

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 217**

51 Int. Cl.:

G01B 11/25 (2006.01)

G01B 11/02 (2006.01)

G06T 7/60 (2007.01)

H04N 5/247 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.04.2016 PCT/JP2016/062801**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.10.2016 WO16171263**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2016 E 16783284 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 3270104**

54 Título: **Aparato de medición de forma y método de medición de forma**

30 Prioridad:

22.04.2015 JP 2015087517

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

18.02.2020

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo, JP**

72 Inventor/es:

**HIBI, ATSUHIRO;
KONNO, YUSUKE;
FURUYA, NOBUHIRO y
KUROIWA, TOMOHIRO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 743 217 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

Aparato de medición de forma y método de medición de forma

Campo técnico

La presente invención hace referencia a un aparato de medición de forma y a un método de medición de forma.

5 Técnica anterior

Se conocen aparatos y métodos para la medición óptica de forma a partir de numerosas publicaciones, p.ej., los siguientes documentos de patentes: WO 2010/034301 A2 y US 2010/209002 A1 hacen referencia a un aparato y a un método para la medición óptica de la geometría tridimensional de objetos. El documento JP 2011 047857 A hace referencia a un aparato de medición de forma tridimensional para irradiar un objeto con un haz de láser de hendidura, capturando una línea de sección de luz formada en la superficie del objeto, y midiendo la forma tridimensional del objeto utilizando la imagen de la línea de sección de luz capturada. El documento JP 2012 032271 A hace referencia a un aparato de medición para medir una forma tridimensional de una oblea que tiene una marca de sierra como una oblea de células solares.

Una placa, que es un producto de acero semi-acabado, una chapa gruesa producida utilizando dicha placa, y similar se transportan en una línea de producción compuesta de una pluralidad de rodillos durante el proceso de producción de las mismas. En este momento, se realiza la medición de la forma utilizando lo que se denomina método de sección de luz, para medir la altura de la superficie de un cuerpo rígido tal como la placa o la chapa gruesa. Sin embargo, cuando un cuerpo rígido tal como una placa o una chapa gruesa se transporta en una línea de producción, existe el problema de que la fluctuación en la altura de la superficie derivada del movimiento vertical y la rotación del cuerpo rígido (de aquí en adelante, denominado como "perturbación") se superpone sobre la altura de la superficie medida, y no puede medirse la verdadera altura de la superficie.

Para afrontar el problema mencionado anteriormente, la tecnología que se muestra en el documento JP 2013 221799 A propone, además de una línea de sección de luz para la medición de la forma original formada en la dirección del ancho de un cuerpo rígido que va a ser medido, formar otra línea de sección de luz en una dirección oblicua a la línea de sección de luz mencionada anteriormente (direcciones que no son mutuamente paralelas). En la tecnología, la medición del mismo punto del cuerpo rígido que va a ser medido, que se supone originalmente que tiene la misma altura de superficie, se realiza dos veces para cada una de una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en dirección longitudinal y diferentes posiciones en dirección del ancho. Después de eso, la magnitud de la perturbación (movimiento vertical y rotación) por la cual las alturas de la superficie de la pluralidad de puntos mencionados anteriormente coinciden, se obtiene, más favorablemente, mediante cálculo de optimización, y el efecto de la perturbación se elimina del resultado de la medición.

Compendio de la invención

Problema técnico

Sin embargo, en la tecnología que se muestra en el documento JP 2013 221799 A, si el error de medición es grande en la medición de la altura de la superficie de cada punto de medición, el cálculo de optimización puede no converger correctamente. Además, la tecnología que se muestra en el documento JP 2013 221799 A tiene el problema de que se superponen errores sobre el resultado de la medición en el caso en el que tres tipos de perturbación de movimiento vertical (traslación en la dirección de la altura), rotación alrededor del eje en dirección longitudinal, y rotación alrededor del eje en dirección del ancho, que pueden existir como perturbación, existen simultáneamente.

Por tanto, la presente invención ha sido realizada en vista de los problemas mencionados anteriormente, y un objeto de la presente invención es proporcionar un aparato de medición de forma y un método de medición de forma que pueda medir la altura de la superficie de un cuerpo rígido que va a ser medido de forma más precisa, incluso si uno cualquiera de los tres tipos de perturbación de traslación en la dirección de la altura, rotación alrededor del eje de la dirección longitudinal, y rotación alrededor del eje de la dirección del ancho ha ocurrido durante el transporte.

Solución al problema

De acuerdo con un aspecto de la presente invención para lograr el objeto mencionado anteriormente, se proporciona un aparato de medición de forma que mide la forma de un cuerpo rígido que va a ser medido, mediante una pluralidad de líneas de sección de luz basadas en una pluralidad de haces de luz láser lineal aplicados a una superficie del cuerpo rígido que va a ser medido, procedentes de una pluralidad de fuentes de luz láser lineal que se desplazan en relación al cuerpo rígido que va a ser medido a lo largo de una dirección longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido. El aparato de medición de forma incluye: un aparato de captura de imágenes que aplica tres haces de luz láser lineal a la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido, que se desplazan de forma relativa a lo largo de la dirección longitudinal, y captura imágenes de la luz reflejada de los tres haces de luz láser lineal desde la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido en un intervalo prescrito en la dirección longitudinal; y un aparato

de procesamiento aritmético que realiza un procesamiento de imágenes sobre las imágenes capturadas relacionadas con las líneas de sección de luz captadas como imágenes por el aparato de captura de imágenes, y calcula la forma de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido. El aparato de captura de imágenes incluye una primera fuente de luz láser lineal que emite una línea de sección de luz de medición de forma que es la línea de sección de luz que se extiende en una dirección del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido, y se utiliza para calcular la forma de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido, una segunda fuente de luz láser lineal que emite una primera línea de sección de luz de corrección que es paralela a la dirección longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido y cruza la línea de sección de luz de medición de forma, y se utiliza para corregir un efecto de perturbación que actúa sobre el cuerpo rígido que va a ser medido, una tercera fuente de luz láser lineal que emite una segunda línea de sección de luz de corrección que es paralela a la dirección longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido, cruza la línea de sección de luz de medición de forma, y sale en una posición de la dirección del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido diferente de la primera línea de sección de luz de corrección, y se utiliza para corregir un efecto de perturbación que actúa sobre el cuerpo rígido que va a ser medido, una primera cámara que toma imágenes de la línea de sección de luz de medición de forma en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en la dirección longitudinal y genera una imagen capturada de la línea de sección de luz de medición de forma en cada tiempo, y una segunda cámara que toma imágenes de las líneas de sección de luz de corrección en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en la dirección longitudinal y genera una imagen capturada de las líneas de sección de luz de corrección en cada tiempo, y el aparato de procesamiento aritmético incluye una unidad de cálculo de datos de la forma que, basados en la imagen capturada de la línea de sección de luz de medición de forma en cada tiempo generada por la primera cámara, calcula los datos de la forma que muestran una forma tridimensional de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido y en el que se superpone un error de medición derivado de la perturbación, una unidad de estimación de perturbaciones que realiza, en una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en la dirección longitudinal de la primera línea de sección de luz de corrección, el procesamiento de la adquisición del valor de cambio de la altura de adquirir, a partir de los valores de medición de la altura relacionados con una altura de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido adquiridos en dos tiempos diferentes para la misma posición del cuerpo rígido que va a ser medido, un valor de cambio de altura derivado de la perturbación en la posición, utilizando imágenes capturadas de la primera línea de sección de luz de corrección, realiza el procesamiento de la adquisición del valor del cambio de altura sobre una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en dirección longitudinal de la segunda línea de sección de luz de corrección utilizando imágenes capturadas de la segunda línea de sección de luz de corrección, y estima la cantidad de fluctuación de la altura derivada de la perturbación superpuesta en los datos de la forma, utilizando una pluralidad de valores de cambio de altura derivados de la perturbación obtenidos a partir de las imágenes capturadas de la primera línea de sección de luz de corrección y una pluralidad de valores de cambio de altura derivados de la perturbación obtenidos a partir de las imágenes capturadas de la segunda línea de sección de luz de corrección, y una unidad de corrección que sustrae la cantidad de fluctuación de la altura a partir de los datos de la forma y corrige de este modo el error de medición derivado de la perturbación.

Es preferible que la unidad de estimación de perturbaciones aproxime, con una línea recta, los valores de cambio de altura derivados de la perturbación en una pluralidad de puntos en la primera línea de sección de luz de corrección y estime un valor de cambio de altura derivado de la perturbación en un punto de intersección de la línea recta y la línea de sección de luz de medición de la forma, aproxime, con una línea recta, los valores de cambio de la altura derivados de la perturbación en una pluralidad de puntos en la segunda línea de sección de luz de corrección y estime un valor de cambio de altura derivado de la perturbación en un punto de intersección de la línea recta y la línea de sección de luz de medición de la forma, y estime la cantidad de fluctuación de la altura mediante una línea recta que conecta los valores de cambio de la altura derivados de la perturbación en los dos puntos de intersección.

Es preferible que cada una de entre la primera cámara y la segunda cámara realice la captura de imágenes en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en dirección longitudinal y genere N (siendo N un número entero de 2 o más) imágenes capturadas, y que la unidad de estimación de perturbaciones calcule la cantidad de fluctuación de la altura suponiendo que no haya ocurrido una perturbación en una 1ª imagen capturada.

Es preferible que los tiempos de captura de imágenes de la primera cámara y la segunda cámara se controlen de manera que exista una región de irradiación común que es una parte del cuerpo rígido que va a ser medido, irradiado con la línea de sección de luz de corrección en común en las imágenes capturadas de la segunda cámara, capturadas en tiempos de captura de imágenes adyacentes entre sí, y que la unidad de estimación de perturbaciones calcule un valor de cambio de altura derivado de la perturbación para la pluralidad de puntos que caen bajo la región de irradiación común de cada una de entre la línea de sección de luz de corrección y la segunda línea de sección de luz de corrección.

Es preferible que, utilizando una altura de superficie aparente que incluye el valor de cambio de altura obtenido a partir de una imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada ($i= 1, 2, \dots, N-1$) de la segunda cámara y una altura de superficie que se obtiene a partir de una imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada de la segunda cámara y que tiene lugar después de que se elimine el valor de cambio de altura en la región de irradiación común de la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada, la unidad de estimación de perturbaciones calcule el valor de cambio de altura en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada y una altura de la superficie después de que se elimine el valor de cambio de superficie.

Es preferible que la unidad de estimación de perturbaciones calcule el valor del cambio de altura en una imagen i ésima capturada ($i = 2, \dots, N$) de la segunda cámara con una 1ª imagen capturada de la segunda cámara como referencia.

5 Es preferible que la primera fuente de luz láser lineal, la segunda fuente de luz láser lineal, y la tercera fuente de luz láser lineal estén previstas de tal manera que el eje óptico de cada fuente de luz sea perpendicular a un plano definido por una dirección longitudinal y una dirección del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido.

10 Es preferible que un ángulo entre un eje óptico de la primera cámara y un eje óptico de la primera fuente de luz láser lineal, un ángulo entre una línea de visión de la segunda cámara y un eje óptico de la segunda fuente de luz láser lineal, y un ángulo entre la línea de visión de la segunda cámara y un eje óptico de la tercera fuente de luz láser lineal sean, independientemente entre sí, de no menos de 30 grados y no más de 60 grados.

15 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, para lograr un método de medición de forma que mida la forma de un cuerpo rígido que va a ser medido mediante una pluralidad de líneas de sección de luz, basadas en una pluralidad de haces de luz láser lineal aplicados a una superficie del cuerpo rígido que va a ser medido procedentes de una pluralidad de fuentes de luz láser lineal, que se desplazan en relación al cuerpo rígido que va a ser medido a lo largo de una dirección longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido, se proporciona el método de medición de forma que incluye: una etapa de captura de imágenes de captura de imágenes de la luz reflejada de tres líneas de sección de luz procedentes de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido en un intervalo prescrito en la dirección longitudinal, aplicando las tres líneas de sección de luz a la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido que se desplazan de forma relativa a lo largo de la dirección longitudinal de un aparato de captura de imágenes que incluye una primera fuente de luz láser lineal que emite una línea de sección de luz de medición de forma que es la línea de sección de luz que se extiende en una dirección del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido, y se utiliza para calcular una forma de superficie del cuerpo rígido que va a ser medido, una segunda fuente de luz láser lineal que emite una primera línea de sección de luz de corrección que es paralela a la dirección longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido y cruza la línea de sección de luz de medición de forma, y se utiliza para corregir un efecto de perturbación que actúa sobre el cuerpo rígido que va a ser medido, una tercera fuente de luz láser lineal que emite una segunda línea de sección de luz de corrección que es paralela a la dirección longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido, cruza la línea de sección de luz de medición de forma, y sale en una posición de la dirección del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido diferente de la primera línea de sección de luz de corrección, y se utiliza para corregir un efecto de perturbación que actúa sobre el cuerpo rígido que va a ser medido, una primera cámara que obtiene imágenes de la línea de sección de luz de medición de forma en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en la dirección longitudinal y genera una imagen capturada de la línea de sección de luz de medición de forma en cada tiempo, y una segunda cámara que obtiene imágenes de las líneas de sección de luz de corrección en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en la dirección longitudinal y genera una imagen capturada de las líneas de sección de luz de corrección en cada tiempo; una etapa de cálculo de datos de la forma de, basada en la imagen capturada de la línea de sección de luz de medición de forma en cada tiempo generada por la primera cámara, calcular los datos de la forma que muestran una forma tridimensional de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido y en el que se superpone un error de medición obtenido de la perturbación; una etapa de estimación de la perturbación de realización, en una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en la dirección longitudinal de la primera línea de sección de luz de corrección, de un procesamiento de adquisición de un valor de cambio de la altura para la adquisición, a partir de valores de medición de la altura relacionados con una altura de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido adquiridos en dos tiempos diferentes para la misma posición del cuerpo rígido que va a ser medido, un valor de cambio de altura derivado de la perturbación en la posición, utilizando imágenes capturadas de la primera línea de sección de luz de corrección, realizando el procesamiento de adquisición del valor de cambio de la altura en una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en la dirección longitudinal de la segunda línea de sección de luz de corrección utilizando imágenes capturadas de la segunda línea de sección de luz de corrección, y estimando la cantidad de fluctuación de la altura derivada de la perturbación superpuesta en los datos de la forma, utilizando una pluralidad de valores de cambio de la altura derivados de la perturbación obtenidos a partir de las imágenes capturadas de la primera línea de sección de luz de corrección, y una pluralidad de valores de cambio de la altura derivados de la perturbación obtenida a partir de las imágenes capturadas de la segunda línea de sección de luz de corrección; y una etapa de corrección de substracción de la cantidad de la fluctuación de la altura de los datos de la forma y por lo tanto de corrección del error de medición derivado de la perturbación.

55 Es preferible que, en la etapa de estimación de la perturbación, los valores de cambio de la altura derivados de la perturbación en una pluralidad de puntos en la primera línea de sección de luz de corrección se aproximen con una línea recta y por lo tanto se estime el valor de cambio de altura derivado a partir de la perturbación en un punto de intersección de la línea recta y la línea de sección de luz de medición de la forma, los valores de cambio de la altura derivados de la perturbación en una pluralidad de puntos en la segunda línea de sección de luz de corrección se aproximen con una línea recta y por lo tanto se estime el valor de cambio de altura derivado a partir de la perturbación en un punto de intersección de la línea recta y la sección de luz de medición de la forma, y se estime la cantidad de fluctuación de la altura mediante una línea recta que conecta los valores de cambio de la altura derivados a partir de la perturbación en los dos puntos de intersección.

Es preferible que cada una de entre la primera cámara y la segunda cámara realicen la captura de imágenes en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en dirección longitudinal y generen N (siendo N un número entero de 2 o más) imágenes capturadas, y que en la etapa de estimación de la perturbación, se calcule la cantidad de fluctuación de la altura sobre la suposición de que la perturbación no ha tenido lugar en una 1ª imagen capturada.

- 5 Es preferible que se controlen los tiempos de captura de imágenes de la primera cámara y la segunda cámara, de manera que exista una región de irradiación común que es una parte del cuerpo rígido que va a ser medido, irradiada con la línea de sección de luz de corrección en común en las imágenes capturadas de la segunda cámara, capturadas en tiempos de captura de imágenes secuenciales, y en la etapa de estimación de la perturbación, se calcule un valor de cambio de la altura derivado de la perturbación para la pluralidad de puntos que caen bajo la
10 región de irradiación común de cada una de entre la primera línea de sección de luz de corrección y la segunda línea de sección de luz de corrección.

- Es preferible que en la etapa de estimación de la perturbación, utilizando una altura de superficie aparente que incluye el valor de cambio de la altura obtenido a partir de una imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada ($i = 1, 2, \dots, N-1$) de la segunda cámara y una altura de la superficie que se obtiene de una imagen $i^{\text{ésima}}$ de la segunda cámara y que tiene
15 lugar después de que se elimine el valor del cambio de la altura en la región de irradiación común de la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada, se calcule el valor del cambio de altura en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada y la altura de la superficie después de que se elimine el valor del cambio de la altura.

