

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 458**

51 Int. Cl.:
G01B 21/04 (2006.01)
G01B 5/00 (2006.01)
G01B 11/00 (2006.01)
G01B 11/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07805732 .0**
96 Fecha de presentación: **24.07.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2176622**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.04.2010**

54 Título: **MÉTODO DE COMPENSACIÓN DE ERRORES DE MEDICIÓN DE UNA MÁQUINA DE MEDICIÓN ORIGINADOS POR DEFORMACIONES DEL BANCO DE LA MÁQUINA PROVOCADAS POR LA CARGA EJERCIDA POR LA UNIDAD MÓVIL DE LA MÁQUINA SOBRE EL BANCO DE LA MÁQUINA, Y MÁQUINA DE MEDICIÓN QUE FUNCIONA DE ACUERDO CON DICHO MÉTODO.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.11.2011

73 Titular/es:
**HEXAGON METROLOGY S.P.A.
VIA VITTIME DI PIAZZA DELLA LOGGIA 6
10024 MONCALIERI, IT**

72 Inventor/es:
MERLO, Lorenzo

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

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).

ES 2 368 458 T3

DESCRIPCIÓN

Método de compensación de errores de medición de una máquina de medición originados por deformaciones del banco de la máquina provocadas por la carga ejercida por la unidad móvil de la máquina sobre el banco de la máquina, y máquina de medición que funciona de acuerdo con dicho método.

5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere a un método de compensación de errores de medición de una máquina de medición, originados por las deformaciones del banco de la máquina provocadas por la carga ejercida por la unidad móvil de la máquina sobre el banco de la máquina, así como a una máquina de medición que funciona de acuerdo con dicho método.

10 TÉCNICA ANTERIOR

15 Tal como es sabido, las máquinas de medición están dotadas generalmente de una base fija o banco de la máquina y de una unidad móvil diseñada para desplazar un cabezal de medición de acuerdo con ejes de coordenadas con respecto al banco de la máquina, en un espacio de medición situado sobre el banco de la máquina. La unidad móvil comprende generalmente un carro principal, que es móvil a lo largo de un eje longitudinal con respecto al banco de la máquina, y uno o varios carros soportados por el carro principal, que son móviles a lo largo de respectivos ejes de coordenadas.

20 El banco de la máquina puede ser monolítico, por ejemplo fabricado de granito o de hierro fundido, o bien puede comprender un conjunto de componentes fijos rígidamente entre sí para formar una estructura sustancialmente rígida. En general, el banco de la máquina tiene dos funciones: soportar y contener la pieza de trabajo que está siendo medida, y definir una guía para la unidad móvil, y en concreto para el carro principal de la máquina, a lo largo de uno de los ejes de coordenadas de la máquina.

Las máquinas de medición del tipo mencionado están dotadas generalmente de un sistema para la compensación de errores geométricos, es decir, de los errores de medición que dependen de los defectos de construcción de la máquina (por ejemplo, errores de la disposición rectilínea de los ejes, defectos de ortogonalidad entre los ejes, etc.).

25 Durante el funcionamiento de la máquina, surgen deformaciones elásticas variables del banco de la máquina debido a las cargas ejercidas sobre el banco de la máquina por la unidad móvil de la máquina cuando varía la posición de los carros. Esto genera una alteración de la posición y la postura de la pieza de trabajo, con respecto a la referencia de postura utilizada para la compensación geométrica.

30 Las técnicas de compensación actuales, basadas en mapas de compensación determinados estadísticamente, no tienen en cuenta este fenómeno, que puede dar lugar a errores de medición no despreciables.

El documento EP 1 239 263 da a conocer un método de compensación de errores de medición debidos al envejecimiento y a fluctuaciones de temperatura, que se basa en un detector que determina si se produce, o no, un cambio en la posición de la unidad móvil con respecto a la superficie de referencia, cuando la unidad móvil es desplazada.

35 Este método no tiene en cuenta los errores de medición debidos al cambio en la postura de la pieza de trabajo al desplazarse la unidad móvil.

EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

40 El objetivo de la presente invención es proponer un método de compensación que carezca de los inconvenientes propios de los métodos conocidos y que, en concreto, permita tener en cuenta los errores de medición inducidos por las deformaciones del banco de la máquina debidas a la carga ejercida sobre el banco de la máquina por la unidad móvil de la máquina.

El mencionado propósito se consigue mediante un método de compensación acorde con la reivindicación 1.

