

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 996 945**

51 Int. Cl.:

G01L 5/00 (2006.01)

F16C 17/00 (2006.01)

G01H 1/00 (2006.01)

G01M 13/045 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.08.2023** **PCT/EP2023/072718**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.02.2024** **WO24041975**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.08.2023** **E 23758598 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2024** **EP 4359751**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para supervisar el funcionamiento de una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento y ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento correspondiente**

30 Prioridad:

23.08.2022 DE 102022121294

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.02.2025

73 Titular/es:

KS GLEITLAGER GMBH (100.00%)
Am Bahnhof 14
68789 St. Leon-Rot, DE

72 Inventor/es:

WITT, MARIO y
WINTER, MANUEL

74 Agente/Representante:

URÍZAR VILLATE, Ignacio

ES 2 996 945 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para supervisar el funcionamiento de una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento y ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento correspondiente

La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para supervisar un funcionamiento de una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento mediante un sensor, en donde el sensor genera una señal que caracteriza una excitación de vibración asociada a la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento. La invención también se refiere a una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento que se acopla mecánicamente al dispositivo de acuerdo con la invención.

Los cojinetes de deslizamiento se utilizan en diversos sectores industriales. A este respecto, los cojinetes de deslizamiento también se utilizan en grandes máquinas, como los aerogeneradores. Una supervisión de los cojinetes de deslizamiento sirve para detectar estados de funcionamiento defectuosos que pueden provocar daños o la parada de toda la máquina. Además, los intervalos de mantenimiento pueden optimizarse gracias a la supervisión de los cojinetes de deslizamientos.

Cuando en el marco de esta solicitud se habla de una ubicación de cojinete de deslizamiento o de una disposición de cojinete de deslizamiento, se entiende que un componente, por ejemplo un árbol o un muñón, está montado en deslizamiento, de manera giratoria o desplazable, con la menor fricción posible con respecto a otro componente, por ejemplo un componente de carcasa, o bien solo está apoyado de manera que puede moverse en deslizamiento. Por lo general, se forma una capa de deslizamiento, un revestimiento de deslizamiento o una película lubricante entre los componentes o sobre al menos uno de los componentes. Entre los componentes o para el montaje de uno de los componentes puede preverse un elemento de cojinete de deslizamiento en forma de buje con una capa de deslizamiento. Por ejemplo, una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento puede comprender una carcasa, un elemento de cojinete de deslizamiento introducido en ella asentándose firmemente de la forma habitual y una parte de árbol montada en su interior. Sin embargo, una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento también puede comprender una pieza de máquina, en particular una rueda dentada, como primer componente, que está montada en deslizamiento, de manera giratoria, sobre un árbol como segundo componente. Para ello, el árbol puede comprender un elemento de deslizamiento en forma de buje o un revestimiento de deslizamiento.

Por el documento WO 2013/156068 A1 se conocen un dispositivo y un procedimiento que caracterizan las emisiones acústicas en un cojinete de deslizamiento registrando valores medidos y clasifican un estado de funcionamiento del cojinete de deslizamiento calculando un valor característico a partir de estos valores medidos. Para registrar los valores medidos se utiliza un elemento sensor acoplado mecánicamente al cojinete de deslizamiento. El elemento sensor en el cojinete de deslizamiento detecta a este respecto las emisiones acústicas en un amplio rango de frecuencias, de 50 a 150 kHz. El elemento sensor puede diseñarse como un sensor de aceleración o como un sensor de presión o como una galga extensiométrica o como un elemento sensor piezoeléctrico. El elemento sensor se diseña preferentemente como un sensor micromecánico, es decir, como un sensor capacitivo, que podría comprender, por ejemplo, una masa sísmica. Sin embargo, estos tienen un ancho de banda reducido, una resolución de medición baja y un margen dinámico deficiente (el cociente entre la mayor intensidad de señal medida y la menor intensidad de señal que puede distinguirse del ruido es bajo). Para la clasificación del estado de funcionamiento, hay almacenados estados de funcionamiento predeterminados y valores característicos asociados a ellos en un equipo informático del dispositivo previamente conocido. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo previamente una adquisición de datos precisa de estados de funcionamiento específicamente inducidos, con el fin de crear la base de datos necesaria para la clasificación.

Además, por el documento US2016/0356657A1 se conocen un sistema y un procedimiento para determinar el fallo de un cojinete de deslizamiento mediante la detección y la evaluación de esfuerzos de deformación en la carcasa de cojinete de deslizamiento. Al menos un transductor de deformación está dispuesto en la carcasa de cojinete de deslizamiento para la medición. El transductor de deformación genera una señal de salida medible eléctricamente en respuesta a cambios en el estado de deformación de la carcasa de cojinete. Las amplitudes de las frecuencias de deformación de interés pueden determinarse como una tendencia y correlacionarse con el desgaste del cojinete de deslizamiento. Como posibles transductores de deformación se enumeran una galga extensiométrica con una lámina metálica, una galga extensiométrica piezoeléctrica y una galga extensiométrica piezorresistiva. El uso de un sensor de proximidad y un sensor de aceleración se describe como una desventaja en comparación con los transductores de deformación utilizados. El sensor de aceleración, en concreto, tiene la desventaja de que genera una señal que contiene una gran cantidad de ruidos de frecuencia perturbadores. Con este medio de medición es difícil diferenciar si los ruidos de frecuencia proceden de un cojinete de deslizamiento intacto o de uno ya dañado.

La presente invención se basa en el objetivo de proporcionar un procedimiento simplificado para supervisar el funcionamiento de una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento con una adquisición de cantidades de datos reducida y, pese a ello, una evaluación de datos fiable.

El objetivo se consigue de acuerdo con la invención mediante un procedimiento para supervisar el funcionamiento de una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento con las características de la reivindicación 1. En las

reivindicaciones dependientes pueden encontrarse formas de realización ventajosas.

Se propone, por tanto, de acuerdo con la invención, que el sensor sea un sensor de aceleración piezoeléctrico y que el sensor de aceleración piezoeléctrico tenga una masa sísmica vibrante y, en consecuencia, tenga una frecuencia de resonancia y que la frecuencia de resonancia en una situación de instalación del sensor se sitúe en un rango de 20 a 70 kHz,

y que la señal del sensor de aceleración solo se analice en un subrango de frecuencias que contiene la frecuencia de resonancia y que está limitado por un valor de frecuencia superior y un valor de frecuencia inferior, que la señal del sensor de aceleración sea registrada a lo largo del tiempo y a una frecuencia de muestreo que corresponde a al menos el doble del valor de frecuencia superior, y que se forme un valor característico promediado a partir de la señal del sensor de aceleración en este subrango de frecuencias, y que a través del valor característico se infiera un estado de fricción de la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento, y que, partiendo de un estado de fricción hidrodinámica, se infiera un estado de fricción caracterizado por fricción mixta si el valor característico aumenta a lo largo del tiempo.

