicos, puede lograrse una mayor ratio de reducción. En un ejemplo en el que el usuario del fluido es un motor, el rendimiento objetivo puede reducirse cuando el motor está en una condición de ralentí, porque el motor quema una cantidad reducida de fluido. Por ejemplo, el caudal objetivo puede estar de 189 litros/minuto (50 galones/minuto) a 3,8 litros/minuto (un galón/minuto) cuando el motor está en ralentí.

Tras detectar una condición operativa, la ECPU 120 está configurada para ajustar individualmente el funcionamiento de cada actuador electromecánico 114 activado basándose en la condición operativa detectada. En particular, la ECPU 120 está configurada para ajustar cada actuador 114, de manera que la pluralidad de cilindros 106 bombeen colectivamente el fluido desde el depósito de almacenamiento 102 a un rendimiento real actualizado (por ej., un caudal real actualizado y/o una presión de fluido real actualizada) que se corresponda con un rendimiento objetivo actualizado. En algunas implementaciones, la ECPU 120 controla individualmente cada actuador 114 para minimizar aún más la ondulación en el rendimiento real actualizado.

En algunos casos, la condición operativa detectada es un actuador electromecánico y/o pistón desactivado/degradado y el rendimiento objetivo actualizado es el mismo que el rendimiento objetivo anterior que se determinó antes de detectar la condición operativa. Para mantener el mismo rendimiento con menos actuadores electromecánicos activados, la ECPU 120 aumenta la velocidad de cada uno de los actuadores electromecánicos activados. Asimismo, la ECPU 120 ajusta la fase de cada actuador electromecánico activado, de forma que las carreras de bombeo de los pistones correspondientes se mantienen alineadas (por ej., el final de una carrera de extensión de un pistón se produce al mismo tiempo que el final de una carrera de retracción de otro pistón) para minimizar la ondulación y proporcionar un rendimiento estable.

En otro ejemplo, si un pistón degradado produce menos flujo que los otros debido a la degradación (por ej., *blow-by* del sello del pistón o fuga de fluido de vuelta a través de las válvulas de retención de entrada), la ECPU 120 puede aumentar la velocidad del actuador asociado con el pistón afectado para minimizar la variación de flujo (por ej., ondulación) a través del ciclo de extensiones del actuador.

En algunos casos, la ECPU 120 puede hacer operar cada actuador electromecánico a una velocidad operativa máxima durante condiciones operativas normales. En otras palabras, los actuadores electromecánicos funcionan tan rápido como es permisible, y por tanto la velocidad de los actuadores electromecánicos no puede incrementarse más. Como tal, cuando la ECPU 120 detecta una condición operativa en la que uno o más actuadores electromecánicos y/o pistones están desactivados/degradados, el rendimiento objetivo actualizado es menor que el rendimiento objetivo anterior que se determinó antes de detectar la condición operativa. Esto se debe a que todos los actuadores electromecánicos están funcionando tan rápido como es permisible, y ahora hay menos actuadores electromecánicos activados. En este caso, la ECPU 120 puede ajustar la fase de los actuadores electromecánicos activados restantes sin ajustar la velocidad. En un ejemplo, la ECPU 120 ajusta la fase de cada actuador electromecánico activado, de forma que las carreras de bombeo de los pistones correspondientes se mantienen alineadas (por ej., el final de una carrera de extensión de un pistón se produce al mismo tiempo que el final de una carrera de retracción de otro pistón) para minimizar la ondulación y proporcionar un rendimiento estable.

En algunos casos, el sistema de accionamiento electromecánico 112 y/o la bomba de fluido 104 están configurados para funcionar con un canal de actuador electromecánico de reserva designado que se usa en caso de degradación de otro canal del actuador electromecánico. Aplicando este concepto al ejemplo representado de seis canales, el sistema de accionamiento electromecánico puede funcionar normalmente con cinco canales activos y un canal de

reserva puede permanecer desactivado durante condiciones operativas normales. Si uno de los canales activos se degrada, la ECPU 120 activa el canal de reserva en respuesta a la detección de degradación del otro canal. En una configuración así, el canal designado como reserva puede rotar periódicamente entre los seis canales del actuador electromecánico, de modo que todos los canales del actuador electromecánico tengan un nivel equivalente de desgaste.

La ECPU 120 puede ajustar de forma dinámica e individual el funcionamiento de cada uno de los actuadores electromecánicos 114 en función de las condiciones operativas detectadas. Este control dinámico e individual de los actuadores electromecánicos permite que la bomba de fluido 104 alcance un rendimiento estable con la mínima ondulación incluso cuando varían las condiciones operativas.

La ECPU 120 puede ajustar de forma dinámica e individual el funcionamiento de cada uno de la pluralidad de actuadores electromecánicos 114 de cualquier manera adecuada basándose en una condición operativa detectada en la que uno o más actuadores electromecánicos están desactivados. Asimismo, la ECPU 120 puede ajustar de forma dinámica e individual el funcionamiento de cada uno de los actuadores electromecánicos 114 de cualquier manera adecuada basándose en una condición operativa detectada en la que uno o más actuadores electromecánicos se reactivan. Por ejemplo, cuando un actuador electromecánico se vuelve a poner en línea después de un mantenimiento rutinario, la ECPU 120 puede detectar la activación del actuador electromecánico, y ajustar cada actuador electromecánico activado basándose en la activación detectada con el fin de proporcionar un rendimiento constante de la bomba de fluido 104.

Las FIG. 3-11 muestran diferentes gráficos que caracterizan el funcionamiento de una pluralidad de actuadores electromecánicos de un sistema de accionamiento electromecánico para una bomba de fluido, como la bomba de fluido 104 de la FIG. 1, durante diferentes condiciones operativas. En particular, los gráficos ilustrados representan cómo se pueden controlar los actuadores electromecánicos de forma dinámica e individualmente en respuesta a los cambios en las condiciones operativas con el fin de proporcionar un rendimiento constante y minimizar la ondulación.

