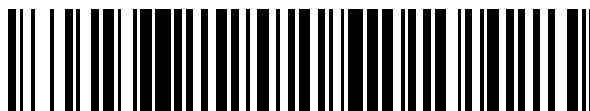


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 726 289**

51 Int. Cl.:

**G01L 1/18** (2006.01)

**G01L 1/20** (2006.01)

**G01L 1/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.07.2016 PCT/DE2016/100305**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2017 WO17008784**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.07.2016 E 16747437 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.02.2019 EP 3298371**

54 Título: **Método e instalación para la medición de fuerza eléctrica mediante capa delgada de aislamiento**

30 Prioridad:

**14.07.2015 DE 102015111425**

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

**03.10.2019**

73 Titular/es:

**KLEMM, JAN (100.0%)  
Im Zipfel 49  
36419 Geisa-Borsch, DE**

72 Inventor/es:

**KLEMM, JAN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 726 289 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Método e instalación para la medición de fuerza eléctrica mediante capa delgada de aislamiento

5 La invención se refiere a una instalación para la medición eléctrica de una fuerza que se genera entre al menos 2 electrodos de metal, en donde al menos una capa delgada de aislamiento actúa como elemento sensor cuya conductividad eléctrica describe una función clara y que se puede trazar de forma exacta de la fuerza que actúa.

10 En general, la invención se refiere al sector de la técnica de medición de fuerza, en donde, en comparación con el estado de la técnica, se alcanza una diversidad de aplicación novedosa al crearse una construcción simplificada de los sensores de fuerza sin cuerpo de deformación. En este caso, como característica de diseño se utiliza la aplicación de al menos una o varias capas delgadas de aislamiento homogéneas en las superficies planares o de forma libre de los elementos de transmisión de fuerza mecánicos, de manera que, entre los elementos de transmisión de fuerza aislados eléctricamente y los electrodos de metal se hace posible una construcción de sensor que genera, directamente y sin deformación significativa de estos elementos, una señal eléctrica en forma de una modificación de la tensión dependiente de la fuerza con una corriente dada que describe la ilustración biunívoca de alta resolución y constante para la fuerza que actúa sobre la trayectoria eléctrica y mecánica directa.

20 Por medio de esta tecnología se hace posible la creación de sensores con una alta estabilidad de temperatura, según la capa delgada de aislamiento elegida, y en un diseño miniaturizado, es decir, en el espacio constructivo de por debajo de un milímetro cúbico para la medición de fuerza en el rango de los milinewton y, además, en el macrodiseño tan grande como se desee en el rango de los newton a los meganewton, en donde, según la tarea de medición, se alcanza un diseño geométrico cualquiera de los elementos de transmisión de fuerza con capas delgadas de aislamiento aplicadas y una selección libre en cuanto al espacio constructivo, la dirección de actuación de la fuerza y las relaciones de transmisión mecánicas.

30 Por ejemplo, por medio de la selección libre de la conductancia mutua del cono del tronco cónico interior y exterior, sobre cuyas superficies laterales cónicas exteriores se aplicó una capa delgada de aislamiento, se hace posible una selección constructiva libre de la sensibilidad de medición que se desea alcanzar, en donde, según el diseño geométrico, se hace posible un sensor de tracción o de presión. Otro grado de libertad más en el caso del diseño mecánico y eléctrico de los sensores de fuerza es la selección del material, la construcción y la composición química de la capa delgada de aislamiento, o bien del sistema de capas, la cual se aplica sobre los elementos de transmisión de fuerza, en donde la estabilidad de temperatura, la sensibilidad de medición de la capa delgada de aislamiento se puede elegir libremente según los requisitos de la tarea de medición. También se hace posible el diseño de combinaciones más grandes y miniaturizadas de varios sensores de fuerza mediante capas delgadas de aislamiento en la versión de una unidad de sensor combinada para, por ejemplo, registrar sin interacciones el efecto de la fuerza y la dirección de la fuerza con respecto a las 3 dimensiones espaciales anchura (componente x), longitud (componente y), profundidad (componente z) en el espacio.

40 En general, del estado de la técnica y las primeras publicaciones, las cuales se conocieron ya en torno a 1920, se conoce suficientemente el efecto piezorresistivo. El efecto piezorresistivo describe una modificación de la resistencia eléctrica del material por medio de un efecto de la presión y de la fuerza exterior alto. En el caso de todos los materiales que son conductores de electricidad de mínimo a mucho, se produce este efecto; sin embargo, la sensibilidad a la presión de los semiconductores con respecto a los metales es mucho mayor. En principio, se debe determinar que esta sensibilidad a la presión se puede aumentar mediante el efecto de la fuerza exterior en función de la modificación de la resistencia al ajustarse específicamente en el caso de los semiconductores la orientación del monocristal, esto significa la dirección del flujo de corriente eléctrica, y la dotación con átomos ajenos en el material de base.

50 El efecto piezorresistivo también se debe observar en el ejemplo de capas de carbono amorfas con una estructura reticular similar al diamante tal como ésta se describe en la patente DE 199 54 164 B4, en donde se debe determinar que las fuerzas del efecto piezorresistivo no sólo se pueden influenciar, en el caso de las capas de carbono amorfas, por medio de la composición química específica y el diseño de la estructura reticular, sino que, en el caso de otras capas delgadas, o bien sistemas de capas de varias capas, las así denominadas capas multilayer, tal como éstas pueden ser, por ejemplo, aluminio-titanio-nitrito, aluminio-cromo-nitrito, circonio-óxido-nitrito o aluminio-cromo-nitrito-óxido y muchas otras más, también se puede alcanzar una alta intensificación del efecto piezorresistivo por medio de la integración de átomos ajenos, o bien estructuras moleculares, como núcleos en una capa de base de nanocompuestos. Es decir, la sensibilidad de la modificación de la resistencia eléctrica con respecto a la medida de la fuerza o presión que actúa mecánicamente desde afuera se aumenta muy intensamente, ya que, según la combinación de materiales y los centros de recombinación aplicados en los semiconductores, en función de la presión se liberan portadores de carga adicionales en forma de iones y/o electrones. Este efecto se conoce ya desde 1920; sin embargo, el progreso técnico y el perfeccionamiento para la aplicación y la fabricación de sistemas de capas produce combinaciones de materiales y sistemas de capas novedosos que, por un lado, se deben aplicar en los materiales más diversos como, por ejemplo, superficies de metal, de cristal o de plástico, y, por otro lado, presentan una composición de materiales que, en lo referente a las propiedades eléctricas, se aproximan a los semiconductores.

Sin embargo, tales capas piezorresistivas presentan una deriva de la resistencia en función de la temperatura que, como modificación de la resistencia dependiente de la temperatura relativa, se sitúa en el rango de -0,4 por ciento a aproximadamente -1,2 por ciento por kelvin de incremento de temperatura, tal como esto también está descrito en el estado de la técnica. Tales capas y estructuras permiten, por ejemplo, el diseño de elementos componentes electrónicos discretos y circuitos en materiales de base planares, por ejemplo, cristal, tal como estos se utilizan en la fabricación de pantallas planas modernas. Tales superficies recubiertas se caracterizan asimismo por una estabilidad mecánica extrema por encima de los metales duros, con una resistencia a la presión de por encima de 2 gigapascales y una estabilidad de temperatura en el rango de menos 100 grados Celsius hasta 1200 grados Celsius, según la selección del cuerpo de base y del sistema de capas aplicado.

El documento DE 10 2010 024 808 A1 describe una construcción de sensor, con una capa delgada de carbono piezorresistiva con disposición estructurada y un sistema electrónico de medición. Se utilizan exclusivamente capas de carbono (DLC - diamond like carbon). Tales capas son de muy baja impedancia. La capa funcional piezoeléctrica está estructurada, lo que conlleva unos altos costes de fabricación para la creación de las superficies de entrada de fuerza. Adicionalmente, la capa funcional de DLC está recubierta con una capa de protección contra el desgaste que puede provocar perturbaciones en la disposición de medición. El documento US 2003/0164047 A1 describe un sensor de fuerza con un elemento de registro de fuerza y un elemento de compensación de temperatura, en donde estos dos elementos están fabricados a partir del mismo material y presentan las mismas dimensiones.

El documento DE 102 53 178 A1 describe el uso de una capa de carbono similar al diamante como sensor de temperatura, el cual se utiliza preferiblemente en áreas solicitadas tribológicamente de máquinas. Además, se menciona la posibilidad de una medición de la temperatura y la presión simultánea en distintas áreas de capas localmente.

Las desventajas mostradas del estado de la técnica mencionado al principio se superan, por lo menos parcialmente, por medio de la invención según la reivindicación 1.

#### Relación de anexos

Figura 1: vista de sección de la célula de medición de fuerza de capa delgada de aislamiento con capa delgada de aislamiento de referencia para la compensación de temperatura como medio puente de medición eléctrico.

Figura 2: vista de sección de la célula de medición de fuerza de capa delgada de aislamiento con capa delgada de referencia para la compensación de temperatura como medición de la resistencia.

Figura 3: vista de sección de la célula de medición de fuerza de capa delgada de aislamiento con capa delgada de aislamiento de referencia para la compensación de temperatura en versión doble como puente de medición completo de alta sensibilidad.

Figura 4: vista de sección de la célula de medición de fuerza de capa delgada de aislamiento para el registro simultáneo de dos direcciones de fuerza  $F_x$  y  $F_y$  y con capa delgada de aislamiento de referencia para la compensación de temperatura como medición de la resistencia multicanal eléctrica.

Figura 5: construcción y circuito de medición de un sensor de fuerza de capa delgada de aislamiento N-dimensional con circuito de medición multiplicado por n veces con capa delgada de aislamiento de referencia multicanal para la compensación de temperatura; Arriba - vista de sección de un segmento de sensor de capa de aislamiento 2D; Abajo - disposición de segmento giratoria como ejemplo de realización que se compone de  $n = 4$  veces bloques de sensor 2D y  $4 \times 2 = 8$  canales de medición para medir la dirección de la fuerza y su cantidad en función de los componentes. Leyenda: E1-1 y E1-2: ángulo de giro del par de electrodos  $F_y + F_x$  de  $0^\circ$ ; E2-1 y E2-2: ángulo de giro del par de electrodos  $F_y + F_x$  de  $45^\circ$ ; E3-1 y E3-2: ángulo de giro del par de electrodos  $F_y + F_x$  de  $90^\circ$ ; E4-1 y E4-2: ángulo de giro del par de electrodos  $F_y + F_x$  de  $135^\circ$ .

Figura 6: línea característica de resistencia de la fuerza de la célula de medición de capa delgada de aislamiento que se compone de un electrodo de metal duro no recubierto y un electrodo de metal duro recubierto del tipo\_01.