- Es preferible que, en la etapa de estimación de la perturbación, se calcule el valor de cambio de la altura en una imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada ($i = 2, \dots, N$) de la segunda cámara con una 1ª imagen capturada de la segunda cámara
20 como referencia.

Es preferible que la primera fuente de luz láser lineal, la segunda fuente de luz láser lineal, y la tercera fuente de luz láser lineal estén previstas de manera que el eje óptico de cada fuente de luz sea perpendicular a un plano definido por una dirección longitudinal y una dirección del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido.

- Es preferible que un ángulo entre un eje óptico de la primera cámara y un eje óptico de la primera fuente de luz láser
25 lineal, un ángulo entre una línea de visión de la segunda cámara y un eje óptico de la segunda fuente de luz láser lineal, y un ángulo entre la línea de visión de la segunda cámara y un eje óptico de la tercera fuente de luz láser lineal sean, independientemente entre sí, de no menos de 30 grados y no más de 60 grados.

Efectos ventajosos de la invención

- Según se ha descrito anteriormente, de acuerdo con la presente invención, resulta posible medir la altura de la
30 superficie de un cuerpo rígido que va a ser medido de forma más precisa incluso si ha tenido lugar uno cualquiera de tres tipos de perturbación de la traslación en la dirección de la altura, la rotación alrededor del eje de la dirección longitudinal, y la rotación alrededor del eje de la dirección del ancho durante el transporte.

Breve descripción de los dibujos

- La Fig. 1 es un diagrama explicativo que muestra esquemáticamente la configuración de un aparato de medición de
35 forma de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Fig. 2 es un diagrama explicativo que muestra esquemáticamente la configuración de un aparato de captura de imágenes incluido en el aparato de medición de forma de acuerdo con la realización.

La Fig. 3 es un diagrama explicativo que muestra esquemáticamente la configuración del aparato de captura de imágenes de acuerdo con la realización.

- 40 La Fig. 4 es un diagrama explicativo que muestra esquemáticamente la configuración del aparato de captura de imágenes de acuerdo con la realización.

La Fig. 5 es un diagrama explicativo que muestra esquemáticamente la configuración del aparato de captura de imágenes de acuerdo con la realización.

- 45 La Fig. 6 es un diagrama explicativo que muestra esquemáticamente la configuración del aparato de captura de imágenes de acuerdo con la realización.

La Fig. 7 es un diagrama explicativo que muestra esquemáticamente la configuración del aparato de captura de imágenes de acuerdo con la realización.

La Fig. 8 es un diagrama esquemático para describir perturbaciones que pueden ocurrir sobre un cuerpo rígido que va a ser medido.

- 50 La Fig. 9 es un diagrama esquemático para describir perturbaciones que pueden ocurrir sobre un cuerpo rígido que va a ser medido.

La Fig. 10 es un diagrama esquemático para describir perturbaciones que pueden ocurrir sobre un cuerpo rígido que va a ser medido.

La Fig. 11 es un diagrama esquemático para describir perturbaciones que pueden ocurrir sobre un cuerpo rígido que va a ser medido.

- 5 La Fig. 12 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de una unidad de procesamiento de imágenes de un aparato de procesamiento aritmético incluida en el aparato de medición de forma de acuerdo con la realización.

La Fig. 13 es un diagrama explicativo para describir el procesamiento de estimación de la perturbación realizado por una unidad de estimación de perturbaciones de acuerdo con la realización.

- 10 La Fig. 14 es un diagrama explicativo para describir el procesamiento de estimación de la perturbación realizado por una unidad de estimación de perturbaciones de acuerdo con la realización.

La Fig. 15 es un diagrama explicativo para describir el procesamiento de estimación de la perturbación realizado por una unidad de estimación de perturbaciones de acuerdo con la realización.

- 15 La Fig. 16 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de una unidad de estimación de perturbaciones incluida en la unidad de procesamiento de imágenes de acuerdo con la realización.

La Fig. 17 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de una unidad de estimación de perturbaciones incluida en la unidad de procesamiento de imágenes de acuerdo con la realización.

La Fig. 18 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de una unidad de estimación de perturbaciones incluida en la unidad de procesamiento de imágenes de acuerdo con la realización.

- 20 La Fig. 19 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de una unidad de estimación de perturbaciones incluida en la unidad de procesamiento de imágenes de acuerdo con la realización.

La Fig. 20 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de una unidad de estimación de perturbaciones incluida en la unidad de procesamiento de imágenes de acuerdo con la realización.

- 25 La Fig. 21 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de una unidad de estimación de perturbaciones incluida en la unidad de procesamiento de imágenes de acuerdo con la realización.

La Fig. 22 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de una unidad de estimación de perturbaciones incluida en la unidad de procesamiento de imágenes de acuerdo con la realización.

La Fig. 23 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de una unidad de estimación de perturbaciones incluida en la unidad de procesamiento de imágenes de acuerdo con la realización.

- 30 La Fig. 24 es un diagrama explicativo para describir el procesamiento de cálculo de los datos de la forma realizado por una unidad de cálculo de datos de la forma de acuerdo con la realización.

La Fig. 25 es un diagrama explicativo para describir el procesamiento de corrección realizado por una unidad de procesamiento de correcciones de acuerdo con la realización.

- 35 La Fig. 26 es un diagrama explicativo para describir el procesamiento de corrección realizado por una unidad de procesamiento de correcciones de acuerdo con la realización.

La Fig. 27 es un diagrama explicativo que muestra de forma esquemática un ejemplo de modificación del aparato de captura de imágenes de acuerdo con la realización.

La Fig. 28 es un diagrama explicativo que muestra de forma esquemática un ejemplo de modificación del aparato de captura de imágenes de acuerdo con la realización.

- 40 La Fig. 29A es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo del flujo de un método de medición de forma de acuerdo con la realización.

La Fig. 29B es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo del flujo de un método de medición de forma de acuerdo con la realización.

- 45 La Fig. 30 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de hardware del aparato de procesamiento aritmético de acuerdo con la realización.

La Fig. 31A es un diagrama explicativo para describir el Ejemplo Experimental 1.

La Fig. 31B es un diagrama para describir el Ejemplo 1.

La Fig. 31C es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 1.

La Fig. 31D es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 1.

La Fig. 32A es un diagrama explicativo para describir el Ejemplo Experimental 2.

La Fig. 32B es un diagrama explicativo para describir Ejemplo 2.

5 La Fig. 32C es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 2.

La Fig. 32D es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 2.

La Fig. 33A es un diagrama explicativo para describir el Ejemplo Experimental 3.

La Fig. 33B es un diagrama explicativo para describir el Ejemplo 3.

La Fig. 33C es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 3.

10 La Fig. 33D es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 3.

Descripción de las realizaciones

De aquí en adelante, se describirá en detalle una realización o unas realizaciones preferidas de la presente invención, en referencia a los dibujos adjuntos. En esta especificación y en los dibujos, los elementos que tienen sustancialmente la misma función y estructura están indicados con los mismos signos de referencia, y se omite una explicación repetida.

15

(En referencia a la configuración global del aparato de medición de forma)

A continuación, en primer lugar, se describe la configuración global de un aparato 10 de medición de forma, de acuerdo con una realización de la presente invención, en referencia a la FIG. 1. La FIG. 1 es un diagrama explicativo que muestra esquemáticamente la configuración de un aparato de medición de forma de acuerdo con la presente realización.

20

El aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización es un aparato que, mediante lo que se denomina el método de sección de luz, mide la forma de un cuerpo rígido que va a ser medido mediante una pluralidad de líneas de sección de luz basadas en una pluralidad de haces de luz láser lineal aplicados a una superficie del cuerpo rígido que va a ser medido procedentes de una pluralidad de fuentes de luz láser lineal, que se desplazan en relación al cuerpo rígido que va a ser medido a lo largo de la dirección longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido. A continuación, se proporciona una descripción utilizando como ejemplo el caso en el que el cuerpo rígido que va a ser medido es transportado en una línea de producción.

25

La siguiente descripción utiliza, tal como se muestra en la FIG. 1, un sistema de coordenadas espaciales establecidas en un espacio en el que está previsto el aparato 10 de medición de forma. Para conveniencia de la descripción, la dirección del ancho de un cuerpo S rígido que va a ser medido se define como una dirección del eje C (en el sistema de coordenadas espaciales), la dirección longitudinal, es decir, la dirección de transporte del cuerpo S rígido que va a ser medido se define como una dirección del eje L, y la dirección de la altura del cuerpo S rígido que va a ser medido se define como la dirección del eje Z.

30

Aquí, se asume que el cuerpo S rígido que va a ser medido, centrado en la presente realización, es un objeto que puede considerarse que no cambia de forma o volumen durante un proceso de medición de la forma como el descrito a continuación. Por tanto, por ejemplo, una placa, una chapa gruesa, y similar, que son productos semi-acabados en la industria del acero, puede ser tratada como el cuerpo S rígido que va a ser medido en la presente realización. Además, no solamente una placa o una chapa gruesa en la industria del acero sino también, por ejemplo, una placa o una chapa gruesa, y similar de diversos metales distintos de hierro, tales como titanio, cobre, y aluminio, material cerámico, y materiales compuestos, puede ser tratada como el cuerpo S rígido que va a ser medido en la presente realización.

35

40

El aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización incluye, tal como se muestra en la FIG. 1, un aparato 100 de captura de imágenes que aplica una pluralidad de haces de luz láser lineal a una superficie del cuerpo S rígido que va a ser medido y captura como imagen la luz reflejada de la luz láser lineal en la superficie del cuerpo S rígido que va a ser medido, y un aparato 200 de procesamiento aritmético que realiza un procesamiento de imágenes prescrito sobre una imagen capturada por el aparato 100 de captura de imágenes y calcula la forma tridimensional del cuerpo S rígido que va a ser medido (es decir, la altura de la superficie en cada posición en el plano eje-L-eje-C).

45

El aparato 100 de captura de imágenes es un aparato que aplica tres haces de luz láser lineal a una superficie del cuerpo S rígido que va a ser medido, captura como imagen secuencialmente la superficie del cuerpo S rígido que va a ser medido a lo largo de la dirección longitudinal en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en la

50

5 dirección longitudinal, y emite la imagen capturada (imagen de sección de luz) obtenida mediante captura de imágenes, hacia el aparato 200 de procesamiento aritmético descrito más adelante. Los tiempos de aplicación de la luz láser lineal al cuerpo S rígido que va a ser medido, los tiempos de captura de imágenes de la superficie del cuerpo S rígido que va a ser medido, etc. del aparato 100 de captura de imágenes son controlados por el aparato 200 de procesamiento aritmético descrito más adelante. El aparato 100 de captura de imágenes realiza un tiempo de procesamiento de imágenes cada vez que el cuerpo S rígido que va a ser medido se desplaza en una distancia establecida (p.ej., 1 mm o similar), basada en una señal PLG o similar emitida desde un generador lógico de pulsos (un PLG, un detector de velocidad del tipo de pulsos) provisto en un mecanismo de accionamiento o similar que controla el transporte del cuerpo S rígido que va a ser medido, en asociación con, por ejemplo, el cambio en la posición de la dirección longitudinal del cuerpo S rígido que va a ser medido con respecto al aparato 100 de captura de imágenes.

El aparato 200 de procesamiento aritmético es un aparato que realiza un procesamiento de imágenes como el descrito a continuación sobre la imagen de sección de luz en cada tiempo generado por el aparato 100 de captura de imágenes, y de este modo calcula la forma tridimensional del cuerpo S rígido que va a ser medido.

15 A continuación, el aparato 100 de captura de imágenes y el aparato 200 de procesamiento aritmético se describen en detalle con referencia a los dibujos.

<En referencia al aparato de captura de imágenes>

20 A continuación, el aparato 100 de captura de imágenes incluido en el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización se describe en detalle en referencia a la FIG. 2 a la FIG.7. La FIG. 2 a la FIG.7 son diagramas explicativos que muestran esquemáticamente la configuración de un aparato de captura de imágenes de acuerdo con la presente realización.

25 El aparato 100 de captura de imágenes de acuerdo con la presente realización incluye principalmente, tal como se muestra esquemáticamente en la FIG. 2, tres fuentes 101a, 101b y 101c de luz láser lineal (de aquí en adelante, denominadas ocasionalmente en conjunto como "fuente 101 de luz láser lineal"), cada una de las cuales emite luz láser lineal, y dos cámaras 111 y 113 de área. Aquí, la fuente 101a de luz láser lineal es un ejemplo de una primera fuente de luz láser lineal, la fuente 101b de luz láser lineal es un ejemplo de una segunda fuente de luz láser lineal, y la fuente 101c de luz láser lineal es un ejemplo de una tercera fuente de luz láser lineal. Además, la cámara 111 de área es un ejemplo de una primera cámara, y la cámara 113 de área es un ejemplo de una segunda cámara.

30 En la FIG. 2 y los dibujos posteriores, se proporciona una descripción utilizando como ejemplo de un caso en el que el aparato 100 de captura de imágenes incluye dos cámaras de área; pero el número de cámaras de área incluido en el aparato 100 de captura de imágenes de acuerdo con la presente realización no está limitado a este ejemplo. Se describe más adelante un caso en el que el aparato 100 de captura de imágenes incluye tres cámaras de área.

35 La fuente 101 de luz láser lineal es un dispositivo que aplica luz láser en una forma lineal (luz láser lineal) a la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido (de aquí en adelante, denominado ocasionalmente como simplemente "cuerpo rígido") S que es un objeto de medición. Como fuente 101 de luz láser lineal de acuerdo con la presente realización, puede utilizarse cualquier fuente de luz siempre que pueda aplicar luz láser lineal a la superficie del cuerpo S rígido; y la fuente 101 de luz láser lineal puede configurarse utilizando una fuente de luz láser y diversas lentes tales como una lente de varilla.

40 Como la fuente de luz láser, puede utilizarse una fuente de luz láser de onda continua (CW), que realiza una oscilación del láser de forma continua, por ejemplo. La longitud de onda de la luz láser hecha oscilar por la fuente de luz láser es preferiblemente una longitud de onda en el intervalo de luz visible de aproximadamente 400 nm a 800 nm, por ejemplo. La fuente de luz láser realiza la oscilación de luz láser basada en una señal de control de tiempos de oscilación enviada desde el aparato 200 de procesamiento aritmético descrito más adelante.

45 También en el caso en el que se utiliza una fuente de luz láser de pulsos que realiza una oscilación de láser pulsado, la fuente de luz puede ser tratada de manera similar a una fuente de luz láser CW sincronizando los tiempos de oscilación del láser de pulsos y los tiempos de captura de imágenes de las cámaras 111 y 113 de área.

50 Una lente de varilla es una lente que extiende la luz láser emitida desde la fuente de luz láser en un plano sectorial circular hacia la superficie del cuerpo S rígido. De este modo, la luz láser emitida desde la fuente de luz láser se convierte en una luz láser lineal, y ésta se aplica a la superficie del cuerpo S rígido. Desde el punto de vista del procesamiento de imágenes en el aparato 200 de procesamiento aritmético descrito más adelante, la fuente de luz láser se instala preferiblemente de tal manera que el plano sectorial circular obtenido por la lente de varilla sea paralelo al eje Z. En la fuente 101 de luz láser lineal de acuerdo con la presente realización, puede utilizarse una lente distinta a una lente de varilla, tal como una lente cilíndrica o una lente Powell, siempre que pueda dispersar la luz láser con una forma sectorial circular.

55 En la superficie del cuerpo S rígido irradiada con luz láser lineal, se forma una parte brillante lineal (en la FIG. 2 etc., que se muestra como la línea negra). En el aparato 100 de captura de imágenes de acuerdo con la presente realización, debido a que se utilizan las tres fuentes 101a, 101b y 101c de luz láser lineal, se forman tres partes

brillantes. Estas partes brillantes lineales se denominan líneas de sección de luz. La luz reflejada de la línea de sección de luz en la superficie del cuerpo S rígido se propaga hasta la cámara de área, se forma como una imagen en un elemento de captura de imágenes previsto en la cámara de área, y es generada como imagen por la cámara de área.

5 En la siguiente descripción, la línea de sección de luz obtenida por la fuente 101a de luz láser lineal se denomina como una línea L_a de sección de luz, la línea de sección de luz obtenida por la fuente 101b de luz láser lineal se denomina como una línea L_b de sección de luz, y la línea de sección de luz obtenida por la fuente 101c de luz láser lineal se denomina como una línea L_c de sección de luz. Además, las líneas L_a , L_b y L_c de sección de luz pueden denominarse en conjunto como "línea L de sección de luz". Aquí, la línea L_a de sección de luz es un ejemplo de una
10 línea de sección de luz de medición de la forma. Además, la línea L_b de sección de luz y la línea L_c de sección de luz son ejemplos de una línea de sección de luz de corrección; por ejemplo, la línea L_b de sección de luz corresponde a una primera línea de sección de luz de corrección, y la línea L_c de sección de luz corresponde a una segunda línea de sección de luz de corrección.