Las FIG. 3-5 muestran gráficos que caracterizan el funcionamiento del sistema de accionamiento electromecánico para la bomba de fluido cuando los seis canales del actuador electromecánico están activados. La FIG. 3 muestra un gráfico de posición del pistón de la bomba frente a tiempo. Un ciclo de la carrera de la bomba de cada pistón activado de la bomba de fluido se representa mediante un patrón visual diferente (es decir, pistón 1 (P2): línea fija, pistón 2 (P2): línea de puntos, pistón 3 (P3): línea discontinua, pistón 4 (P4): línea discontinua de puntos, pistón 5 (P5): línea discontinua con doble punto, pistón 6 (P6): línea discontinua doble) en el gráfico. Los diferentes pistones de la bomba se accionan siguiendo un orden designado. El orden descrito se aporta a modo de ejemplo, pero los pistones de la bomba pueden accionarse en cualquier orden pertinente. El ciclo de la carrera de la bomba de cada pistón de la bomba incluye una carrera de extensión y una carrera de retracción. Cada carrera de la bomba en el ciclo es lineal, y cada ciclo se repite a un ritmo constante (por ej., 100 ciclos/minuto). Esto indica que cada pistón funciona a una velocidad constante durante la mayor parte de cada carrera del ciclo. Asimismo, el ciclo de cada pistón de la bomba activo está temporalmente espaciado de un ciclo de un pistón de la bomba siguiente en el orden designado conforme a una primera compensación de fase (PO1). En otras palabras, todos los ciclos de los pistones activados están espaciados uniformemente por la misma compensación de fase. Para minimizar la ondulación del rendimiento de la bomba de fluido, la compensación de fase de cada pistón de la bomba es sustancialmente la misma, y el ciclo de carrera de la bomba de cada pistón refleja el ciclo de carrera de la bomba de otro pistón. En otras palabras, un pistón está en una carrera de extensión (moviéndose hacia un pico del ciclo en el gráfico) cuando otro pistón está en una carrera de retracción (moviéndose hacia un valle del ciclo en el gráfico). En el ejemplo ilustrado, la fase de los pistones se establece de manera que dos pistones (por ej., P1, P2) se extienden mientras que otro pistón (por ej., P6) se retrae.

La FIG. 4 muestra un gráfico de velocidad del pistón de la bomba frente a tiempo. Este gráfico ilustra la aceleración y desaceleración de cada pistón de la bomba durante las carreras de extensión y retracción de los ciclos de carrera de la bomba. Los seis pistones de la bomba funcionan conforme al mismo orden designado como se muestra en el gráfico de la FIG. 3. En el ejemplo ilustrado, cada pistón de la bomba produce un flujo de 1 unidad durante una carrera de extensión y cero unidades durante una carrera de retracción. Hay que tener en cuenta que la unidad es arbitraria en este ejemplo y podría ser representativa de cualquier unidad de flujo adecuada. Además, las aceleraciones de los diferentes pistones de la bomba son parejas. En particular, cuando un pistón de la bomba acelera durante una carrera de extensión, otro pistón desacelera durante una carrera de retracción. Esta aceleración emparejada se consigue controlando todos los pistones de la bomba con la misma compensación de fase (PO1), de forma que los ciclos de carrera de la bomba de todos los pistones de la bomba estén espaciados uniformemente.

La FIG. 5 muestra un gráfico del flujo total frente a tiempo. Este gráfico representa el caudal de salida total de la bomba de fluido cuando los seis pistones de la bomba están activados y funcionando según los gráficos de las FIGS. 3 y 4. En particular, el caudal total de la bomba de fluido es constante a 4 unidades. Aunque cada pistón de la bomba activado es capaz de proporcionar 1 unidad de flujo, debido a que los pistones de la bomba se controlan de manera que cuatro pistones de la bomba se extienden cuando dos pistones de la bomba se retraen, sólo salen 4 unidades totales de flujo de la bomba de fluido. Como se ha comentado antes, este esquema de control está implementado para minimizar la ondulación en el rendimiento de la bomba de fluido.

Las FIG. 6-8 muestran unos gráficos que representan el funcionamiento del sistema de accionamiento electromecánico de la bomba de fluido cuando cinco de seis canales del actuador electromecánico están activados. Como se ha

comentado antes, el funcionamiento de la bomba de fluido puede controlarse de esta manera en base a la detección de cualquiera de una variedad de condiciones operativas, incluyendo la degradación de un canal del actuador electromecánico. En el ejemplo ilustrado, el rendimiento real de la bomba de fluido se reduce con respecto al momento en que se activan los seis actuadores electromecánicos. En particular, cada actuador electromecánico se controla para proporcionar el mismo caudal de salida que cuando se activan todos los canales, pero en este caso se activa un pistón de bomba menos. En otras palabras, el tiempo de ciclo para realizar una carrera de la bomba se mantiene en la misma duración. Dicha operación puede representar un esquema de control en el que cada canal del actuador electromecánico funciona a un caudal operativo máximo durante el funcionamiento normal de la bomba de fluido.

La FIG. 6 muestra un gráfico de posición del pistón de la bomba frente a tiempo. En este ejemplo, los pistones de la bomba 1-5 (P1-P5) están activados y el pistón de la bomba 6 está desactivado. Dado que cada pistón de la bomba proporciona el mismo flujo de salida, los pistones de la bomba se extienden a la misma velocidad que cuando se desactivó el pistón de la bomba 6. Para mantener un rendimiento constante de la bomba de fluido con la mínima ondulación, la fase de cada uno de los pistones de la bomba se ajusta individualmente para tener una segunda compensación de fase (PO2) que es mayor (tanto en términos de grados como de tiempo) que la primera compensación de fase (PO1). Además, la ratio entre los tiempos de extensión y retracción (es decir, la velocidad) de uno o más de los actuadores electromecánicos se ajusta individualmente para minimizar la ondulación. En el ejemplo ilustrado, el tiempo de retracción se ajusta de 1/3 del ciclo a 2/5 del ciclo. La fase y la velocidad (por ej., ratio extensión/retracción) de cada uno de los pistones de la bomba se ajustan individualmente para mantener la alineación. En el ejemplo ilustrado, la fase de los pistones se ajusta de tal manera que tres pistones (por ej., P1, P2, P3) se extienden mientras que otros dos pistones (por ej., P4, P5) se retraen.

