

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 355**

51 Int. Cl.:

**G01P 15/09** (2006.01)

**G01P 21/00** (2006.01)

**G01L 1/16** (2006.01)

**G01L 1/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.05.2017 E 17170415 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2019 EP 3267208**

54 Título: **Transductor piezoeléctrico con compensación de temperatura**

30 Prioridad:

**28.06.2016 US 20166235538 P**

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

**05.03.2020**

73 Titular/es:

**KISTLER HOLDING AG (100.0%)  
Eulachstrasse 22  
8408 Winterthur, CH**

72 Inventor/es:

**COOK, ANDREW**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

**ES 2 746 355 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**

Transductor piezoeléctrico con compensación de temperatura

Campo

La invención se relaciona con un transductor piezoeléctrico, y más particularmente con un transductor de aceleración.

5 Antecedentes

Un transductor de aceleración es un transductor de fuerza con una denominada masa sísmica unida. La inercia de la masa sísmica produce una fuerza cuando se acelera y esta fuerza se mide mediante el transductor de aceleración. La fuerza es lo medido. Como la masa sísmica es constante, la fuerza medida es proporcional a la aceleración. La aceleración se define como la tasa de tiempo de cambio en velocidad.

10 Los transductores piezoeléctricos están compuestos de material piezoeléctrico que crea carga eléctrica cuando se somete a una fuerza. La carga eléctrica es proporcional a la fuerza aplicada y se puede medir directamente por medio de electrodos. Los transductores piezoeléctricos ofrecen las ventajas de un tiempo de respuesta rápido de unos pocos  $\mu$ segundos y un amplio rango medido del orden de 100dB. De este modo los transductores piezoeléctricos se utilizan para medir oscilaciones dinámicas y vibraciones en máquinas y estructuras.

15 El documento US3673442A divulga un transductor piezoeléctrico. El transductor piezoeléctrico usa un cristal de cuarzo como material piezoeléctrico. Comprende cinco discos de cristal de cuarzo, cada uno de los discos de cristal de cuarzo está dispuesto entre dos electrodos, formando de este modo un apilamiento de discos de cristal y electrodos. La fuerza que se va a medir actúa a lo largo de un eje de soporte del transductor piezoeléctrico. Un manguito de sujeción une el apilamiento y una masa sísmica a lo largo de un eje longitudinal hacia una placa base. Al hacer eso, el transductor piezoeléctrico tiene una alta rigidez a lo largo del eje longitudinal y los discos de cristal de cuarzo están en contacto mecánico cercano con los electrodos. Un contacto mecánico cercano minimiza o elimina cualquier microbrecha entre los discos de cristal de cuarzo y los electrodos y de este modo asegura una capacitancia claramente definida del transductor piezoeléctrico.

20 El documento US5557968 divulga un dispositivo que combina diferentes materiales de cuarzo piezoeléctrico con coeficientes de temperatura positivos y negativos para anular las influencias de temperatura.

25 Un inconveniente del cristal de cuarzo es la sensibilidad piezoeléctrica relativamente baja, especialmente en comparación con cerámicas piezoeléctricas como material piezoeléctrico. La sensibilidad piezoeléctrica se define como la relación de cambio en salida de transductor piezoeléctrico a un cambio en el valor de lo medido. El cambio en la salida de transductor piezoeléctrico está determinado por los coeficientes de carga piezoeléctrica del material piezoeléctrico. Cuanto mayor es el coeficiente de carga piezoeléctrica, más fuerte es la salida de transductor piezoeléctrico para un valor dado de lo medido. Las cerámicas piezoeléctricas similares a una mezcla de  $PbZrO_3$  y  $PbTiO_3$ , también designadas como cerámicas mixtas de plomo-zirconita-titanato (PZT) exhiben coeficientes de carga piezoeléctrica hasta cien veces más altos que los de cristal de cuarzo. Hay una demanda de un transductor piezoeléctrico con una alta sensibilidad piezoeléctrica.

30 PZT, sin embargo, es fuertemente dependiente de temperatura y muestra un desplazamiento de sensibilidad térmica elevado. El desplazamiento de sensibilidad térmica se define como el cambio en la sensibilidad piezoeléctrica desde dentro de los límites del rango de temperatura de operación del material piezoeléctrico referido a la sensibilidad piezoeléctrica a  $+20^\circ C$ . El desplazamiento de sensibilidad térmica se expresa en porcentaje de la sensibilidad piezoeléctrica referida a la sensibilidad piezoeléctrica a  $+20^\circ C$ . El rango de temperatura de operación comúnmente cubre  $-54^\circ C$  a  $+260^\circ C$ . PZT tiene un desplazamiento de sensibilidad térmica alta del orden de algún porcentaje, mientras que el cristal de cuarzo tiene un desplazamiento de sensibilidad térmica diez veces menor. El desplazamiento de sensibilidad térmica es una no linealidad en la salida de transductor piezoeléctrico, lo cual significa que la sensibilidad piezoeléctrica es varios por ciento más alta en el extremo superior del rango de temperatura de operación que en el extremo inferior del rango de temperatura de operación. Durante una medición de fuerza, la temperatura del transductor piezoeléctrico normalmente se desconoce, de tal manera que la no linealidad sobre la temperatura de PZT es un grave inconveniente del uso de PZT en transductores piezoeléctricos. Esta no linealidad sobre la temperatura en la salida de transductor piezoeléctrico se puede determinar experimentalmente al usar equipo de calibración especial. Sin embargo, la calibración de un transductor piezoeléctrico requiere mucho tiempo y el equipo de calibración es costoso. Con el fin de obtener una alta linealidad en la salida de transductor piezoeléctrico sobre la temperatura, es deseable un bajo desplazamiento de sensibilidad térmica.

Breve resumen

El objetivo de la invención es proporcionar un transductor piezoeléctrico con alta sensibilidad piezoeléctrica y bajo desplazamiento de sensibilidad térmica.

55 Este objetivo se logra por medio de un transductor piezoeléctrico con las características como se describen a continuación. El transductor piezoeléctrico para medir una fuerza comprende un elemento base; un elemento de

5 precarga; al menos un medio de masa sísmica principal efectivo capaz de producir dicha fuerza cuando se acelera, estando dicho medio de masa sísmica principal efectivo unido por dicho elemento de precarga de manera directa o indirectamente contra dicho elemento base; un elemento cerámico piezoeléctrico principal que comprende la primera cerámica piezoeléctrica, dicha primera cerámica piezoeléctrica es capaz de generar una carga eléctrica principal cuando se somete a dicha fuerza, estando dicho elemento cerámico piezoeléctrico principal unido por dicho elemento de precarga de manera directa o indirectamente contra dicho medio de masa sísmica principal efectivo; al menos un medio de masa sísmica de compensación capaz de producir una fuerza de compensación cuando se acelera, estando dicho medio de masa sísmica de compensación unido por dicho elemento de precarga de manera directa o indirectamente contra dicho elemento base; un elemento cerámico piezoeléctrico de compensación que comprende la segunda cerámica piezoeléctrica, dicha segunda cerámica piezoeléctrica es capaz de generar una carga eléctrica de compensación cuando se somete a dicha fuerza de compensación, estando dicho elemento cerámico piezoeléctrico de compensación unido por dicho elemento de precarga de manera directa o indirectamente contra dicho medio de masa sísmica de compensación; dicha primera cerámica piezoeléctrica tiene un desplazamiento de sensibilidad térmica menor que dicha segunda cerámica piezoeléctrica; dicha primera cerámica piezoeléctrica genera la carga eléctrica principal que es mayor en cantidad que la carga eléctrica de compensación generada por dicha segunda cerámica piezoeléctrica; y estando dicho elemento cerámico piezoeléctrico principal orientado con respecto a dicha fuerza que se va a medir y estando dicho elemento cerámico piezoeléctrico de compensación orientado con respecto a dicha fuerza de compensación de tal manera que dicha carga eléctrica principal y dicha carga eléctrica de compensación son opuestas en polaridad.

10 De este modo la presente invención usa elementos cerámicos piezoeléctricos con alta sensibilidad piezoeléctrica pero también con un alto desplazamiento de sensibilidad térmica. Con el fin de mantener bajo el desplazamiento de sensibilidad térmica, se usan dos elementos cerámicos piezoeléctricos. Dichos dos elementos cerámicos piezoeléctricos están orientados con respecto a la fuerza que se va a medir, de tal manera que la carga eléctrica generada en cada elemento cerámico piezoeléctrico es opuesta en polaridad. Se recolectan cargas eléctricas con polos opuestos. Aparentemente esta metodología no es conveniente para resolver el objetivo de la invención, debido a que la cantidad de cargas eléctricas recolectadas es la diferencia de las cantidades de las cargas eléctricas de los dos elementos cerámicos piezoeléctricos. La salida de transductor piezoeléctrico que corresponde a la cantidad de cargas eléctricas recolectadas es de este modo más pequeña de lo posible. Con el fin de obtener una sensibilidad piezoeléctrica tan alta como sea posible, uno habría recolectado cargas eléctricas con polos idénticos dando como resultado una suma de las cargas eléctricas generadas en los dos elementos cerámicos piezoeléctricos. Con el fin de prevenir una cantidad cero de cargas eléctricas recolectadas, las cantidades de las cargas eléctricas de los dos elementos cerámicos piezoeléctricos son diferentes.

15 La presente invención prevé elementos cerámicos piezoeléctricos que comprenden cerámicas piezoeléctricas de diferente desplazamiento de sensibilidad térmica. Los diferentes desplazamientos de sensibilidad afectan la no linealidad sobre la temperatura de las cargas eléctricas de los dos elementos cerámicos piezoeléctricos. Cuanto mayor sea el desplazamiento de sensibilidad mayor será la no linealidad sobre la temperatura de cargas eléctricas. De acuerdo con la invención, el elemento cerámico piezoeléctrico que crea la mayor cantidad de cargas eléctricas tiene una cerámica piezoeléctrica con un desplazamiento de sensibilidad térmica inferior. Este elemento cerámico piezoeléctrico se denomina elemento cerámico piezoeléctrico principal. El otro elemento cerámico piezoeléctrico que crea la menor cantidad de cargas eléctricas tiene una cerámica piezoeléctrica con un mayor desplazamiento de sensibilidad térmica. Este elemento cerámico piezoeléctrico se denomina elemento cerámico piezoeléctrico de compensación. La recolección de cargas eléctricas del elemento cerámico piezoeléctrico principal y del elemento cerámico piezoeléctrico de compensación reduce de este modo la cantidad de carga eléctrica principal en una pequeña medida y reduce en una gran medida la no linealidad sobre la temperatura de la carga eléctrica principal. Preferiblemente, la cantidad de carga eléctrica de compensación es sustancialmente más pequeña que la cantidad de carga eléctrica principal, dando como resultado de este modo una reducción moderada de la cantidad de carga eléctrica principal. Preferiblemente, la no linealidad sobre la temperatura de la carga eléctrica de compensación es sustancialmente mayor que la no linealidad sobre la temperatura de la carga eléctrica principal, dando como resultado de este modo una reducción sustancial de la no linealidad sobre la temperatura de la carga eléctrica principal.

20 Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá a continuación con la ayuda de realizaciones de ejemplo en relación con los dibujos esquemáticos aquí:

25 La figura 1 muestra una vista en sección transversal de una primera realización del transductor piezoeléctrico de acuerdo con la invención, el transductor piezoeléctrico tiene un diseño en ménsula desequilibrado con un elemento de precarga helicoidal y un elemento cerámico piezoeléctrico principal.

La figura 2 muestra una vista en sección transversal de una segunda realización del transductor piezoeléctrico de acuerdo con la invención, el transductor piezoeléctrico tiene un diseño en ménsula desequilibrado con un elemento de precarga helicoidal y dos elementos cerámicos piezoeléctricos principales.