La presente invención está relacionada asimismo con una máquina de medición que funciona de acuerdo con dicho método.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para una mejor comprensión de la presente invención, a continuación se describe una realización preferida, proporcionada a modo de ejemplo no limitativo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 5 - la figura 1 es una vista esquemática en perspectiva, de una máquina de medición que funciona de acuerdo con el método de la presente invención;
- la figura 2 es una vista esquemática lateral de la máquina de la figura 1, en una primera posición de la unidad móvil;
- la figura 3 es una vista esquemática lateral de la máquina de la figura 2, en una segunda posición de la unidad móvil;
- 10 - la figura 4 es una vista esquemática en perspectiva del banco de la máquina, que representa las deformaciones inducidas por el peso de la unidad móvil;
- la figura 5 es un ejemplo de una tabla que proporciona rotaciones de cabeceo y balanceo de puntos específicos del banco de la máquina, en una posición predeterminada de la unidad móvil de la máquina;
- la figura 6 es un diagrama de bloques del método de la presente invención; y
- 15 - la figura 7 es un diagrama de bloques de un método de medición, que utiliza un mapa de compensación corregida obtenido utilizando el método de la invención.

MEJOR MODO DE LLEVAR A CABO LA INVENCION

Haciendo referencia a la figura 1, mediante el 1 se indica como un todo una máquina de medición de pórtico. Se señala al mismo tiempo que el método que forma el objeto de la presente invención puede utilizarse para la compensación de errores de máquinas de diferente arquitectura, por ejemplo con columnas o brazos horizontales.

La máquina 1 comprende un banco plano 2 de la máquina, dotado de una superficie de trabajo horizontal 3 y diseñado para soportar un objeto a medir (no ilustrado), y una unidad 4, que es móvil con respecto al banco 2 de la máquina a lo largo de ejes de coordenadas.

La unidad 4 comprende un carro pórtico principal 5 (en lo que sigue, para mayor brevedad, "pórtico 5"), que es móvil con respecto al banco 2 de la máquina a lo largo de un eje horizontal Y. El pórtico 5 está dotado de un par de postes 6 y 7 y de un elemento transversal 8 que se extiende entre los postes 6 y 7 en una dirección paralela a un eje horizontal X y perpendicular al eje Y.

La unidad 4 comprende además un carro secundario 9, soportado por el elemento transversal 8 y desplazable sobre el elemento transversal a lo largo del eje X, y una columna 10 de medición, soportada por el carro 9 y desplazable con respecto al mismo a lo largo de un eje vertical Z ortogonal a los ejes X y Y.

Una sonda de contacto 11 está montada sobre un extremo inferior de la columna 10, posiblemente mediante un dispositivo de articulación de dos ejes (no mostrado).

El pórtico 5, el carro 9 y la columna 10 son desplazables bajo el control de motores eléctricos respectivos (no ilustrados) que están, a su vez, controlados por una unidad 12 de control y medición. Esta última está conectada a transductores de posición (no ilustrados) asociados con los ejes de la máquina, y a la sonda 11 con objeto de recibir desde esta última señales para posibilitar la adquisición de las coordenadas instantáneas de los ejes de la máquina.

La máquina 1 está equipada con un sistema para compensar errores geométricos, que es conocido por sí mismo. La compensación se lleva a cabo en función de un mapa memorizado 13, determinado en condiciones sin carga mediante un modelo cinemático de la máquina, de tipo convencional.

Haciendo referencia a la figura 1, sobre la superficie de trabajo 3 se identifica una posición de configuración de referencia fija REF utilizada para la compensación geométrica de la máquina. Se define además un sistema de referencia cartesiano x, y, z con ejes paralelos a los ejes X, Y, Z de la máquina y origen en el punto REF.

El mapa de compensación se obtiene de manera conocida, y por lo tanto no descrita en detalle en el presente documento, detectando los parámetros de error en puntos apropiadamente determinados a cierta distancia entre sí, a lo largo de los ejes x, y, z. En cada uno de los puntos mencionados, se llevan a cabo mediciones diferenciales de

la posición con respecto al punto REF, por ejemplo a través de un interferómetro, y mediciones diferenciales de inclinación, por ejemplo utilizando un inclinómetro fijo situado en el punto REF y un inclinómetro montado en la unidad móvil 4.

5 De acuerdo con la presente invención, se propone un método de compensación adicional que permitirá además la determinación de los efectos de la deformación del banco 2 de la máquina, debida a la carga ejercida por la unidad móvil 4 sobre el banco de la máquina. Para propósitos metrológicos, dichos efectos tienen como resultado básicamente una alteración de la posición y de la postura angular de la pieza de trabajo, que no son constantes con respecto a la referencia de postura REF utilizada para la compensación geométrica de la máquina.