La FIG. 7 muestra un gráfico de velocidad del pistón de la bomba frente a tiempo. Este gráfico ilustra la aceleración y desaceleración de cada pistón de la bomba activado durante las carreras de extensión y retracción de los ciclos de carrera de la bomba. Como antes, los pistones de la bomba activados se extienden a la misma velocidad, de modo que cada pistón de la bomba produce un flujo de 1 unidad. Además, las velocidades de retracción se ajustan de forma que los distintos pistones de la bomba coincidan.

La FIG. 8 muestra un gráfico del flujo total frente a tiempo. Este gráfico representa el caudal de salida total de la bomba de fluido cuando los cinco pistones de la bomba están activados y funcionando según los gráficos de las FIGS. 6 y 7. En particular, el caudal total de la bomba de fluido es constante a 3 unidades. Aunque cada pistón de la bomba activado es capaz de proporcionar 1 unidad de flujo, debido a que los pistones de la bomba se controlan de manera que tres pistones de la bomba se extienden cuando dos pistones de la bomba se retraen, sólo 3 unidades totales de flujo salen de la bomba de fluido. Como se ha comentado antes, este esquema de control está implementado para minimizar la ondulación en el rendimiento de la bomba de fluido.

Las FIG. 9-11 muestran gráficos que representan el funcionamiento del sistema de accionamiento electromecánico de la bomba de fluido cuando cinco de los seis canales del actuador electromecánico están activados y funcionando colectivamente para proporcionar el mismo rendimiento total que antes de la desactivación del sexto canal. En el ejemplo ilustrado, la velocidad de cada actuador electromecánico se incrementa para proporcionar un mayor rendimiento con respecto al momento en que todos los canales fueron activados para compensar el canal desactivado. En otras palabras, el tiempo de ciclo para realizar una carrera de la bomba se reduce. Dicha operación puede representar un esquema de control en el que cada canal del actuador electromecánico funciona a un caudal inferior que un caudal operativo máximo durante el funcionamiento normal de la bomba de fluido.

La FIG. 9 muestra un gráfico de posición del pistón de la bomba frente a tiempo. En este ejemplo, los pistones de la bomba 1-5 (P1-P5) están activados y el pistón de la bomba 6 está desactivado. Dado que cada pistón de la bomba proporciona un flujo de salida incrementado, los pistones de la bomba activados funcionan a una velocidad mayor que cuando el pistón de la bomba 6 también estaba activado. Además, para mantener un rendimiento constante de la bomba de fluido con la mínima ondulación, la fase de cada uno de los pistones de la bomba se ajusta individualmente para tener una tercera compensación de fase (PO3), que es equivalente a la primera compensación de fase (PO1) en términos de grados. Sin embargo, al reducirse el tiempo de ciclo, la compensación de la tercera fase es menor que la de la primera fase en términos de unidades de tiempo. En el ejemplo ilustrado, la fase de los pistones se ajusta de tal manera que tres pistones (por ej., P1, P2, P3) se extienden mientras que otros dos pistones (por ej., P4, P5) se retraen.

La FIG. 10 muestra un gráfico de velocidad del pistón de la bomba frente a tiempo. Este gráfico ilustra la aceleración y desaceleración de cada pistón de la bomba activado durante las carreras de extensión y retracción de los ciclos de carrera de la bomba. Los pistones de la bomba activada funcionan a mayor velocidad para compensar la pérdida de flujo debida al pistón de la bomba desactivado. En particular, cada pistón de la bomba activado produce un flujo de 1,33 unidades. Además, las aceleraciones de los diferentes pistones de la bomba son parejas.

La FIG. 11 muestra un gráfico del flujo total frente a tiempo. Este gráfico representa el caudal de salida total de la bomba de fluido cuando los cinco pistones de la bomba están activados y funcionando según los gráficos de las FIGS. 9 y 10. En particular, el caudal total de la bomba de fluido es constante a 4 unidades. En este ejemplo, la velocidad de cada uno de los pistones de la bomba se ha aumentado para mantener el mismo caudal de salida total incluso cuando se desactiva un canal de la bomba de fluido. Además, la fase de cada uno de los pistones de bomba activados se ajusta de tal manera que tres pistones de bomba se extienden cuando dos pistones de la bomba se retraen. Como se

ha comentado antes, este esquema de control está implementado para minimizar la ondulación en el rendimiento de la bomba de fluido.

Aunque los ejemplos anteriores describen escenarios en los que se desactiva un solo canal del actuador electromecánico de la bomba de fluido, los conceptos de control son ampliamente aplicables a otros escenarios en los que se desactiva más de un canal del actuador electromecánico de la bomba de fluido.

La FIG. 12 muestra un método de ejemplo 1200 para controlar el funcionamiento de un sistema de accionamiento electromecánico multicanal para una bomba de fluido. Por ejemplo, el método 1200 puede ser realizado por la ECPU 120 que se muestra en la FIG. 1, u otra unidad de control/dispositivo informático. En 1202, el método 1200 incluye determinar un rendimiento objetivo de fluido a bombear por la bomba de fluido. El rendimiento objetivo puede determinarse en función de diversas condiciones operativas y de la retroalimentación de los sensores. En algunos ejemplos, el rendimiento objetivo incluye uno o ambos de un caudal objetivo y una presión del fluido objetivo a bombear por la bomba de fluido. En un ejemplo en el que la bomba de fluido envía fluido a un motor, el rendimiento objetivo se basa al menos en parte en un rendimiento objetivo del motor.

En 1204, el método 1200 incluye controlar individualmente una velocidad y una fase a la que cada actuador electromecánico del sistema de accionamiento electromecánico acciona un pistón correspondiente de la bomba de fluido, de manera que una pluralidad de cilindros de la bomba de fluido bombea colectivamente el fluido de la bomba a un rendimiento real que corresponde al rendimiento objetivo.

En algunas implementaciones, en 1206, el método 1200 puede incluir opcionalmente el control individual de la velocidad y la fase a la que cada actuador electromecánico del sistema de accionamiento electromecánico acciona un pistón correspondiente de la bomba de fluido con el fin de minimizar la ondulación en el rendimiento real. Por ejemplo, la ondulación puede minimizarse controlando individualmente la fase en la que cada actuador electromecánico acciona su pistón correspondiente, de manera que cuando cada pistón está al final de una carrera de extensión, otro pistón está al final de una carrera de retracción.

