

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 848**

51 Int. Cl.:

G01L 27/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.09.2017 PCT/EP2017/001137**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.03.2018 WO18054540**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.09.2017 E 17801592 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 3516358**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para la calibración dinámica de sensores de presión**

30 Prioridad:

23.09.2016 DE 102016118048

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

19.11.2020

73 Titular/es:

**SPEKTRA SCHWINGUNGSTECHNIK UND
AKUSTIK GMBH DRESDEN (100.0%)**

**Heidelberger Str. 12
01189 Dresden, DE**

72 Inventor/es:

**PLATTE, THOMAS;
BRUCKE, MARTIN y
IWANCZIK, MARTIN**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 794 848 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

Dispositivo y procedimiento para la calibración dinámica de sensores de presión

5 La invención se refiere a un dispositivo según la reivindicación 1 para la calibración dinámica de sensores de presión con una carcasa, con un cilindro unido a la carcasa para la recepción de un fluido que se puede unir a través de un primer orificio a un primer sensor de presión, entrando así en contacto con el fluido, con un actuador y con un émbolo que interactúa con el cilindro. Aquí el actuador se dispone entre la carcasa y un lado del émbolo separado del cilindro.

10 El actuador utilizado convierte una señal de entrada en un movimiento mecánico. En este caso puede tratarse, por ejemplo, de un actuador piezoeléctrico que se deforma mecánicamente al aplicar una tensión. Esta deformación mecánica puede transmitirse al émbolo como un movimiento mecánico.

15 La invención también se refiere a un procedimiento para la calibración dinámica de sensores de presión de acuerdo con el dispositivo según la reivindicación 1, en el que se mide un parámetro real que representa la presión que actúa sobre un sensor de presión, comparándose dicho parámetro con un parámetro teórico correspondiente. A partir de la comparación se determina un valor de calibración c para el parámetro real, generándose la presión mediante un émbolo que interactúa con un cilindro relleno con un fluido.

Un sensor de presión del tipo en cuestión sirve para la determinación de una presión de un fluido. El mismo puede utilizarse, por ejemplo, para determinar la presión del aceite o la presión del líquido de freno en los vehículos de motor. En el caso del sensor de presión se genera en su salida una magnitud de salida física que corresponde a la presión, por ejemplo, un valor de una tensión eléctrica correspondiente a la presión.

20 Dependiendo del proceso de fabricación, la relación entre la presión y la magnitud de salida puede variar de un sensor de presión a otro sensor de presión. Esto se refiere tanto a las fluctuaciones estáticas de la relación, concretamente los diferentes comportamientos a distintas presiones estáticas, como también a las diferencias en el comportamiento dinámico, es decir, a las diferencias entre los distintos sensores de presión con respecto a su respuesta de frecuencia a presiones que varían dinámicamente.

25 Por este motivo, para llegar a una correcta evaluación de la magnitud de salida es necesaria una calibración del sensor de presión tanto con respecto a su comportamiento estático, como también a su comportamiento dinámico. La invención que se describe a continuación se refiere a una calibración del comportamiento dinámico de sensores de presión.

30 Por calibración se entiende un procedimiento en el que, en un primer paso, se determina la desviación de un sensor con respecto a un patrón para, en un segundo paso, utilizar la desviación determinada en el uso posterior del sensor para la corrección de los valores determinados por el mismo. En el documento US 3 590 626 A, que se refiere a una calibración secundaria, se describe un calibrador en el que se prevé un cilindro relleno con un fluido. A este cilindro se conecta tanto un sensor de presión de prueba, como también un sensor de referencia (estándar). Un émbolo impermeabilizado contra la atmósfera ambiente actúa sobre este cilindro. Este émbolo puede pretensarse por medio de un tapón a través de un resorte con respecto a la carcasa, siendo así posible ajustar previamente la presión del fluido en el cilindro. La masa vibratoria se une firmemente, por una parte, al émbolo y, por otra parte, a un acelerómetro por medio de una clavija de montaje.

También se une al émbolo una masa vibratoria. Esta masa vibratoria se excita cuando el calibrador se fija en una mesa vibratoria.

40 El acelerómetro mide una excitación de vibración provocada por el agitador. A continuación, la señal tomada del sensor de referencia se compara con la señal del sensor de prueba, siendo posible deducir a partir de esta comparación una función de calibración dependiente de la vibración para el sensor de prueba.

45 Esta solución siempre requiere un actuador externo, con lo que se producen errores de calibración debido a que siempre debe establecerse la conexión al actuador. Además, el actuador, que debe reconocerse en el agitador, no se conecta al émbolo. El espacio necesario es además bastante considerable.

50 En el documento DE 10 2009 027624 A1 se describe un dispositivo para la calibración dinámica de sensores de presión, también mediante una calibración secundaria, que presenta una carcasa, un cilindro unido a la carcasa (espacio interior de la cámara de pruebas) para la recepción de un fluido, un actuador (accionamiento eléctrico) y un émbolo que interactúa con el cilindro. Un sensor de presión se puede conectar al cilindro a través de un orificio (soporte con adaptador). Así, el sensor de presión puede entrar en contacto con el fluido. En este caso, el actuador se dispone fuera de la carcasa y se realiza como un actuador de bobina móvil.

55 Por una parte, este diseño como actuador de bobina móvil descarta la posibilidad de disponer el actuador dentro de la carcasa. Por otra parte, la cámara de pruebas está ahora conectada a una masa más grande (actuador de bobina móvil y bastidor) a través de un bastidor macizo. Esto corresponde a la configuración que se describe en la figura 4 y en el correspondiente fragmento de texto en esta solicitud de patente.

El documento WO 2013/110255 A1 prevé un dispositivo para la calibración dinámica de sensores de presión, también a través de una calibración secundaria. En este caso se prevé un cilindro (bomba) para la recepción de un fluido, un

actuador (accionamiento) y un émbolo (bomba) que interactúa con el cilindro. El actuador actúa sobre el émbolo. El cilindro de la bomba puede conectarse a través de un conducto de presión correspondiente a un sensor de presión a calibrar.

Este diseño no proporciona ninguna solución a los problemas mostrados en el estado de la técnica.

5 Se conoce una calibración dinámica de sensores de vibración, entre otros, por la gama de servicios de la empresa solicitante. En este caso, un sensor de vibración a calibrar se excita con señales de banda estrecha o de banda ancha. En la excitación de banda estrecha, los sensores de vibración se excitan con una señal senoidal lo menos perturbada posible. En la excitación de banda ancha, los sensores de vibración se excitan por regla general con impactos.

10 En el caso de la excitación con señales senoidales se puede medir la respuesta, por ejemplo, la salida de tensión U del sensor de vibración. Ésta se compara a continuación con la excitación conocida, es decir, la aceleración a, obteniéndose así la sensibilidad del sensor

$$S = \frac{U}{a} = \left[\frac{V}{m/s^2} \right]$$

15 Sin embargo, debido al principio de construcción del sensor de vibración, ésta depende de la frecuencia. Si se varía la frecuencia de la excitación, la respuesta de frecuencia del sensor de vibración puede registrarse como se representa en la figura 1. La respuesta de frecuencia ayuda a evaluar hasta qué frecuencia puede utilizarse el sensor de vibración en una aplicación de medición real y a partir de qué frecuencia pueden esperarse desviaciones de los valores medidos.

En metrología se diferencia entre dos tipos de calibración, la calibración secundaria y la calibración primaria.

La determinación conocida de la respuesta de frecuencia de un sensor de vibración se lleva a cabo mediante una calibración primaria.

