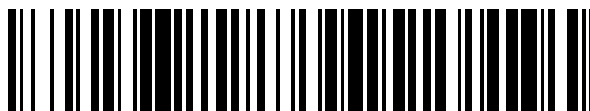


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 741 500**

51 Int. Cl.:

H01Q 15/14 (2006.01)

H01Q 1/12 (2006.01)

G06T 7/00 (2007.01)

B64G 1/00 (2006.01)

G05B 19/404 (2006.01)

G02B 23/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.06.2014** **E 14172568 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019** **EP 2816668**

54 Título: **Procedimiento de compensación de la gravedad en un instrumento**

30 Prioridad:

21.06.2013 FR 1301452

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

11.02.2020

73 Titular/es:

THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade Nord
92400 Courbevoie, FR

72 Inventor/es:

PORTE-CAZAUX, LAURENT;
RANCUREL, MICHAËL y
LASIC, THIERRY

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 741 500 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de compensación de la gravedad en un instrumento

La presente invención se refiere a un procedimiento de compensación de la gravedad en un instrumento. Se aplica a cualquier tipo de instrumento destinado a funcionar en la órbita terrestre, en ausencia de gravedad y, en particular, durante la regulación en tierra de cualquier tipo de instrumento de alta precisión. El instrumento puede ser por ejemplo un instrumento de alta precisión tal como un telescopio espacial o un interferómetro espacial o una antena y puede estar destinado a montarse sobre un satélite de observación.

Un instrumento de alta precisión destinado a montarse sobre satélite y para funcionar en órbita terrestre se regula clásicamente en tierra, sobre la Tierra, antes de su lanzamiento en órbita. El problema es que cuando el instrumento está en tierra, está sometido al efecto de la gravedad terrestre mientras que cuando está en vuelo sobre una órbita alrededor de la Tierra, el efecto de la gravedad desaparece. La diferencia de gravedad entre la posición en la superficie de la Tierra y la posición en vuelo en órbita implica deformaciones en las piezas estructurales del instrumento. Para obtener una calidad de funcionamiento óptima después de la puesta en órbita del instrumento, realizándose la regulación del instrumento en la superficie de la Tierra, es indispensable tener en cuenta el efecto debido a la gravedad y regular el instrumento en un estado correspondiente a su funcionamiento en órbita, es decir en ausencia de gravedad.

Es conocida la compensación de las deformaciones del instrumento colocando unos contrapesos en diferentes lugares del instrumento. Por ejemplo, en el caso de la regulación de un telescopio que incluye espejos de gran diámetro, tal como el VLT por ejemplo que incluye unos espejos primarios de diámetro superior a 8 metros, es conocida la compensación de las deformaciones de un espejo debidas a la gravedad colocando unos gatos axiales bajo la superficie del espejo. Los gatos aplican unas fuerzas que modifican el reparto de las masas que se aplican al espejo y permiten anular las deformaciones locales del espejo con el fin de que conserve una forma óptima. Sin embargo los gatos se utilizan en conexión con unos captadores para realizar una compensación activa en tiempo real de las deformaciones locales del espejo de un telescopio terrestre pero no permiten compensar los efectos de la gravedad sobre un instrumento completo destinado a funcionar en ausencia de gravedad. El documento RU 2020403 C1 describe un control del perfil de una pieza en ausencia de gravedad mediante la aplicación de fuerzas en diferentes puntos de la pieza. El documento US 5341147 A describe un procedimiento de medición de la corrección de la alineación del haz de una antena en presencia de gravedad en la que las medidas se realizan mediante una máquina Zeiss o un dispositivo láser. El documento DE 197 21 394 A1 describe la realización de medidas mediante fotogrametría.

Existen soluciones que permiten limitar la gravedad de un dispositivo espacial, principalmente de un reflector de antena, utilizando unos medios de suspensión tales como unos globos de helio colocados sobre la superficie del reflector o unos carriles sobre los que se suspende el reflector o utilizando unos medios de sustentación tales como unos sistemas de cojines de aire o unos patines deslizantes. Sin embargo estos sistemas de compensación están inadaptados en el caso de la regulación de un instrumento de alta precisión, que necesita unas regulaciones ópticas del orden del micrómetro o del microrradian, de gran envergadura, por ejemplo superior a 3 metros y de gran masa, por ejemplo superior a una tonelada. En efecto, este sistema de compensación no permite alcanzar una buena estabilidad del instrumento durante unas fases de regulación, ni una alta precisión porque las fuerzas de compensación a aplicar se determinan a partir de previsiones y no sobre medidas físicas de la posición, llamada posición de cero gravedad o posición 0 g, del instrumento correspondiente a la posición en gravedad. En particular, estos sistemas de compensación no permiten obtener una precisión de las intensidades de las fuerzas del orden de más o menos un newton ni una precisión de las direcciones de las fuerzas inferior a un grado. Además, las fuerzas de compensación de la gravedad se aplican generalmente en un único punto de interfaz lo que es netamente insuficiente para instrumentos de alta precisión y de gran masa.

El objeto de la invención es solucionar los inconvenientes de los sistemas de compensación de la gravedad conocidos y elaborar un nuevo procedimiento de compensación de la gravedad de un instrumento espacial que no se base en predicciones de las fuerzas aplicadas al instrumento sino que se base en medidas de desplazamientos físicos de las piezas estructurales del instrumento y que permita determinar, con una precisión de intensidad de más o menos un newton y una precisión de dirección de más o menos dos décimas de grado, las fuerzas a aplicar en diferentes puntos de la interfaz del instrumento con el fin de anular, en los diferentes puntos de la interfaz, las deformaciones estructurales del instrumento inducidas por la gravedad y regular el instrumento lo más precisamente posible en condiciones de funcionamiento correspondientes a un estado de funcionamiento en gravedad.

Para ello, la invención se refiere a un procedimiento de compensación de la gravedad en un instrumento en tierra, estando el procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1.