Durante el funcionamiento se producen vibraciones en la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento, que se propagan en forma de sonido estructural en la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento y también en los componentes contiguos.

La masa sísmica vibrante del sensor piezoeléctrico de aceleración es excitada para que vibre por el sonido estructural que se produce durante el funcionamiento de la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento. El efecto piezoeléctrico se utiliza para generar la señal del sensor a partir de la vibración de la masa sísmica, que caracteriza la excitación de vibración asociada a la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento. A este respecto, en particular, la amplitud del sonido estructural depende del estado de fricción de la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento, es decir, fricción hidrodinámica, fricción mixta o, en particular, fricción en estado sólido. El sensor de aceleración puede ser un sensor de aceleración piezoeléctrico de uno, dos o tres ejes con masa sísmica.

El sensor de aceleración está diseñado utilizando la masa sísmica vibrante de tal manera que su frecuencia de resonancia en la situación de instalación se sitúa en el rango de 20 a 70 kHz. La frecuencia de resonancia del sensor de aceleración es específica del sensor, pero también depende de la situación de montaje o de la fijación del sensor de aceleración a la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento, por ejemplo mediante atornillado, pegado, disposición magnética, etc. Si no se conoce la frecuencia de resonancia del sensor de aceleración en su situación de instalación, debe determinarse de antemano.

En otra etapa de procedimiento, la señal del sensor de aceleración se evalúa en el subrango de frecuencias que contiene la frecuencia de resonancia.

Si se produce una fricción mixta en la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento, el sensor de aceleración se excita con más intensidad en el rango de resonancia, por lo que la señal del sensor de aceleración se amplifica en el rango de frecuencia parcial. Esto significa que el sensor de aceleración se evalúa en el rango de mayor sensibilidad, lo que se traduce en una gran fiabilidad del procedimiento. Por lo tanto, el procedimiento de acuerdo con la invención también permite detectar el sonido estructural generado por la fricción mixta en cojinetes de deslizamiento a bajas velocidades (bajas velocidades de deslizamiento, por ejemplo, modo de funcionamiento de arranque-parada).

Dado que la frecuencia de muestreo corresponde a al menos el doble del valor de frecuencia superior del subrango de frecuencias que ha de evaluarse, la señal del sensor de aceleración puede evaluarse hasta el valor de frecuencia superior. Si, por ejemplo, la frecuencia de muestreo se limitara exactamente al doble del subrango de frecuencias que ha de evaluarse, la señal evaluable se limitaría al valor de frecuencia superior.

El subrango de frecuencias que ha de supervisarse es preferentemente independiente de un material de cojinete, de una velocidad de rotación (velocidad de deslizamiento), de una carga y de un lubricante, así como de una temperatura del lubricante.

Durante la evaluación, se forma un valor característico a partir de la señal del sensor de aceleración en este subrango de frecuencias. Si el valor característico aumenta a lo largo del tiempo, puede inferirse una fricción mixta. Una comparación con una tabla de valores de referencia almacenada no es absolutamente necesaria, lo que se considera ventajoso. La supervisión en tiempo real durante el funcionamiento de la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento puede realizarse de forma sencilla. La fricción mixta del cojinete de deslizamiento puede reconocerse de forma fiable y pueden evitarse daños en el cojinete de deslizamiento, por ejemplo, realizando el mantenimiento del cojinete de deslizamiento en una fase temprana.

Ha resultado ser ventajoso que la frecuencia de resonancia en la situación de instalación del sensor se sitúe en un rango de 20 a 50 kHz, en particular de 20 a 40 kHz. El hecho de que el rango en el que se sitúa la frecuencia de resonancia sea menor significa que el subrango de frecuencias que ha de analizarse también puede reducirse, lo que se traduce en una menor cantidad de datos que evaluar.

En una forma de realización ventajosa, el valor de frecuencia superior es como máximo 1,2 veces o como máximo 1,3 veces o como máximo 1,4 veces o como máximo 1,5 veces o como máximo 1,6 veces o como máximo 1,7 veces la frecuencia de resonancia.

5 Según una forma de realización de la invención, ha resultado ser ventajoso que el valor de frecuencia inferior sea como mínimo 0,8 veces o como mínimo 0,7 veces o como mínimo 0,6 veces o como mínimo 0,5 veces o como mínimo 0,4 veces o como mínimo 0,3 veces la frecuencia de resonancia.

10 Resulta ventajoso que el valor característico sea un valor medio estadístico, en particular la raíz cuadrática media (RMS), el valor máximo, el valor pico-valor, la varianza (distribución de los valores en torno al valor medio), el valor de curtosis (medida de la pendiente), un valor de cresta (razón entre el valor máximo y la raíz cuadrática media). El valor característico es más fácil de manejar que la señal registrada del sensor de aceleración. Mediante la formación del valor característico se compensan componentes de señal interferentes y/o valores atípicos en la señal del sensor de
15 aceleración. Las tendencias y la evolución del valor característico pueden registrarse a lo largo del tiempo.

En una forma de realización, ha resultado ser ventajoso que, partiendo de un estado de fricción hidrodinámica, se infiera un estado de fricción caracterizado por fricción mixta si el valor característico a lo largo del tiempo supera un valor umbral predeterminado o predeterminable. También es concebible que se pueda especificar adicionalmente un
20 valor umbral para la fricción en estado sólido en caso de que se supere la fricción mixta. Mediante un valor umbral se puede garantizar la detección fiable de la fricción mixta. También se considera ventajoso que la fricción mixta pueda reconocerse con ayuda del valor umbral tan pronto como se ponga en marcha la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento si el valor característico formado supera el valor umbral.

25 También es ventajoso que la señal del sensor de aceleración se filtre mediante un filtro paso alto y, en particular, adicionalmente mediante un filtro paso bajo. La señal puede limpiarse de subrangos de frecuencias innecesarios para la supervisión mediante el filtro paso alto y, en particular, adicionalmente mediante el filtro paso bajo antes de formar el valor característico.

