

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 972 201**

51 Int. Cl.:

F03B 3/10 (2006.01)

F03B 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.03.2018 PCT/EP2018/056600**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.09.2018 WO18167240**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2018 E 18715505 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.12.2023 EP 3596334**

54 Título: **Método para operar una máquina hidráulica y la instalación correspondiente para convertir la energía hidráulica en energía eléctrica**

30 Prioridad:

17.03.2017 EP 17290040

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

11.06.2024

73 Titular/es:

**GE RENEWABLE TECHNOLOGIES (100.0%)
82 avenue Léon Blum
38100 Grenoble, FR**

72 Inventor/es:

**ALLOIN, QUENTIN;
FOGGIA, THEOPHANE y
GUILLAUME, RENAUD**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 972 201 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

Método para operar una máquina hidráulica y la instalación correspondiente para convertir la energía hidráulica en energía eléctrica

5 La invención se refiere a un método para operar una máquina hidráulica. En particular, la invención se refiere a un método para operar una máquina hidráulica con el fin de controlar las transiciones entre los modos de operación de la máquina.

10 La invención también se refiere a una instalación para convertir energía hidráulica en energía eléctrica, en la cual se puede implementar dicho método.

En una realización, la invención se refiere a un método para controlar la operación de plantas hidroeléctricas que tienen una bomba-turbina.

15 Las plantas hidroeléctricas que tienen una turbina bomba pueden operar en (i) un modo de turbina en el que la energía hidráulica se utiliza para hacer girar un eje acoplado a un generador para convertir la energía mecánica del eje giratorio en energía eléctrica; o (ii) un modo de bomba en el que la energía eléctrica impulsa la turbina bomba que bombea agua hacia un volumen de almacenamiento elevado, como un embalse. El agua almacenada puede ser utilizada en un momento posterior para alimentar la turbina de la bomba en modo de turbina.

20 Las máquinas hidráulicas en modo de turbina pueden tener varios estados de funcionamiento y transiciones de modo de funcionamiento correspondientes, específicamente, un modo de parada o un modo de funcionamiento sin carga de velocidad.

25 Durante el arranque en modo de turbina, la máquina hidráulica se acelera utilizando un par hidráulico aplicado a un rodete. El rodete comprende aspas que son impulsadas por el flujo del agua. El corredor está acoplado a un eje que hace girar un generador.

30 El par hidráulico se aplica por primera vez desde la apertura de una válvula de entrada principal montada dentro de una tubería hidráulica aguas arriba de la máquina. La máquina comienza a girar cuando se activan partes controlables, como válvulas de guía, inyectores o una hélice de paso controlable.

35 La secuencia de arranque de una máquina hidráulica en modo de turbina comprende varios pasos. Específicamente, un primer paso en el que la válvula de entrada principal comienza a abrirse; una rampa de aceleración en la que la máquina se acelera; un paso de acoplamiento de la máquina a la red; y un paso de entrada de carga. El acoplamiento se logra típicamente cerrando un disyuntor principal de circuito.

40 Existe la necesidad de reducir la duración de la secuencia de arranque de la máquina hidráulica en modo turbina. Se puede hacer referencia a la Publicación de la Solicitud de Patente Internacional Número WO 2005/073550, la cual divulga un método y un dispositivo para iniciar una turbina de bomba utilizando un convertidor de arranque y un par hidráulico para acelerar la máquina hasta una velocidad objetivo.

45 Sin embargo, todavía existe la necesidad de reducir el tiempo transitorio durante las transiciones entre el modo de bomba y el modo de turbina.

50 La Publicación de la Solicitud de Patente Europea Número EP 2 818 692 A1 divulga un sistema en el cual se compara la velocidad de rotación de una bomba-turbina con una velocidad de rotación óptima. El sistema está diseñado para funcionar en modo de bomba o en modo de turbina, pero no describe cómo hacer la transición entre esos modos.

55 La invención propone, por lo tanto, un método para operar una máquina hidráulica de acuerdo con la reivindicación 1 adjunta. La máquina hidráulica puede incluir una máquina eléctrica fija de velocidad o una máquina eléctrica de doble alimentación variable.

El par eléctrico se utiliza para acelerar o desacelerar la máquina, lo que permite reducir el tiempo transitorio entre los modos de bomba y turbina.

60 En consecuencia, la invención proporciona ventajosamente un par eléctrico positivo o negativo, específicamente, un par motor o un par de frenado, a la máquina para aumentar o reducir la velocidad de rotación de la máquina y alcanzar la velocidad de rotación objetivo.

65 De acuerdo con otra característica preferida del método, el par eléctrico puede ser proporcionado por un sistema de retroalimentación de bucle de control que tiene un bucle de control que comprende una fuente de energía eléctrica y preferiblemente un controlador. El controlador está preferentemente dispuesto para controlar la fuente de energía

eléctrica de manera que se reduzca la diferencia de velocidad entre la velocidad de rotación medida de la máquina y la velocidad de rotación objetivo.