Figura 7: línea característica de resistencia de la fuerza de la célula de medición de capa delgada de aislamiento que se compone de un electrodo de metal duro no recubierto y un electrodo de metal duro recubierto del tipo\_03.

Figura 8: línea característica de resistencia de la fuerza de la célula de medición de capa delgada de aislamiento que se compone de un electrodo de metal duro no recubierto y un electrodo de metal duro recubierto del tipo\_01.

Figura 9: línea característica de resistencia de la fuerza de la célula de medición de capa delgada de aislamiento que se compone de dos electrodos de metal duro no recubiertos, es decir, la resistencia entre las superficies de contacto se sitúa, en el rango de los miliohmios de abajo, en  $\pm 1$  mohmio.

Figura 10: línea característica de resistencia de la fuerza de la célula de medición de capa delgada de aislamiento que se compone de dos electrodos de metal duro no recubiertos, es decir, la resistencia entre las superficies de contacto se sitúa, en el rango de los miliohmios de abajo, en  $\pm 1$  mohmio.

Figura 11: línea característica de resistencia de la fuerza de la célula de medición de capa delgada de aislamiento que se compone de dos electrodos de metal duro cubiertos de distinta rugosidad [SiC\_05 pulido en SiC\_03 sin pulir].

Figura 12: línea característica de resistencia de la fuerza de la célula de medición de capa delgada de aislamiento que se compone de dos electrodos de metal duro cubiertos de distinta rugosidad [SiC\_05 pulido en SiC\_03 sin pulir].

5 En general, la invención se refiere a una instalación para la medición eléctrica de una fuerza  $F$  que actúa al menos entre dos electrodos de metal 1 y electrodo de metal 3 prensados. Los electrodos de metal son de metal duro, acero o capas de metal de baja impedancia en cuerpos de cerámica, de cristal o de plástico con una resistencia eléctrica en el rango de pocos miliohmios a menos que o igual a diez ohmios y con una profundidad de rugosidad media  $R_a$  de menos que o igual a 400 nanómetros y tienen una conductividad independiente de la fuerza en las superficies de contacto. La fuerza actúa directamente sobre una capa delgada de aislamiento 2 o una capa delgada de aislamiento multicapas 2 que está dispuesta con encaje geométrico entre un electrodo de metal 1 y un electrodo de metal 3, la cual está formada por óxido de zinc u óxido de aluminio reducido estocásticamente  $Al_2O_x$ , en donde  $x=2,4$  a  $x=2,8$  o carburo de silicio o capa DLC [diamond like carbon], con una deformación relativa mínima en el rango igual a o menor que 0,1 por mil del electrodo de metal 1 y electrodo de metal 3. Un electrodo de metal de referencia 4, el cual está dispuesto independientemente del flujo de fuerza que se desea medir y que está fijado bajo una fuerza de sujeción constante de un elemento de sujeción 5, actúa eléctricamente, por medio de la capa delgada de aislamiento 2 idéntica en términos constructivos o la capa delgada de aislamiento multicapas 2, con un comportamiento físico exactamente igual sobre el electrodo de metal 3, de manera que esta resistencia de referencia de la capa delgada de aislamiento entre el electrodo de metal 3 y el electrodo de metal 4 se utiliza, bajo una fuerza de compresión constante para la compensación de temperatura completa de la disposición de medición, como medio puente o puente completo al fluir en el circuito de corriente en acoplamiento en serie por el electrodo de metal 1 a través de la capa delgada de aislamiento 2 hacia el electrodo de metal 3 a través de la capa delgada de aislamiento 2 hacia el electrodo de metal 4 una corriente definida de una fuente de corriente 6 de alta precisión, de manera que debido a la capa delgada de aislamiento entre el electrodo de metal 1 y el electrodo de metal 3 desciende una tensión 8 dependiente de la fuerza  $y$ , entre el electrodo de metal 3 y el electrodo de metal 4 de una capa delgada de aislamiento 2 que se desea referenciar, una tensión de referencia 9 cuya relación de tensiones es independiente de la temperatura, en donde la tensión del puente resultante del puente de medición o la relación de tensiones medidas directamente define una función constante, de alta resolución y que se puede describir y reproducir de manera exacta para la fuerza que actúa independientemente de la temperatura de funcionamiento de la instalación para la medición eléctrica de una fuerza, en donde la relación de tensiones compensadas térmicamente o la tensión del puente medida se suministran directamente a una unidad de evaluación y procesamiento de señales por medio de una conexión eléctrica, de manera que se alcanza una construcción desacoplada eléctricamente y mecánicamente robusta de la instalación de medición de fuerza de conformidad con la invención. Una geometría de los electrodos de metal 1, 2 y 3 se puede elegir libremente en forma de superficies planares o superficies de forma libre.

35 Una forma de realización de la instalación se caracteriza por que, en el caso de la fabricación de las superficies de contacto de los al menos dos electrodos de metal de una rugosidad de superficie media  $R_a$  menor que o igual a 400 nanómetros, se alcanza un encaje geométrico en el rango de menos de 4 micrómetros por toda la superficie de contacto, por lo que la resistencia eléctrica entre las superficies de contacto de los al menos dos o varios electrodos de metal 1 y electrodos de metal 3 y electrodos de metal 4 sin capa delgada de aislamiento, la cual se fabrica, por ejemplo, a partir de metal duro o acero muy resistente, o moldeo por inyección de polvo de metal, o capas de metal de baja impedancia sobre cuerpos de cerámica, de cristal o de plástico con una resistencia eléctrica en el rango de pocos miliohmios a menos que o igual a diez ohmios, independientemente de la fuerza que actúe, bajo la cual se presanan estos cuerpos de metal, permanece constante dentro de la banda de tolerancia de más menos 3 miliohmios y, según el metal utilizado y el contenido de superficie de la superficie de contacto, se ajusta en el rango entre 20 miliohmios a, como máximo, 160 miliohmios, por lo cual se cumple el requisito metrológico de que exclusivamente la capa delgada de aislamiento 2 demuestra tener una modificación de la resistencia dependiente de la fuerza.

50 Una forma de realización de la instalación se caracteriza por que la capa delgada de aislamiento 2 se aplica sobre electrodos de metal duro, electrodos de acero o electrodos con capa de metal sobre cuerpos de cerámica, de cristal o de plástico con una resistencia eléctrica en el rango de pocos miliohmios a menos que o igual a diez ohmios, de manera que el cuerpo base de los electrodos del electrodo de metal 1 y el electrodo de metal 3 y el electrodo de metal 4 presenta al menos una estabilidad igual a o mayor que la capa delgada de aislamiento 2, por lo cual la deformación y el deterioro de la capa delgada de aislamiento se puede evitar, con respecto al material de base, mediante presionado o desconchado, y que la disposición de medición no se deforma, o de forma extremadamente mínima, por medio del efecto de la fuerza, es decir, con una deformación relativa de menos de 0,1 por mil, de manera que todo el sistema de medición de fuerza funciona sin modificación de la trayectoria debido a las deformaciones de los electrodos de metal 1, de los electrodos de metal 3 y los electrodos de metal 4 mecánicos y, por lo tanto, el efecto de la fuerza sobre la capa delgada de aislamiento se traslada a una modificación de la resistencia directa, la cual es una función clara, de alta resolución y constante de la fuerza.

65 Una forma de realización de la instalación se caracteriza por que los elementos de transmisión mecánicos se fabrican como electrodos de metal 1, electrodos de metal 3 y electrodos de metal 4 para la retransmisión de la fuerza entre los puntos de acción de fuerza exteriores para la capa delgada de aislamiento 2 de la instalación de medición de fuerza y la capa delgada de aislamiento de referencia 2 que está dispuesta entre los electrodos de metal 3 y los electrodos de metal 4, a partir de aceros de alta resistencia o metales duros, moldeo por inyección de

polvo de metal, materiales cerámicos o de cristal con aplicación de capas de alta resistencia especiales, o bien sistemas de capas, las cuales están formadas por carburo de silicio, DLC [diamond like carbon], óxido de zinc u óxido de aluminio reducido estocásticamente  $Al_2O_x$  con una relación de oxígeno de x igual a o mayor que 2,4 a 2,8, por lo cual se alcanza una robustez química y mecánica muy alta, una estabilidad de forma y libertad de desgaste de los elementos de la célula de medición, que se compone de los electrodos de metal 1, los electrodos de metal 3 y los electrodos de metal 4 y la capa delgada de aislamiento 2, y ésta resiste a una carga térmica de la capa delgada de aislamiento 2 y del contacto eléctrico para el circuito de evaluación de medición de los componentes (6, 7, a 17) cerca de la instalación de medición con una distancia espacial menor que o igual a 200 milímetros, de manera que la disposición de medición se opera en el rango de temperatura de por debajo de  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en donde muchas más de cientos de miles de histéresis no provocan ninguna modificación de la función de la resistencia de la fuerza clara de la capa delgada de aislamiento 2 o la capa delgada de aislamiento multicapas 2.

Una forma de realización de la instalación se caracteriza por que la célula de medición de fuerza que se compone de los electrodos de metal 1, los electrodos de metal 3 y los electrodos de metal 4 y al menos una capa delgada de aislamiento 2 se realiza como aplicaciones de alta temperatura en el rango de temperatura de  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en el caso concreto hasta  $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por medio del uso de una conexión eléctrica resistente a la temperatura entre la capa delgada de aislamiento 2 y la unidad de evaluación electrónica de los componentes (6, 7 a 17), en donde los conductores metálicos y el aislador y las superficies de contacto del sistema de conexión resisten la temperatura hasta  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  con longitudes del conductor mayores que 20 milímetros a 5 metros mediante la selección específica del sistema de capas de aislamiento 2 [SiC,  $Al_2O_x$ , ZnO].

