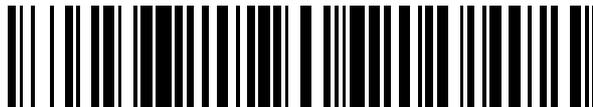


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 592**

51 Int. Cl.:

G01M 13/04 (2006.01)

G01N 27/22 (2006.01)

G01N 33/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.02.2012 PCT/JP2012/054592**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.09.2012 WO12117970**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.02.2012 E 12751866 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2017 EP 2682732**

54 Título: **Sistema de supervisión de estado para dispositivo rodante y procedimiento de ajuste de umbral para el sistema de supervisión de estado**

30 Prioridad:

03.03.2011 JP 2011045949

03.03.2011 JP 2011045950

03.03.2011 JP 2011045951

03.03.2011 JP 2011045952

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

06.03.2018

73 Titular/es:

**NTN CORPORATION (100.0%)
3-17, Kyomachibori 1-chome Nishi-ku
Osaka-shi, Osaka 550-0003, JP**

72 Inventor/es:

**MATSUBARA, YUKIO;
MIWA, NORIAKI;
KITAGAWA, TAKAKAZU;
SAKAGUCHI, TOMOYA;
KAWAKITA, MASAYUKI y
MAEDA, HISAMITSU**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 657 592 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 supervisión de estado para dispositivo rodante y procedimiento de ajuste de umbral para el sistema de supervisión de estado

Referencia cruzada con la solicitud relacionada

5 Esta solicitud se basa y reclama la prioridad de Convención de las solicitudes de patentes japonesas con N.º 2011-045949, 2011-045950, 2011-045951 y 2011-045952, todas presentadas el 3 marzo de 2011.

Antecedentes de la invención

(Campo de la invención)

10 La presente invención se refiere a un dispositivo rodante de un tipo lubricado con aceite y, más en particular, a un sistema de supervisión de estado y un dispositivo de supervisión de estado, ambos asociados con tal dispositivo rodante del tipo particular.

(Descripción de la técnica relacionada)

15 Algunos predicamentos de anomalías para conjuntos de cojinete están disponibles actualmente. En este sentido, véase, por ejemplo, el documento de patente 1 mencionado a continuación. Uno de estos predicamentos de anomalías incluye medir la degradación de un lubricante para predecir por tanto la vida útil del conjunto de cojinete. El deterioro del lubricante tiene como resultado una reducción en el espesor de la película de aceite en una porción de contacto dentro del conjunto de cojinete, que conduce a que el conjunto de cojinete sea susceptible de sufrir abrasión y/o daños superficiales. Por consiguiente, a través de la medición de una condición deteriorada del lubricante, la reducción de la vida útil del conjunto de cojinete se supervisa y predica.

20 Cuando las partes de la parte de componente rodante para el uso con los conjuntos de cojinete rodante y los engranajes se usan en una condición en la que el agua puede entrar (tal como se analiza en los documentos no de patente 1 a 5 mencionados a continuación) o en una condición en la que tienden a someterse a un deslizamiento (tal como se analiza en el documento no de patente 6 mencionado a continuación), el agua o el lubricante se disuelve para generar hidrógeno y, si el hidrógeno resultante se introduce en un material de acero, los daños pueden surgir rápidamente. Una vez que ocurre un contacto metálico en una superficie de contacto entre elementos de contacto en tal extremo que se permite que una superficie metálica formada nuevamente se esponje, la generación de hidrógeno como resultado de la descomposición de agua y el lubricante y la posterior intrusión de hidrógeno en el material de acero se acelerará. Esto se evidencia por el hecho experimental de que tras el análisis de desorción de hidrógeno programado por temperatura realizado después de que un material de acero usado para formar las partes de parte de componente rodante se someta a un desgaste abrasivo con el uso de un papel de lija, mientras que el agua y el lubricante se han suministrado en el sentido de caída, el hidrógeno difusible se detectó de manera palpable a partir del material de acero usado (tal como se analiza en el documento no de patente 7 mencionado a continuación). De acuerdo con el análisis mencionado antes, una cantidad mayor del hidrógeno difusible se detectó cuando el agua, en lugar del aceite lubricante, se suministró en sentido de caída. Por consiguiente, puede verse que cuando el agua se mezcla en el lubricante para las partes de parte de componente rodante que se usan en una condición en la que ocurre el movimiento deslizante, el hidrogeno se genera además y es apto para introducirse en el material de acero. Ya que el hidrógeno es responsable de una considerable reducción de la resistencia a la fatiga del material de acero (tal como se analiza en el documento 8 de patente mencionado a continuación), la intrusión de hidrógeno conduce a un rápido daño incluso bajo la máxima presión de superficie de contacto que no es muy alta.

40 Además, el documento WO-A1-9839631 desvela un sensor de contaminación y deterioro de aceite. El artículo "Condition Monitoring for hydraulic and lubrication" de la décima conferencia internacional escandinava sobre energía de fluido (SICFP'07, vol. 3, 31 de mayo de 2007, p. 317-326, XP055169700) se refiere a principios y tecnologías de sensor. Además, el artículo "Setting Control Limits for Water Contamination in Hydraulic and Lubrication Systems" de la décima conferencia internacional escandinava sobre energía de fluido (SICFP'07, vol. 3, 31 de mayo de 2007, p. 307-316, XP055169694) se refiere a los efectos dañinos del agua tanto en lubricante basado en aceite como en fluido hidráulico.

Además, el documento EP 0141636 A1 se refiere a un procedimiento y un aparato para detectar agua en aceite, por ejemplo en el aceite lubricante de un motor o caja de engranajes o en aceite hidráulico.

[Documentos de la Técnica Anterior]

50 **[Documentos de Patente]**

[Documento 1 de Patente] Patente Japonesa abierta a inspección pública con N.º de Publicación 2007-310611
 [Documento 2 de Patente] Patente Japonesa abierta a inspección pública con N.º de Publicación 2006-138376

[Documentos no de Patente]

- [Documento no de Patente 1] L. Grunberg; Proc. Phys. Soc. (Londres), B66 (1953) 153-161
- [Documento no de Patente 2] L. Grunberg y D. Scott; J. Inst. Petrol., 44 (1958) 406-410
- 5 [Documento no de Patente 3] L. Grunberg, D.T. Jamieson y D. Scott; Philosophical Magazine, 8 (1963) 1553-1568
- [Documento no de Patente 4] P. Schatzberg y I.M. Felsen; Wear, 12 (1968) 331-342
- [Documento no de Patente 5] P. Schatzberg; J. Lub. Tech., 231 (1971) 231 - 235
- [Documento no de Patente 6] K. Tamada y H. Tanaka; Wear, 199 (1996) 245-252
- [Documento no de Patente 7] H. Tanimoto, H. Tanaka y J. Sugimura; Proceedings of JAST Tribology Conference, (2010 Tokio), 203-204
- 10 [Documento no de Patente 8] Y. Matsubara y H. Hamada; Bearing Steel Technology, ASTM STP1465, J.M. Beswick Ed., (2005), 153-166
- [Documento no de Patente 9] H. Mikami y T. Kawamura; SAE Paper, (2007), N.º 2007-01-0113
- [Documento no de Patente 10] T. Makino; Academic Dissertation (Kyoto University), (2000), pág. 134

Sumario de la invención

15 Como se ha analizado antes, puede decirse que cuando el agua se mezcla con el lubricante para el uso con partes de parte de componente rodante que se usa en la condición que implica el movimiento deslizando, el hidrógeno se genera más y es apto para introducirse en el material de acero. Las partes de parte de componente rodante parecen tener una tendencia de usarse cada vez más en el futuro con la condición ser susceptibles a la generación de hidrógeno. Por consiguiente, se ha notado la necesidad de supervisar la concentración de agua contaminante en el

20 aceite lubricante (es decir, la concentración de agua mezclada en el aceite lubricante) con el fin de diagnosticar si la concentración de agua contaminante es alta o baja, por lo que un rápido daño que se origina a partir de la fragilidad del hidrógeno puede suprimirse.

El documento de patente 2 antes mencionado se dirige a una de las funciones de un sistema de supervisión y diagnóstico en el que la constante dieléctrica, que está en relación proporcional con la capacitancia electrostática, tal como se analizará a continuación, se supervisa para supervisar por tanto y diagnosticar la extensión en la que se oxida el lubricante. Sin embargo, se ha demostrado que el documento de patente 2 únicamente desvela una concepción y permanece en silencio en cuanto, por ejemplo, a datos específicos. Además, el documento de patente 2 no solo se limita al diagnóstico de la presencia o ausencia de una anomalías en un conjunto de cojinete rodante. La concentración de agua contaminante en aceite lubricante no puede determinarse solo por la capacitancia electrostática y la característica dependiente de temperatura también debe medirse.

25

30

El motivo para la intrusión de agua en el aceite lubricante usado para lubricar un dispositivo rodante de un tipo lubricado por aceite se analizará ahora. Cuando se refiere a la concentración de agua contaminante en el aceite lubricante usado al lubricar el dispositivo rodante del tipo lubricado por aceite, particularmente donde se usa el dispositivo rodante en exteriores, por ejemplo, en un sistema de generación de energía eólica, parece que aunque el aceite lubricante permanece aparentemente reservado dentro de una región que está cerrada de manera macroscópica, la atmósfera está microscópicamente respirando al exterior del dispositivo debido a los cambios diarios en la temperatura y/o el cambio diario en la humedad. Como un caso en el que un componente de agua se mezcla en el aceite lubricante usado en el dispositivo rodante, tal mecanismo como se muestra en la Fig. 49 (lubricación de baño de aceite) o la Fig. 50 (lubricación circulante) puede usarse. Tal como se muestra en las porciones superiores de los dibujos de las Figs. 49 y 50, ya que la temperatura dentro del dispositivo rodante en operación se vuelve mayor que la temperatura del aire exterior, una presión positiva se desarrolla dentro del dispositivo rodante dentro de una porción del aire interior que se descarga al exterior. Por otro lado, cuando la temperatura dentro del dispositivo rodante desciende a un valor inferior que la temperatura del aire exterior como resultado de la parada del dispositivo rodante como se muestra en las porciones inferiores de los dibujos de las Figs. 49 y 50, el aire exterior entra en el dispositivo rodante. Donde el aire exterior que entra en el dispositivo rodante es de gran humedad, se desarrolla rocío dentro del dispositivo rodante y el componente de agua resultante se mezcla posteriormente con el aceite lubricante. Como se ha analizado antes, se sospecha que incluso durante el uso normal el componente de agua se mezcla con el aceite lubricante. Donde el dispositivo rodante se expone a lluvias torrenciales y/o un tiempo adverso como puede verse en un generador de turbina eólica o una máquina y equipo de construcción, parece que mucho componente de agua puede mezclarse en el dispositivo rodante.

35

40

45

50

A la vista de lo anterior, la presente invención tiene por objeto esencial proporcionar un sistema de supervisión de estado y un procedimiento de supervisión de estado para supervisar el estado del dispositivo rodante de un tipo de lubricante con aceite, que incluye, en un dispositivo rodante de un tipo de lubricación con aceite, una función que puede supervisar y determinar con precisión la concentración de agua contaminante en el aceite lubricante y tiene la capacidad de suprimir un daño prematuro de una o más partes de componente rodante que se originan desde la fragilidad del hidrógeno.

55

(Medio para solucionar los problemas)

Para cumplir el objeto anterior de la presente invención, el sistema de supervisión de estado para un dispositivo rodante en el presente documento proporcionado de acuerdo con la presente invención es un sistema de

supervisión de estado para supervisar el estado del dispositivo rodante de acuerdo con la reivindicación 1.

De acuerdo con la construcción antes descrita, ya que se realiza la provisión del detector de capacitancia electrostática y el instrumento de medición de temperatura de aceite para detectar la capacitancia electrostática y la temperatura de aceite del aceite lubricante y la sección de cálculo de concentración de agua para detectar la concentración de agua contaminante desde la capacitancia electrostática detectada y la temperatura del aceite detectada, respectivamente, para que la concentración de agua contaminante pueda determinarse a partir de la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite, la concentración de agua contaminante puede determinarse con precisión. Por este motivo, en el dispositivo rodante del tipo de lubricante con aceite, la concentración de agua contaminante en el aceite lubricante se supervisa y determina con precisión y también es posible suprimir el daño prematuro que se origina a partir de la fragilidad del hidrógeno de la parte de componente rodante.

Debe apreciarse que en la memoria descriptiva aquí presentada, el término "dispositivo rodante" significa cualquier dispositivo que incluye un componente que incluye un elemento capaz de sufrir un deslizamiento rodante tal como, por ejemplo, cojinetes rodantes y engranajes. A modo de ejemplo, en el caso de un generador de turbina eólica, este incluye un dispositivo de soporte para un árbol principal y un conjunto de engranaje de velocidad que se incrementa. Cualquiera del dispositivo del dispositivo del soporte de árbol principal y el conjunto de engranaje de velocidad que se incrementa hace uso de cojinetes rodantes de diversos tipos y estos se lubrican mediante aceite. Aparte de esto, el dispositivo rodante del tipo de lubricación por aceite incluye las siguientes máquinas y equipos. La lubricación de aceite, cuando se realiza un escrutinio, incluye una lubricación de chorro, una lubricación circulante, una lubricación de bruma de aceite, una lubricación de aceite por aire, una lubricación de salpicadura, una inmersión en aceite hidráulico, etc, que se clasifican ampliamente en una lubricación de baño de aceite y una lubricación circulante.

- . Turbina de gas (Lubricación de chorro)
- . Bomba hidráulica (inmersión de aceite hidráulico)
- . Máquina de impresión (lubricación circulante)
- . Máquina de retorcimiento (lubricación de chorro o lubricación circulante)
- . Máquina de fabricación de papel (lubricación circulante)
- . Máquina de reducción de velocidad para máquina industrial (lubricación circulante)
- . Máquina de reducción de velocidad robótica (lubricación de baño de aceite)
- . Bomba hidráulica (inmersión de aceite hidráulico)
- . Máquina de impresión (lubricación circulante)
- . Máquina de retorcimiento (lubricación de chorro o lubricación circulante)
- . Máquina de fabricación de papel (lubricación circulante)
- . Máquina de reducción de velocidad para máquina industrial (lubricación circulante)
- . Máquina de reducción de velocidad robótica (lubricación de baño de aceite)
- . Motor de aeronave (lubricación de chorro)
- . Diversas partes de máquina de construcción (lubricación de baño de aceite)
- . Cuello de rodillo en máquina rodante de acero y hierro (lubricación de bruma de aceite)
- . Máquina de reducción de velocidad para máquina rodante (lubricación circulante)
- . Máquina herramienta (lubricación de aceite por aire)
- . Árbol y eje de vehículo ferroviario (lubricación de salpicadura)
- . Dispositivo de accionamiento de vehículo ferroviario (lubricación de baño de aceite)
- . Rodillo de neumático de fresado vertical

(Lubricación circulante o lubricación de baño de aceite)

- . Máquina de reducción de velocidad para fresa

(Lubricación circulante o lubricación de baño de Aceite)

- . Máquina de reducción de velocidad de automóvil (lubricación de salpicadura)

El sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con la presente invención también puede incluir un depósito de aceite lubricante capaz de realizar una lubricación de baño de aceite o una lubricación circulante de un mecanismo capaz de realizar una lubricación circulante. En este caso, una cámara de medición para la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite puede proporcionarse dentro o fuera de una carcasa para el dispositivo rodante y el detector de capacitancia electrostática y el instrumento de medición de temperatura del aceite se instalan dentro de esta cámara de medición.

Además, donde un depósito de aceite lubricante capaz de realizar la lubricación de baño de aceite o el mecanismo de lubricación circulante capaz de realizar la lubricación circulante se emplea, una cámara de medición para la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite puede proporcionarse dentro o fuera de una carcasa para el dispositivo rodante, cámara de medición en la que el detector de capacitancia electrostática y el instrumento de medición de temperatura del aceite se instalan. La provisión de la cámara de medición para la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite dentro del dispositivo rodante hace posible definir la cámara de medición con la utilización de un espacio vacante disponible en la carcasa y colocar la cámara de medición permite que el

dispositivo rodante se incrementa en tamaño. Si la cámara de medición para la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite se define fuera del dispositivo rodante, puede aplicarse al caso en el que no existe espacio para definir la cámara de medición dentro de la carcasa del dispositivo rodante y además un cambio del diseño del dispositivo rodante existente puede minimizarse.

- 5 Donde la cámara de medición antes mencionada se proporciona, un agitador para agitar el lubricante puede proporcionarse dentro de la cámara de medición para la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite. Cuando el aceite lubricante se agita, una condición mezclada del aceite lubricante con agua se vuelve buena y la concentración de agua contaminante puede además detectarse con precisión.

- 10 En la práctica de la presente invención, particularmente donde la cámara de medición antes mencionada se proporciona y el agitador antes mencionado también se proporciona, la cantidad del aceite lubricante acumulado dentro de la cámara de medición para la medición de la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite se elige preferentemente como igual o menor a 100 ml y la cantidad de variación se elige preferentemente dentro de ± 5 ml.

- 15 Además, una unidad para facilitar una descarga de agua, con una gravedad específica mayor que el aceite lubricante, y un aditivo desde la cámara de medición del dispositivo rodante y la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite, pueden proporcionarse.

- 20 En la práctica de la presente invención, como se ha mencionado arriba, se prefiere el uso de una sección de diagnóstico de anomalías para comparar la concentración de agua contaminante, calculada por la sección de cálculo de concentración de agua, con un valor de umbral y para determinar la aparición de una anomalías en el caso en el que la concentración de agua contaminante es mayor que el valor de umbral. La provisión de la sección de diagnóstico de anomalías permite un diagnóstico de anomalías en el caso en el que la concentración de agua contaminante es mayor que el valor de umbral, y por tanto, los daños prematuros que se originan a partir de la fragilidad del hidrógeno de la parte de componente rodante pueden suprimirse con seguridad. El valor de umbral antes mencionado puede determinarse de la siguiente manera y ajustarse.

- 25 Un procedimiento de ajuste del valor de umbral antes mencionado en la sección de diagnóstico de anomalías puede incluir determinar un valor de umbral para la concentración de agua contaminante, que se ha determinado mediante un ensayo de fatiga deslizante rodante que se realiza mediante la inyección de agua en el aceite lubricante, la supervisión de la concentración de agua contaminante midiendo la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite, realimentando esto para controlar la cantidad de agua inyectada para permitir que la concentración de agua contaminante se mantenga dentro de un intervalo constante; y ajustando el valor de umbral así determinado a la sección de diagnóstico de anomalías como un valor de umbral. Debe apreciarse que el valor de umbral determinado mediante este ensayo es preferentemente un valor que logra una concentración de agua contaminante que se elige arbitrariamente como apropiada en determinación. Esto se aplica igualmente a cualquiera de los ensayos diversos mencionados en este documento.

- 35 Además, el valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante en el que una guía deslizante se provoca en una superficie de contacto mediante un mecanismo de movimiento entre elementos que contactan entre sí, valor de umbral que, así determinado, se ajusta entonces en la sección de diagnóstico de anomalías como un valor de umbral.

- 40 El valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante en el que una guía deslizante se provoca de manera obligada en una superficie de contacto entre elementos que contactan entre sí, valor de umbral así determinado, que se ajusta entonces en la sección de diagnóstico de anomalías como un valor de umbral.

- 45 El valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante en el que una rotación de una dirección se realiza a una velocidad rotativa constante antes de que ocurra un daño, valor de umbral así determinado, que se ajusta entonces en la sección de diagnóstico de anomalías como un valor de umbral.

- 50 El valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante en el que una operación bajo aceleración y deceleración se lleva a cabo para cuando ocurre un daño, valor de umbral así determinado, que se ajusta entonces en la sección de diagnóstico de anomalías como un valor de umbral.

- El valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante en el que un movimiento de balanceo se lleva a cabo para cuando ocurre un daño, valor de umbral así determinado, que se ajusta entonces en la sección de diagnóstico de anomalías como un valor de umbral.

- 55 El valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante de un mecanismo para conectar directamente un árbol principal de un servomotor y un huso de una porción de ensayo para eliminar un componente de vibración superpuesto tan pronto como sea posible

para que un daño a partir de un movimiento de balanceo pueda detectarse con precisión con una vibración, valor de umbral así determinado, que después se ajusta en la sección de diagnóstico de anomalías como un valor de umbral.

5 El valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante en el que un motor y un huso de una porción de ensayo se aíslan con el uso de un elemento rodante, fabricado de un material cerámico, para un conjunto de cojinete de soporte para el huso para facilitar la abrasión de un objeto a dañar mediante el suministro de una corriente eléctrica entre elementos de contacto con el objeto a dañar que está en un lado de polo positivo, valor de umbral así determinado, que después se ajusta en la sección de diagnóstico de anomalías como un valor de umbral.

10 El valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante de un dispositivo capaz de realizar una operación de aceleración y deceleración y un movimiento de balanceo además de la rotación en una dirección a la velocidad rotativa constante, valor de umbral así determinado, que después se ajusta en la sección de diagnóstico de anomalías como un valor de umbral.

15 En el sistema de supervisión de estado de la presente invención, un sensor de vibración para supervisar una vibración del conjunto de cojinete que forma el dispositivo rodante y una sección de diagnóstico de anomalías de vibración para determinar la aparición de una anomalías en el conjunto de cojinete con el uso de una salida del sensor de vibración puede proporcionarse además.

20 Ya que el sistema de supervisión de estado se proporciona con el sensor de vibración para supervisar la vibración del conjunto de cojinete que forma el dispositivo rodante y la sección de diagnóstico de anomalías de vibración que determina la aparición de una anomalías en el conjunto de cojinete con el uso de una salida del sensor de vibración por lo que la detección de la concentración de agua contaminante y el diagnóstico de anomalías que dependen de la detección de vibración se usan a la vez, el diagnóstico de anomalías del conjunto de cojinete puede realizarse de manera exhaustiva.

25 La sección de diagnóstico de anomalías de vibración puede incluir un primer bloque de cálculo, un segundo bloque de cálculo, un bloque de procesamiento envolvente y un bloque de diagnóstico. El primer bloque de cálculo se configura para calcular un valor efectivo de la onda de vibración medida con el uso del sensor de vibración. El bloque procesamiento envolvente se configura para generar una onda envolvente de la onda de vibración realizando un proceso envolvente en la onda de vibración medida con el uso del sensor de vibración. El segundo bloque de cálculo se configura para calcular un valor efectivo de un componente de corriente alterna de la onda envolvente generada por el bloque de procesamiento envolvente. El bloque de diagnóstico se configura para diagnosticar la aparición de la anomalías en el conjunto de cojinete rodante basándose en el valor efectivo de la onda de vibración, medido por el primer bloque de cálculo, y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente calculado por el segundo bloque de cálculo.

35 En una realización de la presente invención, un sensor de rotación puede proporcionarse para detectar la velocidad rotativa de un árbol, que se soporta mediante un conjunto de cojinete rodante, o el conjunto de cojinete rodante, en cuyo caso la sección de diagnóstico de anomalías de vibración incluye además un bloque de cálculo de grado de vibración modificado y un bloque de cálculo de grado de modulación modificado. El bloque de cálculo de grado de vibración modificado se configura para calcular un grado de vibración modificado que es el valor efectivo de la onda de vibración calculado por el primer bloque de cálculo normalizado con la velocidad rotativa. El bloque de cálculo de grado de modulación modificado se configura para calcular un grado de modulación modificado que es el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente calculado por el segundo bloque de cálculo normalizado con la velocidad rotativa. Y el bloque de diagnóstico se configura para diagnosticar la aparición de la anomalías en el conjunto de cojinete rodante basándose en el cambio cronológico del grado de vibración modificado y el grado de modulación modificado.

45 En otra realización de la presente invención, el sistema de supervisión de estado puede incluir además un instrumento de medición de desplazamiento para detectar un desplazamiento relativo entre anillos interiores y exteriores, ambos empleados en el conjunto de cojinete que forma el dispositivo rodante, y una sección de diagnóstico de anomalías de desplazamiento que determina la aparición de una anomalías en el conjunto de cojinete con el uso de una salida del instrumento de medición de desplazamiento. Y la sección de diagnóstico de anomalías hace uso de un valor de detección del sensor de desplazamiento par diagnosticar la aparición de la anomalías en el conjunto de cojinete rodante.

En una realización adicional de la presente invención, el sistema de supervisión de estado puede incluir un sensor AE para detectar una onda de emisión acústica generada a partir del conjunto de cojinete rodante. Y, la sección de diagnóstico de anomalías se configura para diagnosticar la aparición de la anomalías en el cojinete rodante con el uso de un valor de detección del sensor AE.

55 En otra realización adicional de la presente invención, el sistema de supervisión de estado puede incluir además un sensor configurado para detectar la cantidad de polvo de abrasión o cualquier otra impureza contenida en el aceite lubricante. Y, la sección de diagnóstico de anomalías se configura para determinar la aparición de una anomalías en el aceite lubricante con el uso de una salida de este sensor.

El sistema de supervisión de estado de acuerdo con otro aspecto de la presente invención hace uso del sistema de supervisión de vibración antes mencionado y hace uso, en el diagnóstico de anomalías de la concentración de agua contaminante, de un valor de umbral que se determina a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante, en el que la concentración de agua contaminante se supervisa mediante la carga de agua en un aceite lubricante mediante un inyector de agua y midiendo la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite y una cantidad apropiada de agua, que se determina a partir de la concentración de agua contaminante obtenida desde un resultado de esta medición, se retroalimenta al inyector de agua para controlar así la cantidad de agua cargada para mantener la concentración de agua contaminante en un valor dentro de un intervalo constante. Debe apreciarse que el valor de umbral determinado por este ensayo debe ser un valor que logra una concentración de agua contaminante que se elige arbitrariamente como apropiada en determinación. También debe apreciarse que el término "cantidad apropiada de agua" antes mencionado debe ser la cantidad determinada por el uso de una fórmula de relación y/o tabla en la que la relación entre la concentración de agua contaminante y la cantidad de agua a suministrar se define adecuadamente. Esto se aplica igualmente a cualquiera de los diversos ensayos mencionados después en este documento.

En lugar de cargar agua, el valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante, en el que una guía deslizante se provoca mediante un mecanismo de movimiento entre elementos que contactan entre sí, y tal valor de umbral así determinado usándose en el diagnóstico de anomalías como el valor de umbral; o el valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante, en el que una guía deslizante se provoca a la fuerza para ocurrir entre elementos que contactan entre sí, y tal valor de umbral así determinado usándose en un diagnóstico de anomalías como un valor de umbral; o el valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante en el que una operación bajo aceleración y deceleración se lleva a cabo para cuando ocurre un daño, y tal valor de umbral así determinado usándose en el diagnóstico de anomalías como un valor de umbral.

Además, en el lugar de la carga de agua, el valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse a través de un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante, en el que un motor y un huso de una porción de ensayo se aíslan con el uso de un elemento rodante, fabricado de material cerámico, para un conjunto de cojinete de soporte para el huso para facilitar una abrasión de un objeto a dañar mediante suministro de una corriente eléctrica entre elementos de contacto con el objeto a dañar que está en un lado de polo positivo, y tal valor de umbral así determinado usándose en el diagnóstico de anomalías como un valor de umbral. Ha sido bien conocido el fenómeno en el que, en el caso de que la corriente eléctrica se suministre entre los elementos de contacto con el objeto a dañar mantenido en el lado de polo positivo, la abrasión de tal objeto a dañar se facilita. Por consiguiente, el valor de umbral para la concentración de agua contaminante puede determinarse mediante un ensayo, similar al descrito antes, con el uso del elemento rodante fabricado de material cerámico y usado en el cojinete de soporte para el huso y también de la estructura aislada entre el motor y el huso de la porción de ensayo.

En el sistema de supervisión de estado de la presente invención, una sección de supervisión de índice de reducción de vida puede proporcionarse además, que se configura para determinar un índice de reducción de vida de la parte de componente rodante del dispositivo rodante a partir de la concentración de agua contaminante, que se ha detectado mediante la sección de cálculo de concentración de agua, con el uso de una relación entre la concentración de agua contaminante y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante incluida en el dispositivo rodante.

La fragilidad del hidrógeno de la parte de componente rodante en, por ejemplo, el conjunto de cojinete o similar tiene una probabilidad de aparición que se incrementa a medida que el agua en el aceite lubricante se incrementa. Por consiguiente, si la relación entre la concentración de agua contaminante y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante se determina de antemano y después se ajusta en la sección de supervisión de índice de reducción de vida, el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante en, por ejemplo, el conjunto de cojinete puede determinarse con el uso de la relación antes descrita y la concentración de agua contaminante en el aceite lubricante que se ha detectado así. La detección de la concentración de agua contaminante se lleva a cabo detectando la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite en el aceite lubricante y detectando, con la sección de cálculo de concentración de agua, de acuerdo con una regla predeterminada a partir de la capacitancia electrostática detectada y la temperatura del aceite en el aceite lubricante. Ya que la concentración de agua contaminante y la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite tienen una cierta relación entre sí, tal relación debe determinarse de antemano y después se ajusta en la sección de cálculo de concentración de agua. Debe apreciarse que el término "de antemano" antes mencionado pretende significar que la temporización antes de la supervisión se realiza mediante el dispositivo de supervisión de estado para la parte de componente rodante. De esta manera, el índice de reducción de vida que se origina a partir de la fragilidad del hidrógeno de la parte de componente rodante en, por ejemplo, el conjunto de cojinete puede determinarse.

En el sistema de supervisión de estado, puede proporcionarse además una sección de estimación de vida restante configurada para estimar una vida restante de la parte de componente rodante con el uso de un índice de reducción de vida, emitido por la sección de supervisión de índice de reducción de vida, y una fórmula de estimación de vida restante predeterminada. Ya que existe una relación cercana entre el índice de reducción de vida y la vida restante, la vida restante puede estimarse si el índice de reducción de vida se determina y, por ejemplo, es posible predecir la

temporización de aparición de la exfoliación en el conjunto de cojinete como se origina a partir de la fragilidad del hidrógeno. Por consiguiente, cuando la preparación para el mantenimiento se realiza de antemano anticipándose a la aparición de la normalidad, la longitud del tiempo de parada en operación posterior a la aparición de la anomalías puede acortarse. El efecto se marca particularmente en el caso del generador de turbina eólica.

5 El procedimiento de supervisión de estado de acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención incluye una etapa de supervisión de concentración de agua de detectar la concentración de agua contaminante en un aceite de acuerdo con una regla predeterminada a partir de una capacitancia electrostática y una temperatura del aceite en un aceite lubricante, usado para lubricar una parte de componente rodante, la capacitancia electrostática y una temperatura de aceite detectándose con el uso de un sistema de supervisión de estado como se describe en la reivindicación 28; y una etapa de cálculo de índice de reducción de vida de calcular un índice de reducción de vida de la parte de componente rodante en el dispositivo rodante a partir de la concentración de agua contaminante que se ha detectado durante la ejecución de la etapa de supervisión de concentración de agua con el uso de una relación entre una concentración de agua contaminante predeterminada y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante. De acuerdo con este procedimiento, de manera similar a lo descrito en relación con el dispositivo de supervisión de estado para la parte de componente rodante de acuerdo con la presente invención, el índice de reducción de vida exhibido debido a la fragilidad del hidrógeno de la parte de componente rodante del conjunto de cojinete o similar puede determinarse.

Además, el procedimiento de supervisión de estado de acuerdo con este aspecto adicional de la presente invención puede determinar la relación entre la concentración de agua contaminante y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante con el uso del sistema de supervisión de estado que incluye la sección de supervisión de índice de reducción de vida de acuerdo con uno cualquiera de los siguientes procesos (A) a (G):

(A) Mediante un ensayo de fatiga deslizante rodante en un material de acero, ensayo que se realiza inyectando agua en el aceite lubricante, que se usa para lubricar una pieza de ensayo fabricada de material de acero, mediante un inyector de agua, la concentración de agua contaminante se supervisa midiendo una capacitancia electrostática y una temperatura del aceite, y retroalimentando una cantidad apropiada de agua, obtenida a partir de la concentración de agua contaminante obtenida como resultado de la medición, al inyector de agua para controlar la cantidad de agua inyectada para mantener la concentración de agua contaminante dentro de un intervalo constante, y una relación del índice de reducción de vida relativo a la concentración de agua contaminante se determina y la relación, así determinada, se ajusta entonces en una sección de supervisión de índice de reducción de vida como una relación entre la concentración de agua contaminante predeterminada y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante. Debe apreciarse que la relación entre la concentración de agua contaminante y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante, que se ha determinado así, puede ajustarse en la sección de supervisión de índice de reducción de vida tal como está, pero puede ajustarse en la sección de supervisión de índice de reducción de vida con una modificación adecuada aplicada a la misma. En lo sucesivo, esto se aplica igualmente a cada uno de los siguientes ensayos.

(B) Una relación de un índice de reducción de vida relativo a una concentración de agua contaminante se determina mediante un ensayo de vida de fatiga rodante de un material de acero en el que una guía deslizante se provoca mediante un mecanismo de movimiento entre elementos, que contactan entre sí, que ocurre en una superficie de contacto, y la relación así determinada, se ajusta entonces en la sección de supervisión de índice de reducción de vida como una relación entre la concentración de agua contaminante predeterminada y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante.

(C) Una relación de un índice de reducción de vida relativo a una concentración de agua contaminante se determina mediante un ensayo de vida de fatiga rodante de un material de acero en el que una guía deslizante se provoca a la fuerza entre elementos, que contactan entre sí, que ocurre en una superficie de contacto, y la relación así determinada se ajusta entonces en la sección de supervisión de índice de reducción de vida como una relación entre la concentración de agua contaminante predeterminada y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante.

(D) Una relación de un índice de reducción de vida relativo a una concentración de agua contaminante se determina mediante un ensayo de vida de fatiga rodante de un material de acero en el que una operación bajo aceleración y deceleración continúa hasta el momento en que ocurre un daño, y la relación así determinada se ajusta entonces en la sección de supervisión de índice de reducción de vida como una relación entre la concentración de agua contaminante predeterminada y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante.

(E) Una relación de un índice de reducción de vida relativo a una concentración de agua contaminante se determina mediante un ensayo de vida de fatiga rodante de un material de acero en el que una operación de balanceo continúa hasta la aparición de un daño, y la relación así determinada se ajusta entonces en la sección de supervisión de índice de reducción de vida como una relación entre la concentración de agua contaminante predeterminada y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante.

(F) Una relación de un índice de reducción de vida relativo a una concentración de agua contaminante se determina mediante un ensayo de vida de fatiga rodante de un material de acero realizado mediante un mecanismo en el que, para detectar con precisión a través de una vibración un daño bajo un movimiento de balanceo, un árbol principal de un servomotor y un huso de una porción de ensayo que utiliza una pieza de ensayo realizada de material de acero se conectan directamente entre sí para retirar preferentemente por tanto

un componente de vibración superpuesto, y la relación así determinada, se ajusta entonces en la sección de supervisión de índice de reducción de vida como una relación entre la concentración de agua contaminante predeterminada y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante.

5 (G) Una relación de un índice de reducción de vida relativo a una concentración de agua contaminante se determina mediante un ensayo de vida de fatiga rodante, en el que utilizando el hecho de que una abrasión de un objeto a dañar se facilita suministrando una corriente eléctrica entre elementos de contacto con el objeto a dañar mantenido en un lado de polo positivo y usando un elemento rodante fabricado de material cerámico en un conjunto de cojinete de soporte para un huso, una estructura aislante se forma entre un motor y un huso de una porción de ensayo, y la relación así determinada se ajusta entonces en la sección de supervisión de índice de
10 reducción de vida como una relación entre la concentración de agua contaminante predeterminada y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante.

Cualquier combinación de al menos dos construcciones, desveladas en las reivindicaciones adjuntas y/o la memoria descriptiva y/o los dibujos adjuntos debería interpretarse como incluida dentro del alcance de la presente invención. En particular, cualquier combinación de dos o más de las reivindicaciones adjuntas debería igualmente interpretarse como incluida dentro del alcance de la presente invención.
15

Breve descripción de los dibujos

En cualquier caso, la presente invención se entenderá más claramente a partir de la siguiente descripción de las realizaciones de la misma, cuando se tomen junto con los dibujos adjuntos. Sin embargo, las realizaciones y los dibujos se muestran solo con fines de ilustración y explicación, y no deben interpretarse como límite del alcance de la presente invención de ninguna manera, alcance que se determina por las reivindicaciones adjuntas. En los dibujos adjuntos, los mismos números de referencia se usan para indicar partes iguales a través de las varias vistas, y:
20

- la Figura 1 es un diagrama de bloques que muestra una construcción conceptual de un sistema de supervisión de estado para un dispositivo rodante de acuerdo con una primera realización de la presente invención;
- 25 la Figura 2 es un diagrama de bloques que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado del dispositivo rodante de acuerdo con una segunda realización de la presente invención;
- la Figura 3 es un diagrama de bloques que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una tercera realización de la presente invención;
- la Figura 4 es un diagrama de bloques que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una cuarta realización de la presente invención;
- 30 la Figura 5 es un diagrama de bloques que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una quinta realización de la presente invención;
- la Figura 6 es un diagrama de bloques que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una sexta realización de la presente invención;
- 35 la Figura 7 es una vista en sección longitudinal que muestra un ejemplo que será un ejemplo específico del dispositivo rodante;
- la Figura 8 es un diagrama conceptual que muestra un ejemplo de un aparato de ensayo usado en la práctica de un procedimiento de ensayo de vida de fatiga deslizante y rodante para determinar un valor de umbral apropiado determinado mediante un procedimiento de ajuste de valor de umbral de diagnóstico de anomalías que utiliza el sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores;
- 40 la Figura 9 es un diagrama de patrón que muestra un ejemplo de un ajuste de patrón mínimo para aceleración y deceleración que ocurren en la práctica del procedimiento de ensayo anterior;
- la Figura 10 es un diagrama conceptual que muestra esquemáticamente otro ejemplo del aparato de ensayo;
- 45 la Figura 11 es un diagrama conceptual que muestra esquemáticamente un ejemplo diferente del aparato de ensayo;
- la Figura 12A es una vista en alzado delantero que muestra un ejemplo de una pieza de ensayo que forma un producto de simulación de parte de componente rodante que se usa en la práctica del procedimiento de ensayo anterior;
- 50 la Figura 12B es una vista en sección longitudinal que muestra el producto de simulación de parte de componente rodante que tiene la pieza de ensayo incorporada en su interior;
- la Figura 13 es una vista en sección longitudinal que muestra un aparato de ensayo usado para ensayar la pieza de ensayo del producto de simulación de parte de componente rodante mostrada en las Figs. 12A y 12B;
- la Figura 14 es un gráfico que muestra un cambio en la cantidad de agua mezclada medida por el ensayo antes mencionado;
- 55 la Figura 15 muestra una vista en alzado delantero (A) y una vista en sección longitudinal (B) que muestran esquemáticamente un aparato de ensayo usado en la medición de concentración de agua saturada del aceite lubricante;
- la Figura 16 es un gráfico que muestra la relación entre la concentración de agua contaminada, medida con el uso del aparato de ensayo mostrado en las Figs. 15A y 15B, y la capacitancia electrostática;
- 60 la Figura 17 muestra una vista en alzado delantero (A) y una vista en sección longitudinal (B) que muestran esquemáticamente un aparato de ensayo para medir la capacitancia electrostática del aceite mezclado con agua;
- la Figura 18 es un gráfico que muestra la relación entre la concentración de agua contaminante y la capacitancia electrostática medida con el uso del aparato de ensayo mostrado en la Fig. 17(A), (B);

la Figura 19 es un gráfico que muestra la relación entre la temperatura del aceite medida durante el anterior ensayo y la capacitancia electrostática;

la Figura 20 es un diagrama de bloques que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado del dispositivo rodante de acuerdo con una séptima realización de la presente invención;

5 la Figura 21 es una vista lateral, con una porción cortada, que muestra un generador de turbina eólica equipado con el dispositivo rodante que es un objeto a supervisar por el sistema de supervisión de estado;

la Figura 22 es un diagrama de bloques, con una porción cortada, que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una octava realización de la presente invención;

10 la Figura 23 es un diagrama de bloques, con una porción cortada, que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una novena realización de la presente invención;

la Figura 24 es un diagrama de bloques, con una porción cortada, que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una décima realización de la presente invención;

15 la Figura 25 es un diagrama de bloques, con una porción cortada, que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una undécima realización de la presente invención;

la Figura 26 es un diagrama de bloques, con una porción cortada, que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una duodécima realización de la presente invención;

20 la Figura 27 es un gráfico que muestra concentraciones de agua (datos previstos) en un área geográfica tal como un océano o un lugar susceptible de un cambio brusco de temperatura;

la Figura 28 es un gráfico que muestra concentración de agua (datos previstos) en un área geográfica tal como un terreno o una placa menos susceptible a un cambio en temperatura;

25 la Figura 29 es un diagrama de bloques que muestra una construcción conceptual de un primer ejemplo específico 1 de una sección de diagnóstico de anomalías para anomalías de vibración que utiliza el sistema de supervisión de estado de acuerdo con la séptima realización;

la Figura 30 es un gráfico que ilustra ondas de vibraciones que ocurren en un cojinete cuando no ocurre anomalías en tal cojinete;

30 la Figura 31 es un gráfico que ilustra ondas de vibraciones que ocurren en un cojinete cuando una aspereza de superficie o una lubricación insuficiente ocurren en un anillo de canalización del cojinete;

la Figura 32 es un gráfico que ilustra ondas de vibraciones que ocurren en el cojinete, que se observan cuando ocurre la exfoliación en el anillo de canalización del cojinete en una fase inicial;

35 la Figura 33 es un gráfico que ilustra ondas de vibración que ocurren en el cojinete, que se observan en la fase final de la anomalías de exfoliación;

la Figura 34 es un gráfico que muestra un valor de media cuadrática de ondas de vibración del cojinete, cuando ocurre la exfoliación en una porción del anillo de canalización del cojinete y posteriormente se trasfiere a toda la región del mismo y un cambio cronológico de valor efectivo de un componente de corriente alterna de una onda envolvente;

40 la Figura 35 es un gráfico que muestra el valor efectivo de la onda de vibración, que se exhibe cuando una aspereza de superficie y/o una lubricación insuficiente ocurren en el anillo de canalización del cojinete, y el cambio cronológico del valor de media cuadrática del componente de corriente alterna de la onda envolvente;

la Figura 36 es un diagrama de bloques que muestra una construcción conceptual de un segundo ejemplo específico 2 de la sección de diagnóstico de anomalías de vibración antes mencionada;

45 la Figura 37 es un diagrama de bloque que muestra una construcción conceptual del tercer ejemplo específico 3 de la sección de diagnóstico de anomalías de vibración mencionada anteriormente;

la Figura 38 es un diagrama de bloques que muestra una construcción conceptual de un cuarto ejemplo específico 4 de la sección de diagnóstico de anomalías de vibración antes mencionada;

50 la Figura 39 es un diagrama esquemático que muestra esquemáticamente toda la construcción del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante, que se usa en un generador de turbina eólica que utiliza una unidad de comunicación para un lugar remoto;

la Figura 40 es un diagrama de bloques que muestra un quinto ejemplo específico 5 de la sección de diagnóstico de anomalías de vibración;

55 la Figura 41 es un diagrama de bloques que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una decimotercera realización de la presente invención;

la Figura 42 es un gráfico que muestra la relación entre la concentración de agua contaminante en un aceite durante un ensayo preparatorio y el índice de reducción de vida, que se exhibe durante un ensayo preparatorio;

60 la Figura 43 es un gráfico que muestra la relación entre la concentración de agua contaminante y la vida del cojinete, que se espera con un cojinete actual;

la Figura 44 es un diagrama de bloques, con una porción cortada, que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una decimocuarta realización de la presente invención;

65 la Figura 45 es un diagrama de bloques, con una porción cortada, que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una decimoquinta realización de la presente invención;

la Figura 46 es un diagrama de bloques, con una porción cortada, que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una decimosexta realización de la presente invención;

5 la Figura 47 es un diagrama de bloques, con una porción cortada, que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una decimoséptima realización de la presente invención;

la Figura 48 es un diagrama de bloques, con una porción cortada, que muestra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con una decimoctava realización de la presente invención;

10 la Figura 49 es un diagrama esquemático que muestra cómo el agua se mezcla en el aceite lubricante en el dispositivo rodante de tipo de lubricación de baño de aceite; y

la Figura 50 es un diagrama esquemático que muestra cómo el agua se mezcla en el aceite lubricante en el dispositivo rodante de un tipo de lubricación circulante.