30 En una forma de realización, ha resultado ser ventajoso que una frecuencia de corte del filtro paso alto corresponda al valor de frecuencia inferior del subrango de frecuencias y/o que una frecuencia de corte del filtro paso bajo corresponda al valor de frecuencia superior del subrango de frecuencias. La señal puede limitarse al subrango de frecuencias que ha de evaluarse, de modo que se genere una cantidad de datos menor que si se evaluara la señal sin filtrar. Así se reducen los costes y se ahorra tiempo en la adquisición de datos y en la evaluación de datos medidos.
35

Según otra forma de realización de la invención, ha resultado ser ventajoso que a una señal del sensor de aceleración se le aplique una transformada de Fourier y, a continuación, solo se evalúe en el subrango de frecuencias. Esta aplicación de transformada de Fourier, en particular, representa una alternativa al filtrado.

40 También es objeto de la invención un dispositivo para supervisar el funcionamiento de una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento, que comprende un sensor que puede disponerse o está dispuesto acoplado mecánicamente a la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento, en donde el sensor genera una señal que caracteriza una excitación de vibración asociada a la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento,

45 y que comprende además un equipo electrónico de evaluación con un procesador y una memoria con un código de programa informático almacenado en la misma, en donde el sensor es un sensor piezoeléctrico de aceleración y por que el sensor piezoeléctrico de aceleración tiene una masa sísmica vibrante y, en consecuencia, tiene una frecuencia de resonancia, en donde la masa sísmica es excitada para que vibre por el sonido estructural de la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento y la señal es generada como resultado, en donde la frecuencia
50 de resonancia en una situación de instalación del sensor se sitúa en un rango de 20 a 70 kHz, y por que la memoria y el código de programa informático están configurados en cooperación con el procesador para evaluar la señal del sensor de aceleración solo en un subrango de frecuencias que contiene la frecuencia de resonancia y que está limitado por un valor de frecuencia superior y un valor de frecuencia inferior, y están configurados además para registrar la señal del sensor de aceleración a lo largo del tiempo y a una
55 frecuencia de muestreo que corresponde a al menos el doble del valor de frecuencia superior, y están configurados además para formar un valor característico promediado a partir de la señal del sensor de aceleración en este subrango de frecuencias, y, a través del valor característico, inferir un estado de fricción de la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento,
60 y están configurados además para inferir un estado de fricción caracterizado por fricción mixta a partir de un estado de fricción hidrodinámica cuando el valor característico aumenta a lo largo del tiempo. - Por lo tanto, el dispositivo está diseñado para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención.

En otra forma de realización, ha resultado ser ventajoso que el dispositivo comprenda un filtro paso alto y, en particular, adicionalmente un filtro paso bajo, y que la señal del sensor de aceleración se filtre por medio del filtro paso alto y, en particular, adicionalmente por medio del filtro paso bajo. El filtro paso alto y, en particular, el filtro paso bajo pueden

diseñarse como componentes electrotécnicos, por ejemplo. También es concebible que la memoria y el código de programa informático puedan configurarse en cooperación con el procesador como un filtro paso alto y, en particular, como un filtro paso bajo.

- 5 Ha resultado ser ventajoso que una frecuencia de corte del filtro paso alto corresponda al valor de frecuencia inferior del subrango de frecuencias y/o que una frecuencia de corte del filtro paso bajo corresponda al valor de frecuencia superior del subrango de frecuencias.

- 10 Según otra forma de realización, ha resultado ser ventajoso que el equipo electrónico de evaluación esté diseñado para aplicar a la señal del sensor de aceleración una transformada de Fourier y, a continuación, evaluarla únicamente en el subrango de frecuencias.

- 15 Otro objeto de la invención es una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento que se acopla mecánicamente a un dispositivo de acuerdo con la invención para supervisar el funcionamiento de la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento, de modo que el sonido estructural generado por la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento puede transmitirse al dispositivo y a su sensor de aceleración piezoeléctrico y supervisarse por el dispositivo.

- 20 Otras características y ventajas de la invención son objeto de la siguiente descripción y de la representación gráfica de ejemplos de realización. Muestran:

- la Fig. 1 una vista esquemática y parcialmente en sección de una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento y un dispositivo para supervisar el funcionamiento de la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento;
- 25 la Fig. 2 una representación esquemática de etapas de un procedimiento de acuerdo con la invención para supervisar una ubicación/disposición de un cojinete de deslizamiento según una primera forma de realización;
- 30 la Fig. 3 una representación esquemática de etapas del procedimiento de acuerdo con la invención según una segunda forma de realización;
- la Fig. 4 una representación esquemática de etapas del procedimiento de acuerdo con la invención según una tercera forma de realización;
- 35 la Fig. 5 una representación gráfica de dos señales a las que se ha aplicado una transformada de Fourier de diferentes estados de fricción de un sensor de aceleración.

- La Fig. 1 muestra esquemáticamente un dispositivo para supervisar el funcionamiento de una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento 12, que está etiquetado en su conjunto con la referencia 10. El dispositivo 10 comprende un sensor 14, un equipo eléctrico de evaluación 16 con un procesador 18 y una memoria 20 con un programa informático almacenado en ella. En el presente caso, el sensor 14 está diseñado como un sensor de aceleración piezoeléctrico 22 con una masa sísmica 24 vibrante. El sensor de aceleración 22 está diseñado utilizando la masa sísmica 24 vibrante de tal manera que una frecuencia de resonancia 26 del sensor de aceleración 22 en una situación de instalación se sitúa en el rango de 20 a 70 kHz. El equipo de evaluación 16 está conectado a este respecto, por cable o inalámbricamente, al sensor de aceleración 22 y, por ejemplo, también puede estar conectado a un equipo de visualización externo 28, por ejemplo, un dispositivo móvil, un piloto o una pantalla, el cual también está situado a cierta distancia del sensor de aceleración 22.
- 40
- 45

- La disposición de cojinete de deslizamiento 12, que solo se indica en este caso esquemáticamente, comprende una carcasa de cojinete de deslizamiento 30 y un árbol 32 montado en la carcasa de cojinete de deslizamiento 30, sin que se muestren otros elementos de deslizamiento o revestimientos de deslizamiento que puedan actuar entre los componentes. Entre la carcasa de cojinete de deslizamiento 30 y el árbol 32 se dispone normalmente una película lubricante 34 para un apoyo hidrodinámico del árbol 32, que se forma por medios conocidos *per se*, y que por tanto no se describen. El sensor de aceleración 22 está dispuesto en un lado exterior 36 de la carcasa de cojinete de deslizamiento 30 y puede, por ejemplo, atornillarse a la carcasa de cojinete de deslizamiento 30.
- 50
- 55