- La figura 3 muestra una vista en sección transversal de una tercera realización del transductor piezoeléctrico de acuerdo con la invención, el transductor piezoeléctrico tiene un diseño de doble ménsula equilibrado con un elemento de precarga helicoidal y dos elementos cerámicos piezoeléctricos principales.
- 5 La figura 4 muestra una vista en sección transversal de una cuarta realización del transductor piezoeléctrico de acuerdo con la invención, el transductor piezoeléctrico tiene un diseño de doble ménsula equilibrado con un elemento de precarga anular y dos elementos cerámicos piezoeléctricos principales.
- La figura 5 muestra una vista en sección transversal de una quinta realización del transductor piezoeléctrico de acuerdo con la invención, el transductor piezoeléctrico tiene un diseño de doble ménsula desequilibrado con un elemento de precarga helicoidal y un elemento cerámico piezoeléctrico principal.
- 10 La figura 6 muestra una vista en sección transversal de una sexta realización del transductor piezoeléctrico de acuerdo con la invención, el transductor piezoeléctrico tiene un diseño de doble ménsula desequilibrado con un elemento de precarga anular y un elemento cerámico piezoeléctrico principal.
- La figura 7 muestra una vista en sección transversal de una séptima realización del transductor piezoeléctrico de acuerdo con la invención, el transductor piezoeléctrico tiene un diseño triangular equilibrado con un elemento de precarga anular y dos elementos cerámicos piezoeléctricos principales.
- 15 La figura 8 muestra una vista en sección transversal de una octava realización del transductor piezoeléctrico de acuerdo con la invención, el transductor piezoeléctrico tiene un diseño triangular equilibrado con un elemento de precarga anular y tres elementos cerámicos piezoeléctricos principales.
- La figura 9 muestra un diagrama de la sensibilidad piezoeléctrica principal, de una sensibilidad piezoeléctrica de compensación y de una sensibilidad piezoeléctrica recolectada del transductor piezoeléctrico de acuerdo con la invención.
- 20 La figura 10 muestra un diagrama de un desplazamiento de sensibilidad térmica principal, de un desplazamiento térmico de compensación y de un desplazamiento térmico recolectado del transductor piezoeléctrico de acuerdo con la invención.
- 25 Descripción de realizaciones de ejemplo de la invención
- Las figuras 1 a 8 muestran varias realizaciones de ejemplo de un transductor 1 piezoeléctrico para medir una fuerza. El transductor 1 piezoeléctrico comprende varios elementos y varios medios. Los elementos son ítems físicos representados en las figuras. Los medios son ítems funcionales formados por al menos un elemento.
- El transductor 1 piezoeléctrico comprende un elemento 10 base hecho de material metálico tal como aleaciones de acero, aleaciones de titanio, etc. El elemento 10 base soporta mecánicamente partes precargadas del transductor 1 piezoeléctrico que están unidas de manera directa o indirectamente al mismo a lo largo de al menos un eje de soporte AA' por medio de un elemento 16 de precarga. Las partes precargadas del transductor 1 piezoeléctrico comprenden al menos un elemento 12, 12', 12'' cerámico piezoeléctrico principal, al menos un elemento 14, 14', 14'' cerámico piezoeléctrico de compensación, al menos un elemento 13, 13', 13'' de masa sísmica, al menos un elemento 15, 15', 15'' de masa sísmica de compensación. Las partes precargadas del transductor 1 piezoeléctrico pueden comprender al menos uno de un elemento 11 separador, un elemento 19 de conducción eléctrica, un elemento 20 de aislamiento eléctrico. Un eje vertical ZZ' se extiende perpendicularmente al eje de soporte AA'. La gravedad se ejerce a lo largo del eje vertical ZZ'. El eje vertical ZZ' se extiende a través del centro del elemento 10 base. El elemento 10 base sirve como referencia del transductor 1 piezoeléctrico.
- 30 El elemento 16 de precarga está hecho de material metálico tal como aleaciones de acero, aleaciones de titanio, etc. El elemento 16 de precarga tiene dos realizaciones preferidas. De acuerdo con las figuras 1, 2, 3 y 5 el elemento 16 de precarga es helicoidal y realizado como un tornillo de precarga. El tornillo de precarga comprende una cabeza de tornillo y una rosca externa que se acopla a un orificio roscado. Al atornillar el tornillo de precarga en el orificio roscado, las partes precargadas del transductor 1 piezoeléctrico se unen contra el elemento 10 base. De acuerdo con las figuras 1 y 2 el orificio roscado está dispuesto en el elemento 10 base, de acuerdo con las figuras 3 y 5 el orificio roscado está dispuesto en un elemento 13 de masa sísmica. De acuerdo con las figuras 4 y 6 a 8 el elemento 16 de precarga es anular y está realizado como un anillo de precarga. Al presionar o contraer el anillo de precarga sobre las partes precargadas del transductor 1 piezoeléctrico, las partes precargadas se unen contra el elemento 10 base.
- 45 El elemento 12, 12', 12'' cerámico piezoeléctrico principal y el elemento 14, 14', 14'' cerámico piezoeléctrico de compensación tienen una forma cilíndrica o rectangular. El elemento 12, 12', 12'' cerámico piezoeléctrico principal y el elemento 14, 14', 14'' cerámico piezoeléctrico de compensación están hechos de material piezoeléctrico. El material piezoeléctrico crea carga eléctrica cuando se somete a una fuerza. Preferiblemente, el material piezoeléctrico es cerámica piezoeléctrica similar a PZT ( $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$  con  $0 < x < 1$ ), metaniobato de plomo ( $\text{PbNb}_2\text{O}_6$ ,  $(\text{BaPb})\text{Nb}_2\text{O}_6$ ), óxido titanato de bismuto ( $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ ,  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{Bi}_3\text{TiNbO}_9$ ,  $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ ,  $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{4.5}\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ,  $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ,  $\text{CaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ), Perovskita ( $\text{Sr}_2(\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5})_2\text{O}_7$ ), película delgada ( $\text{AlN}$ ,  $\text{ZnO}$ ), etc. El elemento 12, 12', 12'' cerámico piezoeléctrico principal tiene varias realizaciones preferidas. De acuerdo con las figuras 1, 5 y 6 es de una pieza, de acuerdo con las

figuras 2 a 4 y 7 es de dos piezas, de acuerdo con la figura 8 es de tres piezas. El elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación tiene varias realizaciones preferidas. De acuerdo con las figuras 1, 2, 5 a 7 es de una pieza, de acuerdo con las figuras 3, 4 es de dos piezas, de acuerdo con la figura 8 es de tres o más piezas.

5 Con el fin de mostrar propiedades piezoeléctricas, la cerámica piezoeléctrica debe estar polarizada. La polarización de la cerámica piezoeléctrica se hace al aplicar un campo eléctrico fuerte a temperaturas elevadas a la cerámica piezoeléctrica. La polarización de la cerámica piezoeléctrica es permanente y muestra una dirección de polarización P de la cerámica piezoeléctrica que es paralela a la dirección del campo eléctrico. En las figuras 1 a 8, la dirección de polarización P del elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal y del elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación se indica mediante una flecha unilateral.

10 Preferiblemente, la cerámica piezoeléctrica utiliza el efecto piezoeléctrico de corte, donde se genera carga eléctrica en las mismas caras del elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal y del elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación en el cual actúa una fuerza de corte. Para el efecto piezoeléctrico de corte, el coeficiente de carga piezoeléctrica de corte de la cerámica piezoeléctrica se denomina  $d_{15}$ . El efecto piezoeléctrico de corte es más fuerte, es decir tiene la mayor sensibilidad piezoeléctrica, cuando la dirección de polarización P de la cerámica piezoeléctrica es paralela a una dirección de fuerza F de la fuerza de corte. De este modo la fuerza de corte tiene una dirección de fuerza F paralela al eje vertical ZZ'. La dirección de fuerza F se indica en las figuras 1 a 8 mediante una flecha de dos lados. Las caras del elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal y del elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación sobre el cual actúa la fuerza de corte son ortogonales al eje de soporte AA'. Mientras más elementos 12, 12', 12" cerámicos piezoeléctricos principales y más elementos 14, 14', 14" cerámicos piezoeléctricos de compensación tenga el transductor 1 piezoeléctrico, mayor será la sensibilidad piezoeléctrica del transductor 1 piezoeléctrico.

25 Para cada elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal y elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación se genera carga eléctrica positiva en una primera cara, se genera carga eléctrica negativa en una segunda cara. En la presente invención, la carga eléctrica negativa se usa como carga eléctrica de señal y carga eléctrica positiva se usa como carga eléctrica a tierra. Esta definición es arbitraria y también podría ser al contrario. El elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal y el elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación están orientados con respecto a dicha fuerza de corte con polaridad opuesta. Para el elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal, la primera cara es izquierda en la dirección de polarización P y la segunda cara es derecha en la dirección de polarización P. Para el elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación, la primera cara es derecha en la dirección de polarización P y la segunda cara es izquierda en la dirección de polarización P.

30 El elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal está hecho de la primera cerámica piezoeléctrica, el elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación está hecho de la segunda cerámica piezoeléctrica. El primer y el segundo material piezoeléctrico tienen diferentes propiedades físicas. La primera cerámica piezoeléctrica tiene un coeficiente de carga piezoeléctrica mayor que la segunda cerámica piezoeléctrica. Preferiblemente, la segunda cerámica piezoeléctrica tiene un coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  que es al menos tres veces menor que el coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  de la primera cerámica piezoeléctrica. La primera cerámica piezoeléctrica tiene un desplazamiento de sensibilidad térmica menor que la segunda cerámica piezoeléctrica. Preferiblemente, la primera cerámica piezoeléctrica tiene una sensibilidad de desplazamiento térmico que es al menos diez veces menor que el desplazamiento de sensibilidad térmica de la segunda cerámica piezoeléctrica.

Una cantidad  $Q_{\text{principal}}$  de carga eléctrica principal del elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal depende del dominio de tamaño del coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  de la primera cerámica piezoeléctrica, del peso  $M_{\text{principal}}$  del medio de masa sísmica principal efectivo y de una aceleración  $a$ .

$$Q_{\text{principal}} = d_{15\text{principal}} * M_{\text{principal}} * a$$

45 Una cantidad  $Q_{\text{comp}}$  de carga eléctrica de compensación del elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación depende del tamaño  $d_{15\text{comp}}$  del coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  de la segunda cerámica piezoeléctrica, del peso  $M_{\text{comp}}$  del medio de masa sísmica de compensación efectivo y de la aceleración  $a$ .

$$Q_{\text{comp}} = d_{15\text{comp}} * M_{\text{comp}} * a$$

50 La cantidad  $Q_{\text{principal}}$  de carga eléctrica principal y la cantidad  $Q_{\text{comp}}$  de carga eléctrica de compensación se recolectan con polaridad opuesta. Como la cantidad  $Q_{\text{principal}}$  de carga eléctrica principal es sustancialmente mayor que la cantidad  $Q_{\text{comp}}$  de carga eléctrica de compensación, una cantidad resultante  $Q_{\text{recolectada}}$  de cargas eléctricas recolectadas es ligeramente menor que la cantidad  $Q_{\text{principal}}$  de carga eléctrica principal.

$$Q_{\text{recolectada}} = Q_{\text{principal}} - Q_{\text{comp}}$$

55 Preferiblemente, la primera cerámica piezoeléctrica está hecha de PZT blando. Preferiblemente, la primera cerámica piezoeléctrica tiene un coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  mayor que 400 pC/N, a +20°C. Preferiblemente,

la primera cerámica piezoeléctrica tiene una sensibilidad de desplazamiento térmico del coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  que aumenta en el rango de temperatura de operación de  $-54^{\circ}\text{C}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$  del 20% con respecto al valor del coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$ .

5 Preferiblemente, la segunda cerámica piezoeléctrica está hecha de PZT duro. Preferiblemente, la segunda cerámica piezoeléctrica tiene un coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  mayor que  $100\text{pC/N}$ , a  $+20^{\circ}\text{C}$ . Preferiblemente, la segunda cerámica piezoeléctrica tiene una sensibilidad de desplazamiento térmico del coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  que aumenta en el rango de temperatura de operación de  $-54^{\circ}\text{C}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$  del 300% con respecto al valor del coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$ .