15 Aquí, la fuente 101 de luz láser lineal de acuerdo con la presente realización se instala en la línea transportadora para satisfacer todas las tres condiciones siguientes, según se ilustra en la FIG. 2.

La línea L_a de sección de luz y la línea L_b de sección de luz tienen un punto A de intersección.

La línea L_a de sección de luz y la línea L_c de sección de luz tienen un punto B de intersección.

20 Tanto la línea L_b de sección de luz como la línea L_c de sección de luz, son paralelas al eje L, y la línea L_b de sección de luz y la línea L_c de sección de luz existen en posiciones en la dirección del ancho diferentes entre sí en la superficie del cuerpo S rígido.

25 En lo que se denomina el método de sección de luz, únicamente se utiliza la línea L_a de sección de luz que se muestra en la FIG. 2 y se calculan las alturas de la superficie de las posiciones en la dirección longitudinal del cuerpo S rígido irradiada con la línea L_a de sección de luz, y las alturas de la superficie obtenidas se disponen en una fila en la dirección longitudinal de acuerdo con el desplazamiento relativo entre el cuerpo S rígido y el aparato de
captura de imágenes (por ejemplo, el transporte del cuerpo S rígido); de este modo, puede hallarse la altura de la superficie de todo el cuerpo S rígido. Sin embargo, en el caso en el que ocurre la perturbación durante el transporte del cuerpo S rígido, la altura de la superficie obtenida mediante el método de sección de luz utilizando una línea de sección de luz es una altura de superficie aparente que incluye la perturbación, y es un valor de medición que incluye un error diferente de la altura real de la superficie.

30 Por tanto, en el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, según se describe en detalle a continuación, se añade la línea L_b de sección de luz que se extiende en la dirección longitudinal del cuerpo S rígido, y se aproximan las relaciones entre puntos de las posiciones de dirección longitudinal en la línea L_b de sección de luz y los cambios de altura de la superficie derivados de la perturbación con una línea recta. Después de
35 eso, en el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, el valor de la línea recta aproximada en la posición de la dirección longitudinal en la que existe la línea L_a de sección de luz (es decir, el punto de intersección A de la línea L_a de sección de luz y la línea L_b de sección de luz) se establece de forma única como el cambio de altura de la superficie derivado de la perturbación de la línea L_a de sección de luz. Aquí, en el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, debido a que el objeto de medición es un cuerpo rígido, el cambio en la altura aparente de la superficie debido a la perturbación de la altura de la superficie después
40 de la eliminación de la perturbación (es decir, el cambio en la altura aparente de la superficie debido a la perturbación de la altura real de la superficie) cambia en una línea recta a lo largo de la dirección longitudinal. Por tanto, aproximando los valores de medición en puntos en la línea L_b de sección de luz con una línea recta, se proporciona un efecto de absorción de la variación en el valor debido a los errores de medición. Mediante la adición de la línea L_b de sección de luz de este modo, resulta posible hallar de forma única la magnitud de dos tipos de
45 perturbación del movimiento vertical en la dirección Z (el valor de la línea recta aproximada toma un valor fijo independientemente de la posición en la dirección longitudinal; es decir, la pendiente de la línea recta aproximada es 0) y la rotación alrededor del eje C (la línea recta aproximada tiene una pendiente fija con respecto a la posición en la dirección longitudinal).

50 En el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, la línea L_c de sección de luz se añade adicionalmente a una posición en la dirección del ancho diferente de la línea L_b de sección de luz, y se realiza un procesamiento similar al procesamiento de la línea L_b de sección de luz. Por lo tanto, en el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, se hace posible especificar una relación entre el cambio en la altura de la superficie derivado de perturbaciones y la posición en la dirección del ancho, y también se hace posible obtener la magnitud de la rotación alrededor del eje L.

55 Por tanto, en el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, utilizando tres líneas de sección de luz como las anteriores, la altura de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido, puede medirse de forma más precisa incluso cuando haya ocurrido uno cualquiera de los tipos de perturbaciones de traslación en la

dirección de la altura, rotación alrededor del eje en dirección longitudinal, y rotación alrededor del eje en dirección del ancho durante el transporte.

Aunque la FIG. 2 y los posteriores dibujos muestran el caso en el que la línea L_a de sección de luz y la línea L_b de sección de luz son ortogonales y el caso en el que la línea L_a de sección de luz y la línea L_c de sección de luz son ortogonales, la disposición de las líneas de sección de luz (es decir, la disposición de las fuentes 101 de luz láser lineal) no está limitada a los casos que se muestran en estos dibujos. Es decir, la siguiente descripción es válida en el caso en el que la línea L_a de sección de luz y la línea L_b de sección de luz y la línea L_c de sección de luz no sean ortogonales. Esto es porque, en la presente realización, se calcula la magnitud de la perturbación en el punto A de intersección y el punto B de intersección utilizando la línea recta aproximada mencionada anteriormente según se describe en detalle a continuación, y no es necesario que dos líneas de sección de luz sean ortogonales. Además, aunque la FIG. 2 y los posteriores dibujos muestran el caso en el que la superficie del cuerpo S rígido es plana, la siguiente descripción no está limitada al caso que se muestra en estos dibujos, y de forma similar es válida también en el caso en el que la superficie del cuerpo S rígido no es plana. La razón se describirá por separado.

La longitud específica de la línea L de sección de luz no está particularmente limitada, y la longitud puede determinarse de tal manera que la distribución de luminancia de la línea de sección de luz sea uniforme sobre la superficie del cuerpo S rígido, según sea apropiado. Además, la posición en la dirección del ancho de las líneas L_b y L_c de sección de luz tampoco está particularmente limitada; la posición puede ajustarse de tal manera que las líneas L_b y L_c de sección de luz existan en la superficie del cuerpo S rígido, cualquiera que sea el ancho que tenga el cuerpo S rígido transportado en la línea transportadora.

En las cámaras 111 y 113 de área, se instalan una lente con una distancia focal prescrita y un elemento de captura de imágenes tal como un dispositivo de carga acoplada (CCD) o un semiconductor complementario de óxido metálico (CMOS). Las cámaras 111 y 113 de área obtienen imágenes de la línea de sección de luz que es la luz reflejada de la luz láser lineal aplicada a la superficie del cuerpo S rígido cada vez que el cuerpo S rígido se desplaza en una distancia establecida, y generan una imagen de sección de luz. Después de eso, las cámaras 111 y 113 de área emiten la imagen de sección de luz generada al aparato 200 de procesamiento aritmético descrito más adelante.

Aquí, las cámaras 111 y 113 de área son controladas por el aparato 200 de procesamiento aritmético descrito más adelante, y se emite una señal de activación para la captura de imágenes desde el aparato 200 de procesamiento aritmético cada vez que el cuerpo S rígido se desplaza una distancia prescrita. Las cámaras 111 y 113 de área capturan imágenes de la superficie del cuerpo S rígido irradiada con la luz láser lineal de acuerdo con una señal de activación emitida desde el aparato 200 de procesamiento aritmético y generan una imagen de sección de luz, y emiten la imagen de sección de luz generada hacia el aparato 200 de procesamiento aritmético. De este modo, se emiten N imágenes capturadas (siendo N un número entero de 2 o más) desde cada una de las cámaras 111 y 113 de área al aparato 200 de procesamiento aritmético.

Tal como se muestra esquemáticamente en la FIG. 3, la fuente 101a de luz láser lineal se instala en la línea transportadora de tal manera que un plano que incluye la luz láser lineal emitida desde esta fuente de luz sea perpendicular al plano de eje-L-eje-C (en otras palabras, de tal manera que el eje óptico de la fuente 101a de luz láser lineal sea sustancialmente paralelo al eje Z). En el caso en el que esta condición de instalación no se satisfaga, la luz láser lineal ilumina una parte diferente en la posición en la dirección longitudinal del cuerpo S rígido debido a la perturbación descrita más adelante, y es difícil de realizar una medición precisa de la forma de la superficie. También para las fuentes 101b y 101c de luz láser lineal, por una razón similar a la anterior, cada fuente de luz se instala en la línea transportadora de tal manera que, tal como se muestra en la FIG. 4, un plano que incluye la luz láser lineal emitida es perpendicular al plano de eje-L-eje-C (en otras palabras, de tal manera que el eje óptico de las fuentes 101b y 101c de luz láser sea sustancialmente paralelo al eje Z).

Incluso en el caso en el que las fuentes de luz se instalan de la forma anterior, la posición de irradiación de la luz láser lineal no es estrictamente la misma cuando el cuerpo S rígido se hace rotar alrededor de un eje paralelo a cada una de las líneas L_a , L_b y L_c de sección de luz por perturbación (por ejemplo, cuando el cuerpo S rígido se hace rotar alrededor del eje C para la línea L_a de sección de luz y alrededor del eje L para las líneas L_b y L_c de sección de luz). Sin embargo, asumiendo que la altura real de la superficie del cuerpo S rígido cambia ligeramente y que la cantidad de rotación del cuerpo S rígido no es grande, puede suponerse que la luz láser lineal ilumina la misma posición de la superficie del cuerpo S rígido incluso cuando haya tenido lugar dicha rotación. En particular, cuando se centra la atención en la forma de la superficie de un cuerpo S rígido con una gran masa, tal como una placa o una chapa gruesa, puede decirse que este último supuesto es apropiado.

Con respecto a la relación posicional óptica entre la fuente 101a de luz láser lineal y la cámara 111 de área, tal como se muestra en la FIG. 3, la magnitud del ángulo α_1 entre el eje óptico de la cámara 111 de área y el eje óptico de la fuente 101a de luz láser lineal (en otras palabras, el eje Z) en el plano de eje-L-eje-Z puede ajustarse a un valor arbitrario. Sin embargo, la magnitud del ángulo α_1 se ajusta preferiblemente a, aproximadamente, de 30 grados a 60 grados. Si el ángulo $\alpha_1 < 30$ grados, la cantidad de desplazamiento de la línea L_a de sección de luz en el campo visual de la cámara es pequeña para el mismo cambio de altura, y se reduce la resolución a lo largo de la dirección de la altura. Por otro lado, si el ángulo $\alpha_1 > 60$ grados, la cámara 111 de área se encuentra distante de la dirección de

reflexión habitual de la fuente 101a de luz láser lineal, y la línea L_a de sección de luz fotografiada por la cámara 111 de área es oscura; por ello, se necesitaría un láser de mayor potencia para realizar la toma de fotografías con la misma luminosidad.

5 La cámara 111 de área se instala preferiblemente de tal manera que, tal como se muestra en la FIG. 5, el eje óptico de la cámara 111 de área proyectado sobre el plano de eje-L-eje-C y la línea L_a de sección de luz son ortogonales entre sí. Por tanto, resulta posible igualar la resolución (la longitud correspondiente a un pixel (unidad: mm)) en la dirección del eje C de la línea L_a de sección de luz vista desde la cámara 111 de área. Sin embargo, tal como se ha mencionado anteriormente, la línea L_a de sección de luz y las líneas L_b y L_c de sección de luz pueden no ser ortogonales. Es decir, la línea L_a de sección de luz puede no ser paralela a la dirección del ancho (la dirección del eje C). Esto ocurre porque, tal como se ha descrito anteriormente, la línea L_a de sección de luz, y las líneas L_b y L_c de sección de luz pueden no ser ortogonales para calcular la cantidad de perturbación en el punto A de intersección y el punto B de intersección.

10 Aquí, tal como se muestra esquemáticamente en la FIG. 5, el área AR1 de captura de imágenes de la cámara 111 de área se ajusta de tal manera que toda la línea L_a de sección de luz está incluida en el campo visual de captura de imágenes.

15 Con respecto a la relación posicional de luz entre las fuentes 101b y 101c de luz láser lineal y la cámara 113 de área, según se muestra esquemáticamente en la FIG. 4, la magnitud de los ángulos α_2 y α_3 entre la línea de visión de la cámara 113 de área para las líneas L_b y L_c de sección de luz en el plano del eje-C-eje-Z y los ejes ópticos de las respectivas fuentes 101b y 101c de luz láser lineal (en otras palabras, el eje Z), puede ser ajustada a un valor arbitrario de forma similar al ángulo α_1 . Sin embargo, por una razón similar a la del ángulo α_1 , la magnitud de cada uno de los ángulos α_2 y α_3 se ajusta preferiblemente a aproximadamente de 30 grados a 60 grados.

20 De forma similar a la relación entre la línea L_a de sección de luz y la cámara 111 de área, la línea L_b de sección de luz en el plano del eje-L-eje-C y el eje óptico de la cámara 113 de área proyectado sobre el plano del eje-L-eje-C son preferiblemente ortogonales entre sí. En este momento, la línea L_b de sección de luz y la línea L_c de sección de luz son paralelas entre sí; por tanto, cuando esta condición es válida para la línea L_b de sección de luz, la condición se satisface automáticamente también para la línea L_c de sección de luz.

25 Aquí, tal como se muestra esquemáticamente en la FIG. 6, el área AR2 de captura de imágenes de la cámara 113 de área se ajusta de tal manera que el punto A de intersección y el punto B de intersección estén incluidos en el campo visual de captura de imágenes. En este punto, aunque la FIG. 6 muestra el caso en el que todas las líneas L_b y L_c de sección de luz están incluidas en el campo visual de captura de imágenes, el procesamiento de estimación de perturbaciones descrito más adelante puede ser realizado, siempre que al menos el punto A de intersección y el punto B de intersección estén incluidos en el campo visual de captura de imágenes. Para aumentar la precisión del procesamiento para la estimación de perturbaciones descrito más adelante, es preferible que todas las líneas L_b y L_c de sección de luz estén incluidas en el campo visual de captura de imágenes.

30 Los tiempos de captura de imágenes de las cámaras 111 y 113 de área se ajustan de tal manera que, por ejemplo como se muestra esquemáticamente en la FIG. 7, existe una parte del cuerpo S rígido que es irradiada con líneas de sección de luz en común (de aquí en adelante, denominadas como una "parte de irradiación común"), en imágenes capturadas de la cámara 113 de área capturadas en tiempos secuenciales (por ejemplo, el tiempo de captura de imágenes de la imagen $i^{\text{ésima}}$ (siendo i un número entero de 1 o más) y el tiempo de captura de imágenes de la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$). Esto es porque, en el aparato 200 de procesamiento aritmético de acuerdo con la presente realización, se calcula la magnitud de la perturbación centrándose en las líneas L_b y L_c de sección de luz en la parte de irradiación común, según se describe en detalle a continuación. Aunque la FIG. 7 muestra el caso en el que la superficie del cuerpo S rígido es plana y no ha tenido lugar una perturbación entre dos imágenes consecutivas, la parte de irradiación común existe también en el caso en el que la superficie del cuerpo S rígido no es plana o en el caso en el que ha ocurrido una perturbación entre dos imágenes consecutivas.

35 Anteriormente en la presente memoria, se describe en detalle la configuración del aparato 100 de captura de imágenes de acuerdo con la presente realización en referencia a la FIG. 2 a la FIG. 7.

<En referencia a la perturbación que ocurre en el cuerpo rígido que va a ser medido>

40 A continuación, una perturbación que ocurre en el cuerpo S rígido que va a ser medido y la imagen capturada (imagen de sección de luz), capturada en asociación con dicha perturbación, se describen específicamente en referencia a la FIG. 8 a la FIG. 11. La FIG. 8 a la FIG. 11 son diagramas esquemáticos para describir perturbaciones que pueden ocurrir en el cuerpo rígido que va a ser medido.

45 El aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización mide la altura de la superficie del cuerpo S rígido en la ocasión en la que un cuerpo rígido tal como una placa o una chapa gruesa, es transportado de forma continua o en otras ocasiones. Aquí, durante el transporte del cuerpo S rígido, hay diversos factores de errores de medición, tales como la vibración derivada de un mecanismo de accionamiento previsto en la línea transportadora, etc.

En el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, se centra la atención en los siguientes tres factores, como el factor de error de medición, tal como se muestra en la FIG. 8.

(1) traslación en la dirección del eje Z (la dirección de la altura del cuerpo S rígido)

(2) rotación alrededor del eje L (la dirección longitudinal del cuerpo S rígido)

5 (3) rotación alrededor del eje C (la dirección del ancho del cuerpo S rígido)

De aquí en adelante, estos tres factores de error de medición pueden denominarse en conjunto como perturbación.

Con un cuerpo S rígido con una superficie plana como objeto, se describirá a continuación el cambio de la imagen capturada fotografiada por la cámara 113 de área que ocurre dependiendo de la presencia o ausencia de perturbación, en referencia a la FIG. 9 a la FIG. 11.