- El dispositivo 10 está diseñado para llevar a cabo un procedimiento de acuerdo con la invención con la configuración descrita al principio. Las Fig. 2 a 4 muestran etapas de procedimiento de tres formas de realización 100, 102, 104 del procedimiento.
- 60

- La Fig. 2 muestra una primera forma de realización 100 del procedimiento. Durante el funcionamiento, es decir, cuando se aplica carga a la disposición de cojinete de deslizamiento 12, es decir, cuando el árbol 32 se pone en rotación, o en general cuando cualquier componente de la ubicación o disposición de cojinete de deslizamiento se pone en movimiento deslizante con respecto al otro componente, se producen vibraciones en la disposición de cojinete de deslizamiento 12. Estas vibraciones se propagan en forma de sonido estructural en la disposición de cojinete de deslizamiento 12 y también en los componentes contiguos a la disposición de cojinete de deslizamiento 12. La masa
- 65

sísmica 24 vibrante del sensor de aceleración 22 es excitada para que vibre por el sonido estructural. En una primera etapa de procedimiento 106, se genera una señal 38 mediante la excitación de la masa sísmica 24 vibrante del sensor de aceleración 22 y un efecto piezoeléctrico (Fig. 1), que caracteriza la excitación de vibración asociada a la disposición de cojinete de deslizamiento 12.

La memoria 20 y el código de programa informático almacenado en ella están configurados en cooperación con el procesador 18 para evaluar la señal 38 del sensor de aceleración 22 solo en un subrango de frecuencias 40 que contiene la frecuencia de resonancia 26 (véase también la Fig. 5). El subrango de frecuencias 40 está limitado por un valor de frecuencia superior 42 y un valor de frecuencia inferior 44. Para ello, en una segunda etapa 108 del método, la señal 38 del sensor de aceleración 22 se registra a lo largo del tiempo y a una frecuencia de muestreo que corresponde preferentemente a al menos el doble del valor de frecuencia superior 42. Dado que la frecuencia de muestreo corresponde al doble del valor de frecuencia superior 42 del subrango de frecuencias 40 que ha de evaluarse, la señal 38 se limita al valor de frecuencia superior 42 para la evaluación.

A continuación, en la etapa de procedimiento 110 se forma un valor característico promediado a partir del subrango de frecuencias 40 registrado. Para formar un valor característico promediado se dispone de varios métodos matemáticos, que se mencionaron en la introducción, por ejemplo el valor cuadrático medio de la señal 38 del sensor 14.

A través del valor característico formado, se puede inferir un estado de fricción de la disposición de cojinete de deslizamiento 12 en la etapa de procedimiento 112. Partiendo de un estado de fricción hidrodinámica se infiere un estado de fricción caracterizado por fricción mixta si el valor característico aumenta a lo largo del tiempo.

Si se constata una fricción mixta, se emite preferentemente un mensaje de alerta 114, que puede reproducirse, por ejemplo, mediante el equipo de visualización 28, para que pueda llevarse a cabo, por ejemplo, el mantenimiento de la disposición de cojinete de deslizamiento 12. Así, por ejemplo, es posible mantener las disposiciones de cojinete de deslizamiento 12 de los aerogeneradores en alta mar en función de su estado de funcionamiento.

La Fig. 3 ilustra esquemáticamente una segunda forma de realización 102 del procedimiento. Después de generar una señal 38 del sensor 14 asociada a una excitación de vibración en la etapa de procedimiento 106, la señal 38 se registra a una frecuencia de muestreo en una etapa de procedimiento 108 igual que en la Fig. 2 y después se filtra en una etapa de procedimiento 116 mediante un filtro paso alto y mediante un filtro paso bajo. A este respecto, una frecuencia de corte del filtro paso alto puede corresponder al valor de frecuencia inferior 44 del subrango de frecuencias 40 y una frecuencia de corte del filtro paso bajo puede corresponder al valor de frecuencia superior 42 del subrango de frecuencias 40. La señal 38 se limita así al subrango de frecuencias 40 que ha de evaluarse.

Además, en la Fig. 3 se implementa otra variante en la que, tras la formación del valor característico promediado en la etapa de procedimiento 110, se lleva a cabo una etapa de procedimiento 118 opcional, además de la etapa de procedimiento 112 o como parte de la misma. En la etapa de procedimiento 118, el valor característico se compara con un valor umbral para fricción mixta, de modo que, partiendo de un estado de fricción hidrodinámica, se infiere un estado de fricción caracterizado por fricción mixta si el valor característico aumenta a lo largo del tiempo y supera el valor umbral especificado. Si se constata fricción mixta o se infiere fricción mixta, preferiblemente se puede emitir un mensaje de alerta 114. El valor umbral previamente establecido y memorizado puede basarse en cálculos, pruebas o valores empíricos.

La Fig. 4 ilustra esquemáticamente una tercera forma de realización 104 del procedimiento. En la tercera forma de realización 104 no se realiza, por ejemplo, ningún filtrado paso alto/bajo de acuerdo con la segunda forma de realización 102, sino que, después de registrar la señal 38 a una frecuencia de muestreo en la etapa de procedimiento 108, a la señal 38 registrada se le aplica una transformada de Fourier en una etapa de procedimiento 120 posterior (véase también la Fig. 5) y, a continuación, se evalúa solo en el subrango de frecuencias 40. Después de la etapa de procedimiento 110 de formación de un valor característico promediado, se lleva a cabo la etapa de procedimiento 112 de determinación del estado de fricción, en particular de nuevo opcionalmente a través de una comparación de valor umbral de acuerdo con la etapa de procedimiento 118. Una vez más, se puede emitir un mensaje de alerta si el valor característico aumenta a lo largo del tiempo y supera el valor umbral especificado.

Por lo tanto, el estado de fricción se supervisa a lo largo del tiempo en todas las variantes de procedimiento. Preferiblemente, se puede emitir un mensaje de alerta 114 cuando se detecta fricción mixta.

La Fig. 5 es una representación gráfica a modo de ejemplo de dos señales 46, 48 a las que se ha aplicado una transformada de Fourier de un sensor de aceleración 22 de un solo eje con una frecuencia de resonancia 26 de 47 kHz en diferentes estados de fricción. Una primera señal 46 a la que se ha aplicado una transformada de Fourier con una amplitud menor (mostrada como una línea negra) representa un estado de fricción hidrodinámica, y una segunda señal 48 a la que se ha aplicado una transformada de Fourier con una amplitud mayor (mostrada como una línea gris) representa un estado de fricción con fricción mixta.