Ventajosamente, la posición 0 g del instrumento en las coordenadas XYZ es una posición media situada a igual distancia entre las dos medidas de posición realizadas para cada objetivo de interés, antes y después de un vuelco del instrumento por rotación de 0° a 180° alrededor del eje predeterminado.

Preferentemente, los objetivos de interés son unos papeles reflectantes pegados sobre el instrumento.

Ventajosamente, el procedimiento puede incluir una etapa adicional que consiste en verificar mediante unas medidas

por fotogrametría que la posición del instrumento obtenida después de la aplicación de las fuerzas de compensación es la posición 0 g.

Ventajosamente, el instrumento puede ser un telescopio.

5 Otras particularidades y ventajas de la invención quedarán claras en la siguiente descripción dada a título de ejemplo puramente ilustrativo y no limitativo, con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos que representan:

- figura 1: un esquema, en sección longitudinal en un plano YZ, de un ejemplo de instrumento en el que se aplican unas fuerzas de compensación de la gravedad, según la invención;
- figura 2: una vista en sección transversal en un plano XY, de un ejemplo de aplicación de fuerzas sobre un banco óptico que soporta un espejo primario de un telescopio, según la invención;
- 10 - figura 3: una vista en sección transversal en un plano XY, de un ejemplo de aplicación de fuerzas sobre un marco de soporte de un espejo secundario de telescopio, según la invención;
- figura 4: un ejemplo de dispositivo de medida por fotogrametría, según la invención;
- figura 5: un ejemplo de reconstitución por fotogrametría del reparto de un conjunto de objetivos de interés sobre un instrumento, según la invención;
- 15 - figura 6a: dos curvas que ilustran un ejemplo de medidas de posición realizadas por fotogrametría antes y después de un retorno de 0° a 180° con relación a un eje Z el instrumento, según la invención;
- figura 6b: una curva que ilustra la posición 0 g correspondiente a la media de las medidas 0° y 180° de la figura 6a, según la invención;
- figura 7: un sinóptico que ilustra las diferentes etapas de un procedimiento que no forma parte de la invención,
- 20 - figura 8: un sinóptico que ilustra a las diferentes etapas del procedimiento, según la invención.

La figura 1 representa un esquema de un ejemplo de instrumento en el que se aplican unas fuerzas de compensación de la gravedad. El instrumento se fija sobre un utilaje 2, tal como por ejemplo un bastidor o un carrito que permite voltear el instrumento, estando el utilaje 2 desacoplado del instrumento y posado sobre el terreno 15. En este ejemplo, el instrumento es un telescopio que incluye principalmente un banco 3 óptico fijado sobre el utilaje 2, un espejo 4 primario montado sobre el banco óptico en el fondo de una cavidad y un espejo 5 secundario montado en el centro de un marco 6 de soporte dispuesto a la entrada de la cavidad. El marco 6 de soporte puede estar unido por ejemplo al banco 3 óptico mediante una pieza estructural llamada armazón 7 de soporte. El instrumento se destina a montarse sobre un satélite colocado en órbita terrestre y por tanto está destinado a funcionar en un ambiente espacial en ausencia de gravedad. La regulación del instrumento se realiza en la Tierra en presencia de la gravedad terrestre, en una fase previa a su lanzamiento. En presencia de la gravedad, las diferentes piezas estructurales del instrumento están sometidas a una fuerza cuya orientación está dirigida hacia la tierra según el eje vertical Y y cuya intensidad es igual a su peso y se deforman bajo la acción de su propio peso. Como el instrumento está destinado a funcionar en ausencia de gravedad, es necesario compensar las deformaciones estructurales del instrumento debidas a la gravedad, durante su regulación en tierra, de manera que el instrumento se encuentre, en una posición correspondiente a la que tendrá durante su funcionamiento en órbita. Según la invención, la compensación de las deformaciones estructurales puede realizarse utilizando unos contrapesos unidos a unos cables que pasan por unas poleas que aplican unas fuerzas de tracción y/o utilizando unos gatos mecánicos axiales que aplican unas fuerzas de presión. Las fuerzas de tracción y/o de presión pueden aplicarse en diferentes puntos de la interfaz 16 del instrumento, definiéndose un punto de interfaz como un punto del instrumento en el que se aplica una fuerza, siendo las diferentes fuerzas de intensidad diferente en cada punto de la interfaz y estando orientadas según una dirección vertical y en un sentido opuesto a la fuerza de la gravedad. Para aplicar una fuerza de compensación sobre una pieza frágil tal como un espejo, por ejemplo, esta pieza frágil se dispone en una pieza estructural, por ejemplo un soporte estructural tal como un dispositivo de fijación del espejo o una jaula estructural, sobre la que se aplican las fuerzas.

A modo de ejemplo no limitativo, las figuras 1, 2 y 3 ilustran un telescopio montado en posición horizontal sobre un utilaje 2. Se aplican unas fuerzas de presión F2, F3 y unas fuerzas de tracción F1, F4, F5 en diferentes puntos de la interfaz 16 situados sobre unas piezas estructurales del instrumento, pudiendo situarse el emplazamiento de los puntos de interfaz en no importa qué punto de la superficie de cada pieza estructural del instrumento. Por ejemplo, como se representa en las figuras 1, 2 y 3, pueden aplicarse unas fuerzas de presión en uno o varios puntos de la interfaz situados sobre el banco 3 óptico y sobre una parte inferior del marco 6 de soporte del espejo 5 secundario. De igual modo, pueden aplicarse unas fuerzas de tracción sobre una jaula estructural del espejo 5 secundario y sobre una parte superior del marco de soporte del espejo secundario. De este modo, como se ha representado en el ejemplo de la figura 3, en el caso en el que la jaula del espejo 5 secundario se una a un marco 6 de soporte triangular mediante unas láminas 8 flexibles, la gravedad puede compensarse por ejemplo en cuatro puntos de interfaz diferentes mediante tres contrapesos, visualizados por las fuerzas F1, F4, F5, que pueden aplicarse respectivamente sobre tres puntos de la interfaz situados sobre los vértices A, B del marco de soporte y sobre la jaula del espejo secundario y mediante un gato mecánico axial, representado por la fuerza F3, pudiendo aplicarse sobre un punto de interfaz situado sobre el tercer vértice C. De igual modo, como lo muestran las fuerzas F2 y F6 representadas en la figura 2, es posible compensar la gravedad a nivel del espejo 4 primario colocando dos gatos mecánicos axiales sobre unos puntos 16 de interfaz situados sobre el banco 3 óptico que soporta el espejo primario. Es por supuesto posible aumentar o disminuir el número de puntos de interfaz y modificar su emplazamiento sobre las piezas estructurales. Por ejemplo, es posible agregar seis puntos de interfaz sobre las seis barras del armazón 7 de soporte, por ejemplo en el centro de cada barra entre el espejo 4 primario y el espejo 5 secundario. Es igualmente posible agregar unos puntos de interfaz sobre los