5 El método puede comprender el cálculo de una diferencia de velocidad entre la velocidad de rotación de la máquina hidráulica y la velocidad de rotación objetivo. El método puede comprender orientar un distribuidor de acuerdo con una orientación. El método puede comprender aplicar un par eléctrico a la máquina correspondiente a la diferencia de velocidad.

10 En una realización preferente de la invención, la potencia eléctrica y/o el par eléctrico pueden ser proporcionados por un variador de frecuencia variable. El variador de frecuencia variable puede estar conectado a una red eléctrica y preferiblemente a un alternador de la máquina hidráulica. El variador de frecuencia variable puede ser un convertidor de frecuencia estático. El convertidor de frecuencia estática puede ser un inversor de fuente de tensión o un inversor de fuente de corriente.

15 De acuerdo con la invención, se suministra energía eléctrica utilizando una batería conectada al alternador de la máquina hidráulica. La energía eléctrica es proporcionada por una unidad de conversión de potencia que puede convertir corriente continua en corriente alterna (CC/CA).

20 En otra realización, el par eléctrico puede ser proporcionado utilizando tanto un variador de frecuencia variable conectado a la red como a un alternador de la máquina hidráulica, y una batería conectada al alternador.

25 El método comprende acoplar la máquina hidráulica a una red. El paso de acoplar la máquina hidráulica a la red comprende abrir un disyuntor del par eléctrico entre la fuente de par eléctrico y la máquina. El paso de acoplar la máquina hidráulica a la red puede incluir cerrar un disyuntor de la red entre la máquina y la red.

La diferencia de velocidad puede ser procesada para calcular la orientación del distribuidor. El método puede comprender procesar la diferencia de velocidad y emitir un punto de ajuste de control de orientación. El punto de ajuste de control de orientación puede ser recibido por un actuador para orientar el distribuidor.

30 La diferencia de velocidad puede ser procesada por un controlador de par eléctrico. El par eléctrico puede ser proporcionado por una fuente de energía eléctrica para reducir la diferencia de velocidad.

35 El par eléctrico es proporcionado por una batería. La fuente de energía eléctrica puede estar conectada a una red eléctrica.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona una instalación para convertir energía hidráulica en energía eléctrica según la reivindicación 6.

40 De acuerdo con una característica adicional de esta instalación, dicho aparato para aplicar un par eléctrico al rotor puede comprender un sistema de retroalimentación de bucle de control. El sistema de retroalimentación del bucle de control puede incluir un bucle de control que tiene una fuente de energía eléctrica y preferiblemente un controlador para controlar el par eléctrico aplicado a la máquina hidráulica. El par eléctrico puede aplicarse a la máquina para que el rotor alcance una velocidad de rotación objetivo.

45 La máquina hidráulica puede incluir un distribuidor adaptado para modificar el flujo de agua.

La instalación puede incluir un bucle de control adicional dispuesto para calcular una orientación del distribuidor y orientar el distribuidor de acuerdo con la orientación calculada.

50 La instalación puede además comprender un aparato de control dispuesto para emitir un punto de ajuste de orientación.

55 El aparato de control puede estar dispuesto para procesar una diferencia de velocidad entre la velocidad de rotación de la máquina hidráulica y la velocidad de rotación objetivo.

El bucle de control adicional puede incluir un actuador dispuesto para orientar el distribuidor. El actuador puede ser dispuesto para orientar el distribuidor de acuerdo con una orientación que puede corresponder a una orientación óptima del distribuidor.

60 El bucle de control puede incluir una fuente de energía eléctrica dispuesta para proporcionar el par eléctrico a la máquina y reducir la diferencia de velocidad. La instalación puede incluir un disyuntor de fuente eléctrica entre la fuente de energía eléctrica y la máquina.

65 La instalación puede incluir un interruptor de red entre la máquina y una red eléctrica.

La fuente de energía eléctrica puede incluir un variador de frecuencia variable que puede estar conectado a una red eléctrica y preferiblemente al alternador de la máquina hidráulica. La fuente de energía eléctrica comprende una batería. La batería está conectada a un alternador de la máquina hidráulica.

5 El aparato de control puede estar configurado para emitir un punto de ajuste de par eléctrico. El aparato de control puede incluir un controlador de consigna de par eléctrico para generar la consigna de par eléctrico.

Otras características y ventajas se harán evidentes a partir de la siguiente descripción, dada únicamente a modo de ejemplo, en vista de los dibujos anteriores, en los cuales:

- 10
- La Figura 1 es una sección esquemática de una instalación para convertir la energía hidráulica en energía eléctrica que comprende una bomba-turbina;
 - La Figura 2 es un esquema de control que ilustra un método de acuerdo con la invención para reducir el tiempo de arranque de la instalación;
 - La Figura 3 es un dibujo esquemático que ilustra la unidad de accionamiento de frecuencia variable y las conexiones de energía existentes entre ésta, la red eléctrica y la bomba-turbina;
 - 20 - La Figura 4 es un dibujo esquemático que ilustra otra realización de la invención que incluye una batería, una unidad de conversión de energía de CC/CA y las conexiones existentes entre ellos, la red eléctrica y la bomba-turbina;
 - La Figura 5 es un gráfico que representa la velocidad de rotación de la máquina, trazada en función del tiempo, en un modo de turbina de una bomba-turbina de la instalación de la Figura 1, en donde el gráfico ilustra la secuencia de transición entre los modos de funcionamiento de la bomba y la turbina; y
 - 25 - La Figura 6 muestra un gráfico, a una escala mayor, que muestra la velocidad de rotación de la máquina, representada en función del tiempo, durante la fase de sincronización de la máquina.