La segunda señal 48 a la que se ha aplicado una transformada de Fourier tiene una amplitud significativamente mayor

con fricción mixta en el rango de la frecuencia de resonancia 26 que la de la primera señal 46 a la que se ha aplicado una transformada de Fourier con fricción hidrodinámica. Con fricción mixta, el sensor de aceleración 22 se excita con mayor intensidad en el rango de la frecuencia de resonancia 26, es decir, con la mayor sensibilidad, y el estado de fricción mixta puede detectarse así partiendo de un estado de fricción hidrodinámica.

5 La Fig. 5 muestra dos subrangos de frecuencias 40', 40" alternativos que incluyen la frecuencia de resonancia 26. En el primer subrango de frecuencias 40', el valor de frecuencia superior 42 es 1,7 veces la frecuencia de resonancia 26 y el valor de frecuencia inferior 44 es 0,3 veces la frecuencia de resonancia 26. En el segundo subrango de frecuencias 40", el valor de frecuencia superior 42 es 1,2 veces la frecuencia de resonancia 26 y el valor de frecuencia inferior 44 es 0,8 veces la frecuencia de resonancia 26. En función de la configuración del sensor de aceleración 22, pueden seleccionarse diferentes subrangos de frecuencias 40. Cuanto menor sea el subrango de frecuencias 40 que haya de evaluarse, menor será la cantidad de datos que hayan de evaluarse. Si no se conoce la frecuencia de resonancia 26 del sensor de aceleración 22 acoplado a la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento 12 y la manifestación de los estados de fricción en el rango de la frecuencia de resonancia 26, entonces se puede determinar ventajosamente el subrango de frecuencias 40 que ha de evaluarse y la frecuencia de resonancia 26 del sensor de aceleración 22 en la situación de montaje en una prueba y mediante la aplicación de transformada de Fourier.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100, 102, 104) para supervisar el funcionamiento de una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento (12) mediante un sensor (14), en donde el sensor (14) genera una señal (38), señal (38) que caracteriza (106) una excitación de vibración asociada a la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento (12), **caracterizado por que** el sensor (14) es un sensor de aceleración piezoeléctrico (22) y por que el sensor de aceleración piezoeléctrico (22) tiene una masa sísmica (24) vibrante y, en consecuencia, tiene una frecuencia de resonancia (26), y por que la frecuencia de resonancia (26) en una situación de instalación del sensor (14) se sitúa en un rango de 20 a 70 kHz, y por que la señal (38) del sensor de aceleración (22) solo se evalúa en un subrango de frecuencias (40, 40', 40'') que incluye la frecuencia de resonancia (26) y que está limitado por un valor de frecuencia superior (42) y un valor de frecuencia inferior (44),
 y por que la señal (38) del sensor de aceleración (22) se registra a lo largo del tiempo y a una frecuencia de muestreo que corresponde (108) a al menos el doble del valor de frecuencia superior (42),
 y por que se forma (110) un valor característico promediado a partir de la señal (38) del sensor de aceleración (22) en este subrango de frecuencias (40, 40', 40''),
 y por que a través del valor característico se infiere un estado de fricción de la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento (112), y por que, partiendo de un estado de fricción hidrodinámica, se infiere un estado de fricción caracterizado por fricción mixta si el valor característico aumenta a lo largo del tiempo.
2. Procedimiento (100, 102, 104) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la frecuencia de resonancia (26) en la situación de instalación del sensor (14) se sitúa en un rango de 20 a 50 kHz, en particular de 20 a 40 kHz.
3. Procedimiento (100, 102, 104) según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** el valor de frecuencia superior (42) es como máximo 1,2 veces o como máximo 1,3 veces o como máximo 1,4 veces o como máximo 1,5 veces o como máximo 1,6 veces o como máximo 1,7 veces la frecuencia de resonancia (26).
4. Procedimiento (100, 102, 104) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el valor de frecuencia inferior (44) es como mínimo 0,8 veces o como mínimo 0,7 veces o como mínimo 0,6 veces o como mínimo 0,5 veces o como mínimo 0,4 veces o como mínimo 0,3 veces la frecuencia de resonancia (26).
5. Procedimiento (100, 102, 104) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el valor característico es un valor medio estadístico, en particular el valor cuadrático medio, el valor máximo, el valor pico-valor, la varianza, el valor de curtosis, un valor de cresta.
6. Procedimiento (102, 104) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**, partiendo de un estado de fricción hidrodinámica, se infiere un estado de fricción caracterizado por fricción mixta si el valor característico a lo largo del tiempo supera (118) un valor umbral predeterminado o predeterminable.
7. Procedimiento (102) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la señal (38) del sensor de aceleración (22) se filtra (116) mediante un filtro paso alto y, en particular, adicionalmente mediante un filtro paso bajo.
8. Procedimiento (102) según la reivindicación 7, **caracterizado por que** una frecuencia de corte del filtro paso alto corresponde al valor de frecuencia inferior (44) del subrango de frecuencias (40, 40', 40'') y/o por que una frecuencia de corte del filtro paso bajo corresponde al valor de frecuencia superior (42) del subrango de frecuencias (40, 40', 40'').
9. Procedimiento (104) según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** a una señal (38) del sensor de aceleración (22) se le aplica una transformada de Fourier (120) y, a continuación, se evalúa solo en el subrango de frecuencias (40, 40', 40'').
10. Dispositivo (10) para supervisar el funcionamiento de una ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento (12), que comprende un sensor (14) que puede disponerse o está dispuesto mecánicamente acoplado a la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento (12), en donde el sensor (14) genera una señal (38), señal (38) que caracteriza (106) una excitación de vibración asociada a la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento (12),
 y que comprende además un equipo electrónico de evaluación (16) con un procesador (18) y una memoria (20) con un código de programa informático almacenado en ella, **caracterizado por que** el sensor (14) es un sensor de aceleración piezoeléctrico (22) y por que el sensor de aceleración piezoeléctrico (22) tiene una masa sísmica (24) vibrante y, en consecuencia, tiene una frecuencia de resonancia (26), en donde la masa sísmica (24) es excitada para que vibre por el sonido estructural de la ubicación/disposición de cojinete deslizante (12) y la señal (38) es generada (106) como resultado, en donde la frecuencia de resonancia (26) en una situación de instalación del sensor (14) se sitúa en un rango de 20 a 70 kHz,
 y por que la memoria (20) y el código de programa informático están configurados en cooperación con el procesador (18) para evaluar la señal (38) del sensor de aceleración (22) solo en un subrango de frecuencias (40, 40', 40'') que contiene la frecuencia de resonancia (26) y que está limitado por un valor de frecuencia superior (42)