10 La figura 9 es un diagrama de una sensibilidad piezoeléctrica principal  $S_{\text{principal}}$  de la cantidad  $Q_{\text{principal}}$  de carga eléctrica principal, de sensibilidad piezoeléctrica de compensación  $S_{\text{comp}}$  de la cantidad  $Q_{\text{comp}}$  de cargas eléctricas de compensación y de una sensibilidad piezoeléctrica recolectada  $S_{\text{recolectada}}$  de la cantidad  $Q_{\text{recolectada}}$  de cargas eléctricas recolectadas en un rango de temperatura de operación representado de  $+20^{\circ}\text{C}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$ . La sensibilidad piezoeléctrica  $S$  se clasifica en  $\text{pC/g}$ , con la aceleración gravitacional  $g = 9.81\text{m/seg}^2$ . La sensibilidad piezoeléctrica principal  $S_{\text{principal}}$  es la cantidad  $Q_{\text{principal}}$  de carga eléctrica principal a una aceleración gravitacional de un  $g$ . La sensibilidad piezoeléctrica de compensación  $S_{\text{comp}}$  es la cantidad  $Q_{\text{comp}}$  de cargas eléctricas de compensación a una aceleración gravitacional de un  $g$ . La sensibilidad piezoeléctrica recolectada  $S_{\text{recolectada}}$  es la cantidad  $Q_{\text{recolectada}}$  de cargas eléctricas recolectadas a una aceleración gravitacional de un  $g$ .  $T$  designa la temperatura. Preferiblemente, la sensibilidad piezoeléctrica principal  $S_{\text{principal}}$  equivale a  $3.25\text{ pC/g}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$  y a  $3.8\text{ pC/g}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$ . Preferiblemente, la sensibilidad piezoeléctrica de compensación  $S_{\text{comp}}$  equivale a  $0.2\text{ pC/g}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$  y a  $0.75\text{ pC/g}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$ . La recolección de cargas eléctricas con polos opuestos del elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal y del elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación da como resultado una sensibilidad piezoeléctrica recolectada  $S_{\text{recolectada}}$  que permanece casi estable a  $3.0\text{ pC/g}$  en el rango de temperatura de operación representado de  $+20^{\circ}\text{C}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$ .

25 La figura 10 es un diagrama de desplazamientos de sensibilidad térmica en un rango de temperatura de operación representado de  $+20^{\circ}\text{C}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$ .  $SS_{\text{principal}}$  designa un desplazamiento de sensibilidad térmica principal de la sensibilidad piezoeléctrica principal  $S_{\text{principal}}$  a una temperatura  $T$  dentro de los límites del rango de temperatura de operación del primer material piezoeléctrico referido a la sensibilidad piezoeléctrica principal  $S_{\text{principal}}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$ .

$$SS_{\text{principal}} = (S_{\text{principal}}(T) - S_{\text{principal}}(20^{\circ}\text{C})) / S_{\text{principal}}(20^{\circ}\text{C})$$

30  $SS_{\text{comp}}$  designa un desplazamiento de sensibilidad térmica de compensación de la sensibilidad piezoeléctrica de compensación  $S_{\text{comp}}$  a una temperatura  $T$  dentro de los límites del rango de temperatura de operación del segundo material piezoeléctrico referido a la sensibilidad piezoeléctrica de compensación  $S_{\text{comp}}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$ .

$$SS_{\text{comp}} = (S_{\text{comp}}(T) - S_{\text{comp}}(20^{\circ}\text{C})) / S_{\text{comp}}(20^{\circ}\text{C})$$

35  $SS_{\text{recolectado}}$  designa un desplazamiento de sensibilidad térmica recolectado de la sensibilidad piezoeléctrica recolectada  $S_{\text{recolectada}}$  a una temperatura  $T$  dentro de los límites del rango de temperatura de operación del primer y segundo material piezoeléctrico referido a la sensibilidad piezoeléctrica recolectada  $S_{\text{recolectada}}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$ .

$$SS_{\text{recolectado}} = (S_{\text{recolectada}}(T) - S_{\text{recolectada}}(20^{\circ}\text{C})) / S_{\text{recolectada}}(20^{\circ}\text{C})$$

40 La escala del desplazamiento de sensibilidad térmica principal  $SS_{\text{principal}}$  y del desplazamiento de sensibilidad térmica recolectado  $SS_{\text{recolectado}}$  se traza en la ordenada izquierda. La escala del desplazamiento de sensibilidad térmica de compensación  $SS_{\text{comp}}$  se traza en la ordenada derecha. El desplazamiento de sensibilidad térmica de compensación  $SS_{\text{comp}}$  es sustancialmente más alto que el desplazamiento de sensibilidad térmica principal  $SS_{\text{principal}}$ . El desplazamiento de sensibilidad térmica de compensación  $SS_{\text{comp}}$  aumenta en el rango de temperatura de operación representado de  $+20^{\circ}\text{C}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$  del 260% y el desplazamiento de sensibilidad térmica principal  $SS_{\text{principal}}$  aumenta en el rango de temperatura de operación representado de  $+20^{\circ}\text{C}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$  del 18%. El desplazamiento de sensibilidad térmica recolectado  $SS_{\text{recolectado}}$  permanece casi estable a 0% en el rango de temperatura de operación representado de  $+20^{\circ}\text{C}$  a  $+260^{\circ}\text{C}$ .

50 El elemento 11 separador, el elemento 13, 13', 13" de masa sísmica, el elemento 15, 15', 15" de masa sísmica de compensación y el elemento 19 de conducción eléctrica tienen una forma cilíndrica o rectangular. El elemento 11 separador, el elemento 13, 13', 13" de masa sísmica, el elemento 15, 15', 15" de masa sísmica de compensación y el elemento 19 de conducción eléctrica están hechos de material metálico tal como aleaciones de acero, aleaciones de titanio, etc. El elemento 13, 13', 13" de masa sísmica tiene varias realizaciones preferidas. De acuerdo con las figuras 1, 2, 5 y 6 es de una pieza, de acuerdo con las figuras 3, 4 y 7 es de dos piezas, de acuerdo con la figura 8 es de tres piezas. El elemento 15, 15', 15" de masa sísmica de compensación tiene varias realizaciones preferidas. De acuerdo con las figuras 1, 2 y 5 a 7 es de una pieza, de acuerdo con las figuras 3 y 4 y es de dos piezas, de acuerdo con la figura 8 es de tres piezas. Preferiblemente, el peso del elemento 13, 13', 13" de masa sísmica es mayor que el peso del elemento 15, 15', 15" de masa sísmica de compensación.

El elemento 20 de aislamiento eléctrico tiene una forma cilíndrica o rectangular. El elemento 20 de aislamiento eléctrico está hecho de material de aislamiento eléctrico tal como politetrafluoretileno, poliimida, óxido de aluminio, óxido de magnesio, etc.

5 Un medio de masa sísmica principal efectivo es capaz de producir la fuerza que se va a medir cuando se acelera. La aceleración debida a la inercia del medio de masa sísmica principal efectivo ocurre a lo largo del eje vertical ZZ'. La fuerza que se va a medir actúa como una fuerza de corte sobre el elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal. El medio de masa sísmica principal efectivo está compuesto por todas las partes precargadas dispuestas en el lado del elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal que se enfrenta separado del elemento 10 base. El peso de la masa sísmica principal efectiva crea una pequeña fuerza de gravedad permanente del orden de  $10^{-6}g$ . Para medir pequeñas aceleraciones, la pequeña fuerza de gravedad debida al peso de la masa sísmica principal efectiva debe compensarse mediante una fuerza de compensación. Un medio de masa sísmica de compensación es capaz de producir la fuerza de compensación cuando se acelera. La aceleración debida a la inercia del medio de masa sísmica de compensación ocurre también a lo largo del eje vertical ZZ'. La fuerza de compensación actúa como una fuerza de corte sobre el elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación. El medio de masa sísmica de compensación está compuesto por todas las partes precargadas dispuestas en el lado del elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación que se enfrenta separado del elemento 10 base.

20 El medio 17 a tierra y medio 18 de señal son capaces de recolectar la carga eléctrica principal generada en las caras donde se aplica una fuerza que se va a medir sobre el elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal. El medio 17 a tierra y el medio 18 de señal son también capaces de recolectar la carga eléctrica de compensación generada en las caras donde se aplica una fuerza de compensación sobre el elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación. El medio 17 a tierra y el medio 18 de señal están formados por al menos un elemento. Preferiblemente, el medio 17 a tierra recolecta la carga principal eléctrica positiva de la primera cara del elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal y la carga de compensación eléctrica positiva de la primera cara del elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación. Preferiblemente, el medio 18 de señal recolecta la carga eléctrica principal negativa de la segunda cara del elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal y la carga eléctrica de compensación negativa de la segunda cara del elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación. El medio 17 a tierra y el medio 18 de señal están unidos contra la primera y segunda caras del elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal y del elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación, de tal manera que están en contacto superficial con las caras donde actúa la fuerza de corte. El transductor 1 piezoeléctrico, de este modo tiene una alta rigidez a lo largo del eje de soporte AA' y la primera y segunda caras del elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal y del elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación están en contacto mecánico cercano con el medio 17 a tierra y el medio 18 de señal. Un contacto mecánico cercano minimiza o elimina cualquier microbrecha entre la primera y segunda caras del elemento 12, 12', 12" cerámico piezoeléctrico principal y del elemento 14, 14', 14" cerámico piezoeléctrico de compensación y el medio 17 a tierra y el medio 18 de señal y de este modo asegura una capacitancia claramente definida del transductor 1 piezoeléctrico.

40 El medio 17 a tierra está conectado eléctricamente a una entrada de carga eléctrica de señal de una unidad de evaluación. El medio 18 de señal está conectado eléctricamente a una entrada de carga eléctrica a tierra de la unidad de evaluación. Las conexiones eléctricas del medio 17 a tierra y el medio 18 de señal pueden realizarse mediante elementos de alambre de material conductor eléctrico tal como cobre, platino-tungsteno, etc. En las figuras 1 a 8 parte de los elementos de alambre están representadas esquemáticamente por líneas que conectan el al menos un elemento de un medio 17 a tierra o de un medio 18 de señal. Los elementos de alambre están conectados de manera eléctrica y mecánicamente al medio 17 a tierra y al medio 18 de señal. Los elementos de alambre pueden estar aislados eléctricamente por una vaina de material de aislamiento eléctrico tal como cloruro de polivinilo, caucho, etc. De este modo, la carga eléctrica a tierra recolectada por el medio 17 a tierra y la carga eléctrica de señal recolectada por el medio 18 de señal se transmiten por alambres a la unidad de evaluación. La unidad de evaluación no está representada en las figuras. La unidad de evaluación puede amplificar eléctricamente la carga eléctrica de señal transmitida recolectada por el medio 18 de señal. La unidad de evaluación también puede evaluar o digitalizar la carga eléctrica de señal amplificada eléctricamente.

Primera y segunda realizaciones de ejemplo

50 Las figuras 1 y 2 muestran dos realizaciones de ejemplo de un transductor 1 piezoeléctrico con un diseño en ménsula. En el diseño en ménsula, las partes precargadas del transductor 1 piezoeléctrico se unen por medio del elemento 16 de precarga a lo largo del eje de soporte AA' contra una cara del elemento 10 base. El diseño en ménsula está desequilibrado, lo cual significa que todo el peso de las partes precargadas cuelga debido a la gravedad en el lado de la una cara del elemento 10 base.

55 En la figura 1 las partes precargadas están dispuestas a lo largo del eje de soporte AA' entre el elemento 10 base y la cabeza de tornillo del elemento 16 de precarga. Esta disposición ocurre en el siguiente orden de distancia creciente con respecto al elemento 10 base: un elemento 11 separador, un elemento 12 cerámico piezoeléctrico principal, un elemento 13 sísmico, un elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación y un elemento 15 de masa sísmica de compensación. En la figura 1 el medio de masa sísmica principal efectivo está compuesto por las siguientes partes precargadas: una porción del elemento 12 cerámico piezoeléctrico principal, el elemento 13 de masa sísmica, el elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación, el elemento 15 de masa sísmica de compensación y una

porción del elemento 16 de precarga dispuesta en el lado del elemento 12 cerámico piezoeléctrico principal que se enfrenta separado del elemento 10 base. En la figura 1 el medio de masa sísmica de compensación efectivo está compuesto por las siguientes partes precargadas: el elemento 15 de masa sísmica de compensación y una porción del elemento 16 de precarga dispuesta en el lado del elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación que se enfrenta separado del elemento 10 base. En la figura 1 el medio 17 a tierra está formado por el elemento 10 base, el elemento 11 separador y el elemento 15 de masa sísmica de compensación. En la figura 1 el medio 18 de señal está formado por el elemento 13 de masa sísmica.