En 1208, el método 1200 incluye detectar una condición operativa. Por ejemplo, la condición operativa puede determinarse en base al menos a la retroalimentación de los sensores de la bomba de fluido y/o a la retroalimentación de los sensores de otros componentes asociados. En algunos ejemplos, la condición operativa es la desactivación o rendimiento reducido de uno o más de los actuadores electromecánicos y/o de los pistones correspondientes. En algunos ejemplos, se ordena la desactivación o la reducción del rendimiento de uno o más de los actuadores electromecánicos. Por ejemplo, uno o más actuadores electromecánicos pueden desactivarse para reducir el rendimiento total de la bomba de fluido, por ejemplo, durante una condición de ralentí de un motor. En otros ejemplos, la desactivación o el rendimiento reducido de uno o más de los actuadores electromecánicos se debe a la degradación.

En 1210, el método 1200 puede incluir opcionalmente la determinación de un rendimiento objetivo actualizado. El rendimiento objetivo actualizado puede determinarse en base a la condición operativa y/o las capacidades operativas de la bomba de fluido. En algunos ejemplos, el rendimiento objetivo actualizado incluye uno o ambos de un caudal objetivo actualizado y una presión de fluido objetivo actualizada del fluido a bombear por la bomba de fluido.

En 1212, el método 1200 incluye ajustar individualmente la velocidad y/o la fase a la que cada actuador electromecánico activado de la pluralidad de actuadores electromecánicos acciona el pistón correspondiente en base a la condición operativa detectada, de forma que la pluralidad de cilindros bombee colectivamente el fluido desde el depósito de almacenamiento a un caudal real actualizado minimizando así la ondulación en el caudal real actualizado.

En algunas implementaciones, en 1214, el método 1200 puede incluir opcionalmente el ajuste individual de la velocidad y la fase a la que cada actuador electromecánico del sistema de accionamiento electromecánico acciona un pistón correspondiente de la bomba de fluido con el fin de minimizar la ondulación en el rendimiento real. Por ejemplo, la ondulación puede minimizarse controlando individualmente la fase en la que cada actuador electromecánico acciona su pistón correspondiente, de manera que cuando cada pistón está al final de una carrera de extensión, otro pistón está al final de una carrera de retracción. La fase puede determinarse en función de uno o varios factores operativos de la bomba de fluido, incluyendo el solapamiento para compensar la apertura/cierre de la válvula de retención, la velocidad de la bomba y la compresibilidad del fluido.

En algunos ejemplos en los que el rendimiento objetivo actualizado es el mismo que el rendimiento objetivo que se determinó antes de detectar la condición operativa, y donde la condición operativa es la desactivación o el rendimiento reducido de uno o más de los actuadores electromecánicos, la velocidad a la que uno o más de los otros actuadores electromecánicos accionan su pistón correspondiente se incrementa para hacer que el rendimiento real de la bomba de fluido corresponda con el rendimiento objetivo actualizado.

En algunos ejemplos en los que el rendimiento objetivo y el rendimiento objetivo actualizado son diferentes (por ej., el rendimiento objetivo actualizado es menor que el rendimiento objetivo), y donde la condición operativa es la desactivación o el rendimiento reducido de uno o más de los actuadores electromecánicos, la velocidad a la que uno o más de los otros actuadores electromecánicos accionan su pistón correspondiente se reduce o se mantiene a la misma velocidad para hacer que el rendimiento real de la bomba de fluido corresponda con el rendimiento objetivo actualizado. Por ejemplo, los actuadores electromecánicos pueden controlarse previamente a una velocidad máxima de funcionamiento, y en respuesta a la detección de la condición operativa en la que uno o más de los actuadores

electromecánicos se ha desactivado, los restantes actuadores electromecánicos activados pueden mantenerse a la misma velocidad máxima de funcionamiento. Además, la fase de uno o más de los actuadores electromecánicos activados puede ajustarse para minimizar la ondulación en el rendimiento real de la bomba de fluido.

- 5 El método anterior puede ejecutarse para proporcionar un control altamente granular de la bomba de fluido proporcionando al mismo tiempo un rendimiento constante con una mínima ondulación en condiciones operativas que varían dinámicamente.