Descripción de realizaciones

15 Un sistema de supervisión de estado para un dispositivo rodante, que se diseña de acuerdo con una primera realización de la presente invención, se describirá ahora en referencia particular a la Fig. 1. La Fig. 1 ilustra una construcción conceptual del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante. El sistema de supervisión de estado ilustrado para el dispositivo rodante incluye un dispositivo 1 rodante y un aparato 2 de control para controlar el dispositivo 1 rodante. El dispositivo 1 rodante se refiere a porciones del sistema de supervisión de estado excluyendo el aparato 2 de control. El dispositivo 1 rodante se refiere a un dispositivo comprendido por partes
20 componentes que incluyen un elemento de contacto tal como, por ejemplo, un conjunto de cojinete rodante o un engranaje de un tipo que sufre un deslizamiento rodante y puede ser una máquina de reducción de velocidad, un conjunto de engranaje de velocidad que se incrementa o cualquier otra máquina de diversos tipos, pero está compuesto de, por ejemplo, uno cualquiera de diversos dispositivos enumerados anteriormente en el documento bajo el título "Medio para Solucionar los Problemas".

En la realización ilustrada, el dispositivo 1 rodante tiene una pluralidad de partes 3 de componente rodante incorporadas en una carcasa 4 del mismo, en el que la pluralidad de partes de componente rodante incluyen un conjunto de cojinete rodante y/o engranajes. Debe apreciarse que el término "parte de componente rodante" mencionado en esta memoria descriptiva debería entenderse como que significa una parte de componente que
30 incluye un elemento de contacto que sufre un deslizamiento rodante. El sistema lubricante es un sistema de lubricación de baño de aceite, que es uno de los sistemas lubricantes de aceite, y por tanto una porción de la carcasa 4 se convierte en un depósito 4a de aceite lubricante en el que un aceite 5 lubricante se reserva para que todo o algo de las partes 3 del componente rodante, antes definidas, puedan sumergirse.

En el dispositivo 1 rodante de la construcción antes mencionada, se proporciona un dispositivo 6 de supervisión de concentración de agua contaminante para supervisar la concentración de agua contaminante en el aceite 5
35 lubricante dentro del depósito 4a de aceite lubricante. Este dispositivo 6 de supervisión de concentración de agua contaminante incluye un detector 7 de capacitancia electrostática para detectar la capacitancia electrostática en el aceite 5 lubricante, un instrumento 8 de medición de temperatura de aceite para detectar la temperatura del aceite, y una unidad 11 de detección de concentración de agua contaminante. La unidad 11 de detección de concentración de agua contaminante antes mencionada incluye una sección 9 de cálculo de concentración de agua para detectar la concentración de agua contaminante de acuerdo con una regla predeterminada a partir de la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite, que se han detectado respectivamente mediante el detector 7 de capacitancia electrostática y la unidad 8 de detección de temperatura del aceite, y una sección 10 de diagnóstico de anomalías configurada para comparar la concentración de agua contaminante, que se ha calculado por la sección 9
40 de cálculo de concentración de agua, con un valor de umbral S y para determinar entonces la aparición de una anomalías en el caso de que sea mayor que el valor de umbral S. Sin embargo, se aprecia que la sección 10 de diagnóstico de anomalías puede no emplearse necesariamente. El detector 7 de capacitancia electrostática antes mencionado puede ser de cualquier tipo siempre que la capacitancia electrostática de un líquido, en el que se sumerge, pueda detectarse y puede emplearse en la forma de un medidor de capacitancia de cualquier tipo. El instrumento 8 de medición de temperatura de aceite antes mencionado se emplea en la forma de un termopar o similar. El detector 7 de capacitancia electrostática y el instrumento 8 de medición de temperatura del aceite pueden estar en la forma de una unidad 7A de temperatura de aceite · capacitancia electrostática de una estructura de una pieza en la que se integran juntas.

La sección 9 de cálculo de concentración de agua y la sección 10 de diagnóstico de anomalías, es decir, la unidad
55 11 de detección de concentración de agua contaminante está compuesta de un ordenador tal como, por ejemplo, un microordenador o un ordenador personal o similar, y un programa para ello, o circuitos electrónicos dedicados. Por ejemplo, se proporciona como parte del aparato 2 de control de un tipo de ordenador para controlar el dispositivo 1 rodante o se proporciona como un dispositivo independiente del aparato 2 de control.

La sección 9 de cálculo de concentración de agua tiene un segmento 9a de ajuste de relación, en el que las relaciones entre la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite y la concentración de agua contaminante se ajustan en la forma de fórmulas informáticas y/o tablas y calcula la concentración de agua contaminante con el

uso de una regla almacenada en el segmento 9a de ajuste de relación, es decir, una regla predeterminada.

De acuerdo con el sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de la construcción antes descrita, la capacitancia electrostática en el aceite 5 lubricante y la temperatura de aceite del aceite 5 lubricante se detectan por el detector 7 de capacitancia electrostática y el instrumento 8 de medición de temperatura del aceite, respectivamente, y a partir de la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite ambas detectadas así, la concentración de agua contaminante se detecta por la sección 9 de cálculo de concentración de agua. Como se ha descrito antes, ya que se ha realizado la disposición para determinar la concentración de agua contaminante a partir de la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite, la concentración de agua contaminante puede determinarse con precisión. Por consiguiente, en el dispositivo 1 rodante del tipo de lubricación de aceite, la concentración de agua contaminante en el aceite 5 lubricante puede supervisarse y después determinarse con precisión, y por tanto, el daño prematuro de las partes de componente rodante que se origina a partir de la fragilidad del hidrógeno puede suprimirse. Además, ya que la sección 10 de diagnóstico de anomalías se proporciona para que, en el caso de que la concentración de agua contaminante supere el valor de umbral S, la aparición de la anomalías pueda determinarse, el daño prematuro de las partes 3 de componente rodante que se origina a partir de la fragilidad del hidrógeno puede suprimirse con seguridad adicionalmente. La razón de que la concentración de agua contaminante pueda detectarse con precisión a partir de la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite se analizará en más detalle en relación con un procedimiento de ajuste del valor umbral S.

Aunque en la práctica de la anterior realización, se ha descrito que la capacitancia electrostática y la temperatura de aceite del aceite 5 lubricante dentro del depósito 4a de aceite lubricante de la carcasa 4 se miden, una cámara 12 de medición comunicada con el depósito 4a de aceite lubricante puede proporcionarse en una porción de la carcasa 4 por lo que el detector 7 de capacitancia electrostática y el instrumento 8 de medición de temperatura pueden medir la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite dentro de la cámara 12 de medición respectivamente, tal como se muestra en relación con una segunda realización mostrada en la Fig. 2. En tal caso, un agitador 13 para agitar el aceite 5 lubricante dentro de la cámara 12 de medición puede emplearse. La cámara 12 de medición puede estar en la forma de una cámara dividida formada con divisiones proporcionadas dentro de la cámara 12 de medición. Si la cámara 12 de medición se proporciona dentro de la carcasa 4, un incremento indeseable en el tamaño del dispositivo rodante, que sería el resultado de la provisión de la cámara 12 de medición, puede evitarse. El agitador 13 se conforma de, por ejemplo, una cuchilla rotativa para fines de agitación y un motor para accionar la pala rotativa. Donde la cámara 12 de medición se proporciona y el agitador 13 se proporciona, es preferente que la cantidad de aceite lubricante a reservar dentro de la cámara 12 de medición sea igual o menor que 100 ml y, simultáneamente, la cantidad de variación se ajusta a un valor dentro de ± 5 ml. Otras características estructurales en la segunda realización de la presente invención mostrada en la Fig. 2 diferentes de las descritas antes son similares a las mostradas y descritas en relación con la primera realización mostrada en la Fig. 1.

La provisión de la cámara 12 de medición hace que sea posible medir la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite de manera estable. Además, la provisión del agitador 13 hace que sea posible facilitar el mezclado del aceite lubricante y el agua juntos, lo que conduce a una medición estable de la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite.

Aunque la descripción se realizará más tarde junto con un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante, si el aceite lubricante y el agua no se mezclan satisfactoriamente juntos, el valor de la capacitancia electrostática será inestable a medida que la concentración de agua contaminante se incrementa. Esto se aplica igualmente a la supervisión de la concentración de agua contaminante en el aceite lubricante usado en el dispositivo rodante de cualquiera del tipo de circulación de baño de aceite o el tipo de lubricación de aceite. Aunque el ensayo de vida de fatiga deslizante rodante en el que la condición de mezcla del aceite lubricante y el agua es deliberadamente bueno, puede imaginarse fácilmente que, ya que puede surgir el caso en que el dispositivo rodante se detenga, la condición de mezclado del aceite lubricante y el agua no es buena. Puede ocurrir que el aceite lubricante y el agua se separen uno de otro. Por este motivo, incluso en el dispositivo 1 rodante, es aconsejable que un mecanismo para mezclar bien el aceite lubricante y el agua se proporcione preferentemente para que la capacitancia electrostática pueda medirse con la máxima precisión posible. Por este motivo, el agitador 13 se proporciona preferentemente para realizar la agitación.

Aunque no se muestra, el agitador 13 puede proporcionarse en una porción de esquina o similar dentro del depósito 4a de aceite lubricante sin la cámara 12 de medición. Sin embargo, para hacer que la condición de mezcla del aceite lubricante y el agua sea buena, es preferente emplear la cámara 12 de medición proporcionada por división. A menos que la división se haga, puede ser difícil hacer que la condición de mezcla del aceite lubricante y el agua sea buena. Sin embargo, si la condición de mezcla del aceite lubricante y el agua no es buena, un valor de capacitancia electrostática más bien alto se medirá y, por tanto, la concentración de agua contaminante se incrementará, es decir, es posible que la supervisión se haga un lado más seguro. Si el aceite lubricante y el agua se separan entre sí, puede esperarse que un valor de capacitancia electrostática alto pueda medirse. En tal caso, debe apreciarse que se convertirá en una supervisión excesivamente segura y existe la posibilidad de que el número de revisiones de mantenimiento y el coste sean excesivos.

La cámara 12 de medición puede disponerse fuera de la carcasa 4 como se muestra en relación con una tercera realización mostrada en la Fig. 3. En este caso, la cámara 12 de medición puede proporcionarse bien de manera

adjunta a la carcasa 4 como se muestra o en una manera separada de la carcasa 4. Donde está separada, la cámara 12 de medición y el depósito 4a del aceite lubricante en la carcasa 4 se comunican con un tubo de comunicación (no se muestra). Si la cámara 12 de medición se proporciona fuera de la carcasa 4, la medición mediante el detector 7 de capacitancia electrostática y el instrumento 8 de medición de temperatura del aceite puede lograrse incluso aunque no exista un espacio apropiado dentro de la carcasa 4 donde la cámara 12 de medición, el detector 7 de capacitancia electrostática y el instrumento 8 de medición de temperatura del aceite se instalan. Debe apreciarse que otras características y efectos estructurales de la tercera realización mostrada en la Fig. 3 diferentes a los descritos antes son similares a los mostrados y descritos en relación con la primera realización mostrada en la Fig. 1.

Una cuarta realización mostrada en la Fig. 4 es un ejemplo de un tipo de lubricación circulante, es decir, un ejemplo en el que un mecanismo 14 de lubricación circulante para realizar una lubricación circulante para el depósito 4a de aceite lubricante en la carcasa 4 se proporciona. El mecanismo 14 de lubricación circulante incluye un paso 15 circulante de aceite tal como, por ejemplo, un tubo, que tiene sus extremos opuestos comunicados con el depósito 4a de aceite lubricante, y una bomba 16 para hacer circular el aceite 5 lubricante a través del paso 15 circulante de aceite. El paso 15 circulante de aceite se comunica con un puerto 15a de descarga definido en una parte inferior del depósito 4a de aceite lubricante, y un puerto 15b de suministro de aceite definido en una posición intermedia en la dirección de altura o una porción superior del depósito 4a de aceite lubricante. Otras características y efectos estructurales de la cuarta realización, diferentes a los descritos antes, son similares a los mostrados y descritos en relación con la primera realización mostrada en la Fig. 1.

Una quinta realización mostrada en la Fig. 5 es un ejemplo en el que, en el tipo de lubricación circulante, la cámara 12 de medición comunicada con el depósito 4a del aceite lubricante se proporciona en una porción interior de la carcasa 4 y el detector 7 de capacitancia electrostática y el instrumento 8 de medición de temperatura del aceite están dispuestos para medir, respectivamente, la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite dentro de la cámara 12 de medición. Incluso en este caso, el agitador 13 para agitar el aceite 5 lubricante dentro de la cámara 12 de medición puede proporcionarse. Otros aspectos y características estructurales de la quinta realización mostrada en la Fig. 5 diferentes a los descritos antes son similares a los mostrados y descritos en relación con la cuarta realización mostrada en la Fig. 4.

Una sexta realización mostrada en la Fig. 6 es un ejemplo en el que en el tipo de lubricación circulante la cámara 12 de medición se proporciona fuera de la carcasa 4. La cámara 12 de medición se proporciona en el paso 15 circulante de aceite. En la cámara 12 de medición, el detector 7 de capacitancia electrostática y la unidad 8 de detección de temperatura del aceite para medir la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite de aceite del aceite lubricante en su interior se proporcionan, y el agitador 13 para agitar el aceite 5 lubricante dentro de la cámara 12 de medición también se proporciona. La provisión del agitador 13 de esta manera es eficaz para medir con precisión establemente la capacitancia electrostática y para determinar con precisión la concentración de agua contaminante.

Además, en esta sexta realización, una ranura inclinada se proporciona en la parte inferior del depósito 4a de aceite lubricante. Un extremo de una superficie inferior de la ranura 17 inclinada en un lado inferior se forma como el puerto 15a de descarga para el aceite lubricante y mientras el aceite 5 lubricante se bombea regularmente en la cámara 12 de medición, lo que funciona como un tanque de reserva equipado con el agitador 13, mediante una bomba 16 por lo que la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite pueden medirse para supervisar la concentración de agua contaminante. Al hacer esto, incluso aunque se separa el agua que tiene una gravedad específica superior a la del aceite lubricante, el agua puede capturarse en la cámara 12 de medición y la concentración de agua contaminante en un lado alto puede por tanto medirse. En otras palabras, la supervisión en un lado más seguro puede lograrse. En esta sexta realización, otras características y efectos estructurales a los descritos antes son similares a los mostrados y descritos en relación con la primera realización mostrada en la Fig. 1.

La Fig. 7 ilustra un ejemplo específico del dispositivo 1 rodante. El dispositivo 1 rodante ha mostrado en su interior un conjunto de engranaje de velocidad que se incrementa empleado en un generador de turbina eólica. El dispositivo 1 rodante es de un tipo que incluye un mecanismo 23 de engranaje planetario, que forma un conjunto de engranaje de velocidad que se incrementa primario y un conjunto 24 de engranaje de velocidad que se incrementa secundario, proporcionados entre un árbol 21 de entrada y un árbol 22 de salida. El mecanismo 23 de engranaje planetario es una estructura en la que el engranaje 26 planetario se monta en un soporte 25, que es integral con el árbol 21 de entrada, el engranaje 26 planetario se integra con el engranaje 27 de anillo interno y un engranaje 28 solar y un árbol integral con el engranaje 28 solar se convierte en un árbol 29 de salida intermedio. El conjunto 24 de engranaje de velocidad que se incrementa secundario se compone de un tren de engranaje para transmitir una rotación del árbol 29 de salida intermedio al árbol 22 de salida a través de una pluralidad de engranajes 31, 32, 33 y 34. El engranaje 26 planetario antes mencionado, así como diversas partes de componente rodante se convertirán en un conjunto 35 de cojinete para soportar el engranaje 26 planetario, el engranaje 27 de anillo y el engranaje 31 del conjunto 24 de engranaje de velocidad que se incrementa secundario, se sumerge en el aceite 5 lubricante dentro del depósito 4a del aceite lubricante en la carcasa 4 como se muestra en la Fig. 1. El depósito 4a de aceite lubricante se hace circular mediante un mecanismo de lubricación circulante (no se muestra) compuesto de una bomba y unos tubos. Sin embargo, debe apreciarse que el mecanismo de lubricación circulante puede no proporcionarse necesariamente y, como alternativa, puede ser un tipo circulante de baño de aceite.

En el sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante, que se diseña de acuerdo con una cualquiera de las realizaciones anteriores, un procedimiento de ensayo para determinar el valor de umbral apropiado S que debe ajustarse en la sección 10 de diagnóstico de anomalías se describirá en detalle. Un ejemplo de un aparato de ensayo usado para practicar este procedimiento de ensayo se muestra en el diagrama conceptual en la Fig. 8. El aparato de ensayo de vida de fatiga deslizante rodante se compone de un cuerpo 140 principal de aparato de ensayo, un aparato 141 de control de cuerpo principal de equipo de ensayo para controlar el cuerpo 140 principal de aparato de ensayo y una sección 142 de cálculo de concentración de agua. El cuerpo 140 principal de aparato de ensayo incluye un baño 101 de aceite de ensayo en el que un aceite 5A lubricante se coloca de manera que un producto 3 de simulación de parte de componente rodante, que es un objeto a ensayar, es sumergido, un dispositivo 120 de accionamiento de parte de componente rodante simulado para accionar el producto 3 de simulación de parte de componente rodante dentro del baño 101 de aceite de ensayo, una bomba 104 de jeringa que es un inyector de agua para inyectar agua en el aceite lubricante dentro baño 101 de aceite de ensayo, un medidor 105 de capacitancia electrostática que es un instrumento de medición de capacitancia electrostática para medir la capacitancia electrostática del aceite 5A lubricante dentro del baño 101 de aceite de ensayo, y un termopar 106 que es un instrumento de medición de temperatura del aceite para medir la temperatura de aceite del aceite 5A lubricante dentro del baño 101 de aceite de ensayo.

El producto 3 de simulación de parte de componente rodante es una parte de componente rodante, en la que un objeto a ensayar fabricado de un material para una parte de componente rodante fabricada de material de acero se incluye como un elemento constituyente, componente que se simula por motivos de ensayo. En el ejemplo como se muestra, el producto 3 de simulación de parte de componente rodante es el que simula un conjunto de cojinete de empuje que es un tipo de parte de componente rodante, e incluye una pluralidad de elementos 3c rodantes en la forma de bolas interpuestas entre un 3a interior y un anillo 3b exterior con el anillo 3b exterior que constituye el objeto a ensayar. El anillo 3b exterior del producto de simulación de parte de componente rodante, que es el objeto a ensayar, es de una forma cilíndrica que tiene una cara terminal que define una superficie de rodante. Además, este producto 3 de simulación de parte de componente rodante tiene los elementos 3c rodantes de un tamaño mayor en comparación con los del conjunto de cojinete de empuje que es una parte de componente rodante actual. En el conjunto de cojinete actual de empuje, que forma un objeto a simular, ya que los elementos rodantes son muy pequeños y la aplicación de incluso una ligera carga tiene como resultado un incremento marcado de la presión de superficie máxima de una superficie de contacto, en el producto de simulación de parte de componente rodante los elementos 3c rodantes se hacen de tamaño mayor. El anillo 3a interior se emplea en la forma de un anillo interior especialmente realizado con una hendidura en la que tales elementos 3 rodantes mayores pueden rodar.

La sección 142 de cálculo de concentración de agua es capaz de calcular la concentración de agua contaminante en el aceite lubricante anteriormente descrito de acuerdo con la regla predeterminada a partir de la capacitancia electrostática, medida por el medidor 105 de capacitancia electrostática, y la temperatura de aceite medida por el termopar 106. La sección 142 de cálculo de concentración de agua tiene un segmento 143 de ajuste de relación en el que las relaciones entre la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite y la concentración de agua mezclada se ajustan mediante fórmulas informáticas y/o tablas, y se calcula la concentración de agua contaminante basándose en la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite, ambas introducidas con el uso de una regla definida en el segmento 143 de ajuste de relación.

El aparato 141 de control de cuerpo principal de equipo de ensayo incluye una sección 144 de control de producto de simulación de parte de componente rodante para controlar el dispositivo 120 de accionamiento de producto de simulación de parte de componente rodante, una sección 145 de control de bomba para controlar la bomba 104 de jeringa, y una sección de control (no se muestra) para controlar el cuerpo 140 principal de aparato de ensayo y otras porciones de accionamiento. El aparato 141 de control de cuerpo principal de equipo de ensayo es un secuenciador de tipo informático o un aparato de control numérico y está compuesto de un ordenador tal como por ejemplo un ordenador personal o similar y un programa así ejecutado.

La sección 142 de cálculo de concentración de agua se compone de un ordenador tal como por ejemplo un ordenador personal o similar y un programa así ejecutado. La sección 142 de cálculo de concentración de agua puede emplearse en la forma de bien un ordenador que forma el aparato 141 de control de cuerpo principal de equipo de ensayo o un ordenador independiente del aparato 141 de control de cuerpo principal de equipo de ensayo.

Este procedimiento de ensayo de vida de fatiga deslizante rodante se lleva a cabo de la siguiente manera con el uso del aparato de ensayo de la construcción antes descrita. El producto 3 de simulación de parte de componente rodante, que es el objeto a ensayar, se sumerge en el aceite 5A lubricante acomodado dentro del baño 101 de aceite de ensayo y se acciona para realizar un ensayo de la vida de fatiga deslizante rodante del anillo 3b exterior, que es el objeto a ensayar formando el producto 3 de simulación de parte de componente rodante. En el caso ahora en análisis, con el uso de la bomba 104 de jeringa, el agua como una fuente de hidrógeno se inyecta en el aceite 5A lubricante, y la concentración de agua contaminante en el aceite 5A lubricante se mide con el uso de la sección 142 de cálculo de concentración de agua basándose en la capacitancia electrostática del aceite 5A lubricante, que se mide mediante el medidor 105 de capacitancia electrostática, y la temperatura del aceite, que se mide por el termopar 106.

En el aparato de ensayo mostrado en este documento, como un mecanismo para suministrar el aceite 5A lubricante en el baño 101 de aceite de ensayo, un mecanismo de lubricación de baño de aceite se emplea y la concentración de agua contaminante en el aceite 5A lubricante dentro del baño 101 de aceite de ensayo se mide. El término "mecanismo lubricante de baño de aceite" se refiere a un mecanismo para lubricar, mientras que el aceite lubricante se acumula dentro del baño 101 de aceite de ensayo, el producto de simulación de parte de componente rodante con el aceite lubricante así acumulado en su interior. La concentración de agua contaminante medida se retroalimenta a la bomba 104 de jeringa para cambiar la cantidad de agua inyectada por lo que la concentración de agua contaminante puede controlarse. En otras palabras, la sección 145 de control de bomba antes mencionada provoca que el índice de inyección mediante la bomba 104 de jeringa cambie por lo que la concentración de agua contaminante puede entrar dentro de un intervalo predeterminado de acuerdo con una regla predeterminada dependiendo de la concentración de agua contaminante enviada por la sección de cálculo de concentración de agua.

Además, una corriente eléctrica se suministra mediante un dispositivo 147 de conducción eléctrica para fluir entre elementos de contacto (específicamente, un par de anillos 3a y 3b de canalización) del producto 3 de simulación de parte de componente rodante para medir el intervalo de contacto de metal. Un árbol 107 principal de un servomotor 107A en el dispositivo 120 de accionamiento de producto de simulación de parte de componente rodante y un huso 108 para accionar el producto 3 de simulación de parte de componente rodante cuando se conecta con el anillo 3a interior, que se convertirá en un elemento constituyente del producto 3 de simulación de parte de componente rodante, se conectan directamente entre sí para realizar un movimiento de balanceo. El huso 108 puede tener el producto de simulación de parte de componente rodante con uno de los elementos constituyentes. El árbol 107 principal del servomotor y el huso 108 se conectan entre sí mediante un acoplamiento 132 aislante. Unos cojinetes de soporte para el huso 108 utilizan cojinetes 133 de elemento rodante de cerámica.

Como se ha descrito antes, el producto 3 de simulación de parte de componente rodante se convierte en un componente que simula un conjunto de cojinete de bolas de empuje en el caso mostrado en la Fig. 8 y el anillo 3b exterior, que formará el objeto a ensayar, se coloca de manera fija en una mesa de soporte (no se muestra) o similar y el anillo 3a interior se fija al huso 108.

Con el huso 108 antes mencionado y los cojinetes 133 de elemento rodante de cerámica, una porción 146 de cabeza del dispositivo 120 de accionamiento de cuerpo simulado de elemento rodante se forma. La porción 146 de cabeza se representa mediante secciones de un mecanismo que accionan uno o un conjunto de cuerpos 3 simulados de parte de componente rodante. En la realización ilustrada solo una porción 146 de cabeza se emplea, pero una pluralidad de porciones 146 de cabeza pueden emplearse para permitir que una pluralidad de cuerpos 3 simulados de parte de componente rodante se ensayen simultáneamente.

Mientras tanto, en la evaluación de fragilidad de anti-hidrógeno en el ensayo de vida de fatiga deslizante rodante, no es posible controlar la concentración de inversión de hidrógeno difusible en el material de acero. Además, es un ensayo acelerado realizado en condiciones severas y no simula condiciones de operación actuales. En referencia a la evaluación de la fragilidad del anti-hidrógeno del material de acero, la evaluación con la concentración de inversión del hidrógeno difusible que se controla se hace disponible. En comparación a esto, la evaluación de la fragilidad de anti-hidrógeno, tal como por ejemplo el tipo de aceite lubricante, aditivos al aceite lubricante, un tratamiento de superficie aplicado a una superficie de contacto del elemento de contacto y otras necesitan evaluarse a través del ensayo de vida de fatiga deslizante rodante en el que, como en el caso de esta realización, la concentración de inversión del hidrógeno difusible no puede controlarse. Por consiguiente, mediante el ensayo de vida de fatiga deslizante rodante que simula la máquina actual lo más fielmente posible con perturbaciones lo más pequeñas posible, el procedimiento de ensayo de vida de fatiga deslizante rodante de acuerdo con esta realización es eficaz al iniciar eficientemente el daño prematuro que se origina a partir de la fragilidad del hidrógeno por lo que los elementos de antidoto apropiados para las condiciones de uso pueden evaluarse. Debe apreciarse que desde el punto de vista de adquisición de entendimiento de los usuarios, es aconsejable realizar la evaluación de fragilidad de anti-hidrógeno del material de acero a través del ensayo de vida de fatiga deslizante rodante.

Considerando las condiciones de uso de diversas partes de componente rodante que conducen a un daño prematuro que se origina a partir de la fragilidad del hidrógeno, el ensayo de vida de fatiga deslizante rodante que tiene las siguientes funciones (1) a (5) es aconsejable. Sin embargo, debe apreciarse que para evitar influencias en porciones 146 de cabeza en el aparato de ensayo, aunque en la Fig. 8, el mecanismo de lubricación de baño de aceite se emplea para cada una de las porciones de cabeza, un mecanismo de lubricación circulante puede emplearse. Independientemente de si el mecanismo de lubricación de baño de aceite se emplea o si el mecanismo de lubricación circulante se emplea, los ensayos pueden realizarse con diferentes condiciones para cada una de las porciones de cabeza siempre que se proporcione en cada una de las porciones de cabeza.

(1) Agua como una fuente de hidrógeno se inyecta en el aceite 5A lubricante.

(2) La concentración de agua contaminante en el aceite 5A lubricante se supervisa basándose en la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite.

(3) La concentración de agua contaminante supervisada como en (2) anteriormente se retroalimenta y la concentración de agua contaminante se controla cambiando la cantidad de agua inyectada.

(4) Además de una velocidad rotativa constante y una operación de rotación de una dirección, una operación

acelerada y decelerada y un movimiento de balanceo pueden lograrse.

(5) Una condición eléctrica puede lograrse.

En referencia a la función (1) anterior, aunque existe un procedimiento para sustituir regularmente un aceite lubricante que contiene agua mezclada en su interior, no es bueno ni eficaz debido a un número incrementado de trabajos necesarios, la incapacidad de realizar la sustitución en vacaciones y otros. Por este motivo, como se muestra en la Fig. 8, es aconsejable inyectar el agua mediante una bomba 104 de jeringa o una bomba de tubo. La bomba 104 de jeringa está mejor adaptada para la microinyección. En el aparato de ensayo de la Fig. 8 que utiliza el mecanismo de lubricación de baño de aceite en la porción 146 de cabeza, el lugar de inyección de agua es el baño 101 de aceite de ensayo, mientras que el baño 101 de aceite de ensayo o una porción de lubricación circulante del mecanismo de lubricación circulante se elige donde el mecanismo de lubricación circulante se usa en la porción 146 de cabeza.

Donde la función (2) anterior se emplea, debería apreciarse que la concentración de agua saturada del aceite lubricante de un tipo de aceite mineral sin aditivos empleados es como mucho 200 ppm por peso. Mientras que la concentración de agua contaminante puede medirse basándose en la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite, el medidor 105 de capacitancia electrostática para medir la capacitancia electrostática se clasifica ampliamente en los siguientes dos tipos. Uno de ellos es el tipo que puede medir un valor igual a o menor que la concentración de agua saturada y el tipo restante es el tipo que puede medir un valor que supera la concentración de agua saturada o incluso cuando el agua se enturbia. Mientras que el primer tipo se usa más generalmente, este último tipo incluye un tipo capaz de medir la concentración de agua contaminante que supera el 10 % o más. Como se ha descrito antes, la concentración de agua saturada del aceite lubricante del tipo de aceite mineral es como mucho 200 ppm por peso. De acuerdo con el ensayo de vida de fatiga deslizante rodante, en el que el agua mezclada con aceite de 200 ppm por peso en concentración se sustituye regularmente, se informa de que no se encuentra influencia del agua. Aunque la concentración de agua saturada del tipo de aceite mineral está libre de cualquier aditivo es diminuta, la concentración de agua saturada se volverá notablemente alta con el aceite lubricante del tipo de aceite sintetizado, e incluso con el aceite lubricante basado en aceite mineral dependiendo del tipo de un aditivo usado. El medidor de capacitancia electrostática capaz de medir solo la concentración de agua contaminante de un valor menor que la concentración de agua saturada puede usarse para medir la concentración de agua saturada en el aceite 5A lubricante. Si la relación entre la concentración de agua contaminante y la vida de fatiga deslizante rodante se determina, existe la posibilidad de que la concentración de agua saturada peculiar para el aceite lubricante pueda ser uno de los indicadores de la fragilidad del anti-hidrógeno.

Con respecto a la función (3) anterior, incluso cuando el agua de una concentración constante se mezcla con el aceite 5A lubricante y el ensayo de vida deslizante rodante se realiza como un sistema cerrado macroscópicamente, la concentración de agua contaminante disminuye de manera notable después de un intervalo de aproximadamente tres horas. Incluso donde el agua se inyecta continuamente en el aceite 5A lubricante en un flujo constante, puede imaginarse fácilmente que la concentración de agua contaminante cambiará. Aunque el agua se inyecta como una fuente de hidrógeno debido al requisito para la función (1) anterior, para ese fin es aconsejable que la concentración de agua contaminante supervisada por la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite como se requiere para la función (2) anterior se realimente por lo que la cantidad de agua inyectada puede cambiar para permitir que la concentración de agua contaminante se mantenga dentro del intervalo predeterminado.

Cuando se refiere a la función (4) anterior, la parte 3 de componente rodante actual no se usa a una velocidad rotativa constante en una rotación de una dirección. Debido a ello, es aconsejable que aparte de la velocidad de rotación constante y la rotación en una dirección, pueda sufrir una operación acelerada y decelerada y un movimiento de balanceo. En cuanto a la operación acelerada y decelerada, existe la necesidad de que pueda ajustarse al menos a tal patrón como se muestra en la Fig. 9. Es decir, seis parámetros que incluyen la aceleración $(r_{\max} - r_{\min})/t_a$, un número de rotación de velocidad alta r_{\max} , el tiempo de retención t_{\max} en el número de rotación de velocidad alta, la desaceleración $(r_{\max} - r_{\min})/t_d$, un número rotativo de velocidad baja r_{\min} y el tiempo de retención t_{\min} en el número rotativo de velocidad baja puede ajustarse arbitrariamente, y tomando como un patrón, la aceleración y desaceleración se repiten. En el movimiento de balanceo, a diferencia del caso con la rotación, la vibración no cambia de manera notable incluso cuando ocurre el daño. En el movimiento de balanceo provocado por el mecanismo de cigüeñal, ya que la vibración del mismo se superpone, es difícil de detectar a través de la vibración cuando ocurre el daño. Para permitir que el daño se detecte con precisión basándose en la vibración, existe la necesidad de que el movimiento de balanceo se realice directamente conectando el árbol 107 principal del servomotor con el huso 108 del mecanismo de ensayo, que incluye el producto 3 de simulación de parte de componente rodante como uno de los componentes constituyentes, y después realizar el movimiento de balanceo, por lo que un componente de vibración superpuesto puede eliminarse preferentemente. Además, existe la necesidad de incrementar la rigidez del huso 108 y otros del mecanismo de ensayo lo más alta posible. Para una condición del movimiento de balanceo, es aconsejable que el ángulo y la frecuencia de balanceo puedan ajustarse arbitrariamente.

Debe apreciarse que si el árbol 107 principal del servomotor y el huso 108 del mecanismo de ensayo se conectan directamente entre sí, es difícil emitir un cambio en velocidad expresado por una onda de una función trigonométrica tal como se exhibe por el mecanismo de cigüeñal. Para permitirlo, se recomienda controlar un amplificador para el servomotor mediante un programa para el secuenciador.

El fin de uso de la función (5) anterior descansa en los siguientes dos puntos. Uno de ellos es medir el intervalo de contacto de metal de la superficie de contacto con una corriente eléctrica débil suministrada para fluir entre los elementos de contacto del producto 3 de simulación de parte de componente rodante. El otro de ellos es desgastar friccionalmente un lado de polo positivo con una corriente eléctrica grande de aproximadamente 1A suministrada entre los elementos de contacto. Mediante la utilización de este fenómeno y colocando la pieza de ensayo en el lado de polo positivo, una superficie metálica nuevamente formada puede hacerse aparecer de forma intencionada en la porción de contacto de la pieza de ensayo para facilitar la generación e inversión de hidrógeno. Esto también se aborda en el documento 9 no de patente mencionado anteriormente.

En el procedimiento de ensayo de vida de fatiga deslizante rodante que utiliza el aparato de ensayo mostrado en la figura 8 todas las funciones (1) a (5) anteriores se satisfacen y, asumiendo que el producto 3 de simulación de parte de componente rodante sufre la operación de balanceo, un mecanismo se emplea en el que el árbol 107 principal del servomotor 107A y el huso 108 del mecanismo de ensayo se conectan directamente entre sí. Debe apreciarse que donde no hay operación de balanceo necesaria, se prefiere que en lugar del servomotor, que es caro y tiene un número rotativo clasificado de 3000 rpm como mucho, un motor de inducción barato o similar se use para accionar el huso 108 del mecanismo de ensayo a través de un sistema de accionamiento de cinta. En este caso, cuando se proporciona un mecanismo de polea en un sistema de transmisión de accionamiento, a través del que el accionamiento del servomotor 107A se transmite al huso 108, y la relación de polea cambia, la velocidad rotativa del huso 108 del mecanismo de ensayo puede incrementarse y, por tanto, es eficaz al incrementar la diferencia de velocidad en la operación acelerada y desacelerada. Sin embargo, debe apreciarse que donde el mecanismo de lubricación circulante se emplea en la porción 146 de cabeza, es aconsejable el uso de una bomba de tubo o similar, que tiene una velocidad de lubricación relativamente alta. En este caso, para mantener la cantidad del aceite lubricante en el baño 101 de aceite de ensayo en un nivel lo más constante posible, es aconsejable que las cantidades del aceite lubricante que fluye dentro y fuera sean lo más constante posible.