30 Se hace referencia por primera vez a la figura 1 que representa una instalación 1 para convertir energía hidráulica en energía eléctrica, en la cual la instalación 1 incluye una máquina hidráulica 2. En el ejemplo ilustrado, esta máquina hidráulica es una bomba-turbina 2 que utiliza, en modo de turbina, energía hidráulica para hacer girar un eje 3. El eje 3 está acoplado al rotor de un generador (no mostrado) que tiene un alternador que convierte la energía mecánica del rotor giratorio para producir energía eléctrica.

35 En modo de bomba, el generador es alimentado por energía eléctrica suministrada por una red eléctrica, que a su vez impulsa la bomba-turbina 2 para bombear agua a una elevación más alta. Convirtiendo así la energía eléctrica en energía potencial.

40 En un aspecto de la invención, el generador de la máquina hidráulica es una máquina de velocidad fija. Alternativamente, la máquina hidráulica puede ser una máquina eléctrica de doble alimentación, específicamente, una máquina de velocidad variable en la que el generador comprende devanados trifásicos dispuestos en el rotor y el estator, y un convertidor de fuente de tensión para controlar las corrientes del rotor.

45 A continuación, se describe el funcionamiento de la bomba-turbina 2 en el modo de turbina. La bomba-turbina 2 incluye una voluta 4 que está soportada por bloques de concreto 5 y 6. Por ejemplo, una tubería de carga no representada se extiende entre un embalse aguas arriba no representado y la voluta 4. Esta tubería de carga genera un flujo de agua forzado F para alimentar la máquina 2.

50 La máquina 2 incluye un rodete 7 acoplado al eje 3 que está rodeado por la voluta 4 y que incluye aspas 8 entre las cuales fluye agua en condiciones de funcionamiento. Como resultado, el rodete 7 gira alrededor de un eje x-x' del eje.

55 Se dispone un distribuidor alrededor del rodete 7. Incluye una pluralidad de álabes guía móviles 9 que están distribuidos de manera uniforme alrededor del rodete 7. Se dispone un predistribuidor aguas arriba y alrededor del distribuidor. En la realización ilustrada en la que la máquina hidráulica es una bomba-turbina, el predistribuidor está formado por una pluralidad de álabes guía fijos 10 distribuidos uniformemente alrededor del eje de rotación x-x' del rodete 7.

60 Un tubo de succión 11 se encuentra debajo del rodete 7 y está diseñado para evacuar agua aguas abajo.

65 Los álabes guía 9 del distribuidor tienen cada uno un ángulo de paso ajustable alrededor de un eje paralelo al eje de rotación x-x' del rodete 7. En consecuencia, las aletas guía 9 pueden girarse para regular el caudal de agua. Los álabes guía 9 están todas orientadas con el mismo ángulo relativo a una posición cerrada y se abren durante el arranque.

Como se indicó anteriormente, existe la necesidad de reducir el tiempo transitorio de las transiciones entre el modo de bomba y el modo de turbina.

5 Ahora se hace referencia a la figura 2, que ilustra un esquema de control de una instalación hidráulica que permite controlar las transiciones entre el modo de bomba y el modo de turbina.

10 Como se ilustra, el método de acuerdo con la invención se implementa mediante un sistema de retroalimentación de bucle de control 20. El sistema de retroalimentación del bucle de control 20 comprende un primer bucle de control 22 para regular la velocidad de rotación de la máquina alrededor de una velocidad de rotación objetivo N_{sp} utilizando un par hidráulico y un segundo bucle de control 25 para regular la velocidad de rotación de la máquina alrededor de la velocidad de rotación objetivo N_{sp} utilizando un par eléctrico.

15 Por ejemplo, la velocidad de rotación de la turbina puede determinarse midiendo la frecuencia del generador eléctrico acoplado al eje 3.

20 El primer bucle de control 22 comprende un primer controlador de álabes guía 23 que toma como entrada una diferencia de velocidad ϵ entre una velocidad de rotación N de la máquina hidráulica y la velocidad de rotación objetivo N_{sp} , y un actuador de álabes guía 24. El primer controlador 23 emite una señal de control de orientación y_{sp} al actuador de las paletas guía 24 para afectar en consecuencia la orientación de las paletas guía y .