- 10 Se entenderá que las configuraciones y/o enfoques aquí descritos son de naturaleza ejemplar, y que estas realizaciones o ejemplos específicos no deben considerarse en un sentido limitativo, ya que son posibles numerosas variaciones. Las rutinas o métodos específicos aquí descritos pueden representar una o más de cualquier número de estrategias de procesamiento. Así pues, se pueden realizar varios actos ilustrados y/o descritos en la secuencia ilustrada y/o descrita, en otras secuencias, en paralelo, u omitirse. Del mismo modo, se puede cambiar el orden de los procesos descritos.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de accionamiento electromecánico para una bomba de fluido (104) que tiene una pluralidad de cilindros (106), cada cilindro (106) incluye un pistón (108) operable para oscilar dentro del cilindro (106) para provocar el bombeo de fluido, que comprende: una pluralidad de actuadores electromecánicos (114), cada actuador electromecánico (114) está configurado para acoplarse operativamente con un pistón (108) de la bomba de fluido (104); y un sistema de control (120) conectado eléctricamente a la pluralidad de actuadores electromecánicos (114) y configurado para: (1) determinar un rendimiento objetivo del fluido a bombear por la bomba de fluido (104); 2) controlar individualmente una velocidad y una fase a la que cada actuador electromecánico (114) de la pluralidad de actuadores electromecánicos (114) acciona el pistón correspondiente (108) de la bomba de fluido (104), de manera que la pluralidad de cilindros (106) bombeen colectivamente el fluido a un rendimiento real que corresponde al rendimiento objetivo; y (3) en respuesta a la detección de una condición operativa en la que uno o más de los actuadores electromecánicos (114) y/o pistones correspondientes (108) están desactivados o tienen un rendimiento reducido, ajustar individualmente la velocidad y/o la fase en la que uno o más de los otros actuadores electromecánicos (114) accionan el pistón correspondiente (108) basándose en la condición operativa, para hacer que el rendimiento real de la bomba de fluido (104) corresponda a un rendimiento objetivo actualizado.
2. El sistema de accionamiento electromecánico de la reivindicación 1, donde el rendimiento objetivo y el rendimiento objetivo actualizado incluyen uno o ambos de un caudal y una presión del fluido a bombear por la bomba de fluido (104).
3. El sistema de accionamiento electromecánico de la reivindicación 2, donde la condición operativa incluye que uno o ambos del caudal y la presión del fluido bombeado por la bomba de fluido (104) varíen en más de un umbral.
4. El sistema de accionamiento electromecánico de la reivindicación 1, donde el rendimiento objetivo actualizado es el mismo que el rendimiento objetivo, y donde en respuesta a la detección de la desactivación o el rendimiento reducido de uno o más de los actuadores electromecánicos (114), el sistema de control (120) está configurado para aumentar individualmente la velocidad a la que uno o más de los otros actuadores electromecánicos (114) acciona su correspondiente pistón (108) para hacer que el rendimiento real de la bomba de fluido (104) corresponda con el rendimiento objetivo actualizado.
5. El sistema de accionamiento electromecánico de la reivindicación 1, donde el rendimiento objetivo actualizado es inferior al rendimiento objetivo, y donde la desactivación o el rendimiento reducido de uno o más de los actuadores electromecánicos (114) es ordenada por el sistema de control (120).
6. El sistema de accionamiento electromecánico de la reivindicación 1, donde la velocidad a la que se controla cada actuador electromecánico (114) es tal que el rendimiento real que corresponde al rendimiento objetivo es una velocidad máxima operativa de cada actuador electromecánico (114), y donde el sistema de control (120) está configurado para, en respuesta a la detección de la condición operativa, ajustar individualmente la fase de uno o más de los otros actuadores electromecánicos (114) y una ratio entre el tiempo de extensión del pistón y el tiempo de retracción del pistón dentro de un ciclo, manteniendo al mismo tiempo el uno o más de los otros actuadores electromecánicos (114) a la máxima velocidad operativa.
7. El sistema de accionamiento electromecánico de la reivindicación 1, donde la condición operativa incluye una indicación de que uno o más actuadores electromecánicos (114) y/o los correspondientes pistones (108) se están degradando.
8. El sistema de accionamiento electromecánico de la reivindicación 1, donde el sistema de control (120) está configurado para minimizar la ondulación en el rendimiento real mediante el control individual de la fase en la que cada actuador electromecánico (114) acciona su correspondiente pistón (108), de manera que cuando cada pistón (108) está al final de una carrera de extensión, otro pistón (108) está al final de una carrera de retracción, y donde la fase se determina en base a uno o más factores operativos de la bomba de fluido (104).
9. Un Método de control de un sistema de accionamiento electromecánico para una bomba de fluido (104) que tiene una pluralidad de cilindros (106), cada cilindro (106) incluye un pistón (108) operable para oscilar dentro del cilindro (106) para provocar el bombeo de fluido, y el sistema de accionamiento electromecánico incluye una pluralidad de actuadores electromecánicos (114), cada actuador electromecánico (114) está configurado para acoplarse operativamente con un pistón (108) de la bomba de fluido (104), el método comprende: determinar un rendimiento objetivo del fluido a bombear por la bomba de fluido (104); controlar individualmente una velocidad y una fase a la que cada actuador electromecánico (114) de la pluralidad de actuadores electromecánicos (114) acciona el pistón correspondiente (108) de la bomba de fluido (104), de manera que la pluralidad de cilindros (106) bombeen colectivamente fluido a un rendimiento real que corresponde al rendimiento objetivo; y en respuesta a la detección de una condición operativa en la que uno o más de los actuadores electromecánicos (114) y/o los pistones correspondientes (108) están desactivados o tienen un rendimiento reducido, ajustar individualmente la velocidad y/o la fase en la que uno o más de los actuadores electromecánicos (114) accionan el pistón correspondiente (108) en función de la condición operativa, para hacer que el rendimiento real de la bomba de fluido (104) corresponda con un rendimiento objetivo actualizado.

10. El método de la reivindicación 9, donde el rendimiento objetivo y el rendimiento objetivo actualizado incluyen uno o ambos de un caudal y una presión del fluido a bombear por la bomba de fluido (104), y donde la condición operativa incluye uno o ambos del caudal y la presión del fluido a bombear por la bomba de fluido (104) variando en más de un umbral.
- 5 11. El método de la reivindicación 9, donde el rendimiento objetivo actualizado es el mismo que el rendimiento objetivo, y donde en respuesta a la detección de la desactivación o reducción del rendimiento de uno o más de los actuadores electromecánicos (114), el método comprende además aumentar individualmente la velocidad a la que uno o más de los otros actuadores electromecánicos (114) acciona su correspondiente pistón (108) para provocar que el rendimiento real de la bomba de fluido (104) corresponda con el rendimiento objetivo actualizado.
- 10 12. El método de la reivindicación 9, donde la condición operativa incluye una indicación de que uno o más actuadores electromecánicos (114) y/o los correspondientes pistones (108) se están degradando.
- 15 13. El método de la reivindicación 9, donde el método comprende además minimizar la ondulación en el rendimiento real controlando individualmente la fase en la que cada actuador electromecánico (114) acciona su correspondiente pistón (108), de manera que cuando cada pistón (108) está al final de una carrera de extensión, otro pistón (108) está al final de una carrera de retracción, y donde la fase se determina basándose en uno o más factores operativos de la bomba de fluido (104).