20 En la calibración primaria, la magnitud física buscada se calcula a partir de otras magnitudes. Si se pretende determinar, por ejemplo, la masa de un líquido de forma primaria, puede medirse su densidad ρ o puede determinarse como una constante de material a partir de tablas, pudiéndose medir el volumen V del líquido. A través de la ecuación

$$m = V \cdot \rho$$

25 puede calcularse la masa m. Por lo general, las magnitudes incluidas en la ecuación pueden determinarse de forma muy precisa y garantizan que la magnitud a determinar pueda calcularse con gran exactitud.

30 En una calibración secundaria sólo se comparan dos magnitudes entre sí. Por lo tanto, se trata de una calibración comparativa. En relación con el ejemplo representado en la figura 2, esto significa que el uso de una balanza de cruz para la determinación de la masa buscada m_2 es una medición comparativa. Si el astil superior 1 es horizontal significa, en caso de presentar los brazos de la palanca la misma longitud, que la masa m_2 es tan grande como la masa conocida m_1 . En tal caso, la masa m_2 se ha determinado y se puede indicar con las tolerancias del sistema de medición, siendo

$$m_2 = m_1$$

En relación con la determinación de la respuesta de frecuencia de los sensores de presión se conoce una calibración secundaria de este tipo.

35 Para ello se conocen generadores de presión dinámicos que siempre están equipados con un sensor de referencia y que, por consiguiente, sirven para la calibración secundaria como se ha descrito antes. Un generador de presión dinámico como éste se conoce por varias publicaciones como

- Kuhn; Werthschützky: Análisis de las características dinámicas de sensores de presión, EMK TU Darmstadt,

- Stefan Sindlinger: Influencia de la carcasa en la inseguridad de medición de sensores de presión microvestidos con elemento de medición piezoresistivo, tesis, EMK TU Darmstadt, 2007

40 - Sven Kuhn: Inseguridad de medición de los principios de funcionamiento electromecánico para la medición de la presión y optimización de los procedimientos para la corrección de errores, tesis, EMK TU Darmstadt, 2001

- Timo Kober: Análisis del comportamiento de transmisión de sensores de presión diferencial mediante calibración dinámica de presión, artículo Medición Técnica 2/2010,

45 - Luca Tomasi: Nuevo sensor de presión piezoresistivo micromecánico con doble rango y funcionalidades de auto-prueba, tesis, 2007 o

- Adam Hurst: Caracterización experimental de la respuesta de frecuencia de transductores de presión piezoresistivos MEMS, actas de ASME Turbo Expo 2014: Conferencia y Exposición Técnica de Turbinas, 2014.

Estas soluciones pueden resumirse esquemáticamente en la representación según la figura 3.

50 Aquí, a través de una membrana 3 se genera una presión p en un volumen de control 2. A esta membrana 3 se conecta un actuador piezoeléctrico 4 a través de un émbolo 8. Si se aplica una tensión al actuador piezoeléctrico 4, éste se

expande. La dilatación provoca un desplazamiento de la membrana 3. La membrana 3 comprime el aceite con el que se llena el volumen de control 2, causando un aumento de la presión.

Gracias a las propiedades del actuador piezoeléctrico 4, con este procedimiento es posible cumplir los objetivos de desarrollo antes descritos. La frecuencia de la presión generada p puede variar a través de la frecuencia de la tensión del actuador aplicada. La amplitud de la presión p puede controlarse mediante la amplitud de la tensión.

Como ya se ha descrito, en este conjunto también se prevé un sensor de referencia 5. El sensor de referencia 5 tiene una dinámica desconocida. Sin embargo, debido a su diseño, al sensor de referencia 5 se le atribuye una dinámica muy buena. Con referencia a la figura 1, esto significa que la desviación de la sensibilidad en todas las frecuencias corresponde a un 0%. El valor de referencia es la sensibilidad estáticamente determinada del sensor de referencia 5.

Además del hecho de que el generador de presión conocido está previsto para una calibración secundaria, se ha comprobado que la construcción, que prevé que la carcasa esté en reposo, es decir, unida firmemente a una fundación, da lugar a que la carcasa ejerza vibraciones incontroladas y fuertes, siendo imposible utilizarla para una calibración primaria, en la que debe calcularse la presión p , como consecuencia de la gran influencia perturbadora en el cálculo de la presión. Como se representa en el esquema de conexiones mecánico según la figura 4, la carcasa 6 se une firmemente a una fundación 7. De este modo se pretende conseguir que sólo sea posible un movimiento del émbolo 8. La fundación 7 y la unión de la carcasa 6 a la fundación 7 deben evitar, por ejemplo, a través de un travesaño 8, el movimiento en el lado opuesto del émbolo 8 y de la carcasa 6. En este caso, la fundación 7 tiene una masa que es al menos un orden de magnitud mayor que la masa de la carcasa 6.

Como se representa esquemáticamente en la figura 5, en la práctica la masa de la carcasa 6 y del travesaño 9 también oscilan. Esto ocurre de forma muy incontrolada y, por este motivo, no resulta adecuado para una calibración primaria.

No se conoce ningún procedimiento de calibración primaria estandarizado para el comportamiento dinámico de sensores de presión. Por consiguiente, tampoco existe ningún patrón de presión dinámicamente calibrado que pudiera utilizarse para una calibración secundaria.

Por lo tanto, la tarea de la invención consiste en proponer una solución a través del procedimiento y del dispositivo que permita una calibración primaria del comportamiento dinámico de un sensor de presión.

La tarea se resuelve con un dispositivo del tipo antes descrito

- que sólo se determina estáticamente mediante una conexión entre el actuador y la carcasa y entre el émbolo y el actuador, no presentando ninguna conexión a una masa mayor, especialmente ninguna conexión a una fundación,

- en el que el actuador se configura como un actuador piezoeléctrico y

- en el que el émbolo se impermeabiliza en el cilindro con respecto a la atmósfera ambiente mediante una junta, disponiéndose de forma móvil en la junta.

Esto significa que, a diferencia del estado de la técnica, como se representa especialmente en la figura 4, se suprime una conexión a una fundación y se crea un oscilador de dos masas libre. Las masas del oscilador de dos masas libre se conectan entre sí por medio de los dos elementos, el fluido y el actuador. La rigidez y la amortiguación de los elementos fluido y actuador se suman. En ambas masas se permite un movimiento deseado. Debido a la falta de fundación, este movimiento es definido y se puede medir con facilidad. La posición del émbolo y la posición de la carcasa se determinan estáticamente sólo a través del actuador o de la carcasa del actuador, a diferencia del estado de la técnica en el que para la impermeabilización se utiliza una membrana de metal. Mediante ésta, el sistema es estáticamente indeterminable, es decir, la posición de las masas carcasa y émbolo entre sí no está definida por una conexión (carcasa del actuador) sino por dos conexiones (carcasa del piezoactuador + membrana de metal).

La ventaja de usar una junta, especialmente una junta de elastómero, consiste en que se requieren menores fuerzas de regulación para comprimir el aceite. Por este motivo, el piezoactuador puede dimensionarse más pequeño, el sistema es en general más compacto y, por consiguiente, las vibraciones son más definidas.

Para la recepción del primer sensor de presión, la carcasa se puede dotar de un orificio entre el lado exterior de la carcasa y el cilindro. En este caso, el orificio puede configurarse como un orificio para atornillar.