Una forma de realización que está diseñada en una construcción compacta y miniaturizada para la medición eléctrica de una fuerza F en el rango de los milinewton a los meganewton se caracteriza por que una construcción que se puede cargar dinámicamente y robusta del sistema de medición de fuerza se alcanza por medio de la construcción mecánica de los electrodos de metal 1, los electrodos de metal 3 y los electrodos de metal 4, en donde la profundidad de rugosidad media Ra de las superficies de contacto del electrodo de metal 1 y las superficies de contacto del electrodo de metal 4 es más rugosa en la relación 30:1 a 2:1 en comparación con la profundidad de rugosidad media de los electrodos de metal 3 de Ra igual a o menor que 200 nanómetros; por lo cual se establece de manera específica el aumento de la línea característica de resistencia de la fuerza de forma específica para la aplicación al provocar una relación de rugosidad 1:1 de los electrodos un aumento fundamentalmente mínimo de la línea característica de resistencia de la fuerza, en comparación con una relación mayor de X:1 con X = 1,5 a 30,0 que provoca un aumento fundamentalmente notable de la línea característica de resistencia de la fuerza. Además, el diseño de la superficie de contacto de los electrodos de metal se realiza como pieza moldeada, en donde se utilizan superficies planares o superficies de forma libre con una rugosidad de superficie definida que aumenta la fuerza de adhesión de los recubrimientos de alta resistencia en las superficies de transmisión de fuerza, por lo cual se alcanza una estabilidad de la capa delgada de aislamiento 2 o de la capa delgada de aislamiento multicapas 2 y el cuerpo base del electrodo de metal 1, del electrodo de metal 3 y el electrodo de metal 4 de la capacidad de carga de presión de los metales duros hasta 2 gigapascales o aceros muy resistentes hasta 1,2 gigapascales. Por medio de la selección del método de fabricación de la capa delgada de aislamiento 2 en cuanto a la selección del material y el tratamiento del material con técnicas de recubrimiento disponibles se establecen valores característicos de la resistencia específicos o áreas de trabajo del comportamiento de aislamiento dependiente de la fuerza en el rango de los miliohmios, los ohmios hasta varios cientos de kiliohmios, las cuales funcionan, en una pequeña construcción, con un espacio constructivo de pocos milímetros cúbicos para el rango de los milinewton, en un tamaño constructivo medio, en el rango de hasta cien centímetros cúbicos en el rango de los newton a kilonewton y, en una construcción grande, por debajo de un metro cúbico en el rango de los meganewton.

Una forma de realización de la instalación se caracteriza por que la instalación de medición de los elementos (1, 2, 3 a 17) se opera eléctricamente, por medio de la combinación de varias capas delgadas de aislamiento 2 o capas delgadas de aislamiento multicapas 2, también denominadas capas multilayer, como puente de medición medio o completo, de manera que, por medio del circuito eléctrico, la sensibilidad de medición se puede aumentar de manera específica múltiples veces. Por medio de respectivamente uno o varios electrodos de metal de referencia 4 por cada célula de medición de fuerza se compensa completamente la desviación de la resistencia debida a la temperatura. Además, una disposición espacial de la una combinación de células de medición que se compone de electrodos de metal 1 y electrodos de metal 3, capas delgadas de aislamiento 2 y electrodos de metal de referencia 4 en la dirección del efecto de la fuerza que se desea medir y una segunda disposición espacial de los elementos (1, 2, 3 y 4) de la segunda combinación de células de medición en la dirección del componente de fuerza que se desea perturbar, el cual se provoca en el sistema, por ejemplo, como oscilación superpuesta mecánica, permite el funcionamiento de un medio puente, o bien puente completo, como circuito diferencial eléctrico, de manera que las señales de perturbación se pueden reducir o compensarse por completo por medio de oscilaciones mecánicas parasitarias.

Una forma de realización de la instalación se caracteriza por que la instalación de medición se opera eléctricamente mediante la combinación de varias capas delgadas de aislamiento (2.1 corresponde al canal uno y 2.2 corresponde al canal dos) o capas delgadas de aislamiento multicapas (2.1, 2.2 a 2.n), también denominadas capas multilayer, como conexión en serie-paralelo de varios canales de medición por medio de varios puentes medios o puentes completos, cuya disposición espacial o geométrica está diseñada de tal manera que las fuerzas que se deben medir

se pueden determinar simultáneamente como magnitud vectorial exacta en cantidad y dirección por cada canal de medición asignado por medio del registro separado del efecto de la fuerza como componentes vectoriales en las al menos tres dimensiones espaciales del Sistema de Coordenadas Cartesiano con anchura X, longitud Y, altura Z y/o, adicionalmente, en el Sistema de Coordenadas Polar de los ejes giratorios en torno al vector de la normal del plano X-Y, el eje Z y otro eje giratorio, los cuales describen de manera biunívoca el ángulo de inclinación con respecto al plano X-Y.

Una forma de realización de la instalación se caracteriza por que, aunque se crean construcciones mecánicas tanto fáciles como también complejas de los elementos electrodos de metal 1, capas delgadas de aislamiento 2, electrodos de metal 3 y electrodos de metal de referencia 4 como instalación de medición de fuerza eléctrica, las cuales se construye mediante capas delgadas de aislamiento 2 como combinación de una o varias instalaciones de medición de fuerza eléctricas, que se componen de capas simples (2) o multicapas (2, o bien 2.n), también denominadas capas multilayer, que se aplican sobre algunas pocas piezas moldeadas como superficies planas o de forma libre en una macroconstrucción, es decir, en el rango mayor que 10 mm como también como miniaturización en una microconstrucción, es decir, en el rango de los submilímetros, en donde varios elementos componentes de metal y/o cerámica o de cristal están dispuestos por unión forzada y/o con encaje geométrico y registran con temperatura compensada momentos como también fuerzas, en donde, por medio de la aplicación de capas de aislamiento de alta impedancia en el rango de los megohmios, estos elementos componentes se operan aislados eléctricamente con alta impedancia con respecto al entorno exterior y aislados eléctricamente de manera suficiente el uno del otro y desacoplados mecánica como también eléctricamente el uno del otro sin interacciones como electrodos de metal 1, 3 y 4.

Una forma de realización de la instalación se caracteriza por que la determinación de la sensibilidad de medición de la instalación de medición de fuerza eléctrica se define en relación con el rango de medición de fuerza en el rango de los milinewton a los meganewton, y que, además, la dirección de la fuerza se fija por medio del diseño geométrico constructivo de los electrodos de metal 1, los electrodos de metal 3 y los electrodos de metal de referencia 4 al construirse y fabricarse estos como cuerpos que se pueden juntar de geometrías de regla que se pueden elegir libremente como molde positivo o negativo, cuya desviación del molde es menor que o igual a 6 micrómetros con una profundidad de rugosidad media de la superficie de contacto del electrodo de Ra menor que o igual a 400 nanómetros, como, por ejemplo, como tronco cónico interior y tronco cónico exterior de superficies laterales con igual forma para medir fuerzas de tracción o de presión, sobre cuya superficie lateral se aplica la capa delgada de aislamiento 2, en donde el ángulo del cono y, por lo tanto, la relación de transmisión mecánica de la célula de medición de presión o de tracción se puede elegir libremente. Además, por medio de superficies cilíndricas puestas la una dentro de la otra de cilindros exteriores e interiores con capas delgadas de aislamiento aplicadas sobre la superficie lateral cilíndrica se logra la comprobación de la fuerza de tensión radial y, por lo tanto, la capacidad de transmisión de fuerza radial y axial de las juntas de contracción se mide directamente entre los sistemas de tensión cilíndricos, en donde ésta demuestra ser lineal como efecto de la fuerza entre ambos cuerpos. En otro ejemplo de aplicación, para la libertad de diseño constructiva de este sistema de medición es posible la medición directa de fuerzas de tracción o de presión con ayuda de cilindros truncados, en donde la capa delgada de aislamiento 2 de las dos o varias piezas moldeadas se aplica sobre la superficie frontal de los anillos cilíndricos y, por lo tanto, la fuerza de tracción o de presión que actúa axialmente de las piezas moldeadas prensadas demuestra ser lineal de forma directa y lineal, y también se hace posible la medición directa de momentos de torsión a través de una superficie de construcción plana entre los electrodos de metal 1 y los electrodos de metal 3 y la capa delgada de aislamiento 2 alojada en medio, cuyo vector de la normal apunta tangencialmente a la dirección de giro, de las piezas moldeadas con simetría de rotación que se engranan la una dentro de la otra, en donde la capa delgada de aislamiento se aplica sobre una superficie plana o superficie de forma libre de un eje, cuyo vector de la normal apunta en la dirección de la fuerza que se desea medir, la cual actúa en el perímetro cilíndrico de ambos cuerpos como torsión.

Una forma de realización de la instalación se caracteriza por que los electrodos de metal están aislados eléctricamente el uno del otro por medio de una o varias capas delgadas de aislamiento (2 o 2.n) y están configurados mecánicamente como geometría de regla o geometría de forma libre de tal manera que es posible al menos una medición simultánea de dos canales o multicanal de las fuerzas de presión y de tracción al realizarse la aplicación de la capa delgada de aislamiento sobre la superficie perimetral de dos troncos cónicos unidos el uno con el otro sobre la superficie externa del, respectivamente, electrodo interior, los cuales se montan con respecto al cerramiento exacto, es decir, con una rugosidad de superficie de una profundidad de rugosidad media menor que 400 nanómetros y una tolerancia de forma menor que 6 micrómetros como dos electrones exteriores aislados eléctricamente el uno del otro, en donde no tiene lugar ninguna deformación o ninguna deformación relativa extremadamente mínima menor que 0,01 por mil de los, por ejemplo, electrodos de metal 1, electrodos de metal 3 y electrodos de metal de referencia 4 fabricados a partir de metal duro, y la capa delgada de aislamiento 2 en el tronco cónico con la punta en la dirección del efecto de la fuerza mide una fuerza de presión y el tronco cónico con la punta en contra del efecto de la fuerza mide la fuerza de tracción y, por lo tanto, esta instalación de medición de fuerza eléctrica posibilita simultáneamente una medición de fuerza de las direcciones de la fuerza opuestas como fuerzas que actúan positiva y negativamente.

En el caso de la medición eléctrica de una fuerza mediante la capa delgada de aislamiento 2 utilizando la instalación

descrita anteriormente, como fuente de corriente 6 se utiliza un generador de señales electrónico preciso que, o bien funciona en el modo de funcionamiento como fuente de corriente continua regulada o bien, además, funciona en el modo de funcionamiento como fuente de señales de corriente alterna, de manera que al circuito de medición de la resistencia se le suministran señales de corriente de salida que se pueden utilizar como referencia exacta y claramente definidas en forma de, por ejemplo, señales sinusoidales, rectangulares o triangulares con amplitudes y frecuencias que se pueden elegir libremente. Además, un circuito de evaluación y procesamiento de señales se ajusta al modo de funcionamiento respectivo, de manera que, según el caso de aplicación, se suprimen o compensan de manera específica perturbaciones eléctricas del entorno, es decir, fuertes campos eléctricos o electromagnéticos, de manera selectiva mediante el filtrado de señales por medio del filtro de banda o bloqueo de banda, cuyas frecuencias límite se diseñan en función del caso de aplicación. Igualmente, en el funcionamiento de impulso-pausa se realiza una reducción del consumo de energía de una disposición de medición tal a más de 2 a 4 potencias de diez.