Aunque en el diagrama conceptual de la figura 8 que muestra el dispositivo de ensayo, el producto 3 de simulación de parte de componente rodante se ha mostrado y descrito como se emplea en la forma de un tipo de cojinete de empuje, ya que incluso en el caso del tipo de cojinete de empuje en la dirección de rotación de las bolas de acero y la dirección de revolución de las bolas de acero son diferentes entre sí, una guía deslizante ocurre en las superficies de contacto de la pieza de ensayo y las bolas de acero en el producto 3 de simulación de parte de componente rodante. Además, para aplicar la guía deslizante a la superficie de contacto positivamente, un mecanismo de movimiento de los elementos de contacto puede concebirse. Donde un miembro de engranaje debe evaluarse como un producto 3 de simulación de parte de componente rodante, una mayor guía deslizante ocurre en una rueda dentada, y por tanto el diseño es necesario para permitir que la guía deslizante grande actúe en la superficie de contacto mediante, por ejemplo, el cambio forzoso de la diferencia en velocidad periférica de la pieza de ensayo y un objeto que contacta con la pieza de ensayo.

Las figs. 10 y 11 son diagramas conceptuales que muestran ejemplos respectivos del dispositivo de ensayo usado en la práctica de este procedimiento de ensayo de vida de fatiga deslizante rodante. En el caso del dispositivo de ensayo mostrado en la Fig. 10, como un mecanismo para suministrar el aceite 5A lubricante en el baño 101 de aceite de ensayo, un mecanismo 109 de lubricación circulante se emplea. El mecanismo 109 de lubricación circulante empleado en este ejemplo mostrado en la figura 10 incluye una bomba 111 de circulación, dispuesta en un paso 110 de circulación, un medidor 105 de capacitancia electrostática y un termopar 106. Incluso en este caso, el medidor 105 de capacitancia electrostática y el termopar 106 pueden proporcionarse en el baño 101 de aceite de ensayo.

Aquí, si la condición de mezclado del agua con el aceite 5A lubricante no es buena, el valor de la capacitancia electrostática se vuelve inestable a medida que se incrementa la concentración de agua contaminante. Debido a ello, es preferente que la capacitancia electrostática se mida mientras que el aceite 5A lubricante y el agua están en una condición bien mezclada. A la vista de esto, en el dispositivo de ensayo mostrado en la Fig. 11, el dispositivo de ensayo mostrado y descrito con referencia a la Fig. 10, se modifica de tal manera que un tanque 112 de reserva se proporciona entre un puerto de descarga del aceite 5A lubricante en el baño 101 de aceite de ensayo y la bomba 111 de circulación por lo que, mientras que el aceite 5A lubricante se acumula dentro del tanque 112 de reserva, el aceite 5A lubricante puede agitarse mediante un agitador 113 magnético y la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite pueden medirse entonces. El termopar 106 se proporciona en el tanque 112 de reserva. Para que el aceite 5A lubricante y el agua se mezclen suficientemente entre sí, la capacidad del tanque 112 de reserva puede reducirse para incrementar un efecto de agitado. Para proporcionar una indicación, la cantidad del aceite lubricante es preferentemente igual a o menor que 100 ml. Lo que es más preferente es que la disposición debería realizarse para facilitar una descarga del agua, que tiene una gravedad específica mayor que el aceite 5A lubricante, desde el baño 101 de aceite de ensayo y el tanque 112 de reserva. Para este fin, en el dispositivo de ensayo mostrado en la Fig. 11, el puerto de descarga del aceite 5A lubricante en cada uno de los baños 101 de aceite de ensayo y el tanque 112 de reserva se convierte en una porción 101a o 112a de esquina inferior (mostrado por el círculo ampliado en la Fig. 11)

Además, es preferente que el interior de cada uno del baño 101 de aceite de ensayo y el tanque 112 de reserva se vuelva de una forma cilíndrica y que un rebaje 101aa o 112aa de forma de hendidura se proporcione en un lado en ángulo exterior como un llamado rebaje para extender toda la circunferencia de tal porción 101a o 112a de esquina

inferior. Con este diseño, incluso un aditivo que tiene una gravedad específica superior que el agua puede circular fácilmente.

Aunque en el procedimiento de ensayo que utiliza el dispositivo de ensayo mostrado en una cualquiera de las Figs. 8, 10 y 11 el agua se ha mostrado y descrito como inyectada en el baño 101 de aceite de ensayo con el uso de una bomba 104 de jeringa, los ejemplos específicos del procedimiento de ensayo de vida de fatiga deslizante rodante que se realiza sustituyendo regularmente al agua mezclada con aceite dentro del baño 101 de aceite de ensayo se describirán a continuación.

Usando un acero de cojinetes SUJ2, una pieza 114 de ensayo de anillo exterior ahusada mostrada en la Fig. 12A (terminada por amolado después de un tratamiento de calor, de aspereza de superficie R_q de una superficie de canalización diamétrica interior que es $R_q \approx 0,03 \mu\text{m}$) se preparó. El tratamiento de calor se lleva a cabo calentando la pieza de ensayo bajo una atmósfera de gas RX a $850 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 50 minutos y después se enfría, seguido por un templado, a $180 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 120 minutos. El ensayo se realizó en un producto 3 de simulación de parte de componente rodante comprendido por una pieza 114 de ensayo de anillo exterior ahusada combinada con un anillo 115 interior (un producto estándar enfriado y templado de SUJ2) de un cojinete de bolas angular 7306B, trece bolas 116 de acero (producto estándar templado y enfriado de SUJ2) y un retenedor 117. La pieza 114 de ensayo de anillo exterior ahusada era de forma ahusada porque, cuando se rotó en contacto con las bolas 116 de acero en un ángulo de contacto, las bolas 116 de acero girarían para deslizarse en una superficie de contacto con la pieza 114 de ensayo de anillo exterior. Si ocurre el deslizamiento, la frecuencia de aparición del daño prematuro que se origina a partir de la fragilidad del hidrógeno será alta.

La Fig. 13 ilustra esquemáticamente el dispositivo de ensayo usado en la práctica del procedimiento de ensayo de acuerdo con este ejemplo específico. En esta figura, una sección de mecanismo mostrada en un lado izquierdo de la misma representa una porción 120a de lado de evaluación y una sección de mecanismo en un lado derecho es una porción 120b de lado de simulación. En esta figura, la pieza 114 de ensayo de anillo exterior de la forma ahusada, que es el objeto a dañar, se muestra mediante sombreado. Solo una carga axial $F_a = 2,94 \text{ kN}$ se aplicó y el anillo 115 interior rotó a $2,733 \text{ min}^{-1}$. Un aceite de turbina libre de aditivos de VG100 (que tiene una densidad de $0,887 \text{ g/cm}^3$ y una viscosidad cinética de $100,9 \text{ mm}^2/\text{s}$ @ $40 \text{ }^\circ\text{C}$ y $11,68 \text{ mm}^2/\text{s}$ @ $100 \text{ }^\circ\text{C}$) se usó para el aceite lubricante y 200 ppm por peso, de 5 % por peso de agua purificada se mezcló en tal aceite lubricante. En el lado de evaluación 60 ml de un aceite mezclado con agua se cargaron y una entrada (lado inferior) y una salida (lado superior) para aceite lubricante se conectaron entre sí mediante un tubo 118 para formar un sistema cerrado. Ya que un flujo del aceite lubricante ocurre mediante una acción de bombeo en una dirección mostrada por la flecha en la Fig. 12B, el aceite mezclado con agua se circula y agita. El ensayo continuó durante 20 horas y, a menos que ocurriera cualquier daño durante las horas de ensayo, se sustituyó por un aceite mezclado con agua nuevamente preparado. El ensayo de 20 horas y la sustitución del aceite mezclado con agua se repitieron hasta que ocurrieron los daños. La detección de los daños se llevó a cabo con el uso de una galga extensiométrica de vibración. Debe apreciarse que el cojinete 119 rodante cilíndrico en el centro del dispositivo de ensayo mostrado en la Fig. 13 se usó para aplicar la carga radial y no tiene relación con el ensayo de ninguna manera.

La presión de superficie de contacto máxima entre la pieza 114 de ensayo de anillo exterior y la bola 116 de acero, que se obtuvo mediante un cálculo de contacto Herziano elástico cuando solo la carga axial $F_a = 2,94 \text{ kN}$ se aplicó demostró ser 3 GPa. En el cálculo de contacto Herziano elástico, el módulo de Young E y la relación de Poisson ν fueron $E = 204 \text{ GPa}$ y $\nu = 0,3$ que fueron valores respectivamente medidos actualmente del producto estándar SUJ2 enfriado y templado. Un parámetro de película de aceite entre la pieza 114 de ensayo de anillo exterior de la forma ahusada y la bola 116 de acero en el cálculo de lubricación elasto-hidrodinámico independientemente de la mezcla de agua fue de aproximadamente 3. Sin embargo debe apreciarse que la aspereza de superficie de la bola 116 de acero se fijó constantemente a un valor medido actualmente de $R_q = 0,0178 \mu\text{m}$. La vida calculada L10h de la pieza 114 de ensayo de anillo exterior fue 2,611 horas cuando se calculó habiéndose convertido a un modelo de dos cilindros. El procedimiento de determinación de la vida calculada L10h se desvela en el documento no de patente 10 mencionado anteriormente. Debe apreciarse que las influencias que resultan de una guía deslizante se han ignorado.

Durante el ensayo en el que la concentración de agua contaminante inicial era 5 % por peso, una pequeña cantidad del aceite lubricante se muestreó regularmente y el cambio cronológico se examinó midiendo la concentración de agua contaminante mediante titración coulométrica. Como resultado, como se muestra en el gráfico de la Fig. 14, la concentración de agua contaminante demostró disminuir de manera marcada después de un intervalo de aproximadamente 3 horas. A pesar del sistema cerrado mencionado antes, es macroscópico e imposible eliminar cualquier hueco completamente. Se sospecha que un componente de agua se ha evaporado a través de un hueco diminuto que no es apreciable. El resultado de este ensayo de fatiga deslizante rodante es tal como se muestra en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Resultado de Ensayo de Vida de Fatiga Deslizante Rodante con Aceite Mezclado con Agua Regularmente Sustituido						
Cantidad de Agua Mezclada	Vida de exfoliación (orden ascendente)					Notas
200 ppm por peso	1000	1000	1000	1000	1000	Todo terminado
5 % por peso	24,5	63,5	80,1	112,4	148,9	Exfoliación ocurrida en todas las piezas de ensayo

En el caso de 5 % por peso en cantidad de agua mezclada:

$$L_{10} = 23,0 \text{ h}, L_{50} = 79,3 \text{ h}, e = 1,52$$

5 En el caso del aceite mezclado con agua de 200 ppm por peso, no ocurrieron daños en ninguna de las cinco piezas de ensayo hasta 1000 horas y el ensayo terminó entonces. Por otro lado, en el caso del aceite mezclado con agua de 5 % por peso, el daño prematuro ocurrió en todas las cinco piezas de ensayo del orden de 1/100 de la vida calculada. La forma de daño en esta pieza de ensayo fue una exfoliación originada internamente con el punto de inicio descansando en una capa de superficie. Debe apreciarse que aunque la presión de superficie de contacto máxima de 3 GPa actúa incluso en la bola 116 de acero SUJ2, no ocurrió exfoliación. Se sospecha que esto se debe a que la bola 116 de acero es grande en volumen de carga efectiva en comparación con la pieza 114 de ensayo de anillo exterior ahusada. Con el agua mezclada en una cantidad aproximadamente igual al límite superior de la concentración de agua saturada del aceite lubricante usado en esta ocasión, puede decirse que no hubo influencia provocada por el agua en la vida. Por otro lado, donde una gran cantidad de agua se mezcla, puede sospecharse que se genera hidrógeno y posteriormente después de la intrusión en el material de acero, una exfoliación originada internamente ocurre de manera distinta prematuramente. En la Tabla 1 anterior, la vida cuando el aceite mezclado con agua en 5 % por peso se sustituye regularmente se aplicó a los dos parámetros de distribución Weibull para determinar L10, L50 y e (pendiente de Weibull).

20 Un ejemplo específico del procedimiento de ensayo de vida de fatiga deslizante rodante, en el que una pequeña cantidad de agua se inyectó en un flujo constante en el aceite 5A lubricante dentro del baño 101 de aceite de ensayo como en el caso con el dispositivo de ensayo mostrado en una cualquiera de las Figs. 8, 10 y 11 se describirá ahora.

25 Usando la pieza 114 de ensayo, que es la misma que la usada en el procedimiento de ensayo descrito anteriormente mostrado en las Figs. 12A y 12B, y el dispositivo de ensayo mostrado en la Fig. 13, y también usando la misma condición de carga y la velocidad rotativa, 60 ml del mismo aceite lubricante (sin agua mezclada) se cargaron y la entrada (lado inferior) y la salida (lado superior) para aceite lubricante se conectaron entre sí mediante un tubo 118 para formar el sistema cerrado. De manera simultánea con el inicio del ensayo, una inyección continua de agua purificada se inició a medio camino desde el tubo 118 mediante una bomba 104 de jeringa mostrada en la Fig. 8. La velocidad de inyección del agua pura se eligió como 0,5 ml/h. En este caso, el cambio cronológico de la concentración de agua contaminante no se midió, pero desde el resultado mostrado en la gráfica de la Fig. 14, puede sospecharse que incluso en este caso la concentración de agua contaminante sufrió un cambio. El resultado de este ensayo de vida de fatiga deslizante rodante es tal como se muestra en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2

Resultado de Ensayo de Vida de Fatiga Deslizante Rodante con Agua Cargada en una Pequeña Cantidad a Flujo Constante							
Índice de Inyección de Agua	Vida de Exfoliación (orden ascendente)					Notas	
0,5 ml/h	38,6	39,2	49,6	49,9	80,5	80,7	Todas las piezas se exfoliaron

$$L_{10} = 32,9 \text{ h}, L_{50} = 55,9 \text{ h}, e = 3,55$$

35 Incluso en este caso, el daño prematuro de una vida similar al exhibido cuando el aceite mezclado con agua en 5 % por peso se sustituyó regularmente en el procedimiento de ensayo descrito anteriormente, ocurrió en todas las seis piezas de ensayo. La forma de daño fue una exfoliación originada internamente de manera similar con el punto de inicio descansando en la capa de superficie. Además, incluso en este caso, aunque la presión de superficie de contacto máxima de 3 GPa actúa incluso en la bola 116 de acero SUJ2, ninguna exfoliación ocurrió. En la Tabla 2 anterior, L10, L50 y e (pendiente de Weibull) también se muestran determinados aplicando la vida a los dos parámetros de distribución de Weibull.

45 En la descripción que sigue, un ejemplo específico de medición, en el que la concentración de agua saturada y la concentración de agua contaminante en el aceite lubricante se determinaron con el uso del medidor 105 de capacitancia electrostática, se describen. Como se ha descrito antes, la concentración de agua contaminante en el aceite lubricante puede medirse basándose en la capacitancia electrostática y la temperatura, y el medidor 105 de

capacitancia electrostática usado para medirla puede clasificarse ampliamente en dos tipos: uno de ellos es del tipo meramente capaz de medir un valor por debajo de la concentración de agua saturada y el otro tipo es capaz de medir un valor que supera la concentración de agua saturada e incluso cuando el agua se enturbia.

5 En primer lugar, usando el medidor 105 de capacitancia electrostática capaz de medir un valor por debajo de la concentración de agua saturada, la concentración de agua saturada del aceite lubricante se midió. El aceite lubricante fue un aceite de turbina libre de aditivos de VG100 que se usó en el ejemplo específico antes descrito del ensayo de vida de fatiga deslizante rodante. Tal como se muestra en la vista elevada frontal en el diagrama (A) de la Fig. 15, el aceite lubricante se cargó en un vaso 121 (que se asemeja, por ejemplo, al baño 101 de aceite de ensayo en el dispositivo de ensayo mostrado y descrito en referencia a la Fig. 8) adaptado con el medidor 105 de capacitancia electrostática, una tapa superior provista de un receptáculo de gel de sílice se colocó entonces y se permitió estar allí durante 1 hora mientras que se agitaba mediante un agitador 113 magnético, que es capaz de ajustar la temperatura, y se calentó a 110 °C, una pequeña cantidad de agua mezclada en el aceite se pudo por tanto evaporar y absorberse por el gel de sílice durante ese tiempo. Por tanto, tal como se muestra en la vista en sección longitudinal en el diagrama (B) de la Fig. 15, se mantuvo a 40 °C y el agua pura se inyectó entonces a un ritmo constante de 0,05 ml /h con el uso de la bomba 104 de jeringa. En la Fig. 16, un gráfico que muestra el cambio cronológico de la capacitancia electrostática exhibida en ese momento se muestra. El medidor 105 de capacitancia electrostática envía un valor de 0 a 1 como actividad de agua. "0" indica que la concentración de agua contaminante es cero y "1" indica que la concentración de agua contaminante es igual a o mayor que la concentración de agua saturada.

20 Ya que tal como se muestra en la Fig. 16 el valor medido en 167 ppm por peso mostró 1, el valor del mismo representa la concentración de agua saturada. Si la relación entre la concentración de agua contaminante y la vida de fatiga deslizante rodante se examina, existe la posibilidad de que la concentración de agua saturada, que es única para el aceite lubricante, pueda proporcionar una de las indicaciones de la fragilidad de anti-hidrógeno.

25 En siguiente lugar, al usar el medidor 105 de capacitancia electrostática capaz de medir un valor que supera la concentración de agua saturada e incluso cuando el agua se enturbia, la capacitancia electrostática se mide con concentraciones de agua variables en el aceite lubricante. El aceite lubricante usado fue un aceite de turbina libre de aditivos de VG100 que se usó en el ejemplo específico del ensayo de vida de fatiga deslizante rodante antes descrito. Como se muestra en una vista en elevación frontal en el diagrama (A) de la Fig. 17, de 70 a 80 ml del aceite 5A lubricante se cargaron en un vaso 131 de precipitados (que se parece, por ejemplo, al baño 101 de aceite de ensayo usado en el dispositivo de ensayo mostrado y descrito en referencia a la Fig. 8) con capacidad de 100 ml, agua pura se mezcló y se agitó mediante un agitador magnético del tipo capaz de ajustar la temperatura, hasta que se mezcló suficientemente, mientras que se retuvo a una temperatura de 33 °C. Posteriormente, como se muestra en la vista en sección longitudinal en el diagrama (B) de la Fig. 17, la capacitancia electrostática se midió mediante el medidor 105 de capacitancia electrostática fijado allí. El resultado del mismo se muestra en la gráfica de la Fig. 18. De esta gráfica, puede verse fácilmente que una relación lineal se obtuvo entre la concentración de agua contaminante y la capacitancia electrostática con una buena relación lineal. Además, con respecto al aceite lubricante sin agua mezclada, la capacitancia electrostática se midió mientras que la temperatura se incrementó de 25 °C (temperatura ambiente) a aproximadamente 115 °C. El resultado de lo mismo se muestra en el gráfico de la Fig. 19. De este gráfico, puede verse claramente que una relación lineal podría obtenerse entre la concentración de agua contaminante y la capacitancia electrostática con una buena relación lineal.

40 Como puede entenderse fácilmente de las respectivas gráficas mostradas en las Figs. 18 y 19, la capacitancia electrostática depende de la concentración de agua contaminante y la temperatura del aceite. Si está dentro del intervalo en el que la concentración de agua contaminante y la temperatura pueden variar, una pluralidad de tales relaciones como se muestra en las Figs. 18 y 19 se determinan y, con la concentración de agua contaminante tomada como una variable de respuesta y la capacitancia electrostática como una variable dependiente, una función de la temperatura de aceite se prepara, la concentración de agua contaminante puede determinarse a partir de la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite. Sin embargo, debe apreciarse que al determinar tal curva analítica como se muestra en las Figs. 18 y 19, es aconsejable que no solo aceite fresco, sino también aceite usado con un aspecto diferente de uso, se mida.

50 Como se ha descrito antes, de acuerdo con el procedimiento de ensayo de vida de fatiga deslizante rodante, el producto 3 de simulación de parte de componente rodante que incluye el objeto a ensayar como componente constituyente se sumerge y opera en el aceite 5A lubricante acumulado dentro del baño 101 de aceite de ensayo, el agua se inyecta en el aceite 5A lubricante y la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite en el aceite 5A lubricante se miden mediante la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite, con las perturbaciones reducidas lo máximo posible y mientras se provoca eficazmente que ocurra la simulación con la máquina actual lo más fielmente posible de los daños prematuros que se originan de la fragilidad del hidrógeno y los elementos de antídoto apropiados para las condiciones de uso del producto 3 de simulación de parte de componente rodante pueden evaluarse.

60 A continuación, unas realizaciones séptima a octava de la presente invención se describirán en detalle. Debe apreciarse que en la descripción que sigue, los componentes similares a los usados en la práctica de una cualquiera de las realizaciones antes descritas de la presente invención se muestran mediante números de referencia similares,

y por tanto los detalles de las mismas no se repiten por el bien de la brevedad. Donde solo una parte de la construcción se describe, la parte restante de la construcción debe entenderse que es similar a la de la realización o realizaciones precedentes. También debe apreciarse que es posible no solo combinar componentes específicamente descritos en relación con cada una de las realizaciones anteriores y siguientes de la presente invención, sino también combinar parcialmente dos o más de las realizaciones anteriores y siguientes de la presente invención.

El caso de la aplicación de la séptima realización de la presente invención a un generador de turbina eólica se describirá en referencia a las Figs. 20 y 21 a modo de ejemplo. Debe apreciarse que una cualquiera de las realizaciones antes descritas primera a sexta también es aplicable al generador de turbina eólica. Como se muestra en la Fig. 20, un sistema 40 supervisión de estado usado en este dispositivo rodante incluye, además de la unidad 11 de detección de concentración de agua contaminante, que incluye la sección 9 de cálculo de concentración de agua, que tiene la función de supervisar la concentración de agua contaminante en el aceite lubricante usado en el dispositivo 1 rodante, y la sección 10 de diagnóstico de anomalías para la concentración de agua contaminante, una sección 51 de diagnóstico de anomalías de vibración, una sección 52 de diagnóstico de anomalías de desplazamiento, una sección 53 de diagnóstico de anomalías de rotura interna, una sección 54 de diagnóstico de anomalías de impurezas, una sección 55 de diagnóstico de anomalías integrada y una unidad 56 de comunicación.

El dispositivo 1 rodante mostrado en la Fig. 20 corresponde a un conjunto 440 de engranaje de velocidad que se incrementa y un dispositivo 461 de cojinete de árbol principal ambos en un generador 400 de turbina eólica mejor mostrado en la Fig. 21. Debe apreciarse que la estructura interna del conjunto 440 de engranaje de velocidad que se incrementa empleado en el generador 400 de turbina eólica es similar a la del dispositivo 1 rodante mostrado en la Fig. 7 que se menciona y se describe en la primera realización y, por tanto, los detalles de la misma no se repiten por el bien de la brevedad.

La Fig. 21 ilustra un diagrama que muestra esquemáticamente la estructura del generador de turbina eólica. El generador 400 de turbina eólica incluye un árbol 420 principal, una pala 430, un conjunto 540 de engranaje de velocidad que se incrementa, un generador 550 eléctrico, un dispositivo 461 de cojinete de árbol principal que tiene un cojinete 460 de árbol principal y un aparato 2 de procesamiento de datos. El aparato 30 de procesamiento de datos se compone de un ordenador para realizar un proceso de cálculo en el sistema 40 de supervisión del estado, empleado en el generador de turbina eólica, y un programa ejecutado así. El conjunto 440 de engranaje de velocidad que se incrementa, el generador 450 eléctrico, el cojinete 460 de árbol principal y el aparato 2 de procesamiento de datos están todos alojados dentro de una góndola 490 que está a su vez soportada por una torre 500.

El árbol 420 principal sobresale dentro de la góndola 490 y se acopla a su vez a un árbol de entrada del conjunto 440 de engranaje de velocidad que se incrementa y se soporta de manera rotativa por el cojinete 460 de árbol principal. El árbol 420 principal transmite un par rotativo, generado por la pala 430 que recibe entonces el viento, al árbol de entrada del conjunto 440 de engranaje de velocidad que se incrementa. La pala 430 se proporciona en el extremo de punta del árbol 420 principal y convierte la fuerza del viento en par rotativo que se transmite al árbol 420 principal.

El cojinete 460 de árbol principal se instala de manera fija dentro de la góndola 490 a través de una carcasa 462 de cojinete y soporta rotativamente el árbol 420 principal. La carcasa 462 de cojinete, el cojinete 460 de árbol principal y un mecanismo lubricante (no se muestra) para lubricar el cojinete 460 de árbol principal con aceite cooperan entre sí para formar uno de los dispositivos 1 rodantes mostrados en la Fig. 20. El cojinete 460 de árbol principal se compone de un cojinete rodante y tiene la forma de, por ejemplo, un cojinete rodante de auto alineación, un cojinete rodante ahusado, un cojinete rodante cilíndrico o un cojinete de bolas. Debe apreciarse que cualquiera de esos cojinetes puede ser de un tipo de fila única o un tipo de doble fila.

El conjunto 440 de engranaje de velocidad que se incrementa está dispuesto entre el árbol 420 principal y el generador 450 eléctrico y se configura para incrementar la velocidad rotativa del árbol 420 principal y después enviarla al generador 450 eléctrico. El generador 450 eléctrico se conecta con un árbol de salida del conjunto 440 de engranaje de velocidad que se incrementa y genera una potencia eléctrica tras la recepción del par rotativo del conjunto 440 de engranaje de velocidad que se incrementa. El generador 450 eléctrico puede estar compuesto de, por ejemplo, un generador de inducción. Debe apreciarse que incluso dentro de este generador 450 eléctrico, unos cojinetes para soportar de manera rotativa un rotor se proporcionan.

Debe apreciarse que el dispositivo 1 rodante mostrado en la Fig. 20 es un término genérico proporcionado a un dispositivo para producir un movimiento rotativo, dispositivo que es uno de los mecanismos que forman el generador 400 de turbina eólica y se representa por, por ejemplo, el conjunto 440 de engranaje de velocidad que se incrementa. El dispositivo 1 rodante puede ser un dispositivo compuesto del dispositivo 461 de cojinete de árbol principal y un mecanismo lubricante (no se muestra) para ello.

La unidad 11 de detección de concentración de agua contaminante que incluye la sección 9 de cálculo de concentración de agua y la sección 10 de diagnóstico de anomalías para la concentración de agua contaminante se proporciona en, por ejemplo, el aparato 30 de procesamiento de datos que se ha descrito en referencia a la Fig. 21.

Como se muestra en la Fig. 20, la sección 51 de diagnóstico de anomalías de vibración hace uso de una salida de un sensor 70 de vibración, que se usa para supervisar vibraciones que ocurren en cualquiera de los cojinetes que forman el dispositivo 1 rodante, para determinar así la presencia de una anomalías en tal cojinete. El cojinete, cuyas vibraciones se supervisan por el sensor 70 de vibración, es por ejemplo el cojinete 460 de árbol principal y se instala en, por ejemplo, la carcasa de cojinete. El sensor 70 de vibración puede estar compuesto de un sensor de aceleración de un tipo que utiliza un elemento piezoeléctrico. La sección 51 de diagnóstico de anomalías procesa una señal de detección del sensor 70 de vibración, compara el resultado de tal procesamiento con un valor S2 de umbral predeterminado y determina la presencia de la anomalías en el caso de que sea superior que el valor S2 de umbral. La sección 51 de diagnóstico de anomalías también puede diseñarse así para adquirir la velocidad rotativa del árbol, soportado por el cojinete antes mencionado o este cojinete, desde un sensor 210 de rotación y utiliza la velocidad rotativa detectada en un procesamiento de señal para la determinación de la presencia o ausencia de la anomalías.

La sección 52 de diagnóstico de anomalías de desplazamiento utiliza una salida de un sensor 240 de desplazamiento, que es una galga extensiométrica de desplazamiento para detectar un desplazamiento relativo entre los anillos interior y exterior, en el cojinete mencionado antes y formando el dispositivo 1 rodante, para determinar así la presencia o ausencia de una anomalías en el cojinete. La sección 52 de diagnóstico de anomalías de desplazamiento compara el desplazamiento relativo detectado o un valor de este desplazamiento relativo cuya señal se ha procesado, con un valor S3 de umbral predeterminado y luego determina la presencia de la anomalías en el caso de que sea superior que el valor S3 de umbral.

La sección 53 de diagnóstico de anomalías de rotura interna hace uso de una salida de un sensor 250 AE para detectar una onda de emisión acústica en el cojinete antes descrito que forma el dispositivo 1 rodante y luego compara esta salida o valor de esta salida, que tiene la señal procesada, con un valor S4 de umbral predeterminado para determinar así la presencia de la anomalías en el caso de que sea mayor que el valor S4 de umbral.

La sección 54 de diagnóstico de anomalías de impurezas hace uso de una salida de un sensor 270 para detectar la cantidad de polvo de abrasión u otras impurezas contenidas en el aceite lubricante usado en el dispositivo 1 rodante y luego compara esta salida o valor de esta salida, que tiene la señal procesada, con un valor S5 de umbral predeterminado para determinar así la presencia de la anomalías en el caso de que sea mayor que el valor S5 de umbral.

Debe apreciarse cualquiera de la sección 51 de diagnóstico de anomalías de vibración, la sección 52 de diagnóstico de anomalías de desplazamiento, la sección 53 de diagnóstico de anomalías de rotura interna y la sección 54 de diagnóstico de anomalías de impurezas pueden diseñarse de manera que, en el caso de que la concentración de agua contaminante detectada por la sección 9 de cálculo de concentración de agua sea mayor que el valor S1 de umbral, el valor S2 a S5 de umbral correspondiente, basándose en el que la presencia de la anomalías se determina en la sección 51 a 54 de diagnóstico de anomalías asociada, puede variar o un procedimiento de determinación correspondiente puede alterarse.

La sección 55 de diagnóstico de anomalías integrada determina de manera comprensiva de acuerdo con una regla predeterminada el resultado del diagnóstico proporcionado por cualquiera de las secciones 10, 51, 52, 53 o 54 de diagnóstico de anomalías. Debe apreciarse que un proceso de cambio de los valores S2 a S5 se umbral, con el que las secciones 51 a 54 de diagnóstico de anomalías respectivas determinan la presencia o ausencia de la anomalías, o un procedimiento de determinación correspondiente, dependiendo de la concentración de agua contaminante detectada por la sección 9 de cálculo de concentración de agua antes descrita, puede llevarse a cabo mediante la sección 55 de diagnóstico de anomalías integrada.

Debe apreciarse que, aunque al describir la séptima realización mostrada en la Fig. 20, ninguna descripción se ha realizado de la cámara de medición para alojar en su interior el detector 7 de capacitancia electrostática y el instrumento 8 de medición de temperatura de aceite, ambos usados para supervisar la concentración de agua contaminante, la cámara 12 de medición (mostrada en las Figs. 22, 23, 25 y 26) se proporciona preferentemente como se muestra en cualquiera de las Figs. 22 a 26, que se mencionarán a continuación.

En el generador de turbina eólica, cualquier tipo de cojinete se utiliza dentro del dispositivo 41 de cojinete de árbol principal y el conjunto 440 de engranaje de velocidad que se incrementa y se lubrica mediante aceite. La cámara 12 de medición está dispuesta bien dentro o fuera de un tubo o un tanque, a través del que el aceite lubricante se suministra, o el dispositivo 1 rodante como se muestra en una cualquiera de las Figs. 22, 23, 25 y 26 y la concentración de agua contaminante se mide en su interior.

El diagnóstico de anomalías de la concentración de agua contaminante durante la supervisión es tal que en el caso de que la concentración de agua contaminante durante la supervisión sea mayor que el valor S1 de umbral, que se muestra después en las Figs. 27 y 28 y que representa una referencia, una señal que invita a la precaución se envía mediante la sección 10 de diagnóstico de anomalías mostrada en la Fig. 20.

Aunque el detector 7 de capacitancia electrostática y el instrumento 8 de medición de temperatura de aceite comprendido por el termopar se usan en la medición de la concentración de agua contaminante, el uso de la unidad

- 7A de temperatura de aceite · capacitancia electrostática en la que se integran juntos, hace que sea posible reducir el número de trabajos en el caso de sensores individualmente instalados. Además, una carcasa (no se muestra) para integrar dos sensores (es decir, el medidor 7 de capacitancia electrostática y el instrumento 8 de medición de temperatura del aceite compuesto por el termopar) juega un papel en la cobertura para retener cada uno de estos sensores y, a la vista del hecho de que un efecto de reducción de roturas puede esperarse, se considera que la fiabilidad del propio sensor puede incrementarse.
- Puede considerarse que en el océano o en una región donde un cambio climático de temperatura es grande, la concentración de agua contaminante es alta y los daños de cojinetes resultantes de la fragilidad del hidrógeno ocurren frecuentemente. Donde ese dispositivo se usa en tal región, como se muestra en la Fig. 27, se sospecha que la concentración de agua puede superar el valor de umbral S1 en un corto periodo de tiempo. Debe apreciarse que en el caso de superar el valor de umbral S1, puede ser posible evitar el daño que resulta de la fragilidad del hidrógeno tomando contramedidas, tal como, por ejemplo, sustituir por un sello que tenga un excelente propiedad oclusiva/o activando un equipo de calentamiento tal como, por ejemplo, un calentador para evitar la condensación de rocío.
- Además, donde este dispositivo se usa en la tierra o en una región donde el cambio climático de temperatura es pequeño, puede sospecharse que como se muestra en la Fig. 28, incluso aunque la concentración de agua cambie día a día, el valor de umbral S1 apenas se superará. Con respecto a la temporización en la que la exfoliación resulta de la fragilidad del hidrógeno, esto se predica mediante las horas de operación o la acumulación de la cantidad de rotación, durante lo que el valor de umbral S1 se supera.
- Debe apreciarse que en referencia a la medición de la concentración de agua contaminante, para realizar la supervisión en un lado seguro, es preferente medir una concentración de agua contaminante alta proporcionando una cámara de medición en una posición inferior al tanque o baño de aceite y facilitando la captura de agua y aditivos en una posición próxima al sensor mediante la utilización de la diferencia en la gravedad específica.
- La combinación con otros sensores se describirá ahora. Es posible estimar si la vida actual del conjunto de cojinete diana llega al final de la vida esperada diseñada bajo la influencia de la fragilidad del hidrógeno. Sin embargo, es difícil determinar la exfoliación que tiene lugar actualmente y también detectar daños del conjunto del cojinete que resultan de cualquier otro motivo. Por consiguiente, si se combina con cualquiera de los siguientes diversos sensores, es posible supervisar simultáneamente los daños del conjunto de cojinete diferentes de la exfoliación que resulta de la fragilidad del hidrógeno. A modo de ejemplo, cuando un sensor 70 de vibración tal como, por ejemplo, un sensor de aceleración de vibración se usa simultáneamente, se vuelve posible detectar vibraciones provocadas por cualquier anomalías que incluye la exfoliación que resulta de la fragilidad del hidrógeno.
- Además, donde el sensor 250 AE se usa simultáneamente en lugar de, o simultáneamente con, el sensor de aceleración de vibración, no solo la exfoliación en la superficie, sino también la rotura que resulta de la fragilidad del hidrógeno, que ocurre dentro del metal, puede medirse. En este momento, la determinación de la aparición de la rotura mediante el sensor 250 AE puede ser difícil debido a ondas AE sin causa encontradas aquí y allá, pero donde las ondas AE se generan mientras que la concentración de agua contaminante es alta, puede esperarse que la rotura interna ocurra con una alta probabilidad, y por tanto, sea posible estimar la anomalías en una fase anterior.
- Además, en el caso de la aparición de una abrasión dentro del conjunto de cojinete como resultado del contacto metálico de diversas causalidades, es difícil de detectar únicamente con la medición de la concentración de agua. A la vista de esto, al recoger el desplazamiento relativo del anillo interior en relación con el anillo exterior del conjunto de cojinete con el uso del sensor 240 de desplazamiento, es posible detectar la abrasión y la supervisión del estado integrado puede permitirse.
- Además, ya que se espera el deterioro del aceite lubricante como el resultado de la oxidación del aceite lubricante y/o la mezcla de polvos provocada por una operación de largas horas, el uso simultáneo de un sensor 270 de impurezas tal como, por ejemplo, un sensor de deterioro o similar del aceite hace que sea posible predecir la aparición del defecto de lubricación que conduce a una rotura del conjunto del cojinete. Simultáneamente, al considerar la concentración de agua contaminante y aplicar una corrección al sensor 270 de impurezas tal como, por ejemplo, un sensor de deterioro de aceite o similar, la predicción del daño prematuro del conjunto de cojinete que resulta del aceite lubricante puede volverse más precisa.
- A la vista de lo anterior, la probabilidad de aparición, o la temporización de la aparición, de la exfoliación en el conjunto de cojinete como resultado de la fragilidad del hidrógeno pueden estimarse. Gracias a esto, en el generador de turbina eólica, se vuelve posible reducir la longitud de tiempo de parada en operación posterior a la aparición de la anomalías.
- Las Figs. 22 a 26 ilustran formas modificadas del dispositivo 6 de supervisión de concentración del agua contaminante. En el sistema de supervisión de estado del generador de turbina eólica en la séptima realización mostrada y descrita en referencia a las Figs. 20 y 21, el dispositivo 6 de supervisión de concentración de agua contaminante mostrado en una cualquiera de las Figs. 22 a 26 puede emplearse. Debe apreciarse que en esas Figs. 22 a 26, otras características estructurales diferentes a las del sistema de supervisión del estado del generador de

turbina eólica no se muestran.

En la séptima realización mostrada y descrita con referencia a la Fig. 20, se ha hecho la disposición para medir la capacitancia electrostática y la temperatura de aceite del aceite 5 lubricante dentro del depósito 4a de aceite lubricante en la carcasa 4, pero en una octava realización mostrada y descrita en referencia a la Fig. 22, la estructura del dispositivo 1 rodante excepto para el aparato 30 de procesamiento de datos se vuelve similar a la segunda realización previamente descrita y mostrada en la Fig. 2. Otras funciones y efectos también son similares a los ya proporcionados por la segunda realización y los detalles de la misma no se repiten por el bien de la brevedad. Debe apreciarse que otras características y efectos estructurales proporcionados por la octava realización mostrada en la Fig. 22 son similares a los proporcionados por la séptima realización mostrada y descrita en referencia a la Fig. 20.

En una novena realización mostrada en la Fig. 23, la estructura del dispositivo 1 rodante excepto para el aparato 30 de procesamiento de datos se vuelve similar a la tercera realización ya descrita mostrada en la Fig. 3. Ya que otras funciones y efectos son similares a los ya proporcionados por la tercera realización, los detalles de la misma no se repiten por el bien de la brevedad. Debe apreciarse que otras características y efectos estructurales proporcionados por la novena realización mostrada en la Fig. 23 son similares a los ya proporcionados por la séptima realización mostrada y descrita en referencia a la Fig. 20.

En una décima realización mostrada en la Fig. 24, la estructura del dispositivo 1 rodante excepto por el aparato 30 de procesamiento de datos se vuelve similar a la cuarta realización ya descrita mostrada en la Fig. 4. Otras funciones y efectos son similares a los ya proporcionados por la cuarta realización y, por tanto, los detalles de la misma no se repiten por el bien de la brevedad. Debe apreciarse que otras características y efectos estructurales son similares a los ya proporcionados por la séptima realización mostrada y descrita en referencia a la Fig. 20.

En una undécima realización mostrada en la Fig. 25, la estructura del dispositivo 1 rodante excepto para el aparato 30 de procesamiento de datos se vuelve similar a la quinta realización ya descrita mostrada en la Fig. 5. Otras funciones y efectos son similares a los ya proporcionados por la quinta realización y, por tanto, los detalles de la misma no se repiten por el bien de la brevedad. Otras características y efectos estructurales son similares a los proporcionados por la décima realización mostrada en la Fig. 24.

En una duodécima realización mostrada en la Fig. 26, la estructura del dispositivo 1 rodante excepto por el aparato 30 de procesamiento de datos se vuelve similar a la sexta realización ya descrita mostrada en la Fig. 6. Otras funciones y efectos son similares a los ya proporcionados por la sexta realización, y por tanto, los detalles de la misma no se repiten por el bien de la brevedad. En esta realización, a menos que se mencione específicamente lo contrario, es similar a la séptima realización ya descrita mostrada en la Fig. 20.

En la descripción que sigue, los ejemplos específicos de la sección 51 de diagnóstico de anomalías de vibración mostrada en la Fig. 20 se describen en detalle en referencia particular a las Figs. 29 a 40.