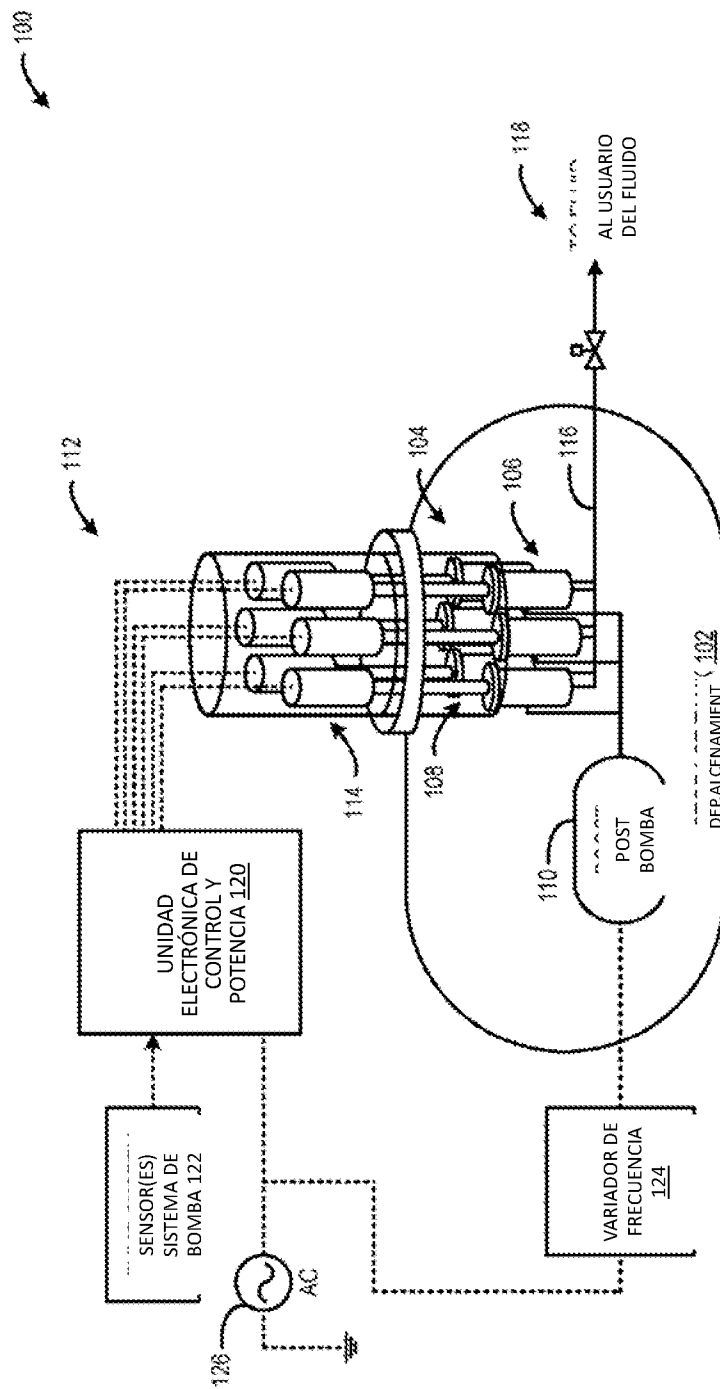


FIG. 1

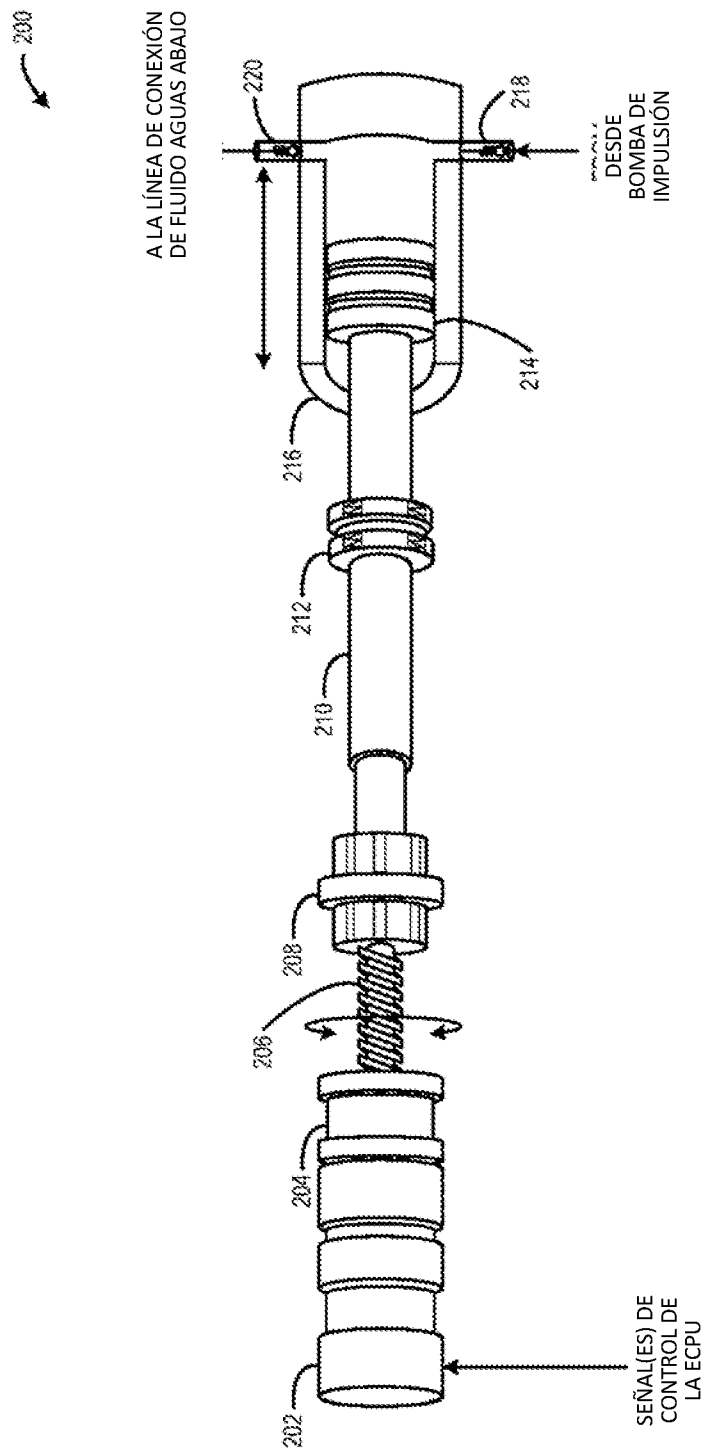


FIG. 2

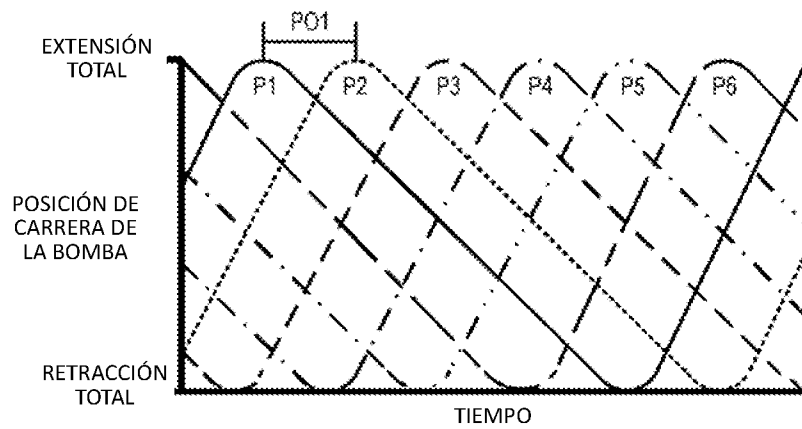


FIG. 3

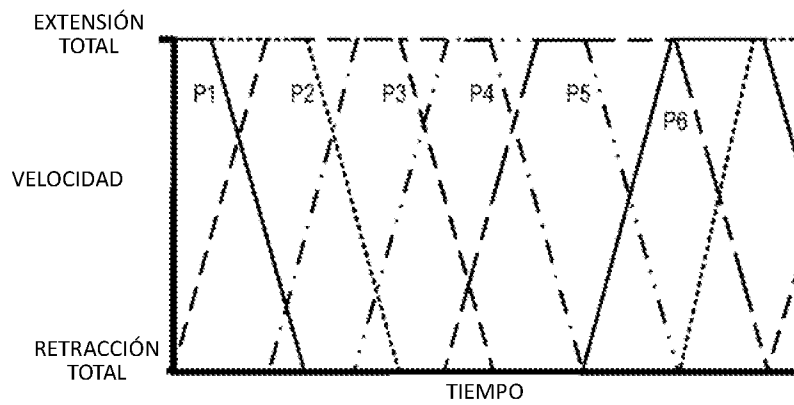