En la figura 2 las partes precargadas están dispuestas a lo largo del eje de soporte AA' entre el elemento 10 base y la cabeza de tornillo del elemento 16 de precarga. Esta disposición ocurre en el siguiente orden de distancia creciente con respecto al elemento 10 base: un elemento 11 separador, un primer elemento 12 cerámico piezoeléctrico principal, un elemento 19 de conducción eléctrica, un segundo elemento 12' piezoeléctrico principal, un elemento 13 de masa sísmica, un elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación, un elemento 15 de masa sísmica de compensación y un elemento 20 de aislamiento eléctrico. En la figura 2 el medio de masa sísmica principal efectivo está compuesto por las siguientes partes precargadas: dos porciones de los dos elementos 12, 12' cerámicos piezoeléctricos principales, una porción del elemento 19 de conducción eléctrica, el elemento 13 de masa sísmica, el elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación, el elemento 15 de masa sísmica de compensación, el elemento 20 de aislamiento eléctrico y una porción del elemento 16 de precarga dispuesta en el lado del primer elemento 12 cerámico piezoeléctrico principal que se enfrenta separado del elemento 10 base. En la figura 2 el medio de masa sísmica de compensación efectivo está compuesto por las siguientes partes precargadas: el elemento 15 de masa sísmica de compensación y una porción del elemento 16 de precarga dispuesta en el lado del elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación que se enfrenta separado del elemento 10 base. En la figura 2 el medio 17 a tierra está formado por el elemento 10 base, el elemento 11 separador y el elemento 15 de masa sísmica de compensación. En la figura 2 el medio 18 de señal está formado por el elemento 13 de masa sísmica.

El diseño en ménsula desequilibrado de la primera y segunda realizaciones de ejemplo, muestra de este modo un transductor 1 piezoeléctrico con muy pocos elementos y partes. Debido a los pocos elementos y partes, el ensamblaje de este transductor 1 piezoeléctrico es fácil y rápido, lo cual da como resultado en bajos costes de fabricación. El transductor 1 piezoeléctrico de la figura 2 tiene dos elementos 12, 12' cerámicos piezoeléctricos principales y de este modo puede usarse un elemento 13 de masa sísmica principal más pequeño. Esto proporcionará una frecuencia de resonancia de elemento aumentada y producirá mejor rendimiento tan lejos como la respuesta de frecuencia a altas frecuencias.

Tercera y cuarta realizaciones de ejemplo

Las figuras 3 y 4 muestran dos realizaciones de ejemplo de un transductor 1 piezoeléctrico con un diseño de doble ménsula. En el diseño de doble ménsula, las partes precargadas del transductor 1 piezoeléctrico se unen por medio del elemento 16 de precarga a lo largo del eje de soporte AA' contra dos caras del elemento 10 base. El diseño de doble ménsula está equilibrado, lo cual significa que el peso de las partes precargadas cuelga debido a la gravedad distribuida equitativamente en las dos caras del elemento 10 base. Mientras que en la figura 3 el elemento 16 de precarga está realizado como un tornillo de precarga, en la figura 4 el elemento 16 de precarga está realizado como un anillo de precarga.

En las figuras 3 y 4 las partes precargadas están dispuestas equitativamente a lo largo del eje de soporte AA' entre dos caras del elemento 10 base y la cabeza de tornillo del elemento 16 de precarga (figura 3) respectivamente el elemento 16 de precarga anular (figura 4). Estas disposiciones ocurren en un orden de distancia creciente con respecto al elemento 10 base. Para cada cara del elemento 10 base, la disposición tiene el siguiente orden: un elemento 12, 12' cerámico piezoeléctrico principal, un elemento 13, 13' sísmico, un elemento 14, 14' cerámico piezoeléctrico de compensación y un elemento 15, 15' de masa sísmica de compensación. En las figuras 3 y 4 el medio de masa sísmica principal efectivo está compuesto por las siguientes partes precargadas: dos porciones de los dos elementos 12, 12' cerámicos piezoeléctricos principales, los dos elementos 13, 13' de masa sísmica, los dos elementos 14, 14' cerámicos piezoeléctricos de compensación, los dos elementos 15, 15' de masa sísmica de compensación y las dos porciones del elemento 16 de precarga dispuestas en los lados de los dos elementos 12, 12' cerámicos piezoeléctricos principales que se enfrentan separados del elemento 10 base. En las figuras 3 y 4 el medio de masa sísmica de compensación efectivo está compuesto por las siguientes partes precargadas: los dos elementos 15, 15' de masa sísmica de compensación y dos porciones de los elementos 16 de precarga dispuestas en los lados de los dos elementos 14, 14' cerámicos piezoeléctricos de compensación que se enfrentan separados del elemento 10 base. En las figuras 3 y 4 el medio 17 a tierra está formado por los dos elementos 15, 15' de masa sísmica de compensación. En las figuras 3 y 4 el medio 18 de señal está formado por los dos elementos 13, 13' de masa sísmica.

El diseño de doble ménsula equilibrado de la tercera y cuarta realizaciones de ejemplo, muestra de este modo un transductor 1 piezoeléctrico con dos elementos 12, 12' cerámicos piezoeléctricos principales y dos elementos 14, 14' cerámicos piezoeléctricos de compensación y de este modo una alta sensibilidad piezoeléctrica del transductor 1 piezoeléctrico.

Quinta y sexta realizaciones de ejemplo



Las figuras 5 y 6 muestran dos realizaciones de ejemplo de un transductor 1 piezoeléctrico con un diseño de doble ménsula. En el diseño en ménsula, las partes precargadas del transductor 1 piezoeléctrico se unen por medio del elemento 16 de precarga a lo largo del eje de soporte AA' contra dos caras del elemento 10 base. El diseño en ménsula está desequilibrado, lo cual significa que el peso de las partes precargadas cuelga debido a la gravedad distribuida desigualmente en las dos caras del elemento 10 base. Mientras que en la figura 5 el elemento 16 de precarga está realizado como un tornillo de precarga, en la figura 6 el elemento 16 de precarga está realizado como un anillo de precarga.

En las figuras 5 y 6 las partes precargadas están dispuestas a lo largo del eje de soporte AA' entre un elemento 13 de masa sísmica y la cabeza de tornillo del elemento 16 de precarga (figura 5) respectivamente el elemento 16 de precarga anular (figura 6). Estas disposiciones ocurren en un orden de distancia creciente con respecto al elemento 10 base. En una primera cara del elemento 10 base que está en el lado del elemento 10 base que se enfrenta hacia el elemento 13 de masa sísmica, la disposición tiene el siguiente orden: un elemento 12 cerámico piezoeléctrico principal y el un elemento 13 sísmico principal. En una segunda cara del elemento 10 base que está en el lado del elemento 10 base que se enfrenta separado del elemento 13 de masa sísmica, la disposición tiene el siguiente orden: un elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación y un elemento 15 de masa sísmica de compensación. En las figuras 5 y 6 el medio de masa sísmica principal efectivo está compuesto por una porción del elemento 12 cerámico piezoeléctrico principal, el un elemento 13 de masa sísmica y una porción del elemento 16 de precarga dispuesta en el lado del elemento 12 cerámico piezoeléctrico principal que se enfrenta separado del elemento 10 base. En las figuras 5 y 6 el medio de masa sísmica de compensación efectivo está compuestos por el un elemento 15 de masa sísmica de compensación y una porción del elemento 16 de precarga dispuesta en el lado del elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación que se enfrenta separado del elemento 10 base. En las figuras 5 y 6 el medio 17 a tierra está formado por el elemento 10 base. En las figuras 5 y 6 el medio 18 de señal está formado por el un elemento 13 de masa sísmica y el un elemento 15 de masa sísmica de compensación.

El diseño de doble ménsula desequilibrado de la quinta y sexta realizaciones de ejemplo, muestra de este modo un transductor 1 piezoeléctrico con muy pocos elementos y partes. Debido a los pocos elementos y partes, el ensamblaje de este transductor 1 piezoeléctrico es fácil y rápido, lo cual da como resultado en bajos costes de fabricación.

Séptima y octava realizaciones de ejemplo

Las figuras 7 y 8 muestran dos realizaciones de ejemplo de un transductor 1 piezoeléctrico con un diseño triangular. En el diseño triangular, las partes precargadas del transductor 1 piezoeléctrico se unen por medio del elemento 16 de precarga a lo largo de tres ejes de soporte AA' contra tres caras del elemento 10 base. El elemento 10 base está dispuesto centralmente en el elemento 16 de precarga que se realiza como un anillo de precarga. Los tres ejes de soporte AA' están dispuestos en un plano horizontal perpendicular al eje vertical ZZ'. En el plano horizontal, los tres ejes de soporte AA' están separados equitativamente por un ángulo de 120° entre sí. El diseño triangular es equilibrado, lo cual significa que el peso de las partes precargadas cuelga debido a la gravedad distribuida equitativamente en las tres caras del elemento 10 base.

En la figura 7 las partes precargadas están dispuestas a lo largo de tres ejes de soporte AA' entre el elemento 10 base y el elemento 16 de precarga anular. Esta disposición ocurre en un orden de distancia creciente con respecto al elemento 10 base. Para dos caras de las tres caras del elemento 10 base, la disposición tiene el siguiente orden: un elemento 12, 12' cerámico piezoeléctrico principal, un elemento 13, 13' sísmico. Para una cara de las tres caras del elemento 10 base, la disposición tiene el siguiente orden: un elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación y un elemento 15 de masa sísmica de compensación. En la figura 7 el medio de masa sísmica principal efectivo está compuesto por las siguientes partes precargadas: dos porciones de los dos elementos 12, 12' cerámicos piezoeléctricos principales, una porción del elemento 14 piezoeléctrico de compensación, los dos elementos 13, 13' de masa sísmica y una porción del elemento 16 de precarga dispuesta en el lado del elemento 12 cerámico piezoeléctrico principal que se enfrenta separado del elemento 10 base. En la figura 7 el medio de masa sísmica de compensación efectivo está compuesto por las siguientes partes precargadas: un elemento 15 de masa sísmica de compensación y una porción del elemento 16 precarga dispuesta en el lado del elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación que se enfrenta separado del elemento 10 base. En la figura 7 el medio 17 a tierra está formado por el elemento 10 base. En la figura 7 el medio 18 de señal está formado por los dos elementos 13, 13' de masa sísmica y el elemento 15 de masa sísmica de compensación.

En la figura 8 las partes precargadas están dispuestas a lo largo de tres ejes de soporte AA' entre el elemento 10 base y el elemento 16 de precarga anular. Esta disposición ocurre en un orden de distancia creciente con respecto al elemento 10 base. Para cada una de las tres caras del elemento 10 base, la disposición tiene el siguiente orden: un elemento 12, 12', 12'' cerámico piezoeléctrico principal, un elemento 13, 13', 13'' de masa sísmica, un elemento 14, 14', 14'' cerámico piezoeléctrico de compensación y un elemento 15, 15', 15'' de masa sísmica de compensación. En la figura 8 el medio de masa sísmica principal efectivo está compuesto por las siguientes partes precargadas: tres porciones de los tres elementos 12, 12', 12'' cerámicos piezoeléctricos principales, los tres elementos 13, 13', 13'' de masa sísmica, los tres elementos 14, 14', 14'' cerámicos piezoeléctricos de compensación, los tres elementos 15, 15', 15'' de masa sísmica de compensación y porciones del elemento 16 de precarga dispuestas en los lados de los tres elementos 12, 12', 12'' cerámicos piezoeléctricos principales que se enfrentan separados del elemento 10 base. En la figura 8 el medio de masa sísmica de compensación efectivo está compuesto por las siguientes partes precargadas:

5 los tres elementos 15, 15', 15" de masa sísmica de compensación y porciones del elemento 16 de precarga dispuestas en los lados de los tres elementos 14, 14', 14" cerámicos piezoeléctricos de compensación que se enfrentan separados del elemento 10 base. En la figura 8 el medio 17 a tierra está formado por el elemento 10 base y por todos los tres elementos 15, 15', 15" de masa sísmica de compensación los cuales están todos conectados eléctricamente por el elemento 16 de precarga. En la figura 8 el medio 18 de señal está formado por los tres elementos 13, 13', 13" de masa sísmica.