25 El primer controlador 23 procesa la diferencia de velocidad ϵ y emite un punto de ajuste de control de orientación y_{sp} al actuador de la paleta guía 24. El punto de ajuste del control de orientación y_{sp} corresponde a la orientación óptima de la paleta guía y para estabilizar la máquina hidráulica. El actuador de las aletas guía 24 orienta las aletas guía de acuerdo con la orientación óptima y .

El controlador de álabes guía 23 puede ser, por ejemplo, un controlador Proporcional Integral Derivativo (PID).

30 El segundo bucle de control 25 comprende un controlador de par eléctrico 26 que toma como entrada la diferencia de velocidad ϵ entre la velocidad de rotación N de la máquina hidráulica y la velocidad de rotación objetivo N_{sp} para generar un punto de ajuste de par eléctrico $Telec_{sp}$.

35 El sistema de retroalimentación del bucle de control 20 también comprende una fuente de energía eléctrica 270 que afecta en consecuencia al par eléctrico $Telec$ proporcionado al rotor.

En otra realización de la invención, un único controlador principal está configurado para realizar las funciones del controlador de álabes guía 23 y/o del controlador de par eléctrico 26.

40 El punto de ajuste del par eléctrico se calcula por el controlador 26 para acelerar o desacelerar la velocidad de rotación de la máquina y reducir o eliminar la diferencia de velocidad ϵ .

En una realización, el segundo controlador 26 es un controlador de variador de frecuencia variable, como un controlador de convertidor de frecuencia estático (SFC).

45 La fuente de energía eléctrica 270 puede ser un variador de frecuencia variable (VFD) 27, por ejemplo, un convertidor de frecuencia estático. El convertidor de frecuencia estática puede ser un inversor de fuente de tensión o un inversor de fuente de corriente. El variador de frecuencia variable está conectado a una red de distribución eléctrica y controlado por el controlador del variador de frecuencia variable 26 para proporcionar un par eléctrico positivo o negativo al generador.

50 Por ejemplo, el convertidor de frecuencia estática puede incluir una etapa rectificadora conectada a la red para producir corriente continua y una etapa inversora para la conversión de tensión y frecuencia.

55 La Figura 3 ilustra una realización de la invención en la que el variador de frecuencia variable 27 proporciona un par eléctrico a la máquina bomba-turbina 2. Un disyuntor 28 conecta el variador de frecuencia variable 27 con la máquina 2. Cuando el disyuntor 28 está en posición cerrada, el variador de frecuencia variable 27 proporciona el par eléctrico a la máquina 2. Al mismo tiempo, un disyuntor principal 30 ubicado entre la máquina 2 y la red 34 se encuentra en posición abierta. El variador de frecuencia variable 27 es alimentado por la red 34 a través de un transformador de CA 33 y un cable VFD 32.

60 Una vez que la velocidad de rotación de la máquina 2 se estabiliza, se igualan las frecuencias en cada lado del disyuntor principal 30. Una vez que se haya logrado la igualdad, se realiza la conexión de la máquina 2 a la red 34 cerrando el interruptor principal 30 y abriendo el interruptor 28. La energía se suministra directamente a la red 34 a través de la línea 31 durante la operación de generación.

65

El variador de frecuencia variable 27 puede incluir celdas de conmutación que utilizan diodos y transistores como interruptores y controlados por el controlador SFC 26 para producir el par eléctrico deseado.

5 El par eléctrico proporcionado por el segundo bucle 25 se utiliza para cooperar con el par hidráulico del primer bucle y reducir el tiempo transitorio entre el modo de bomba y el modo de turbina.

La Figura 4 ilustra una forma alternativa de proporcionar un par eléctrico a la máquina 2. Las características encontradas en la Figura 4 conservan los números de referencia encontrados en la Figura 3.

10 En esta otra realización alternativa se utiliza una batería 35 en lugar del variador de frecuencia variable 27. Una unidad de conversión de CC/CA 36 suministra la energía eléctrica de la batería 35 a la máquina 2 a través del interruptor automático 28. Cuando la batería 35 suministra la energía eléctrica a la máquina 2, el disyuntor 28 está en posición cerrada y un disyuntor principal 30 está en posición abierta.

15 Una vez que la velocidad de la bomba-turbina 2 se estabiliza, las frecuencias en cada lado del disyuntor principal 30 son iguales. Esto permite la conexión de la máquina 2 a la red 34, lo cual se logra cerrando el disyuntor principal 30 y abriendo el interruptor del circuito 28. La potencia se suministra directamente a la red 34 a través de la línea 31 y el transformador de CA 33 en la operación de generación.

20 De acuerdo con otra realización de la invención, el segundo bucle de control 25 comprende un variador de frecuencia variable gobernado por un controlador VFD y una batería gobernada por un controlador de batería. La batería está conectada en paralelo al variador de frecuencia variable para proporcionar al generador de la máquina un par eléctrico para ajustar la velocidad de rotación de la máquina. Preferentemente, la batería puede ser cargada por la red eléctrica.