[Ejemplo Específico 1]

En referencia a la Fig. 29, el sensor 70 de vibración se instala en el cojinete que forma el dispositivo 1 rodante mostrado en la Fig. 20, por ejemplo, el cojinete 460 del árbol principal. El sensor 70 de vibración detecta una vibración del conjunto de cojinete y envía su valor de detección a la sección 51 de diagnóstico de anomalías de vibración en el aparato 2 de procesamiento de datos. El sensor 70 de vibración incluye un sensor de aceleración o similar de un tipo que utiliza un elemento piezoeléctrico como se ha descrito antes. La sección 51 de diagnóstico de anomalías de vibración incluye filtros 510, 550 de paso alto (HPF), bloques 520, 560 de cálculo de valor efectivo, un bloque 540 de procesamiento envolvente, un bloque 580 de almacenamiento y un bloque 590 de diagnóstico. El bloque 520 de cálculo de valor efectivo es un primer bloque de cálculo mencionado en las reivindicaciones y el bloque 560 de cálculo de valor efectivo es un segundo bloque de cálculo mencionado en las reivindicaciones.

El HPF 510 recibe desde el sensor 70 de vibración el valor de detección indicativo de la vibración que ocurre en el conjunto de cojinete. Y este HPF 510 permite un componente de señal, que es mayor que una frecuencia predeterminada, que pasa a través y corta un componente de frecuencia baja. Este HPF 510 se proporciona para retirar un componente de corriente continua contenido en una onda de vibración del cojinete. Debe apreciarse que si el sensor 70 de vibración es del tipo que no contiene componente de corriente continua en su salida, el uso del HPF 510 puede desecharse.

El bloque 520 de cálculo de valor efectivo recibe desde el HPF 510 la onda de vibración del cojinete desde el que el componente de corriente continua se retira. Y el bloque 520 de cálculo de valor efectivo calcula un valor efectivo (que también se denomina valor de media cuadrática (RMS)) de la onda de vibración del cojinete y luego envía el valor efectivo calculado de la onda de vibración al bloque 580 de almacenamiento.

El bloque 540 de procesamiento envolvente recibe el valor de detección descriptivo de la vibración que ocurre en el cojinete. Y el bloque 540 de procesamiento envolvente realiza un proceso envolvente de la señal de detección recibida por tanto para generar una onda envolvente de la onda de vibración del cojinete. Debe apreciarse que el proceso envolvente calculado en el bloque 540 de procesamiento envolvente puede ser de cualquier técnica

conocida y como un ejemplo del mismo, la onda de vibración del cojinete medida por el uso del sensor 70 de vibración se rectifica a un valor absoluto y luego pasa a través de un filtro de paso bajo (LPF) para generar la onda envolvente de la onda de vibración del cojinete 6.

5 El filtro 550 de paso alto recibe desde el bloque 540 de procesamiento envolvente la onda envolvente de la onda de vibración del cojinete. Y, el filtro 550 de paso alto permite, con respecto a la onda envolvente recibida por tanto, un componente de señal que es mayor que una frecuencia predeterminada y corta un componente de frecuencia baja. El filtro 550 de paso alto se proporciona para retirar un componente de corriente continua contenido en la onda envolvente y extraer un componente de corriente alterna de la onda envolvente.

10 El bloque 560 de cálculo de valor efectivo recibe desde el filtro 560 de paso alto la onda envolvente desde la que el componente de corriente continua se ha retirado, es decir, el componente de corriente alterna de la onda envolvente. Y el bloque 560 de cálculo de valor efectivo calcula un valor efectivo (valor RMS) del componente de corriente alterna de la onda envolvente recibida por tanto y envía el valor efectivo calculado del componente de corriente alterna de la onda envolvente al bloque 580 de almacenamiento.

15 El bloque 580 de almacenamiento almacena el valor efectivo de la onda de vibración del cojinete, que se ha calculado por el bloque 520 de cálculo de valor efectivo, y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente, que se ha calculado por el bloque 560 de cálculo de valor efectivo, de manera sincronizada y de un momento a otro. El bloque 580 de almacenamiento está compuesto de, por ejemplo, una memoria legible, escribible y no volátil o similar.

20 El bloque 590 de diagnóstico lee el valor efectivo de la onda de vibración del cojinete y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente, ambos almacenados en el bloque 580 de almacenamiento de un momento a otro, desde el bloque 580 de almacenamiento y diagnostica la anomalías del cojinete basándose en dos valores efectivos leídos desde allí. El valor S2 de umbral mencionado anteriormente se usa en este diagnóstico de anomalías. Más específicamente, el bloque 590 de diagnóstico diagnostica la presencia o ausencia de la anomalías en el conjunto de cojinete basándose en un cambio cronológico de tanto el valor efectivo de la onda del cojinete como del valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente.

25 En otras palabras, ya que el valor efectivo de la onda de vibración del cojinete calculado por el bloque 520 de cálculo de valor efectivo es un valor actual de una onda en bruto que todavía no se ha sometido al proceso envolvente, el incremento del valor es pequeño en el caso de una vibración similar a un impulso en el que una señal se incrementa solo cuando los elementos rodantes se mueven más allá del sitio de exfoliación ha ocurrido en, por ejemplo, una porción del anillo de canalización, pero el incremento del valor es considerable en el caso de una vibración persistente que se genera en el caso de la aparición de una aspereza de superficie que resulta del contacto entre el anillo de canalización y el elemento rodando o una lubricación insuficiente o similar.

30 Por otro lado, el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente calculado por el bloque 560 del cálculo de valor efectivo es tal que el incremento de valor es pequeño o no ocurre ningún incremento en el caso de una vibración persistente generada en el caso de una aspereza de superficie en el anillo de canalización y la lubricación insuficiente, el incremento de valor se vuelve grande en el caso de la vibración similar al impulso. A la vista de lo anterior, en este Ejemplo Específico 1, mediante la utilización del valor efectivo de la onda de vibración del cojinete y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente, la detección de la anomalías, que no puede detectarse con uno de esos valores efectivos, se permite y un diagnóstico de anomalías preciso adicional puede realizarse.

35 Las Figs. 30 a 33 ilustran gráficos de onda respectivos que muestran las vibraciones del cojinete medidas con el uso del sensor 70 de vibración. Debe apreciarse en las Figs. 30 a 33 las ondas de vibración exhibidas en el caso en el que la velocidad rotativa de árbol 420 principal (mostrado mejor en la Fig. 21) se mantiene a un valor constante.

40 La Fig. 30 ilustra un gráfico de onda que muestra la onda de vibración del cojinete exhibida cuando no ocurre anomalías en el cojinete. En la Fig. 32, el eje de abscisas representa el tiempo y el eje de ordenadas representa el grado de vibración, que representa la magnitud de la vibración.

45 La Fig. 31 es un gráfico de ondas que muestra la onda de vibración del cojinete observado cuando la aspereza de superficie del anillo de canalización del cojinete y/o la lubricación insuficiente ocurren. Tal como se muestra en la Fig. 31, una vez que la superficie o la lubricación insuficiente ocurren en el anillo de canalización del conjunto de cojinete, el grado de vibración se incrementa y una condición en la que el grado de vibración se incrementa ocurre persistentemente. Ningún máximo prominente aparece en la onda de vibración. Por consiguiente, cuando con respecto a tal onda de vibración, se comparan el valor efectivo (salida del bloque 520 de cálculo de valor efectivo mostrado en la Fig. 29), de la onda de vibración, cuando ninguna anomalías ocurre en el cojinete, y el valor efectivo (salida del bloque 560 de cálculo de valor efectivo mostrado en la Fig. 29) del componente de corriente alterna de la onda envolvente, el valor efectivo de la onda de vibración en bruto, que no se somete al proceso envolvente, se incrementa, y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente no se incrementa tanto.

50 La Fig. 32 ilustra un gráfico de ondas que muestra la onda de vibración del cojinete en una fase inicial en la que la exfoliación ocurre en el anillo de canalización del cojinete. Como se muestra en la Fig. 34, la fase inicial de la

anomalías de exfoliación se representa por una condición en la que la exfoliación ocurre en una porción del anillo de canalización y, ya que una vibración considerable se genera a medida que el elemento rodante se mueve más allá del sitio de exfoliación, una vibración similar a un pulso ocurre cíclicamente de acuerdo con la rotación del árbol. Cuando los elementos rodantes se mueven más allá de otro sitio diferente del sitio de exfoliación, el incremento del grado de vibración es pequeño. Por consiguiente, cuando con respecto a tal onda de vibración, se comparan el valor efectivo de la onda de vibración, cuando no ocurre anomalías en el cojinete, y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente, el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda de vibración se incrementa y el valor efectivo de la onda de vibración en bruto no se incrementa tanto.

La Fig. 33 ilustra un gráfico de ondas que muestra la onda de vibración del cojinete observado en la fase terminal de la anomalías de exfoliación. Como se muestra en la Fig. 33, la fase terminal de la anomalías de exfoliación se representa por una condición en la que la exfoliación transita sobre toda el área del anillo de canalización y, en comparación con la fase inicial de la anomalías, el grado de vibración se incrementa totalmente y la tendencia de la vibración similar al pulso se debilita. Por consiguiente, cuando con respecto a tal onda de vibración, se comparan el valor efectivo de la onda de vibración en la fase inicial de la anomalías de exfoliación y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente, el valor efectivo de la onda de vibración en bruto se incrementa y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente desciende.

La Fig. 34 ilustra un gráfico que muestra respectivos cambios cronológicos del valor efectivo de la onda de vibración del cojinete y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente, cuando la exfoliación ha ocurrido en una porción del anillo de canalización del cojinete y posteriormente ha transitado sobre toda el área del anillo de canalización. Debe apreciarse que en la Fig. 34 y también en la Fig. 35 a las que se hará referencia más tarde, el cambio cronológico de cada uno de estos valores efectivos se exhibe cuando la velocidad rotativa del árbol 420 principal está a un valor constante.

En referencia ahora a la Fig. 34, una curva k1 representa el cambio cronológico del valor efectivo de la onda de vibración exhibida cuando ningún proceso envolvente se aplica mientras una curva k2 representa el cambio cronológico del valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente. En la temporización t1 antes de la aparición de la exfoliación, es decir, en la que la exfoliación aún no ha ocurrido, tanto el valor efectivo (k1) de la onda de vibración como el valor efectivo (k2) del componente de corriente alterna de la onda envolvente son pequeños. Debe apreciarse que la onda de vibración en la temporización t1 representa tal onda como se muestra en la Fig. 32, a la que ya se ha hecho referencia anteriormente.

Una vez que ocurre la exfoliación en una porción del anillo de canalización del cojinete, como se analiza en referencia a la Fig. 32, el valor efectivo (k2) del componente de corriente alterna de la onda envolvente se incrementa considerablemente y, por otro lado, el valor efectivo (k1) de la onda de vibración sin proceso envolvente aplicado no se incrementa tanto (en las proximidades de la temporización t2).

Además, cuando la exfoliación transita posteriormente a toda el área del anillo de canalización, el valor efectivo (k1) de la onda de vibración sin proceso envolvente aplicado se incrementa considerablemente y, por otro lado, el valor efectivo (k2) del componente de corriente alterna de la onda envolvente desciende (en las proximidades de la temporización t3) como se analiza en referencia a la Fig. 33.

Además, la Fig. 35 ilustra un gráfico que muestra el cambio cronológico del valor efectivo de la onda de vibración del cojinete y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente cuando la aspereza de superficie de la lubricación insuficiente ocurre en el anillo de canalización del cojinete. Incluso en la Fig. 35, como es el caso con la Fig. 34, una curva k1 representa el cambio cronológico del valor efectivo de la onda de vibración exhibida cuando no se aplica ningún proceso envolvente mientras una curva k2 representa el cambio cronológico del valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente.

En la temporización t11 antes de la aparición de la aspereza de superficie y/o la lubricación insuficiente del anillo de canalización, tanto el valor efectivo (k1) de la onda de vibración como el valor efectivo (k2) del componente de corriente alterna de la onda envolvente son pequeños. Debe apreciarse que la onda de vibración en la temporización t11 se vuelve similar a la onda mostrada en la Fig. 30.

Una vez que la aspereza de superficie o la lubricación insuficiente del anillo de canalización del conjunto de cojinete ocurre, el valor efectivo (k1) de la onda, al que no se aplica ningún proceso envolvente, se incrementa y, por otro lado, el incremento de valor efectivo (k2) del componente de corriente alterna de la onda envolvente no se observa (en las proximidades de la temporización t12).

Como se ha analizado antes, basándose en el cambio cronológico de cada uno del valor efectivo (k1) de la onda de vibración en bruto, en la que no se aplica proceso envolvente, y el valor efectivo (k2) del componente de corriente alterna de la onda envolvente, el diagnóstico de anomalías del conjunto de cojinete puede realizarse adicionalmente con precisión.

Además, de acuerdo con el Ejemplo Específico 1 anterior, ya que la aparición de la anomalías en el cojinete se diagnostica basándose en el valor efectivo de la onda de vibración del cojinete, que se ha medido por el uso del sensor 70 de vibración, y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente, que se genera

aplicando el proceso envolvente a la onda de vibración medida por el uso del sensor 70 de vibración, el diagnóstico de anomalías preciso en comparación con la técnica convencional que depende del análisis de frecuencia puede realizarse. Además, un mantenimiento innecesario puede reducirse y el coste en el que se incurre en el mantenimiento puede reducirse.

5 **[Ejemplo Específico 2]**

10 Cuando la velocidad rotativa del árbol 420 principal mostrado en la Fig. 21 cambia, la magnitud de la vibración del cojinete tal como, por ejemplo, el cojinete 460 del árbol principal cambia. En general, el grado de vibración del cojinete se incrementa con un incremento de la velocidad rotativa del árbol principal. Por consiguiente, en el Ejemplo Específico 2, el valor efectivo de la onda de vibración del cojinete y el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente se normalizan con la velocidad rotativa y el diagnóstico de anomalías del conjunto de cojinete se realiza con el uso de los valores efectivos así normalizados.

15 La Fig. 36 ilustra un diagrama de bloque funcional que muestra la funcionalidad de la estructura desde la sección 51 de diagnóstico de anomalías de vibración empleada en este Ejemplo Específico 2. Como se muestra en la Fig. 36, la sección 51 del diagnóstico de anomalías es similar a la sección 51 de diagnóstico de anomalías empleada en el Ejemplo Específico 1 antes descrito y mostrado en la Fig. 29, excepto que un bloque 530 de cálculo de grado de vibración modificado, un bloque 570 de cálculo de grado de modulación modificado y un bloque 600 de generación de función de velocidad se emplean adicionalmente.

20 El bloque 600 de generación de función de velocidad recibe un valor de detección descriptivo de la velocidad rotativa del árbol 420 principal desde el sensor 210 de rotación. Debe apreciarse que el sensor 210 de rotación puede ser capaz de enviar un valor de detección descriptivo de la posición rotativa del árbol 420 principal por lo que la velocidad rotativa del árbol 420 principal puede calcularse en el bloque 600 de generación de función de velocidad. El bloque 600 de generación de función de velocidad genera una función de velocidad A(N) para normalizar el valor efectivo de la onda de vibración del cojinete, calculado por el bloque 520 de cálculo de valor efectivo, con la velocidad rotativa N del árbol 420 principal y una función de velocidad B(N) para normalizar el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente, calculado por un bloque 560 de cálculo de valor efectivo, con la velocidad rotativa N del árbol 420 principal. A modo de ejemplo, las funciones de velocidad A(N) y B(N) se expresan por las siguientes fórmulas:

$$A(N) = a \times N^{-0.5} \dots\dots (1)$$

$$B(N) = b \times N^{-0.5} \dots\dots (2)$$

30 donde a y b representan constantes respectivas determinadas por, por ejemplo, una serie de experimentos y pueden ser valores respectivos o bien diferentes entre sí o iguales entre sí.

35 El bloque 530 de cálculo de grado de vibración modificado recibe el valor efectivo de la onda de vibración del cojinete desde un bloque 520 de cálculo de valor efectivo y la función de velocidad A(N) desde el bloque 600 de generación de función de velocidad. Después, el bloque 530 de cálculo de grado de vibración modificado hace uso de la función de velocidad A(N) para calcular un valor, que se corresponde con el valor efectivo de la onda de vibración, calculado por el bloque 520 del cálculo de valor efectivo, que se normaliza con la velocidad rotativa del árbol 420 principal (denominado después como "grado de vibración modificado"). Más específicamente, usando el valor efectivo vr de la onda de vibración calculado por el bloque 520 de cálculo de valor efectivo y la función de velocidad A(N), el grado de vibración modificado Vr* se calcula por la siguiente fórmula:

$$40 \quad Vr^* = A(N) \sqrt{\frac{\int_0^T \{Vr(t) - Vra\}^2 dt}{T}} \dots\dots(3)$$

donde Vra representa el valor promedio de Vr durante el periodo de tiempo de 0 a T.

El bloque 530 de cálculo de grado de vibración modificado envía al bloque 580 de almacenamiento un grado de vibración modificado Vr* calculado por la fórmula (3) anterior.

45 El bloque 570 de cálculo de grado de modulación modificado recibe el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente desde el bloque 560 de cálculo de valor efectivo y la función de velocidad B(N) desde el bloque 600 de generación de función de velocidad. El bloque 570 de cálculo de grado de modulación modificado hace uso de la función de velocidad B(N) para calcular un valor que se corresponde con el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente, calculado por el bloque 560 de cálculo de valor efectivo, que se normaliza con la velocidad rotativa del árbol 420 principal (denominado a continuación "grado de modulación modificado"). Más específicamente, usando el valor efectivo Ve del componente de corriente alterna de la onda envolvente calculado por el bloque 560 de cálculo de valor efectivo y la función de velocidad B(N), el grado de vibración modificado Ve* se calcula por la siguiente fórmula:

$$Ve^* = B(N) \sqrt{\frac{\int_0^T \{Ve(t) - Ve_a\}^2 dt}{T}} \quad \dots(4)$$

En esta fórmula (4) Ve_a representa el valor promedio de Ve durante el periodo de tiempo de 0 a T. El bloque 570 de cálculo de grado de modulación modificado envía al bloque 580 de almacenamiento el grado de modulación modificado Ve^* calculado por la fórmula (4) anterior. El bloque 530 de cálculo de grado de vibración modificado envía al bloque 580 de almacenamiento el grado de vibración modificación Vr^* calculado por la fórmula (3) mencionada anteriormente.

El grado de vibración modificado Vr^* y el grado de modulación modificado Ve^* , que se han almacenado en el bloque 580 de almacenamiento de momento a momento, se leen mediante el bloque 590 de diagnóstico y, basándose en el cambio cronológico del grado de vibración modificado Vr^* y el grado de modulación modificado Ve^* , que se han leído así, el diagnóstico de anomalías del cojinete se realiza por el bloque 590 de diagnóstico.

Debe apreciarse que en lo anterior el sensor 210 de rotación puede encajarse en el árbol 420 principal y un conjunto de cojinete equipado con el sensor de rotación de un tipo, en el que el sensor 210 de rotación se incorpora en el conjunto de cojinete, puede usarse en el cojinete que es un objeto a diagnosticar.

Como se ha descrito antes, de acuerdo con el Ejemplo Específico 2, ya que la presencia o ausencia de la anomalías se diagnostica basándose en el grado de vibración modificado Vr^* , que se corresponde con el valor efectivo de la onda de vibración del cojinete normalizado con la velocidad rotativa, y el grado de modulación modificado Ve^* , que se corresponde con el valor efectivo del componente de corriente alterna de la onda envolvente normalizada con la velocidad rotativa, el diagnóstico de anomalías preciso adicional puede realizarse con perturbaciones que resultan del cambio en la velocidad rotativa que se ha retirado.

[Ejemplo Específico 3]

En este Ejemplo Específico 3, para realizar un diagnóstico de anomalías preciso adicional, el diagnóstico de anomalías que depende del análisis de frecuencia se usa simultáneamente además del Ejemplo Específico 1 o el Ejemplo Específico 2 descritos antes. La Fig. 37 ilustra un diagrama de bloque funcional que muestra funcionalmente la estructura de la sección 51 de diagnóstico de anomalías de vibración empleada en la práctica del Ejemplo Específico 3. Como se muestra en la Fig. 37, la sección 51 de diagnóstico de anomalías es similar a la sección 51 de diagnóstico de anomalías, mostrada y descrita en referencia a la Fig. 36, excepto que los bloques 620 y 630 de análisis de frecuencia se emplean adicionalmente.

El bloque 620 de análisis de frecuencia recibió del HPF 510 una onda de vibración del cojinete desde el que un componente de corriente continua se ha retirado. El bloque 620 de análisis de frecuencia realiza un análisis de frecuencia en la onda de vibración del cojinete así recibido y luego envía un resultado del análisis de frecuencia al bloque 580 de almacenamiento. A modo de ejemplo, el bloque 620 de análisis de frecuencia aplica un proceso de transformada rápida de Fourier (FFT) en la onda de vibración del cojinete que recibe desde el filtro 510 de paso alto, y una frecuencia máxima que supera un valor de umbral predeterminado se envía posteriormente al bloque 580 de almacenamiento.

Además, el bloque 630 de análisis de frecuencia recibe desde el filtro 550 de alta frecuencia un componente de corriente alterna de la onda envolvente desde la que un componente de corriente continua se ha retirado. Y el bloque 630 de análisis de frecuencia realiza un análisis de frecuencia en el componente de corriente alterna de la onda envolvente así recibida y luego envía un resultado del análisis de frecuencia al bloque 580 de almacenamiento. A modo de ejemplo, el bloque 630 de análisis de frecuencia aplica un proceso FFT en el componente de corriente alterna de la onda envolvente, que se recibe desde el filtro 550 del paso alto, y una frecuencia máxima que supera un valor de umbral predeterminado se envía posteriormente al bloque 580 de almacenamiento.

El bloque 590 de diagnóstico mencionado antes lee desde el bloque 580 de almacenamiento los resultados del análisis de frecuencia realizado respectivamente por los bloques 620 y 630 de análisis de frecuencia junto con el grado de vibración modificado Vr^* y el grado de modulación modificado Ve^* y realiza un diagnóstico de anomalías fiable adicional utilizando simultáneamente los resultados del análisis de frecuencia junto con los cambios cronológicos del grado de vibración modificado Vr^* y el grado de modulación modificado Ve^* .

A modo de ejemplo, los resultados del análisis de frecuencia realizado respectivamente por los bloques 620 y 630 de análisis de frecuencia pueden usarse al estimar el lugar de generación de la anomalías cuando la anomalías se detecta mediante el diagnóstico de anomalías basándose en el grado de vibración modificado Vr^* y el grado de modulación modificación Ve^* . En otras palabras, cuando ocurre un daño dentro del cojinete, un máximo de una vibración de una frecuencia particular se determina teóricamente desde la estructura geométrica dentro del conjunto de cojinete y la velocidad rotativa se genera dependiendo del sitio dañado (anillo interior, anillo exterior, elementos rodantes). Por consiguiente, al utilizar simultáneamente el resultado del análisis de frecuencia, realizado respectivamente mediante los bloques 620 y 630 de análisis de frecuencia con el diagnóstico de anomalías basándose en el grado de vibración de modificado Vr^* y el grado de modulación modificado Ve^* antes mencionados, un diagnóstico preciso adicional del lugar de aparición de anomalías puede lograrse.

Debe apreciarse que aunque en lo anterior los bloques 620 y 630 de análisis de frecuencia se han mostrado y descrito como añadidos al Ejemplo Específico 2 antes descrito, los bloques 620 y 630 de análisis de frecuencia pueden añadirse a la sección 51 de diagnóstico de anomalías empleada en la práctica del Ejemplo Específico 1 mostrado y descrito en referencia a la Fig. 29.

- 5 Como se ha descrito antes, de acuerdo con el Ejemplo Específico 3, ya que el diagnóstico de anomalías que depende del análisis de frecuencia se usa simultáneamente, la fiabilidad de diagnóstico de anomalías puede incrementarse además y el lugar de aparición de anomalías puede diagnosticarse adicionalmente con precisión.

[Ejemplo Específico 4]

10 En el Ejemplo Específico 4 analizado a continuación, para incrementar adicionalmente la fiabilidad del diagnóstico de anomalías del cojinete, los valores de detección de diversos sensores se utilizan simultáneamente. En este Ejemplo Específico 4, en lugar de la provisión de la sección 52 de diagnóstico de anomalías de desplazamiento, la sección 53 de diagnóstico de anomalías de rotura interna y la sección 54 de diagnóstico de anomalías de impurezas, que se muestran en la Fig. 20, o además de las secciones 52 a 54 de diagnóstico de anomalías, las funciones de detección de anomalías para la anomalías de desplazamiento, rotura interna e impurezas antes descritas se añaden a la
15 sección 51 de diagnóstico de anomalías de vibración.

La Fig. 38 ilustra un diagrama de bloque funcional que muestra funcionalmente la estructura de la sección 51 de diagnóstico de anomalías de vibración empleada en la práctica del Ejemplo Específico 4. Como se muestra en la Fig. 38, la sección 51 de diagnóstico de anomalías es similar a la sección 51 de diagnóstico de anomalías mostrada y descrita en referencia a la Fig. 37, pero difiere de esta en que incluye un bloque 590A de diagnóstico en lugar del
20 bloque 590 de diagnóstico.

En el Ejemplo Específico 4, además del sensor 70 de vibración y del sensor 210 de rotación, al menos uno del sensor 240 de desplazamiento, un sensor 250 AE (Emisión Acústica), un sensor 260 de temperatura y un sensor de polvo de hierro de tipo magnético que es un sensor 270 de impurezas (a continuación mencionado como “sensor 270 de polvo de hierro de tipo magnético”) se emplean además. El bloque 590A de diagnóstico recibe un valor de detección desde al menos uno del sensor 240 de desplazamiento, el sensor 250 AE, el sensor 260 de temperatura y el sensor 270 de polvo de hierro de tipo magnético que se proporcionan en su interior. Además, el bloque 590A de diagnóstico lee desde el bloque 580 de almacenamiento el grado de vibración de modificado Vr^* y el grado de modulación modificado Ve^* y los resultados respectivos del análisis de frecuencia realizado por el bloque 620 y 630 de análisis de frecuencia.
25

30 El bloque 590A de diagnóstico realiza un uso simultáneo del valor de detección, recibido desde al menos uno del sensor 240 de desplazamiento, el sensor 250 AE, el sensor 260 de temperatura y el sensor 270 de polvo de hierro de tipo magnético, junto con el grado de vibración modificado Vr^* , el grado de modulación modificación Ve^* y los resultados respectivos del análisis de frecuencia realizado por los bloques 620 y 630 del análisis de frecuencia para realizar por tanto el diagnóstico de anomalías del conjunto de cojinete.

35 El sensor 240 de desplazamiento se adapta al cojinete para detectar el desplazamiento relativo del anillo interior en relación con el anillo exterior del cojinete 60, desplazamiento relativo que se envía posteriormente al bloque 590A de diagnóstico. En la práctica del grado de vibración modificado Vr^* , el grado de modulación modificado Ve^* y las técnicas de análisis de frecuencia antes descritas que utilizan el valor de detección del sensor 70 de vibración, es difícil detectar la anomalías relativa de toda la abrasión de la superficie rodante, pero la abrasión dentro del cojinete puede detectarse detectando el desplazamiento relativo del anillo interior en relación con el anillo exterior con el sensor 240 de desplazamiento. El bloque 590A de diagnóstico determina la aparición de la anomalías en el cojinete en el caso de que el valor de detección del sensor 240 de desplazamiento sea mayor que un valor predeterminado (valor de umbral S3). Debe apreciarse que ya que el sensor 240 de desplazamiento detecta el desplazamiento relativo entre el anillo exterior y el anillo interior, es necesario mantener la precisión de una superficie de no medición en una alta calidad.
40
45

El sensor 250 AE se adapta al cojinete para detectar una onda de emisión acústica (señal AE) generada desde el cojinete y luego la envía al bloque 590A de diagnóstico. Este sensor 250 AE es excelente al detectar la rotura interna que ocurre en un miembro que forma el cojinete y el uso simultáneo de este sensor 250 AE hace posible la detección temprana de la anomalías de exfoliación que se genera debido a la rotura interna de un tipo difícil para la detección por parte del sensor 70 de vibración. En caso de que la cantidad de tiempo que la amplitud de la señal AE detectada por el sensor 250 AE supera un valor de umbral, es mayor que el valor de umbral S4 y/o en el caso de que la señal AE o una señal obtenida al realizar el proceso envolvente en la señal AE sea mayor que un valor de umbral, el bloque 590A de diagnóstico determina la aparición de la anomalías en el cojinete.
50

El sensor 260 de temperatura se adapta al cojinete para detectar la temperatura del cojinete y luego envía una señal indicativa de la temperatura así detectada al bloque 590A de diagnóstico. En general, el cojinete desarrolla calor en el caso de una lubricación insuficiente y un tamaño pequeño de un hueco dentro del cojinete y fallará en rotar cuando una condición capturada ocurre a través de un cambio en color de la superficie rodante y/o la soldadura de plástico. Por consiguiente, al detectar la temperatura del cojinete con el sensor 260 de temperatura, la anomalías tal
55

como por ejemplo, la lubricación insuficiente puede detectarse de manera temprana. Debe apreciarse que en lugar del sensor 260 de temperatura adaptado al cojinete, el instrumento 8 de medición de temperatura de aceite antes descrito para detectar la temperatura del aceite puede utilizarse.

5 El bloque 590A de diagnóstico realiza el diagnóstico de anomalías tal como, por ejemplo, la lubricación insuficiente por referencia adicional al valor de detección del sensor 260 de temperatura cuando el grado de vibración modificado Vr^* y el grado de modulación modificado Ve^* exhiben tal comportamiento como se muestra en la Fig. 37. Debe apreciarse que el bloque 590A de diagnóstico antes mencionado puede determinar la aparición de la anomalías en el cojinete solo por el motivo de que el valor de detección desde el sensor 260 de temperatura sea mayor que el valor predeterminado.

10 El sensor 260 de temperatura se constituye por, por ejemplo, un termistor, un elemento de resistencia de platino o un termopar.

15 El sensor 270 de polvo de hierro de tipo magnético detecta la cantidad de un polvo de hierro contenido en el lubricante para el cojinete y luego envía su valor detectado al bloque 590A de diagnóstico. Este sensor 270 de polvo de hierro de tipo magnético está compuesto de, por ejemplo, un electrodo de forma de varilla y un electrodo que tienen un imán incorporado en su interior y está dispuesto en la trayectoria de circulación del lubricante para el cojinete. El sensor 270 de polvo de hierro de tipo magnético captura el polvo de hierro, contenido en el lubricante, mediante el imán y envía una señal en el caso de que la resistencia eléctrica entre los electrodos descienda por debajo de un valor predeterminado como resultado de la adhesión del polvo de hierro. En otras palabras, cuando el cojinete se desgasta friccionalmente, el polvo de hierro que resulta de la abrasión se mezcla en el lubricante y por tanto al detectar la cantidad de polvo de hierro contenido en el lubricante para el cojinete con el sensor 270 de polvo de hierro de tipo magnético, la abrasión del cojinete 60 puede detectarse. El bloque 590A de diagnóstico cuando recibe la señal del sensor 270 de polvo de hierro de tipo magnético determina la aparición de la anomalías en el cojinete 60.

25 Debe apreciarse que aunque no se muestre específicamente, un sensor óptico capaz de detectar una turbidez del lubricante basándose en una transmitancia puede emplearse en lugar del sensor 270 de polvo de hierro magnético. A modo de ejemplo, el sensor óptico detecta la cantidad del polvo de abrasión de cojinete en el aceite lubricante proyectando rayos de luz desde un elemento emisor de luz sobre el aceite lubricante y detectando un cambio en la intensidad de la luz que llega a un elemento de recepción de luz. Debe apreciarse que la transmitancia de la luz se decide mediante la relación entre un valor de salida del elemento de recepción de luz, cuando ninguna materia extraña se mezcla con el aceite lubricante, y un valor de salida del elemento de recepción de luz, cuando el óxido de hierro se mezcla en su interior, y el bloque 590A de diagnóstico determina la aparición de la anomalías en el cojinete cuando la transmitancia del mismo es mayor que un valor predeterminado.

30 Debe apreciarse que aunque en la Fig. 40, el sensor 240 de desplazamiento, el sensor 250 AE, el sensor 260 de temperatura y el sensor 270 de polvo de hierro de tipo magnético se muestran, todos ellos pueden no emplearse necesariamente y el uso de solo uno de ellos es efectivo para incrementar la fiabilidad del diagnóstico de anomalías.

35 De acuerdo con el ejemplo específico 4 anterior, ya que los valores de detección de los diversos sensores se utilizan simultáneamente como se ha descrito antes, la fiabilidad del diagnóstico de anomalías puede incrementarse, adicionalmente. En particular, mediante el uso simultáneo del sensor 240 de desplazamiento la abrasión que ocurre dentro del cojinete puede diagnosticarse y, mediante el uso simultáneo del sensor 250 AE, la anomalías de exfoliación que ocurre como resultado de la rotura interna puede diagnosticarse con antelación. Además, mediante el uso simultáneo del sensor 260 de temperatura, la anomalías como, por ejemplo la lubricación insuficiente puede diagnosticarse con antelación y, mediante el uso simultáneo del sensor 270 de polvo de hierro de tipo magnético y el sensor óptico o similar capaz de detectar la turbidez del lubricante a través de la transmitancia de luz, la abrasión del cojinete puede diagnosticarse.

40 Debe apreciarse que la sección 52 de diagnóstico de anomalía de desplazamiento, la sección 53 de diagnóstico de anomalía de rotura interna y la sección 54 de diagnóstico de anomalías de impurezas, todas mostradas en la Figura 20, se proporcionan como instrumentos respectivos para realizar las diversas funciones del diagnóstico de anomalías para el desplazamiento, rotura interna e impurezas de la sección 590A de diagnóstico mostrada en la Figura 38, por separado de la sección 51 de diagnóstico de anomalía de vibración.

45 La Figura 39 ilustra un ejemplo ampliado del sistema de supervisión de estado del dispositivo rodante de un tipo empleado en este generador de turbina eólica. La góndola 490 mejor mostrada en la Figura 21 está en una ubicación alta y por tanto considerando la capacidad de realización de mantenimiento, el sistema de supervisión de estado para el generador de turbina eólica se instala aconsejablemente en una ubicación lejos de la góndola 490. Sin embargo, para transmitir la propia onda de vibración, que se mide con el uso del sensor 70 de vibración, a un lugar remoto se requiere un dispositivo de transmisión que tiene una alta velocidad de transmisión y esto puede tener como resultado el incremento del coste. Además, considerando que la góndola 490 se instala en una alta ubicación como se ha dicho antes, el uso de una comunicación inalámbrica es aconsejable para un dispositivo de comunicación desde la góndola 490 al exterior.

En vista de lo anterior, en el ejemplo mostrado en la Figura 41, el cálculo de la concentración de agua, el cálculo del grado de vibración modificado Vr^* y el grado de modulación modificado Ve^* y el proceso de análisis de frecuencia (donde el análisis de frecuencia se usa simultáneamente) se ejecutan en el aparato de procesamiento de datos proporcionado en la góndola 490, y la concentración de agua calculada, el grado de vibración modificado calculado Vr^* y el grado de modulación modificado Ve^* y el resultado calculado del análisis de frecuencia (la frecuencia máxima) se transmiten de manera inalámbrica desde la góndola 490 al exterior. Los datos transmitidos de manera inalámbrica desde la góndola 490 se reciben por el servidor de comunicación conectado con Internet y el diagnóstico de anomalías de cojinete se realiza después de que los datos se transmitan a un servidor de diagnóstico a través de Internet.

La Figura 39 ilustra un diagrama esquemático que muestra esquemáticamente toda la estructura del sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante usado en el generador de turbina eólica utilizando el dispositivo de comunicación al lugar remoto. Como se muestra en la Figura 39, el sistema de supervisión de estado para el generador de turbina eólica incluye un generador 400 de turbina eólica, un servidor 310 de comunicación, Internet 320 y un servidor 330 de diagnóstico de estado del cojinete.

La estructura del generador 400 de turbina eólica es tal como se ha descrito antes y por tanto no se repetirá por el bien de la brevedad. Sin embargo, debe apreciarse que como se describirá después, en el aparato de procesamiento de datos del generador 400 de turbina eólica en este ejemplo, un bloque de comunicación inalámbrico se proporciona en lugar del bloque de diagnóstico. Y el generador 400 de turbina eólica hace uso del valor de detección del sensor 70 de vibración, como se muestra mejor en la Figura 20, para calcular el grado de vibración modificado antes descrito Vr^* y el grado de amplitud modificado Ve^* y el resultado del análisis de frecuencia (donde el análisis de frecuencia se usa simultáneamente) y envía los resultados de esos cálculos inalámbricamente al servidor 310 de comunicación.

El servidor 310 de comunicación se conecta con Internet 320. Y el servidor 310 de comunicación recibe los datos comunicados inalámbricamente desde el generador 400 de turbina eólica y envía los datos recibidos al servidor 330 de diagnóstico de estado del cojinete a través de Internet 320. El servidor 330 de diagnóstico de estado del cojinete se conecta con Internet 320. Y el servidor 330 de diagnóstico de estado del cojinete recibe datos desde el servidor 310 de comunicación a través de Internet 320 y realiza el diagnóstico de anomalías que ocurre en el cojinete, que se proporciona en el generador 400 de turbina eólica, basándose en el grado de vibración modificado Vr^* y el grado de modulación modificado Ve^* y el resultado del análisis de frecuencia (donde el análisis de frecuencia se usa simultáneamente) todos calculados en el generador 400 de turbina eólica.

[Ejemplo Específico 5]

La Figura 40 ilustra un diagrama de bloques funcional que muestra la funcionalidad de la estructura de la sección 51 de diagnóstico de anomalías de vibración en el aparato de procesamiento de datos incluido en el generador 400 de turbina eólica mostrado y descrito en referencia a la Figura 39. Como se muestra en la Figura 40, la sección 51 de diagnóstico de anomalías es similar a la sección 51 de diagnóstico de anomalías mostrada y descrita en referencia a la Figura 37, pero se diferencia de aquella en que en el lugar del bloque 590 de diagnóstico se incluye un bloque 280 de comunicación inalámbrico. El bloque 280 de comunicación inalámbrico lee desde el bloque 580 de almacenamiento el grado de vibración modificado Vr^* , el grado de modulación modificado Ve^* y los resultados de los análisis de frecuencia mediante los bloques 620 y 630 de análisis de frecuencia y transmite los datos leídos inalámbricamente al servidor 310 de comunicación mejor mostrado en la Figura 39.

Otras características estructurales de la sección 51 de diagnóstico de anomalías mostrada en esa Figura son similares a las de la sección 51 de diagnóstico anomalías mostrada y descrita en referencia a la Figura 39.

Aunque en lo anterior se ha descrito que la comunicación inalámbrica ocurre entre la góndola 490 y el servidor 310 de comunicación, la góndola 490 y el servidor 310 de comunicación pueden estar cableados. En tal caso, se requiere un cableado, pero el dispositivo de comunicación inalámbrica ya no se emplea y el sistema cableado generalmente hace posible transmitir más información y, por tanto, el procesamiento puede integrarse en un substrato principal en la góndola 490.

Además, el dispositivo de supervisión de estado usado en el dispositivo de generación de energía eólica antes descrito se construye preferentemente independiente del sistema de supervisión de generación de energía existente. Al construirlo así, el coste de introducción del dispositivo de supervisión de estado para el dispositivo de generación de energía eólica puede suprimirse sin la necesidad de alterar ningún sistema existente.

Como se ha descrito antes, de acuerdo con el Ejemplo Específico 5, el diagnóstico de anomalías del conjunto de cojinete proporcionado en el generador 400 de turbina eólica puede realizarse en el servidor 330 de diagnóstico de estado de cojinete instalado en un lugar remoto, y la carga de mantenimiento y el coste pueden reducirse ventajosamente.

Además, aunque la góndola 490 se instala en una alta ubicación y el entorno de trabajo es muy malo, la provisión del bloque 280 de comunicación inalámbrica y el servidor 310 de comunicación permite una señal enviada desde la góndola 490 que se transmite inalámbricamente y, por tanto, un trabajo de cableado en la góndola 490 puede

suprimirse a un mínimo y ningún trabajo de cableado se necesita dentro de la torre 500 usada para soportar la góndola 490.

5 La sección 9 de cálculo de concentración de agua mostrada mejor en la Figura 20 puede proporcionarse en el aparato de procesamiento de datos instalado en la góndola 490 o en el servidor 330 de diagnóstico de estado del cojinete mejor mostrado y descrito con referencia a la Figura 39.