- y un valor de frecuencia inferior (44),
y están configurados además para registrar la señal (38) del sensor de aceleración (22) a lo largo del tiempo y a una frecuencia de muestreo que corresponde (108) a al menos el doble del valor de frecuencia superior (42),
y están configurados además para formar (110) un valor característico promediado a partir de la señal (38) del sensor de aceleración (22) en este subrango de frecuencias (40, 40', 40'')
- 5 y, a través del valor característico, inferir un estado de fricción de la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento (112),
y están configurados además para inferir un estado de fricción caracterizado por fricción mixta a partir de un estado de fricción hidrodinámica cuando el valor característico aumenta a lo largo del tiempo.
- 10 11. Dispositivo (10) según la reivindicación 10, **caracterizado por que** el dispositivo (10) comprende un filtro paso alto y, en particular, adicionalmente un filtro paso bajo, y por que la señal (38) del sensor de aceleración (22) se filtra (116) mediante el filtro paso alto y, en particular, adicionalmente mediante el filtro paso bajo.
- 15 12. Dispositivo (10) según la reivindicación 11, **caracterizado por que** una frecuencia de corte del filtro paso alto corresponde al valor de frecuencia inferior (44) del subrango de frecuencias (40, 40', 40'') y/o por que una frecuencia de corte del filtro paso bajo corresponde al valor de frecuencia superior (42) del subrango de frecuencias (40, 40', 40'').
- 20 13. Dispositivo (10) según la reivindicación 10, **caracterizado por que** el equipo electrónico de evaluación (16) está diseñado para aplicar una transformada de Fourier (120) a la señal (38) del sensor de aceleración (22) y, a continuación, evaluarla solo en el subrango de frecuencias (40, 40', 40'').
- 25 14. Ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento (12), que se acopla mecánicamente a un dispositivo (10) para supervisar el funcionamiento de la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento (12) según al menos una de las reivindicaciones 10 a 13, de modo que el sonido estructural generado por la ubicación/disposición de cojinete de deslizamiento (12) puede ser transmitido al dispositivo (10) y a su sensor de aceleración piezoeléctrico (22) y supervisado por el dispositivo (10).

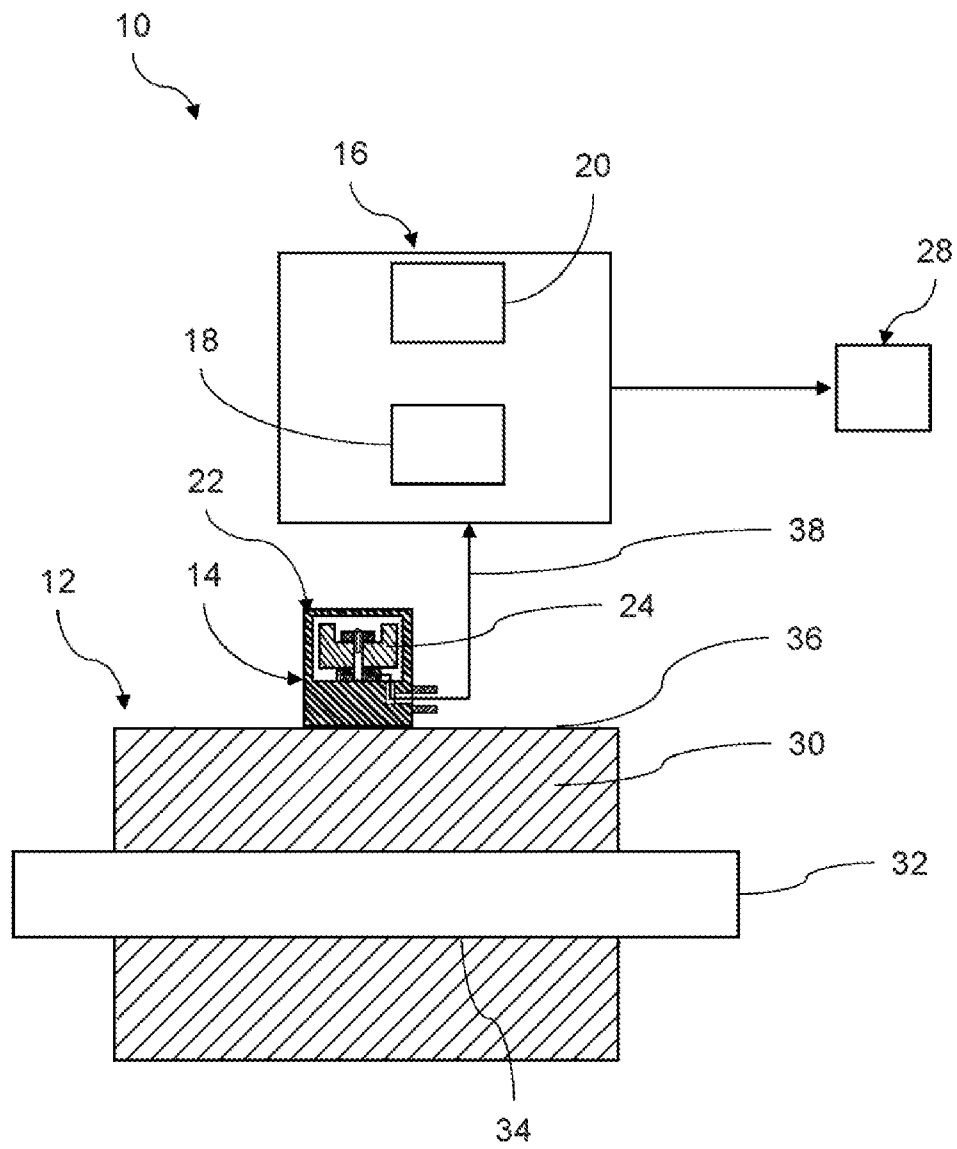
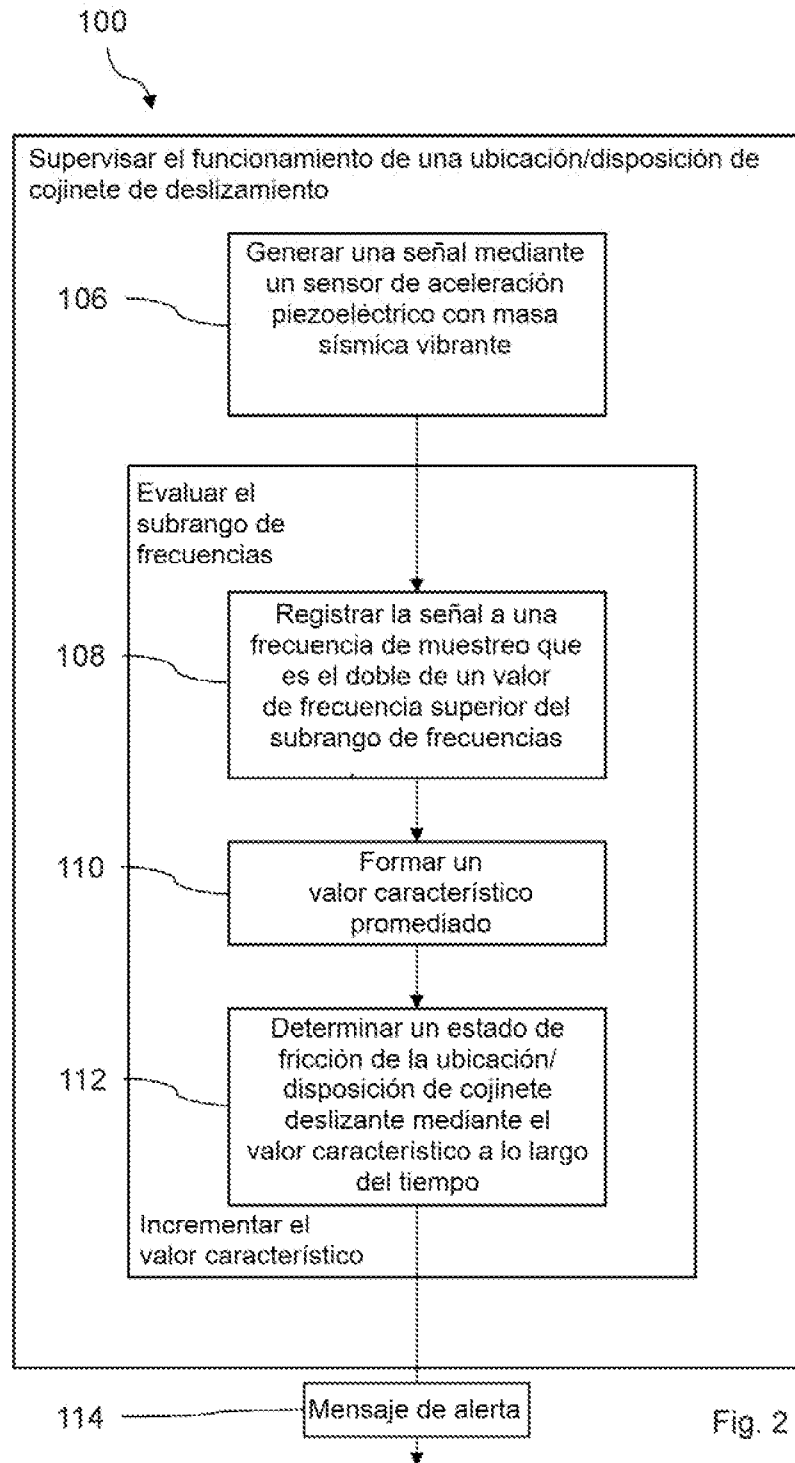