5 dispositivos de fijación del espejo 4 primario. Por otra parte, el telescopio incluye igualmente unas piezas estructurales adicionales, no representadas, tales como principalmente unos detectores y unos espejos adicionales colocados en una cavidad posterior situada por detrás del espejo primario y cada una de estas piezas estructurales puede incluir uno o varios puntos de interfaz adicionales. Además, es igualmente posible compensar la gravedad de cualquier otro tipo de instrumento distinto de un telescopio y disponer el instrumento en una posición diferente de la posición horizontal.

10 Los diferentes puntos 16 de interfaz se seleccionan en función de la precisión de regulación deseada a nivel de las diferentes piezas estructurales del instrumento y, en particular, en el caso de un instrumento óptico, a nivel de los dispositivos ópticos tales como los espejos, las lentes ópticas y los bancos ópticos, de manera que se asegure una alineación precisa de los dispositivos ópticos. Sin embargo, cuando hay más de tres puntos de interfaz, los diferentes puntos de interfaz no son independientes entre sí y la aplicación de una fuerza en un punto de interfaz particular tiene una repercusión sobre otros puntos del instrumento y particularmente sobre los otros puntos de interfaz. No es por tanto posible determinar las intensidades de las fuerzas a aplicar en cada punto de interfaz independientemente de los otros puntos de interfaz. El procedimiento según la invención permite determinar globalmente las fuerzas aplicadas a los diferentes puntos de interfaz seleccionados para compensar la gravedad del instrumento.

15 Según la invención, el procedimiento consiste, en unas etapas 8 y 9, en determinar, en unas coordenadas de referencia XYZ vinculadas al instrumento, la posición que tendría el instrumento si estuviera en órbita, en ausencia de gravedad. La posición del instrumento en ausencia de gravedad se llama la posición 0 g del instrumento, en la que g es la aceleración de la gravedad e igual a 9,81 N/kg en la superficie de la Tierra.

20 Para determinar la posición 0 g del instrumento, la invención consiste en seleccionar N puntos 16 de interfaz del instrumento en los que se aplicarán unas fuerzas F1, F2,....., FN para compensar la gravedad, y posteriormente en repartir diversos objetivos 14 de interés sobre toda la superficie del instrumento y en particular en cada punto 16 de interfaz seleccionado y alrededor de cada punto de interfaz. Los objetivos 14 de interés pueden pegarse por ejemplo sobre la superficie del instrumento. A modo de ejemplo no limitativo, los objetivos de interés pueden estar constituidos por dispositivos que reflejan las ondas luminosas tales como unos trozos de papel reflectante auto-adhesivos que presentan la ventaja de tener una masa despreciable con relación a la masa del instrumento o cualquier otro dispositivo que refleje las ondas luminosas.

25 La invención consiste a continuación, en la etapa 8, en realizar unas mediciones de las posiciones de los diferentes objetivos de interés 14 en unas coordenadas de referencia XYZ vinculadas al instrumento, realizándose las medidas de posición sin contacto, por fotogrametría.

30 Los dispositivos de fotogrametría se utilizan por ejemplo en los campos de la topografía, de la cartografía, de la arquitectura, de la geología o en el campo de la arqueología. Incluyen clásicamente un aparato fotográfico digital de alta precisión y un software de tratamiento de imágenes. El software de tratamiento de imágenes permite reconstruir una cartografía en tres dimensiones de una escena a partir de dos tomas de vista que apuntan a la misma escena.

35 La figura 4 ilustra un ejemplo de dispositivo de medida por fotogrametría según la invención, que incluye un aparato 11 fotográfico que realiza una pluralidad de tomas de vistas de un mismo instrumento 13 equipado con los objetivos 14 de interés, tal como por ejemplo un reflector de antena que incluye cinco objetivos 14 de interés. Las tomas de vista del instrumento equipado con los objetivos de interés, se realizan en todas las direcciones del espacio y bajo un gran número de ángulos de vista diferentes, asegurándose que cada objetivo de interés aparece en varias tomas de vista diferentes. Las imágenes obtenidas por las diferentes tomas de vista se tratan a continuación mediante un software de tratamiento de imágenes que permite construir una cartografía del instrumento en tres dimensiones y deducir de él una medida de la posición y de la orientación de cada objetivo de interés en unas coordenadas de referencia XYZ vinculadas al instrumento, como se ha representado sobre el ejemplo de cartografía de un instrumento de la figura 5 en el que cada mancha 17 corresponde al objetivo 14 de interés. La precisión de las medidas de posición de cada punto del instrumento en las coordenadas XYZ vinculadas al instrumento depende directamente del número de objetivos 14 de interés colocados sobre el instrumento alrededor del punto 16 de interfaz considerado y del número de tomas de vistas realizado. Para aumentar la precisión de las medidas, es necesario por tanto colocar un gran número, por ejemplo un centenar, de objetivos 14 de interés alrededor de cada punto 16 de interfaz en el que las fuerzas de compensación F1, F2,....., FN se aplicarán. Sin embargo, esto aumenta mucho el tiempo de realización de las medidas.