Debe apreciarse que, aunque la anterior realización se ha mostrado y descrito como aplicada al dispositivo 1 rodante que forma el dispositivo de generación de energía eólica, la presente invención puede aplicarse igualmente a la supervisión de estado del dispositivo rodante que forma cualquier diversa máquina tal como por ejemplo el dispositivo rodante que forma una máquina industrial, máquina herramienta o máquina de construcción.

10 El sistema de supervisión de estado y el procedimiento de supervisión de acuerdo con el dispositivo rodante de acuerdo con una decimotercera realización se describirán ahora en referencia particular a las Figuras 41 a 43. El sistema 6 de supervisión de estado para el dispositivo rodante incluye un sistema 40A de supervisión de estado proporcionado en el aparato 30A de procesamiento de datos, y diversos sensores (7, 8, 70, 210, 240, 250, 270). El aparato 30 de procesamiento de datos es similar al empleado en la práctica de la primera realización antes descrita y está compuesto de un ordenador tal como por ejemplo un microordenador o un ordenador personal, y un programa ejecutado así, o circuitos electrónicos dedicados.

Aunque en el ejemplo mostrado en la Figura 41 sea ha hecho referencia al dispositivo de generación de energía eólica, el dispositivo 1 rodante mostrado en su interior puede emplearse por ejemplo en un mecanismo de reducción de velocidad o una máquina herramienta, o cualquier otra máquina y equipo.

20 El sistema 40A de supervisión de estado incluye una sección 10 de supervisión de índice de reducción de vida de concentración de agua que incluye, además de la sección 9 de cálculo de concentración de agua contaminante para supervisar la concentración de agua contaminante en el aceite lubricante usado para lubricar la parte 3 de componente rodante del dispositivo 1 rodante, una sección 18 de supervisión de índice de reducción de vida, una sección 19 de estimación de vida restante y una unidad 20 de diagnóstico para una concentración de anomalías, y además de esto, diversas secciones 51 a 55 de diagnóstico de anomalías se proporcionan.

25 La sección 18 de supervisión de índice de reducción de vida determina el índice de reducción de vida α de la parte 3 del componente rodante desde la concentración de agua contaminante c , detectada por la sección 9 de cálculo de concentración de agua, con el uso de una relación predeterminada entre la concentración de agua contaminante c y el índice de reducción de vida α del elemento rodante.

30 A modo de ejemplo, tal como se muestra en el gráfico de la Figura 42, la relación de una función $\alpha(c)$ descriptiva del índice de reducción de vida α ($= [1 - \text{vida actual } L/\text{vida } L_{10} \text{ bajo Carga Esperada}]$) en relación con la concentración de agua contaminante c se determina de antemano desde una serie de experimentos. En este caso, asumiendo que la parte 3 de componente rodante, que es el objeto a supervisar, es un cojinete, la concentración de agua contaminante en el conjunto de cojinete, que es el objeto a supervisar y que se aplica a una máquina actual, se mide y el índice de reducción de vida α se estima desde la gráfica de la Figura 42. El experimento para determinar el índice de reducción de vida α utiliza un procedimiento para determinar el valor S_1 de umbral como se analizará después. La función $\alpha(c)$ así determinada de la manera antes descrita se ajusta en la sección 18 de supervisión de índice de reducción de vida como la relación entre la concentración de agua contaminante c y el índice de reducción de vida α de la parte de componente rodante que se determinan de la manera antes descrita.

40 La sección 19 de estimación de vida restante antes mencionada estima la vida restante de la parte 3 de componente rodante, que es el objeto a supervisar, mediante el uso de un índice de reducción de vida α enviado por la sección 18 de supervisión de índice de reducción de vida, y una fórmula de estimación de vida restante predeterminada. Donde la parte 3 de componente rodante es el cojinete, la vida restante puede predecirse de la manera siguiente. A modo de ejemplo, la vida restante se estima utilizando la idea de la regla de Miner (la idea tal como se desvela en el documento no de patente 11 mencionado anteriormente que en caso de un material en el que diversas amplitudes de tensión invertida actúan, donde el índice de repetición desde el diagrama S-N en una "probabilidad de rotura determinada" a la rotura se ha hecho disponible para cada valor de umbral de tensión, la exploración o rotura ocurre y la vida se alcanza cuando la suma de los conteos de repetición en las tensiones respectivas alcanza una "probabilidad de rotura determinada"), desde la concentración de agua contaminante c y la cantidad de rotación (vida) del conjunto de cojinete. A continuación, se explicará tal procedimiento.

55 Basándose en los datos del índice de reducción de vida proporcionado durante el experimento preparatorio mostrado en la Figura 42, la relación entre la concentración de agua contaminante c y la vida (cantidad de rotación) en el cojinete actual se deriva como se muestra en la Figura 43. Como procedimientos, la vida del cojinete cuando la concentración de agua contaminante es cero (0) se expresa mediante L_{10} y la vida del conjunto de cojinete actual en una concentración de agua contaminante elegida arbitrariamente puede determinarse si $(1 - \alpha(c))$ se multiplica por L_{10} del conjunto de cojinete actual. Aquí se asume que la concentración de agua contaminante de la máquina actual es c_1 . Si la cantidad de operación N_{c1} del cojinete en esta condición supera $(1 - \alpha(c_1)) \cdot L_{10}$, se espera que el

cojinete se rompa. En otras palabras, si $N_{c1}/(1 - \alpha(c1)) \cdot L_{10}$ supera 1, esto puede verse como que la vida se ha alcanzado.

Sin embargo, debe apreciarse que, en el caso de la máquina actual, el conjunto de cojinete se opera bajo diversas concentraciones de agua contaminante. En el procedimiento de estimación de vida restante en tal caso se deriva la idea de la regla de Miner que se usa frecuentemente para predecir la vida del cojinete rodante en diversas condiciones cargadas. Más específicamente, en una cierta concentración de agua contaminante c_1 , $N_{c1}/(1 - \alpha(c1)) \cdot L_{10}$ cuando el cojinete se opera, la cantidad de rotación N_{c1} se determina (a continuación, la relación se denomina la relación de vida de cantidad rotativa). En otras palabras, cuando se opera en diversas concentraciones de agua contaminante, la relación de vida rotativa se añade y en el momento en que esta suma supera 1, esto se ve como que la vida del conjunto de cojinete se ha alcanzado. Asumiendo que la vida restante es L , esto puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$L = (1 - \sum_i \frac{N_{ci}}{(1 - \alpha(c_i)) L_{10}}) \times (1 - \alpha(c_{ave})) L_{10}$$

donde c_{ave} representa la concentración de agua contaminante esperada en la operación futura, N_{ci} representa la cantidad de rotación acumulada en el rango de concentración de agua contaminante c_i (donde i representa el número de rango) y c_0 a c_R representan rangos de la concentración de agua contaminante (donde R representa el número de los rangos).

c_{ave} puede ser la concentración de agua contaminante promedia suficiente para ser la concentración de agua contaminante promedia exhibida durante una zona de tiempo cerca de la temporización en la que la vida restante se calcula. Por ejemplo, puede ser el valor promedio calculado durante los últimos diez días. El cálculo de c_{ave} hace uso de la concentración de agua contaminante c detectada por la sección 9 de cálculo en concentración de agua. Debe apreciarse que, para supervisar en un lado seguro, durante la medición de la concentración de agua contaminante, se recomienda medir la concentración de agua contaminante alta proporcionando la cámara de medición en una posición inferior que el tanque o el baño de aceite para facilitar la captura de agua y/o aditivos.

La sección 19 de estimación de vida restante tiene la fórmula anterior ajustada en su interior como la fórmula de estimación de vida restante predeterminada y hace uso del índice de reducción de vida α determinado por la sección 18 de supervisión de índice de reducción de vida. L_{10} es el L_{10} de una condición sin hidrógeno mezclado y puede determinarse mediante un ensayo de rotura. Ese valor determinado se usa. Debe apreciarse que, al realizar el ensayo de rotura en una concentración de agua contaminante constante, la reducción en vida debido a la fragilidad del hidrógeno puede esperarse. Al realizar el ensayo de rotura en esta concentración de agua contaminante constante a diversas concentraciones, la vida relativa de la concentración de agua contaminante tal como se muestra en el gráfico de la Figura 14 se vuelve disponible fácilmente. Por consiguiente, la función de ese índice de reducción de vida se ajusta como α . Si la relación entre la concentración de agua contaminante y la cantidad de rotación como se muestra en la Figura 43 se expresa, la exfoliación ocurrirá cuando la cantidad de rotación acumulada cuando el conjunto de cojinete rota en la concentración de agua contaminante c_1 logra $(1 - \alpha(c_1)) \cdot L_{10}$. Mientras tanto, ya que en la máquina actual no está la concentración de agua contaminante constante, sino que la concentración de agua contaminante cambia con el tiempo, la clasificación de acuerdo con el rango tal como, por ejemplo, la clasificación en $c_2, c_3, c_4 \dots c_n$, se hace de antemano, se emplea la idea de que la exfoliación no ocurre y la vida se alcanza en el momento en que la suma de valores de la cantidad acumulada de rotación N_n en esos rangos, que se dividen por $(1 - \alpha(c_n)) \cdot L_{10}$, logra 1.

En referencia a la Figura 41, la unidad 20 de diagnóstico para la anomalías de concentración compara la concentración de agua, detectada por la sección 9 de cálculo de concentración de agua, con el valor de umbral $S1$ predeterminado y luego determina la aparición de la anomalías en el caso de que el resultado de comparación indique el exceso por encima del valor de umbral $S1$ predeterminado.

Incluso la unidad 10A de supervisión de concentración de agua · índice de reducción de vida, etc. detecta la concentración de agua contaminada a partir de la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite que se detectan por tanto de manera similar a la empleada en la práctica de la primera realización antes descrita de la presente invención, y hace posible determinar con precisión la supervisión de la concentración de agua contaminante en el aceite 5 lubricante.

Además, a partir de la concentración de agua contaminante c determinada de la manera antes descrita, el índice de reducción de vida α que resulta de la fragilidad del hidrógeno en la parte 3 de componente rodante puede determinarse mediante la sección 18 de supervisión de índice de reducción de vida a partir de la relación predeterminada entre la concentración de agua contaminante y el índice de reducción de vida de la parte de componente rodante. Además, mediante la sección 19 de estimación de vida restante, la vida restante L se determina. La vida restante L hace que sea posible predecir el tiempo de aparición de, por ejemplo, la exfoliación en el cojinete a partir de la fragilidad del hidrógeno. Por consiguiente, cuando la preparación para el mantenimiento se hace de antemano anticipando la aparición de la anomalías, la longitud de tiempo de parada en operación posterior a la aparición de la anomalías puede acortarse. Este efecto está marcado particularmente en el caso del generador

de turbina eólica. Además, la sección 20 de diagnóstico de anomalías para la anomalías de concentración realiza la determinación de la aparición de la anomalías en el caso de que la concentración de agua contaminante sea mayor que el valor de umbral S1. Además, en el caso de que el daño prematuro que se origina de la fragilidad del hidrógeno de la parte 3 de componente rodante sea suficientemente grande para considerarse anormal, es posible detectarlo con precisión y llamar la atención de alguien. En la descripción que sigue, otro medio diferente de la unidad de supervisión de concentración de agua · índice de reducción de vida, etc. es similar al mostrado y descrito en relación con cualquiera de las anteriores realizaciones de la presente invención y por tanto los detalles del mismo no se repiten por el bien de la brevedad.

Debe apreciarse que en la decimotercera realización mostrada en la Figura 41, la descripción referente a la cámara de medición instalada en uno del detector 7 de capacitancia electrostática y el instrumento 8 de medición de temperatura del aceite para supervisar la concentración de agua contaminante se ha omitido, pero la provisión de la cámara 12 de medición se prefiere tal como se muestra en cualquiera de las Figuras 44, 45, 47 y 48.

Las Figuras 44 a 48 ilustran realizaciones catorce a dieciocho del aparato 6A de supervisión de concentración de agua contaminante para el dispositivo rodante. En esas realizaciones, otros artículos distintos de los que se describirán posteriormente son similares a los mostrados y descritos en referencia a las Figuras 41 a 43 en relación con la decimotercera realización. Además, en las Figuras 44 a 48 de los diversos medios que forman el sistema 40A de supervisión de estado, otros medios diferentes de la unidad 10A de supervisión de concentración de agua · índice de reducción de vida, etc. no se muestran.

Aunque en a decimotercera realización mostrada en la Figura 41, se ha hecho la medición de la capacitancia electrostática y la temperatura de aceite del aceite 5 lubricante dentro del depósito 4A de aceite lubricante en la carcasa 4, la decimocuarta realización mostrada en la Figura 44 es tal que la estructura del dispositivo 1A rodante excepto por el aparato 30A de procesamiento de datos se convierte en una estructura similar a la empleada en la segunda realización descrita anteriormente mostrada en la Figura 2. Otras funciones y efectos son similares a los ya proporcionados por la segunda realización antes descrita y por tanto los detalles de la misma no se repiten por el bien de la brevedad.

En la decimoquinta realización mostrada en la Figura 45, la estructura del dispositivo 1 rodante excepto por el aparato 30A de procesamiento de datos es similar a la mostrada en la Figura 3 en relación con la tercera realización antes descrita. Otras funciones y efectos son similares a los ya proporcionados por la tercera realización antes descrita y por tanto los detalles de la misma no se repiten por el bien de la brevedad.

En la decimosexta realización mostrada en la Figura 46, la estructura del dispositivo 1 rodante excepto por el aparato 30A de procesamiento de datos es similar a la mostrada en la Figura 4 en relación con la cuarta realización antes descrita. Otras funciones y efectos son similares a los ya proporcionados por la cuarta realización antes descrita y por tanto los detalles de la misma no se repiten por el bien de la brevedad.

En la decimoséptima realización mostrada en la Figura 47, la estructura del dispositivo 1 rodante excepto por el aparato 30A de procesamiento de datos se hace similar a la mostrada en la Figura 5 en relación con la quinta realización antes descrita. Otras funciones y efectos son similares a los ya proporcionados por la quinta realización antes descrita y por tanto los detalles de la misma no se repiten por el bien de la brevedad.

En la decimooctava realización mostrada en la Figura 48, la estructura del dispositivo 1 rodante excepto por el aparato 30A de procesamiento de datos se hace similar a lo mostrado en la Figura 6 en relación con la sexta realización antes descrita. Otras funciones y efectos son similares a los ya proporcionados por la sexta realización antes descrita y por tanto los detalles de la misma no se repiten por el bien de la brevedad.

Además, aunque no se muestre, incluso en el caso del tipo de lubricación de baño de aceite, la ranura inclinada y el puerto de descarga tienen que proporcionarse en el dispositivo rodante y un tanque de reserva tiene que proporcionarse en el tipo de lubricación circulante como es el caso con el tipo de lubricación circulante mostrado y descrito como en referencia a la Figura 48.

El procedimiento de ensayo de vida de fatiga deslizante rodante y su aparato de ensayo incluyen los modos 1 y 2 siguientes:

[Modo 1]

El procedimiento de ensayo de vida de fatiga deslizante rodante de acuerdo con el Modo 1 es un procedimiento de ensayo de vida de fatiga deslizante rodante para realizar un ensayo de vida de fatiga deslizante rodante en un material de acero sumergiendo un elemento a ensayar del material de acero en un aceite lubricante dentro de un baño de aceite de ensayo y aplicar una carga tendrá como resultado un contacto deslizante rodante en el elemento a ensayar, en el que el agua se inyecta en el aceite lubricante y la concentración de agua contaminante en el aceite lubricante se mide entonces mediante una capacitancia electrostática y una temperatura del aceite.

[Modo 2]

El dispositivo de ensayo de acuerdo con el Modo 2 incluye un baño de aceite de ensayo en el que un aceite lubricante se carga mientras que un elemento a ensayar del material de acero se sumerge en su interior; una unidad para aplicar una carga que tendrá como resultado un contacto deslizante rodante en el elemento a ensayar dentro del baño de aceite de ensayo; un inyector de agua para inyectar agua en el aceite lubricante dentro del baño de aceite de ensayo; un instrumento de medición de capacitancia electrostática para medir la capacitancia electrostática del aceite lubricante en el baño de aceite de ensayo; un instrumento de medición de temperatura de aceite para medir la temperatura de aceite del aceite lubricante en el baño de aceite de ensayo; una sección de cálculo de concentración de agua para calcular la concentración de agua contaminante en el lubricante de acuerdo con una regla predeterminada desde la capacitancia electrostática, medida con el instrumento de medición de capacitancia electrostática, y la temperatura del aceite medida con el instrumento de medición de temperatura de aceite.

[Números de referencia]

1	Dispositivo rodante
2	Aparato de control
3	Producto de simulación de parte de componente rodante
4	Carcasa
4a	Depósito de aceite lubricante
5	Aceite lubricante
6, 6A	Dispositivo de supervisión de concentración de agua contaminante
7	Detector de capacitancia electrostática
8	Instrumento de medición de temperatura del aceite
9	Sección de cálculo de concentración de agua
10	Sección de diagnóstico de anomalías
11	Unidad de detección de concentración de agua contaminante
12	Cámara de medición
13	Agitador
16	Bomba de circulación
17	Hendidura inclinada (un mecanismo para facilitar la descarga de un aditivo que tiene una alta gravedad específica)
18	Sección de supervisión de índice de reducción de vida
19	Sección de estimación de vida restante
20	Sección de diagnóstico de anomalías de concentración
40, 40A	Sistema de supervisión de estado
51	Sección de diagnóstico de anomalías de vibración
52	Sección de diagnóstico de anomalías de desplazamiento
53	Sección de diagnóstico de anomalías de rotura interna
54	Sección de diagnóstico de anomalías de impurezas
55	Sección de diagnóstico de anomalías integrada
70	Sensor de vibración
101	Baño de aceite de ensayo
104	Bomba de jeringa
105	Medidor de capacitancia electrostática
106	Termopar
111	Bomba de circulación
112	Tanque de reserva
113	Agitador
142	Sección de cálculo de concentración de agua
141	Aparato de control de cuerpo principal de equipo de ensayo
146	Porción de cabeza
210	Sensor de rotación
240	Sensor de desplazamiento
250	Sensor AE
270	Sensor de impurezas
400	Generador de turbina eólica
420	Árbol principal
430	Pala
440	Conjunto de engranaje de velocidad que se incrementa
450	Generador de energía eléctrica
460	Cojinete de árbol principal
461	Dispositivo de cojinete de árbol principal
490	Góndola
500	Torre
510, 550	HPF
520, 560	Bloque de cálculo de valor efectivo
530	Bloque de cálculo de grado de vibración modificado

ES 2 657 592 T3

540	Bloque de procesamiento envolvente
570	Bloque de cálculo de grado de modulación modificado
580	Bloque de almacenamiento
590, 590A	Bloque de diagnóstico
600	Bloque de generación de función de velocidad
620, 630	Bloque de análisis de frecuencia
680	Bloque de comunicación inalámbrico
S, S1	Valor de umbral

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (40, 40A) de supervisión de estado para supervisar un estado de un dispositivo (1) rodante, que comprende:

5 un dispositivo (6, 6A) de supervisión de concentración de agua contaminante configurado para supervisar una concentración de agua contaminante en un aceite (5) lubricante, incluyendo el dispositivo (6, 6A) de supervisión de concentración de agua contaminante:

10 un detector (7) de capacitancia electrostática configurado para detectar una capacitancia electrostática en el aceite (5) lubricante;
 un instrumento (8) de medición de temperatura de aceite configurado para detectar una temperatura del aceite en el aceite (5) lubricante;
 un depósito (4a) de aceite lubricante formado como una porción de una carcasa (4) configurado para realizar una lubricación de baño de aceite;
 15 una cámara (12) de medición dispuesta dentro o fuera de la carcasa (4); en el que el detector (7) de capacitancia electrostática y el instrumento (8) de medición de temperatura del aceite se proporcionan dentro de la cámara (12) de medición, y
 una sección (9) de cálculo de concentración de agua configurada para calcular una concentración de agua contaminante de acuerdo con una regla predeterminada a partir de la capacitancia electrostática detectada por el detector (7) de capacitancia electrostática y la temperatura del aceite detectada por el instrumento (8)
 20 de medición de temperatura del aceite, y

caracterizado porque el dispositivo (6, 6A) de supervisión de concentración de agua contaminante comprende, además:

25 un agitador (13) colocado en dicha cámara (12) de medición y configurado para agitar el aceite lubricante dentro de la cámara (12) de medición.

2. El sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un mecanismo de lubricación circulante configurado para realizar una lubricación circulante.

30 3. El sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un mecanismo configurado para facilitar una descarga de agua o un aditivo, que tiene una gravedad específica superior que la del aceite lubricante, desde la cámara de medición para la medición de la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite y desde el dispositivo rodante.

35 4. El sistema de supervisión de estado para el dispositivo rodante de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además una sección de diagnóstico de anomalías configurada para comparar la concentración de agua contaminante, calculada por la sección de cálculo de concentración de agua, con un valor de umbral y para determinar una aparición de anomalías en el caso de que la concentración de agua contaminante sea superior que el valor de umbral.

40 5. Un procedimiento de ajuste de valor de umbral de diagnóstico de anomalías para un sistema de supervisión de estado de un dispositivo rodante de acuerdo con la reivindicación 4, para determinar el valor de umbral para la sección de diagnóstico de anomalías, que comprende:

45 determinar un valor de umbral para la concentración de agua contaminante a través de un ensayo de fatiga deslizando rodante en el que el agua se inyecta en el aceite lubricante, la concentración de agua contaminante se supervisa midiendo la capacitancia electrostática y la temperatura del aceite, y retroalimentar la concentración de agua contaminante medida para controlar la cantidad de agua inyectada por lo que la concentración de agua contaminante se mantiene dentro de un intervalo constante; y
 ajustar el valor de umbral así determinado en la sección de diagnóstico de anomalías como un valor de umbral.