La dinámica del sistema de medición de fuerza de capas delgadas que se compone de los electrodos de metal 1, las capas delgadas de aislamiento 2, los electrodos de metal 3 y los electrodos de metal de referencia 4 o la combinación de instalaciones de medición de fuerza eléctricas mediante capas delgadas de aislamiento de los elementos (1, 2, 3, y 4) ofrece una solución temporal en el rango de los megahercios de las trayectorias de la fuerza, que se realiza exclusivamente por medio del diseño de las capas delgadas de aislamiento 2 y las capas delgadas de referencia 4 como resistencia de medición de baja impedancia en el rango menor que o igual a cien ohmios a un ohmio. De esta manera, se consigue un aumento de las corrientes de medición y, en especial, de la pendiente del flanco de la tensión de medición comprobada, la cual se comprueba como caída de tensión por medio de la resistencia de la capa delgada de aislamiento, y se logra en el rango de abajo de los micronanosegundos a las decenas de nanosegundos. Esto realiza el ajuste eléctrico del sistema electrónico de medición para registrar las caídas de la tensión por medio de las capas delgadas de aislamiento (2, o bien 2n) con una resolución de hasta, como mínimo, el rango de los microvoltios de tres cifras con un retraso por debajo de los ochocientos nanosegundos, de manera que la capacidad de rendimiento de todo el sistema de medición se determina con respecto al comportamiento temporal y la sensibilidad exclusivamente por medio de este ajuste y, por lo tanto, se hace posible la medición de fuerza libre de deformación y de alta resolución temporalmente, la cual se lleva a cabo, por ejemplo, en los cojinetes de las turbinas o generadores de alta corriente.

Los elementos de transmisión mecánicos para la retransmisión de fuerza a los electrodos de metal 1, los electrodos de metal 3 y los electrodos de metal de referencia 4 entre el punto de acción de la fuerza exterior en la capa delgada de aislamiento 2 están fabricados a partir de plásticos resistentes o materiales compuestos de alta resistencia como piezas moldeadas, en donde el sistema de medición de fuerza eléctrico se crea por medio de la aplicación de capas de metal de alta resistencia como electrodo de metal conductor de electricidad de los elementos (1, 3 y 4), la aplicación de las capas delgadas de aislamiento (2, o bien 2.n) sobre estos electrodos de metal (1, 3 y 4) y, además, como contacto eléctrico de baja impedancia de estos electrodos con el sistema de medición electrónico en el rango de la resistencia menor que cincuenta miliohmios de los elementos (6, 7 a 17) sobre el material de base del cuerpo base del electrodo de plástico o material compuesto de los electrodos (1, 3 y 4).

Los electrodos de metal 1, los electrodos de metal 3 y los electrodos de metal 4 están aislados eléctricamente el uno del otro por medio de una capa delgada de aislamiento 2, de manera que la capacidad y/o la resistencia de esta célula de medición eléctrica que se compone de los elementos (1, 2, 3 a 17) representa una función clara y constante de la fuerza de presión que actúa, la cual actúa desde afuera sobre la célula de medición, en donde, para la medición eléctrica de la capacidad C o de la impedancia Z dependiente de la fuerza, como fuente de corriente se utiliza un generador de señales electrónico preciso que funciona como fuente de señales de corriente alterna regulada en el modo de funcionamiento, de manera que al circuito de medición de capacidad o de impedancia se le suministran señales de corriente de salida que se pueden utilizar como referencia exacta y claramente definidas en forma de, por ejemplo, señales sinusoidales, rectangulares o triangulares con amplitudes y frecuencias que se pueden elegir libremente y excitar a éstas como circuito oscilante en la frecuencia de resonancia, en donde, por medio de la fuerza que actúa entre los electrodos de metal (1, 3 y 4) el circuito oscilante se desajusta por medio de la modificación de la capacidad y/o la impedancia, e igualmente se reduce la amplitud de la señal de medición de tensión alterna por medio de la resistencia capacitiva-resistiva de la capa delgada de aislamiento 2, cuya trayectoria describe una función biunívoca y constante en comparación con la fuerza de presión que actúa y el circuito de evaluación y procesamiento de señales electrónico, por medio de filtros de bloqueo de banda o filtros pasabanda específicos para la aplicación, transforma la supresión o compensación casi completa de las señales de perturbación como consecuencia de oscilaciones mecánicas parasitarias o campos eléctricos del entorno.

Los electrodos de metal 1, los electrodos de metal 3 y los electrodos de metal 4 están aislados eléctricamente el uno del otro por medio de una capa delgada de aislamiento, de manera que la impedancia Z, es decir, la resistencia de la corriente alterna inductiva o la resistencia de la corriente alterna capacitiva, representa, para esta célula de medición eléctrica, una función clara y constante de la fuerza de presión que actúa, la cual actúa desde afuera sobre la célula de medición, en donde, para la medición eléctrica de la inductividad L o la capacidad C dependiente de la fuerza como fuente de corriente se utiliza un generador de señales electrónico preciso que funciona como fuente de señales de corriente alterna regulada en el modo de funcionamiento, de manera que al circuito de medición de la capacidad o de la inductividad se le suministran señales de corriente de salida que se pueden utilizar como

referencia exacta y claramente definidas en forma de, por ejemplo, señales sinusoidales, rectangulares o triangulares con amplitudes y frecuencias que se pueden elegir libremente y excitan a éstas como circuito oscilante en la frecuencia de resonancia.

5 De conformidad con la invención, la medición de fuerza se soluciona, tal como éstas están representadas como ejemplos de realización en la figura 1, la figura 2 y la figura 3, al aplicarse, entre al menos dos elementos de transmisión de fuerza (1 y 3) mecánicos que se realizan como electrodos aislados eléctricamente el uno del otro, una capa delgada de aislamiento (2) cuya resistencia eléctrica es una función que se puede trazar claramente de la fuerza  $F$  que actúa y que, además, está dispuesto un electrodo de metal de referencia (4) en las proximidades constructivas por afuera del flujo de fuerza, cuyo soporte fija estos electrodos (4) bajo una fuerza de sujeción constante con respecto al electrodo fuente (3).

15 Por lo tanto, se pueden construir un medio puente o puente completo que compensa completamente la dependencia de temperatura de la disposición de medición, por lo cual la tensión del puente resultante describe una función que se puede trazar biunívocamente del efecto de la fuerza entre los electrodos (1 y 3) independientemente de la temperatura ambiente. Para ello, los al menos dos electrodos (1 y 3), o bien los electrodos fuente comunes ( $E_q$ , o bien 3) y sus electrodos sensores ( $E_n$ ) colindantes, se conectan eléctricamente con la fuente de corriente (6), de manera que la corriente  $I_q$  dada y conocida de la fuente de corriente (6) regulada, la cual se mide mediante el medidor de corriente (7) como corriente  $I$ , de manera que, por medio de la capa delgada de aislamiento, actúa una caída de tensión  $U$ , o bien  $U_n$ , en el caso del sensor multidimensional, la cual se mide mediante el medidor de tensión (8) con alta resolución y se transmite, con respecto a uno o varios electrodos de medición de referencia (4, o bien  $U.ref(n)$ ), utilizando un medio puente o puente completo como tensión del puente, en donde se alcanza una compensación completa de la dependencia de temperatura de la resistencia de capas delgadas de aislamiento, o bien de la disposición de medición.

25 En comparación con las soluciones conocidas hasta ahora de sensores de medición de fuerza y, entre otras cosas, haciendo referencia a la patente DE 199 54 164 B4 y el documento DE 10 2006 019 942 A1, hay que objetar que:

- 30 • Ninguna disposición de medición de fuerza sobre la base de sistemas de capas delgadas de aislamiento piezorresistivos que se describen en el estado de la técnica incluye una instalación para compensar de manera precisa y completa la deriva de la resistencia de aislamiento.
- Se aplican distintos tipos de capas delgadas de aislamiento y sistemas de capas multicapas con comportamiento de semiconductor, en donde cuya sensibilidad en relación con la conductividad eléctrica dependiente de la fuerza, o bien resistencia eléctrica, de manera específica por medio de métodos de fabricación especiales, combinaciones de materiales químicas y la colocación de puntos de perturbación que liberan portadores de carga eléctricos adicionales que aumentan considerablemente el efecto piezorresistivo dependiente de la fuerza. Ejemplos de tales capas delgadas de aislamiento, o bien combinaciones de capas delgadas de aislamiento, son aluminio-titanio-nitrito, aluminio-cromo-nitrito, circonio-óxido-nitrito o aluminio-cromo-nitrito-óxido y muchos más que, como semiconductores, presentan una gran sensibilidad de la modificación de la resistencia dependiente de la fuerza.
- 35 • Los elementos de transmisión de fuerza mecánicos están diseñados, en cuanto a geometría y selección del material, de tal manera que no tiene lugar ninguna modificación de la geometría o deformación que se pueda desdeñar de los elementos de transmisión de fuerza mecánicos y, por lo tanto, la medición de fuerza se transmite sin errores de una modificación de la trayectoria o de un recorrido de trayectoria directamente a una señal que se puede medir eléctricamente, es decir, el único miembro de acoplamiento sensor es la capa delgada de aislamiento y otras tolerancias del elemento componente y perturbaciones mecánicas no fluyen en la cadena de medición.
- 40 • Además, por ejemplo, en la realización del sensor con elementos de transmisión de fuerza de metal duro como electrodos (1 y 3) se alcanzan resistencias de transmisión definidas eléctricamente de forma exacta entre las superficies límite de los electrodos de metal (1 y 3), cuya resistencia de transmisión es exactamente constante en el rango de los miliohmios, independientemente de la fuerza que actúa bajo la cual se presan estos elementos.
- 45 • La realización cualquiera, también miniaturizada, de los sensores de medición de fuerza o las combinaciones de sensores de medición de fuerza como unidad de medición de fuerza multidimensional posibilita una unidad de medición extremadamente rápida y de alta resolución, en donde los límites físicos de este sistema se limitan exclusivamente de forma eléctrica por medio de los tiempos de recarga de las corrientes de medición, o bien modificaciones de tensión, del circuito de medición hasta el transformador digital analógico. Los circuitos de procesamiento y amplificación de señales electrónicos modernos revelan en este caso una clase de potencia no conocida hasta el momento en la medición de fuerza dinámica.
- 50 • Según la capa delgada de aislamiento, o bien sistema de capas delgadas de aislamiento multicapas, elegida y su composición material y elementos de transmisión de fuerza correspondientemente robustos se hace posible una resistencia de temperatura no conocida hasta el momento de tales sensores en el rango de por debajo de cien grados Celsius a 1200 grados Celsius.
- 55 • Aplicaciones de bajo consumo energético y sistemas de medición de fuerza miniaturizados muy rentables con funcionamiento a batería a lo largo de varios años se hacen posibles, ya que las corrientes de medición



sólo se pueden activar muy brevemente en el funcionamiento de sueño activo con fases de inactividad extremadamente largas, en donde las fases de oscilación muy cortas del sistema de medición posibilitan una duración activa muy corta.