En otra configuración de la invención se prevé que, en caso de uso para una calibración primaria, se disponga un sistema de medición que detecte un movimiento del émbolo relativamente con respecto a la carcasa. Dado que se trata de un oscilador de dos masas libre, este movimiento relativo debe detectarse ventajosamente mediante una determinación del movimiento del émbolo y de la carcasa. Resulta aconsejable medir los movimientos directamente en el punto del émbolo y de la carcasa que limitan directamente con el fluido.

Aquí resulta ventajoso configurar el sistema de medición para detectar tanto los movimientos dinámicos, como también los movimientos estáticos. Dado que para el cálculo tanto de la presión, como también del volumen, deben medirse los movimientos estáticos y dinámicos del émbolo, gracias a una configuración de este tipo pueden suprimirse varios sistemas de medición.

Según otra configuración, el sistema de medición puede configurarse como un sensor de vibración calibrado o como un vibrómetro láser con decodificador de velocidad y de recorrido.

En este caso, el actuador puede configurarse como un actuador hueco con un paso de haz a través del cual el vibrómetro láser se dirige al émbolo.

5 Dado que con la invención es posible poner a disposición un sensor de presión de calibración primaria dinámica, éste también puede realizar una calibración secundaria exacta. Con esta finalidad se prevé que, en caso de uso en una calibración secundaria, el cilindro para la recepción de un fluido se pueda conectar a un segundo sensor de presión a calibrar de forma secundaria. En caso de una calibración secundaria con un sensor de presión de calibración primaria como sensor de referencia, es posible reducir considerablemente el esfuerzo necesario.

10 Aquí la carcasa puede dotarse de un segundo orificio entre el lado exterior de la carcasa y el cilindro para la recepción del segundo sensor de presión. Este segundo orificio también puede configurarse a su vez como un orificio para atornillar.

Para la realización del procedimiento según la invención se puede disponer un husillo lineal que genera una presión de alimentación estática en el cilindro.

Alternativamente al husillo lineal, también es posible prever un segundo cilindro en el que se dispone un émbolo de ajuste impermeabilizado con respecto a la atmósfera ambiente que se puede mover en el segundo cilindro.

15 La tarea según la invención también se resuelve mediante un procedimiento para la calibración dinámica de sensores de presión como el presentado al principio, en el que el cambio de presión Δp correspondiente al valor real se calcula mediante el valor de compresión K para el fluido, la superficie de presión efectiva A_K , el volumen V_0 del cilindro relleno con fluido, el desplazamiento del émbolo Δx_K , así como el desplazamiento del cilindro Δx_Z , siendo

$$\Delta p = K \frac{A_K (\Delta x_K - \Delta x_Z)}{V_0} .$$

20 En tal caso, el cambio de presión puede compararse con el valor que representa la presión del sensor de presión a calibrar que se solicita con la presión y , por consiguiente, con el cambio de presión. A partir de esta comparación se puede determinar un valor de calibración. De este modo, el sensor de presión se calibra directamente con el valor a detectar, es decir, de forma primaria, y no mediante una comparación.

25 La presión p_n puede calcularse para los diferentes desplazamientos de émbolo $x_{K(1)} \dots x_{K(n)}$ y los desplazamientos de cilindro $x_{Z(1)} \dots x_{Z(n)}$, siendo

$$(p_n - p_{n-1}) = K \cdot \frac{A_K \cdot ((x_{K(n)} - x_{K(n-1)}) + (x_{Z(n)} - x_{Z(n-1)}))}{V_0}, \quad n \in \mathbb{N} .$$

Por lo tanto, con el procedimiento según la invención es posible llevar a cabo una calibración con diferentes presiones estáticas.

30 El desplazamiento del émbolo Δx_K y el desplazamiento del cilindro Δx_Z también pueden generarse dinámicamente, es decir, como funciones de tiempo $\dot{x}_K = dx_K/dt$ y $\dot{x}_Z = dx_Z/dt$. En este caso, la función de presión dinámica $\dot{p} = dp/dt$ se calcula con

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K (\dot{x}_K + \dot{x}_Z)}{V_0} .$$

En una variante de la generación de una función de presión dinámica, \dot{x}_K y \dot{x}_Z se pueden generar como una función senoidal con una frecuencia f .

35 En este caso también es posible generar \dot{x}_K y \dot{x}_Z con una frecuencia variable, es decir, $\dot{x}_K(f)$ y $\dot{x}_Z(f)$, y el valor de calibración c mediante un cálculo de una presión dependiente de la frecuencia $\dot{p}(f)$ como función $c(f)$. Así es posible determinar una respuesta de frecuencia completa del sensor.

40 En una primera variante del procedimiento se prevé que a la presión en el cilindro se superponga una presión dinámica generada por el actuador. Si \dot{x}_K y \dot{x}_Z se generan como una función senoidal con una frecuencia f , se genera en el cilindro una presión de alimentación estática que está por encima de la presión ambiental y a la que se superpone a continuación la presión dinámica.

Los valores de la superficie de émbolo A_K , del volumen V_0 , del módulo de compresión K y del movimiento de émbolo dependiente del tiempo \dot{x}_K y del movimiento de cilindro \dot{x}_Z , necesarios para el cálculo de la presión con

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K (\dot{x}_K + \dot{x}_Z)}{V_0}$$

45 se determinan como sigue:

- a) Se lleva a cabo un cálculo de la superficie A_K por medio de una medición del diámetro del émbolo.
- b) El módulo de compresión K se determina en función del fluido utilizado, mediante valores de tabla documentados.

Se determinan el movimiento del émbolo dependiente del tiempo \dot{x}_K y el movimiento del cilindro \dot{x}_Z . Esta determinación puede llevarse a cabo mediante una medición separada de sus aceleraciones \ddot{x}_K y \ddot{x}_Z y, a continuación, mediante la ecuación

$$\dot{x}_K = \int \ddot{x}_K \text{ y } \dot{x}_Z = \int \ddot{x}_Z$$

- 5 c) La determinación del volumen V_0 se realiza utilizando un sensor de presión no necesariamente calibrado de forma dinámica. El volumen V_0 se rellena con un fluido líquido, preferiblemente con aceite. De este modo se realizan dos mediciones de la señal de salida del sensor de presión dinámica \dot{U} en el cilindro. Entre estas mediciones se varía el volumen de salida, pero la presión de alimentación estática, representada por la señal de salida estática U en el sensor de presión, se ajusta al mismo valor, es decir, al mismo valor que antes de la variación del volumen de salida. Los
- 10 pasos pueden explicarse más detalladamente: en primer lugar se realiza una primera medición en la que se miden el movimiento del émbolo y el movimiento del cilindro \dot{x}_{K1} o \dot{x}_{Z1} y se determina un parámetro de salida dinámico \dot{U}_1 a una frecuencia f_1 en el sensor de presión. A continuación, el volumen del cilindro se modifica en ΔV . Acto seguido se realiza una segunda medición del parámetro de salida dinámico \dot{U}_2 a la misma frecuencia $f_2 = f_1$, midiéndose el movimiento del émbolo y el movimiento del cilindro \dot{x}_{K2} o \dot{x}_{Z2} que son necesarios para obtener en el sensor de presión el mismo
- 15 parámetro de salida dinámico, es decir, $\dot{U}_1 = \dot{U}_2$. Ahora el volumen V_0 puede calcularse con

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\frac{(\dot{x}_{K2} + \dot{x}_{Z2})}{(\dot{x}_{K1} + \dot{x}_{Z1})} - 1} .$$