40 Según la invención, la cartografía por fotogrametría del instrumento equipado con los objetivos 14 de interés se realiza para dos posiciones diferentes del instrumento, siendo la primera posición una posición inicial cualquiera correspondiente a una posición 0°, obteniéndose la segunda posición, a partir de la posición inicial, por un vuelco del instrumento por rotación de un ángulo de 180° alrededor de un eje Z predeterminado del instrumento. Estando orientada la fuerza de la gravedad hacia la tierra según un eje vertical, el eje Z debe ser diferente del eje vertical.

45 Por ejemplo, en el caso en el que el instrumento es un telescopio, el eje Z puede ser el eje que une los centros de los espejos primario y secundario. Las dos cartografía realizadas antes y después de un vuelco del instrumento por rotación de 0° a 180° alrededor del eje Z permiten obtener dos medidas de posición para cada objetivo de interés sobre el instrumento. Cuando el instrumento se encuentra en la posición inicial de 0°, todos los puntos estructurales

del instrumento están sometidos a la fuerza de la gravedad. Después de un vuelco del instrumento de 180° alrededor de un eje de rotación Z predefinido, todos los puntos del instrumento se encuentran, con relación al eje de rotación, en una posición diametralmente opuesta a la posición en la que se encontraban antes del vuelco y están sometidos por tanto a una fuerza de gravedad de la misma intensidad pero de sentido opuesto a la que tenían en la posición inicial de 0°. La posición 0 g de cada objetivo de interés del instrumento correspondiente a la ausencia de gravedad se sitúa por tanto entre las dos posiciones medidas y a igual distancia de estas dos posiciones y corresponde por tanto un valor medio entre las dos medidas de posición. La invención consiste entonces para cada objetivo de interés, en determinar el valor medio de las dos medidas de posición realizadas a 0° y a 180° y deducir de ellas una posición del instrumento en ausencia de gravedad en cada punto de la interfaz seleccionado. La figura 6a muestra un ejemplo de dos curvas que ilustran el reparto de posiciones de los objetivos de interés situados en un plano YZ de un instrumento, obteniéndose las dos curvas por fotogrametría a 0° y a 180°. Para un instrumento constituido por un telescopio fijado sobre un plano horizontal, el eje Z de vuelco del instrumento puede elegirse por ejemplo según un eje horizontal que pasa por los centros de los espejos primario y secundario, como se ha representado en las figuras 6a y 6b, pero esto no es indispensable, puede elegirse también cualquier otra orientación diferente del eje vertical. La figura 6b muestra un ejemplo de curva que ilustra el reparto de las posiciones medias obtenidas a partir de las posiciones a 0° y a 180° de la figura 6a. Esta curva correspondiente al reparto de las posiciones medias es la posición 0 g del instrumento a alcanzar por aplicación de fuerzas en los diferentes puntos de interfaz seleccionados que se localizan en el plano YZ correspondiente.

El procedimiento de la invención consiste a continuación en determinar la intensidad de las fuerzas de compensación a aplicar en cada punto de interfaz seleccionado para alcanzar la posición 0 g. La intensidad de las fuerzas a aplicar en cada punto 16 de interfaz seleccionado depende de la separación de posición del punto de interfaz sobre el instrumento con relación a la posición 0 g a alcanzar. Por otra parte, cualquier fuerza aplicada en un punto de interfaz provoca una modificación de posición de los otros puntos de interfaz.

Según un ejemplo que no forma parte de la invención representado en la figura 7, la determinación de las fuerzas puede realizarse por simulación a partir de un modelo 26 de elementos finitos MEF correlacionado del instrumento. El modelo 26 de elementos finitos correlacionado se obtiene después de una etapa 31 de correlación, es decir de alineación, de un modelo 32 de elementos finitos del instrumento con las medidas de posición realizadas en la etapa 8 durante unos vuelcos de 0°-180°. Este procedimiento por simulación permite aproximar la posición 0 g pero con una precisión que no es en general suficiente para un instrumento de alta precisión del orden del micrómetro.

Según la invención representada en la figura 8, para determinar la intensidad de las fuerzas que deben aplicarse al instrumento en cada punto de interfaz seleccionado, la invención consiste, para cada objetivo de interés, en comparar la posición inicial de 0° medida y la posición 0 g a alcanzar de manera que se determinen las desviaciones entre las dos posiciones y en deducir los desplazamientos D1, D2, ..., DN correspondientes a realizar localmente en cada punto 16 de interfaz del instrumento. Los desplazamientos D1, D2, ..., DN a realizar localmente en cada punto 16 de interfaz pueden ser por ejemplo iguales a un valor medio de las desviaciones de posición medidas para diferentes objetivos dispuestos en la proximidad y alrededor del mismo punto 16 de interfaz considerado. Los N desplazamientos D1, D2, ..., DN a realizar a los N puntos de interfaz para alcanzar la posición 0 g se representan en la forma de un vector D de tamaño N*1.

La invención consiste a continuación en realizar unas medidas por fotogrametría de los desplazamientos del instrumento en cada punto de interfaz cuando se aplica una fuerza unitaria en un único punto 16 de interfaz, en efectuar estas medidas N veces aplicando una fuerza unitaria sucesivamente en N puntos de interfaz diferentes y posteriormente en deducir un sistema de ecuaciones que vinculen una fuerza aplicada en un único punto de interfaz y los desplazamientos correspondientes obtenidos en todos los puntos de interfaz del instrumento. Para ello, la invención consiste en aplicar 21 una primera fuerza unitaria cualquiera, por ejemplo de diez newtons, en un primer punto de interfaz y en medir 22, por fotogrametría, los desplazamientos locales del instrumento correspondiente a esta primera fuerza unitaria, realizándose las medidas de los desplazamientos locales para todos los puntos de interfaz seleccionados. Y posteriormente en elegir un segundo punto de interfaz, aplicarle una segunda fuerza unitaria, que puede ser idéntica o diferente de la primera fuerza unitaria, por ejemplo cien newtons y en hacer nuevas medidas, por fotogrametría, de los desplazamientos locales del instrumento que corresponden a esta segunda fuerza unitaria, realizándose las medidas en todos los puntos de interfaz seleccionados. Y posteriormente en reiterar N veces las mismas medidas por fotogrametría eligiendo sucesivamente todos los puntos de interfaz, uno tras otro, y aplicando una i-ésima fuerza unitaria al i-ésimo punto de interfaz, en el que i está comprendido entre 1 y N.