10 Dichas alteraciones se destacan esquemáticamente a partir de una comparación de las figuras 2 y 3, en las que es evidente la variación en la posición y la postura de la pieza del trabajo, cuando varía la posición de la unidad móvil 4 debido a la deformación del banco 2 de la máquina.

Dado un modelo de máquina con sus características dimensionales y de peso, la deformación del banco 2 de la máquina provocada por el movimiento de la unidad móvil 4 puede ser evaluada con gran precisión mediante métodos numéricos de simulación (por ejemplo, con análisis por elementos finitos).

15 El cálculo permite además la determinación de los efectos de deformación sobre el banco 2 de la máquina, en términos de variaciones de postura de una pieza de trabajo W situada en una posición dada sobre la superficie de trabajo (figura 4).

20 Alternativamente, las mismas variaciones de postura de la pieza de trabajo en las diferentes posiciones pueden ser detectadas experimentalmente mientras se lleva a cabo el procedimiento de compensación geométrica de la máquina.

En cualquier caso, una vez que se conocen las variaciones de postura de una pieza de trabajo W situada en la superficie de trabajo 3 cuando varía la posición de la unidad móvil 4 de la máquina, éstas pueden ser almacenadas en el mapa de compensación de la máquina, como parámetros independientes o bien como correcciones adicionales a parámetros existentes.

25 Utilizando dichos parámetros, es posible obtener la compensación del fenómeno de deformación que está siendo examinado.

La simulación numérica puede ser implementada en la máquina, por ejemplo, de una de las siguientes formas:

- 30 - integración de un modelo de elementos finitos del programa de cálculo correspondiente, en la unidad 12 de medición y control de la máquina 1; en cada colocación de la pieza de trabajo, la rutina de cálculo es configurada y ejecutada; y
- almacenamiento en la unidad 12 de medición y control de la máquina, de un mapa que contiene datos de deformación del banco de la máquina, calculados previamente de una vez para siempre, para un conjunto un predefinido de casos de carga.

En lo que sigue se describe un ejemplo de realización del segundo modo de implementación descrito anteriormente.

35 En esta hipótesis, se asume que las variaciones principales de postura de la pieza de trabajo W, provocadas por la deformación del banco 2 de la máquina, son las rotaciones en torno a los ejes horizontales (x e y), mientras que se desprecian los otros componentes. Sin embargo, el método de compensación debe considerarse como totalmente general y aplicable a cualquier componente de deformación.

40 Las rotaciones en torno a los ejes x e y, denominadas cabeceo y balanceo, corresponden a las consideradas por la compensación geométrica utilizada normalmente, como se ha descrito anteriormente, y se entienden con respecto al sistema de referencia x, y, z fijo con respecto al punto REF.

45 Una vez conocidas las características geométricas de la máquina, utilizando el cálculo por elementos finitos es posible crear un mapa que contiene los valores de desplazamiento vertical de una serie de puntos característicos de la superficie de trabajo. Dichos puntos pueden disponerse, por ejemplo, de acuerdo con una cuadrícula G, que cubre toda la superficie de trabajo con un cabeceo apropiado, por ejemplo 100 mm (figura 1).

Los valores de desplazamiento vertical se calculan imponiendo como carga de esfuerzo la carga ejercida por la unidad móvil 4. El cálculo se lleva a cabo cuando la posición del pórtico 5 y del carro secundario 9 varía a lo largo de sus respectivas trayectorias, con un movimiento de cabeceo apropiado (por ejemplo, 100 mm).

Los desplazamientos están referidos asimismo al sistema de referencia x, y, z fijo con respecto al punto REF.

El mapa de deformación creado de este modo es almacenado en el sistema de medición y control de la máquina, como característico de dicho modelo de la máquina dado.

- 5 De acuerdo con una realización preferida de la invención, el método contempla una serie de normas y asunciones que permitirán que cualquier modo de reposo real de la pieza de trabajo W se reduzca a un modo estándar equivalente que puede ser representado utilizando los puntos característicos elegidos.

Los modos de reposo estándar tomados en cuenta pueden ser, por ejemplo, los siguientes:

- a) reposo sobre tres puntos cualesquiera;
- b) reposo sobre cuatro puntos en los vértices de un rectángulo orientado en paralelo a XY; y
- 10 c) reposo distribuido sobre un área rectangular orientada en paralelo a XY y aproximada por un número entero de mallas de la cuadrícula.

Una vez que han sido definidos los modos de reposo estándar, es necesario definir reglas de interpolación y cálculo para obtener, para los diversos modos de reposo estándar, las variaciones de posturas de la pieza de trabajo, entendidas como ángulos de cabeceo y balanceo en función de la posición de los carros de la máquina.