Fig. 1



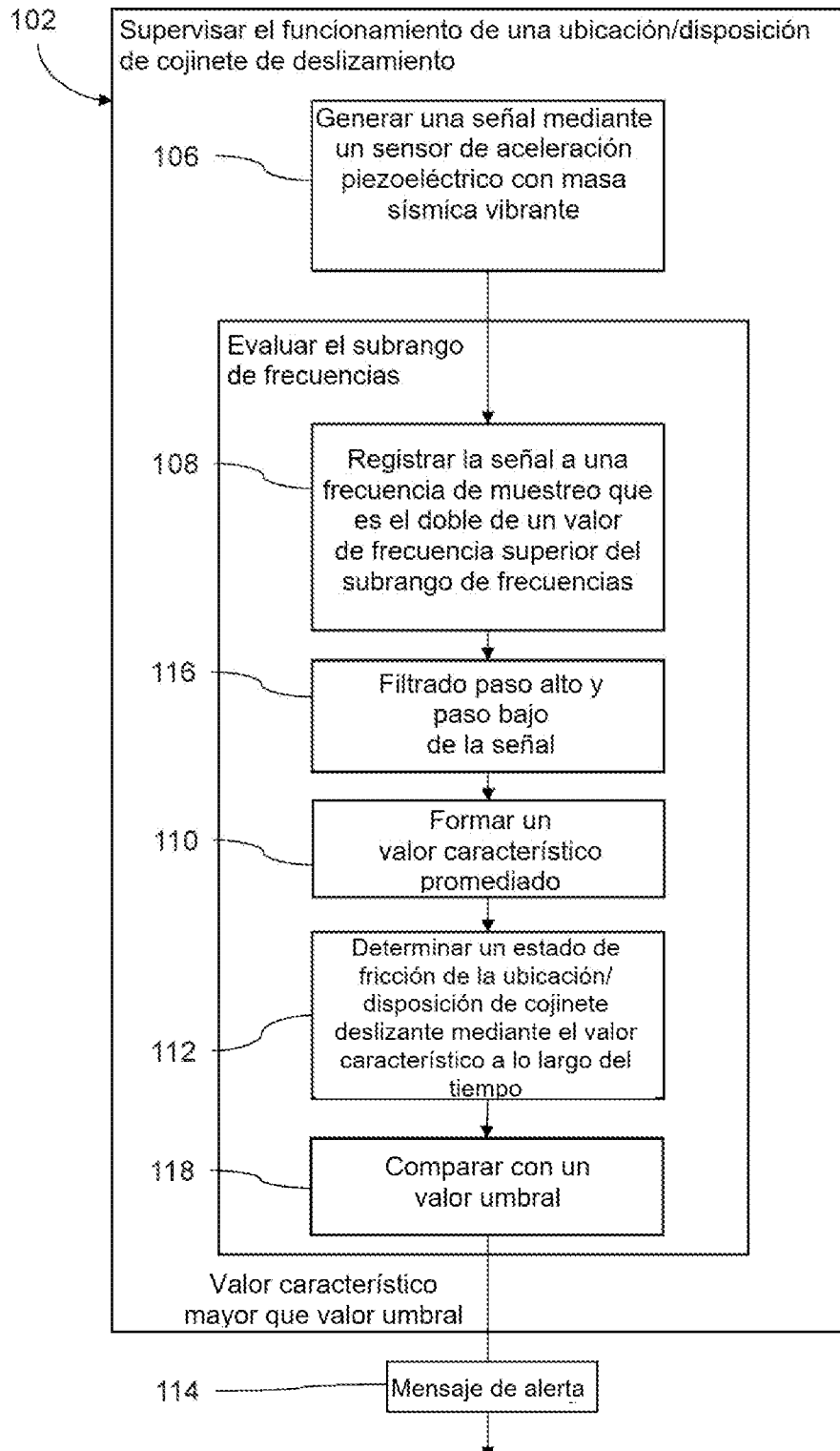


Fig. 3