25 La batería puede incluir una etapa de control interna conectada al controlador 26 para proporcionar al generador de la máquina un par eléctrico positivo o negativo para ajustar la velocidad de rotación de la máquina al valor de velocidad objetivo.

30 Ahora se hace referencia a las figuras 5 y 6 que ilustran las ventajas de la invención durante una transición de modo de bomba a modo de turbina.

35 En las figuras 5 y 6, la curva C1 corresponde a una transición del modo de bomba al modo de turbina utilizando el primer lazo de control 22, de modo que la máquina se acelera utilizando el par hidráulico; y la curva C2 corresponde a una transición del modo de bomba al modo de turbina en la que la máquina se acelera utilizando el par hidráulico y el par eléctrico de los primer y segundo lazos de control.

40 Las figuras 5 y 6 ilustran la variación de la velocidad de rotación de la máquina representada en función del tiempo. La Figura 6 representa la variación de la velocidad de rotación de la máquina a una escala mayor, en comparación con la Figura 5.

45 La transición comienza cuando se recibe una orden de inicio en el instante t_1 para pasar del modo de bomba al modo de turbina. El período de transición 29 es el tiempo que se tarda en pasar del modo de bomba al modo de turbina. La orden de inicio provoca que el interruptor principal 30 se abra, de modo que ya no se suministra energía eléctrica al generador para bombear agua a una elevación más alta.

Cuando la energía eléctrica ya no se suministra al generador, la gravedad actúa para frenar y revertir el flujo de agua a través de la máquina. El resultado de esta acción se ilustra mediante la curva C1.

50 Como se ilustra, la máquina hidráulica se acelera hasta que la velocidad de rotación se encuentre dentro de un rango de acoplamiento 21 (figura 6). Además, cuando la velocidad de rotación se encuentra dentro del rango de acoplamiento 21, se lleva a cabo una fase de estabilización para eliminar las oscilaciones en la velocidad de rotación alrededor de la zona de acoplamiento.

55 Como se muestra en la figura 6, cuando el disyuntor principal 30 se abre y la máquina se desacelera del modo de bomba y se acelera al modo de turbina solo mediante un par hidráulico, la velocidad de rotación alcanza la zona de acoplamiento 21 aproximadamente a los 22 segundos después de recibir la orden de inicio.

60 La curva C2 muestra la velocidad de rotación a lo largo del tiempo cuando la máquina es sometida a un par hidráulico y un par eléctrico de acuerdo con la invención. Como se puede observar, la velocidad de rotación puede alcanzar la zona de acoplamiento aproximadamente 18 segundos después de haber recibido la orden de inicio.

Desacelerar y revertir la máquina utilizando los primer y segundo bucles de control, específicamente, el par eléctrico y el par hidráulico aplicados a la máquina, reduce el tiempo necesario para acoplar la turbina de la bomba a la red.

65

La máquina solo puede acoplarse a la red en modo de turbina cuando la curva C1, C2 se mantenga dentro de la zona de acoplamiento.

5 En este ejemplo específico, utilizando el aceleramiento asistido por variador de frecuencia variable, la máquina puede acoplarse a la red 28 segundos después de recibir la orden de inicio. Esto contrasta con el método de torque hidráulico de la técnica anterior en el que la máquina solo puede estar conectada a la red 46 segundos después de haber recibido la orden de inicio.

10 Como se explicó anteriormente, el método de acuerdo con la invención puede comprender un paso de suministrar un par eléctrico a la máquina para alcanzar una velocidad de rotación objetivo.

15 Las realizaciones mencionadas anteriormente no tienen la intención de limitar el alcance de las reivindicaciones adjuntas. Además, las características de una o más de las realizaciones anteriores pueden combinarse fácilmente con una o más características de otra realización. También se contempla por parte de los inventores que se pueden realizar diversas sustituciones, alteraciones y modificaciones a la invención sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para operar una máquina hidráulica (2) para controlar una transición entre un modo de bomba de la máquina (2) a un modo de turbina de la máquina (2), en donde el método comprende proporcionar un par hidráulico y un par eléctrico a la máquina hidráulica (2) para controlar la velocidad de rotación de la máquina (2) durante la transición, en donde el método comprende acoplar la máquina hidráulica (2) a una red (34), el paso de acoplar la máquina hidráulica (2) a la red (34) comprende abrir un disyuntor del par eléctrico (28) entre la fuente del par eléctrico y la máquina, en donde el par eléctrico se proporciona utilizando una batería conectada al alternador de la máquina hidráulica a través de una unidad de conversión de CC/CA.
- 10 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el par eléctrico se aplica utilizando un sistema de retroalimentación de bucle de control (20) que tiene un bucle de control (25) que comprende una fuente de energía eléctrica y un controlador (26) para controlar el par eléctrico aplicado a la máquina hidráulica.
- 15 3. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la fuente del par eléctrico además comprende un variador de frecuencia variable (26, 27).
- 20 4. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la máquina hidráulica (2) comprende una máquina eléctrica de velocidad fija o una máquina eléctrica de doble alimentación de velocidad variable.
- 25 5. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el cual el paso de acoplar la máquina hidráulica (2) a la red (34) comprende cerrar un disyuntor de red (30) entre la máquina (2) y la red (34).
- 30 6. Una instalación para convertir energía hidráulica en energía eléctrica, que comprende una máquina hidráulica adaptada para funcionar tanto en modo de bomba como en modo de turbina, que comprende medios (25) para aplicar un par eléctrico al rotor para controlar la velocidad de rotación de la máquina durante las transiciones entre el modo de bomba y el modo de turbina, dichos medios para aplicar un par eléctrico al rotor comprenden un sistema de retroalimentación de bucle de control (20) que comprende un bucle de control (24) con una fuente de energía eléctrica y un controlador (26) para controlar el par eléctrico aplicado a la máquina hidráulica, dicha fuente de energía eléctrica comprende una batería conectada a un alternador de la máquina hidráulica.
- 35 7. La instalación de acuerdo con la reivindicación 6, en la cual dicha fuente de energía eléctrica además comprende un variador de frecuencia variable destinado a ser conectado a la red eléctrica y al alternador de la máquina hidráulica.