10 El diseño triangular equilibrado de las séptima y octava realizaciones de ejemplo, muestra de este modo un transductor 1 piezoeléctrico con una alta sensibilidad piezoeléctrica a la relación de volumen. Tomando el volumen dentro del elemento 16 de precarga anular como referencia, el transmisor 1 piezoeléctrico de la figura 8 con tres elementos 12, 12', 12" cerámicos piezoeléctricos principales y tres elementos 14, 14', 14" cerámicos piezoeléctricos de compensación tiene de este modo una mayor sensibilidad piezoeléctrica que el transductor 1 piezoeléctrico de la figura 6 con un elemento 12 cerámico piezoeléctrico y un elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación, o que el transductor 1 piezoeléctrico de la figura 7 con dos elementos 12, 12' cerámicos piezoeléctricos y un elemento 14 cerámico piezoeléctrico de compensación, o que el transductor 1 piezoeléctrico de la figura 4 con dos elementos 12, 12' cerámicos piezoeléctricos y dos elementos 14, 14' cerámicos piezoeléctricos de compensación.

15 Aunque se han divulgado realizaciones de ejemplo antes mencionadas, la presente invención no se limita a las realizaciones divulgadas. En vez la presente invención cubre cualquier variación, uso, o adaptación de esta divulgación usando sus principios generales. Adicionalmente, la presente invención está prevista para cubrir tales desviaciones de esta divulgación que se encuentren dentro de la práctica conocida o habitual en la técnica a la cual pertenece la presente invención y las cuales caen dentro de los límites de las reivindicaciones anexas.

20 De este modo, la presente invención no se limita a la explotación del efecto piezoeléctrico de corte, el hombre experimentado en la técnica también puede usar el efecto piezoeléctrico longitudinal, donde igual como para el efecto piezoeléctrico de corte, se genera carga eléctrica en las mismas caras del elemento cerámico piezoeléctrico principal y del elemento cerámico piezoeléctrico de compensación sobre el cual se aplica la fuerza. El correspondiente coeficiente de carga piezoeléctrica longitudinal de la cerámica piezoeléctrica se denomina  $d_{33}$ . También, el hombre experimentado en la técnica también puede usar el efecto piezoeléctrico transversal, donde se genera carga eléctrica en las caras del elemento cerámico piezoeléctrico principal y del elemento cerámico piezoeléctrico de compensación que son perpendiculares a las caras sobre las cuales se aplica la fuerza. El correspondiente coeficiente de carga piezoeléctrica transversal de la cerámica piezoeléctrica se denomina  $d_{31}$ .

25 Además, la presente invención no se limita a las ocho realizaciones de ejemplo como se representan en las figuras. El hombre experimentado en la técnica puede alterar la figura 8 y reemplazar dos de los tres elementos cerámicos piezoeléctricos de compensación por dos elementos cerámicos piezoeléctricos principales. Los dos elementos cerámicos piezoeléctricos principales de reemplazo tendrían direcciones de polarización que son opuestas a las direcciones de polarización de los tres elementos cerámicos piezoeléctricos principales existentes. También, el elemento separador en la figura 1 es opcional y puede omitirse. El hombre experimentado en la técnica puede usar más de un elemento separador.

**REIVINDICACIONES**

1. Un transductor piezoeléctrico para medir una fuerza que comprende
  - un elemento (10) base; un elemento (16) de precarga; al menos un medio (13) de masa sísmica principal efectivo capaz de producir dicha fuerza cuando se acelera, estando dicho medio de masa sísmica principal efectivo unido por dicho elemento de precarga de manera directa o indirectamente contra dicho elemento base;
  - un elemento (12) cerámico piezoeléctrico principal que comprende la primera cerámica piezoeléctrica, dicha primera cerámica piezoeléctrica es capaz de generar una carga eléctrica principal cuando se somete a dicha fuerza, estando dicho elemento cerámico piezoeléctrico principal unido mediante dicho elemento de precarga de manera directa o indirectamente contra dicho medio de masa sísmica principal efectivo;
  - al menos un medio (15) de masa sísmica de compensación capaz de producir una fuerza de compensación cuando se acelera, estando dicho medio de masa sísmica de compensación unido mediante dicho elemento de precarga de manera directa o indirectamente contra dicho elemento base;
  - un elemento (14) cerámico piezoeléctrico de compensación que comprende la segunda cerámica piezoeléctrica, dicha segunda cerámica piezoeléctrica es capaz de generar una carga eléctrica de compensación cuando se somete a dicha fuerza de compensación, estando dicho elemento cerámico piezoeléctrico de compensación unido por dicho elemento de precarga de manera directa o indirectamente contra dicho medio de masa sísmica de compensación;
  - dicha primera cerámica piezoeléctrica tiene un desplazamiento de sensibilidad térmica menor que dicha segunda cerámica piezoeléctrica;
  - dicha primera cerámica piezoeléctrica genera una carga eléctrica principal que es mayor en cantidad que la carga eléctrica de compensación generada por dicha segunda cerámica piezoeléctrica; y
  - estando dicho elemento (12) cerámico piezoeléctrico principal orientado con respecto a dicha fuerza que se va a medir y estando dicho elemento (14) cerámico piezoeléctrico de compensación orientado con respecto a dicha fuerza de compensación de tal manera que dicha carga eléctrica principal y dicha carga eléctrica de compensación son opuestos en polaridad.
2. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 1, en donde dicha primera cerámica piezoeléctrica tiene un desplazamiento de sensibilidad térmica al menos cinco veces más pequeño que dicha segunda cerámica piezoeléctrica.
3. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 2, en donde dicha primera cerámica piezoeléctrica está hecha de PZT blando con un desplazamiento de sensibilidad térmica de un coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  que aumenta en un rango de temperatura de operación del 20% con respecto al valor de dicho coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$  y/o dicho segundo elemento piezoeléctrico está hecho de PZT duro con un desplazamiento de sensibilidad térmica de un coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  que aumenta en un rango de temperatura de operación del 300% con respecto al valor de dicho coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$ .
4. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 1, en donde dicha primera cerámica piezoeléctrica tiene un coeficiente de carga piezoeléctrica mayor que dicha segunda cerámica piezoeléctrica.
5. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 4, en donde dicha primera cerámica piezoeléctrica tiene un coeficiente de carga piezoeléctrica al menos dos veces mayor que dicha segunda cerámica piezoeléctrica.
6. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 5, en donde dicha primera cerámica piezoeléctrica está hecha de PZT blando con un coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  mayor que  $400\text{pC/N}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$  y/o dicho segundo elemento piezoeléctrico está hecho de PZT duro con un coeficiente de carga piezoeléctrica de corte  $d_{15}$  mayor que  $100\text{pC/N}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$ .
7. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 1, en donde dicho transductor piezoeléctrico explota un efecto piezoeléctrico de corte, donde se genera carga eléctrica en las mismas caras de dicho elemento (12) cerámico piezoeléctrico principal y de dicho elemento (14) cerámico piezoeléctrico de compensación en el cual actúa una fuerza de corte; dicho elemento cerámico piezoeléctrico principal y dicho elemento cerámico piezoeléctrico de compensación están orientados con respecto a dicha fuerza de corte que produce polaridad opuesta.
8. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 7, en donde dicha fuerza que se va a medir actúa como una fuerza de corte sobre dicho elemento (12) cerámico piezoeléctrico principal; y dicha fuerza de compensación actúa como una fuerza de corte sobre dicho elemento (14) cerámico piezoeléctrico de compensación.
9. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 8, en donde dicho transductor piezoeléctrico comprende al menos un medio (18) de señal para recolectar la carga eléctrica principal negativa de una primera cara de dicho elemento

- (12) cerámico piezoeléctrico principal y carga eléctrica de compensación negativa de una segunda cara de dicho elemento (14) cerámico piezoeléctrico de compensación.
- 5 10. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 8, en donde dicho transductor piezoeléctrico comprende al menos un medio (17) a tierra para recolectar carga principal eléctrica positiva de una segunda cara de dicho elemento (12) cerámico piezoeléctrico principal y carga de compensación eléctrica positiva de una primera cara de dicho elemento (14) cerámico piezoeléctrico de compensación.
- 10 11. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 1, en donde dicho medio (13) de masa sísmica principal efectivo está compuesto por al menos uno de un elemento de masa sísmica, dicho elemento (14) cerámico piezoeléctrico de compensación, un elemento (15) de masa sísmica de compensación, un elemento (20) de aislamiento eléctrico y una porción de dicho elemento (16) de precarga dispuesta en un lado de dicho elemento (12) cerámico piezoeléctrico principal que se enfrenta separado de dicho elemento (10) base.
- 15 12. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 1, en donde dicho medio (15) de masa sísmica de compensación está compuesto por al menos uno de un elemento de masa sísmica de compensación, un elemento de aislamiento eléctrico y una porción de dicho elemento (16) de precarga dispuesta en un lado de dicho elemento (12) cerámico piezoeléctrico principal que se enfrenta separado de dicho elemento (10) base.
- 20 13. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 1, en donde dicho transductor piezoeléctrico tiene un diseño en ménsula, donde las partes precargadas se unen contra una cara de dicho elemento (10) base; dicho diseño en ménsula está desequilibrado porque todo el peso de dichas partes precargadas cuelga debido a la gravedad en un lado de la una cara de dicho elemento base.
- 25 14. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 1, en donde dicho transductor piezoeléctrico tiene un diseño de doble ménsula, donde las partes precargadas se unen contra dos caras de dicho elemento (10) base; dicho diseño de doble ménsula está equilibrado porque el peso de dichas partes precargadas cuelga debido a la gravedad distribuida equitativamente en las dos caras de dicho elemento base.
- 30 15. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 1, en donde dicho transductor piezoeléctrico tiene un diseño de doble ménsula, donde las partes precargadas se unen contra dos caras de dicho elemento (10) base; dicho diseño de doble ménsula está desequilibrado porque el peso de dichas partes precargadas cuelga debido a la gravedad distribuida desigualmente en las dos caras de dicho elemento base.
- 35 16. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 1, en donde dicho transductor piezoeléctrico tiene un diseño triangular, donde las partes precargadas se unen contra tres caras de dicho elemento (10) base; dicho diseño triangular está equilibrado porque el peso de dichas partes precargadas cuelga debido a la gravedad distribuida equitativamente en las tres caras de dicho elemento base.
17. El transductor piezoeléctrico de la reivindicación 1, en donde dicho transductor piezoeléctrico comprende hasta tres elementos cerámicos piezoeléctricos principales y/o en donde dicho transductor piezoeléctrico comprende hasta tres elementos cerámicos piezoeléctricos de compensación.