En una segunda variante del procedimiento se prevé que los valores de la superficie de émbolo A_K , del volumen V_0 , del módulo de compresión K y del movimiento de émbolo dependiente del tiempo \dot{x}_K y del movimiento de cilindro \dot{x}_Z , necesarios para el cálculo de la presión con

$$20 \quad \dot{p} = K \cdot \frac{A_K(\dot{x}_K + \dot{x}_Z)}{V_0} ,$$

se determinen como sigue:

- a) Un cálculo de la superficie A_K mediante una medición del diámetro del émbolo.
- b) El módulo de compresión K se determina por medio del fluido utilizado, usando valores de tabla documentados.
- 25 d) Se determinan el movimiento del émbolo dependiente del tiempo \dot{x}_K y el movimiento del cilindro \dot{x}_Z . Esta determinación puede realizarse mediante una medición separada de sus aceleraciones \ddot{x}_K y \ddot{x}_Z y, a continuación, mediante la ecuación:

$$\dot{x}_K = \int \ddot{x}_K \text{ y } \dot{x}_Z = \int \ddot{x}_Z$$

- 30 c) Se lleva a cabo una determinación del volumen V_0 mediante el uso de un sensor de presión no necesariamente calibrado de forma dinámica, pero necesariamente calibrado de forma estática. Para la determinación del volumen V_0 , el fluido líquido se reemplaza por un fluido gaseoso. De este modo se realizan en el cilindro dos mediciones de la presión estática p_1 y p_2 , entre las cuales se varía el volumen de salida en ΔV . En primer lugar se lleva a cabo una primera medición, determinándose el parámetro de salida estático U_1 en el sensor de presión. Acto seguido se varía el volumen del cilindro en ΔV y, a continuación, se realiza una segunda medición del parámetro de salida estático U_2 . Acto seguido se calcula el volumen V_0 , siendo

$$35 \quad V_0 = \frac{\Delta V}{\frac{p_2}{p_1} - 1} .$$

Una configuración del procedimiento prevé que mediante un émbolo de ajuste separado con una superficie de émbolo A_{VK} , que realiza un movimiento de ajuste con un recorrido de ajuste Δx_{VK} , se varíe V_0 y se calcule con

$$V_0 = \frac{A_{VK} \cdot \Delta x_{VK}}{\frac{p_2}{p_1} - 1} .$$

- 40 En una tercera variante del procedimiento, la compleja determinación del volumen V_0 , como la que es necesaria en la primera y en la segunda variante del procedimiento, puede suprimirse. Aquí se generan el movimiento del émbolo dependiente del tiempo \dot{x}_K y el movimiento del cilindro \dot{x}_Z y se registran por medio de un sistema de medición. Se calcula la función de presión dinámica \dot{p} , siendo

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K(\dot{x}_K + \dot{x}_Z)}{V_0} = C_1 \cdot (\dot{x}_K + \dot{x}_Z) ,$$

resumiéndose todas las magnitudes constantes en C_1 , es decir,

$$C_1 = K \cdot \frac{A_K}{V_0} .$$

5 Ahora C_1 se determina en su conjunto sin una determinación separada de las distintas magnitudes. Esta determinación se lleva a cabo mediante dos mediciones estáticas de la presión de un sensor de presión necesariamente calibrado de forma estática en relación con el respectivo desplazamiento de émbolo Δx_K y el desplazamiento del cilindro Δx_Z que también se miden. A partir de éstas se determinan la diferencia de presión Δp , el desplazamiento del émbolo Δx_K y el desplazamiento del cilindro Δx_Z y se calcula C_1 , siendo

$$C_1 = \frac{\Delta p}{\Delta x_K + \Delta x_Z} .$$

10 El desplazamiento del émbolo Δx_K y el desplazamiento del cilindro Δx_Z también pueden elegirse con $\Delta x_K \gg \Delta x_Z$, siendo la diferencia de al menos un orden de magnitud. La función de presión dependiente del tiempo \dot{p} se calcula a continuación utilizando la ecuación

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K \cdot \dot{x}_K}{V_0} = C_1 \cdot (\dot{x}_K) ,$$

15 determinándose C_1 mediante dos mediciones estáticas de la presión de un sensor de presión necesariamente calibrado de forma estática en relación con el respectivo desplazamiento del émbolo Δx_K y calculándose a partir de éstas la diferencia de presión Δp y C_1 , siendo

$$C_1 = \frac{\Delta p}{\Delta x_K} .$$

20 La invención permite calibrar dinámicamente un sensor de presión de forma primaria. Por consiguiente, la solución según la invención también prevé utilizar un sensor de este tipo calibrado de forma primaria con un valor de calibración c ahora conocido como un primer sensor de presión para una calibración secundaria de un segundo sensor de presión. Así se reducen considerablemente los costes del dispositivo y del procedimiento.

La invención se explica a continuación más detalladamente a la vista de ejemplos de realización. En los dibujos correspondientes se muestra en la

25 Figura 1 una respuesta de frecuencia de un sensor de vibración con una desviación relacionada con una sensibilidad a 160 Hz,

Figura 2 una representación del principio funcional de una calibración secundaria,

Figura 3 un generador de presión accionado de forma piezoeléctrica conforme al estado de la técnica,

Figura 4 un esquema de conexiones mecánico de un generador de presión conforme al estado de la técnica,

Figura 5 una representación esquemática del efecto de una conexión de fundación conforme al estado de la técnica,

30 Figura 6 una representación esquemática del principio funcional de la solución según la invención,

Figura 7 una estructura de un dispositivo de calibración según la invención de acuerdo con un primer ejemplo de realización,

Figura 8 una curva de presión y tiempo de una presurización dinámica de un sensor de presión a calibrar,

35 Figura 9 una estructura de un dispositivo de calibración según la invención de acuerdo con un segundo ejemplo de realización, y

Figura 10 una estructura de un dispositivo de calibración según la invención de acuerdo con un tercer ejemplo de realización.

40 La figura 6 muestra una representación del principio de una solución según la invención. El dispositivo presenta una carcasa 6 y un cilindro 10 unido a la carcasa para la recepción de un fluido, especialmente aceite, como el aceite hidráulico. El cilindro 10 puede conectarse a un primer sensor de presión 12. El primer sensor de presión 12 puede conectarse al cilindro 10 a través de un primer orificio 13, especialmente un orificio de tornillo, estando así en contacto con el fluido 11. El primer sensor de presión 12 es el sensor que debe calibrarse de forma primaria.

45 Además se prevé un émbolo 8 que interactúa con el cilindro 10 de manera que quede impermeabilizado contra la atmósfera ambiente en el cilindro por medio de una junta 14, disponiéndose el mismo en la junta 14 de forma móvil. Así el émbolo 8 puede presionar directamente el fluido 11 y establecer una presión en el cilindro 10. El émbolo 8 se acciona mediante un actuador piezoeléctrico 4 dispuesto entre la carcasa 6 y un lado 15 del émbolo 8 separado del cilindro 10.

El dispositivo no presenta ninguna conexión a una masa mayor, especialmente a ninguna fundación. Por consiguiente sólo se determina estáticamente mediante la conexión entre la carcasa 6 y el actuador 4 y entre el actuador 4 y el émbolo 8.

5 El actuador utilizado 4 convierte una señal de entrada en forma de una deformación no representada detalladamente en una deformación mecánica que se transmite al émbolo 8 como un movimiento mecánico.