- 5 • La robustez mecánica y la resistencia al desgaste de la capa delgada de aislamiento se sitúa por arriba del límite de carga de los elementos de acoplamiento mecánicos, por ejemplo, en el caso del metal duro, por encima de 2 gigapascuales de resistencia a la presión.

10 La diversa posibilidad de diseños unida al muy alto grado de libertad en cuanto a la miniaturización, los tamaños constructivos normales en el caso de los elementos estándar mecánicos, p. ej., elementos de unión como pernos, tuercas, arandelas de presión, etc. hasta las aplicaciones en la ingeniería pesada se hace posible por medio de esta tecnología de medición mediante las capas delgadas de aislamiento.

15 El ejemplo de realización en la figura 4 abajo muestra como vista de sección la medición de fuerza en una dirección y, en la figura 4 arriba, la medición de fuerza en función de los componentes en dos direcciones, es decir, en el espacio bidimensional (2D) con los componentes de fuerza  $F_x$  y  $F_y$ .

20 En el otro ejemplo de realización según la figura 5 se representa a modo de ejemplo una construcción de sensor multidimensional, en donde, en función de los componentes, se produce una medición de fuerza eléctrica en el espacio dos veces cuatridimensional desde 4 ángulos de giro distintos en el espacio 3D ( $F_x + F_y$ ). Este circuito de medición eléctrico y la construcción de sensor elegida se muestra como vista de sección, en donde se pueden montar tantos (n-) elementos de sensor como se quiera que se desean añadir giratoriamente; sin embargo, aquí, en el ejemplo concreto,  $n=4$  unidades separadas están determinadas para 4 ángulos de giro; ha de mostrar, a modo de ejemplo, la libertad de diseño en cuanto a la construcción mecánica y las posibilidades de evaluación electrónicas.

#### 25 Etiquetado de leyendas

- (1) electrodo, o bien electrodo común, en el caso de las células de medición multidimensionales.
- (2) capa delgada de aislamiento [en el caso de la construcción multidimensional 2-n, o bien 2.n], es decir, la nª capa delgada de aislamiento.
- 30 (3) electrodo, o bien electrodo nº en el caso de los sensores multidimensionales [en el caso de la construcción multidimensional 3-n, o bien 3.n].
- (4) electrodo de metal de referencia, o bien electrodo Nº, en el caso de los sensores multidimensionales [en el caso de la construcción multidimensional 4-n, o bien 4.n].
- (5) soporte para electrodo de metal de referencia, el cual, con fuerza de sujeción constante desde ambas direcciones opuestas, fija el electrodo de metal de referencia bajo una fuerza de sujeción constante.
- 35 (6) fuente de corriente  $I_q$ .
- (7) medidor de corriente I, o bien, en el caso de la realización multidimensional del medidor de corriente Nº del componente (dirección) de fuerza respectivo y del canal de medición de corriente Nº asignado.
- (8) medidor de tensión U, o bien  $U_n$  - en el caso de la realización multidimensional de N medidores de tensión del componente (dirección) de fuerza respectivo y del canal de medición de tensión Nº asignado [en el caso de la construcción multidimensional 8- n, o bien 8.n].
- 40 (9) medidor de tensión de referencia  $U_{ref}$ , o bien  $U_{ref-m}$  - en el caso de la realización multidimensional de M medidores de tensión del componente (dirección) de fuerza respectivo y del canal de medición de tensión de referencia Mº asignado [en el caso de la construcción multidimensional 9-m, o bien 9.m].
- 45 (10) medidor de corriente de referencia  $I_{ref}$ , o bien  $I_{ref-m}$  - en el caso de la realización multidimensional de M medidores de corriente de referencia del componente (dirección) de fuerza respectivo y del canal de medición de corriente de referencia Mº asignado [en el caso de la construcción multidimensional 9-m, o bien 9.m].
- (11) resistencia fija  $R_1$  = constante del medio puente de medición.
- (12) resistencia fija  $R_2$  = constante del medio puente de medición.
- 50 (13) resistencia de la capa de aislamiento  $R_1$  del puente completo de medición.
- (14) resistencia de referencia de aislamiento  $R_{ref-1}$  del puente completo de medición.
- (15) resistencia de aislamiento  $R_2$  del puente completo de medición.
- (16) resistencia de referencia de aislamiento  $R_{ref-2}$  del puente completo de medición.
- 55 (17) resistencia de la capa de aislamiento  $R_{17}$  entre las dos células de medición puestas la una encima de la otra para que el circuito del puente completo de medición se haga posible. [ $R_{17} \geq 500 * R_1$ ].

## REIVINDICACIONES

1. Instalación para la medición eléctrica de una fuerza (F), que incluye:

5 - una célula de medición de fuerza con

o un primer electrodo de metal (1) y un segundo electrodo de metal (3) opuesto a éste en la dirección de la fuerza (F) que se desea medir, los cuales están formados respectivamente por metal duro, acero o capas de metal de baja impedancia sobre cuerpos de cerámica, de cristal o de plástico y tienen superficies de contacto, a través de las cuales se puede aplicar la fuerza (F) que se desea medir y las cuales presentan una resistencia eléctrica en el rango de pocos miliohmios hasta menos que o igual a diez ohmios, así como una profundidad de rugosidad media ( $R_a$ ) menor que o igual a 400 nanómetros para la configuración de una conductividad independiente de la fuerza,

o una capa delgada de aislamiento (2) que está dispuesta con encaje geométrico entre los electrodos de metal (1, 3) y la cual se compone de un material que es seleccionado del grupo:

- óxido de zinc,
- óxido de aluminio reducido estocásticamente  $Al_2O_x$  con  $x = 2.4$  a  $2.8$ ,
- carburo de silicio,
- capa DLC [diamond like carbon],

o un electrodo de metal de referencia (4) que está dispuesto, de forma desacoplada de la fuerza del primer electrodo de metal (1), sobre una sección de la capa delgada de aislamiento (2) y se tensa por medio de un elemento de sujeción (5) con fuerza de sujeción constante en comparación con el segundo electrodo de metal (3);

- un circuito de medición que está construido como medio puente o puente completo, en donde

o un circuito de corriente alimentado por una fuente de corriente (6) transcurre en conexión en serie a través del primer electrodo de metal (1), la capa delgada de aislamiento (2) para el segundo electrodo de metal (3), además de a través de la capa delgada de aislamiento (2) para el electrodo de metal de referencia (4),

o una tensión (8) dependiente de la fuerza se mide entre el primer electrodo de metal (1) y el segundo electrodo de metal (3), la cual cae a causa de la capa delgada de aislamiento (2),

o una tensión de referencia (9) se mide entre el segundo electrodo de metal (3) y el electrodo de metal de referencia (4),

o el circuito de medición forma, a partir de la tensión (8) dependiente de la fuerza y de la tensión de referencia (9), una relación de tensiones que representa un valor de la fuerza aplicada.

2. Instalación según la reivindicación 1 **caracterizada por que** la capa delgada de aislamiento (2) está configurada como una capa delgada de aislamiento multicapas (2).

3. Instalación según la reivindicación 1 ó 2 **caracterizada por que** las superficies de contacto del primer y el segundo electrodos (1, 3) está configurado un encaje geométrico en el rango menor que 4 micrómetros por toda la superficie de contacto.

4. Instalación según una o varias de las reivindicaciones 1 a 3 **caracterizada por que** el primer electrodo de metal (1), el segundo electrodo de metal (3) y el electrodo de metal de referencia (4) presentan al menos una resistencia igual o mayor que la capa delgada de aislamiento (2).

5. Instalación según una o varias de las reivindicaciones 1 a 4 **caracterizada por que** entre el circuito de medición y la célula de medición de fuerza existe una distancia espacial menor que o igual a 200 milímetros.

6. Instalación según una o varias de las reivindicaciones 1 a 5 **caracterizada por que** la profundidad de rugosidad media  $R_a$  de las superficies de contacto del primer electrodo de metal (1) y del electrodo de metal de referencia (4) son más rugosas en la relación 30:1 a 2:1 con respecto a la profundidad de rugosidad media de la superficie de contacto del segundo electrodo de metal (3), el cual presenta una profundidad de rugosidad media de  $R_a$  igual a o menor que 200 nanómetros.

7. Instalación según una o varias de las reivindicaciones 1 a 6 **caracterizada por que** varios electrodos de metal de referencia (4) están previstos en la célula de medición de fuerza.

8. Instalación según una o varias de las reivindicaciones 1 a 7 **caracterizada por que** ésta incluye una segunda célula de medición de fuerza de la misma construcción, la cual está posicionada en la dirección de un componente de fuerza que se desea perturbar.

- 5 9. Instalación según una o varias de las reivindicaciones 1 a 8 **caracterizada por que** la célula de medición de fuerza presenta varias capas delgadas de aislamiento (2.1, 2.2) que están asignadas eléctricamente a varios circuitos de medición y cuya disposición geométrica o espacial está diseñada de tal manera que las fuerzas que se desea medir se registran simultáneamente como magnitudes vectoriales en cantidad y dirección.
- 10 10. Instalación según una o varias de las reivindicaciones 1 a 9 **caracterizada por que** los electrodos de metal (1, 3) y el electrodo de metal de referencia (4) están fabricados como cuerpos que se pueden juntar de geometrías de regla que se pueden elegir libremente como molde positivo y negativo.
- 10 11. Instalación según la reivindicación 10 **caracterizada por que** los cuerpos que se pueden juntar se eligen del siguiente grupo:
- 15 - formados como tronco cónico interior y tronco cónico exterior con superficies laterales del mismo molde, en donde en la superficie lateral está aplicada la capa delgada de aislamiento (2),
- 15 - formados como superficies cilíndricas puestas la una dentro de la otra de cilindros exteriores e interiores con capas delgadas de aislamiento aplicadas sobre la superficie lateral cilíndrica, en donde la capa delgada de aislamiento (2) está aplicada en la superficie frontal de los anillos cilíndricos.
- 20 12. Instalación según una o varias de las reivindicaciones 1 a 11 **caracterizada por que** la capa delgada de aislamiento (2) está dispuesta en la superficie perimetral de dos troncos cónicos unidos el uno con el otro sobre la superficie exterior del electrodo respectivamente interior, los cuales están montados, con respecto a un cerramiento exacto, a partir de dos electrodos exteriores aislados eléctricamente el uno del otro como molde negativo.
- 25 13. Instalación según una o varias de las reivindicaciones 1 a 12 **caracterizada por que** como fuente de corriente (6) sirve un generador de señales electrónico que funciona en un primer modo de funcionamiento como fuente de corriente continua regulada o, en un segundo modo de funcionamiento, como fuente de señales de corriente alterna, y que, además, el circuito de medición se puede ajustar al modo de funcionamiento respectivo.
- 30 14. Instalación según una o varias de las reivindicaciones 1 a 13 **caracterizada por que** elementos de transmisión mecánicos para la retransmisión de fuerza están previstos en los electrodos de metal (1, 3) y el electrodo de metal de referencia (4), formados como piezas moldeadas de plástico resistente o materiales compuestos de alta resistencia.
- 35 15. Instalación según una o varias de las reivindicaciones 1 a 14 **caracterizada por que** el circuito de medición incluye además filtros de bloqueo de banda o filtros pasabanda.