- 15 Por ejemplo, dichas reglas pueden ser las siguientes:

- en el caso de reposo puntual, el desplazamiento de cada punto en reposo se calcula interpretando los desplazamientos de los vértices de la malla de la cuadrícula que contiene el punto en reposo;
- en el caso de reposo distribuido, la rotación del área de reposo se calcula en función de los desplazamientos de los vértices del área.

- 20 Por consiguiente, dada cualquier carga real en reposo es posible calcular los valores correspondientes de rotación de cabeceo y balanceo de la pieza de trabajo, procediendo como sigue:

- extracción desde el mapa de deformación, de los valores de desplazamiento vertical relativos a puntos de la cuadrícula próximos a los puntos o área de reposo de la pieza de trabajo;
- cálculo del desplazamiento vertical de los puntos de reposo (modos a y b) o de los vértices del área de reposo (modo c); y
- 25 - cálculo de los ángulos de rotación de cabeceo y balanceo de la pieza de trabajo W.

Por consiguiente, para una posición dada de la pieza de trabajo (figura 4) es posible obtener y almacenar una tabla que proporciona los valores de rotación de cabeceo y balanceo cuando varía la posición del pórtico 5 (coordenada Y) y del carro secundario 9 (coordenada X). En la figura 5 se proporciona un ejemplo de dichas tablas.

- 30 Las rotaciones así calculadas son rotaciones de la pieza de trabajo con respecto a la postura de referencia (REF) utilizada para la compensación geométrica de la máquina y pueden verse, desde el punto de vista de la pieza de trabajo, como rotaciones del pórtico 5 de la máquina, conociéndose la postura de dicho pórtico con respecto a la posición REF.

- 35 Por lo tanto, dichas rotaciones pueden ser utilizadas como corrección (fijando apropiadamente el signo) para actualizar la sección del mapa de compensación geométrica de la máquina en relación con el pórtico 5, y corrigiendo por lo tanto las mediciones realizadas en la pieza de trabajo.

El método se implementa como un programa de proceso de acuerdo con el diagrama de bloques de la figura 6.

Un primer bloque de entrada permite la adquisición de los datos relativos al modo de reposo de la pieza de trabajo.

- 40 Dicha adquisición puede llevarse a cabo mediante introducción manual. En concreto, el operador introduce (tecleando desde un teclado o a través de una interfaz gráfica) los datos relativos a la colocación de la pieza de trabajo en el caso específico:

- el modo de reposo, escogido entre los estándares disponibles;
- de acuerdo con la elección anterior, los datos necesarios para el cálculo:
 - coordenadas de los puntos de reposo;
 - límites X y Y del área de reposo rectangular.

5 Alternativamente, la etapa descrita anteriormente para la adquisición de datos puede ser automática: durante la etapa de alineamiento previa a la medición, los puntos adquiridos por la máquina de medición pueden ser utilizados para determinar la posición de la pieza de trabajo sobre la superficie de trabajo para los modos b) y c).

En un bloque 16 posterior, el programa extrae a partir del mapa de deformación predefinido 14, los desplazamientos verticales de los puntos de la cuadrícula involucrados en el modo de reposo.

10 A continuación, el control pasa a un bloque de proceso 17 posterior, en el que son procesados los datos relativos al modo de reposo en función de las reglas descritas anteriormente, para determinar las rotaciones de cabeceo y balanceo de la pieza de trabajo W, es decir, los valores de corrección al mapa de compensación geométrica.

Finalmente, en el bloque 18 los valores de corrección se utilizan para corregir el mapa de compensación geométrica y calcular de ese modo un mapa de compensación geométrica corregido, que depende no sólo del modelo de la máquina sino asimismo de la pieza de trabajo medida y de los modos de reposo de la pieza de trabajo.

15

El conjunto de datos introducidos y calculados durante la etapa de compensación puede ser almacenado para una reutilización posterior, en el caso de medición de una pieza de trabajo similar.

A continuación, la máquina 1 está lista para la ejecución de un ciclo de medición.

El diagrama de bloques de la figura 7 ilustra un procedimiento de medición de una pieza de trabajo.

20 Desde un bloque de medición 20, en el que la máquina 1 adquiere las coordenadas "no procesadas", es decir, aquellas aún no compensadas y por lo tanto sujetas a errores de naturaleza geométrica, el control pasa a un bloque 21, en el cual las coordenadas no procesadas son compensadas de manera similar a como ocurre en las máquinas convencionales pero, de acuerdo con la presente invención, por medio del mapa de compensación geométrica corregido.