10 La estructura de un dispositivo según la invención, como la que se representa en la figura 7, presenta todos los elementos como los que se muestran en la representación del principio de acuerdo con la figura 6. Las mismas referencias indican los mismos elementos como la carcasa 6, el émbolo 8, el cilindro 10, el fluido 11, el primer sensor de presión 12, el primer orificio 13, la junta 14 y el lado 15 del émbolo 8 separado del cilindro. Adicionalmente se prevé un husillo lineal 16 que actúa en el actuador y que permite regular una presión de alimentación en el cilindro 10. A ésta se superpone la presión dinámica generada con el actuador 4. De este modo se puede generar el perfil de presión representado en la figura 8.

15 Debido a diversas influencias resulta deseable que el volumen de aceite sea muy pequeño, a fin de aumentar la precisión del ensamblaje. Sin embargo, a la inversa esto significa que se generan presiones suficientemente altas incluso con un recorrido de émbolo muy reducido ($\approx 0,1 \mu\text{m}$). La medición de este recorrido con la suficiente precisión constituye un gran reto. Por este motivo, la invención prevé el uso de sensores de vibración 17, 18. Éstos pueden calibrarse con mucha precisión. Por medio de las aceleraciones medidas pueden calcularse los recorridos buscados.

20 Por consiguiente, un sistema de medición que detecta un movimiento del émbolo relativamente con respecto a la carcasa se compone de un primer sensor de vibración 17 conectado al émbolo y de un segundo sensor de vibración 18 conectado a la carcasa. La determinación del recorrido del émbolo se determina a continuación por medio de las señales de salida emitidas por los sensores de vibración 17, 18. De acuerdo con el procedimiento según la invención, el movimiento del émbolo dependiente del tiempo \dot{x}_K se determina mediante la señal de salida equivalente a la aceleración del primer sensor de vibración 17 y el movimiento del cilindro \dot{x}_Z se determina mediante la señal de salida equivalente a la aceleración del segundo sensor de vibración 18. Dicha determinación se lleva a cabo a través de una medición separada de sus aceleraciones \ddot{x}_K y \ddot{x}_Z y, a continuación, con la ecuación:

$$\dot{x}_K = \int \ddot{x}_K \quad \text{y} \quad \dot{x}_Z = \int \ddot{x}_Z.$$

Dependiendo de la sensibilidad del sensor, la medición del recorrido sólo es posible a partir de frecuencias suficientemente altas. Debido a las restricciones de espacio de instalación en el émbolo, sólo se puede utilizar un sensor muy pequeño.

30 En este ejemplo de realización, el cálculo de la presión para la calibración del primer sensor de presión 12 se lleva a cabo como se describe en la "primera variante del procedimiento".

Si el primer sensor de presión 12 se calibra dinámicamente de forma primaria, el mismo puede utilizarse como sensor de referencia para un segundo sensor de presión 20 para una calibración secundaria.

35 La estructura de un dispositivo según la invención, como la representada en la figura 9, presenta todos los elementos mostrados en la representación del principio de acuerdo con la figura 6. Las mismas referencias indican los mismos elementos como la carcasa 6, el émbolo 8, el cilindro 10, el fluido 11, el primer sensor de presión 12, el primer orificio 13, la junta 14 y el lado 15 del émbolo 8 separado del cilindro. Adicionalmente se prevé un émbolo de ajuste 19 que actúa en el cilindro 10 y que permite regular una presión de alimentación en el cilindro 10. A ésta se superpone la presión dinámica generada con el actuador 4. Así se puede generar el perfil de presión representado en la figura 8.

40 En este ejemplo de realización, el movimiento del émbolo dependiente del tiempo \dot{x}_K también se determina mediante la señal de salida equivalente a la aceleración del primer sensor de vibración 17 y el movimiento del cilindro \dot{x}_Z se determina mediante la señal de salida equivalente a la aceleración del segundo sensor de vibración 18. Esta determinación se realiza mediante una medición separada de sus aceleraciones \ddot{x}_K y \ddot{x}_Z y, a continuación con la ecuación:

45
$$\dot{x}_K = \int \ddot{x}_K \quad \text{y} \quad \dot{x}_Z = \int \ddot{x}_Z.$$

En este punto hay que mencionar que, en ocasiones, el movimiento del cilindro puede ser mucho más pequeño y, para una precisión en su caso suficiente, insignificamente más pequeño que el movimiento del émbolo. En este caso se puede omitir la determinación del movimiento del cilindro \dot{x}_Z . En este caso también se puede suprimir el segundo sensor de aceleración 17.

50 En el ejemplo de realización según la figura 9, el cálculo de la presión para la calibración del primer sensor de presión 12 se realiza como se describe en el apartado "segunda variante del procedimiento".

55 La estructura de un dispositivo según la invención, como la representada en la figura 10, presenta todos los elementos mostrados en la representación del principio de acuerdo con la figura 6. Las mismas referencias indican los mismos elementos como la carcasa 6, el émbolo 8, el cilindro 10, el fluido 11, el primer sensor de presión 12, el primer orificio 13, la junta 14 y el lado 15 del émbolo 8 separado del cilindro. Adicionalmente se prevé un émbolo de ajuste 19 que actúa en el cilindro 10 y que permite regular una presión de alimentación en el cilindro 10. A ésta se superpone la

presión dinámica generada con el actuador 4. De este modo se puede generar el perfil de presión representado en la figura 8.

5 El objetivo del ejemplo de realización según la figura 10 consiste en extender la gama de frecuencias que hasta ahora estaba limitada por los sensores de vibración 17 y 18 utilizados en los ejemplos de realización según la figura 7 y la figura 9. Especialmente la gama de frecuencias debe ampliarse a pequeñas frecuencias de hasta $f = 0$ Hz. Dado que existen métodos de calibración para la calibración estática de sensores de presión, con la ampliación de la gama de frecuencias a $f = 0$ Hz es posible una conexión entre el procedimiento dinámico y el estático y, por lo tanto, también una comparación de los valores determinados.

10 Para lograrlo, los sensores de vibración 17 y 18 en las figuras 7 y 9 en el ejemplo de realización según la figura 10 se han reemplazado por un vibrómetro láser 21 y por un segundo vibrómetro láser 24. Estos dispositivos son capaces de medir aceleraciones mucho más pequeñas que los sensores de aceleración 16 y 17 antes mostrados.

Para que el rayo láser 22 del vibrómetro láser 21 pueda incidir directamente en el émbolo, el actuador se configura como un actuador hueco 23. El rayo láser 25 del segundo vibrómetro láser 24 incide directamente en la carcasa 6.

15 Además, el vibrómetro láser 21 también es capaz de realizar mediciones estáticas del desplazamiento del émbolo con una precisión muy alta. Esto representa una ventaja considerable con respecto a los ejemplos de realización antes mostrados. Lo mismo se aplica al segundo vibrómetro láser 24.

En el ejemplo de realización según la figura 10, el cálculo de la presión para la calibración del primer sensor de presión 12 se realiza como se describe en el apartado "tercera variante del procedimiento".

20 Aquí también es posible una calibración dinámica secundaria de un segundo sensor de presión 20 si se dispone de la calibración primaria dinámica del primer sensor de presión 12. En caso de una calibración secundaria como ésta pueden suprimirse los vibrómetros láser 21 y 24.

Las características especiales de la invención pueden resumirse como sigue:

- Se utiliza un pistófono (sistema de émbolo y cilindro).
- Se realiza un sistema de oscilador de dos masas libre.
- 25 - Es posible un movimiento en el émbolo 8 y en la carcasa 6.
- El desplazamiento del émbolo 8 y de la carcasa 6 se mide en dos puntos de medición.
- Se trata de un sistema determinado estáticamente, dado que el émbolo 8 y la carcasa 6 sólo se conectan a través de la carcasa 6 o del propio actuador 4. Para ello se utiliza una junta 14, en especial una junta de elastómero.
- Se prevé un émbolo de ajuste 19, con el que es posible generar un aumento de la presión estática. El aumento de la presión estática es absolutamente necesario para:
- 30
 - generar amplitudes de presión superiores a 1 bar y
 - establecer condiciones de calibración definidas en la estructura (especialmente para lograr un módulo de compresión definido K).