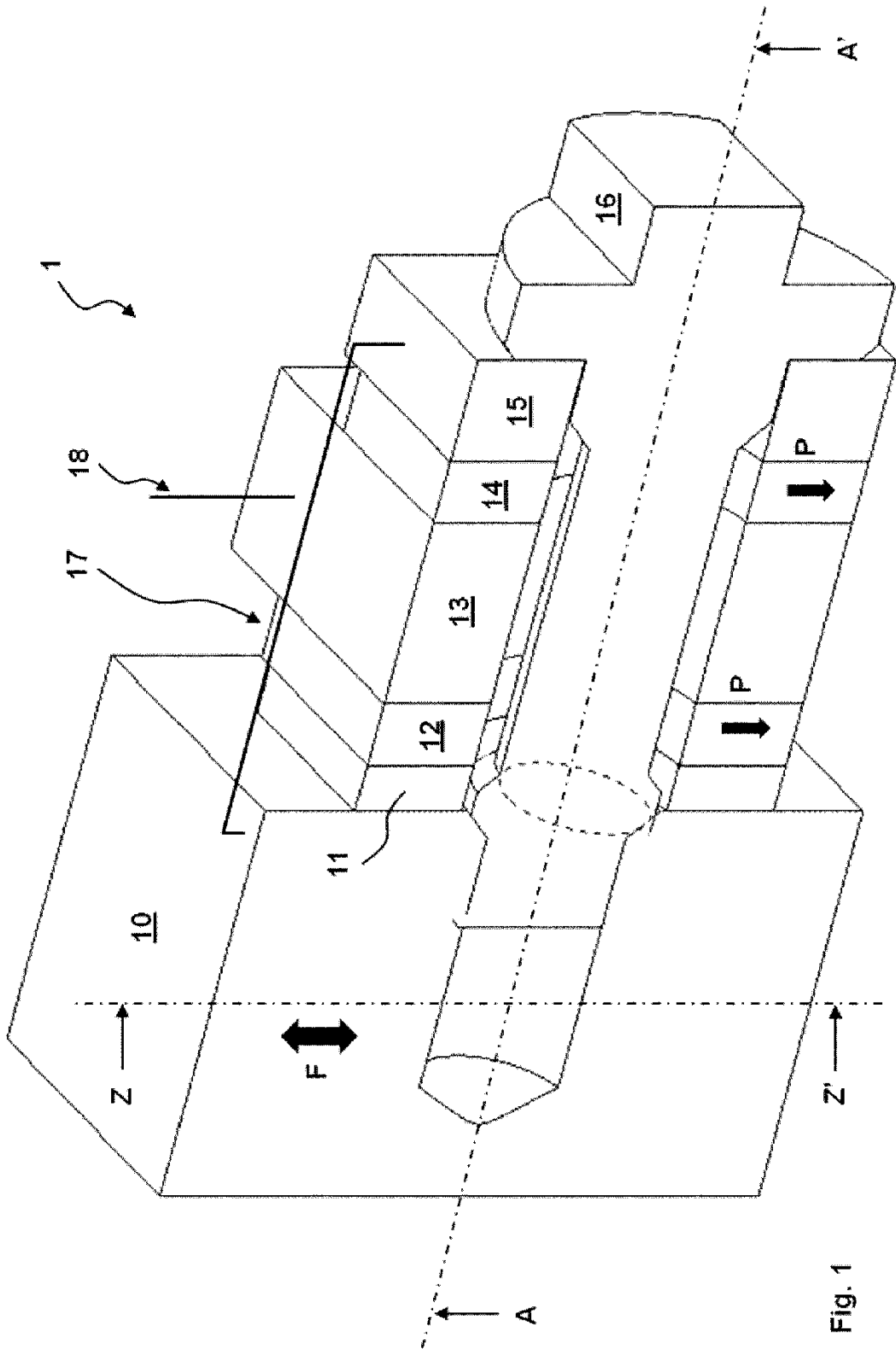


Fig. 1

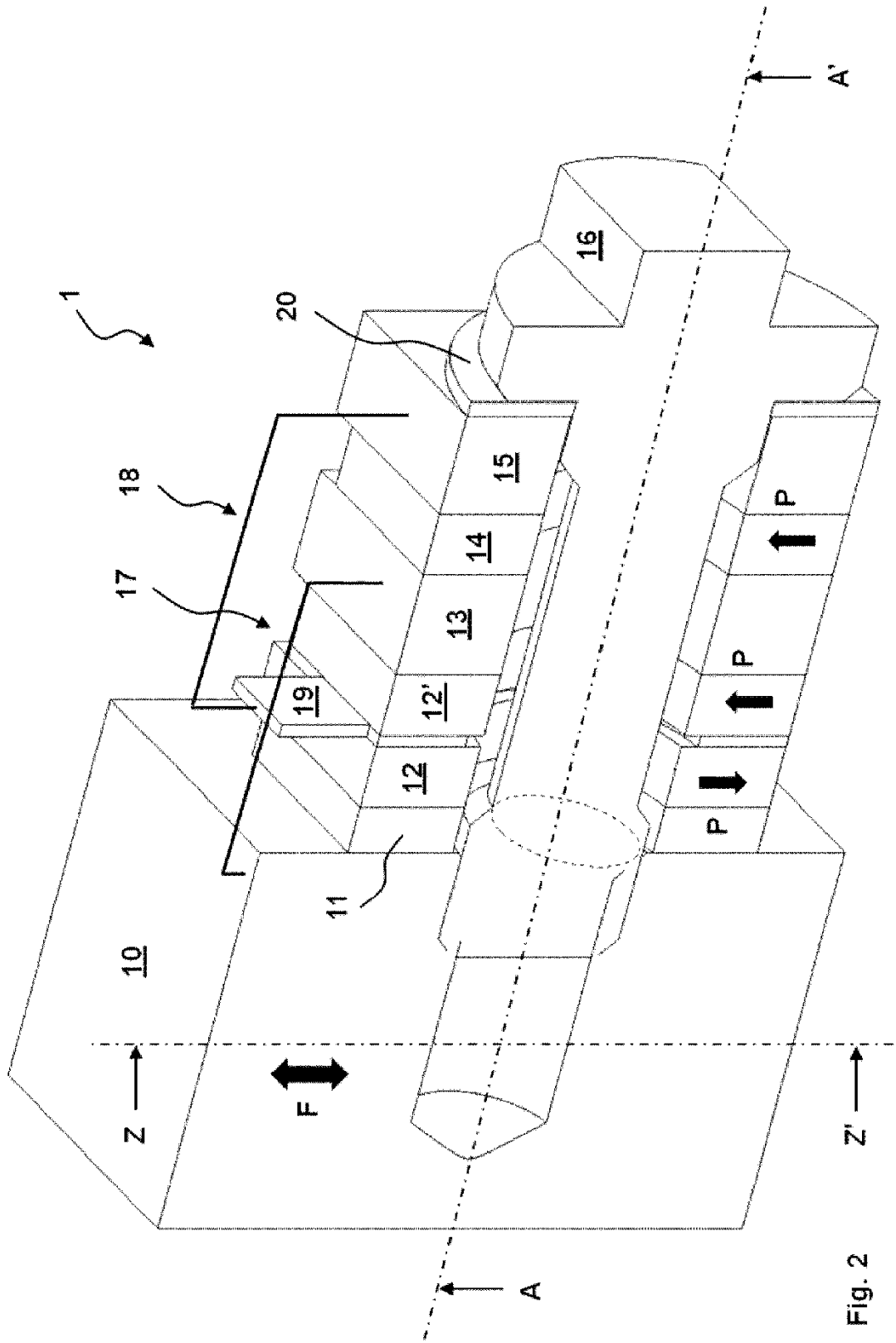


Fig. 2

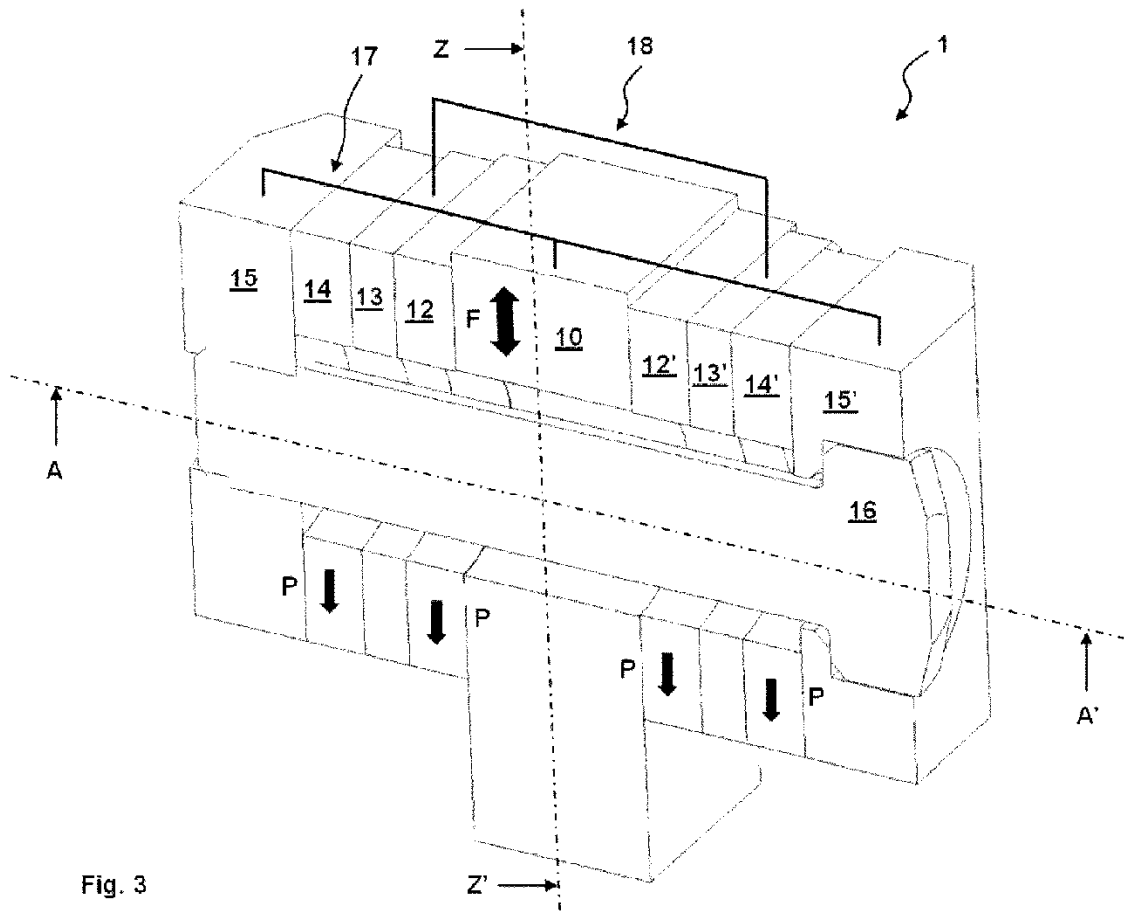


Fig. 3

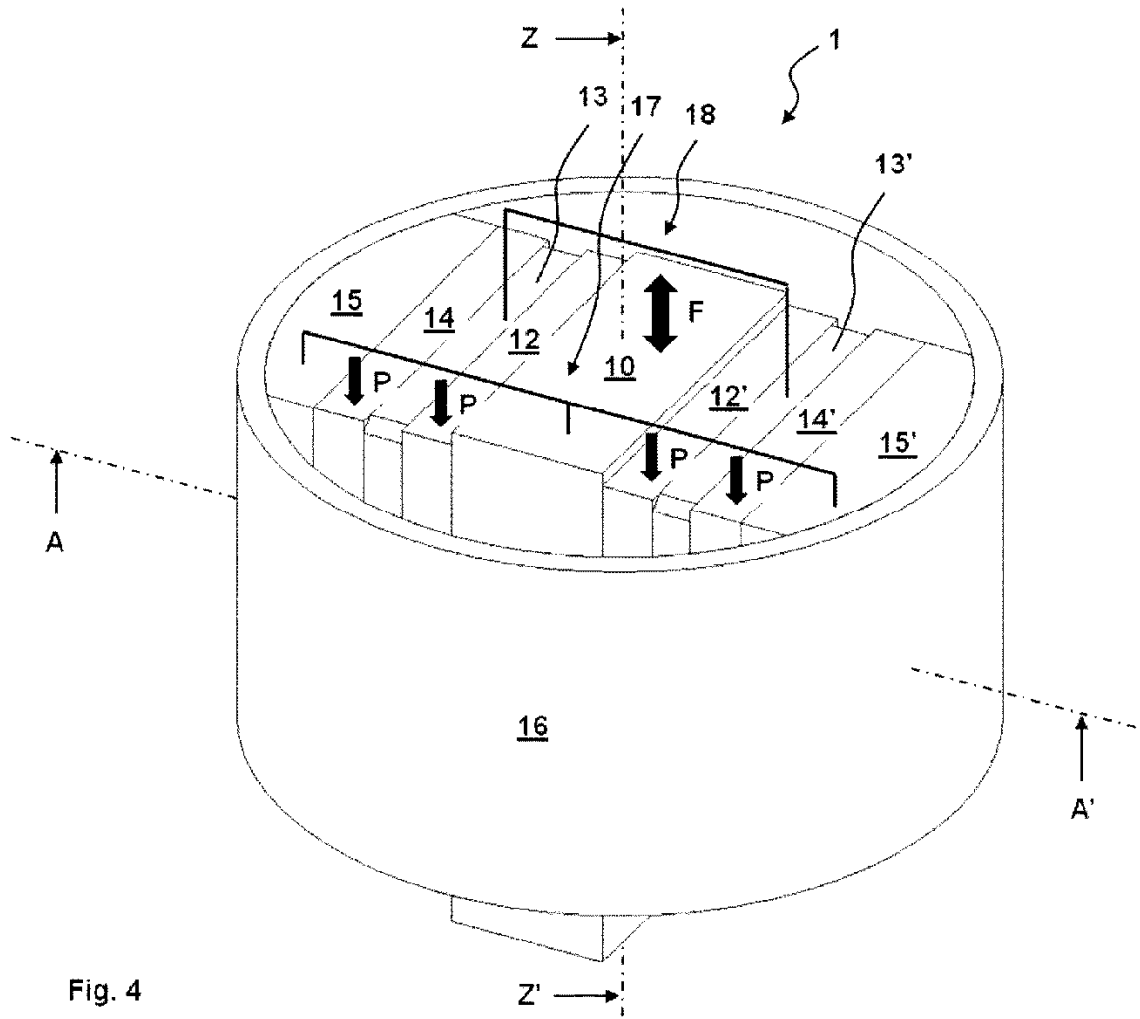
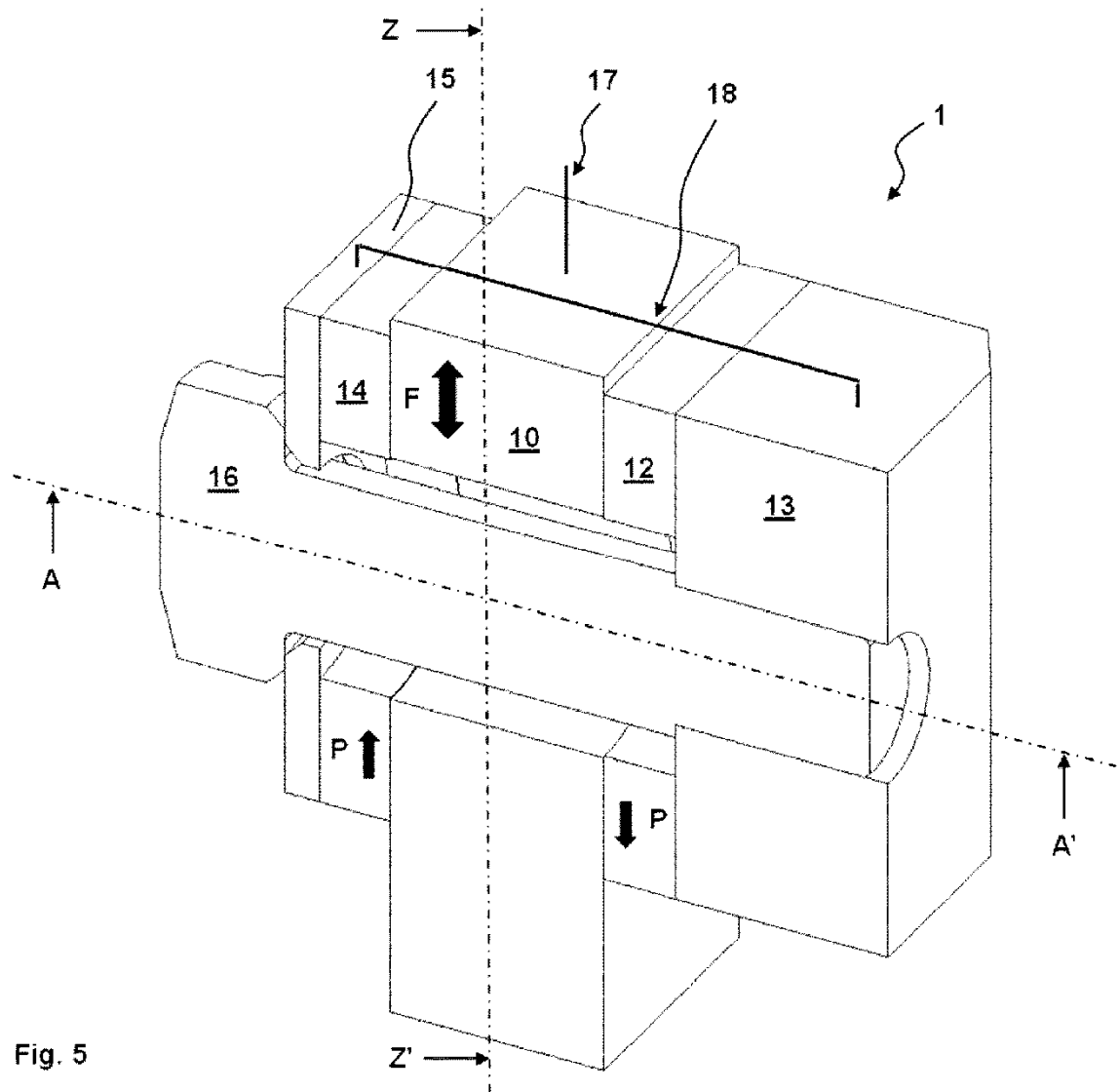