Fig. 1

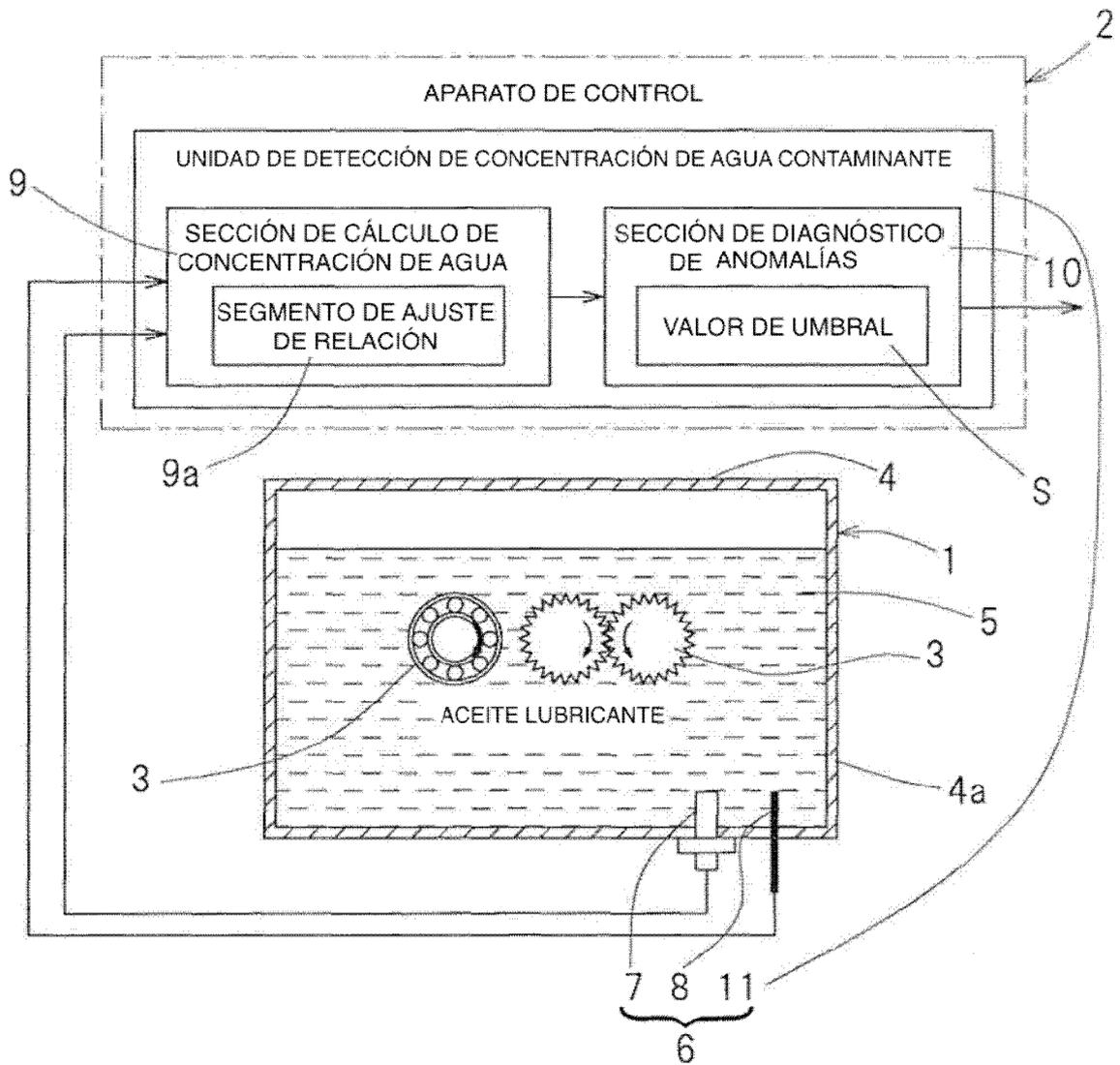


Fig. 2

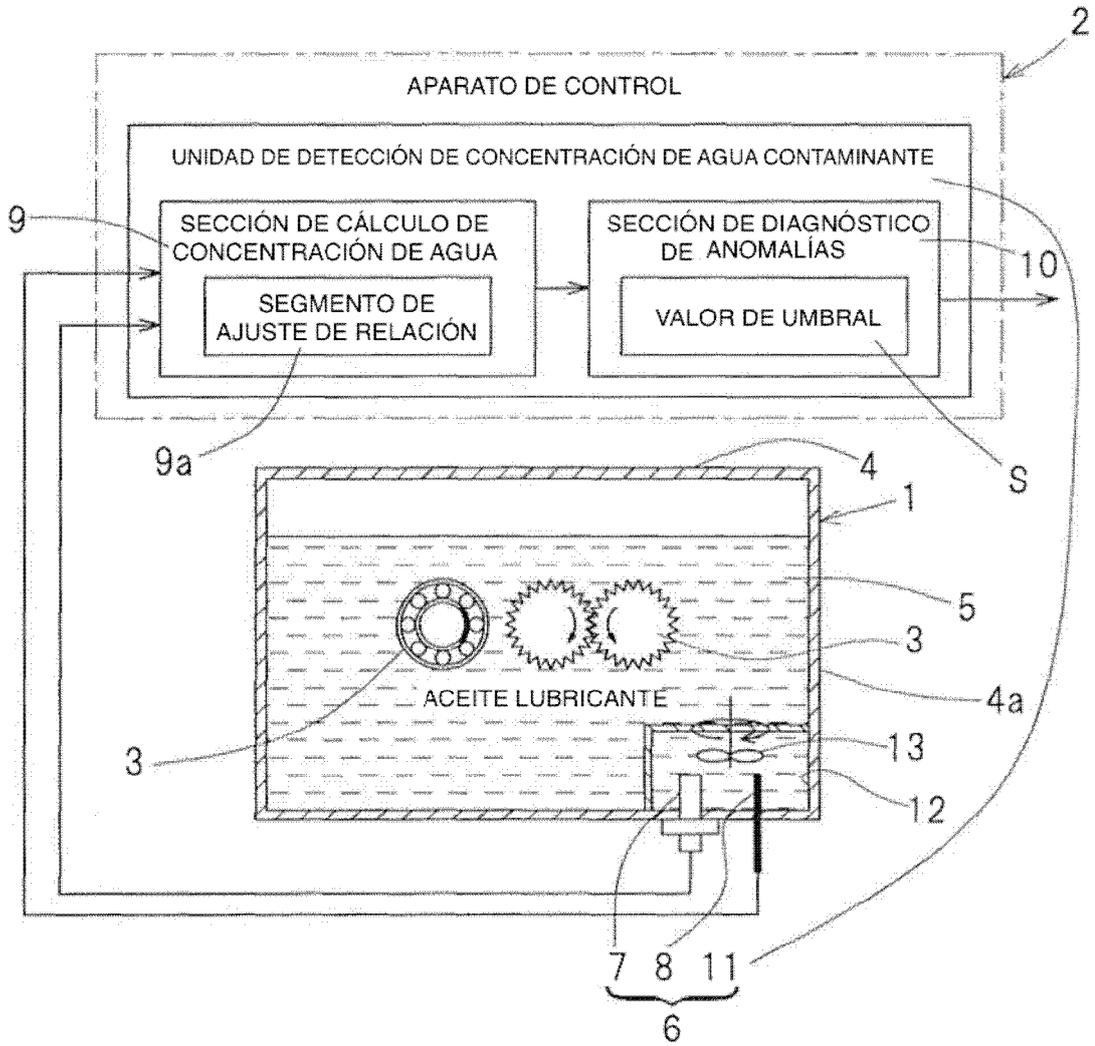


Fig. 3

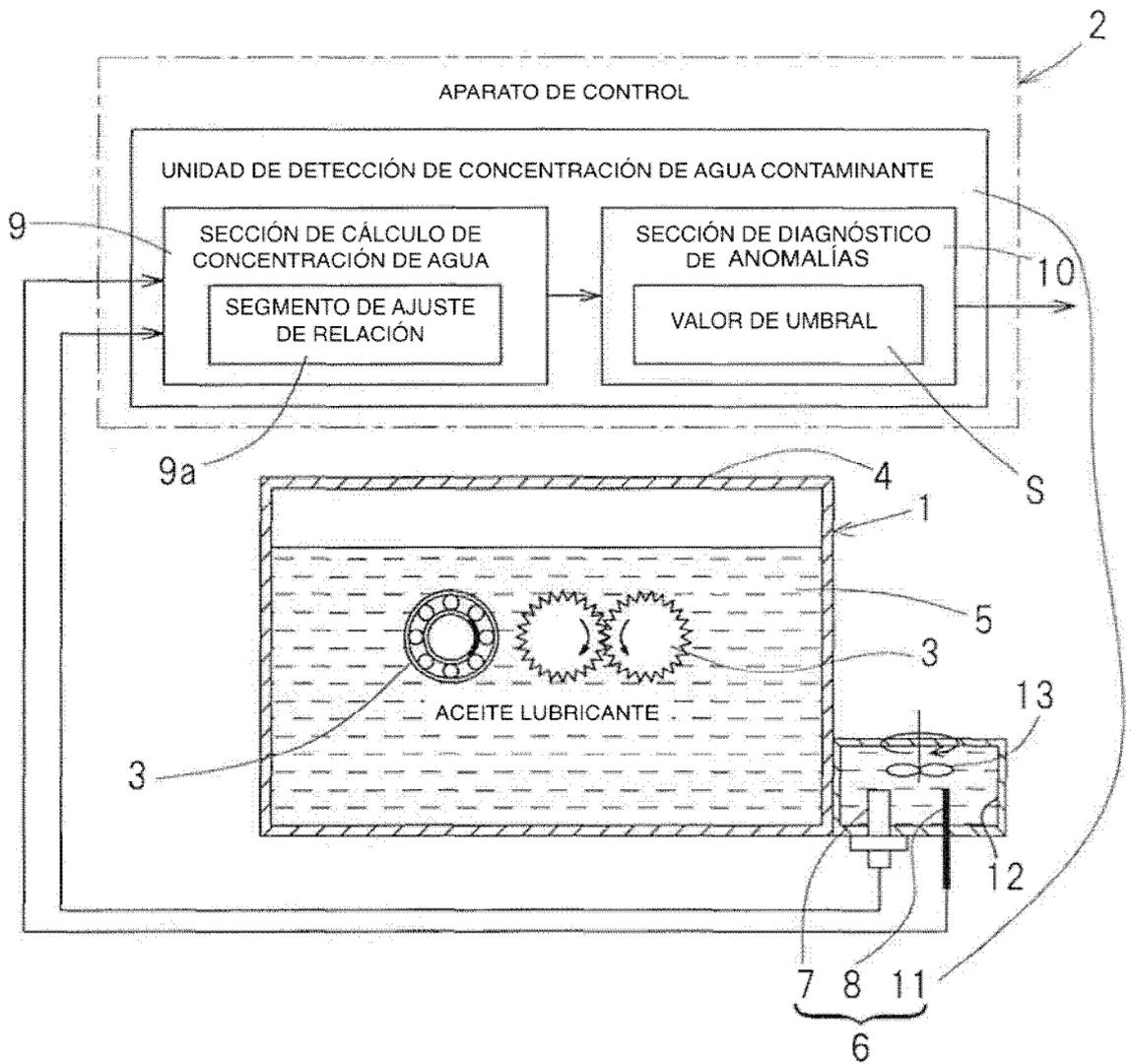


Fig. 4

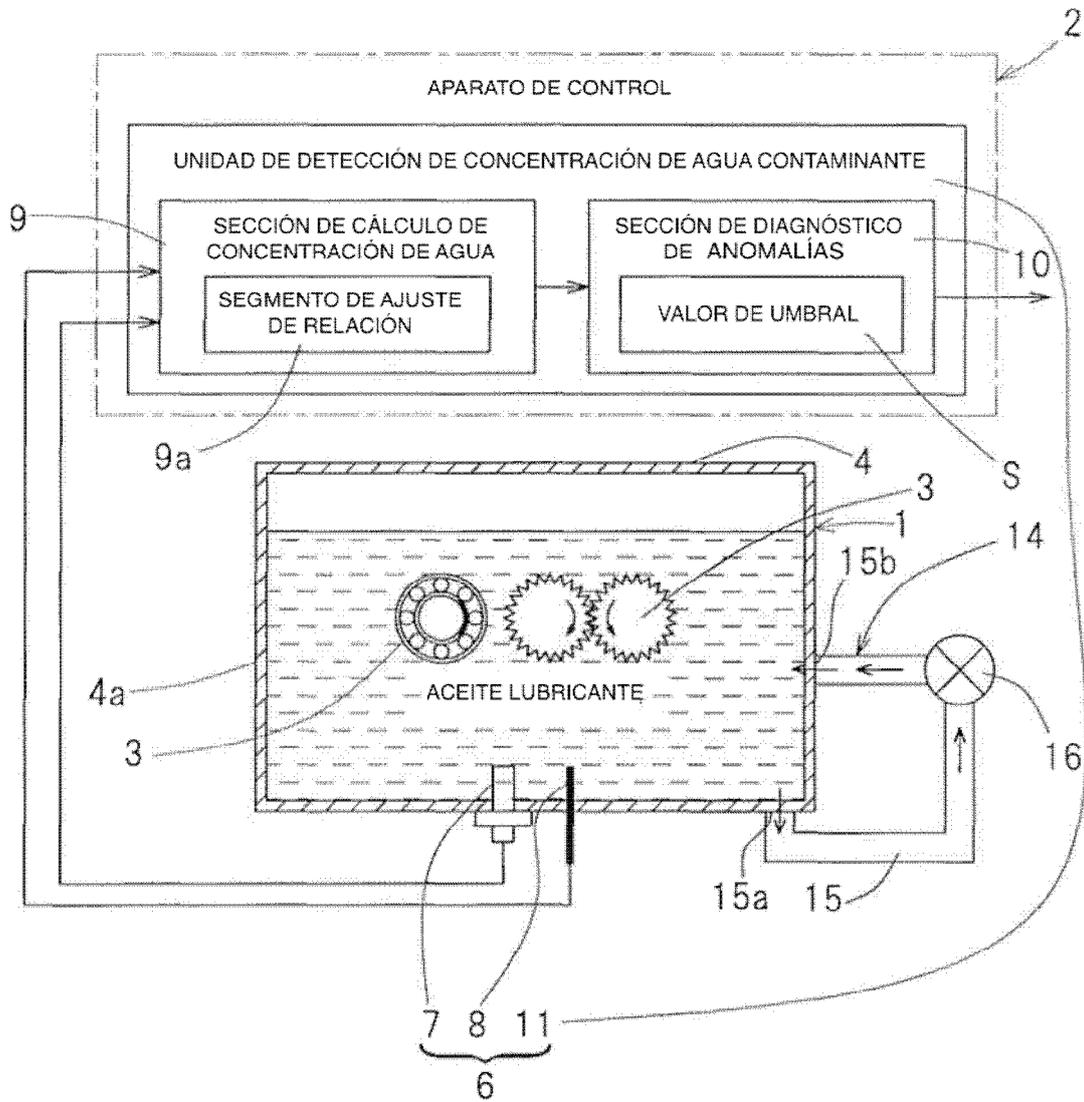


Fig. 5

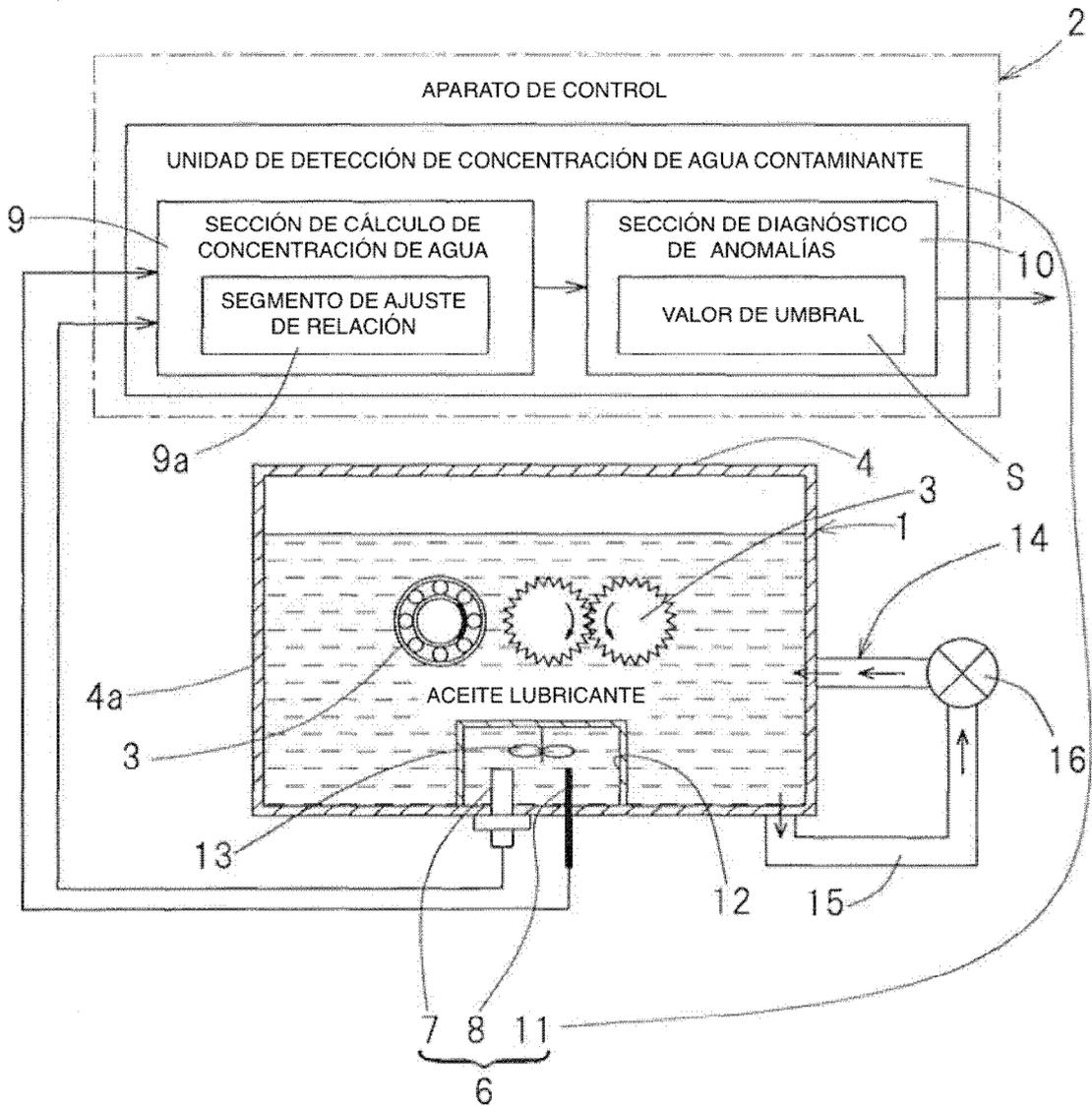


Fig. 6

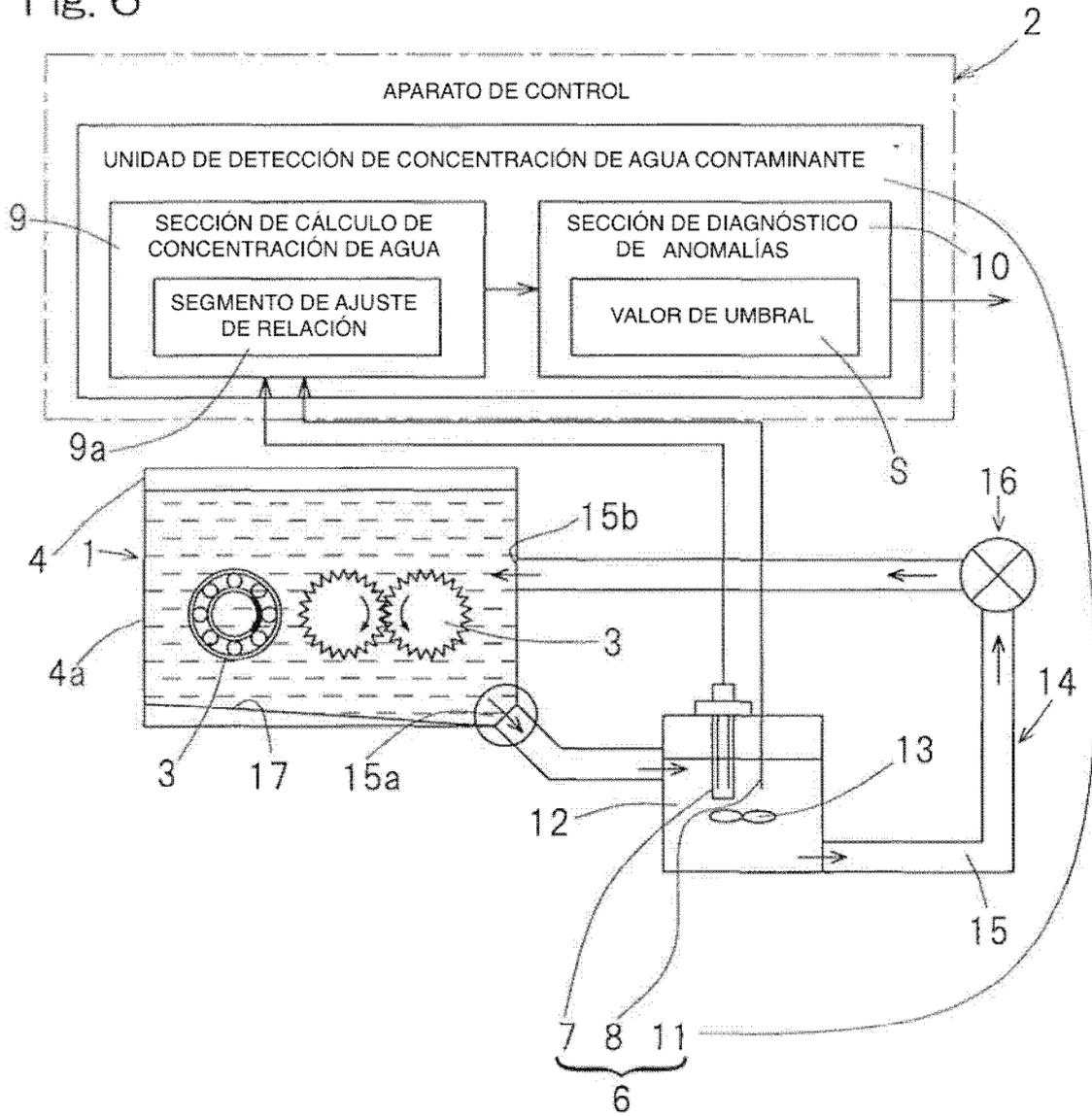


Fig. 7

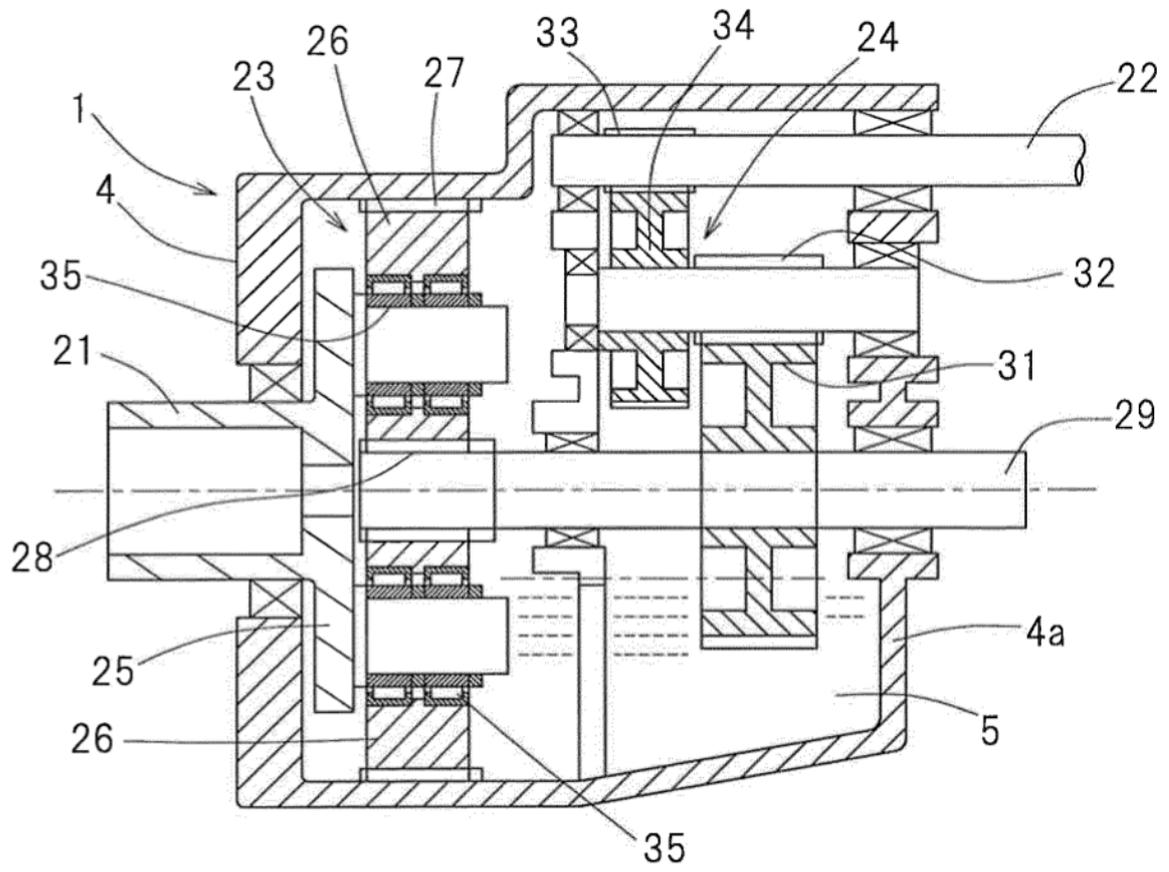


Fig. 8

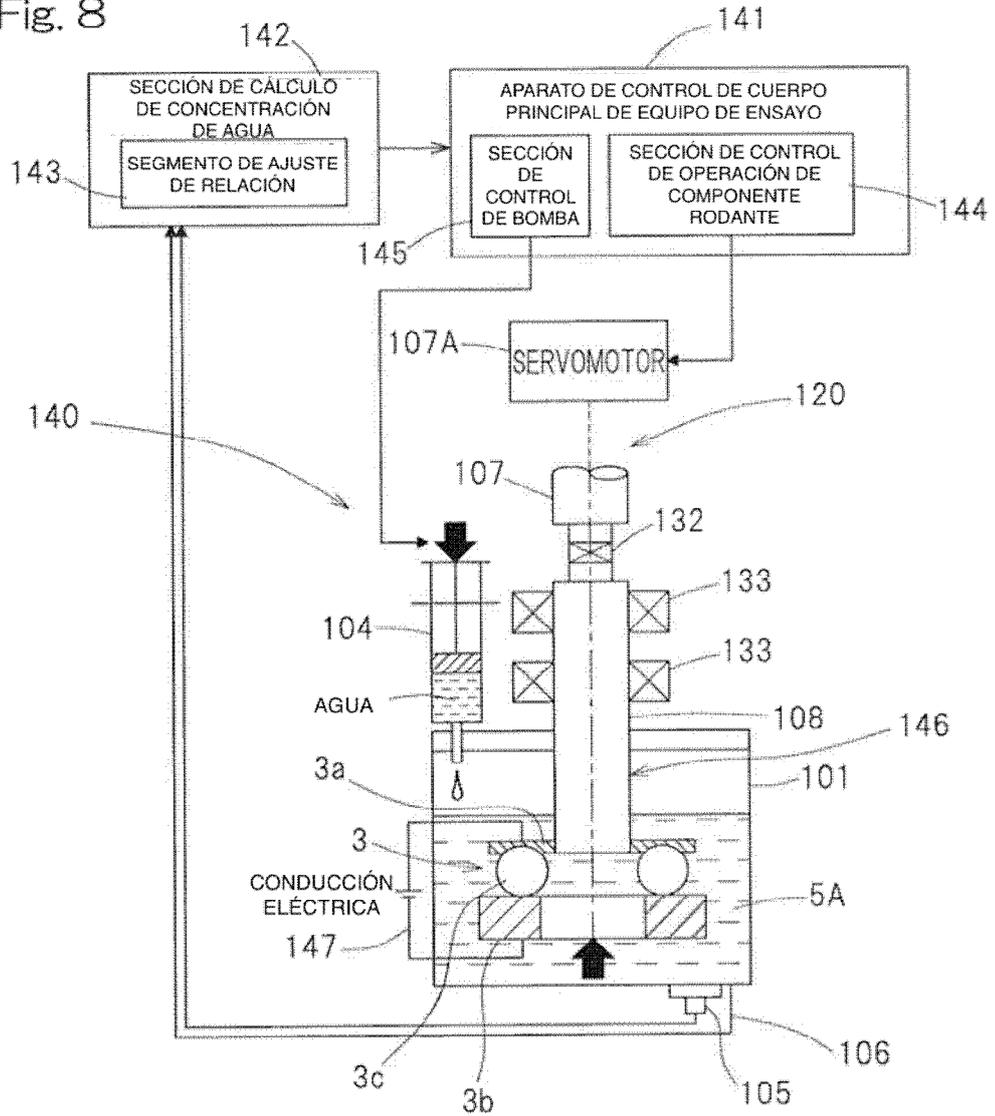


Fig. 9

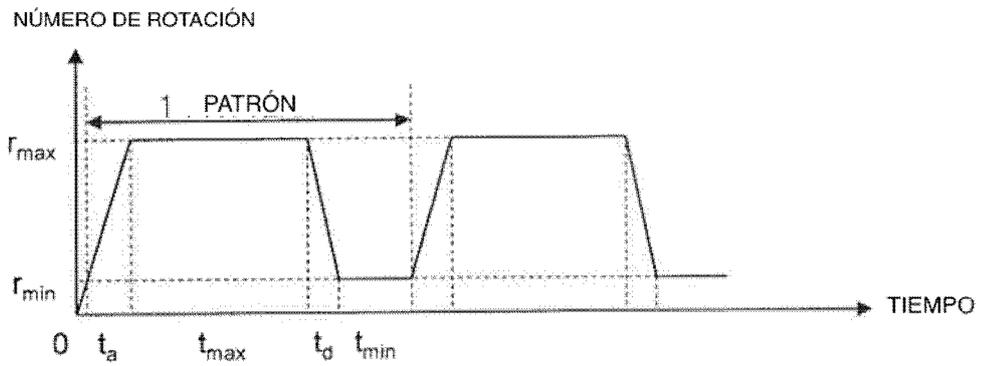


Fig. 10

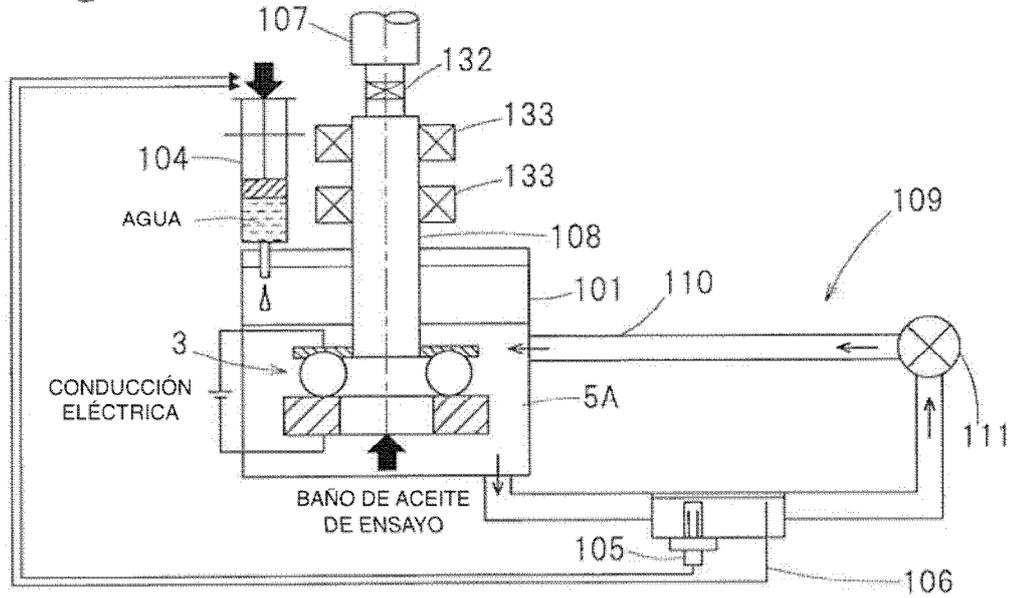


Fig. 11

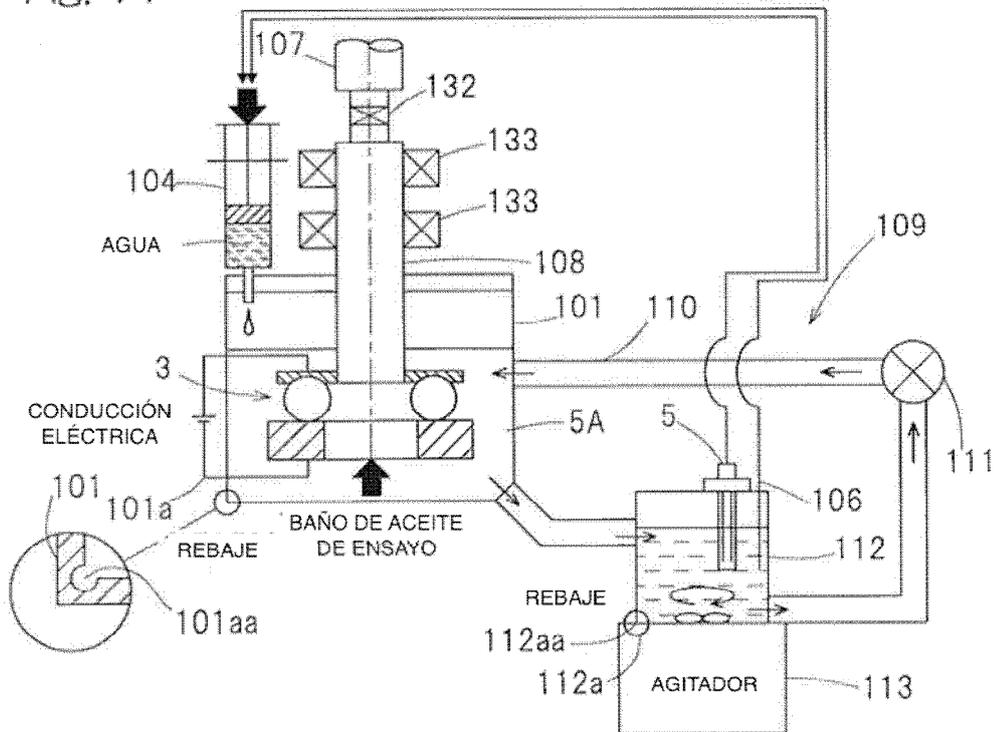


Fig. 12A

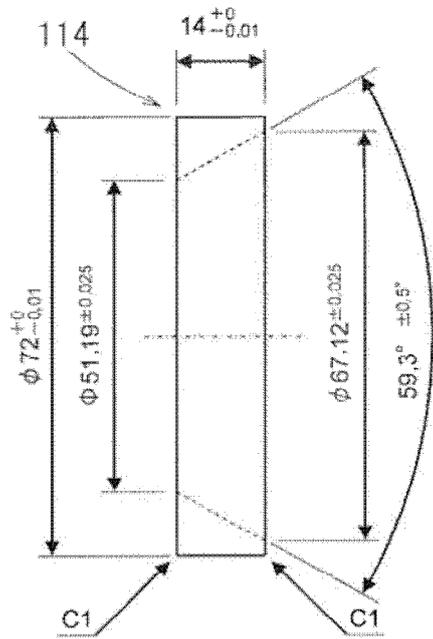


Fig. 12B

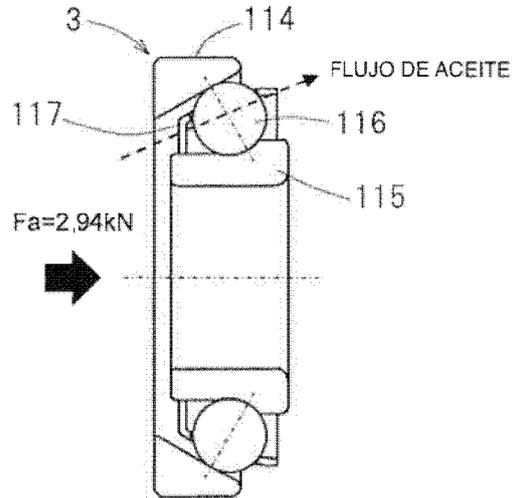


Fig. 13

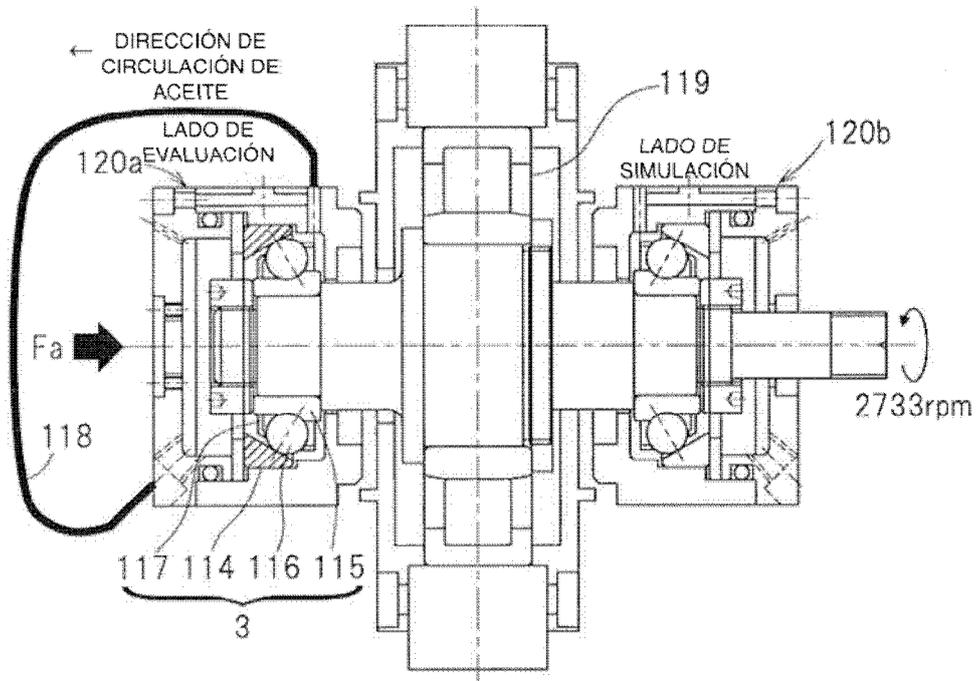


Fig. 14

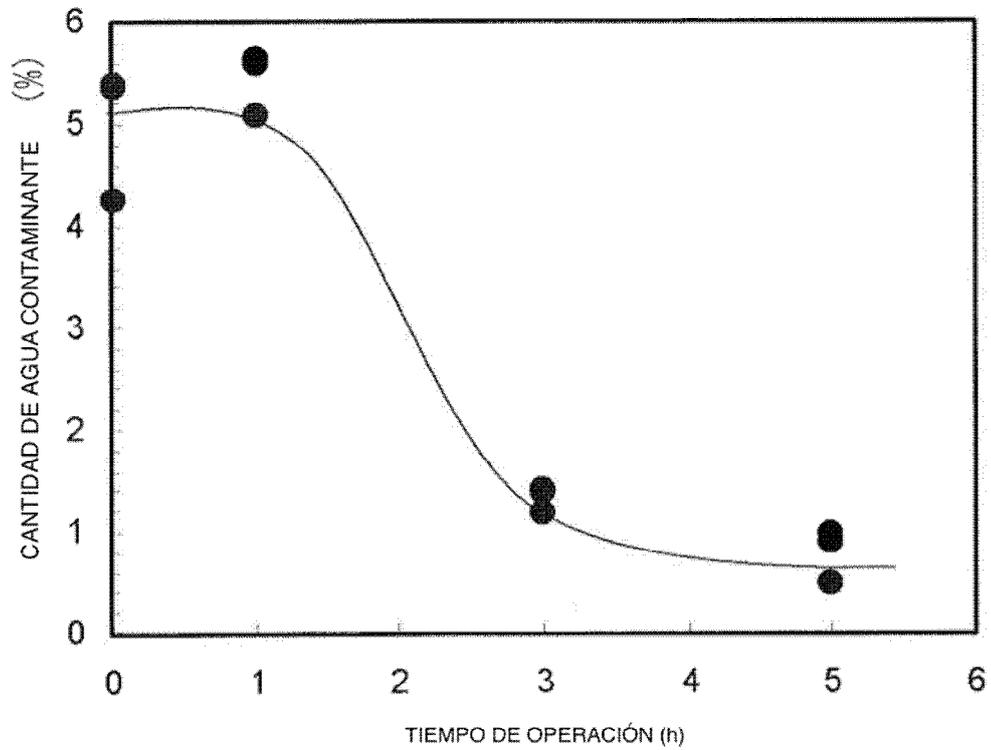


Fig. 15

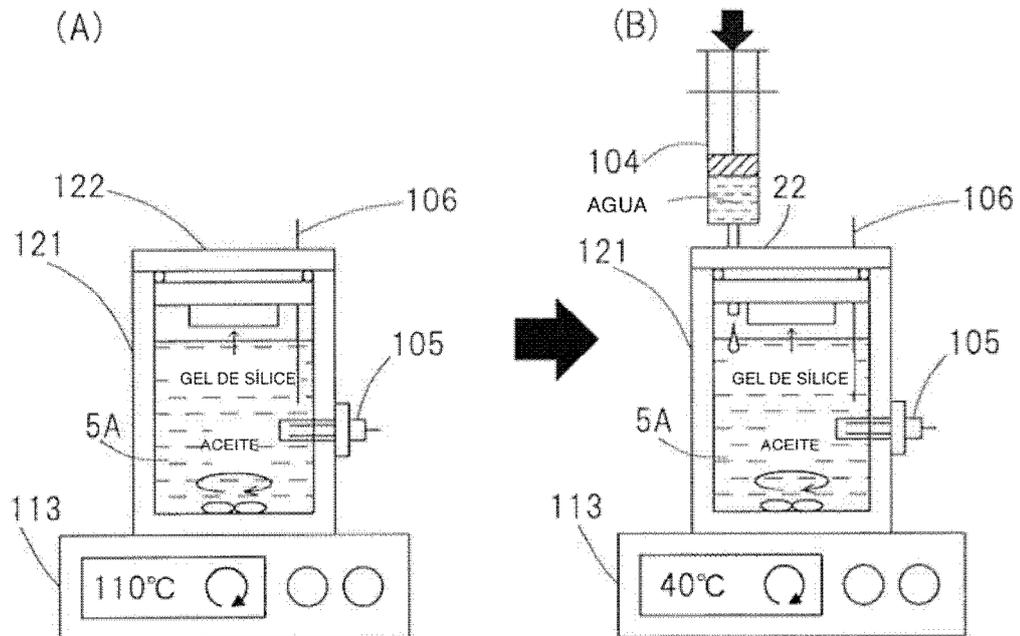


Fig. 16

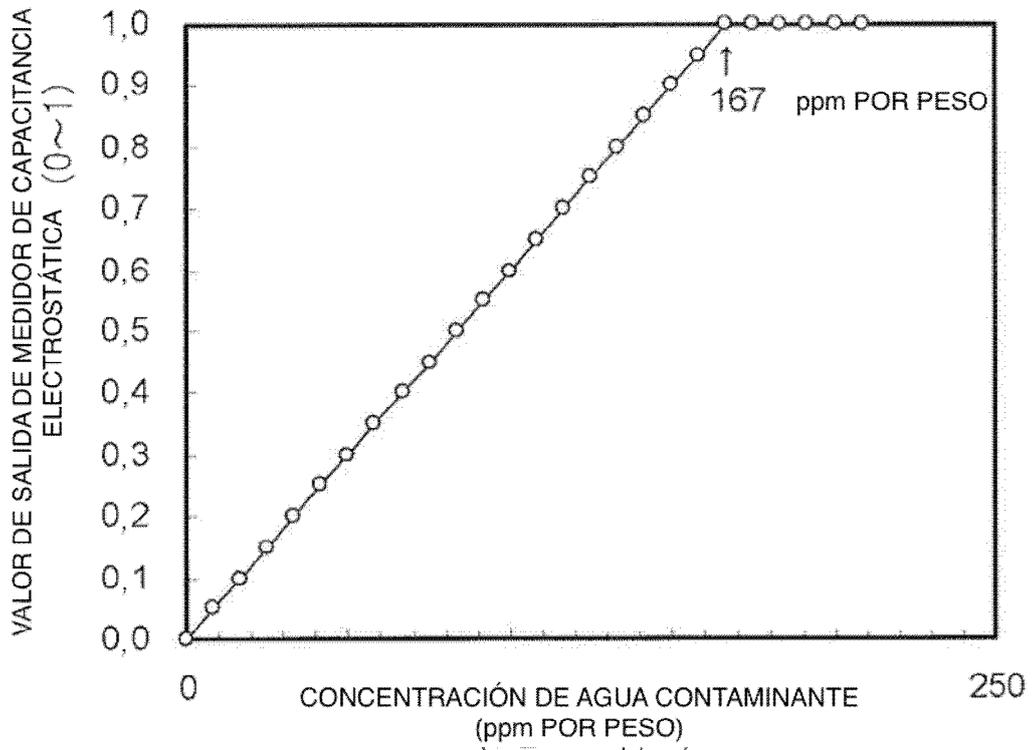


Fig. 17

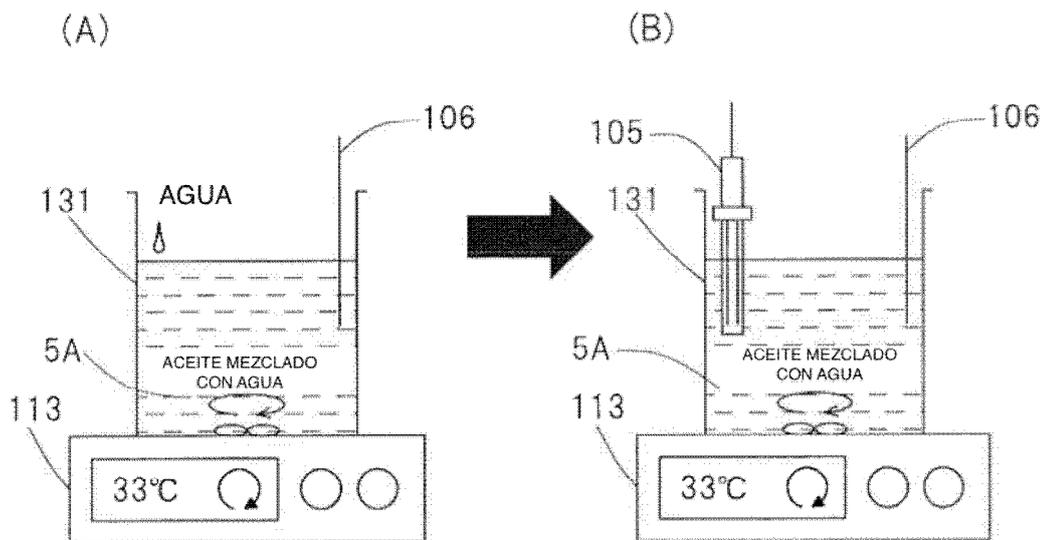


Fig. 18

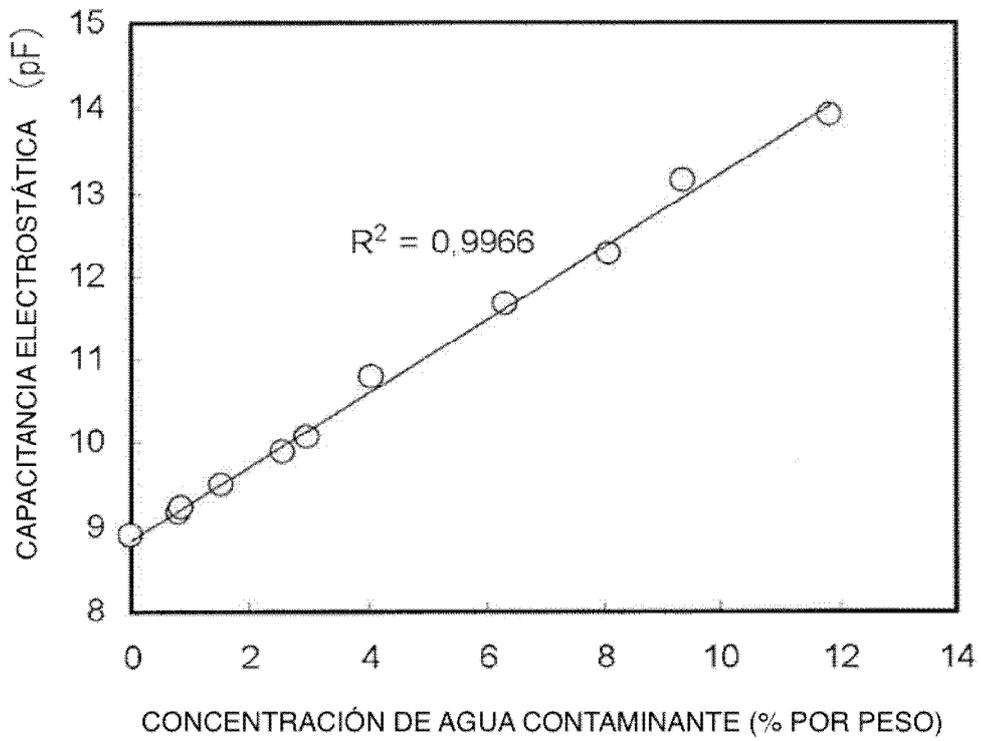


Fig. 19

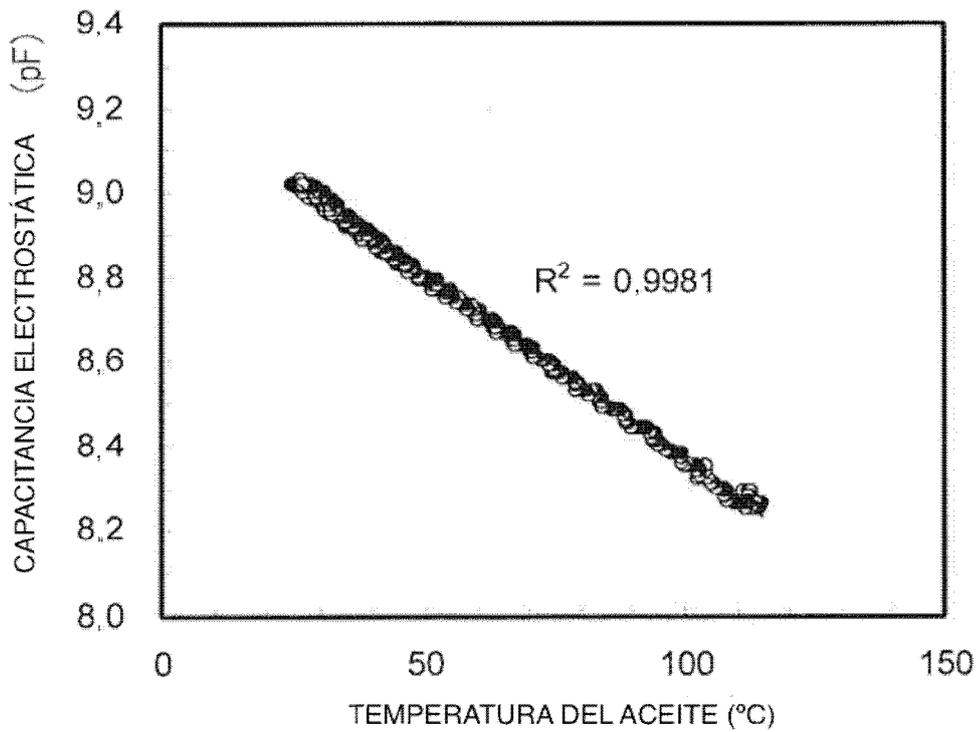


Fig. 20

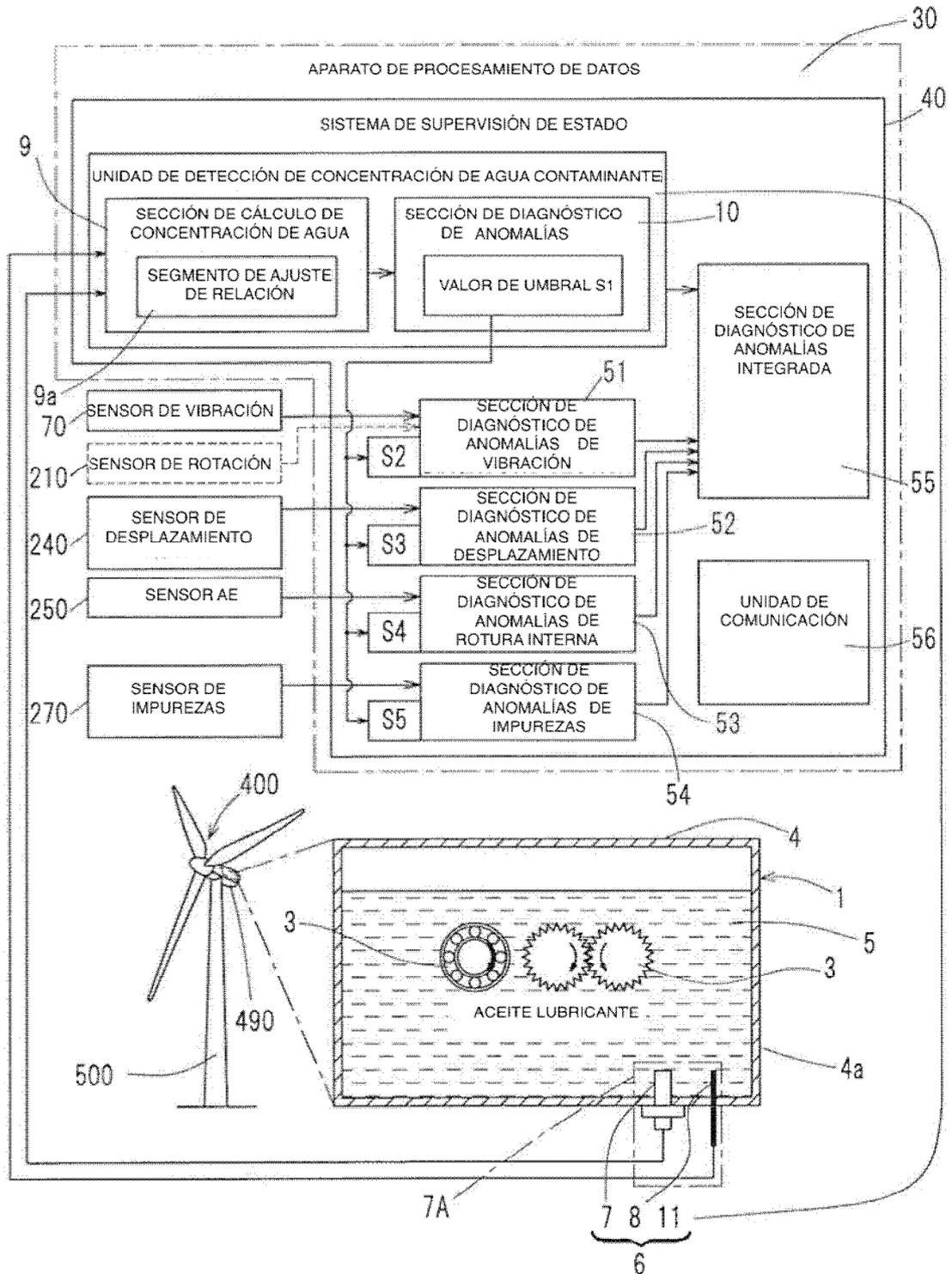


Fig. 21