FIGURA 1

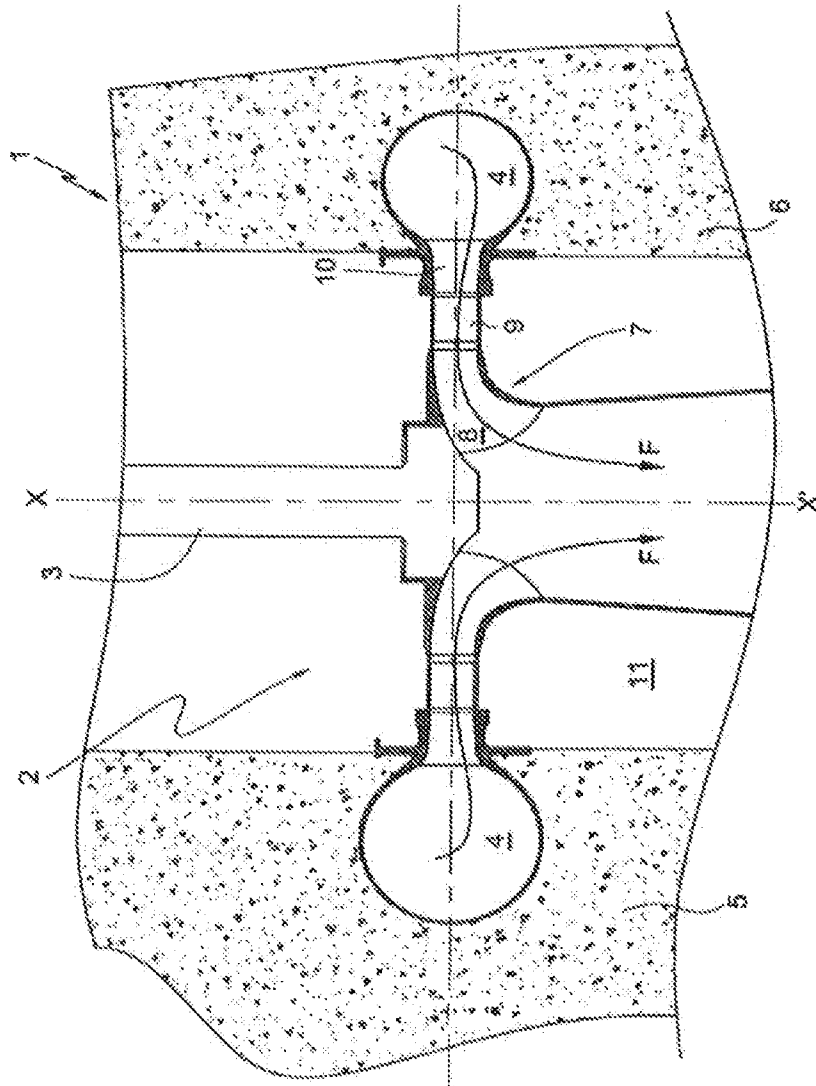


FIGURA 2

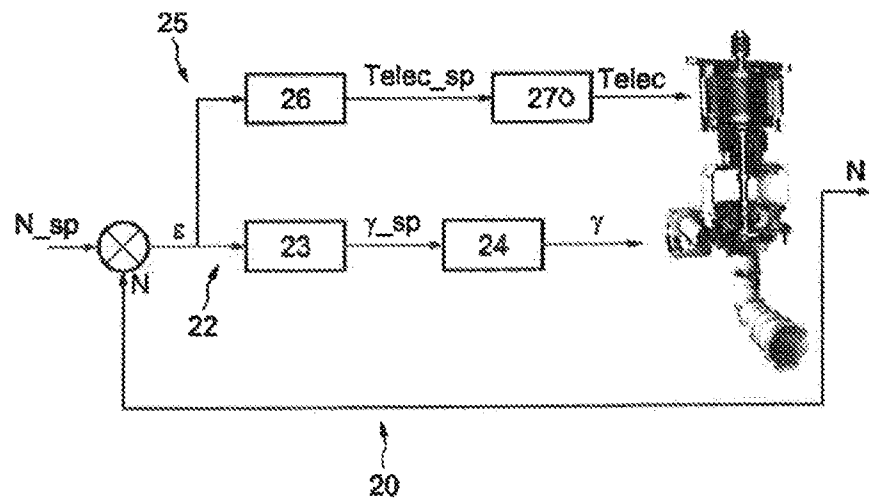