$F_{ref} = \text{constante}$

$0 = -F_{ref} + F_{ref}$

$R_{13} / R_{11} = R_{34} / R_{22}$

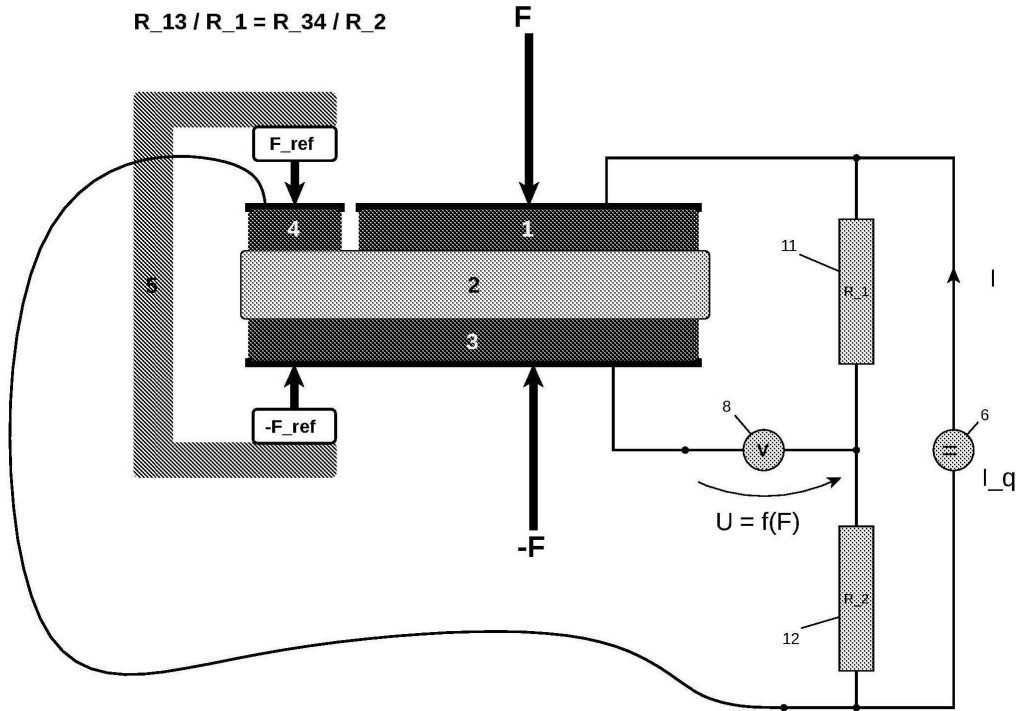


Figura 1

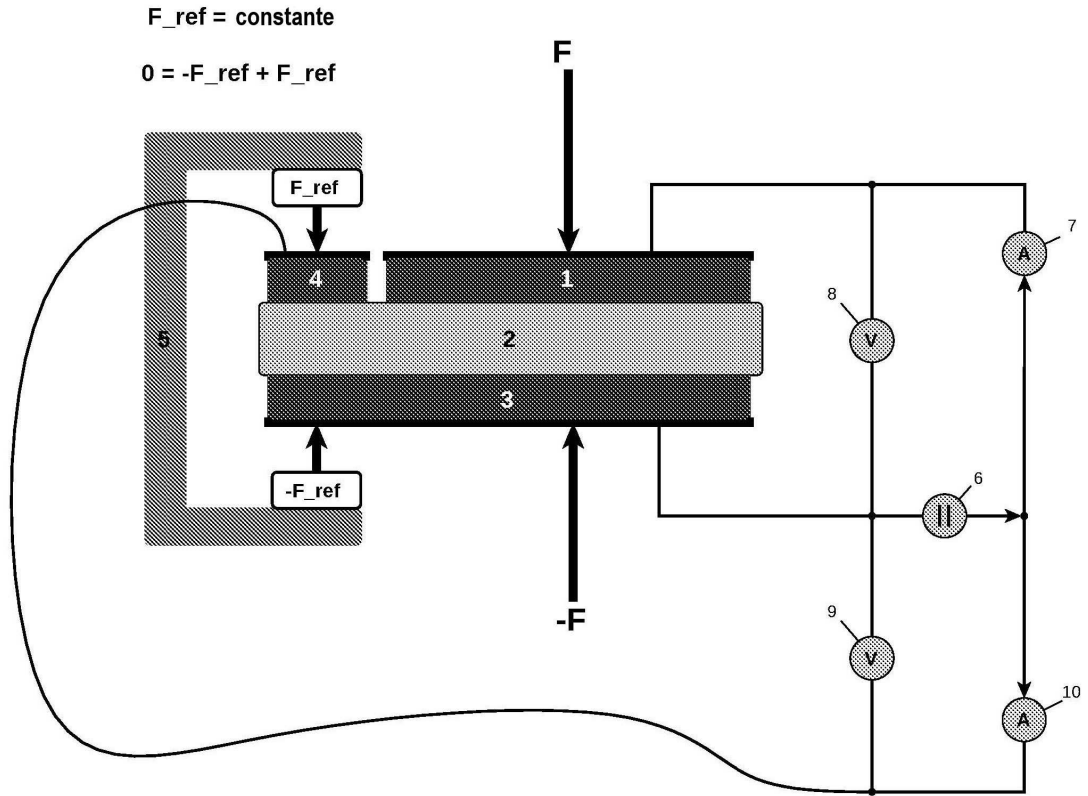


Figura 2

$F_{ref} = \text{constante}$   
 $0 = -F_{ref} + F_{ref}$   
 $R_1 / R_{ref-1} = R_2 / R_{ref-2}$   
 $R_{17} \gg 500 * R_1 \gg 500 * R_2$