10 Aunque la FIG. 9 a la FIG. 11 realizan una ilustración centrándose en el caso en el que la superficie del cuerpo S rígido es plana, la totalidad de la siguiente descripción no está limitada al caso que se muestra en la FIG. 9 a la FIG. 11, y de forma similar es válida también en el caso en el que la superficie del cuerpo S rígido no es plana. Esto ocurre porque, en el caso en el que la superficie del cuerpo S rígido no es plana, aunque la propia línea de sección de luz es una línea curva, el cambio de la línea de sección de luz que depende de la presencia o ausencia de
15 perturbación cambia en una línea recta a lo largo de la dirección longitudinal como en el caso en el que es plana.

En primer lugar, en el caso en el que una perturbación como la anterior no haya ocurrido entre dos imágenes en dos tiempos diferentes entre sí (por ejemplo, la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada y la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada), la posición de cada línea L de sección de luz no cambia entre las imágenes capturadas. Sin embargo, en el que caso en el que haya ocurrido la traslación en la dirección del eje Z como una perturbación en el momento de capturar la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$, tal como se muestra en la FIG. 9 las líneas L_a , L_b y L_c de sección de luz se trasladan en la dirección vertical en la imagen en una cantidad igual entre sí. Además, en el caso en el que haya ocurrido una rotación alrededor del eje L como perturbación en el momento de capturar la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$, tal como se muestra en la FIG. 10, cambian la pendiente y la longitud de la línea L_a de sección de luz, y las líneas L_b y L_c de sección de luz realizan una traslación en diferentes cantidades entre sí. Además, en el caso en el que ha ocurrido una rotación alrededor del eje
20 C como perturbación en el momento de capturar una imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$, tal como se muestra en la FIG. 11, cambia la pendiente de las líneas L_b y L_c de sección de luz.

Por tanto, el aparato 200 de procesamiento aritmético descrito en detalle a continuación, el cambio en la altura de la superficie (el cambio en la coordenada Z) derivado de la perturbación que ha ocurrido en el cuerpo S rígido, se calcula en cada tiempo de captura de imágenes comparando dos imágenes consecutivas obtenidas por la cámara 113 de área. Después de eso, la altura de la superficie que se obtiene a partir de la imagen de sección de luz de la cámara 111 de área y en la que se superpone un error de medición debido a la perturbación, se corrige en base al cambio obtenido en la altura de la superficie derivado de la perturbación (en otras palabras, la magnitud de perturbación), y se emite la altura real de la superficie.

<En referencia al aparato de procesamiento aritmético>

35 A continuación, el aparato 200 de procesamiento aritmético, incluido en el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, se describe en detalle en referencia a la FIG. 1 y la FIG. 12 a la FIG. 26. La FIG. 12 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de una unidad de procesamiento de imágenes de un aparato de procesamiento aritmético incluido en el aparato de medición de forma de acuerdo con la presente realización. La FIG. 14 y la FIG. 15, y la FIG. 17 a la FIG. 23 son diagramas explicativos para describir el procesamiento de estimación de perturbaciones realizado por una unidad de estimación de perturbaciones de acuerdo con la presente realización. La FIG. 16 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de la configuración de una unidad de estimación de perturbaciones incluida en una unidad de procesamiento de imágenes de acuerdo con la presente realización. La FIG. 24 es un diagrama explicativo para describir el procesamiento de cálculo de datos de la forma realizado por una unidad de cálculo de los datos de la forma de acuerdo con la presente
40 realización. La FIG. 25 y la FIG. 26 son diagramas explicativos para describir el procesamiento de corrección realizado por una unidad de procesamiento de corrección de acuerdo con la presente realización.

[En referencia a la configuración general del aparato de procesamiento aritmético]

Volviendo a la FIG. 1 nuevamente, se describe la configuración general del aparato 200 de procesamiento aritmético incluido en el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización.

50 El aparato 200 de procesamiento aritmético de acuerdo con la presente realización incluye principalmente, tal como se muestra en la FIG. 1, una unidad 201 de control de la captura de imágenes, una unidad 203 de procesamiento de imágenes, una unidad 205 de control de visualización, y una unidad 207 de almacenamiento.

La unidad 201 de control de captura de imágenes se configura con, por ejemplo, una unidad central de procesamiento (CPU), una memoria de solo lectura (ROM), una memoria de acceso aleatorio (RAM), un dispositivo

de comunicaciones, etc. La unidad 201 de control de captura de imágenes controla de forma exhaustiva el procesamiento de captura de imágenes del cuerpo S rígido realizado por el aparato 100 de captura de imágenes de acuerdo con la presente realización.

5 De forma más específica, cuando se inicia la captura de imágenes del cuerpo S rígido, la unidad 201 de control de captura de imágenes envía al aparato 100 de captura de imágenes una señal de control para iniciar la oscilación de la fuente 101 de luz láser lineal. Cuando el aparato 100 de captura de imágenes inicia la captura de imágenes del cuerpo S rígido, la unidad 201 de control de captura de imágenes envía una señal de activación para iniciar la captura de imágenes a las cámaras 111 y 113 de área cada vez que adquiere una señal de PLG enviada a intervalos regulares desde un mecanismo de accionamiento o similar que controla el transporte del cuerpo S rígido
10 (por ejemplo, una señal de PGL generada como salida cada vez que el cuerpo S rígido se desplaza 1 mm o en otros tiempos).

15 La unidad 203 de procesamiento de imágenes está configurada con, por ejemplo, una CPU, una ROM, una RAM, un dispositivo de comunicaciones, etc. La unidad 203 de procesamiento de imágenes adquiere datos de captura de imágenes generadas por las cámaras 111 y 113 de área (es decir, datos de imágenes capturadas relacionadas con la imagen de sección de luz), realiza el procesamiento de imágenes descrito más adelante sobre los datos de la captura de imágenes, y calcula la altura de toda la superficie del cuerpo S rígido como datos de una forma tridimensional. Al finalizar el procesamiento del cálculo de la altura de la superficie del cuerpo S rígido, la unidad 203 de procesamiento de imágenes transmite información sobre el resultado del cálculo obtenido a la unidad 205 de control de visualización y a la unidad 207 de almacenamiento, o transmite la información a diversos dispositivos, etc.
20 previstos en el exterior del aparato 10 de medición de forma.

La unidad 203 de procesamiento de imágenes se describe en detalle más adelante.

25 La unidad 205 de control de visualización está configurada con, por ejemplo, una CPU, una ROM, una RAM, un dispositivo de salida, un dispositivo de comunicaciones, etc. La unidad 205 de control de visualización realiza el control de la visualización en el momento de visualizar el resultado de la medición del cuerpo S rígido transmitido desde la unidad 203 de procesamiento de imágenes en un dispositivo de salida tal como un dispositivo de visualización incluido en el aparato 200 de procesamiento aritmético, un dispositivo de salida previsto en el exterior del aparato 200 de procesamiento aritmético, o similar. Por lo tanto, el usuario del aparato 10 de medición de forma puede captar el resultado de la medición relativo a la forma tridimensional del cuerpo S rígido en el punto.

30 La unidad 207 de almacenamiento es un ejemplo de un dispositivo de memoria incluido en el aparato 200 de procesamiento aritmético, y está configurada con, por ejemplo, una ROM, una RAM, un dispositivo de almacenamiento, etc. En la unidad 207 de almacenamiento, se almacenan los datos de calibración relacionados con la línea L de sección de luz utilizada para el procesamiento de imágenes realizado en la unidad 203 de procesamiento de imágenes. Además, en la unidad 207 de almacenamiento también se almacena información sobre los parámetros de diseño del aparato 10 de medición de forma, tal como información que muestra la relación óptica
35 posicional entre la fuente 101 de luz láser lineal y las cámaras 111 y 113 de área incluidas en el aparato 100 de captura de imágenes e información transmitida desde un ordenador de nivel superior previsto en el exterior del aparato 10 de medición de forma (por ejemplo, un ordenador de gestión que gestiona en general la línea transportadora, o similar). Además, en la unidad 207 de almacenamiento se registran, según sea adecuado, diversos parámetros e informes sobre el procesamiento aún en progreso que necesitan ser guardados cuando el aparato 200 de procesamiento aritmético de acuerdo con la presente realización, realiza algún tipo de procesamiento (por ejemplo, resultados de medición transmitidos desde la unidad 203 de procesamiento de imágenes, y datos de calibración, diversas bases de datos, programas, etc. almacenados de antemano). La unidad 201 de control de captura de imágenes, la unidad 203 de procesamiento de imágenes, la unidad 205 de control de visualización, un ordenador de nivel superior, etc. pueden realizar libremente el procesamiento de lectura/grabación de datos en la
40 unidad 207 de almacenamiento.

Se describen más adelante los detalles de los datos de calibración almacenados en la unidad 207 de almacenamiento.

[En referencia a la configuración de la unidad de procesamiento de imágenes]

50 A continuación, se describe la configuración de la unidad 203 de procesamiento de imágenes incluida en el aparato 200 de procesamiento aritmético, en referencia a la FIG. 12 a la FIG. 26.

La unidad 203 de procesamiento de imágenes de acuerdo con la presente realización incluye, tal como se muestra en la FIG. 12, una unidad 211 de adquisición de datos de captura de imágenes, una unidad 213 de estimación de perturbaciones, una unidad 215 de cálculo de los datos de la forma, una unidad 217 de corrección, y una unidad 219 de emisión de resultados.

55 La unidad 211 de adquisición de datos de captura de imágenes está configurada con, por ejemplo, una CPU, una ROM, una RAM, un dispositivo de comunicaciones, etc. La unidad 211 de adquisición de datos de captura de imágenes adquiere los datos de la captura de imágenes de la línea de sección de luz emitida desde las cámaras 111 y 113 de área del aparato 100 de captura de imágenes (es decir, datos de imágenes relacionados con la imagen de

sección de luz). Cuando la unidad 211 de adquisición de datos de captura de imágenes adquiere, desde la cámara 113 de área, datos de captura de imágenes relacionados con las líneas L_b y L_c de sección de luz utilizadas como la línea de sección de luz de corrección (en otras palabras, datos de captura de imágenes en los que se captura como imagen el área AR2 de captura de imágenes en la FIG. 6), la unidad 211 de adquisición de datos de captura de imágenes emite los datos de captura de imágenes a la unidad 213 de estimación de perturbaciones descrita más adelante. Además, la unidad 211 de adquisición de datos de captura de imágenes emite datos de captura de imágenes relacionados con la línea L_a de sección de luz utilizada como la línea de sección de luz de medición de la forma (en otras palabras, los datos de captura de imágenes en los que se captura como imagen el área AR1 de captura de imágenes en la FIG. 5) desde la cámara 111 de área a la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma descrita más adelante.

Además, la unidad 211 de adquisición de datos de captura de imágenes puede asociar, con datos de imágenes relacionados con la línea de sección de luz adquiridos a partir del aparato 100 de captura de imágenes, información sobre tiempos sobre la fecha y hora en la que los datos de captura de imágenes son adquiridos y sobre otros aspectos, y puede almacenar estas partes de información como información del historial en la unidad 207 de almacenamiento o similar.

La unidad 213 de estimación de perturbaciones está configurada con, por ejemplo, una CPU, una ROM, una RAM, etc. La unidad 213 de estimación de perturbaciones es una unidad de procesamiento que estima la magnitud de la perturbación que ha ocurrido en el cuerpo S rígido utilizando los datos de la captura de imágenes de la línea de sección de luz de corrección, obtenidos como imagen por la cámara 113 de área (es decir, las líneas L_b y L_c de sección de luz).

Más específicamente, la unidad 213 de estimación de perturbaciones realiza, sobre la imagen capturada obtenida de la cámara 113 de área, el procesamiento de adquisición del valor de cambio de la altura de adquirir, a partir de los valores de medición de la altura relacionados con la altura de la superficie del cuerpo S rígido adquiridos en dos tiempos diferentes para la misma posición del cuerpo S rígido, un valor de cambio de la altura derivado de la perturbación en la posición. En este momento, la unidad 213 de estimación de perturbaciones realiza el procesamiento para la adquisición del valor de cambio de la altura mencionado anteriormente en una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en la dirección longitudinal de la línea L_b de sección de luz, y realiza el procesamiento para la adquisición del valor del cambio de altura mencionado anteriormente en una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en la dirección longitudinal de la línea L_c de sección de luz. Después de eso, la unidad 213 de estimación de perturbaciones estima la cantidad de fluctuación de la altura superpuesta sobre los datos calculados por la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma descrita más adelante, utilizando el valor de cambio de la altura en el punto A de intersección obtenido a partir de la línea L_b de sección de luz y el valor de cambio de la altura en el punto B de intersección a partir de la línea L_c de sección de luz.

El procesamiento para la estimación de perturbaciones en la unidad 213 de estimación de perturbaciones se describe en detalle más adelante.

Al terminar el procesamiento para la estimación de perturbaciones descrito en detalle a más adelante, la unidad 213 de estimación de perturbaciones emite el resultado obtenido de la estimación de perturbaciones hacia la unidad 217 de corrección descrita más adelante. Además, la unidad 213 de estimación de perturbaciones puede asociar, con datos que muestran el resultado obtenido en referencia a la estimación de perturbaciones, información de tiempos sobre la fecha y la hora en la que los datos se generan y sobre otros aspectos, y puede almacenar esta información como información de historial en la unidad 207 de almacenamiento o similar.

La unidad 215 de cálculo de los datos de la forma está configurada con, por ejemplo, una CPU, una ROM, una RAM, etc. La unidad 215 de cálculo de los datos de la forma expresa la forma tridimensional de la superficie del cuerpo S rígido en base a la imagen capturada en relación con la línea L_a de sección de luz en cada momento generado por la cámara 111 de área, y calcula los datos de la forma en los que se superpone un error de medición derivado de la perturbación.

El procesamiento del cálculo de los datos de la forma en la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma se describe más adelante.

Al terminar el procesamiento del cálculo de los datos de forma descrito a continuación, la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma emite los datos obtenidos a la unidad 217 de corrección descrita más adelante. Además, la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma puede asociar, con los datos obtenidos de la forma, información de tiempos sobre la fecha y la hora en la que se generan los datos y sobre otros aspectos, y puede almacenar esta información como información del historial en la unidad 207 de almacenamiento o similar.

La unidad 217 de corrección está configurada con, por ejemplo, una CPU, una ROM, una RAM, etc. La unidad 217 de corrección sustrae la cantidad de fluctuación de la altura calculada por la unidad 213 de estimación de perturbaciones mencionada anteriormente de los datos de la forma calculados por la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma, y por tanto corrige el error de medición derivado de la perturbación. Por tanto, se generan datos

de la forma real relacionados con el cuerpo S rígido en los que el error de medición asociado con la perturbación que puede ocurrir en el cuerpo S rígido se elimina.

El procesamiento para la corrección en la unidad 217 de corrección se describe más adelante.

5 Al terminar el procesamiento descrito a continuación, la unidad 217 de corrección emite los datos de la forma corregidos hacia la unidad 219 de emisión de resultados descrita más adelante.

10 La unidad 219 de emisión de resultados está configurada con, por ejemplo, una CPU, una ROM, una RAM, un dispositivo de salida, un dispositivo de comunicaciones, etc. La unidad 219 de emisión de resultados emite hacia la unidad 205 de control de visualización información sobre la forma de la superficie del cuerpo S rígido emitida desde la unidad 217 de corrección. Por tanto, se emite información sobre la forma de la superficie del cuerpo S rígido hacia una unidad de visualización (no se muestra). Además, la unidad 219 de emisión de resultados puede emitir el resultado obtenido en relación a la medición de la forma de la superficie hacia un dispositivo externo tal como un sistema informático de proceso para la gestión de la producción, o puede utilizar el resultado obtenido de la medición para crear diversos archivos de registro. Además, la una unidad 219 de emisión de resultados puede asociar información sobre la forma de la superficie del cuerpo S rígido con la información de tiempos sobre la fecha y hora en la que se calcula la información y sobre otros aspectos, y puede almacenar esta información como información del historial en la unidad 207 de almacenamiento o similar.

Con respecto al procesamiento de estimación de perturbaciones en la unidad 213 de estimación de perturbaciones.

A continuación, se describe en detalle el procesamiento para la estimación de perturbaciones realizado en la unidad 213 de estimación de perturbaciones, en referencia a la FIG. 13 a la FIG. 23.

20 En primer lugar, antes de describir el procesamiento para la estimación de perturbaciones, se describen los datos de calibración utilizados en el procesamiento para la estimación de perturbaciones.

En referencia a los datos de calibración

25 Tal como se ha mencionado anteriormente, los datos de calibración relacionados con la línea L de sección de luz utilizados para el procesamiento para la estimación de perturbaciones en la unidad 213 de estimación de perturbaciones, y el procesamiento del cálculo de la forma en la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma se almacenan en la unidad 207 de almacenamiento de antemano. Los datos de calibración almacenados de antemano en la unidad 207 de almacenamiento incluyen dos tipos de datos de calibración de primeros datos de calibración y segundos datos de calibración.

30 Los primeros datos de calibración son datos de calibración necesarios para convertir la cantidad de cambio en la posición de la línea de sección de luz en la imagen capturada por las cámaras 111 y 113 de área (unidad: píxeles) a la cantidad en el espacio real (unidad: una unidad de longitud tal como mm o m; en lo que sigue a continuación, se proporciona una descripción utilizando la unidad de mm).