Fig. 4





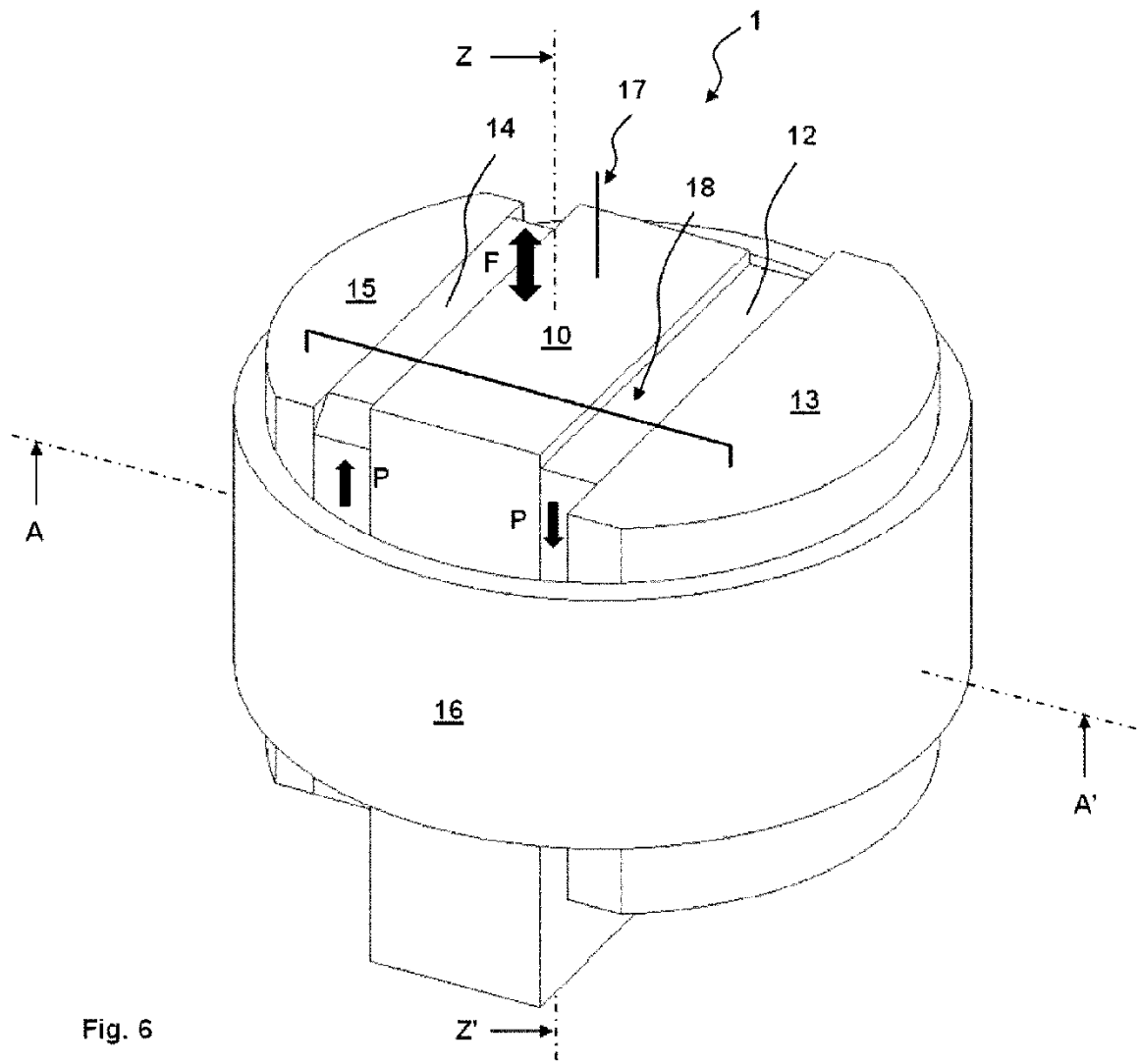


Fig. 6

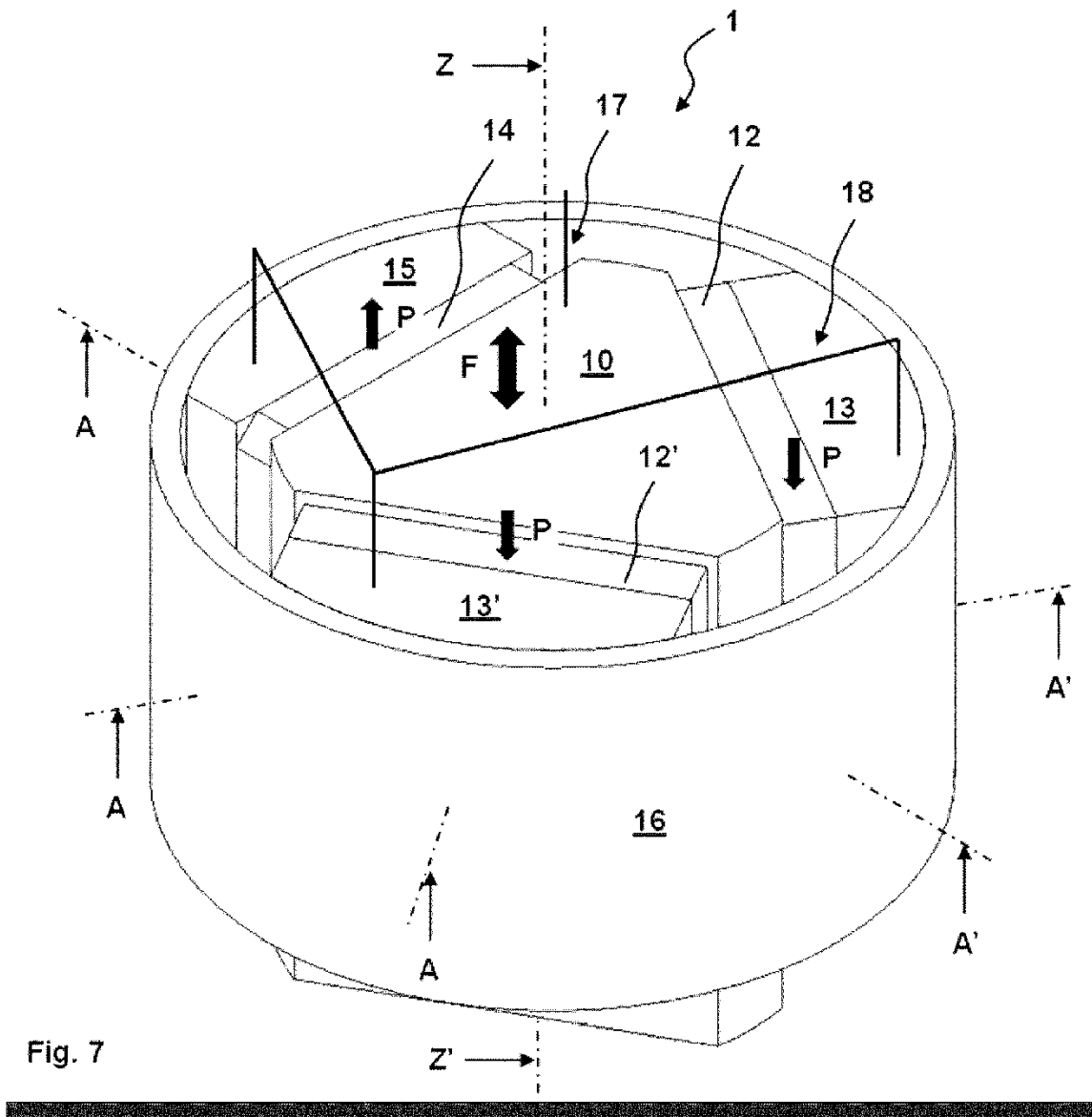


Fig. 7