Al final del proceso iterativo, la invención consiste en representar 23 todos los desplazamientos locales obtenidos en cada punto de interfaz y en cada iteración en una matriz U, llamada matriz de sensibilidad y en resolver 24 un sistema matricial que da las fuerzas de compensación a aplicar a los diferentes puntos de interfaz seleccionados en función de los desplazamientos locales a realizar en estos puntos de interfaz para alcanzar la posición 0 g. Para un número de N puntos de interfaz, en el que N es un número entero superior a uno, la invención consiste entonces en resolver el sistema matricial $F=U^{-1}D$, en la que F es un vector, de tamaño N*1, de las fuerzas de compensación a aplicar en cada punto de interfaz, U es la matriz de sensibilidad de tamaño N*N y D es un vector, de tamaño N*1, de los desplazamientos a aplicar en cada punto de interfaz para alcanzar la posición 0 g. Este sistema matricial incluye N ecuaciones con N incógnitas, siendo las N incógnitas las fuerzas de compensación a aplicar.

ES 2 741 500 T3

Después de la resolución de las N ecuaciones, las N fuerzas de compensación, que corresponden a las soluciones de las N ecuaciones, pueden aplicarse 25 a los puntos de interfaz correspondientes del instrumento.

- La invención consiste además en una etapa 30, de verificar por fotogrametría, que la posición del instrumento obtenida después de la aplicación de las N fuerzas de compensación en los N puntos de interfaz corresponde a la posición 0 g.
- 5 Para ello, es posible definir un valor de desviación máxima a no sobrepasar con relación a la posición 0 g. En el caso en que la verificación confirme que la posición del instrumento a la que se aplican las fuerzas de compensación, corresponde a la posición 0 g con un error inferior al valor de desviación máximo, la compensación de la gravedad se finaliza y la fase de regulación del instrumento puede comenzar. En caso contrario en que la posición obtenida no
- 10 corresponda a la posición 0 g sino que presenta una desviación superior al valor de desviación máximo con relación a la posición 0 g, el procedimiento de compensación de la gravedad ha fracasado, pudiendo ser el fracaso resultado de un número de objetivos de interés o de un número de tomas de vista insuficientes. El procedimiento de compensación debe entonces retomarse en su conjunto desde la primera etapa 8 con un mayor número de objetivos de interés colocados sobre la superficie del instrumento y un mayor número de tomas de vista.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de compensación de la gravedad en un instrumento en tierra, estando el instrumento destinado a funcionar en órbita, que consiste:

- 5 - en medir (8) las posiciones de varios objetivos (14) de interés repartidos sobre el instrumento, en unas coordenadas XYZ de referencia vinculadas al instrumento, antes y después de un vuelco del instrumento por rotación de 0° a 180° alrededor de un eje predeterminado y, a partir de las medidas de posición, deducir (9) una medida de posición 0 g del instrumento en las coordenadas XYZ de referencia, donde g es la aceleración de la gravedad,
- 10 - en determinar (20) las intensidades de fuerzas (F1, F2,....., FN) de compensación a aplicar a N puntos (16) de interfaz para alcanzar la posición 0 g,
- posteriormente, en aplicar (25) las fuerzas (F1, F2,....., FN) de compensación de gravedad a los N puntos (16) de interfaz el instrumento,

caracterizado porque las medias de las posiciones de los objetivos de interés se realizan por fotogrametría y **porque** la determinación de las fuerzas (F1, F2,....., FN) de compensación a aplicar en cada punto (16) de interfaz consiste:

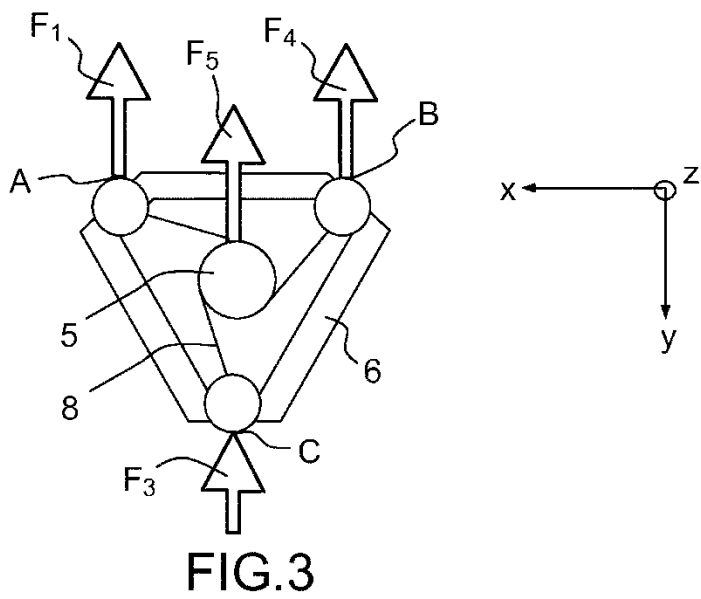
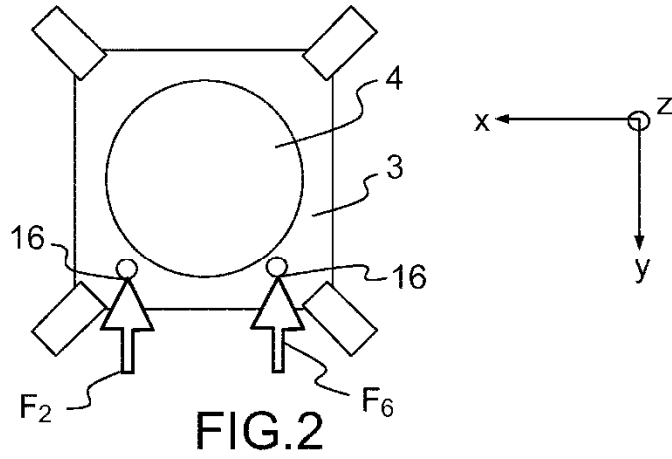
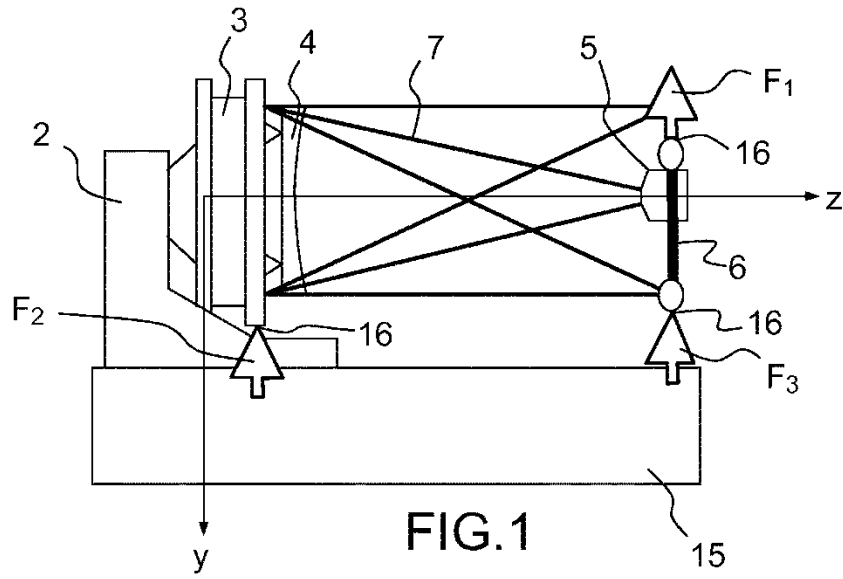
- 15 - a partir de la posición 0 g obtenida, en determinar (10) los desplazamientos (D1, D2,....., DN) a realizar en N puntos (16) de interfaz del instrumento, donde N es un número entero superior a 1,
- en realizar (22) las medidas por fotogrametría de los desplazamientos del instrumento en todos los puntos (16) de interfaz después de la aplicación de una fuerza unitaria de intensidad cualquiera sobre únicamente uno de los
- 20 N puntos de interfaz, realizándose las medidas de desplazamiento N veces aplicando sucesivamente una fuerza unitaria sobre cada uno de los N puntos de interfaz considerados individualmente y sucesivamente uno tras otro,
- en representar (23) todos los desplazamientos medidos por fotogrametría en una matriz U de dimensiones N*N y
- en resolver (24) un sistema matricial $F= U^{-1}*D$ en el que F es un vector N*1 que incluye N incógnitas relativas a las fuerzas (F1, F2,....., FN) a aplicar a los N puntos de interfaz para alcanzar la posición 0 g, D es un vector N*1
- 25 que incluye N valores (D1, D2,....., DN) relativos a los desplazamientos a realizar a los N puntos de interfaz para alcanzar la posición 0 g y donde U^{-1} es la inversa de la matriz U.

2. Procedimiento de compensación según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la posición 0 g del instrumento en las coordenadas XYZ es una posición media situada a igual distancia entre las dos medidas de posición realizadas para cada objetivo de interés, antes y después de un vuelco del instrumento por rotación de 0° a 180° alrededor del eje predeterminado.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** los objetivos (14) de interés son unos papeles reflectantes pegados sobre el instrumento.

4. Procedimiento de compensación según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** consiste además, en verificar mediante las medidas por fotogrametría que la posición del instrumento obtenida después de la aplicación (25) de las fuerzas de compensación es la posición 0 g.

5. Procedimiento de compensación según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el instrumento es un telescopio.