35 Los primeros datos de calibración son datos calculados a partir de la resolución (mm/píxel) normal de la captura de imágenes de la cámara de área y los ángulos α_1 , α_2 y α_3 entre la línea de visión hasta las líneas L_a , L_b , y L_c de sección de luz y la dirección del eje Z. Sin embargo, en la presente invención, el cuerpo S rígido que es el objeto de medición se acerca o se aleja sobre el eje óptico de la cámara; por lo tanto, la resolución de la captura de imágenes y los ángulos α_1 , α_2 y α_3 no son estrictamente constantes sino que son un valor que varía con la altura del cuerpo S rígido. Por tanto, en el caso en el que el cambio de altura del cuerpo S rígido, que es el objeto de medición, es grande, se necesita una curva de calibración que exprese una relación entre la posición de la línea de sección de luz en la imagen capturada y la altura en el espacio real. De aquí en adelante, los primeros datos de calibración se denominan curva de calibración. La curva de calibración se ajusta para cada una de las líneas L_a , L_b , y L_c de sección de luz.

Los primeros datos de calibración pueden determinarse por cálculo, o pueden ser obtenidos por medición real.

45 En el caso en el que los primeros datos de calibración se determinan por cálculo, se utilizan la distancia focal f de las lentes instaladas en las cámaras 111 y 113 de área, la distancia a desde la lente hasta el objeto de medición (es decir, el cuerpo S rígido), y la distancia b desde el elemento de captura de imágenes previsto en las cámaras 111 y 113 de área hasta la lente. Más específicamente, los primeros datos de calibración pueden calcularse hallando un aumento m expresado por la Fórmula 103 mediante una fórmula de formación de imágenes expresada por la Fórmula 101 a continuación, utilizando los parámetros anteriores.

50 Fórmula de formación de imágenes: $1/f = 1/a + 1/b \dots$ (Fórmula 101)

Aumento: $m = b/a \dots$ (Fórmula 103)

Aquí, cuando el tamaño del píxel del elemento de captura de imágenes previsto en las cámaras 111 y 113 de área se indica por d (mm), la resolución D (mm/píxel) de captura de imágenes es un valor expresado por la Fórmula 105 a continuación. La resolución D de captura de imágenes es una resolución de imágenes en un plano perpendicular a

la línea de visión; por tanto, cuando el ángulo entre la línea de visión y la dirección de la normal es de α grados, la cantidad de desplazamiento vertical H (mm) del objeto de medición correspondiente a un pixel es un valor expresado por la Fórmula 107 siguiente.

$$D = d/m \dots \text{(Fórmula 105)}$$

5 $H = D/\text{sen } \alpha \dots \text{(Fórmula 107)}$

La cantidad de desplazamiento vertical H del objeto de medición correspondiente a un pixel obtenido de la anterior manera se utiliza como factor de conversión para convertir la cantidad de cambio de la línea de sección de luz (unidad: píxeles) en la imagen capturada por las cámaras 111 y 113 de área a la cantidad en el espacio real (unidad: p.ej., mm). Por tanto, los valores proporcionados por la Fórmula 107 anterior basados en las relaciones ópticas
10 posicionales entre las cámaras 111 y 113 de área y las líneas L_a , L_b , y L_c de sección de luz correspondientes a las cámaras 111 y 113 de área pueden ser utilizadas como curvas de calibración C^a , C^b , y C^c (es decir, los primeros datos de calibración) relacionados con las líneas L_a , L_b , y L_c de sección de luz, respectivamente.

En el caso en el que los primeros datos de calibración se miden realmente, se prepara una placa de calibración y se
15 instala en un plano de referencia con una coordenada en la dirección de la altura de $Z = 0$, y se capturan imágenes de sección de luz por parte de cada una de las cámaras 111 y 113 de área, mientras que la placa de calibración realiza una traslación en la dirección del eje Z en ΔZ [mm]. Después de eso, puede medirse realmente la cantidad de desplazamiento ΔZ_{img} [unidad: píxeles] de la línea L de sección de luz, basada en píxeles en la imagen capturada obtenida de cada una de las cámaras 111 y 113 de área, para una pluralidad de puntos, y puede crearse una curva
20 $\Delta Z = C(\Delta Z_{\text{img}})$, (siempre que $C(\Delta Z_{\text{img}})$ exprese una función con ΔZ_{img} como una variable). Por lo tanto, pueden obtenerse las curvas de calibración C^a , C^b , y C^c relacionadas con las líneas L_a , L_b , y L_c de sección de luz, respectivamente.

A continuación, se describen los segundos datos de calibración con referencia a la FIG. 13.

Los segundos datos de calibración son datos que muestran la cantidad de desplazamiento (unidad: píxeles) en la
25 dirección horizontal en la imagen correspondiente a la distancia de transporte (unidad: una unidad de longitud tal como mm o m), del cuerpo S rígido en el espacio real entre dos tiempos de captura de imágenes consecutivos en el espacio real que se muestra en la FIG. 13. Los segundos datos de calibración se ajustan para cada una de las líneas L_a , L_b , y L_c de sección de luz. Según se describe más adelante, la cantidad de desplazamiento en la dirección vertical del mismo punto en el cuerpo S rígido puede compararse entre dos imágenes fotografiadas consecutivas trasladando la imagen capturada por la cámara 113 de área en la dirección horizontal (una dirección correspondiente
30 a la dirección del eje L en el espacio real), hasta la magnitud de la cantidad de desplazamiento mencionada anteriormente. Por tanto, los segundos datos de calibración son datos de calibración utilizados para estimar la magnitud de la perturbación.

Los segundos datos de calibración también pueden determinarse por cálculo, o pueden obtenerse por medición real.

Tal como se describe anteriormente, los segundos datos de calibración son datos que muestran cuántos píxeles
35 corresponden a la distancia Δs (Δs se muestra en la FIG. 13) en el espacio real del cuerpo S rígido en el periodo en el que dos imágenes fotografiadas consecutivas se generan, en la imagen capturada generada. Por tanto, en el caso en el que los segundos datos de calibración se determinan por cálculo, la resolución D de captura de imágenes calculada por la Fórmula 105 anterior puede ser calculada para ambas líneas L_b y L_c de sección de luz, y el valor ajustado de la distancia Δs de transporte en el espacio real puede dividirse utilizando las resoluciones D^b y D^c
40 obtenidas de captura de imágenes. Es decir, cuando la cantidad de desplazamiento en la dirección horizontal relacionada con la línea L_b de sección de luz se indica con ΔL^b y la cantidad de desplazamiento en la dirección horizontal relacionada con la línea L_c de sección de luz se indica con ΔL^c , estos valores pueden calcularse por la Fórmula 109 y la Fórmula 111 siguientes.

$$\Delta L^b = \Delta s/D^b \dots \text{(Fórmula 109)}$$

45 $\Delta L^c = \Delta s/D^c \dots \text{(Fórmula 111)}$

En el caso en que los segundos datos de calibración se miden realmente, puede instalarse una placa de calibración en un plano de referencia de $Z = 0$, como en el caso en el que los primeros datos de calibración se miden realmente, y las imágenes capturadas pueden ser generadas mientras la placa de calibración se traslada en una distancia Δs
50 [mm] en la dirección del eje L . Después de eso, las imágenes capturadas obtenidas pueden ser analizadas para medir las cantidades de desplazamiento ΔL^b y ΔL^c en la dirección horizontal en la imagen capturada.

Anteriormente en la presente memoria, se describen dos tipos de datos de calibración utilizados en la unidad 203 de procesamiento de imágenes.

En referencia al sistema de coordenadas utilizado en el procesamiento de estimación de perturbaciones

A continuación, se describe específicamente un sistema de coordenadas utilizado en el procesamiento de estimación de perturbaciones, en referencia a la FIG. 14 y la FIG. 15.

En el procesamiento de estimación de perturbaciones realizado en la unidad 213 de estimación de perturbaciones de acuerdo con la presente realización, el procesamiento de imágenes se realiza utilizando un sistema de coordenadas fijado a la imagen capturada por la cámara 113 de área. Es decir, en la imagen de sección de luz generada por la cámara 113 de área, se define una dirección correspondiente a la dirección longitudinal del cuerpo S rígido (es decir, la dirección horizontal de la imagen de sección de luz) como una dirección del eje X, y una dirección ortogonal a la dirección del eje X (es decir, la dirección en la altura de la imagen de sección de luz) se define como una dirección del eje Y.

Además, una posición en la dirección de la altura que está en una imagen capturada de la cámara 113 de área, capturada mientras una superficie plana de una placa de calibración o similar se sitúa en una posición de $Z=0$, y donde la línea L_b de sección de luz se captura como imagen, se toma como una posición de referencia de una Y^b de la coordenada Y para la línea L_b de sección de luz (es decir, una posición de $Y^b = 0$), y una posición de referencia de una X^b de la coordenada X, se ajusta en el extremo izquierdo de la imagen capturada. Como resultado, la X^b de la coordenada X, para la línea L_b de sección de luz se define a lo largo de la dirección de extensión de la línea L_b de sección de luz, y se definen la X^b en la dirección del eje X y la Y^b en la dirección del eje Y para la línea L_b de sección de luz tal como se muestra en la FIG. 14.

De forma similar, una posición en la dirección de la altura que está en una imagen capturada de la cámara 113 de área, capturada mientras una superficie plana de una placa de calibración o similar se sitúa en una posición de $Z=0$, y en la que la línea L_c de sección de luz es capturada como imagen, se toma como posición de referencia de una Y^c de la coordenada Y para la línea L_c de sección de luz (es decir, una posición de $Y^c=0$), y una posición de referencia de una X^c de la coordenada X se ajusta en el extremo izquierdo de la imagen capturada. Como resultado, la X^c de la coordenada X para la línea L_c de sección de luz se define a lo largo de la dirección de extensión de la línea L_c de sección de luz, y la X^c en dirección del eje X y la Y^c en dirección eje Y para la línea L_c de sección de luz, se definen tal como se muestra en la FIG. 15.

Un sistema de coordenadas puede definirse de forma similar también en una imagen capturada de la cámara 111 de área capturada mientras una superficie plana de una placa de calibración o similar se sitúa en una posición de $Z=0$. Es decir, una posición en la dirección de la altura en la que la línea L_a de sección de luz se captura como imagen, es tomada como una posición de referencia de una Y^a de la coordenada Y para la línea L_a de sección de luz (es decir, una posición de $Y^a=0$), y una X^a de la coordenada X para la línea L_a de sección de luz se define a lo largo de la dirección de extensión de la línea L_a de sección de luz, con el extremo izquierdo de la imagen capturada como referencia. Un ejemplo específico del sistema de coordenadas para la línea L_a de sección de luz se menciona más adelante en referencia a la FIG. 24.

En la siguiente descripción, el caso en el que se menciona el término "altura" éste expresa un valor en la dirección vertical en la imagen capturada, es decir, las coordenadas Y^a , Y^b , y Y^c (unidad: píxeles), y el valor en el caso en el que la "altura" en la imagen capturada se convierte al espacio real (unidad: mm) por las curvas C^a , C^b , y C^c de calibración se expresa como "la altura en la coordenada Z" o similar.

Con respecto a los detalles del procesamiento de estimación de perturbaciones

A continuación, se describe en detalle el procesamiento de estimación de perturbaciones realizado en la unidad 213 de estimación de perturbaciones, en referencia a la FIG. 16 a la FIG. 23.

En la unidad 213 de estimación de perturbaciones de acuerdo con la presente realización, el valor de cambio de altura derivado de perturbaciones (es decir, la cantidad de cambio en la coordenada Z en el espacio real) en una parte de la superficie del cuerpo S rígido que existe en las líneas L_b y L_c de sección de luz se calcula en base a la imagen capturada, capturada por la cámara 113 de área en la que las líneas L_b y L_c de sección de luz están presentes.

Visión general del procesamiento de estimación de perturbaciones

En un método de sección de luz como el que se propone en la Bibliografía de Patentes 1 anterior, la medición de la altura de la superficie se realiza en diferentes momentos para una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en la dirección longitudinal en la línea de sección de luz, la diferencia en el resultado de la medición de la altura de la superficie entre los puntos (es decir, un cambio derivado de perturbaciones) se utiliza del mismo modo que para el cálculo de la magnitud de la perturbación. Sin embargo, en el método de sección de luz realizado en el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, la relación entre la posición en la dirección longitudinal de cada punto en la línea L_b de sección de luz (es decir, el valor de la coordenada X^b) y el cambio en el valor de la coordenada Y^b derivado de perturbaciones en cada uno de estos puntos se especifica mediante un procesamiento de estimación de perturbaciones realizado por la unidad 213 de estimación de perturbaciones, utilizando una pluralidad de imágenes capturadas en momentos diferentes. Después de eso, la unidad 213 de estimación de perturbaciones aproxima la distribución a lo largo de la dirección X^b de las cantidades de cambio en la coordenada Y^b con una línea recta. Utilizando la línea recta aproximada, la unidad 213 de estimación de perturbaciones puede

calcular de forma precisa la cantidad de cambio en el valor de la coordenada Y^b en la coordenada X^b que corresponde al punto A de intersección que se muestra en la FIG. 2, mientras suprime la variación en el valor debido al error de medición en cada punto en la línea L_b de sección de luz. Después de eso, la unidad 213 de estimación de perturbaciones convierte la cantidad de cambio en el valor de la coordenada Y^b expresada en base de píxeles, en la cantidad de cambio en la coordenada Z en el espacio real (es decir, la cantidad de fluctuación de la altura derivada de perturbaciones), utilizando una curva C^b de calibración como la descrita anteriormente.

También el cambio en la coordenada Z derivado de una perturbación en el punto B de intersección que se muestra en la FIG. 2 puede ser hallado de forma similar a la anterior, centrándose en la línea L_c de sección de luz en lugar de la línea L_b de sección de luz.

A continuación, asumiendo que la coordenada C en el espacio real (es decir, la dirección del ancho del cuerpo S rígido) es una referencia, las cantidades de cambio en la coordenada Z en el punto A de intersección y en el punto B de intersección calculadas de la manera anterior, pueden representarse gráficamente en un plano, con la coordenada C en el eje horizontal y la cantidad de cambio en la coordenada Z en el eje vertical. Debido a que el objeto de medición focalizado en el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, es un cuerpo rígido, se supone que las cantidades de cambio en la coordenada Z en los puntos en la dirección del ancho del cuerpo S rígido situados entre el punto A de intersección y el punto B de intersección, cambian en una línea recta en el espacio real. Por lo tanto, cuando una línea recta que pasa a través de las cantidades de cambio en la coordenada Z en el punto A de intersección y el punto B de intersección se captura como imagen en el plano del eje-C-eje-Z como el anterior, las cantidades de cambio en la coordenada Z en los puntos en la dirección del ancho del cuerpo S rígido situado entre el punto A de intersección y el punto B de intersección, pueden expresarse en el espacio real. Por tanto, hallando una línea recta como la anterior en el plano del eje-C-eje-Z, la unidad 213 de estimación de perturbaciones puede hallar el cambio en la coordenada Z derivada de perturbaciones en posiciones en la dirección del ancho que conectan los dos puntos de intersección.

La anterior es una visión general del procesamiento de estimación de perturbaciones realizado en la unidad 213 de estimación de perturbaciones; la unidad 213 de estimación de perturbaciones que realiza el procesamiento de estimación de perturbaciones incluye, tal como se muestra en la FIG. 16, una unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común, y una unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección.

En referencia a la unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común

La unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común está configurada con, por ejemplo, una CPU, una ROM, una RAM, etc. La unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común es una unidad de procesamiento que especifica, del procesamiento mencionado brevemente en la visión general del procesamiento de estimación de perturbaciones mencionado anteriormente, la relación entre la posición en la dirección longitudinal de cada punto en las líneas L_b y L_c de sección de luz (es decir, el valor de la coordenada X^b y la coordenada X^c), y el cambio en el valor de la coordenada Y^b y la coordenada Y^c derivado de perturbaciones en cada uno de estos puntos, utilizando una pluralidad de imágenes capturadas en diferentes momentos.

La unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común realiza el procesamiento de calcular el valor de cambio del valor de la coordenada Y^b y la coordenada Y^c derivados de perturbaciones como las anteriores, en la parte de irradiación común en la FIG. 7. A continuación, el procesamiento realizado por la unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común se describe en detalle en referencia a la FIG. 17 a la FIG. 20.