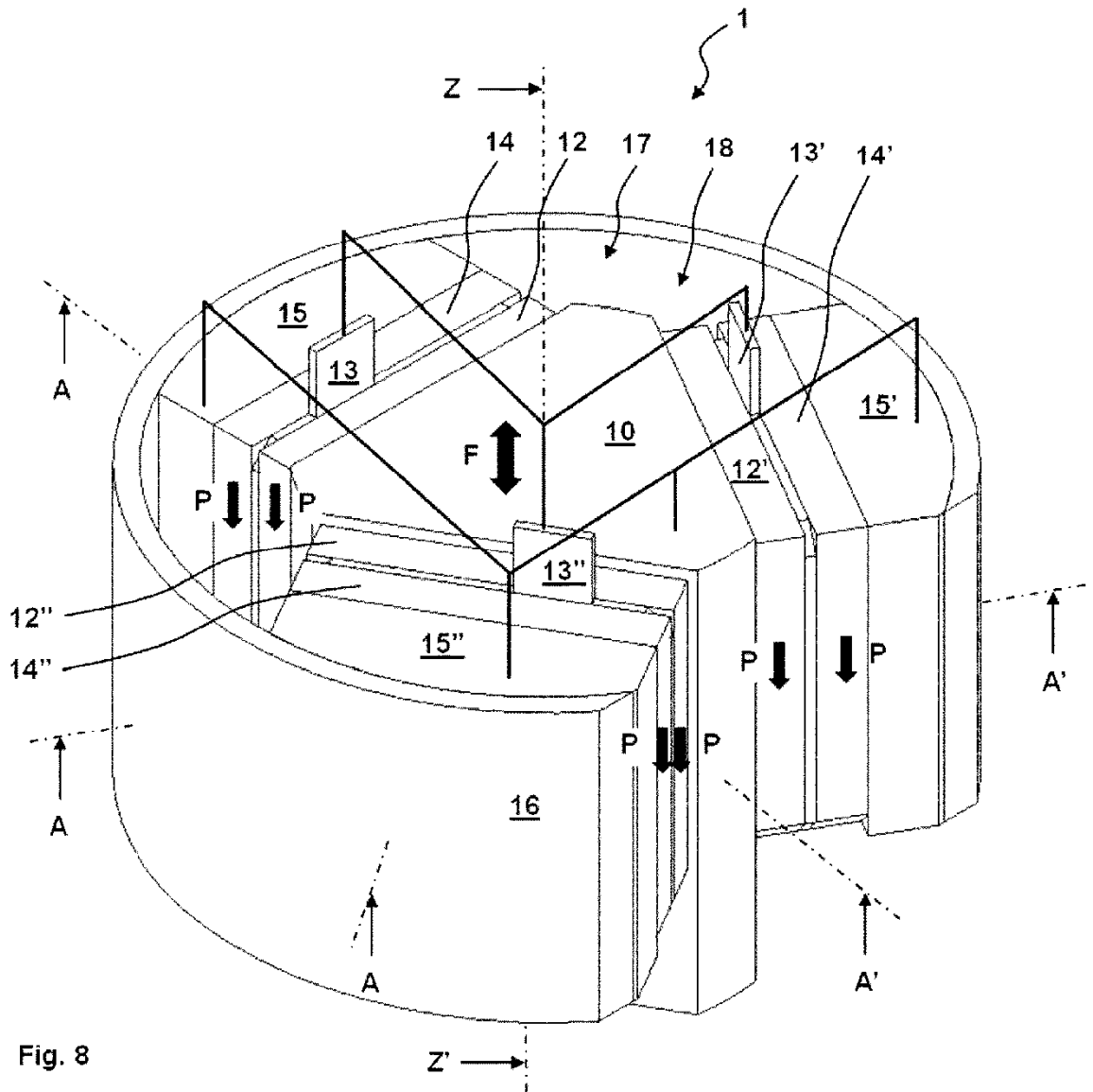


Fig. 8

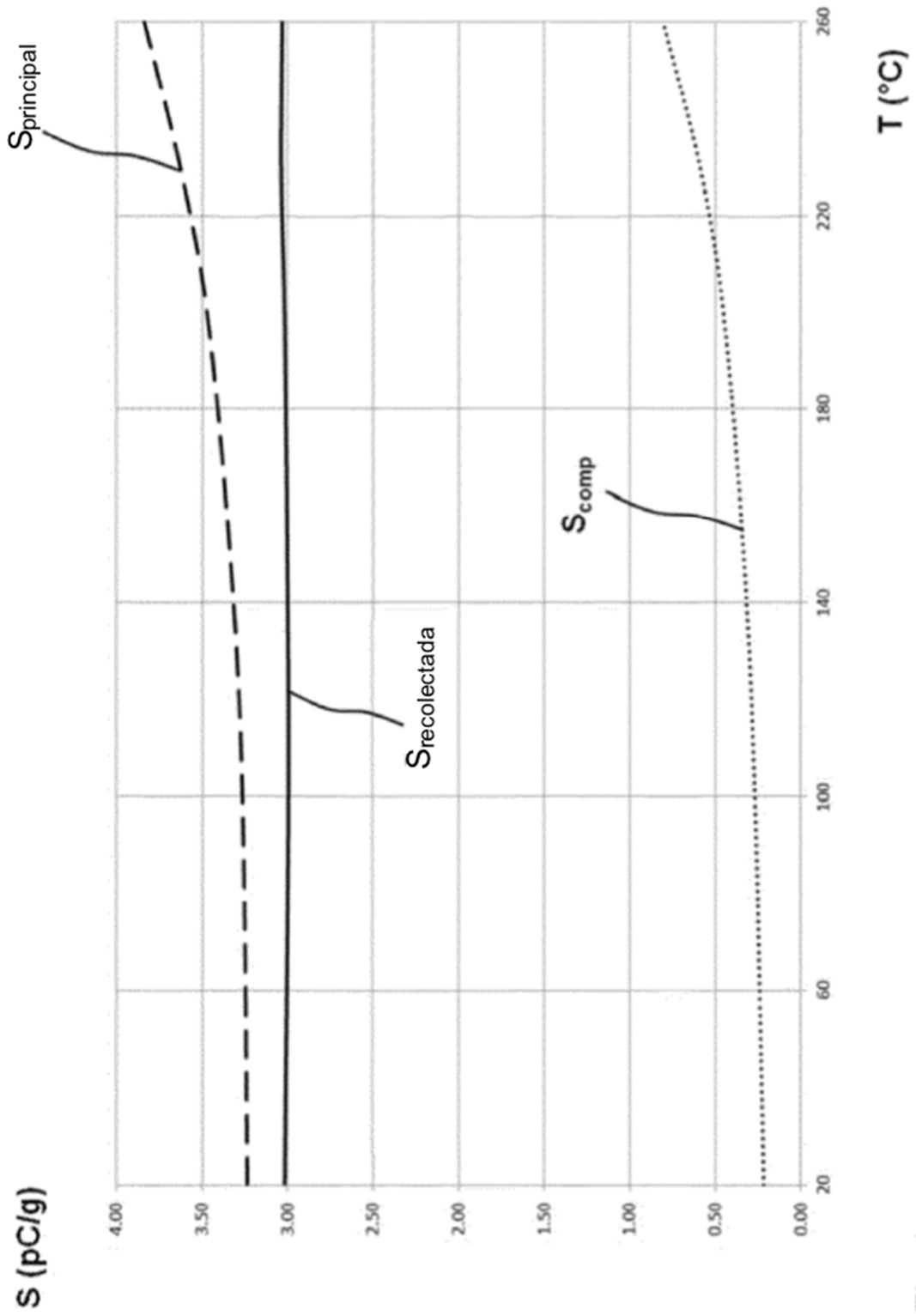


Fig. 9

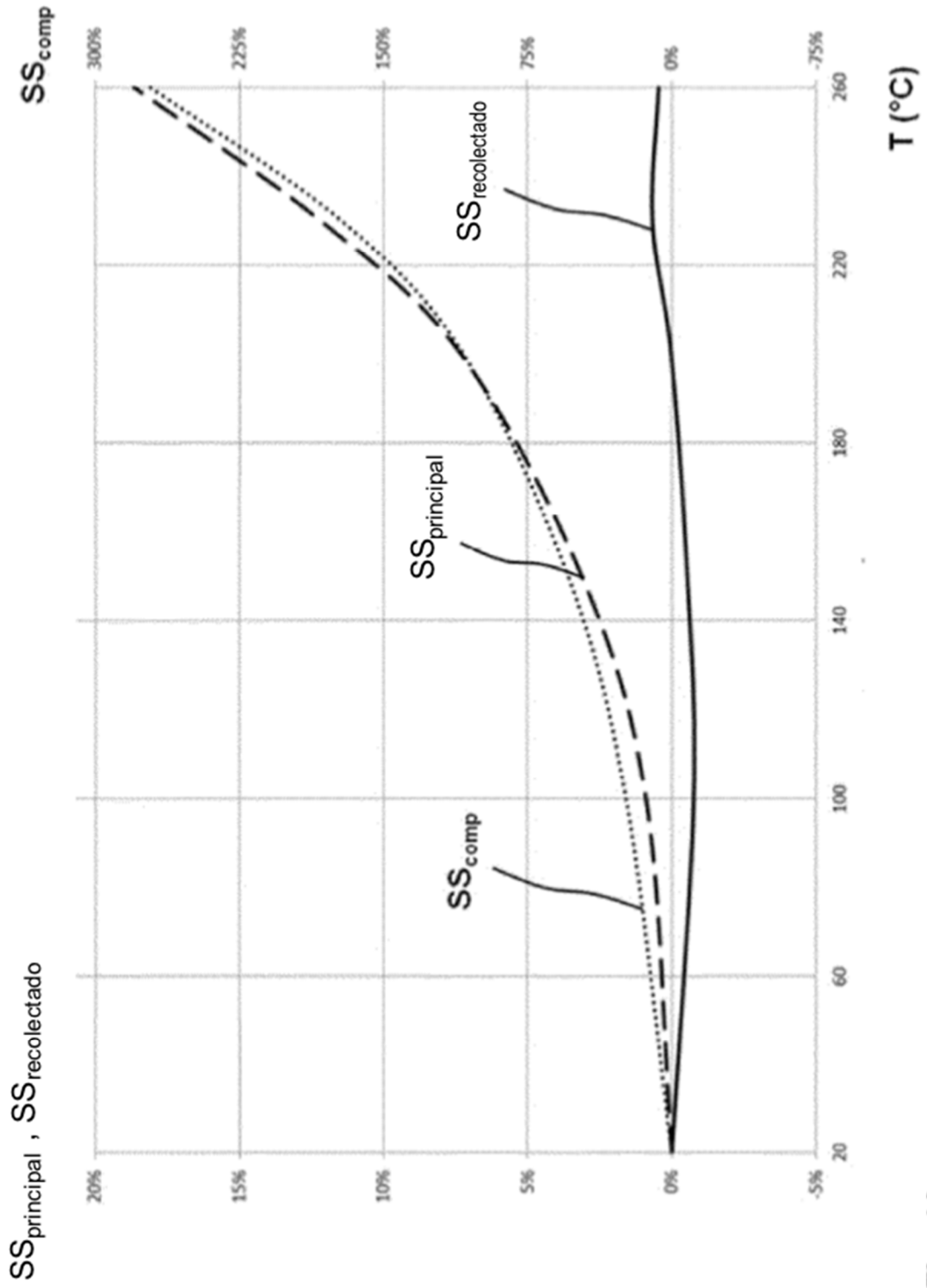


Fig. 10