35 Lista de referencias

- 1 Astil
- 2 Volumen de control
- 3 Membrana
- 4 Actuador
- 40 5 Sensor de comparación
- 6 Carcasa
- 7 Fundación
- 8 Émbolo
- 9 Travesaño
- 45 10 Cilindro
- 11 Fluido
- 12 Primer sensor de presión
- 13 Primer orificio

ES 2 794 848 T3

	14	Junta
	15	Lado del émbolo separado del cilindro
	16	Husillo lineal
	17	Primer sensor de vibración
5	18	Segundo sensor de vibración
	19	Émbolo de ajuste
	20	Segundo sensor de presión
	21	Vibrómetro láser
	22	Rayo láser
10	23	Actuador hueco
	24	Segundo vibrómetro láser
	25	Rayo láser del segundo vibrómetro láser

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo para la calibración de sensores de presión con una carcasa (6), con un cilindro (10) unido a la carcasa (6) para la recepción de un fluido (11) que se puede unir a través de un primer orificio (13) a un primer sensor de presión (12), entrando así en contacto con el fluido (11), con un actuador (4) y con un émbolo (8) que interactúa con el cilindro (10), disponiéndose el actuador (4) entre la carcasa (6) y un lado (15) del émbolo (8) separado del cilindro (10), caracterizado por que
- 10 - el dispositivo sólo se determina estáticamente mediante una conexión entre la carcasa (6) y el actuador (4) y entre el actuador (4) y el émbolo (8), no presentando el mismo ninguna conexión a una masa mayor, especialmente ninguna conexión a una fundación,
- por que el actuador se configura como actuador piezoeléctrico (4) y
- por que el émbolo (8) se impermeabiliza en el cilindro (10) con respecto a la atmósfera ambiente mediante una junta (14) y se dispone de forma móvil en la junta (14).
- 15 2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que, en caso de un uso para una calibración primaria, se dispone un sistema de medición que detecta un movimiento del émbolo (8) relativamente con respecto a la carcasa (6).
- 20 3. Dispositivo según la reivindicación 2, caracterizado por que el sistema de medición se configura de manera que detecte tanto movimientos dinámicos, como también movimientos estáticos.
4. Dispositivo según la reivindicación 2 o 3, caracterizado por que el sistema de medición se configura como un sensor de vibración calibrado (16; 17) o como un vibrómetro láser (21, 24) con decodificador de velocidad y de recorrido.
- 25 5. Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado por que el actuador (4) se configura como un actuador hueco (23) con un paso de haz a través del cual el vibrómetro láser (21) se dirige al émbolo.
6. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que, en caso de un uso para una calibración secundaria, el cilindro (10) para la recepción de un fluido se puede conectar a un segundo sensor de presión (20) a calibrar de forma secundaria.
- 30 7. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que se dispone un husillo lineal (16) que genera una presión de alimentación estática en el cilindro (10).
- 35 8. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que se prevé un segundo cilindro en el que se dispone un émbolo de ajuste (19) impermeabilizado con respecto a la atmósfera ambiente que se puede mover en el segundo cilindro.
- 40 9. Procedimiento para la calibración dinámica de sensores de presión de acuerdo con el dispositivo según la reivindicación 1, en el que se mide un parámetro real que representa la presión que actúa sobre un sensor de presión (12), comparándose dicho parámetro con un parámetro teórico correspondiente y determinándose a partir de esta comparación un valor de calibración c para el parámetro real, generándose la presión mediante un émbolo (8) que interactúa con un cilindro (10), relleno con un fluido (11) que está en contacto con el sensor de presión (12) a través de un primer orificio (13), con un actuador (4) y con un émbolo que interactúa con el cilindro (10), caracterizado por
- 45 que el cambio de presión Δp correspondiente al valor real se calcula por medio del valor de compresión K para el fluido, de la superficie de presión efectiva A_K , del volumen V_0 del cilindro (10) relleno con el fluido (11), del desplazamiento del émbolo Δx_K , así como del desplazamiento del cilindro Δx_Z , siendo

$$\Delta p = K \frac{A_K (\Delta x_K - \Delta x_Z)}{V_0} .$$

- 50 10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que la presión p_n se calcula para los diferentes desplazamientos de émbolo $x_{K(1)} \dots x_{K(n)}$ y los desplazamientos de cilindro $x_{Z(1)} \dots x_{Z(n)}$, siendo

$$(p_n - p_{n-1}) = K \cdot \frac{A_K \cdot ((x_{K(n)} - x_{K(n-1)}) + (x_{Z(n)} - x_{Z(n-1)}))}{V_0}, \quad n \in \mathbb{N} .$$

- 55 11. Procedimiento según la reivindicación 9 o 10, caracterizado por que el desplazamiento de émbolo Δx_K y el desplazamiento de cilindro Δx_Z se generan dinámicamente, es decir, como funciones de tiempo $\dot{x}_K = dx_K/dt$ y $\dot{x}_Z = dx_Z/dt$, calculándose la función de presión dinámica $\dot{p} = dp/dt$ con

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K (\dot{x}_K + \dot{x}_Z)}{V_0} .$$

- 60 12. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado por que \dot{x}_K y \dot{x}_Z se generan como una función senoidal con una frecuencia f.

13. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado por que \dot{x}_k y \dot{x}_z se generan con una frecuencia variable, es decir, $\dot{x}_k(f)$ y $\dot{x}_z(f)$, y por que el valor de calibración se genera como función $c(f)$ mediante un cálculo de una presión dependiente de la frecuencia $\dot{p}(f)$.

- 5 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 9 a 13, caracterizado por que
 - a la presión en el cilindro (10) se superpone una presión dinámica generada con el actuador (4),
 - la determinación de las magnitudes superficie de émbolo A, volumen V_0 , módulo de compresión K y la determinación del movimiento del émbolo dependiente del tiempo \dot{x}_k y del movimiento del cilindro \dot{x}_z se llevan a cabo mediante
 - un cálculo de la superficie A por medio de una medición del diámetro del émbolo (8),
 10 - una determinación del módulo de compresión K por medio del fluido utilizado (11) usando valores de tabla documentados,
 - una determinación del movimiento del émbolo dependiente del tiempo \dot{x}_k y del movimiento de cilindro \dot{x}_z ,
 - un cálculo del volumen V_0 usando un sensor de presión (12, 20) no necesariamente calibrado de forma dinámica, realizándose dos mediciones de la señal de salida del sensor de presión dinámica \dot{U} en el cilindro (10), entre las cuales se varía el volumen de salida, pero ajustándose la presión de alimentación estática, representada por la señal de salida estática U en el sensor de presión (12; 20), al mismo valor, llevándose a cabo en primer lugar una primera medición, midiéndose el movimiento del émbolo y el movimiento del cilindro \dot{x}_{k1} o \dot{x}_{z1} y determinándose un parámetro de salida dinámico \dot{U}_1 a una frecuencia f_1 en el sensor de presión (12; 20), modificándose a continuación el volumen del cilindro en ΔV y realizándose acto seguido una segunda medición del parámetro de salida dinámico \dot{U}_2 a la misma frecuencia $f_2 = f_1$, midiéndose el movimiento del émbolo y el movimiento del cilindro \dot{x}_{k2} o \dot{x}_{z2} que son necesarios para obtener en el sensor de presión el mismo parámetro de salida dinámico, es decir, $\dot{U}_1 = \dot{U}_2$, calculándose a continuación el volumen V_0 , siendo