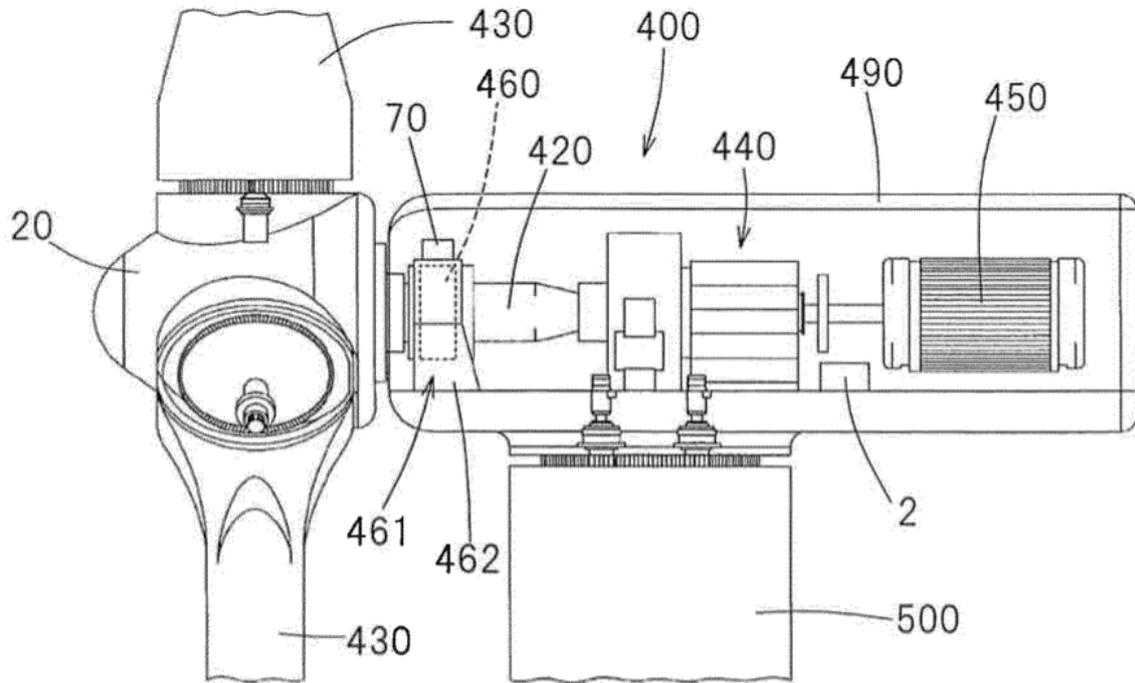


Fig. 22

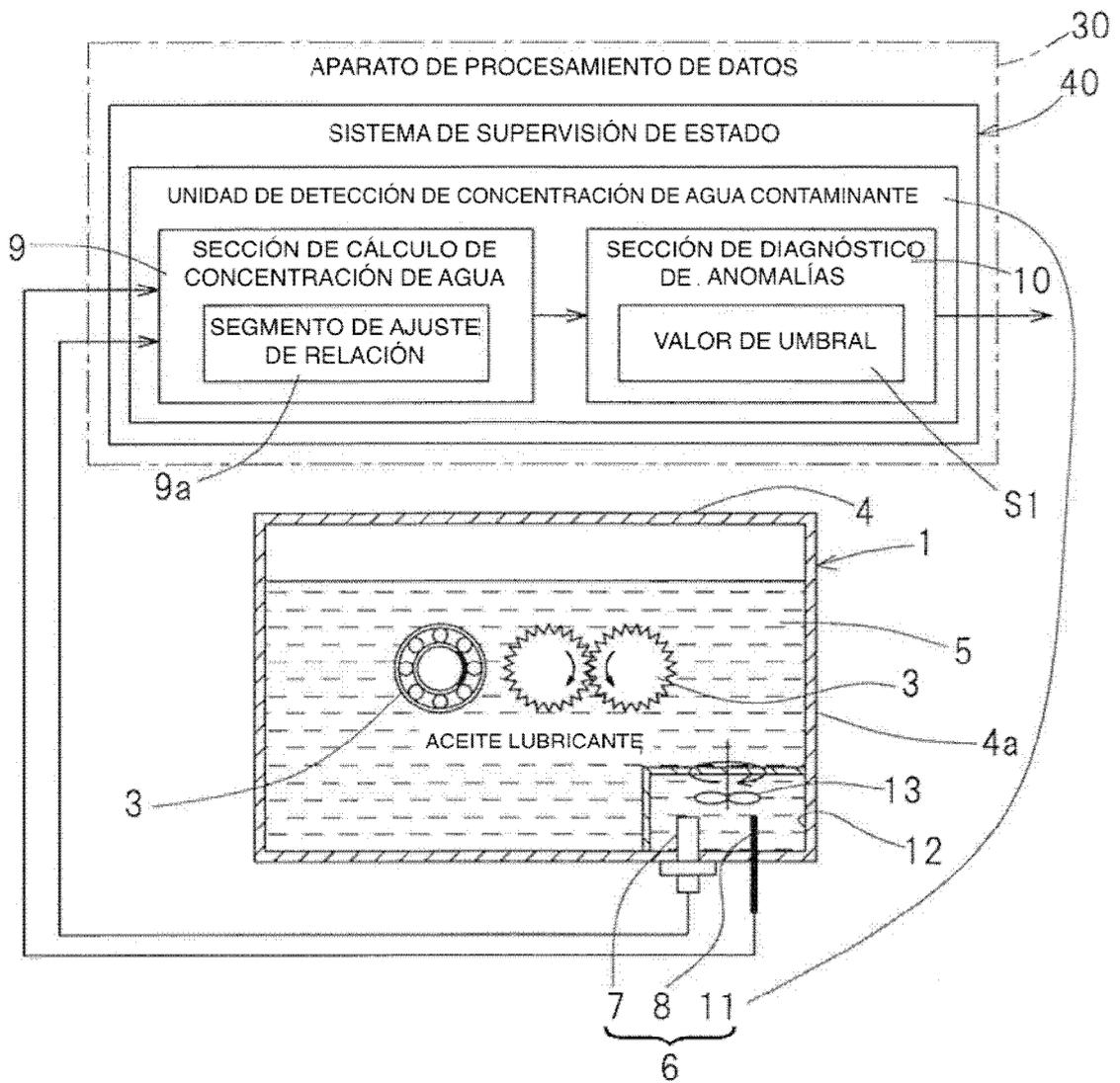


Fig. 23

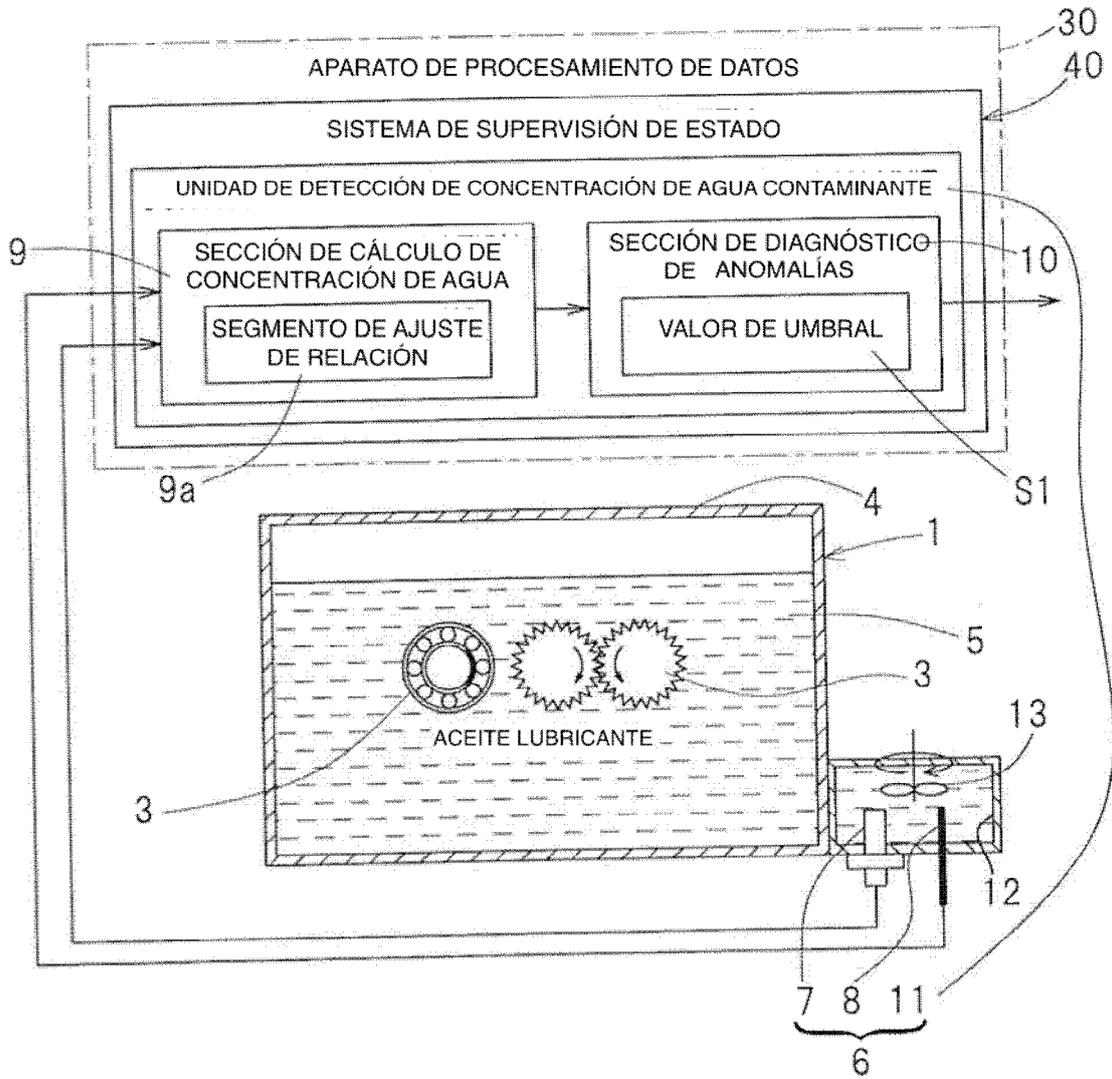


Fig. 24

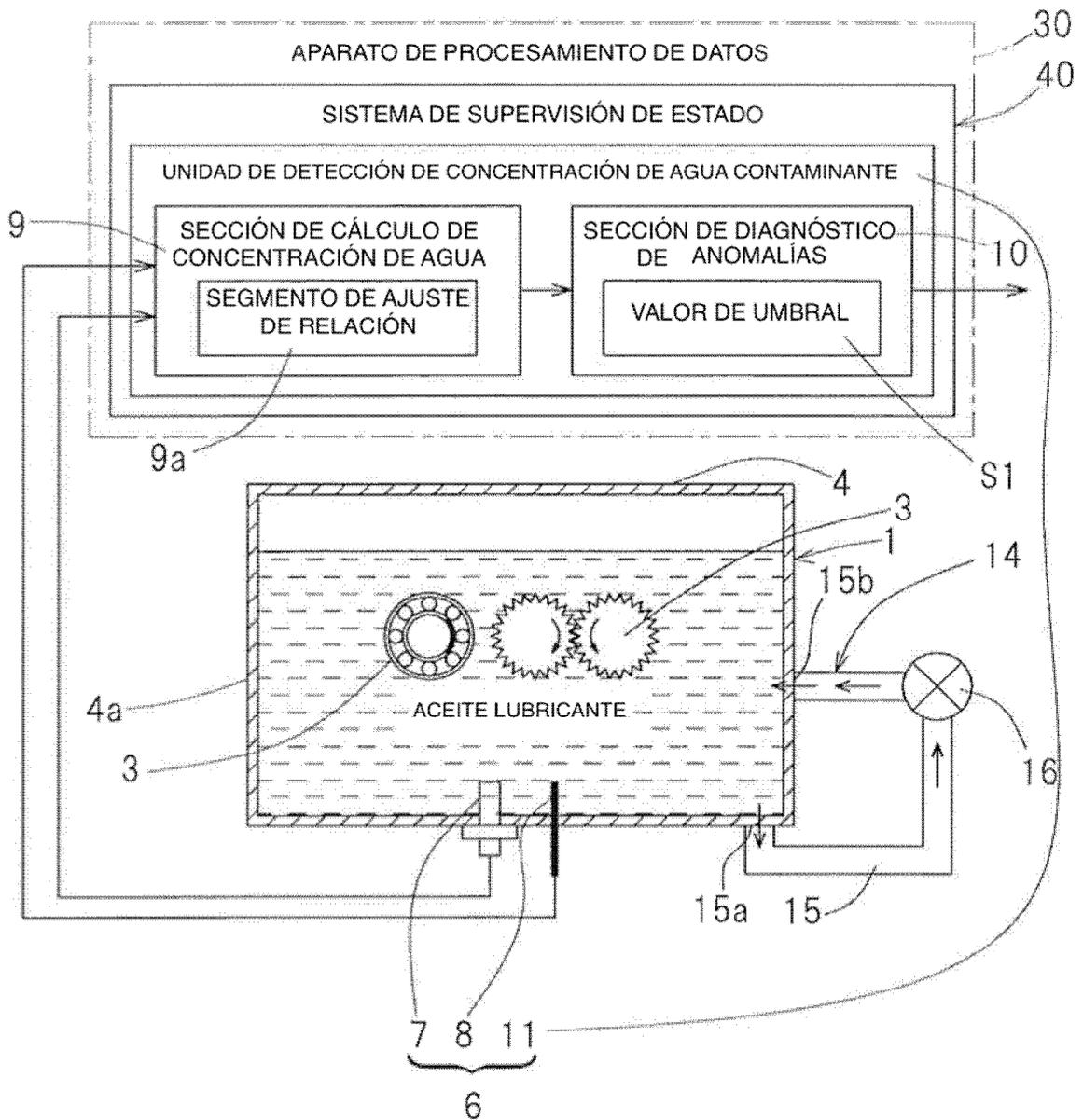


Fig. 25

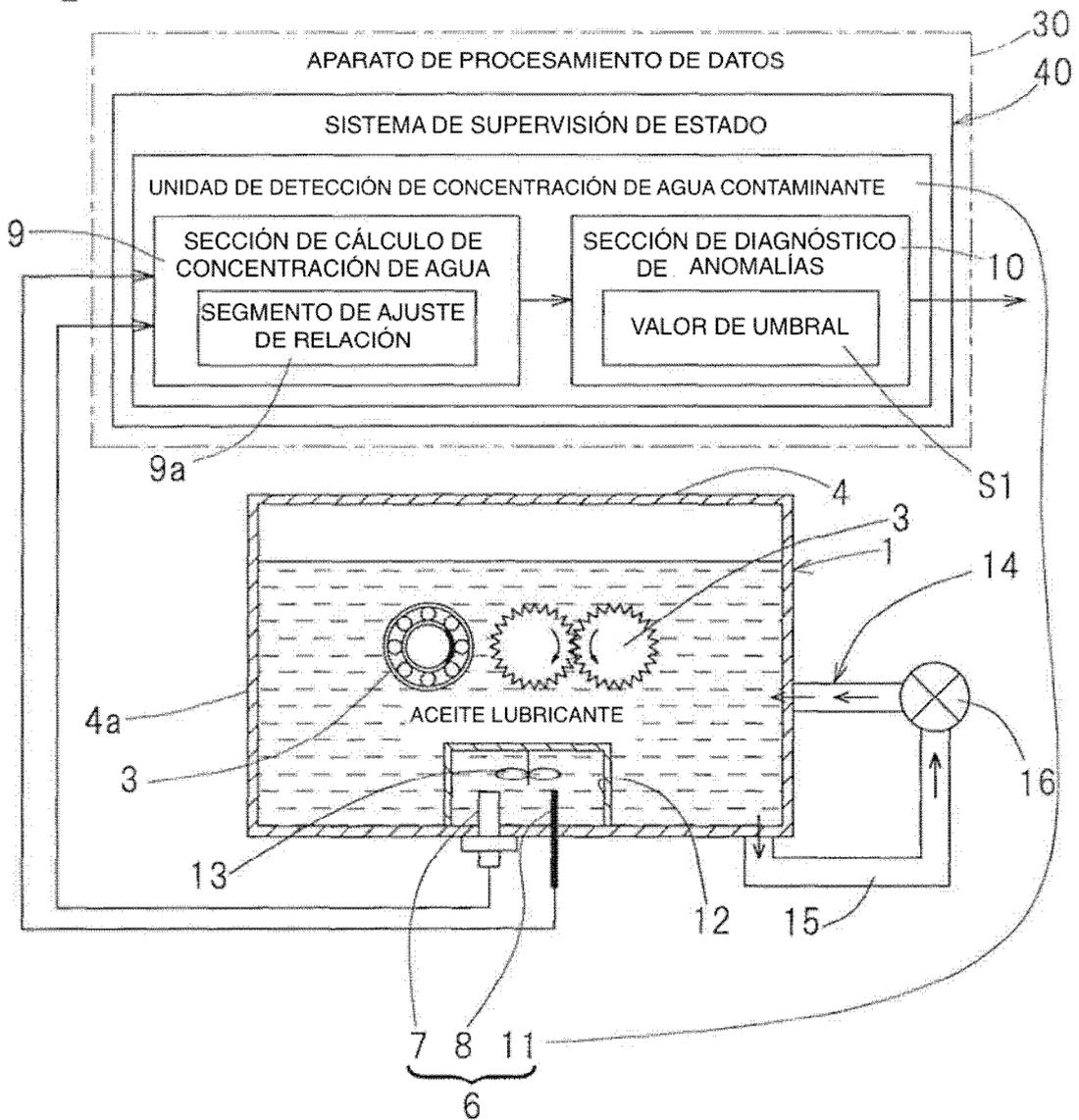


Fig. 26

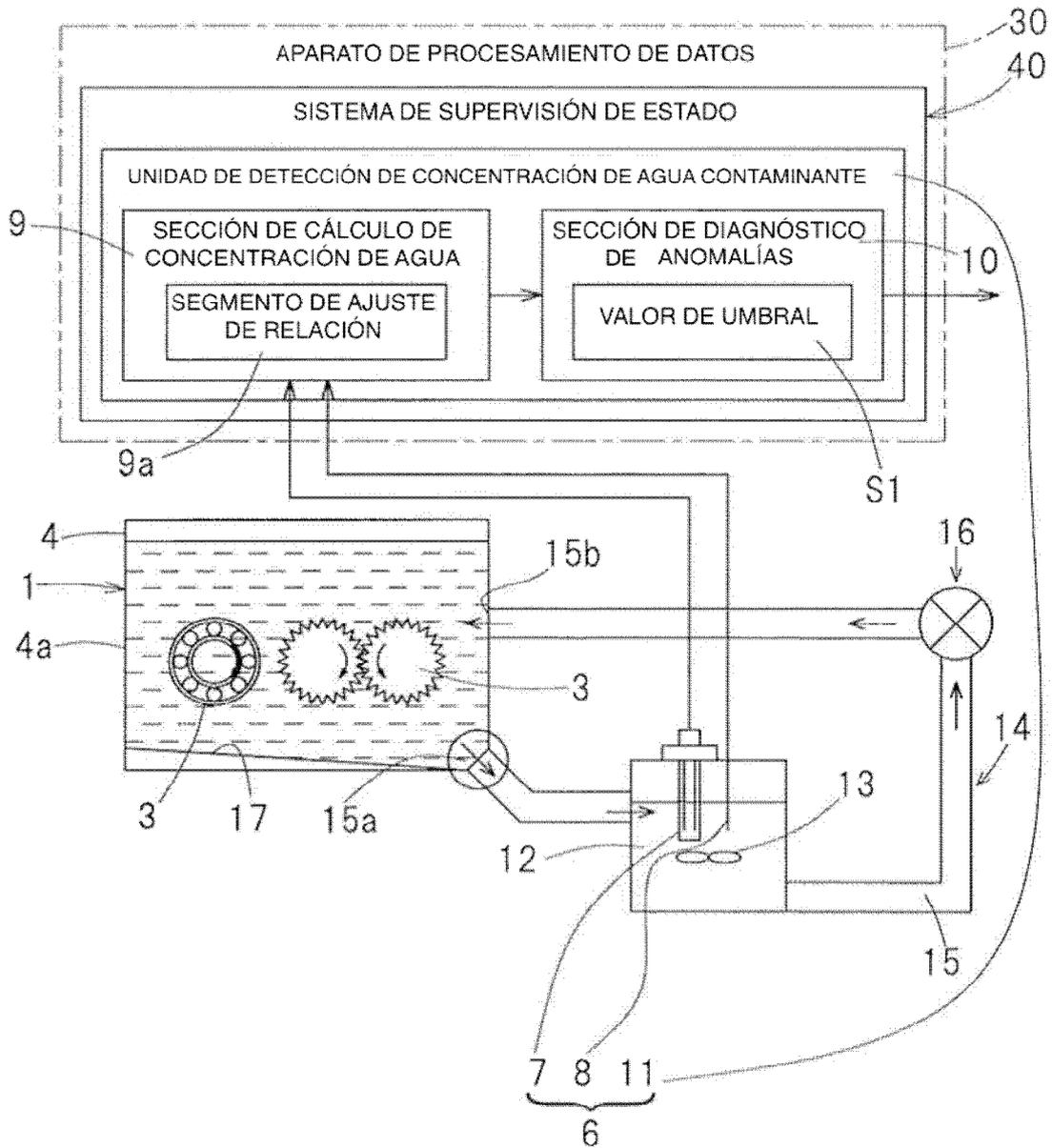
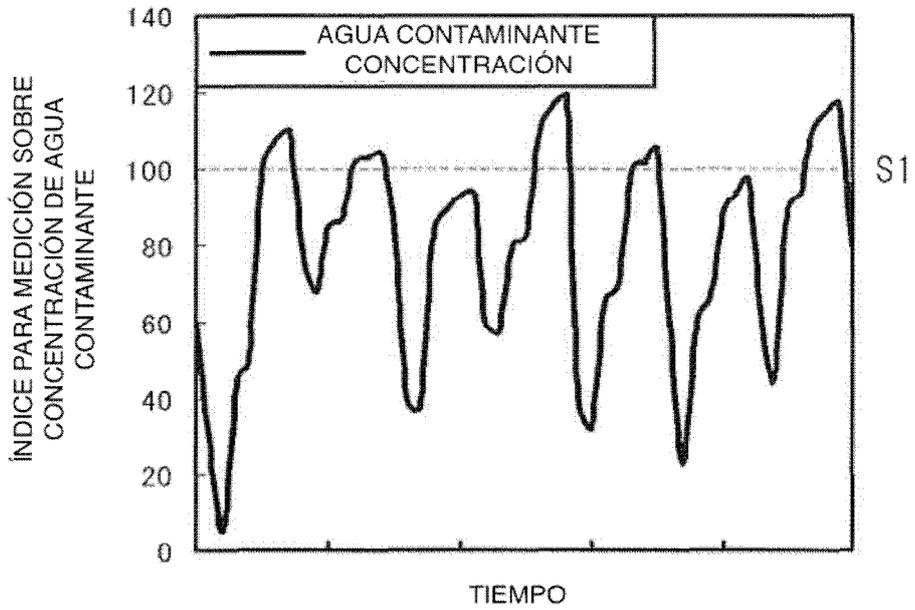
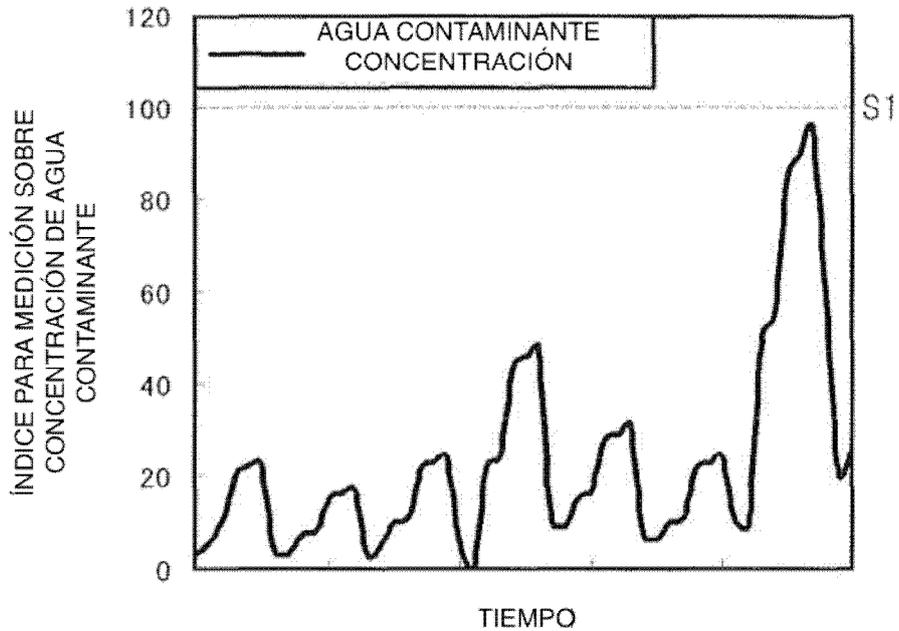


Fig. 27



CONCENTRACIÓN DE AGUA EN REGIÓN EN EL OCÉANO O DONDE EL CAMBIO DE TEMPERATURA ES GRANDE (DATOS PREVISTOS)

Fig. 28



CONCENTRACIÓN DE AGUA EN REGIÓN EN TIERRA O DONDE EL CAMBIO DE TEMPERATURA ES PEQUEÑO (DATOS PREVISTOS)

Fig. 29

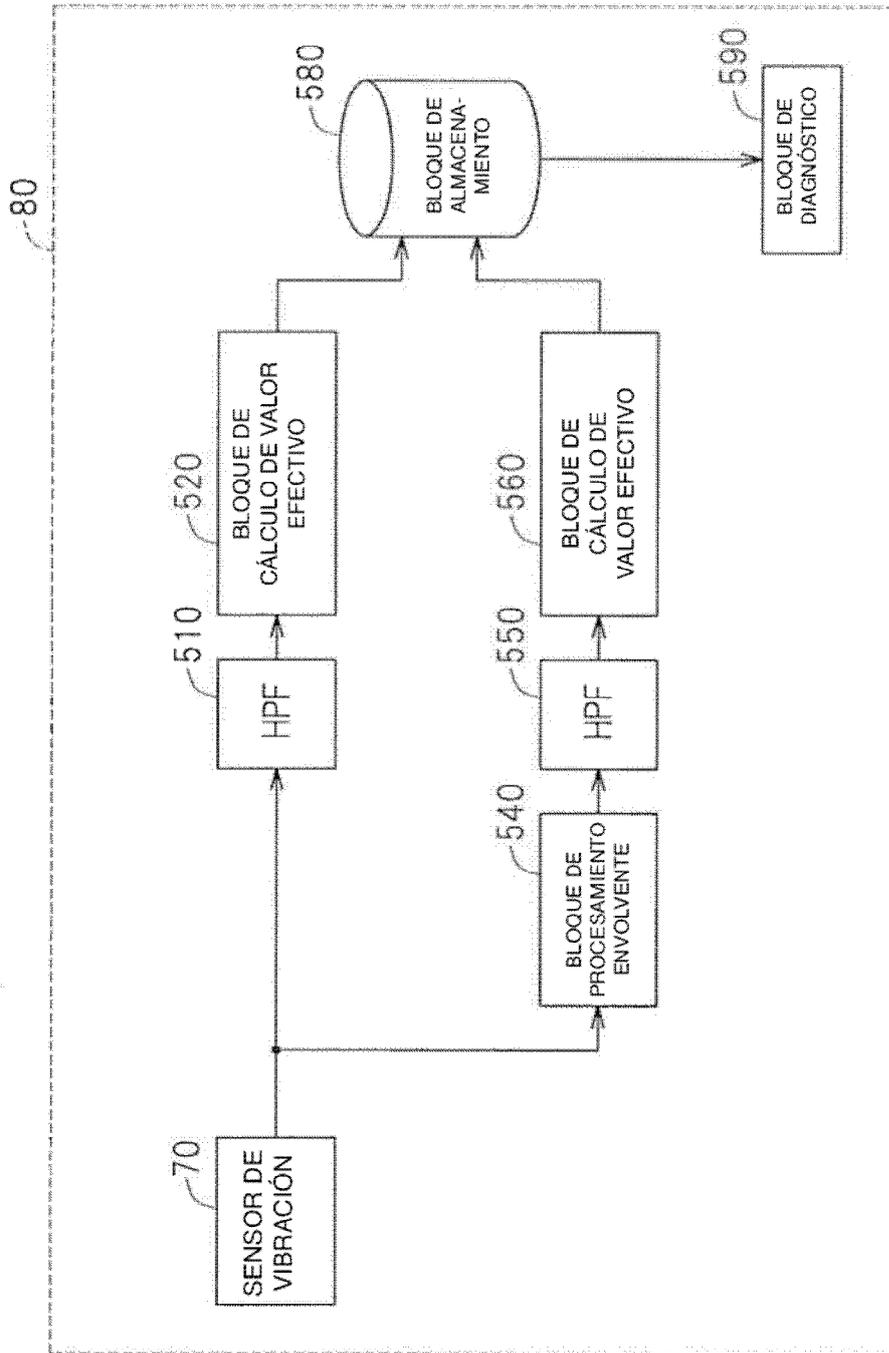


Fig. 30

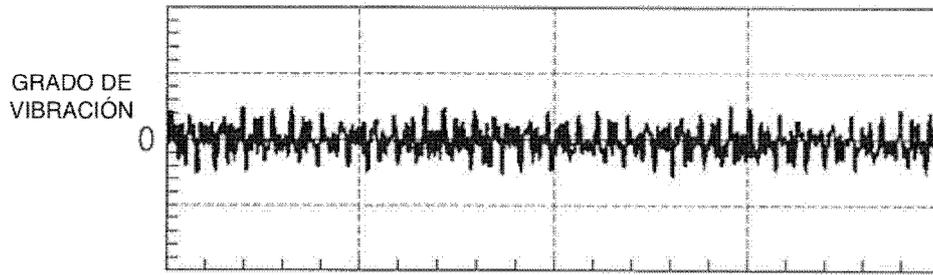


Fig. 31

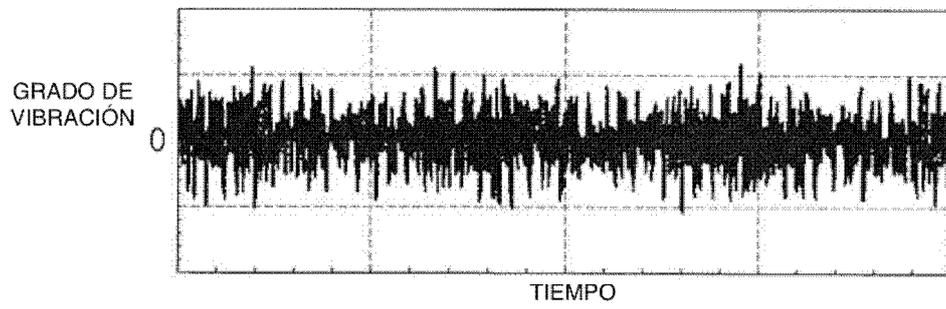


Fig. 32

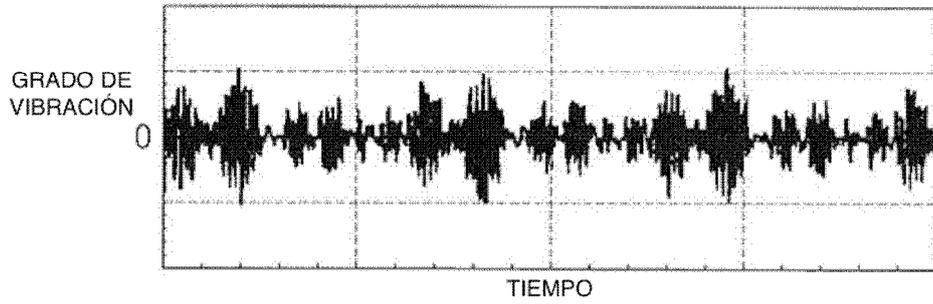


Fig. 33

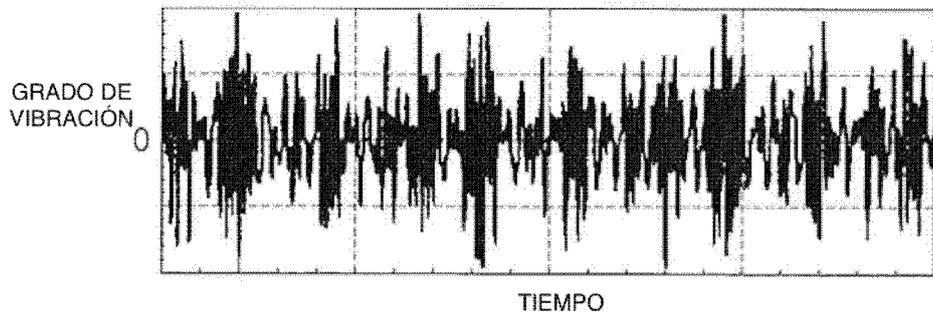


Fig. 34

MAGNITUD DE SEÑAL

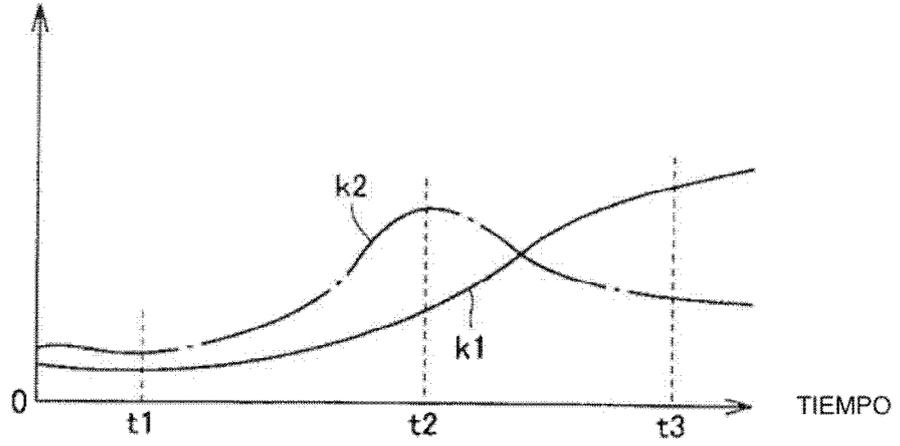


Fig. 35

MAGNITUD DE SEÑAL

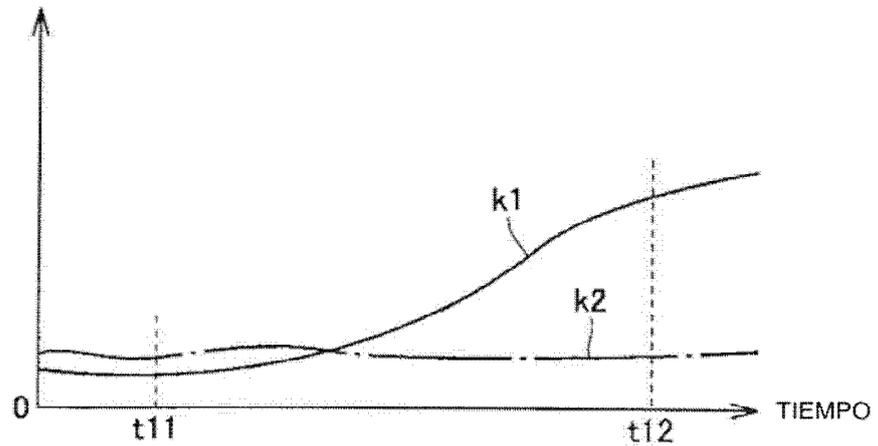


Fig. 36

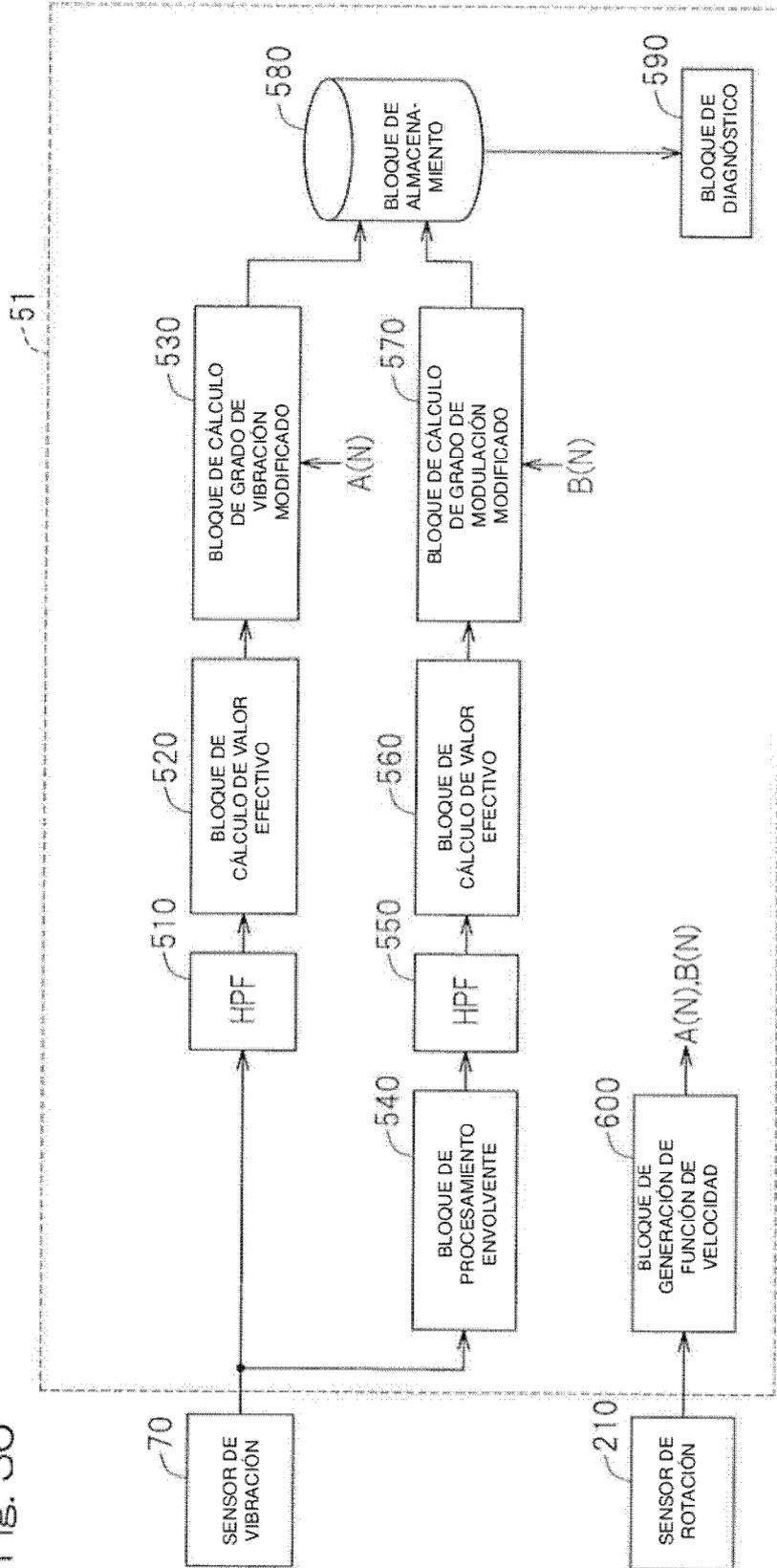
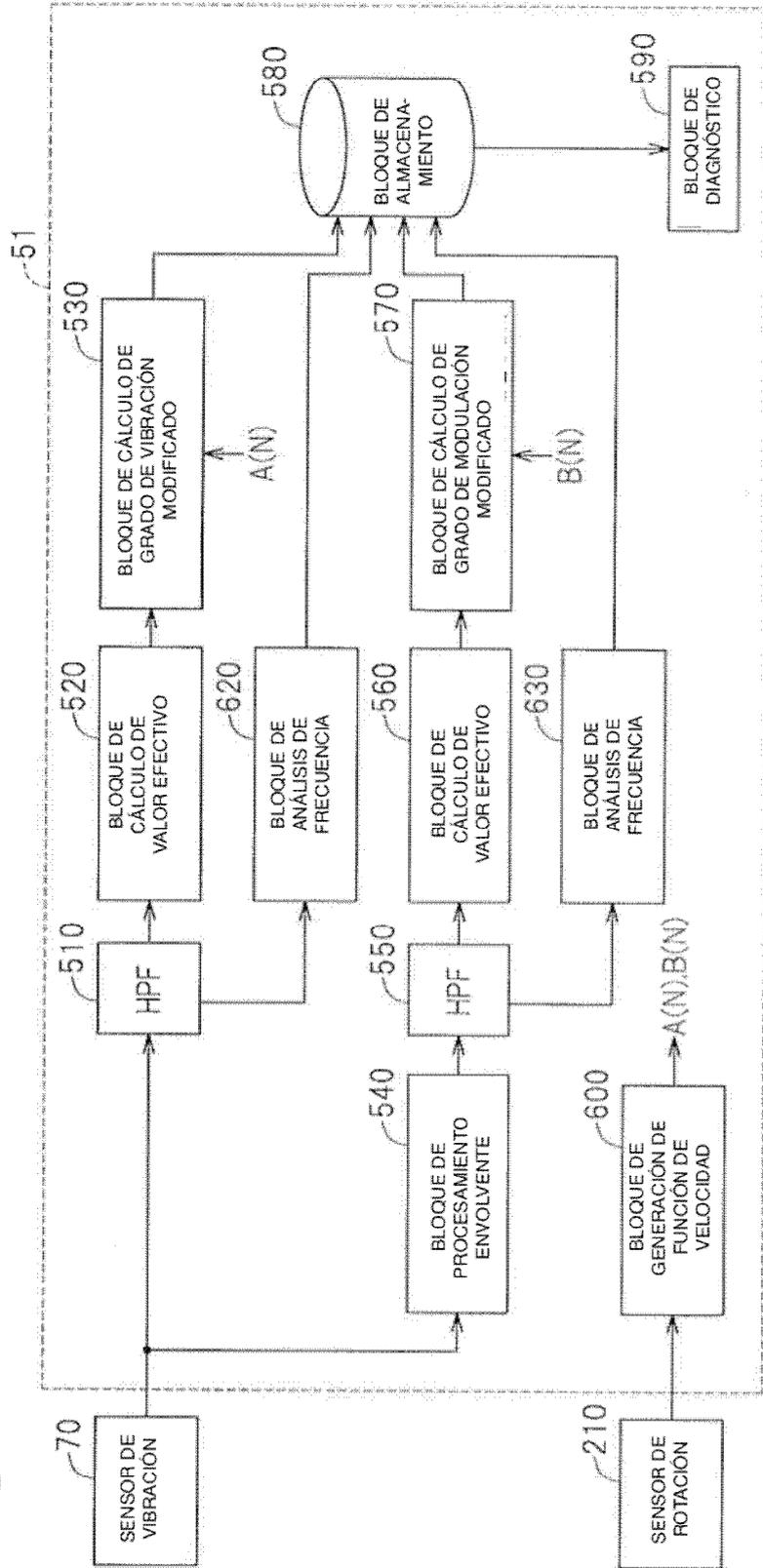