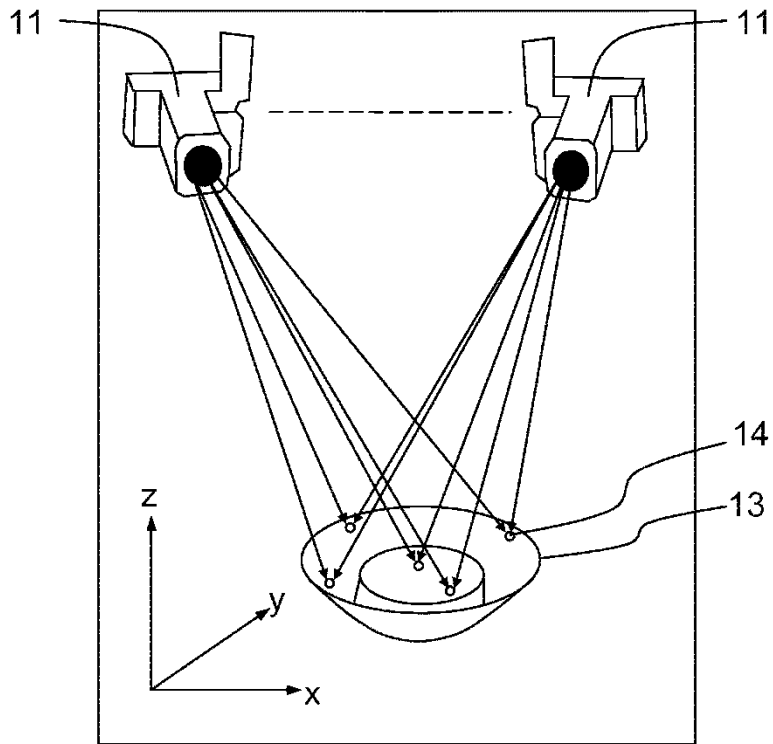


FIG.4

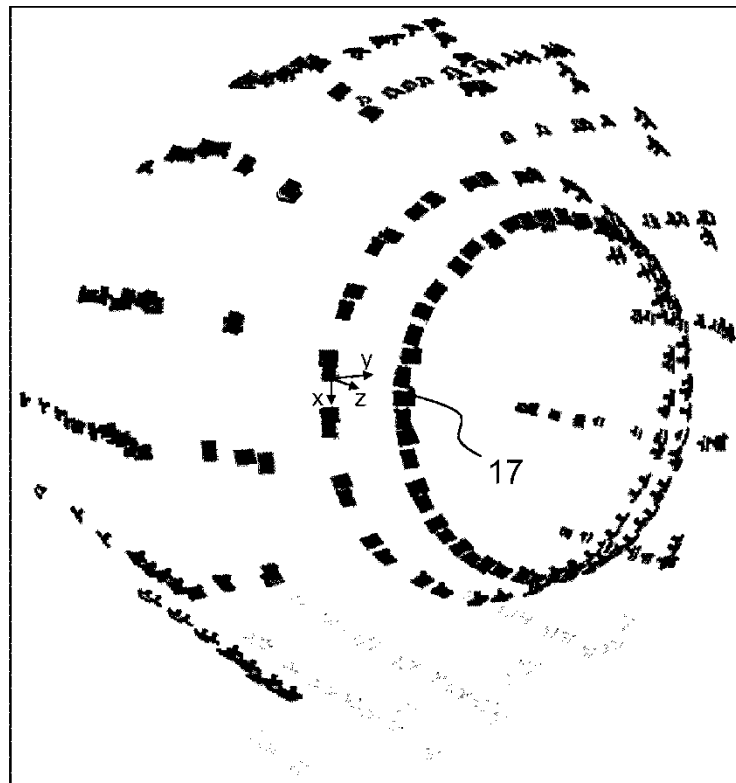


FIG.5

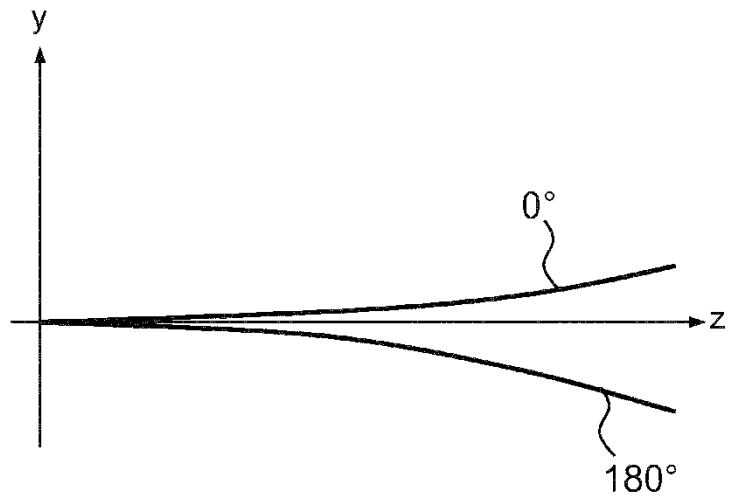


FIG.6a