FIGURA 3

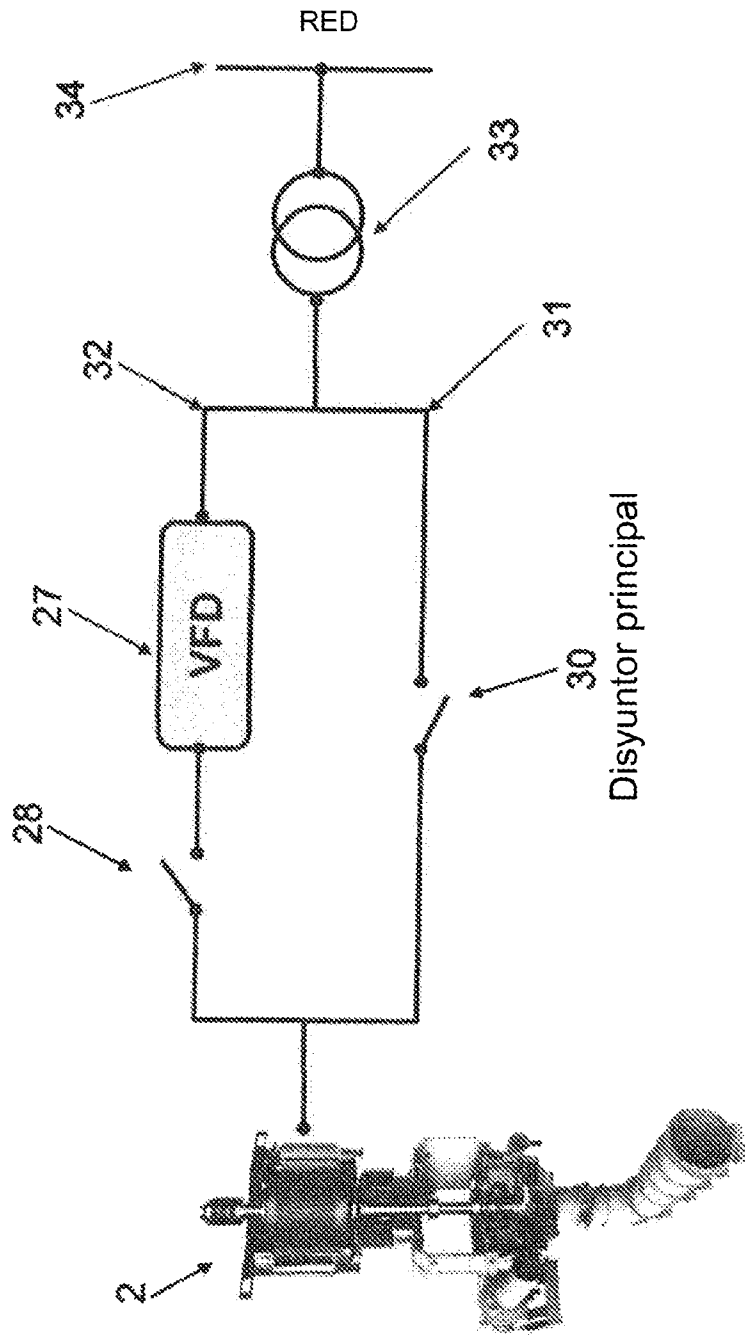


FIGURA 4