Fig. 37



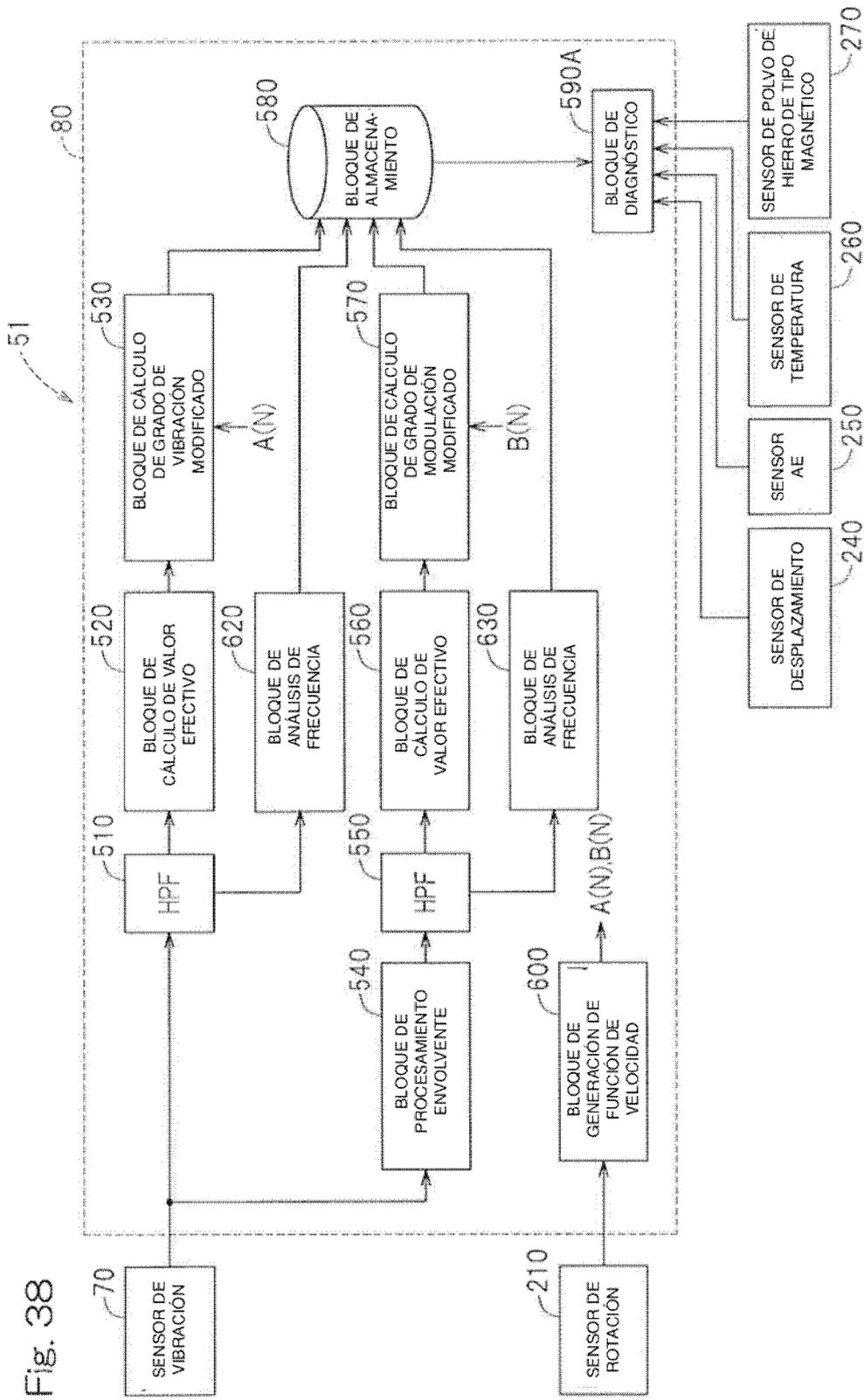


Fig. 39

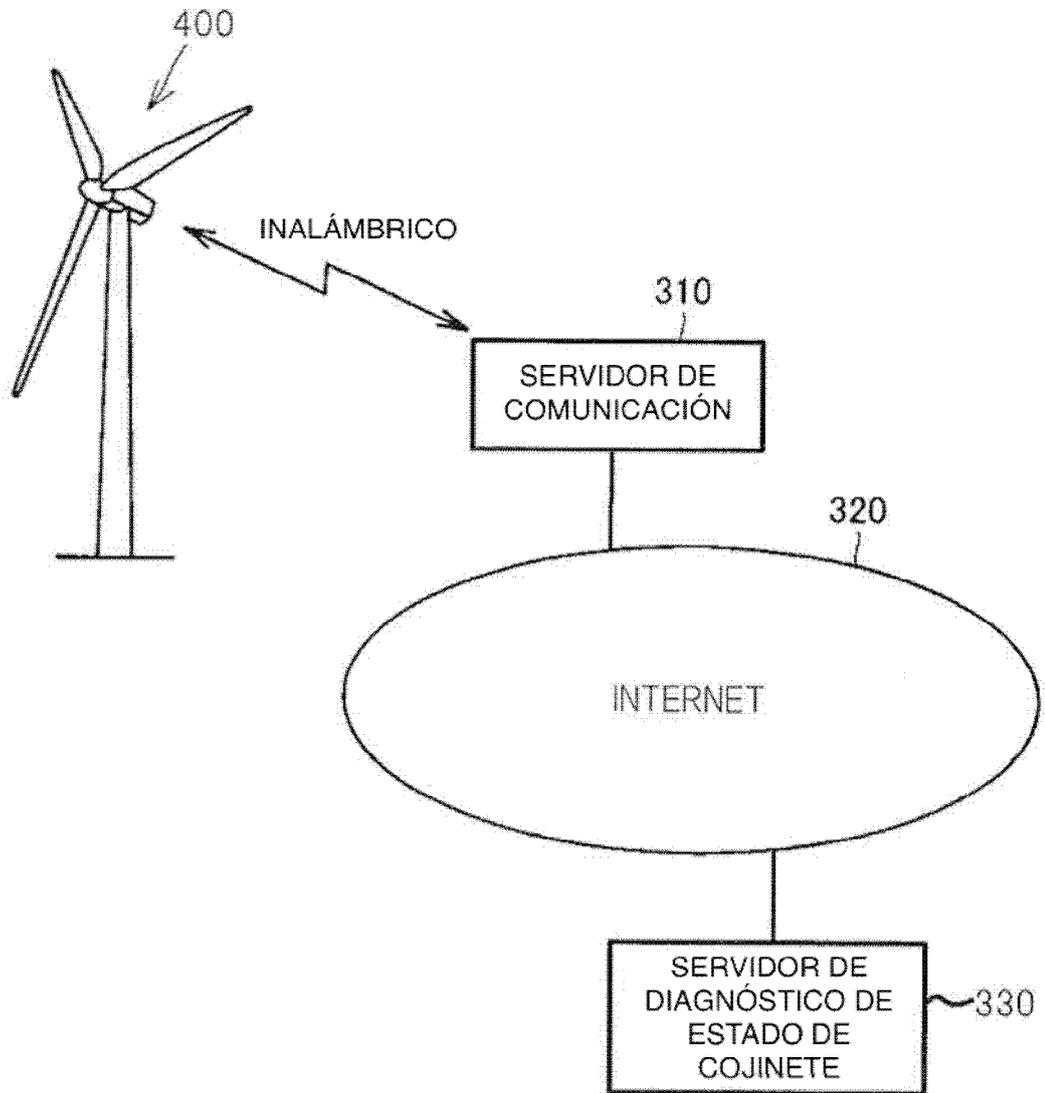


Fig. 40

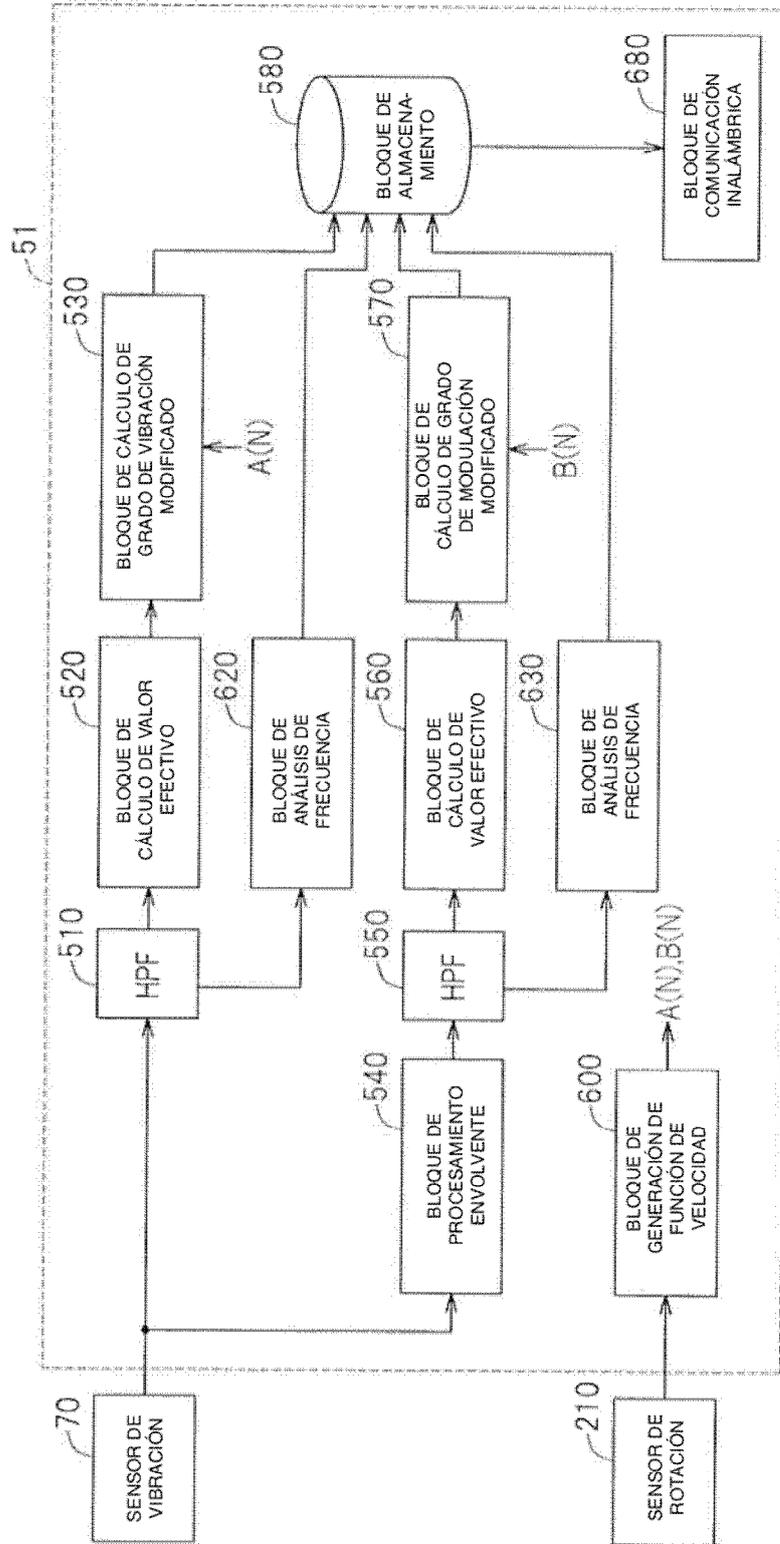


Fig. 41

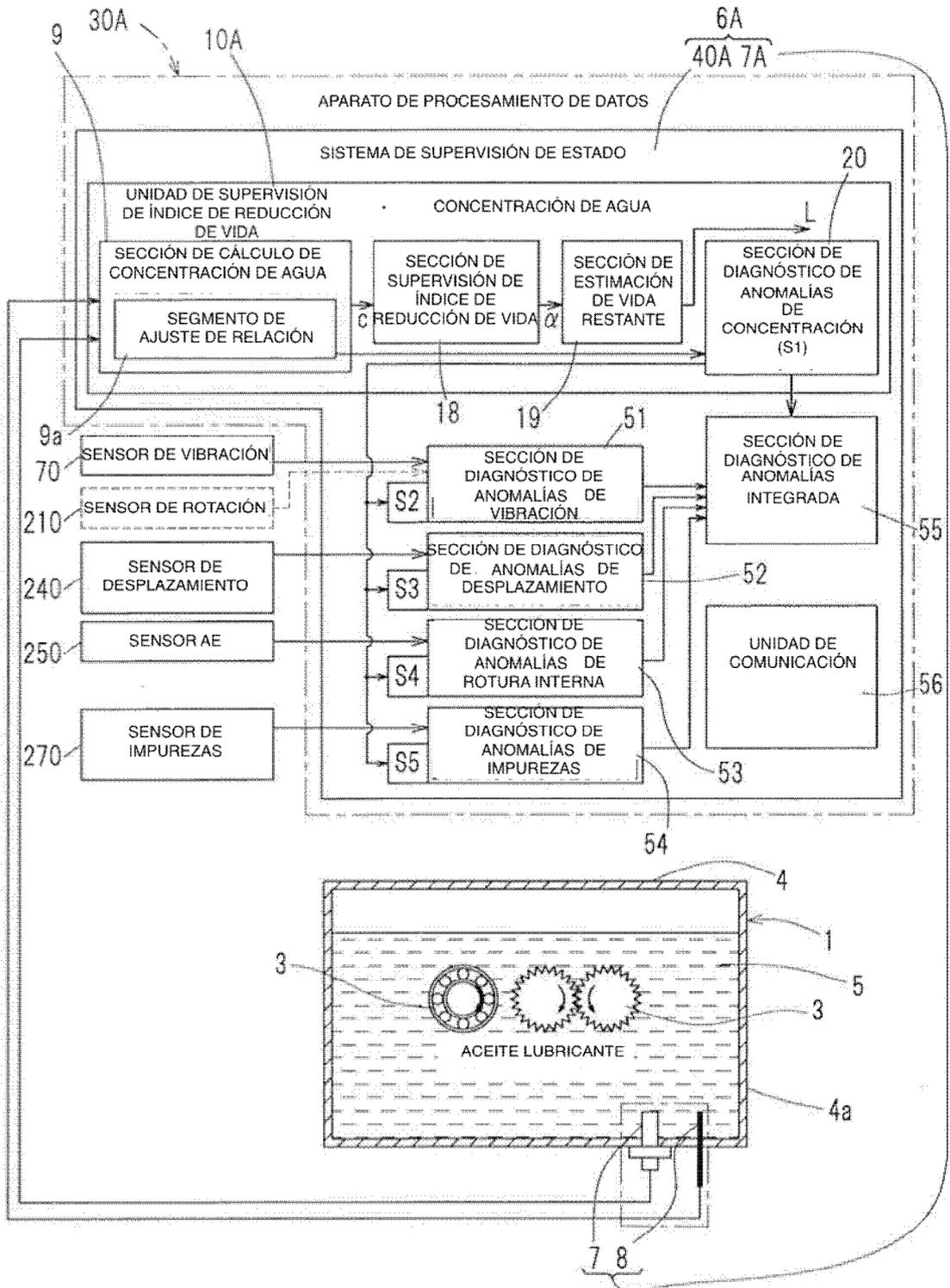
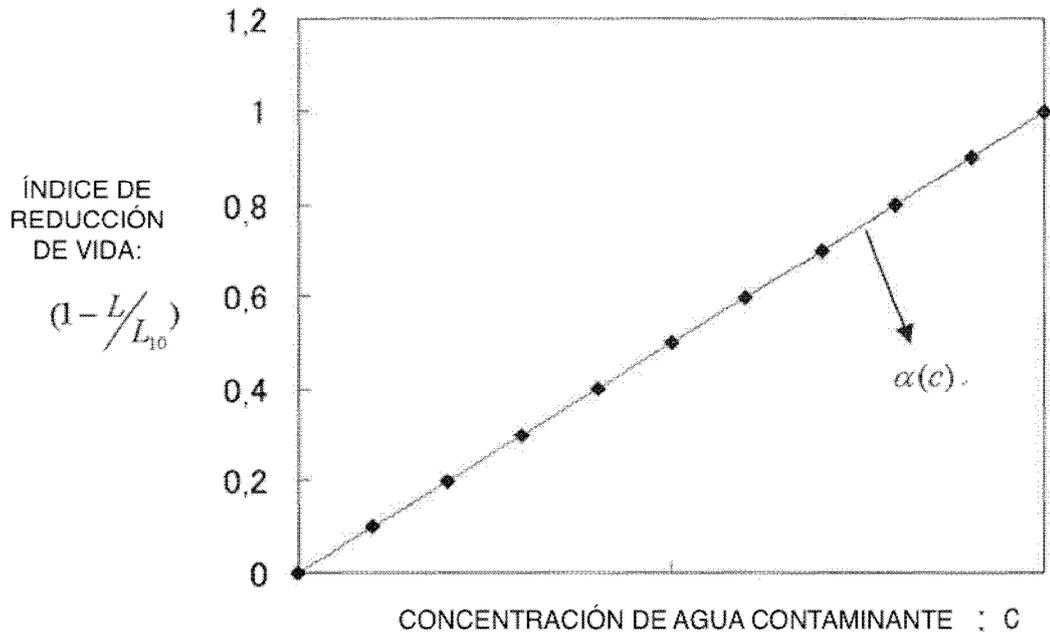
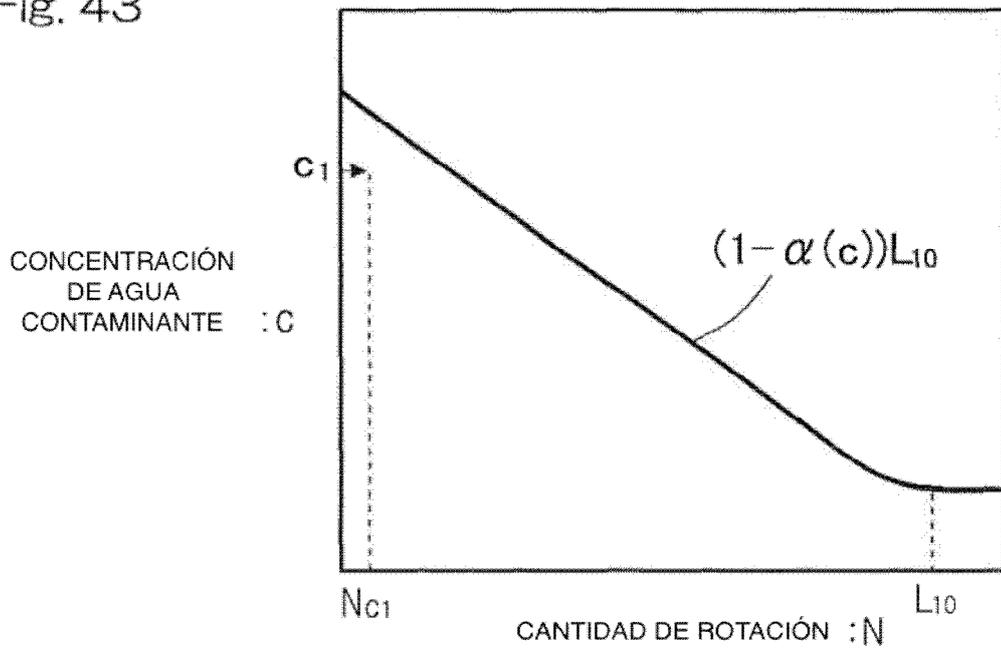


Fig. 42



RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN DE AGUA CONTAMINANTE E ÍNDICE DE REDUCCIÓN DE VIDA EN ENSAYO PREPARATORIO (DATOS PREVISTOS)

Fig. 43



RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN DE AGUA CONTAMINANTE Y VIDA DE COJINETE EN COJINETE ACTUAL (DATOS PREVISTOS)

Fig. 44

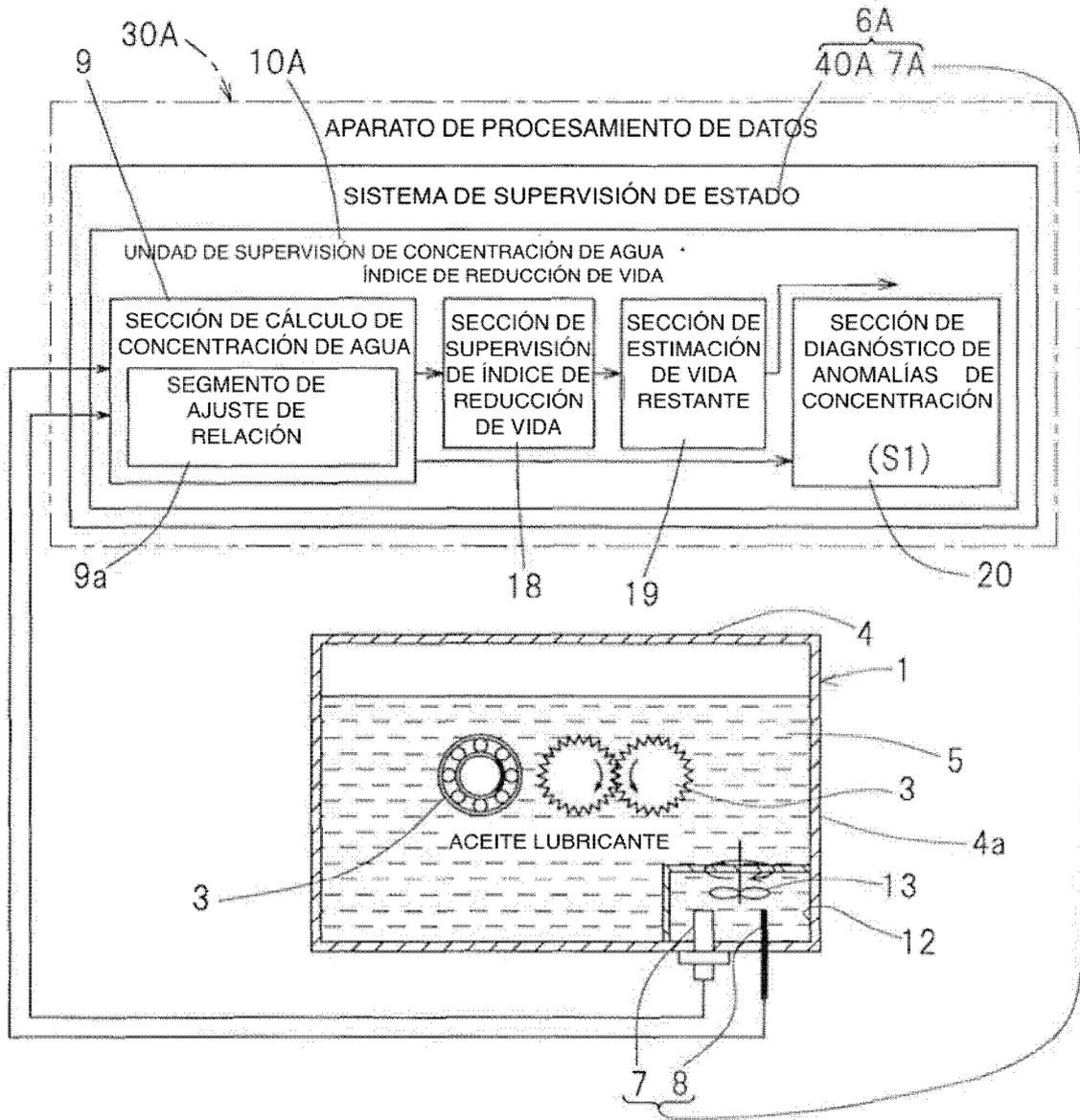


Fig. 45

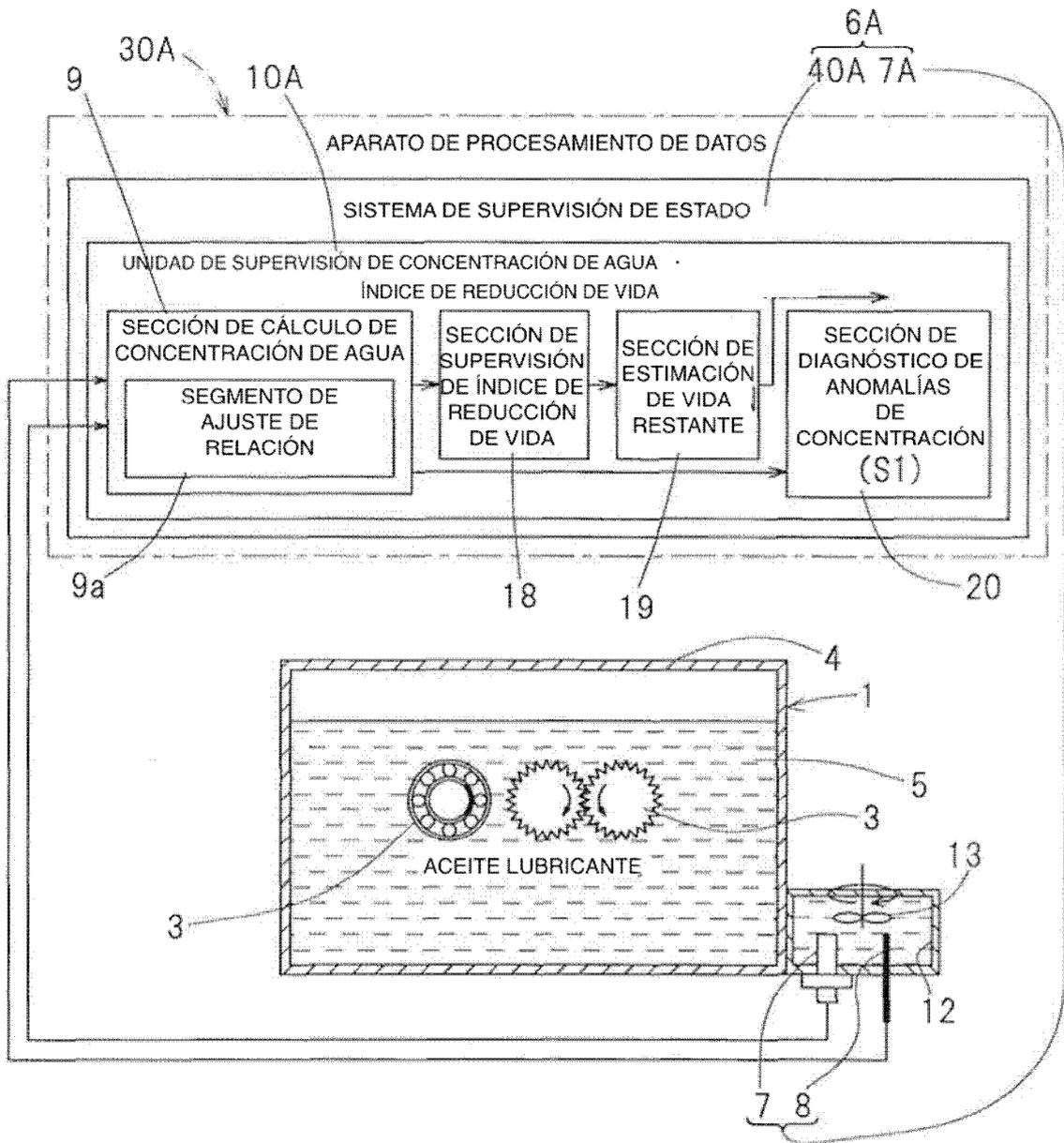


Fig. 46

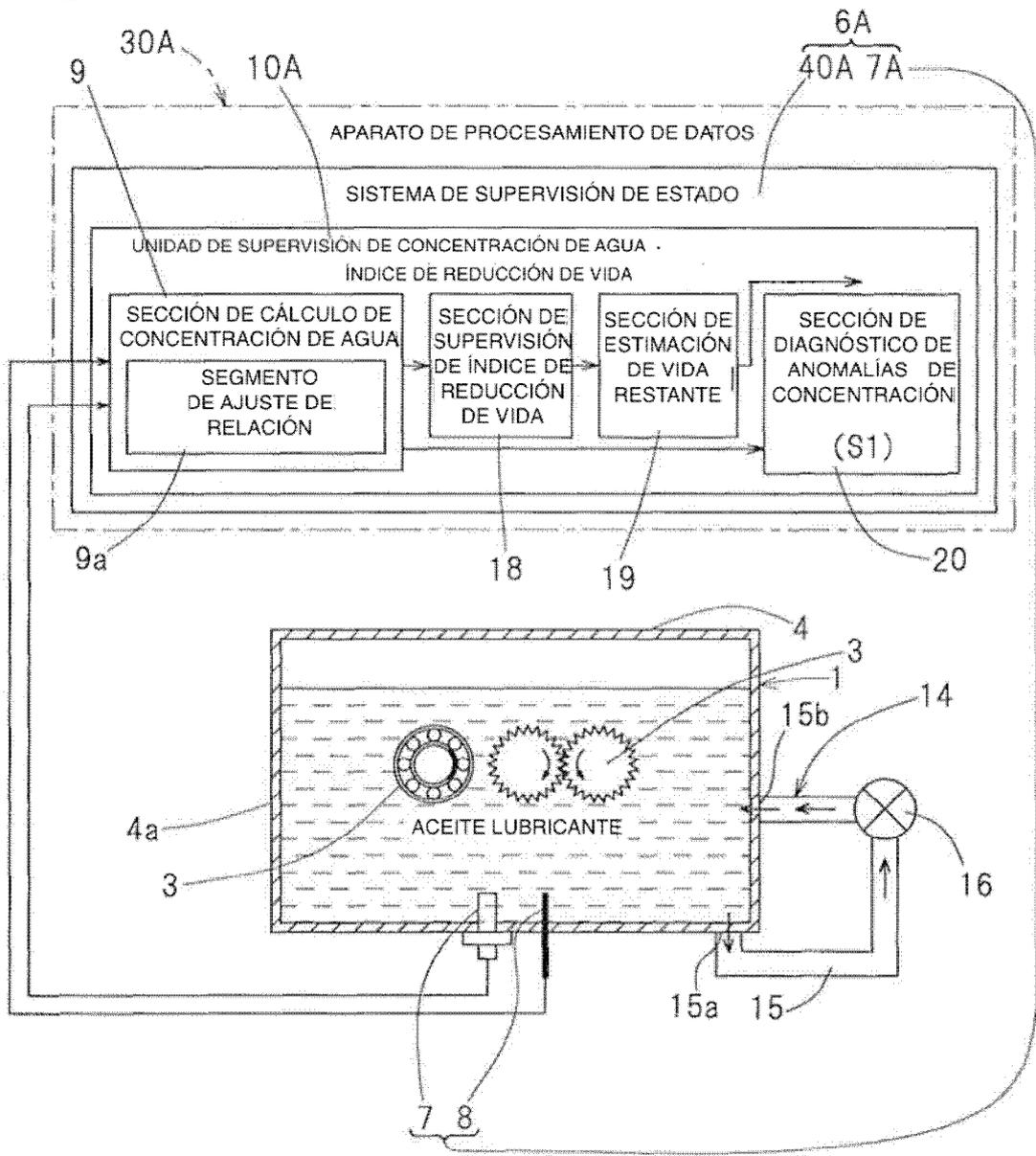


Fig. 47

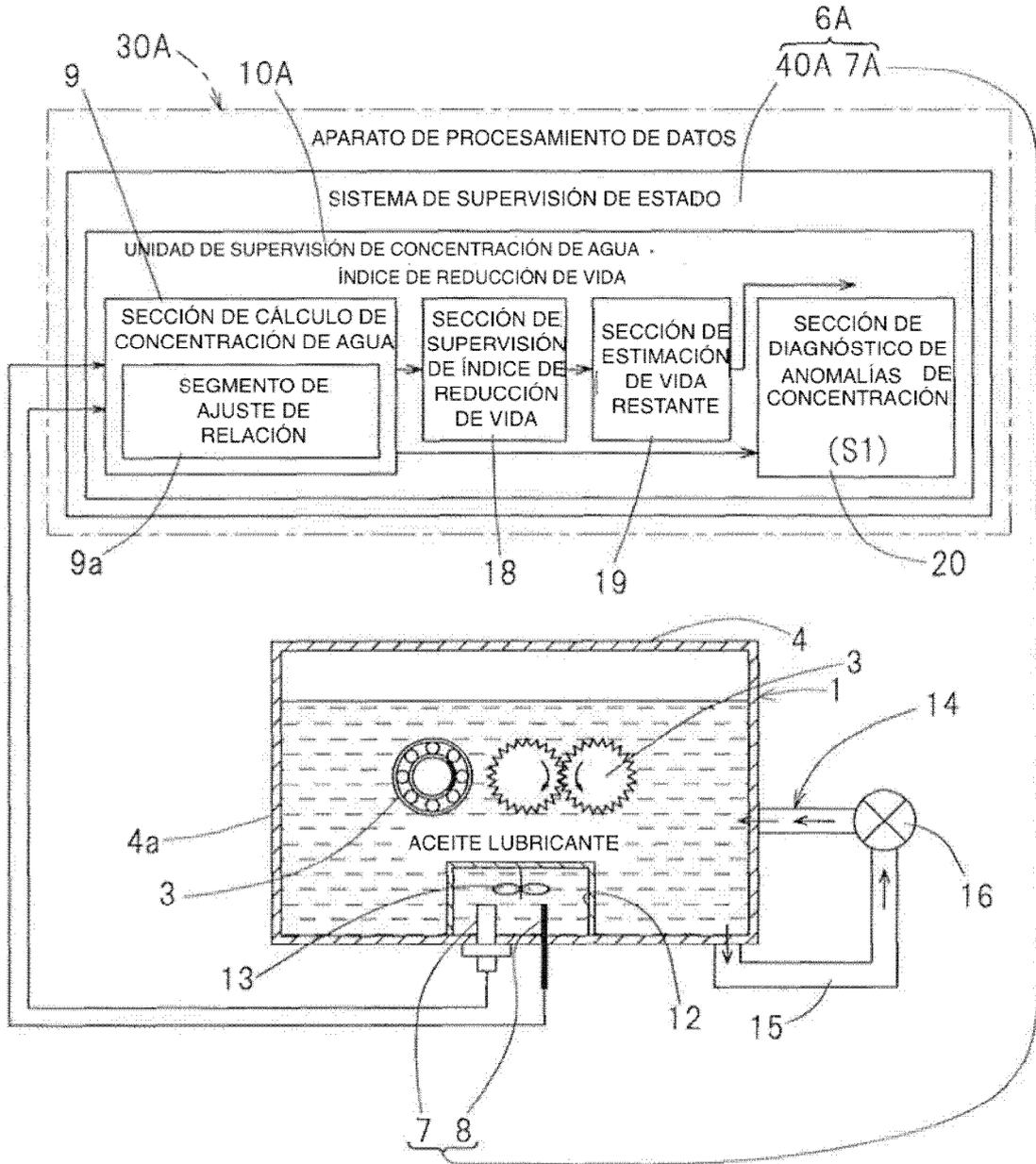


Fig. 48

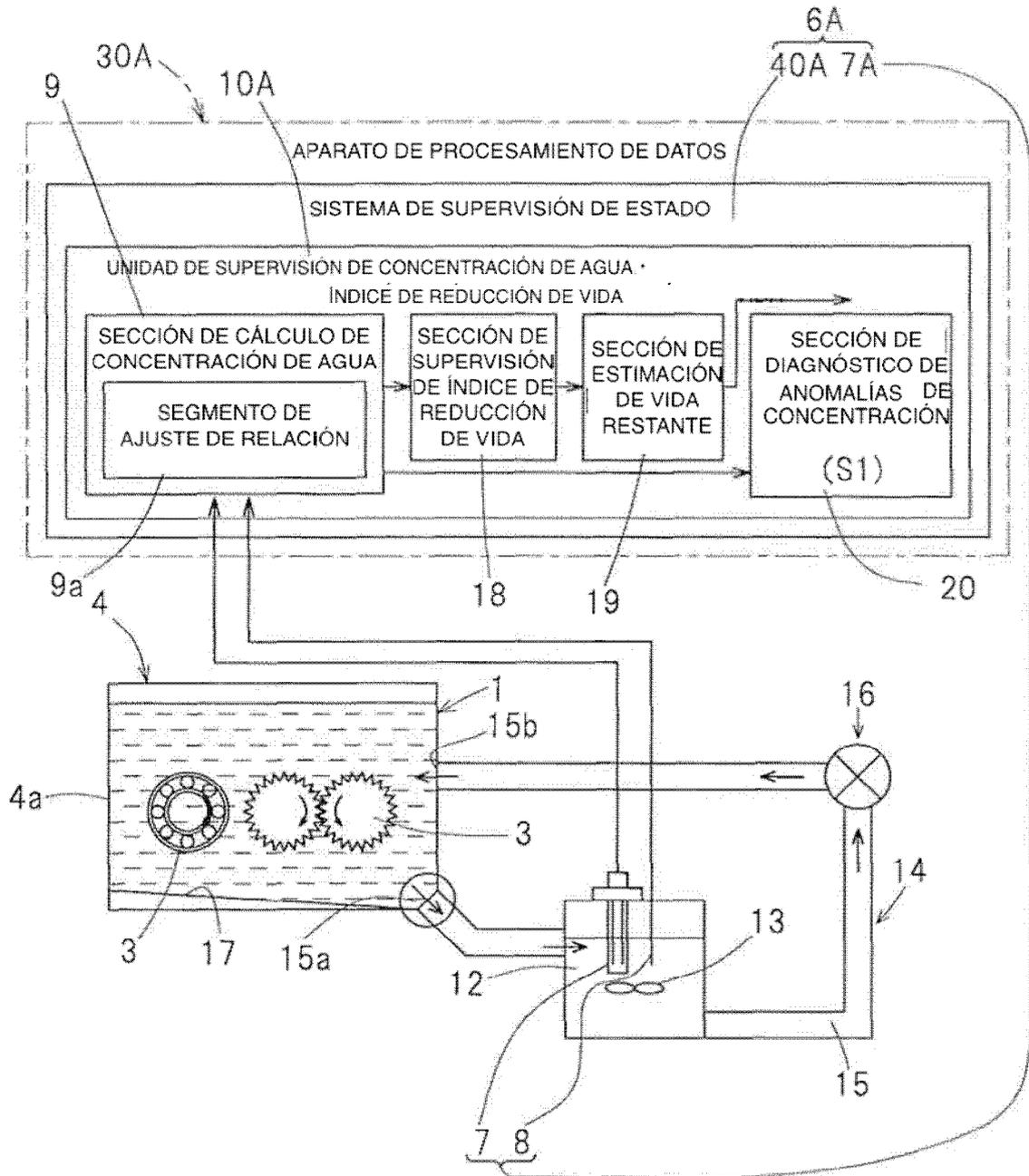


Fig. 49

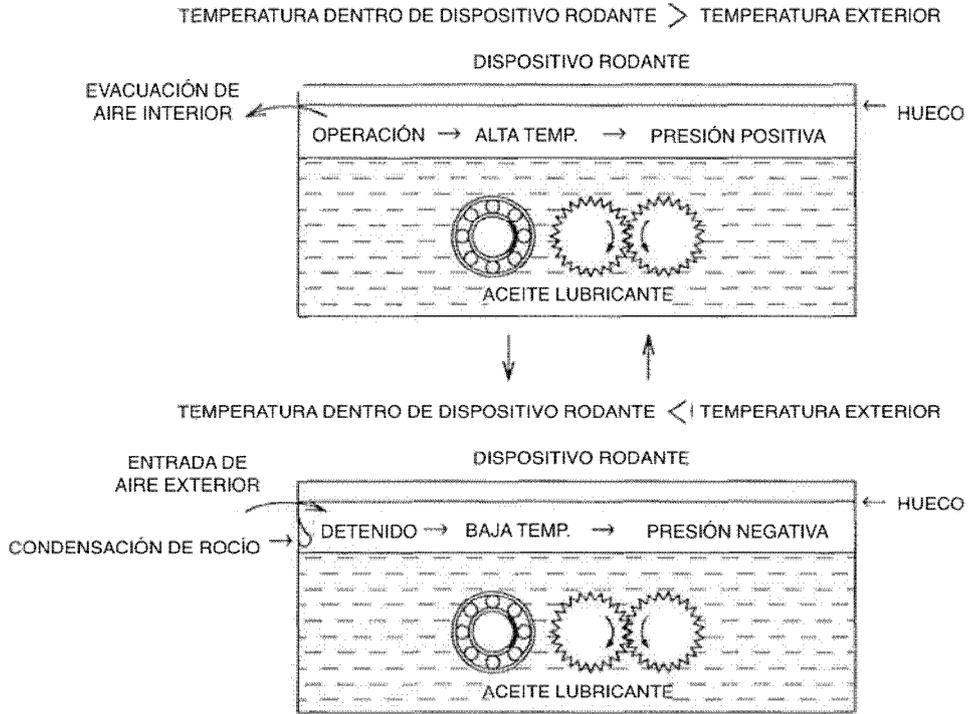


Fig. 50