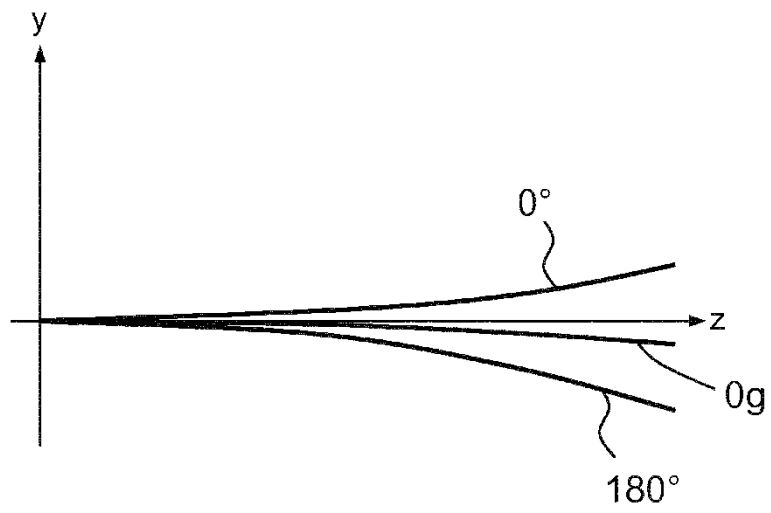


FIG.6b

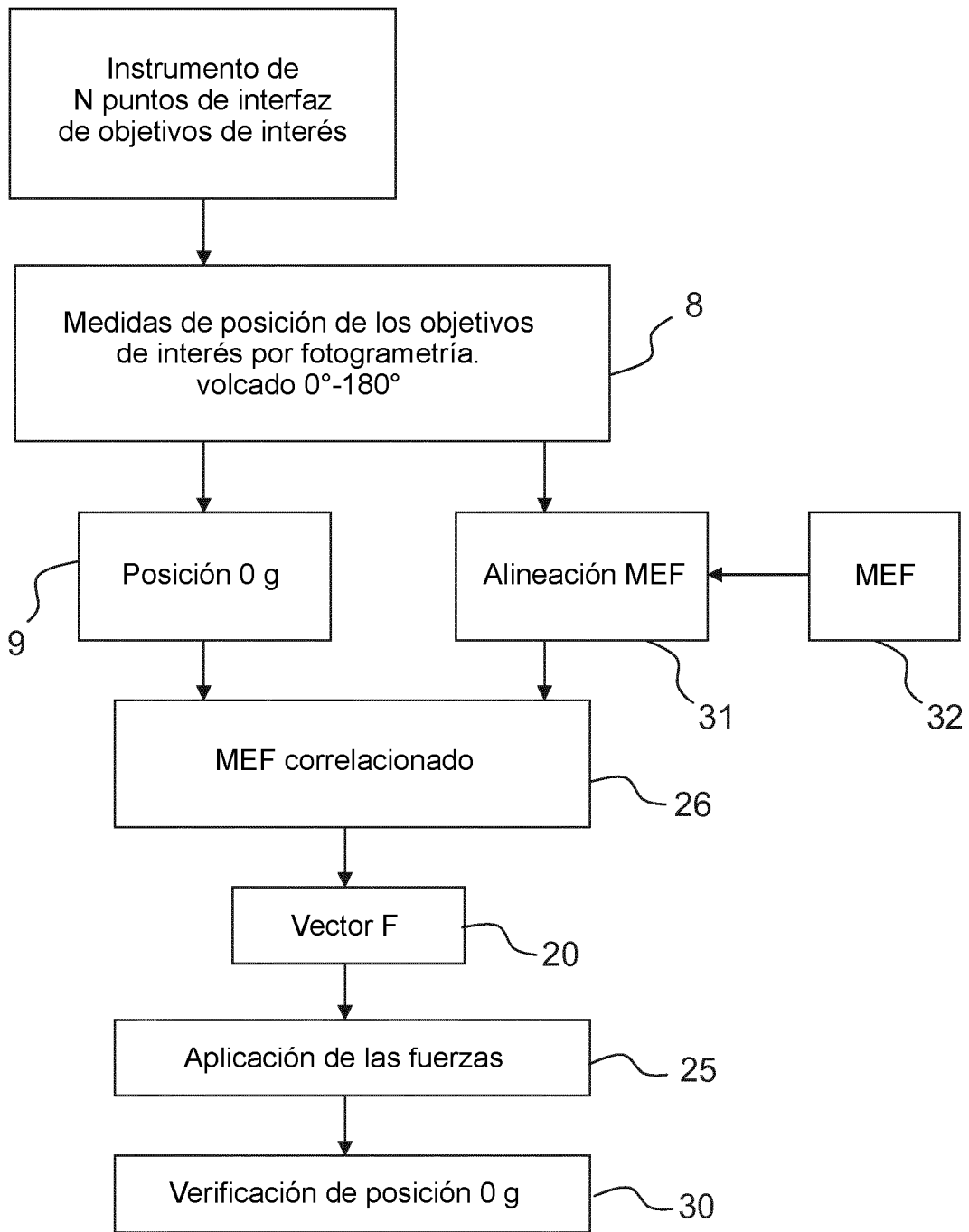


FIG.7

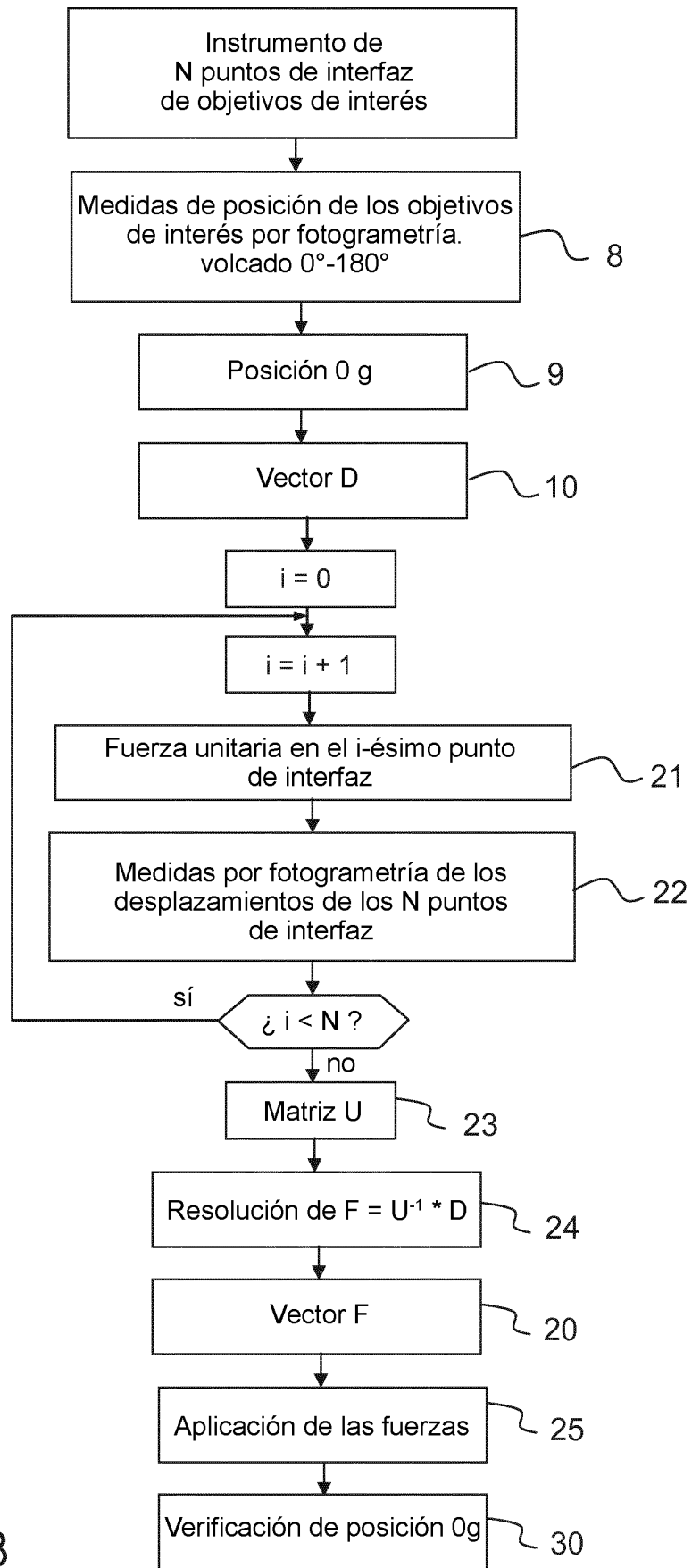


FIG.8