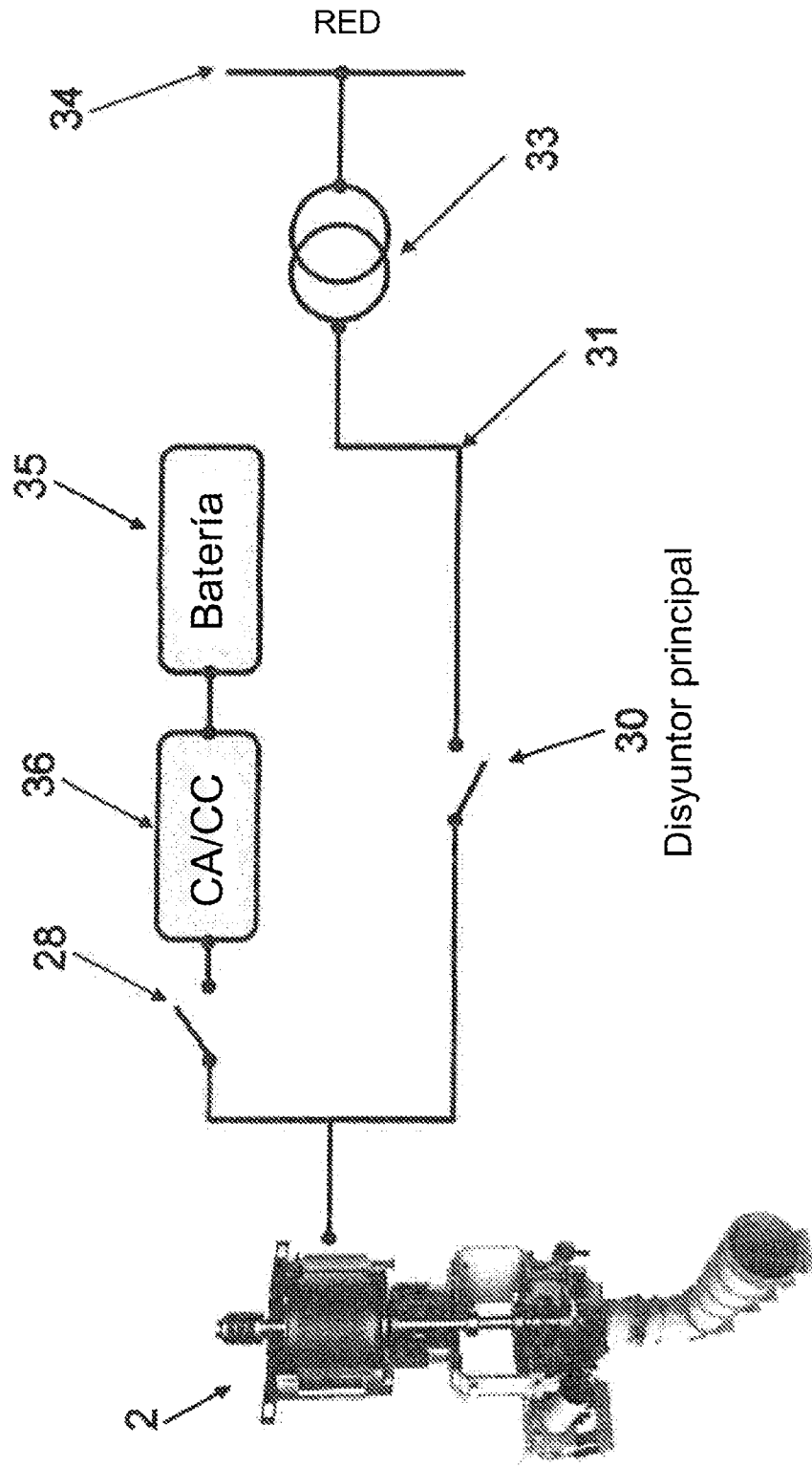


FIGURA 5

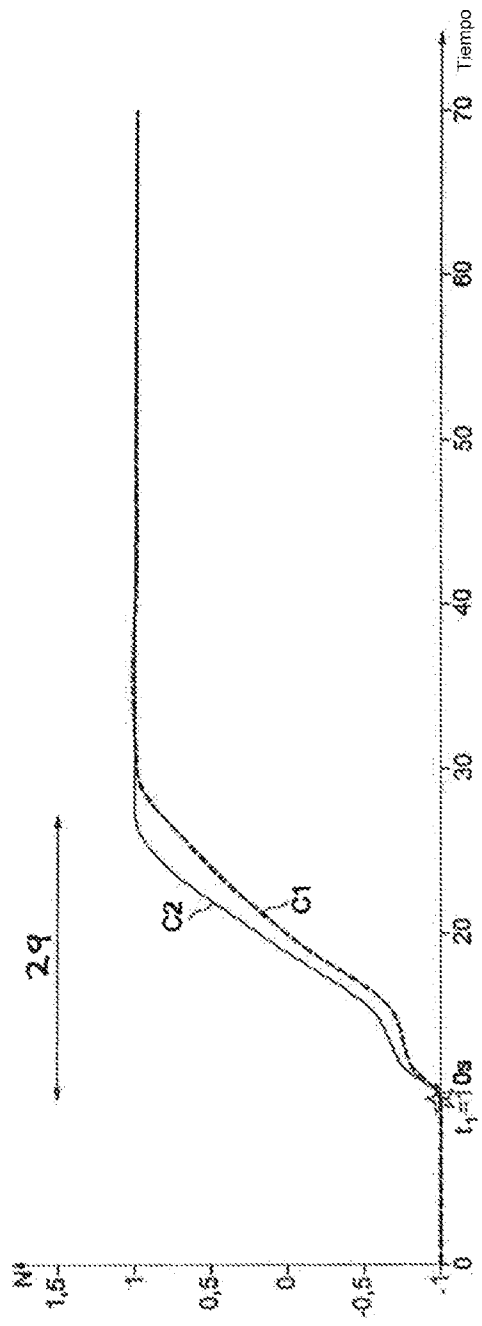


FIGURA 6