25 Por consiguiente, de las mediciones se purgarán los efectos negativos del fenómeno a examen.

Las coordenadas "corregidas" así calculadas, son almacenadas en el bloque 22.

Al término de la medición, el operador puede elegir convenientemente (bloque 23) si mantiene activo el mapa corregido, para la medición de otra pieza de trabajo del mismo tipo, o bien vuelve a la situación anterior (bloque 24, para resetear del mapa de compensación).

30 Puesto que las posiciones de la pieza de trabajo sobre la superficie de trabajo y los posibles modos de reposo son teóricamente infinitos, el método puede comprender, como integración de lo que se ha descrito, la indicación de pautas para colocar la pieza de trabajo, con objeto de hacer las condiciones de trabajo reales tan parecidas como sea posible a aquellas consideradas en el modelo teórico, en el que se basa la compensación.

35 A partir del examen de las características del método de compensación descrito, las ventajas que éste proporciona son evidentes.

En concreto, además de la compensación geométrica usual, se compensan asimismo los errores geométricos inducidos por la deformación del banco 2 de la máquina como resultado de la carga ejercida por la unidad móvil 4 de la máquina sobre el banco de la máquina. Esto posibilita tener en cuenta, en la compensación, las variaciones de postura de la pieza de trabajo, dependiendo de los modos de reposo de la misma sobre el banco de la máquina, cuando varía la posición del pórtico 5 y del carro 9.

40

Finalmente, resulta evidente que pueden realizarse modificaciones y variaciones al método descrito en el presente documento, sin apartarse por ello de la esfera de protección especificada en las reivindicaciones adjuntas.

En concreto, incluso aunque el método ha sido descrito haciendo referencia a una máquina pórtico, es totalmente general y puede ser aplicado a máquinas de cualquier tipo, incluso no cartesianas.

Además, incluso aunque el método ha sido descrito haciendo referencia a la compensación de errores de rotación, puede extenderse a la corrección de cualquier error geométrico inducido por la carga ejercida por la unidad móvil.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de compensación de errores de medición de una máquina de medición (1) provocados por las deformaciones de un banco (2) de máquina de la máquina (1), provocadas por la carga ejercida por una unidad móvil (4) de la máquina (1) sobre dicho banco de la máquina, y estando dicho método **caracterizado por** comprender una primera etapa (17) de adquisición en la cual son adquiridos primeros datos relativos a la deformación del banco (2) de la máquina cuando varía la posición de la unidad móvil (4) de la máquina (1), una segunda etapa (15) de adquisición en la cual son adquiridos segundos datos relativos al modo de reposo de una pieza de trabajo (W) sobre el banco (2) de la máquina, y una tercera etapa (18) de cálculo en la cual se calculan valores de corrección en función de dichos primeros y segundos datos.
- 10 2. El método acorde con la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicha tercera etapa comprende la etapa (17) de calcular datos para la corrección de un mapa (13) de compensación geométrica almacenado previamente.
3. El método acorde con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, **caracterizado porque** dicha tercera etapa comprende la operación de calcular una variación de la postura de una pieza de trabajo, en función de dichos primeros y segundos datos.
- 15 4. El método acorde con la reivindicación 3, **caracterizado porque** la postura de la pieza se calcula en función del desplazamiento vertical de puntos del banco (2) de la máquina, que identifican la posición del mismo.
5. El método acorde con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** dichos primeros datos comprenden los desplazamientos verticales de los puntos de una cuadrícula (G) sobre una superficie de trabajo (3) de dicho banco (2) de la máquina, calculados cuando varía la posición de dicha unidad móvil (4).
- 20 6. El método acorde con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** dicha segunda etapa (15) comprende una selección entre una serie de modos de reposo estándar.
7. El método acorde con la reivindicación 6, **caracterizado porque** dichos modos de reposo estándar comprenden, por lo menos, un modo de reposo sobre tres puntos.
- 25 8. El método acorde con la reivindicación 6, **caracterizado porque** dichos modos de reposo estándar comprenden, por lo menos, un modo de reposo sobre cuatro puntos en los vértices de un rectángulo orientado en paralelo a dos ejes de coordenadas (X, Y) de la superficie de trabajo (3).
9. El método acorde con la reivindicación 6, **caracterizado porque** dichos modos de reposo estándar comprenden, por lo menos, un modo de reposo distribuido sobre un área rectangular orientada en una dirección paralela a dos ejes de coordenadas (X, Y) de la superficie de trabajo (3).
- 30 10. El método acorde con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** dichos valores de corrección se calculan en función de un modelo simplificado que toma en cuenta solamente las rotaciones de la pieza de trabajo (W) con respecto a los ejes de coordenadas (X, Y) de la superficie de trabajo.
- 35 11. Una máquina de medición que comprende un banco (3) de la máquina y una unidad móvil (4) para desplazar un sensor de medición (11) con respecto a dicho banco (2) de la máquina, estando dicha máquina **caracterizada por** comprender un sistema para compensar los errores de medición derivados de las deformaciones del banco (2) de la máquina, provocadas por la carga ejercida por la unidad móvil (4) sobre el banco (2) de la máquina, funcionando dicho sistema de acuerdo con el método especificado en cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