FIG. 4

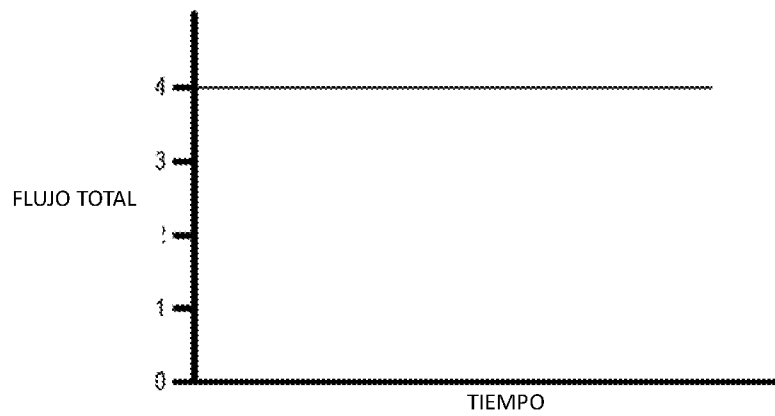


FIG. 5

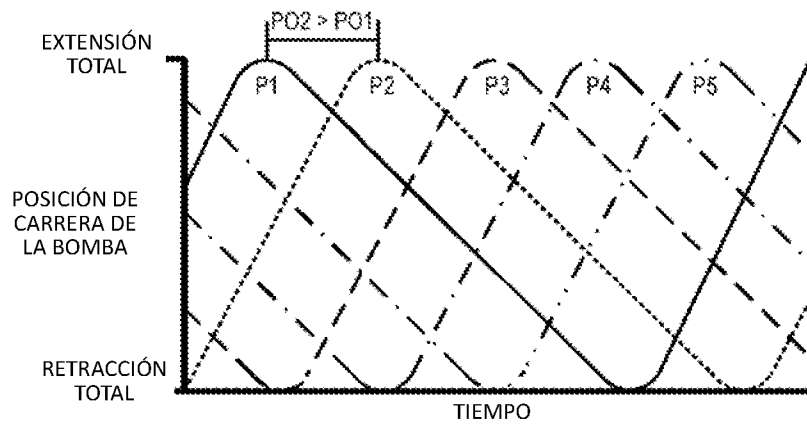


FIG. 6

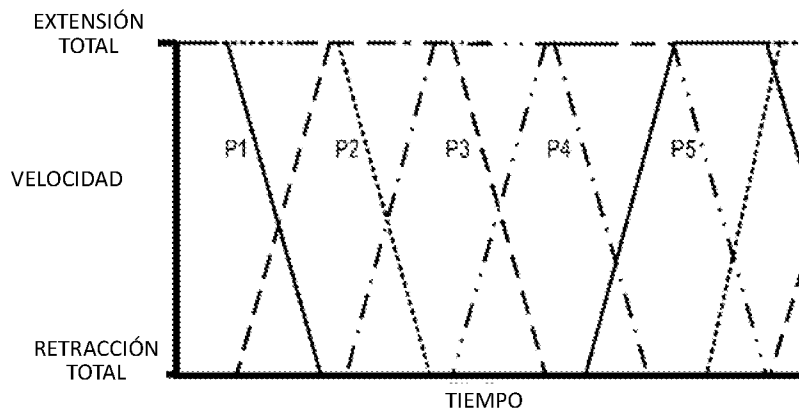


FIG. 7

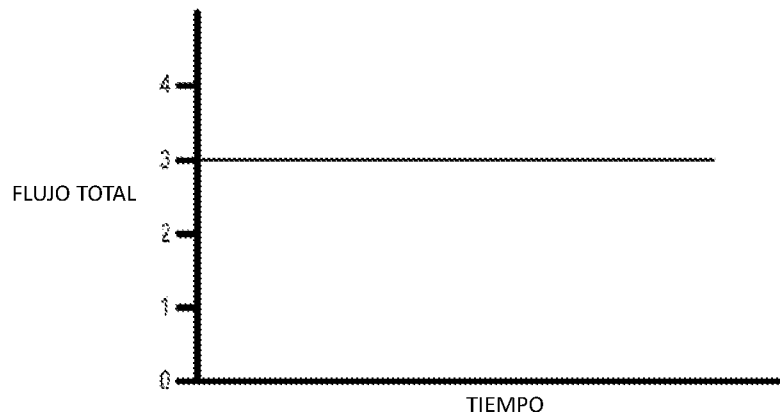