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\frac{(\dot{x}_{k2} + \dot{x}_{z2})}{(\dot{x}_{k1} + \dot{x}_{z1})} - 1} .$$

- 25 15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 13, caracterizado por que la determinación de las magnitudes superficie de émbolo A, volumen V_0 , módulo de compresión K y la determinación del movimiento de émbolo dependiente del tiempo, así como del movimiento de cilindro \dot{x}_k y \dot{x}_z se llevan a cabo mediante
 - un cálculo de la superficie A por medio de una medición del diámetro del émbolo (8),
 - una determinación del módulo de compresión K por medio del fluido utilizado, usando valores de tabla documentados,
 30 - una determinación del movimiento del émbolo dependiente del tiempo \dot{x}_k y del movimiento de cilindro \dot{x}_z ,
 - un cálculo del volumen V_0 usando un sensor de presión (12; 20) no necesariamente calibrado de forma dinámica, pero necesariamente calibrado de forma estática,
 - reemplazándose para la determinación del volumen V_0 el fluido líquido por un fluido gaseoso,
 - realizándose dos mediciones de la presión estática p_1 y p_2 en el cilindro, entre las cuales se varía el volumen inicial en ΔV , realizándose en primer lugar una primera medición a partir de la cual se determina el parámetro de salida estático U_1 en el sensor de presión (12; 20), modificándose el volumen del cilindro (10) en ΔV y llevándose a cabo una segunda medición del parámetro de salida estático U_2 , calculándose el volumen V_0 , siendo

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\frac{p_2}{p_1} - 1} .$$

- 40 16. Procedimiento según la reivindicación 15, caracterizado por que mediante un émbolo de ajuste separado (19) con una superficie de émbolo A_{VK} , que realiza un movimiento de ajuste con un recorrido de ajuste Δx_{VK} , se varía V_0 y se calcula siendo

$$V_0 = \frac{A_{VK} \cdot \Delta x_{VK}}{\frac{p_2}{p_1} - 1} .$$

- 45 17. Procedimiento según una de las reivindicaciones 9 a 13, caracterizado por que se generan el movimiento del émbolo dependiente del tiempo \dot{x}_k y el movimiento del cilindro \dot{x}_z y por que los mismos se detectan por medio de un sistema de medición (17, 18), calculándose la función de presión dinámica \dot{p} , siendo

$$\dot{p} = K \cdot \frac{A_K (\dot{x}_k + \dot{x}_z)}{V_0} = C_1 \cdot (\dot{x}_k + \dot{x}_z) ,$$

- 50 determinándose C_1 mediante dos mediciones estáticas de la presión de un sensor de presión (12; 20) necesariamente calibrado de forma estática en relación con el respectivo desplazamiento de émbolo Δx_k y con el desplazamiento de cilindro Δx_z , determinándose a partir de éstas la diferencia de presión Δp , el desplazamiento del émbolo Δx_k y el desplazamiento del cilindro Δx_z y calculándose C_1 , siendo

$$C_1 = \frac{\Delta p}{\Delta x_k + \Delta x_z} .$$

- 55 18. Procedimiento según una de las reivindicaciones 9 a 17, caracterizado por que un sensor (12) calibrado de forma primaria con un valor de calibración c ahora conocido se utiliza como un primer sensor de presión (12) para una calibración secundaria de un segundo sensor de presión (20).

FIG 4

(Estado de la técnica)

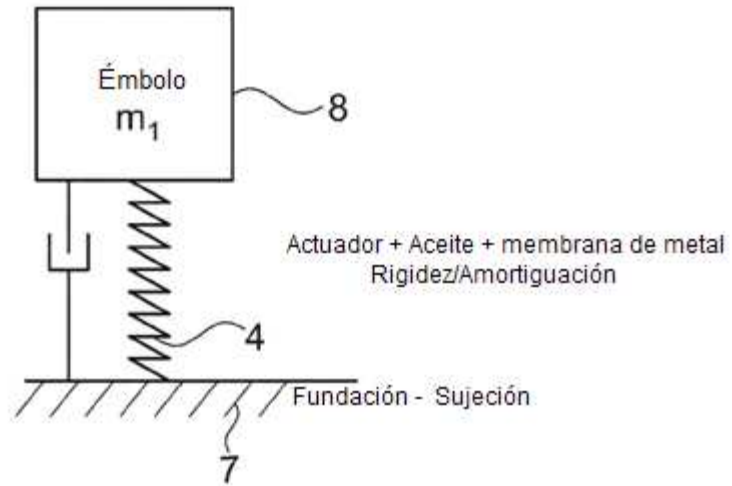


FIG 5

(Estado de la técnica)