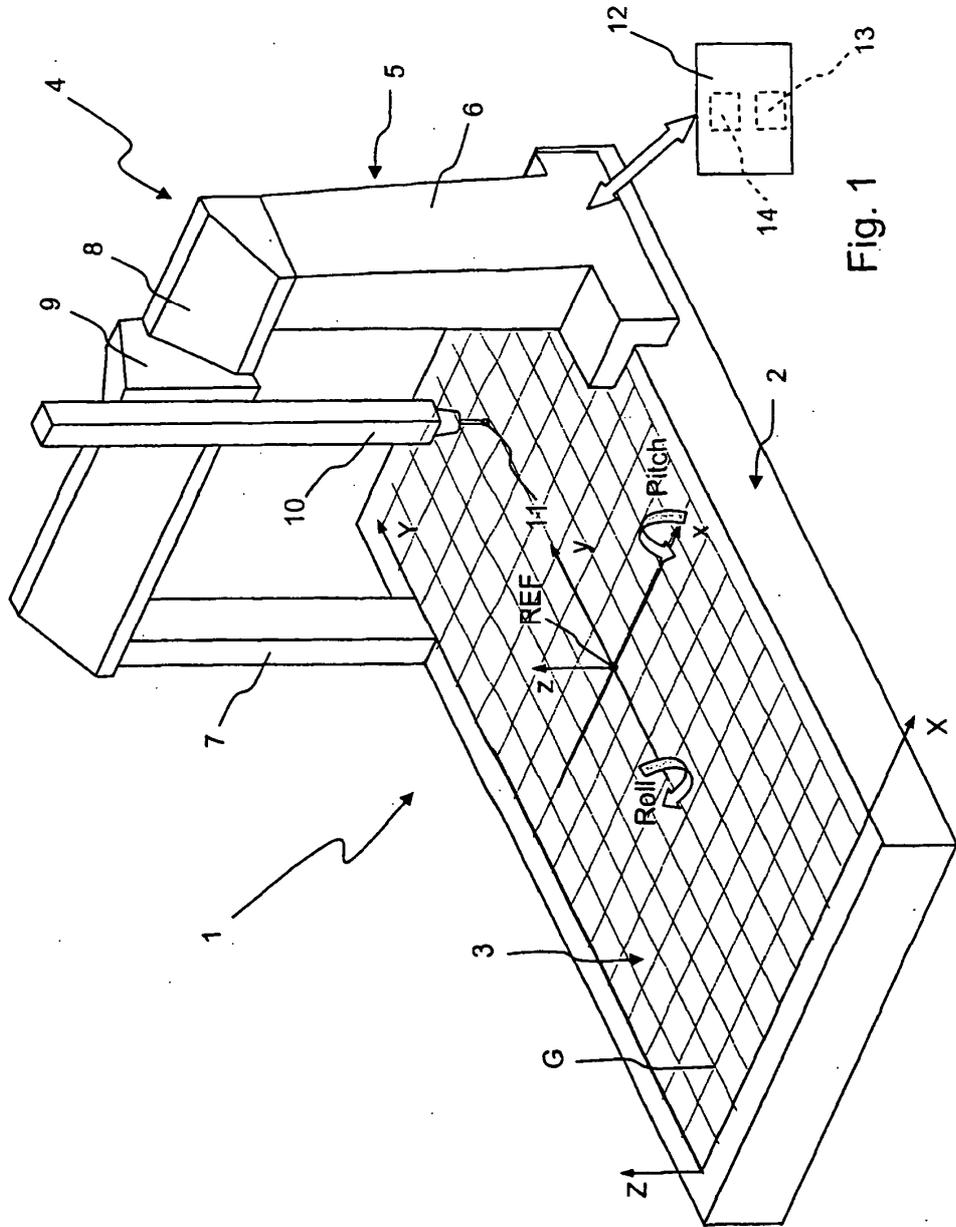


Fig. 1

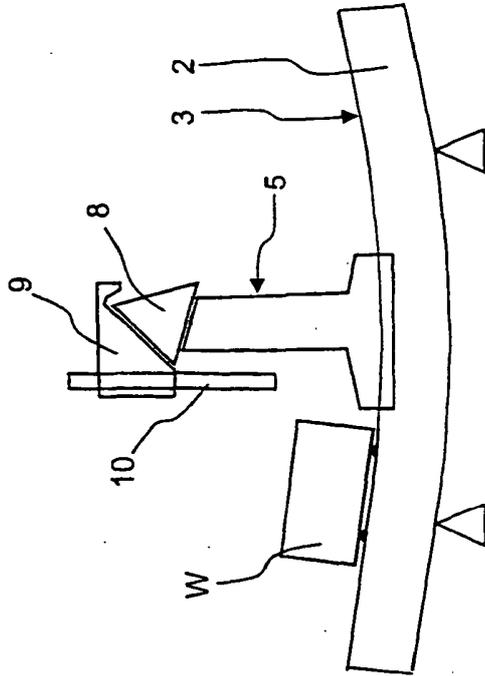


Fig. 3