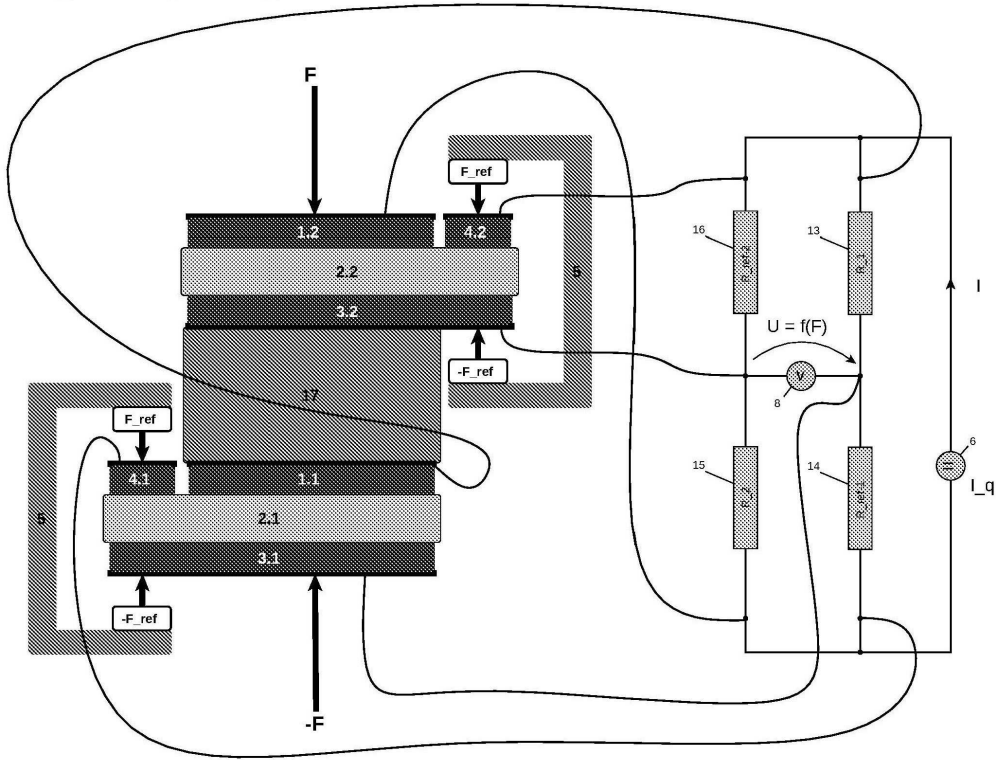


Figura 3

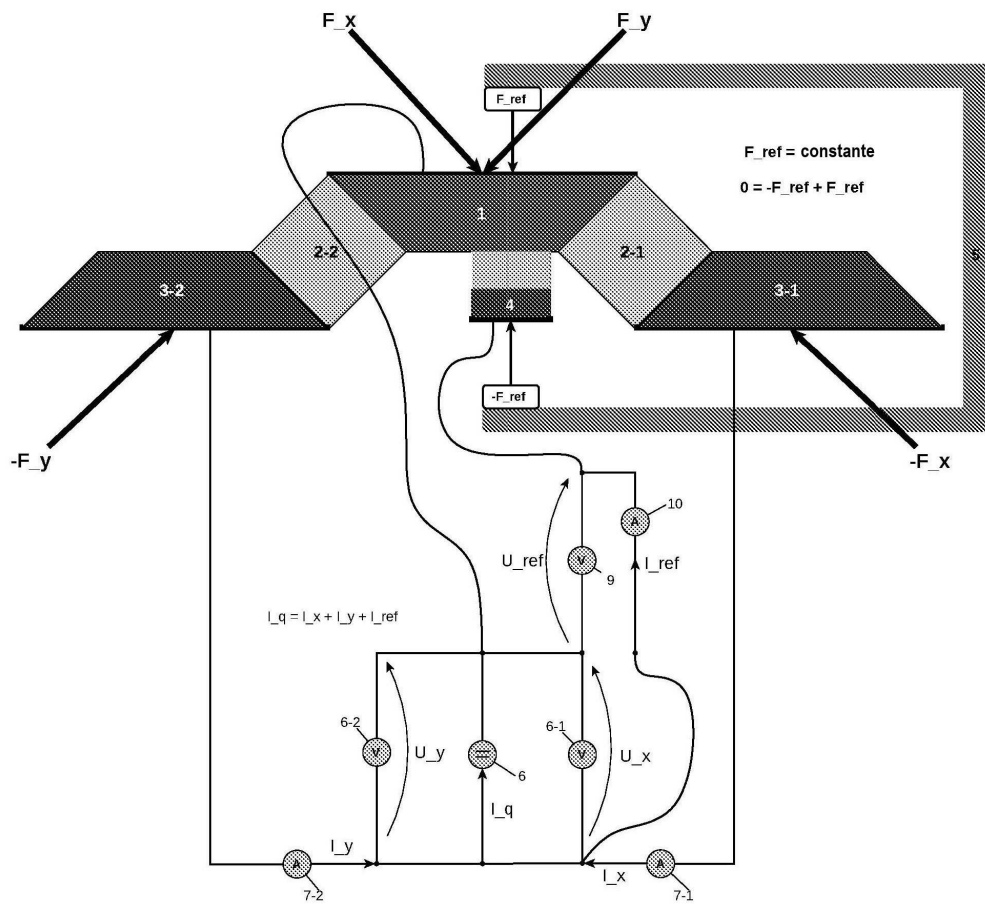


Figura 4

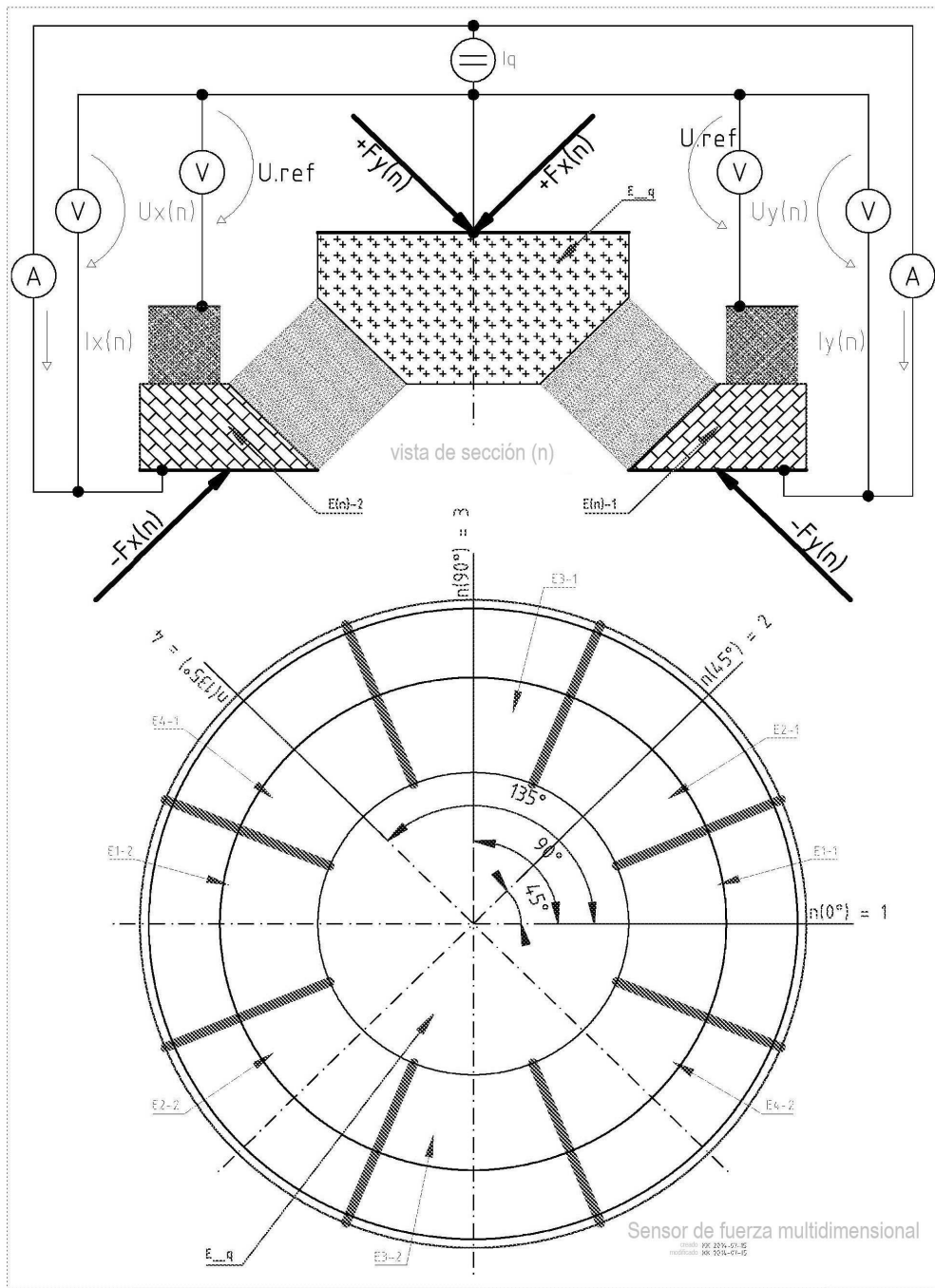


Figura 5



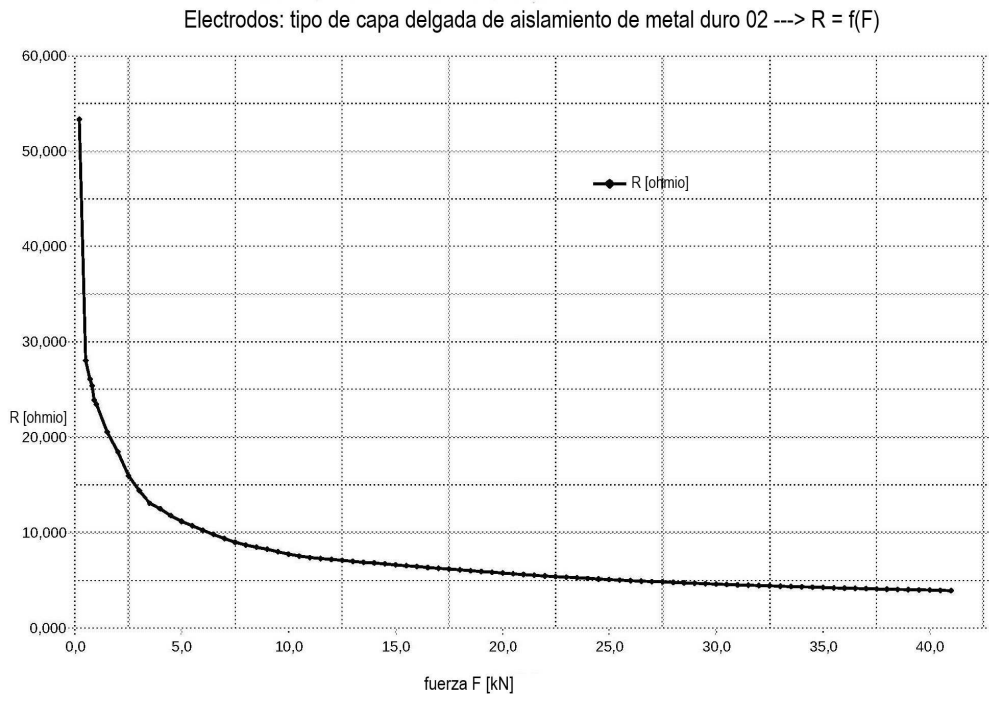


Figura 6

Tipo de capa delgada de aislamiento de metal duro 03 --->  $R = f(F)$

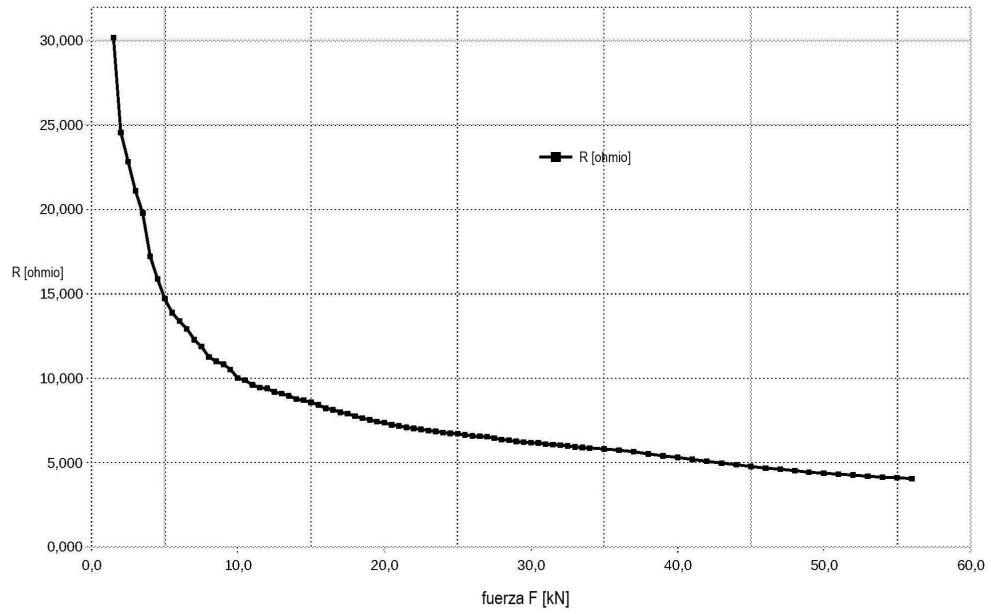


Figura 7

Electrodos: tipo de capa delgada de aislamiento de metal duro 01 ---->  $R_{iso} = f(F)$