Según se describe en referencia a la FIG. 7, cuando un cuerpo S rígido que se desplaza es capturado como imagen por la cámara 113 de área, existe una región en común capturada como imagen (es decir, la parte de irradiación común que se muestra en la FIG. 7) en dos imágenes capturadas consecutivas (por ejemplo, la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada y la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada). Por lo tanto, cuando la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada, capturada por la cámara 113 de área se traslada en una distancia ΔL^b en la dirección negativa del eje X^b basada en los segundos datos de calibración, puede hacerse que la coordenada X^b de la parte de irradiación común de la imagen $i^{\text{ésima}}$ y la coordenada X^b de la parte de irradiación común de la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ coincidan. De forma similar, también para la línea L_c de sección de luz, cuando la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada, capturada por la cámara 113 de área se traslada en una distancia ΔL^c en la dirección negativa del eje X^c basada en los segundos datos de calibración, puede hacer que la coordenada X^c de la parte de irradiación común de la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada y la coordenada X^c de la parte de irradiación común de la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada coincidan. Debido a que la parte de irradiación común es la misma posición en el cuerpo S rígido, la altura real de la superficie de la parte de irradiación común en el espacio real es la misma. Por lo tanto, igualando la coordenada X y a continuación comparando la coordenada Y de la parte de irradiación común en la imagen $i^{\text{ésima}}$ y la coordenada Y de la parte de irradiación común en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$, se hace posible estimar la magnitud de la perturbación que ha ocurrido en el cuerpo S rígido en el momento de captura de la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$.

Más específicamente, la unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común calcula la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada y un cambio en

la altura (de aquí en adelante, denominado “componente de perturbación”), debido a un componente de perturbación en la imagen $(i+1)^{ésima}$, utilizando una altura de superficie aparente (de aquí en adelante, denominada una “altura aparente”) que incluye un componente de perturbación que se obtiene de la imagen $(i+1)^{ésima}$ capturada y la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación en la parte de irradiación común en la imagen $i^{ésima}$ capturada.

Cuando ha ocurrido una perturbación en el cuerpo S rígido, la coordenada Y^b de la línea L_b de sección de luz y la coordenada Y^c de la línea L_c de sección de luz que están presentes en la imagen capturada obtenida por la cámara 113 de área, cambian de la manera que se ilustra en la FIG. 9 a la FIG. 11. La FIG. 17 es un diagrama explicativo para describir un método para calcular un valor de cambio en la coordenada Y^b derivada de las perturbaciones en la unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común. Aunque la FIG. 17 muestra el caso en el que ha ocurrido la traslación en la dirección del eje Z como una perturbación entre dos imágenes consecutivas, la totalidad de la siguiente descripción no está limitada al caso en el que la ha ocurrido una traslación en la dirección del eje Z como una perturbación, y de forma similar es válida también en el caso en el que ha ocurrido una rotación alrededor del eje L y el caso en el que ha ocurrido una rotación alrededor del eje C. La razón es que, en todas las tres perturbaciones, el cambio en la coordenada Y^b y la coordenada Y^c derivado de perturbaciones puede aproximarse con una línea recta debido a que el objeto de medición enfocado es un cuerpo rígido.

La unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común realiza procesamientos similares a los procesamientos realizados en la línea L_b de sección de luz también en la línea L_c de sección de luz. Por lo tanto, en los siguientes dibujos y descripción, se proporciona una descripción utilizando el procesamiento realizado en la línea L_b de sección de luz de forma representativa.

La unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común ejecuta en primer lugar el siguiente procesamiento en dos imágenes capturadas de la imagen $i^{ésima}$ y la imagen $(i+1)^{ésima}$ fotografiadas por la cámara 113 de área para la coordenada X^b que pertenece a las respectivas partes de irradiación común.

En la siguiente descripción, la línea L_b de sección de luz en la imagen $i^{ésima}$ capturada en el sistema de coordenadas (X^b, Y^b) , se ve como una función de X^b , y se expresa como $Y^b = F_{obs}^b(i, X^b)$. Además, a continuación, $F_{obs}^b(i, X^b)$ se denomina como “altura aparente” de la línea L_b de sección de luz.

Tal como se muestra en la FIG. 9 a la FIG. 11, la posición de la línea de sección de luz en la imagen capturada cambia debido a perturbaciones; el desplazamiento vertical de la línea de sección de luz derivada de perturbaciones de la imagen $i^{ésima}$ capturada, con la imagen de $i = 1^a$ como referencia, se expresa como un componente de perturbaciones de $d^b(i, X^b)$. En este punto, asumiendo que se utiliza un método de sección de luz común, esto puede verse como un método en el que la magnitud de la perturbación se estima especificando el desplazamiento vertical de la posición de la línea de sección de luz en la imagen $(i+1)^{ésima}$ capturada con la posición de la línea de sección de luz en la imagen $i^{ésima}$ capturada como referencia (es decir, se estima la perturbación entre los fotogramas de las imágenes capturadas). Sin embargo, debe señalarse que el método de sección de luz de acuerdo con la presente realización es, tal como se ha mencionado anteriormente y como se describe en detalle a continuación, un método en el que se estima la magnitud de la perturbación con la posición de la línea de sección de luz en la 1^a imagen capturada como referencia.

En vista de la FIG. 9 a la FIG.11 y similar para referencia, la altura aparente de la línea L_b de sección de luz en la imagen $i^{ésima}$ capturada puede verse como “un valor en el cual se añade un cambio en la posición de la línea de sección de luz derivado de un componente de perturbación a la altura de la superficie que se supone se observa en el caso en el que no existe perturbación”. Es decir, tal como se muestra esquemáticamente en la FIG. 17, la altura aparente de la línea L_b de sección de luz de la imagen $i^{ésima}$ capturada puede verse como la suma total del componente de perturbación y la altura de la superficie después de que se elimina la perturbación (es decir, la altura de la superficie que se supone se observa en el caso en el que no existe perturbación; de aquí en adelante, denominada de manera ocasional como sencillamente “una altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación”). Debido a que el objeto de medición es un cuerpo rígido tal como se menciona anteriormente, el componente de perturbación $d^b(i, X^b)$ puede ser visto como una función lineal, es decir, una línea recta para X^b .

Aquí, en el procesamiento de estimación de perturbaciones de acuerdo con la presente realización, se asume que “el componente de perturbación en la 1^a imagen capturada es cero”. Es decir, se asume que la Fórmula 121 siguiente es válida para todas las coordenadas X^b que pertenecen a la parte de irradiación común en la 1^a imagen capturada y la 2^a y posteriores imágenes capturadas en las que existe la parte de irradiación común en la 1^a imagen capturada.

$$d^b(i, X^b) = 0 \dots (\text{Fórmula 121})$$

Puede haber un caso en el que se haya añadido una perturbación en la 1^a imagen; en este caso, la altura de la superficie emitida por el procesamiento de imagen de acuerdo con la presente realización al final es un valor en el que un plano determinado por la magnitud de un componente de perturbación que había sido añadido en el momento de captura de la 1^a imagen, se añade uniformemente a la altura original de la superficie. Sin embargo, en el caso en el que se determina un plano de referencia en un cuerpo S rígido como una placa de un producto de

acero semi-acabado, puede obtenerse la altura de la superficie vista desde el plano de referencia realizando una corrección en la que un plano se sustrae de tal manera que la altura de la superficie de la longitud total y el ancho total emitido al final coincide con el plano de referencia. Por lo tanto, a continuación, se proporciona una descripción en el supuesto en que es válida la Fórmula 121 anterior.

- 5 En este momento, tal como se muestra en la FIG. 17, la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación de la parte irradiada con la línea L_b de sección de luz en el momento de fotografiado de la imagen $i^{\text{ésima}}$ puede obtenerse sustrayendo el componente de perturbación de la altura aparente de la superficie. Es decir, puede hallarse la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(i, X^b)$ del cuerpo S rígido irradiado con la línea L_b de sección de luz en la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada, de acuerdo con la Fórmula 123 siguiente.

10 $H^b(i, X^b) = F_{\text{obs}}^b(i, X^b) - d^b(i, X^b) \dots$ (Fórmula 123)

Además, puede hallarse el componente de perturbación en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada sustrayendo la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación de la altura aparente en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada. Es decir, es válida la Fórmula 125 siguiente.

$d^b(i+1, X^b) = F_{\text{obs}}^b(i+1, X^b) - H^b(i+1, X^b) \dots$ (Fórmula 125)

- 15 Aquí, la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(i+1, X^b)$ en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada no puede medirse a partir de la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ por sí sola. Sin embargo, debido a que la parte de irradiación común es la misma posición en el cuerpo S rígido, la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada es igual a la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación en la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada. Por tanto, la unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común de acuerdo con la presente realización utiliza, como altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(i+1, X^b)$ en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada, un valor obtenido por traslación de la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(i, X^b)$ en la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada que ya ha sido hallada por la Fórmula 123 en una distancia ΔL^b en la dirección de transporte (es decir, la dirección negativa del eje X^b) e igualando la parte de irradiación común. Es decir, se utiliza el hecho de que la relación expresada por la Fórmula 127 siguiente es válida.

25 $H^b(i+1, X^b) = H^b(i, X^b + \Delta L^b) \dots$ (Fórmula 127)

Por lo tanto, sustituyendo la Fórmula 127 por la Fórmula 125, puede hallarse el componente de perturbación $d^b(i+1, X^b)$ de la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ por la Fórmula 129 siguiente utilizando la altura aparente obtenida de la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ y la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación de la imagen $i^{\text{ésima}}$.

30 $d^b(i+1, X^b) = F_{\text{obs}}^b(i+1, X^b) - H^b(i, X^b + \Delta L^b) \dots$ (Fórmula 129)

Además, en la Fórmula 123 anterior, el parámetro i es incrementado en uno en $i = i+1$, y el componente de perturbación de la imagen $i^{\text{ésima}}$ obtenida por la Fórmula 129 anterior se sustituye en la parte de $d^b(i+1, X^b)$; por lo tanto, puede hallarse la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(i+1, X^b)$ en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada.

- 35 Por tanto, la unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común utiliza la Fórmula 129 y la Fórmula 123 alternativamente, con la Fórmula 121 en $i = 1$ tomado como el valor inicial, e incrementa secuencialmente el valor del parámetro i en uno; y por tanto puede calcular secuencialmente la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación en la imagen $i^{\text{ésima}}$ y el componente de perturbación en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$.

- 40 A continuación, se describe específicamente cómo se realiza el procesamiento de especificación del componente de perturbación en la parte de irradiación común por la unidad 221 de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común mencionada anteriormente, en el caso en el que se utiliza para una situación como la que se muestra en la FIG. 18.

- 45 A continuación, se proporciona una descripción únicamente para la línea L_b de sección de luz; pero esta es también aplicable a la línea L_c de sección de luz.

En la FIG. 18, un cuerpo S rígido en el cual una sección de la parte que va a ser irradiada con la línea L_b de sección de luz presenta irregularidades se utiliza como un objeto de medición. En este momento, se asume que, tal como se muestra en la mitad izquierda de la FIG. 18, ha ocurrido una traslación en la dirección Z como perturbación, mientras se capturan la 1ª y 2ª imágenes capturadas.

- 50 La FIG. 19 es un diagrama explicativo para describir el proceso basado en la Fórmula 129 en la parte de irradiación común en la 1ª y la 2ª imagen capturada. Tal como se muestra en la Fórmula 125 anterior, el componente de perturbación $d^b(2, X^b)$ en la 2ª imagen capturada es la diferencia entre la altura aparente $F_{\text{obs}}^b(2, X^b)$ y la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(2, X^b)$ en la 2ª imagen capturada. Por otro lado, según se describe anteriormente, la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(2, X^b)$ en la 2ª

imagen capturada es un valor obtenido por traslación de la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(1, X^b)$ en la 1ª imagen capturada en una distancia ΔL^b tal como se muestra por la línea discontinua en la FIG. 19 (es decir, $H^b(1, X^{b+\Delta L^b})$). Aquí, de la Fórmula 121 anterior, $H^b(1, X^b)$ es igual a $F_{obs}^b(1, X^b)$. Por lo tanto, $H^b(1, X^{b+\Delta L^b})$ es igual a $F_{obs}^b(1, X^{b+\Delta L^b})$. Por tanto, en referencia a la FIG. 19, el componente de perturbación $d^b(2, X^b)$ en la 2ª imagen capturada es igual a un valor obtenido sustrayendo, de la altura aparente $F_{obs}^b(2, X^b)$, un valor obtenido por traslación de la altura aparente de la 1ª imagen en una distancia ΔL^b . Es decir, la situación que se muestra en la FIG. 19 corresponde a la fórmula que se muestra como Fórmula 129 anterior expresada en forma gráfica.

En el caso de la FIG. 18, debido a que la perturbación que ha ocurrido en el cuerpo S rígido es la traslación en la dirección Z, el componente de perturbación (la magnitud que se muestra por la línea de trazos largos y cortos alternados en la FIG. 19), $d^b(2, X^b)$ hallado por la Fórmula 129 es fijo independientemente de la coordenada X^b .

A continuación, se asume que, tal como se muestra en la mitad derecha de la FIG. 18, ha ocurrido una rotación alrededor del eje C mientras que se capturan la 2ª y 3ª imágenes. En este caso, tal como queda claro cuando se comparan la 1ª imagen capturada y la 3ª imagen capturada en la FIG. 18, han ocurrido la traslación en la dirección Z y la rotación alrededor del eje C como perturbación en el cuerpo S rígido, asumiendo que la 1ª imagen capturada es una referencia.

La FIG. 20 es un diagrama explicativo para describir un procesamiento basado en la Fórmula 123 y la Fórmula 129 en la parte de irradiación común de la 2ª imagen capturada y la 3ª imagen capturada.

Tal como se muestra en la parte de la mitad derecha de la FIG. 20, la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(2, X^b)$ puede calcularse sustrayendo, de la altura aparente $F_{obs}^b(2, X^b)$ obtenida de la 2ª imagen, el componente de perturbación $d^b(2, X^b)$ que ya ha sido calculado en base a la FIG. 19. Esta relación es la relación expresada por la Fórmula 123 anterior expresada en forma gráfica.

A continuación, tal como se muestra en la parte de la mitad izquierda de la FIG. 20, la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(2, X^b)$ en la parte de irradiación común de la 2ª imagen capturada se traslada en una distancia ΔL^b de manera que la parte de irradiación común coincide con la 3ª imagen capturada, y se sustrae de la altura aparente obtenida de la 3ª imagen capturada; de este modo, puede calcularse el componente de perturbación $d^b(3, X^b)$ en la 3ª imagen capturada.

Aquí, se ha añadido una rotación alrededor del eje C entre la 2ª imagen capturada y la 3ª imagen capturada; cuando la longitud de la línea de trazos largos y cortos alternados en la mitad izquierda de la FIG. 20 (es decir, $d^b(3, X^b)$) se representa gráficamente contra la coordenada X^b , $d^b(3, X^b)$ forma una línea recta que tiene una cierta pendiente.

Aquí, tal como queda claro también a partir de la FIG. 20, el componente de perturbación $d^b(3, X^b)$ de la 3ª imagen capturada es un valor obtenido sustrayendo la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(2, X^b)$ en la 2ª imagen capturada de la altura aparente $F_{obs}^b(3, X^b)$ en la 3ª imagen capturada, y la altura de la superficie después de eliminación de perturbación $H^b(2, X^b)$ en la 2ª imagen capturada es un valor obtenido sustrayendo el componente de perturbación $d^b(2, X^b)$ de la 2ª imagen capturada de la altura aparente $F_{obs}^b(2, X^b)$ de la 2ª imagen capturada. Por lo tanto, el componente de perturbación $d^b(3, X^b)$ de la 3ª imagen capturada puede también verse como una cantidad basada en el componente de perturbación $d^b(2, X^b)$ de la 2ª imagen capturada. De forma similar, el componente de perturbación $d^b(2, X^b)$ de la 2ª imagen capturada puede entenderse como una cantidad basada en el componente de perturbación $d^b(1, X^b)$ de la 1ª imagen capturada. Como queda claro a partir de dichas relaciones, el procesamiento de estimación de perturbaciones de acuerdo con la presente realización especifica el componente de perturbación $d^b(i, X^b)$ en la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada como resultado de la acumulación de todas las perturbaciones desde la perturbación en la 1ª imagen capturada a la perturbación en la imagen $(i-1)^{\text{ésima}}$ capturada.

En el caso en el que ha ocurrido una rotación alrededor del eje L como perturbación, se fija la magnitud del componente del componente de perturbación en la línea L_b de sección de luz independientemente de la coordenada X^b como en el caso en el que ha ocurrido la traslación en la dirección Z. El componente de perturbación $d^c(i, X^c)$ en la línea L_c de sección de luz que existe en una posición diferente en la dirección del ancho en el espacio real, se fija también independientemente de la coordenada X^c . Sin embargo, los valores del componente de perturbación d^b y del componente de perturbación d^c son diferentes; por tanto, puede entenderse el hecho de que exista rotación alrededor del eje L.

Realizando la unidad 221 de estimación de perturbaciones en la parte de irradiación común un procesamiento como el anterior, puede calcularse la magnitud del componente de perturbación $d^b(i, X^b)$ en la línea L_b de sección de luz utilizando dos imágenes capturadas consecutivas. Utilizando un procesamiento como el anterior también para la línea L_c de sección de luz de forma similar, la unidad 221 de estimación de perturbaciones en la parte de irradiación común puede calcular la magnitud del componente $d^c(i, X^c)$ en la línea L_c de sección de luz.