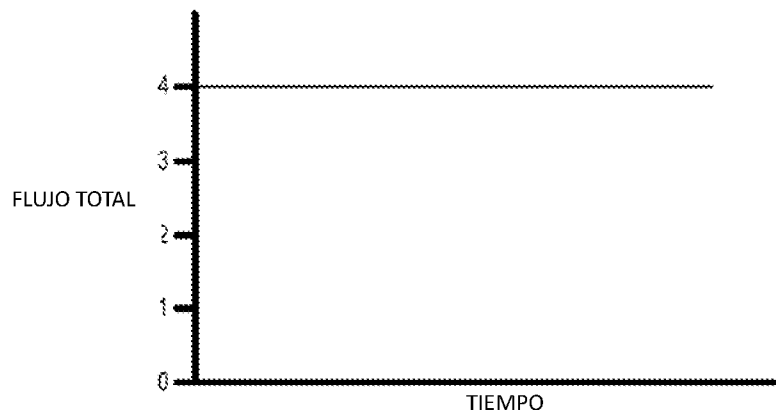
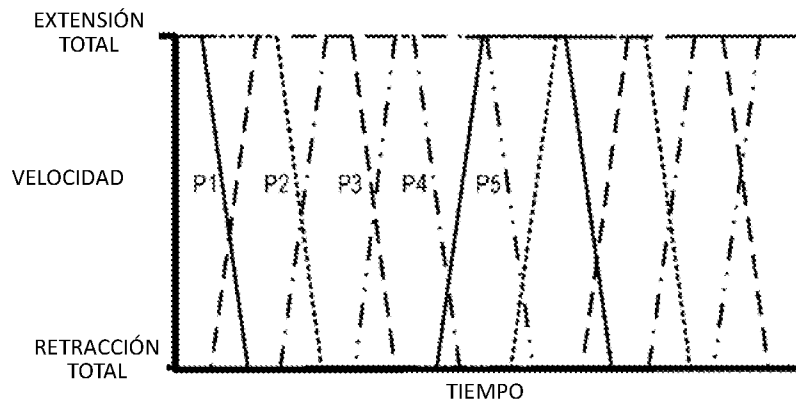
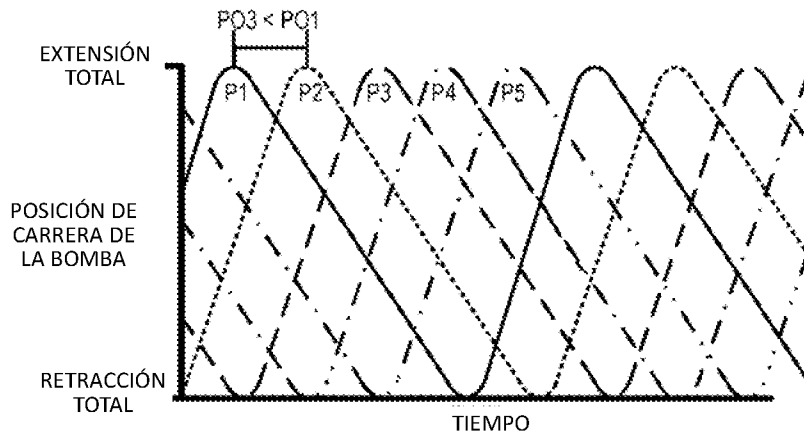


FIG. 8



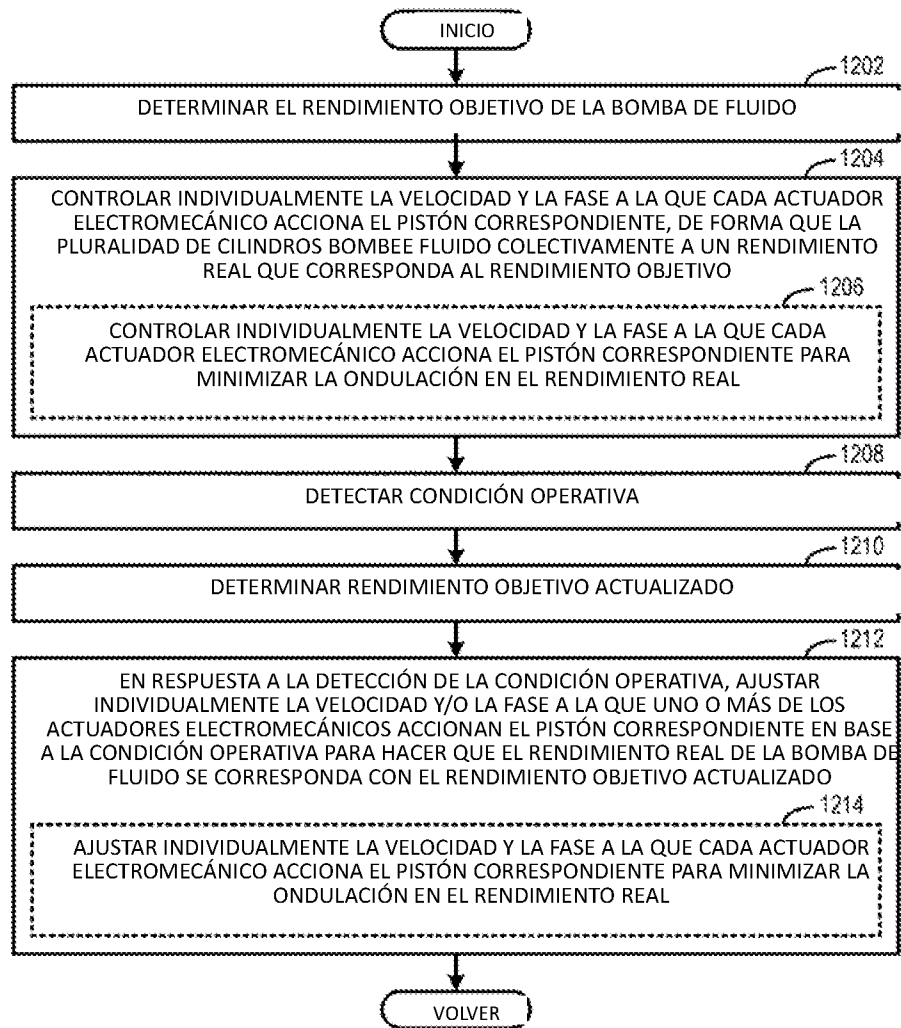


FIG. 12