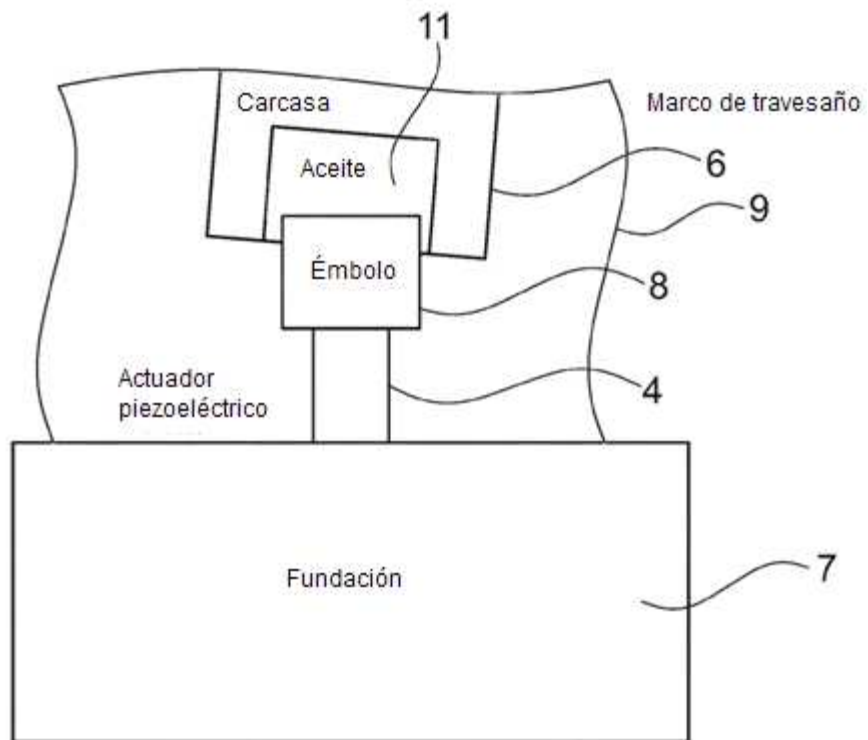


FIG 6

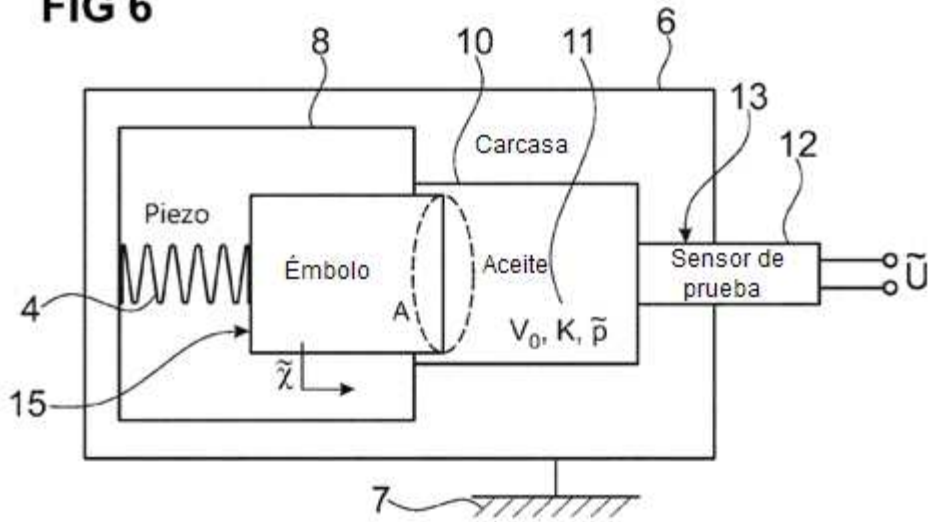


FIG 7

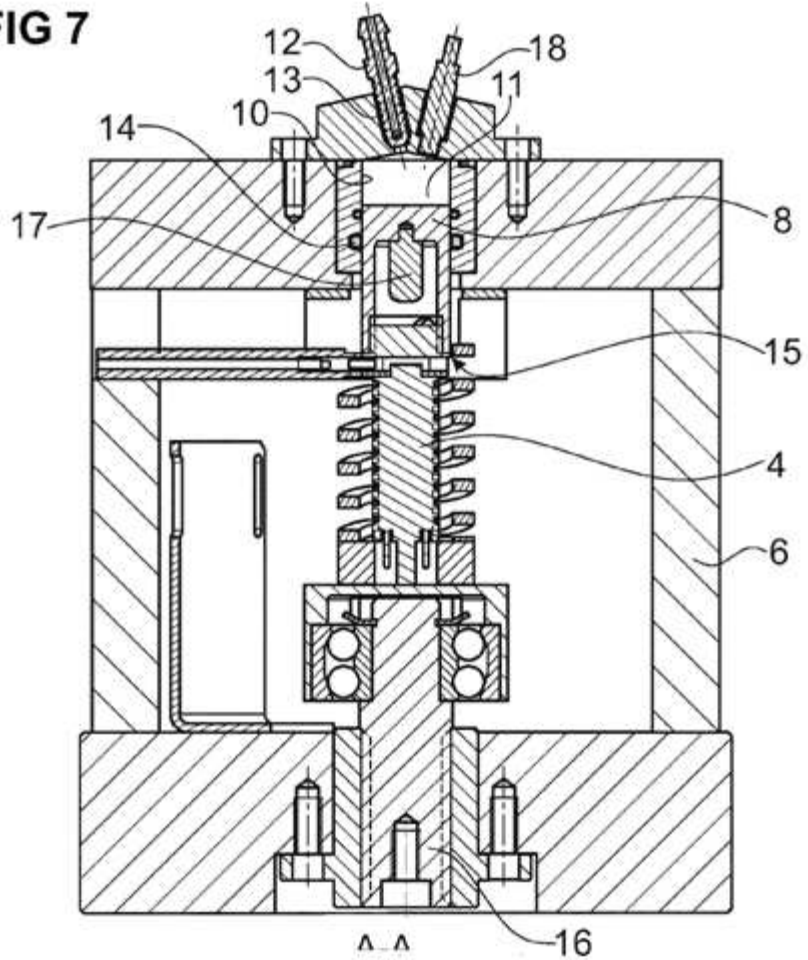


FIG 8

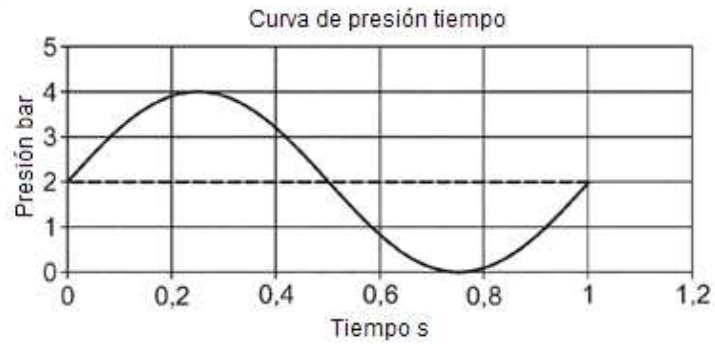


FIG 9

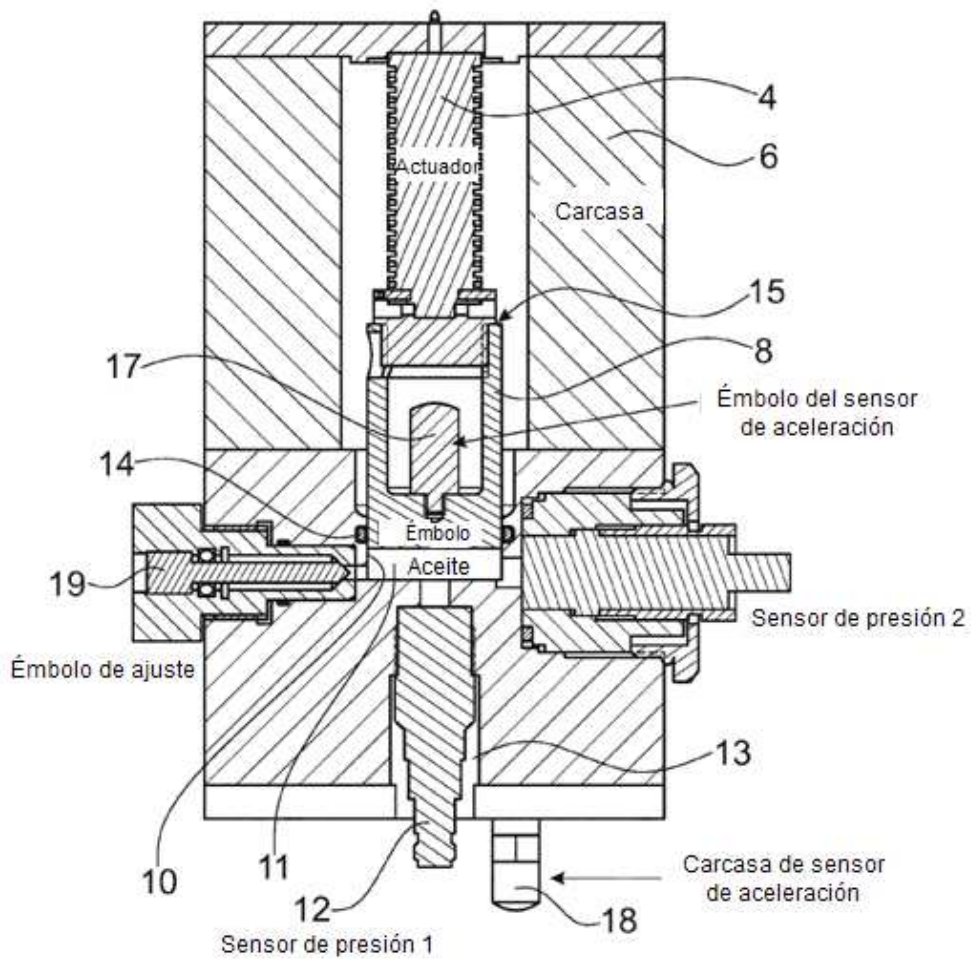


FIG 10