La unidad 221 de estimación de perturbaciones en la parte de irradiación común emite información sobre la magnitud del componente de perturbación en cada una de las líneas L_b y L_c de sección de luz calculada de este

modo hacia la unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección descrita más adelante.

Con respecto a la unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección

5 La unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección está configurada con, por ejemplo, una CPU, una ROM, una RAM, etc. La unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección es una unidad de procesamiento que realiza, del procesamiento mencionado brevemente en la visión general del procesamiento de estimación de perturbaciones mencionado anteriormente, el procesamiento de aproximar la distribución a lo largo de la dirección X^b de la cantidad de cambio en la coordenada Y^b con una línea recta para la línea L_b de sección de luz y la aproximación de la distribución a lo largo de la dirección X^c de la cantidad de cambio en la coordenada Y^c con una línea recta para la línea L_c de sección de luz, y por tanto estima la magnitud de perturbación en las posiciones de los puntos A y B de intersección.

15 Más específicamente, la unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección aproxima la distribución de la magnitud de la perturbación a lo largo de la coordenada X con una línea recta utilizando la magnitud de perturbación en la parte de irradiación común calculada por la unidad 221 de estimación de perturbaciones en la parte de irradiación común, y extrapola (dependiendo de las circunstancias, interpola) la línea recta aproximada obtenida hasta la posición del punto de intersección; por lo tanto, calcula la magnitud de la perturbación en el punto A de intersección y en el punto B de intersección. Mediante la aproximación con una línea recta, puede absorberse la variación que ocurre entre puntos en las líneas L_b y L_c de sección de luz, y puede hallarse el valor de perturbación en el punto A de intersección y en el punto B de intersección con una mejor precisión, en comparación con métodos convencionales de sección de luz que incluyen la invención descrita en la Bibliografía de Patentes 1 anterior. Después de eso, la unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección convierte la altura de la superficie expresada en base a píxeles a un valor en la coordenada Z (unidad: mm) utilizando las curvas C^b y C^c de calibración que son los primeros datos de calibración, y calcula la magnitud de perturbación en la coordenada Z de los puntos A y B de intersección.

25 Tal como se ha mencionado anteriormente, la unidad 222 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección es una unidad de procesamiento que calcula cada uno de

- el cambio $\Delta Z^b(i)$ en la coordenada Z, (unidad: mm) derivado del componente de perturbación en el punto A de intersección, y
- el cambio $\Delta Z^c(i)$ en la coordenada Z, (unidad: mm) derivado del componente de perturbación en el punto B de intersección, en la imagen $i^{\text{ésima}}$.

35 Las razones para hallar los componentes de perturbación en los dos puntos A y B de intersección son las siguientes dos razones. La primera razón es que el objeto de medición es un cuerpo rígido, y por lo tanto los componentes de perturbación $d^a(i, X^a)$ a lo largo de la línea L_a de sección de luz en la imagen capturada, capturada por la cámara 111 de área y los componentes de perturbación en la coordenada Z obtenida convirtiendo los componentes de perturbación $d^a(i, X^a)$ con la curva de calibración C^a son una línea recta como en el caso de las líneas L_b y L_c de sección de luz. La segunda razón es que pueden especificarse los valores de los componentes de perturbación en dos puntos en una línea recta relacionados con la línea L_a de sección de luz, y por tanto puede estimarse el valor del componente de perturbación en un lugar distinto de los puntos de intersección para la línea L_a de sección de luz.

40 A continuación, el procesamiento realizado por la unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección se describe en detalle en referencia a la FIG. 21 a la FIG. 23. Aunque la FIG. 21 muestra el caso en el que ha ocurrido la traslación en la dirección del eje Z como una perturbación entre dos imágenes capturadas consecutivas, la siguiente descripción no está limitada al caso que se muestra en la FIG. 21, y puede aplicarse de forma similar también al caso en el que ha ocurrido una rotación alrededor del eje L y el caso en el que ha ocurrido una rotación alrededor del eje C.

45 En este momento, en el tiempo de captura de imágenes de la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada, una coordenada Z aparente que incluye un componente de perturbación se expresa como $Z^b(i)$ para el punto A de intersección de la línea L_a de sección de luz y la línea L_b de sección de luz, y una coordenada Z aparente que incluye un componente de perturbación se expresa como $Z^c(i)$ para el punto B de intersección de la línea L_a de sección de luz y la línea L_c de sección de luz.

50 Además, tal como se muestra en la FIG. 21, con el tiempo de captura de imágenes de la 1ª imagen capturada como referencia, la altura de la superficie en la coordenada Z (es decir, la altura de la superficie en la coordenada Z después de la eliminación de la perturbación) en el supuesto de que la perturbación no ocurra hasta la imagen $i^{\text{ésima}}$, se expresa como $Z^b(i)$ para el punto A de intersección, y se expresa como $Z^c(i)$ para el punto B de intersección.

55 Tal como se muestra en la FIG. 21 y en la Fórmula 131 siguiente, la diferencia entre la altura aparente de la superficie $Z^b(i)$ en el punto A de intersección en la coordenada Z y la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $Z^b(i)$ en la coordenada Z se define como un cambio $\Delta Z^b(i)$ en la coordenada Z debido a un componente de perturbación. De forma similar, como se muestra en la Fórmula 133 siguiente, la diferencia entre la

altura aparente de la superficie $Z^c(i)$ en el punto B de intersección en la coordenada Z y la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $Z^c(i)$ en la coordenada Z se define como un cambio $\Delta Z^c(i)$ en la coordenada Z debido a un componente de perturbación.

$$\Delta Z^b(i) = Z^b(i) - Z^b(i) \dots \text{(Fórmula 131)}$$

5 $\Delta Z^c(i) = Z^c(i) - Z^c(i) \dots \text{(Fórmula 133)}$

Para calcular el cambio $\Delta Z^b(i)$ en la coordenada Z debido a un componente de perturbación, tal como se muestra en la FIG. 22, la unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección tiene en cuenta cómo la magnitud del componente de perturbación $d^b(i, X^b)$ emitida desde la unidad 221 de estimación de perturbaciones en la parte de irradiación común, se distribuye a lo largo de la dirección X^b . Después de eso, la
 10 unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección aproxima la distribución del componente de perturbación $d^b(i, X^b)$ a lo largo de la dirección X^b con una línea recta mediante tratamiento estadístico tal como el método de mínimos cuadrados. Después de eso, la unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección calcula un componente de perturbación $d^b(i, A)$ (unidad: píxeles) que es la magnitud del componente de perturbación en el punto A de intersección, utilizando la coordenada
 15 X^b del punto A de intersección y la línea recta aproximada calculada.

Después de calcular el componente de perturbación $d^b(i, A)$ (unidad: píxeles) en el punto A de intersección, la unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección convierte la magnitud del componente de perturbación basada en píxeles al componente de perturbación en la coordenada Z, $\Delta Z^b(i)$ (unidad: mm), utilizando la curva C^b de calibración que es los primeros datos de calibración.

20 Aquí, cuando se calcula el componente de perturbación en la coordenada Z, $\Delta Z^b(i)$ en el espacio real, es importante tener en cuenta el hecho de que la curva C^b de calibración es una línea curva y el componente de perturbación $d^b(i, A)$ es, como se menciona anteriormente, un componente de perturbación con la 1ª imagen capturada como referencia. Específicamente, para hallar $\Delta Z^b(i)$ utilizando una curva C^b de calibración como la que se muestra en la
 25 FIG. 23, es necesario realizar una conversión de la unidad de pixel a la unidad de mm en dos puntos en la curva de calibración y tomar una diferencia en la coordenada Z.

Aquí, tal como se ha mencionado anteriormente, el valor obtenido añadiendo el componente de perturbación $d^b(i, A)$ a la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $H^b(i, A)$ es la altura aparente $F_{obs}^b(i, A)$ del punto A de intersección en la imagen $i^{ésima}$ capturada. Por tanto, tal como se muestra en la FIG. 23, la unidad 223 de
 30 estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección calcula la altura aparente de la superficie $Z^b(i)$ del punto A de intersección en la coordenada Z de la imagen $i^{ésima}$ utilizando la altura aparente $F_{obs}^b(i, A)$ del punto A de intersección y la curva C^b de calibración. Además, la unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección calcula la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación $Z^b(i)$ en la coordenada Z de la imagen $i^{ésima}$ utilizando la altura de la superficie después de la eliminación de la perturbación
 35 $H^b(i, A)$ y la curva C^b de calibración. Después de eso, la unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección calcula la diferencia entre las dos alturas de superficie obtenidas, y de ese modo calcula el componente $\Delta Z^b(i)$ de perturbación en la coordenada Z, en el punto A de intersección. Además, la unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección calcula también de forma completamente similar el componente $\Delta Z^c(i)$ de perturbación en la coordenada Z, en el punto B de intersección.

40 La unidad 223 de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección emite información sobre la magnitud del componente de perturbación en el punto A de intersección y en el punto B de intersección, calculados de este modo, hacia la unidad 217 de corrección.

Anteriormente en la presente memoria, se describe en detalle el procesamiento de estimación de perturbaciones realizado en la unidad 213 de estimación de perturbaciones en referencia a la FIG. 16 a la FIG. 23.

En referencia al procesamiento de cálculo de datos de la forma en la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma

45 A continuación, se describe en detalle el procesamiento de cálculo de datos de la forma realizado en la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma en referencia a la FIG. 24. Aunque la FIG. 24 muestra el caso en el que ha ocurrido una rotación alrededor del eje L como perturbación, de forma similar a la anterior descripción, la siguiente descripción no está limitada al caso mostrado en la FIG. 24.

En la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma, en primer lugar, tal como se muestra en la FIG. 24, se
 50 especifica una altura aparente $F_{obs}^a(i, X^a)$ (unidad: píxeles) para la línea L_a de sección de luz en la imagen $i^{ésima}$ capturada en referencia a los datos de la imagen capturada, capturada por la cámara 111 de área que se emite desde la unidad 211 de adquisición de datos de captura de imágenes. Aquí, según se describe anteriormente, puede definirse un sistema de coordenadas en la imagen capturada que se muestra en la FIG. 24 utilizando una imagen capturada de la cámara 111 de área, capturada mientras una superficie plana de una placa de calibración o similar
 55 se sitúa en una posición de $Z = 0$. Es decir, una posición en la dirección de la altura en la que se captura como imagen la línea L_a de sección de luz puede definirse como una posición de referencia de una coordenada Y, Y^a para la línea L_a de sección de luz (es decir, una posición de $Y^a = 0$), y puede definirse una coordenada X, X^a para la línea

L_a de sección de luz a lo largo de la dirección de extensión de la línea L_a de sección de luz, con el extremo izquierdo de la imagen capturada como referencia.

5 A continuación, la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma convierte la altura aparente $F_{obs^a}(i, X^a)$ (unidad: píxeles) obtenida de la imagen $i^{ésima}$, a una altura aparente $Z(i, X^a)$ en la coordenada Z (unidad: una unidad de longitud tal como mm), utilizando una curva C^a de calibración que constituye los primeros datos de calibración almacenados en la unidad 207 de almacenamiento.

10 La altura aparente $Z(i, X^a)$ en la coordenada Z calculada de este modo es un valor en el cual se superpone un cambio en la coordenada Z derivado de una perturbación (es decir, un error de medición). La unidad 215 de cálculo de los datos de la forma emite información sobre la altura aparente $Z(i, X^a)$ en coordenada Z calculada de este modo, hacia la unidad 217 de corrección descrita más adelante.

En referencia al procesamiento de corrección en la unidad 217 de corrección

A continuación, se describe en detalle el procesamiento de corrección realizado en la unidad 217 de corrección en referencia a la FIG. 25 y a la FIG. 26.

15 La unidad 217 de corrección de acuerdo con la presente realización, realiza el procesamiento de corrección utilizando los datos de la forma que incluyen un error de medición calculado por la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma (la altura aparente $Z(i, X^a)$ en la coordenada Z) y un componente de perturbación calculado por la unidad 213 de estimación de perturbaciones (el componente $\Delta Z^b(i)$ de perturbación en la coordenada Z), y calcula la altura real de la superficie del cuerpo S rígido que es el objeto de medición. El procesamiento de corrección se repite para todas las imágenes capturadas por la cámara 111 de área, y por lo tanto la altura real de la superficie se sitúa
20 una sobre la otra en la dirección longitudinal; como resultado, se hace posible calcular la altura real de la superficie en todo el cuerpo S rígido.

25 Más específicamente, la unidad 217 de corrección calcula en primer lugar una línea recta como la que se muestra en la FIG. 25, utilizando los componentes $\Delta Z^b(i)$ y $\Delta Z^c(i)$ de perturbación en la coordenada Z en el punto A de intersección y el punto B de intersección calculados por la unidad 213 de estimación de perturbaciones. Tal como se ha mencionado anteriormente, el componente $\Delta Z(i, X^a)$ de perturbación en la coordenada Z a lo largo de la línea L_a de sección de luz es una función lineal (es decir, una línea recta) con respecto a la coordenada X^a debido a que el objeto de medición es un cuerpo rígido. Por lo tanto, puede especificarse el componente $\Delta Z(i, X^a)$ de perturbación en la coordenada Z a lo largo de la línea L_a de sección de luz calculando una línea recta que conecta los componentes $\Delta Z^b(i)$ y $\Delta Z^c(i)$ de perturbación en la coordenada Z en el punto A de intersección y en el punto B de intersección.

30 Posteriormente, tal como se muestra en la FIG. 26 y la Fórmula 141 siguiente, la unidad 217 de corrección sustrae el cambio en la coordenada Z debido a perturbaciones (es decir, el componente $\Delta Z(i, X^a)$ de perturbación) a partir de $Z(i, X^a)$ obtenida por la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma, y de este modo calcula la altura real $Z_{out}(i, X^a)$ de la superficie en la coordenada Z .

$$Z_{out}(i, X^a) = Z(i, X^a) - \Delta Z(i, X^a) \dots \text{(Fórmula 141)}$$

35 La unidad de corrección 217 repite el procesamiento anterior para todas las imágenes capturadas por la cámara 111 de área (es decir, asumiendo que el número de imágenes fotografiadas por cada una de las cámaras 111 y 113 de área es N , repite el procesamiento de hallar $Z_{out}(i, X^a)$ para $i = 1, 2 \dots, N$), y dispone secuencialmente las alturas reales de la superficie en la dirección longitudinal; y puede de ese modo calcular la altura real de la superficie de todo el cuerpo S rígido.

40 Anteriormente en la presente, memoria, se describe el procesamiento de corrección realizado en la unidad 217 de corrección de acuerdo con la presente realización en referencia a la FIG. 25 y a la FIG. 26.

45 Se ha ilustrado un ejemplo de la función del aparato 200 de procesamiento aritmético de acuerdo con la presente realización. Cada uno de los elementos estructurales anteriores puede configurarse con un elemento o circuito de uso general, y puede configurarse con hardware especializado para la función de cada elemento estructural. Una CPU o similar puede realizar todas las funciones de los respectivos elementos estructurales. Por tanto, la configuración utilizada puede modificarse según sea apropiado, de acuerdo con el nivel de tecnología en el momento de llevar a cabo la presente realización.

50 Ha de señalarse que el programa informático para proporcionar cada función del aparato de procesamiento aritmético de acuerdo con la anterior presente realización, puede crearse e implementarse en un ordenador personal o similar. Más aún, además puede proveerse un medio de grabación legible por ordenador que contenga este programa informático. Por ejemplo, el medio de grabación es un disco magnético, un disco óptico, un disco magneto-óptico, una memoria flash, o similar. El anterior programa informático puede distribuirse a través de una red por ejemplo, sin utilizar el medio de grabación.

(Ejemplos de modificación del aparato de captura de imágenes)

A continuación, se describen brevemente unos ejemplos de modificación del aparato 100 de captura de imágenes de acuerdo con la presente realización en referencia a la FIG. 27 y a la FIG. 28. La FIG. 27 y la FIG. 28 son diagramas explicativos que muestran esquemáticamente un ejemplo de modificación del aparato de captura de imágenes de acuerdo con la presente realización.

5 Aunque la anterior descripción muestra el caso en el que las dos cámaras 111 y 113 de área están previstas en el aparato 100 de captura de imágenes, la configuración del aparato 100 de captura de imágenes de acuerdo con la presente realización no está limitada a este ejemplo.

10 Por ejemplo, tal como se muestra en la FIG. 27, pueden utilizarse tres cámaras de área de tal manera que la línea L_b de sección de luz se captura como imagen por una cámara 115 de área y la línea L_c de sección de luz se captura como imagen por una cámara 117 de área, en combinación con la cámara 111 de área.