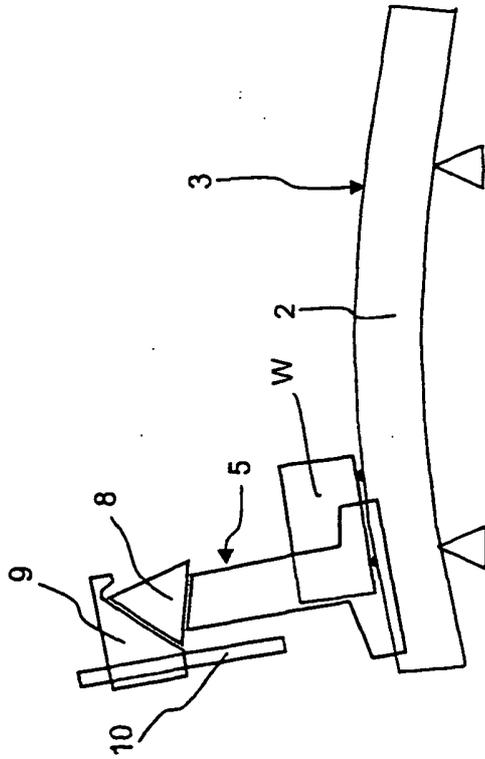


Fig. 2

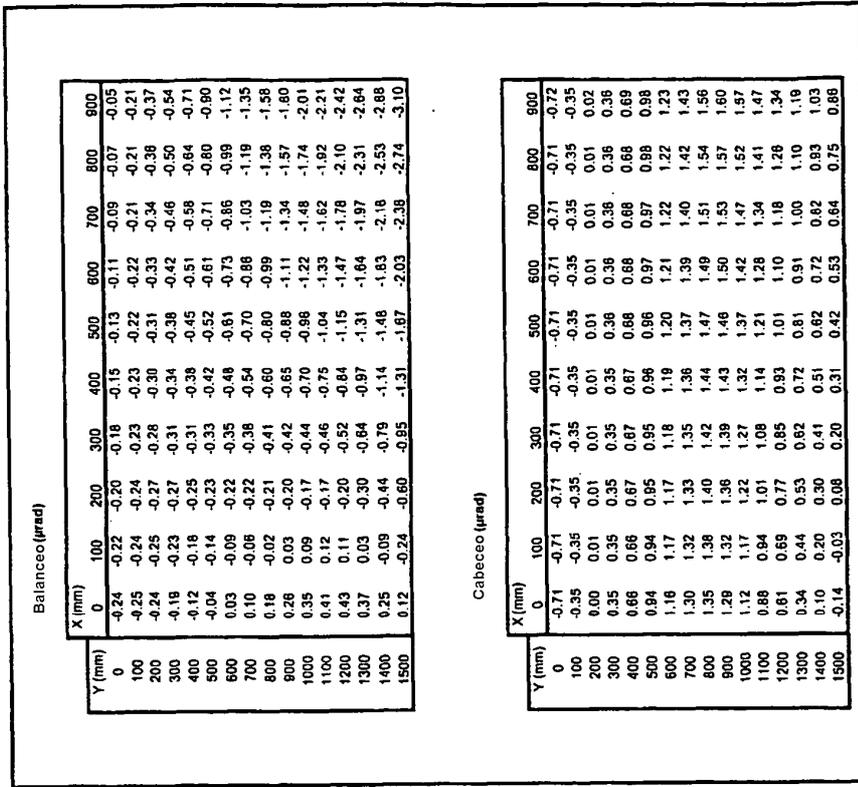


Fig. 5

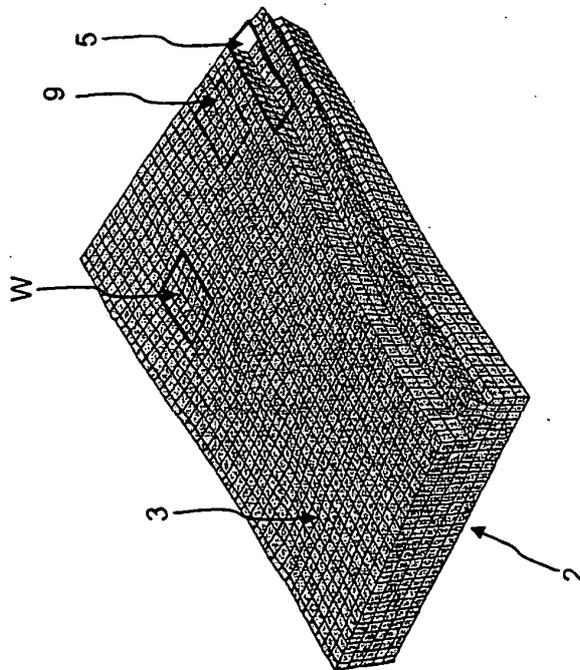