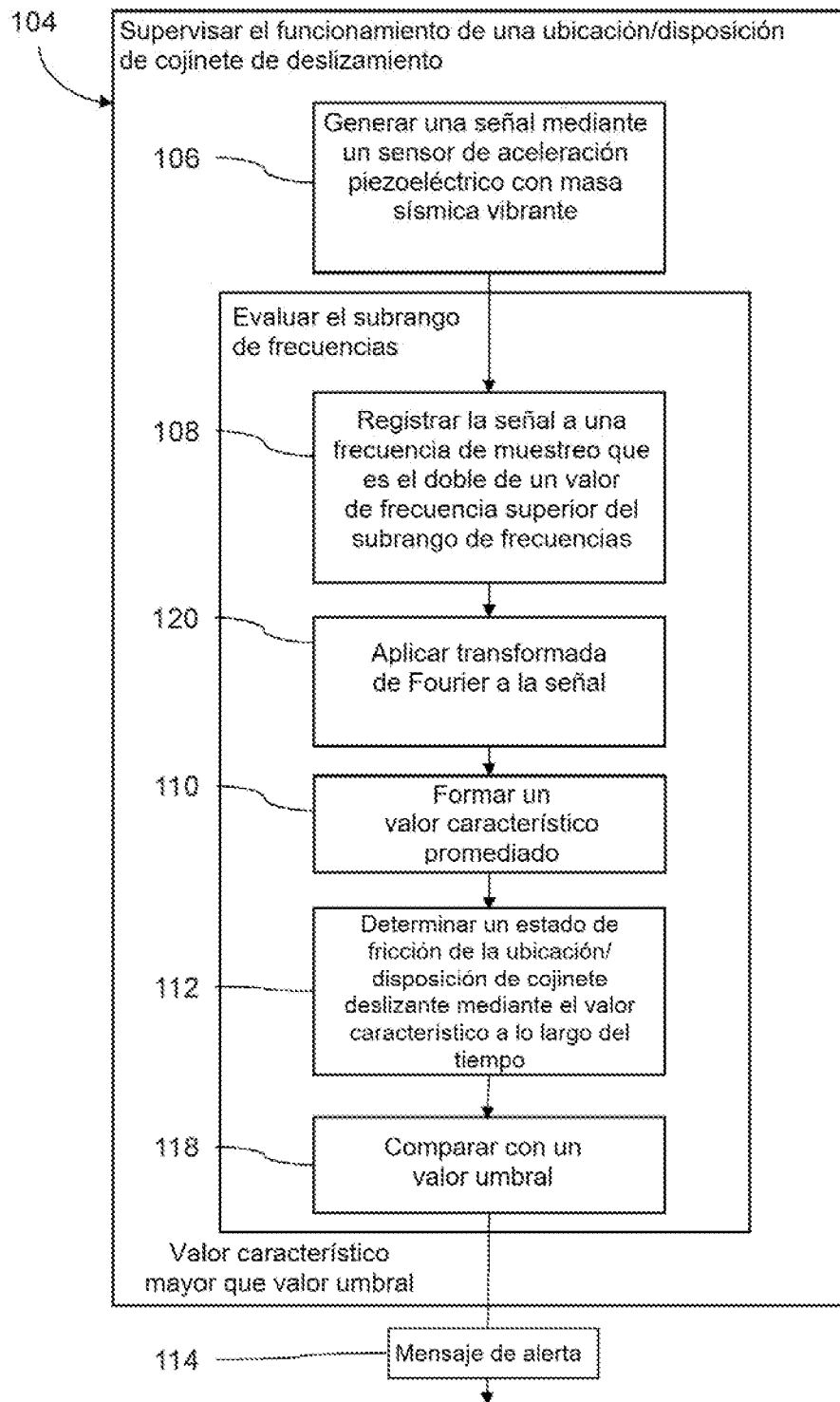


Fig. 4

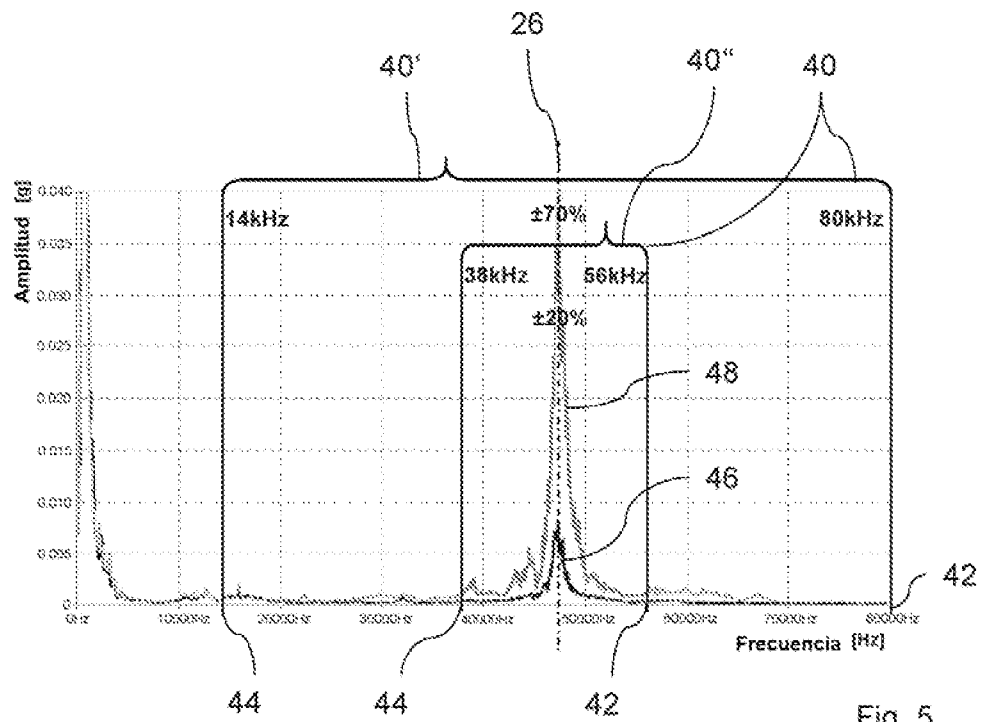


Fig. 5