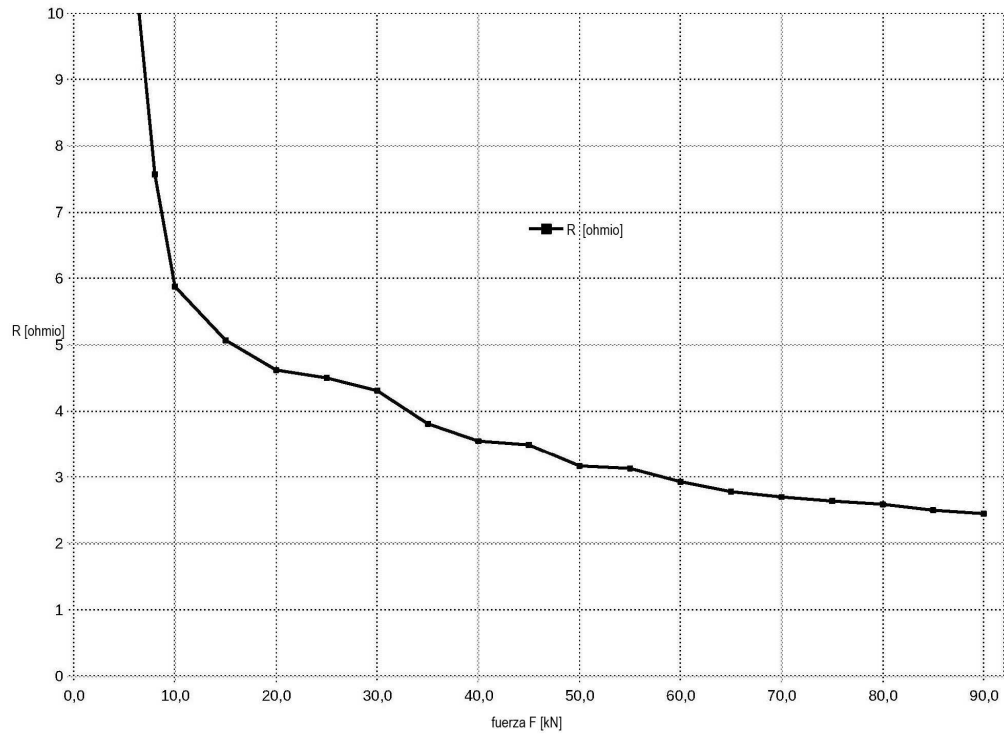


Figura 8

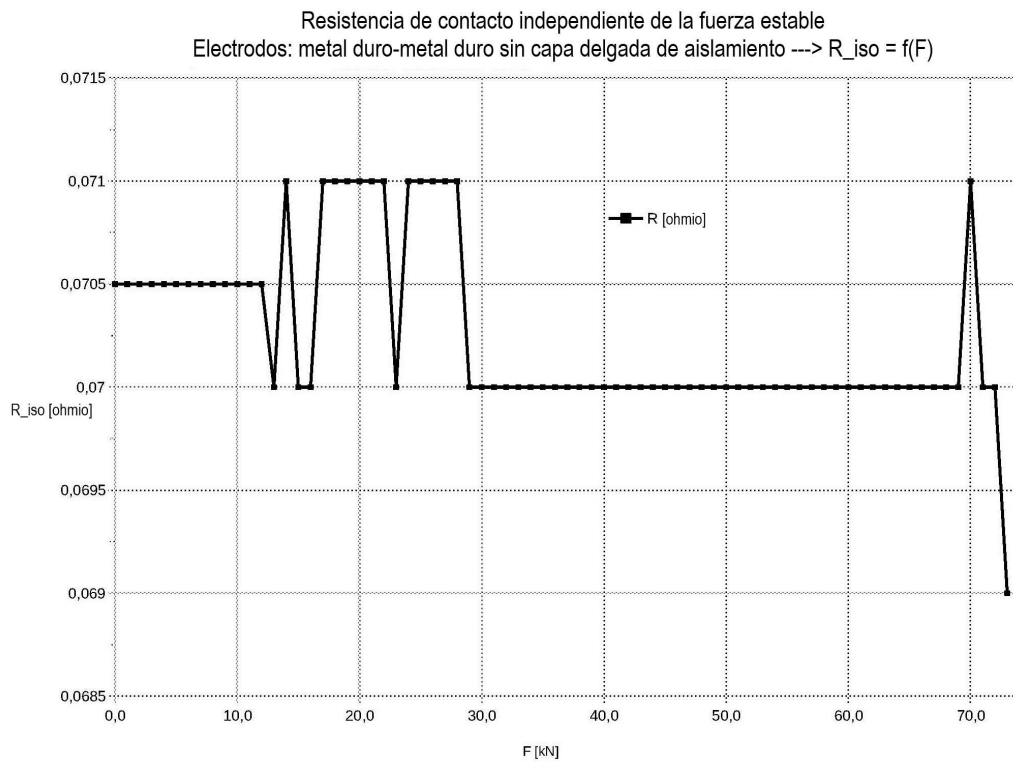


Figura 9

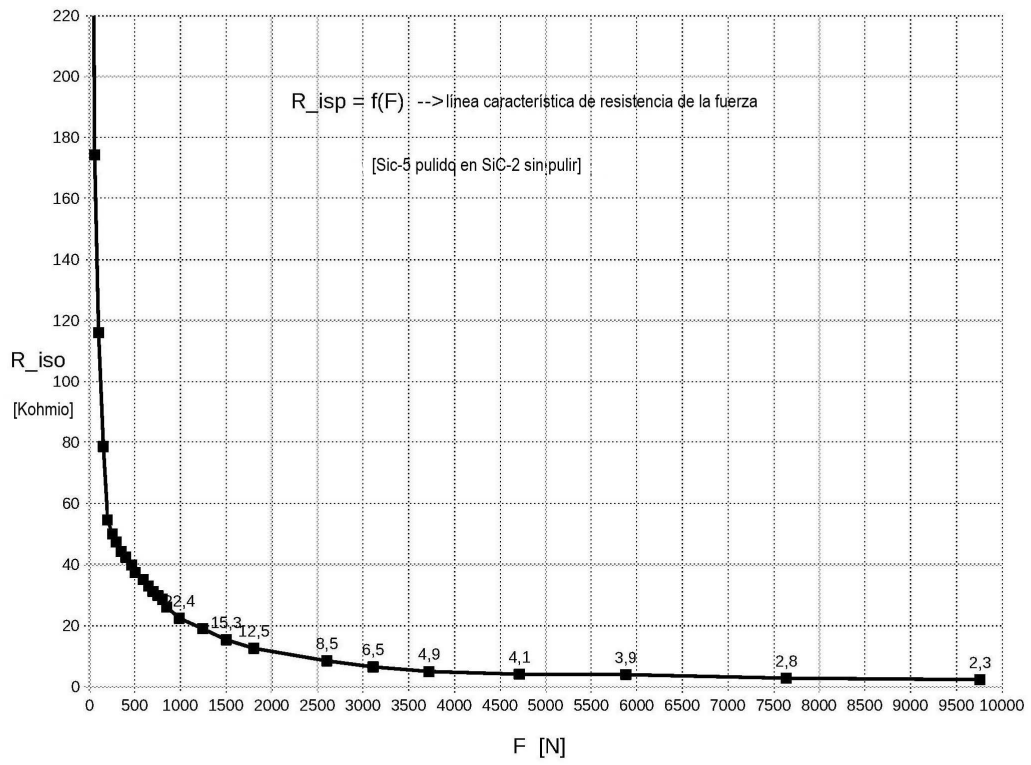


Figura 10

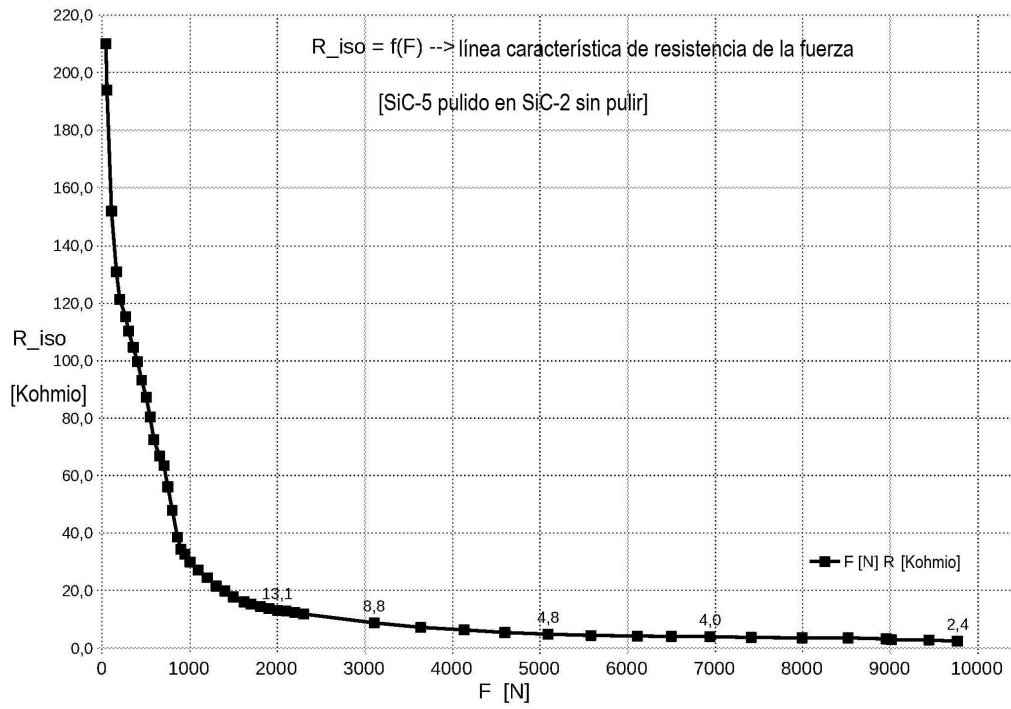


Figura 11

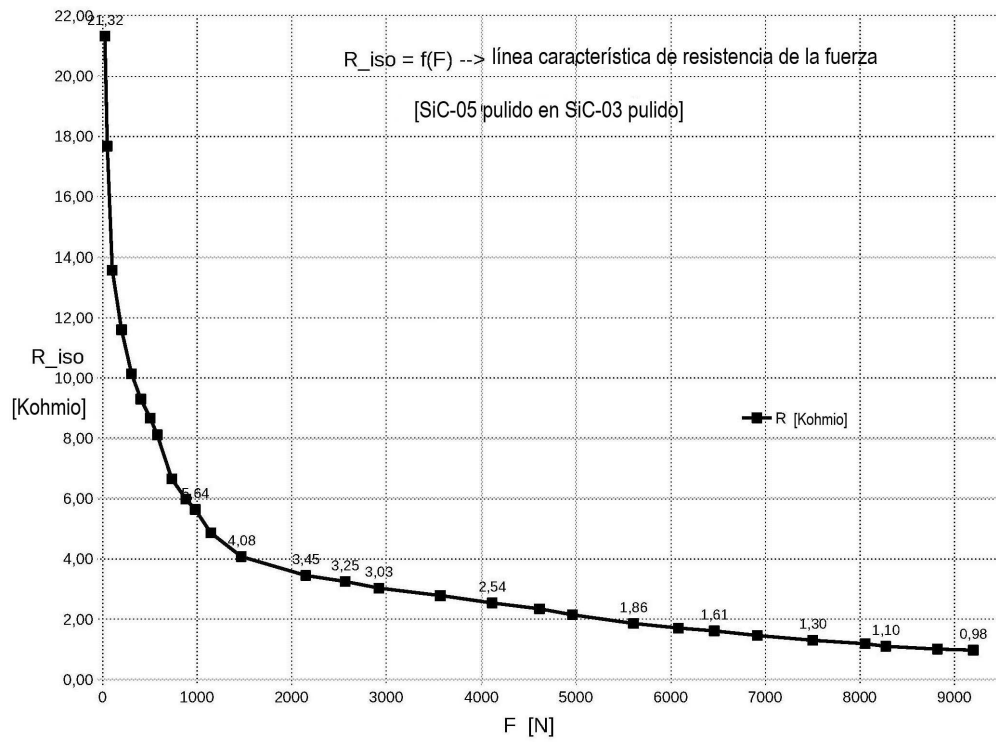


Figura 12