Fig. 4

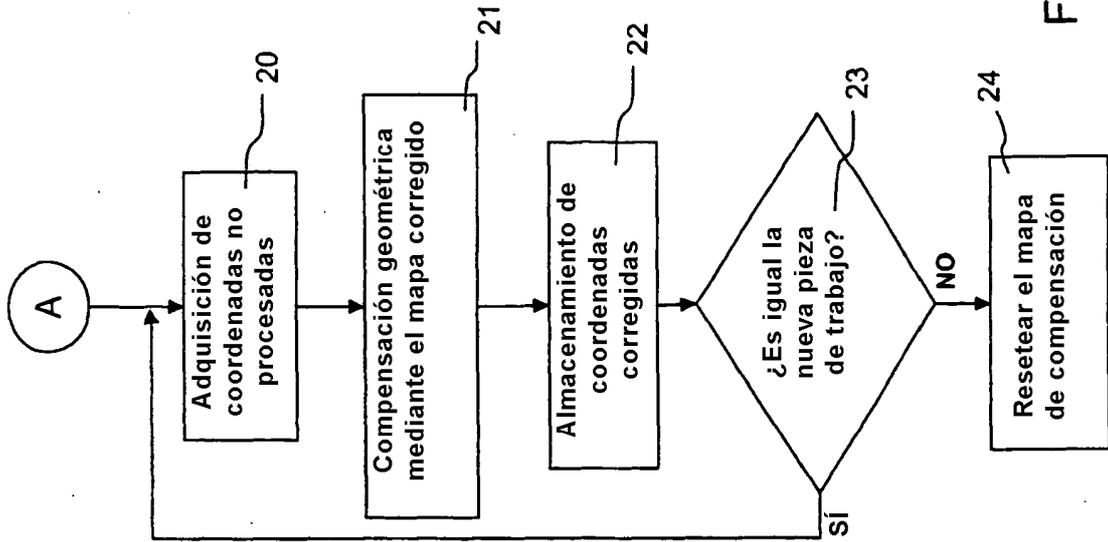


Fig. 7

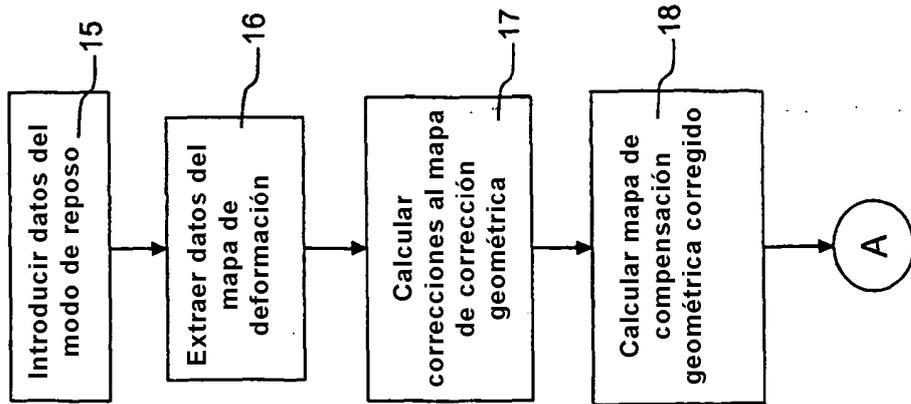


Fig. 6