15 Como en el caso en el que se utilizan las dos cámaras 111 y 113 de área como el aparato 100 de captura de imágenes, cada una de las cámaras 115 y 117 de área se instala de tal manera que, tal como se muestra en la FIG. 28, la línea L_b de sección de luz y el eje óptico de la cámara 115 de área proyectada sobre el plano del eje L-eje C son ortogonales, y la línea L_c de sección de luz y el eje óptico de la cámara 117 de área proyectada en el plano de eje L-eje C son ortogonales. Como en el caso en el que se utilizan las dos cámaras 111 y 113 de área como el aparato 100 de captura de imágenes, el área AR3 de captura de imágenes de la cámara 115 de área y el área AR4 de captura de imágenes de la cámara 117 de área pueden ajustarse para incluir el punto A de intersección y el punto B de intersección, respectivamente, en sus campos visuales de captura de imágenes, según sea apropiado; pero es preferible que las líneas L_b y L_c completas estén incluidas en el campo visual de captura de imágenes.

20 Cada uno de los ángulos α_4 y α_5 entre los ejes ópticos de las cámaras de área y el eje Z se establece preferiblemente en, por ejemplo, aproximadamente 30 grados a 60 grados por una razón similar al caso en el que el número de cámaras de área es dos. Los ángulos α_4 y α_5 pueden ser el mismo valor, o pueden ser valores diferentes entre sí. En cualquier caso, la forma que va a ser hallada puede medirse por el mismo procesamiento de cálculo que el caso en el que se utiliza una cámara de área.

25 Aunque la FIG. 27 y la FIG. 28 muestran el caso en el que se proveen dos cámaras 115 y 117 de área en un lado en la dirección del ancho del cuerpo S rígido, es también posible situar la cámara 115 de área en el lateral del lado de la línea L_b de sección de luz del cuerpo S rígido y situar la cámara 117 en el lateral del lado de la línea L_c del cuerpo S rígido, siempre que se preste atención a la dirección de traslación en la unidad 213 de estimación de perturbaciones.

30 Además, pueden utilizarse cuatro o más cámaras de área dividiendo el campo visual de fotografiado para las líneas L_a , L_b y L_c de sección de luz.

Anteriormente en la presente memoria, se describen ejemplos de modificación del aparato 100 de captura de imágenes de acuerdo con la presente realización en referencia a la FIG. 27 y la FIG. 28.

(En referencia al flujo del método de medición de forma)

35 A continuación, se describe brevemente el flujo del método de medición de forma realizado en el aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, en referencia a la FIG. 29A y a la FIG. 29B. La FIG. 29A y la FIG. 29B son diagramas de flujo que muestran un ejemplo del flujo de un método de medición de forma de acuerdo con la presente realización.

40 Antes de la siguiente descripción, se asume que los primeros datos de calibración y los segundos datos de calibración se generan y se almacenan adecuadamente en la unidad 207 de almacenamiento utilizando diversos métodos como el anterior.

45 En primer lugar, bajo el control de la unidad 201 de control de captura de imágenes en el aparato 200 de procesamiento aritmético, el aparato 100 de captura de imágenes del aparato 10 de medición de forma de acuerdo con la presente realización, captura imágenes de un cuerpo S rígido que va a ser medido que está siendo transportado, con cada una de las cámaras 111 y 113 de área, y cada cámara genera N imágenes capturadas (etapa S101). Las cámaras 111 y 113 de área del aparato 100 de captura de imágenes, cada vez que generan una imagen capturada, emiten datos de la captura de imágenes, de la imagen capturada generada, hacia el aparato 200 de procesamiento aritmético.

50 Al adquirir datos de la captura de imágenes del aparato 100 de captura de imágenes, la unidad 211 de adquisición de datos de captura de imágenes del aparato 200 de procesamiento aritmético emite los datos de captura de imágenes generados por la cámara 111 de área hacia la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma, y emite los datos de captura de imágenes generados por la cámara 113 de área hacia la unidad 213 de estimación de perturbaciones.

55 La unidad 213 de estimación de perturbaciones, la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma, y la unidad 217 de corrección inicializan el parámetro i utilizado para el procesamiento realizado en estas unidades de procesamiento a $i = 1$ (etapa S103). Posteriormente, la unidad 213 de estimación de perturbaciones, la unidad 215

- de cálculo de los datos de la forma, y la unidad 217 de corrección evalúan si el valor del parámetro i no es mayor que N , que es el número de imágenes capturadas (etapa S105). En el caso en el que el valor del parámetro i no es mayor que N , la unidad 213 de estimación de perturbaciones inicia el procesamiento de estimación de las perturbaciones como anteriormente, y la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma inicia el procesamiento del
- 5 cálculo de los datos de la forma como anteriormente. Además, la unidad 217 de corrección inicia el estado en espera de la salida de datos desde la unidad 213 de estimación de perturbaciones y la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma. Por otro lado, en el caso en el que el valor del parámetro i es mayor que N , el aparato 10 de medición de forma termina el procesamiento de medición de la forma.
- El procesamiento de estimación de perturbaciones en la unidad 213 de estimación de perturbaciones y el
- 10 procesamiento de cálculo de datos de la forma en la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma pueden ser realizados en paralelo, o el procesamiento en una unidad cualquiera de procesamiento puede ser realizado previamente al procesamiento en la otra unidad de procesamiento, por supuesto.
- Mediante un método como el descrito anteriormente, la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma calcula los
- 15 datos de la forma en el espacio real (la altura de la superficie en la coordenada Z), utilizando la línea de sección de luz de medición de la forma (es decir, la línea L_a de sección de luz) y la curva C^a de calibración en referencia a la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada (etapa S107). Después de calcular los datos de la forma en el espacio real en relación con la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada, la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma emite información sobre los datos de la forma obtenidos, hacia la unidad 217 de corrección.
- Por otro lado, mediante un método como el descrito anteriormente, la unidad 213 de estimación de perturbaciones
- 20 calcula los componentes de perturbación de la parte de irradiación común en base a las líneas de sección de luz de corrección (es decir, las líneas L_b y L_c de sección de luz) en referencia a la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada (etapa S109). Después de eso, la unidad 213 de estimación de perturbaciones calcula una línea recta aproximada utilizando los componentes de perturbación calculados, y a continuación calcula los componentes de perturbación en el punto A de intersección y en el punto B de intersección (etapa S111). Posteriormente, la unidad 213 de estimación de
- 25 perturbaciones convierte los componentes de perturbación en el punto A de intersección y en el punto B de intersección a las cantidades en el espacio real, utilizando las curvas de calibración C^b y C^c (etapa S113). Después de eso, la unidad 213 de estimación de perturbaciones emite información sobre la magnitud del componente de perturbación obtenido en el espacio real hacia la unidad 217 de corrección.
- La unidad 217 de corrección calcula los componentes de perturbación en las posiciones de la línea de sección de luz
- 30 de medición de la forma mediante un método como el descrito anteriormente, en base a los componentes de perturbación en el espacio real, en el punto A de intersección y en el punto B de intersección, emitidos desde la unidad 213 de estimación de perturbaciones (etapa S115). Después de eso, la unidad 217 de corrección sustrae el componente de perturbación en el espacio real de los datos de la forma en el espacio real emitidos desde la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma, y calcula la altura real de la superficie (etapa S117).
- Después de eso, la unidad 213 de estimación de perturbaciones, la unidad 215 de cálculo de los datos de la forma, y
- 35 la unidad 217 de corrección actualizan el valor del parámetro i a $i = i + 1$ (etapa S119), y realiza el procesamiento de la etapa S105 nuevamente.
- Anteriormente en la presente memoria, se describe brevemente un flujo de un método de medición de forma de acuerdo con la presente realización en referencia a la FIG. 29A y la FIG. 29B.
- 40 (Configuración del hardware)
- A continuación, se describirá en detalle la configuración del hardware del aparato 200 de procesamiento aritmético de acuerdo con una realización de la presente invención en referencia a la FIG. 30. La FIG. 30 es un diagrama de bloques para explicar la configuración del hardware del aparato 200 de procesamiento aritmético de acuerdo con una realización de la presente invención.
- 45 El aparato 200 de procesamiento aritmético incluye principalmente una CPU 901, una ROM 903, y una RAM 905. Además, el aparato 200 de procesamiento aritmético también incluye un bus 907, un dispositivo 909 de entrada, un dispositivo 911 de salida, un dispositivo 913 de almacenamiento, una unidad 915 de disco, un puerto 917 de conexión, y un dispositivo 919 de comunicaciones.
- La CPU 901 se utiliza como unidad central de procesamiento y dispositivo de control, y controla la operación global o
- 50 una parte de la operación del aparato 200 de procesamiento aritmético de acuerdo con diversos programas grabados en la ROM 903, la RAM 905, el dispositivo 913 de almacenamiento, o un medio 921 de grabación extraíble. La ROM 903 almacena programas, parámetros de operación, y similar utilizados por la CPU 901. La RAM 905 almacena principalmente programas que la CPU 901 utiliza y parámetros y similares que varían según sea adecuado durante la ejecución de los programas. Estas están conectadas entre sí mediante el bus 907 configurado
- 55 a partir de un bus interno tal como un bus de la CPU o similar.
- El bus 907 se conecta al bus externo tal como un bus PCI (Interconexión/Interfaz de componente periférico) mediante la pasarela.

El dispositivo 909 de entrada es un medio de operación cuya operación es controlada por un usuario, tal como con un ratón, un teclado, un panel táctil, botones, un conmutador y una palanca. El dispositivo 909 de entrada puede ser un medio de control remoto (un así denominado mando a distancia) utilizando, por ejemplo, luz infrarroja u otras ondas de radio, o puede ser un aparato 923 conectado externamente tal como una PDA que conforma la operación del aparato 200 de procesamiento aritmético. Además, el dispositivo 909 de entrada genera una señal de entrada en base a, por ejemplo, información que es introducida por un usuario con el anterior medio de operación, y se configura a partir de un circuito de control de entrada para emitir la señal de entrada hacia la CPU 901. El usuario puede introducir diversos datos en el aparato 10 de medición de forma y puede instruir el aparato 10 de inspección de forma para realizar el procesamiento operando este dispositivo 909 de entrada.

El dispositivo 911 de salida se configura desde un dispositivo capaz de notificar de forma visual o audible la información adquirida a un usuario. Entre los ejemplos de dicho dispositivo se incluyen dispositivos visualizadores tales como un dispositivo de visualización de tipo tubo de rayos catódicos o CRT, un dispositivo de visualización de cristal líquido, un dispositivo de visualización de plasma, un dispositivo de visualización de tipo EL y lámparas, dispositivos de salida de audio tales como un altavoz y un auricular, una impresora, un teléfono móvil, un telefax, y similar. Por ejemplo, el dispositivo 911 de salida emite un resultado obtenido por diversos procesamientos realizados por el aparato 200 de procesamiento aritmético. Más específicamente, el dispositivo de visualización visualiza, en forma de textos o imágenes, un resultado obtenido mediante diversos procesamientos realizados por el aparato 200 de procesamiento aritmético. Por otro lado, el dispositivo de salida de audio convierte una señal de audio tal como datos de audio y datos de sonido reproducidos en una señal analógica, y emite la señal analógica.

El dispositivo 913 de almacenamiento es un dispositivo para almacenar datos, configurado como ejemplo de una unidad de almacenamiento del aparato 200 de procesamiento aritmético, y se utiliza para almacenar datos. El dispositivo 913 de almacenamiento se configura a partir de, por ejemplo, un dispositivo de almacenamiento magnético tal como un HDD (unidad de disco duro), un dispositivo de almacenamiento semiconductor, un dispositivo de almacenamiento óptico, o un dispositivo de almacenamiento magneto-óptico. Este dispositivo 913 de almacenamiento almacena programas que van a ser ejecutados por la CPU 901, diversos datos, y diversos datos obtenidos del exterior.

La unidad 915 de disco es un medio de lectura/escritura para grabar, y está embebida en el aparato 200 de procesamiento aritmético, o unida externamente al mismo. La unidad 915 de disco lee información grabada en el medio 921 de grabación extraíble unido, tal como un disco magnético, un disco óptico, un disco magneto-óptico, o una memoria semiconductor, y emite la información leída hacia la RAM 905. Además, la unidad 915 de disco puede escribir en el medio 921 de grabación extraíble unido tal como un disco magnético, un disco óptico, un disco magneto-óptico, o una memoria semiconductor. El medio 921 de grabación extraíble es, por ejemplo, un medio CD, un medio DVD, o un medio Blu-ray (marca registrada). El medio 921 de grabación extraíble puede ser una CompactFlash (CF; marca registrada), una memoria Flash, una tarjeta de memoria SD (Tarjeta de Memoria Digital Segura), o similar. Alternativamente, el medio 921 de grabación extraíble puede ser, por ejemplo, una tarjeta IC (Tarjeta con Circuito Integrado) equipada con un chip de IC sin contacto o un dispositivo electrónico.

El puerto 917 de conexión es un puerto para permitir que los dispositivos se conecten directamente al aparato 200 de procesamiento aritmético. Entre los ejemplos del puerto 917 de conexión se incluyen un puerto USB (Bus de serie universal), un puerto IEEE1394, un puerto SCSI (Interfaz de Sistema Informático Pequeña), un puerto RS-232C, y similar. Mediante el aparato 923 conectado externamente, que se conecta a este puerto 917 de conexión, el aparato 200 de procesamiento aritmético obtiene directamente diversos datos del aparato 923 conectado externamente y proporciona diversos datos al aparato 923 conectado externamente.

El dispositivo 919 de comunicaciones es una interfaz de comunicaciones configurada, por ejemplo, a partir de un dispositivo de comunicaciones para conectarse a una red 925 de comunicaciones. El dispositivo 919 de comunicaciones es, por ejemplo, una LAN (Red de Área Local) cableada o inalámbrica, Bluetooth (marca registrada), una tarjeta de comunicaciones para WUSB (USB inalámbrico), o similar. Alternativamente, el dispositivo 919 de comunicaciones puede ser un enrutador para comunicaciones ópticas, un enrutador para ADSL (Línea de Abonado Digital Asimétrica), un módem para diversas comunicaciones, o similar. Este dispositivo 919 de comunicaciones puede transmitir y recibir señales y similares de acuerdo con un protocolo predeterminado tal como TCP/IP en Internet y con otros dispositivos de comunicaciones, por ejemplo. La red 925 de comunicaciones conectada al dispositivo 919 de comunicaciones se configura a partir de una red y similar, que se conecta mediante cable o de forma inalámbrica, y puede ser, por ejemplo, Internet, una LAN doméstica, una LAN propia, comunicaciones por infrarrojos, comunicaciones por ondas de radio, comunicaciones por satélite, o similares.

Hasta ahora, se ha mostrado un ejemplo de la configuración de hardware capaz de realizar las funciones del aparato 200 de procesamiento aritmético de acuerdo con una realización de la presente invención. Cada uno de los elementos estructurales descritos anteriormente puede configurarse utilizando un material de uso general, o puede configurarse a partir de hardware dedicado a la función de cada elemento estructural. Por consiguiente, la configuración de hardware que va a ser utilizada puede modificarse según sea apropiado de acuerdo con el nivel técnico en el momento de llevar a cabo la presente realización.

[Ejemplos]

A continuación, el aparato de medición de forma y el método de medición de forma de acuerdo con la presente invención se describen específicamente con referencia a los Ejemplos. Los ejemplos que se muestran a continuación son únicamente ejemplos del aparato de medición de forma y del método de medición de forma de acuerdo con la presente invención, y el aparato de medición de forma y el método de medición de forma de acuerdo con la presente invención no están limitados a los Ejemplos que se muestran a continuación.

En el Ejemplo 1 al Ejemplo 3 que se muestran a continuación, una chapa de aluminio en la que se conoce que una superficie de la misma es plana se utilizó como el cuerpo S rígido que va a ser medido. El aparato de medición de forma utilizado para la medición de forma es el aparato 10 para la medición de forma de acuerdo con la presente realización como el que se muestra en la FIG. 1 y la FIG. 2.

En el Ejemplo 1 al Ejemplo 3, mientras una chapa de aluminio como la mencionada anteriormente fue transportada 60 mm a una velocidad constante de 5 mm/segundo, se capturó una imagen por cada 0,2 segundos con dos cámaras de área, y se obtuvieron 60 imágenes capturadas por cada cámara de área. Antes de lo anterior, se crearon las curvas de calibración C^a , C^b , y C^c , y ΔL^b y ΔL^c , y los datos obtenidos se almacenaron en la unidad de almacenamiento.

En los Ejemplos que se muestran a continuación, durante el transporte de la chapa de aluminio, se añadieron respectivamente tres tipos de perturbación (desplazamiento en la dirección del eje Z, rotación alrededor del eje L, y rotación alrededor del eje C), y se compararon el valor $Z(i, X^a)$ en el que se incluyó un cambio en la coordenada Z derivado de la perturbación y la altura real de la superficie $Z_{out}(i, X^a)$ ($i = 1, 2, \dots, 60$) emitida desde el aparato 200 de procesamiento aritmético. A continuación, se muestran resultados obtenidos convirtiendo la coordenada X^a (unidad: pixeles) a la coordenada C (unidad: mm) que está en la dirección del ancho del cuerpo S rígido.

(Ejemplo 1)

En el Ejemplo 1, se añadió una traslación en la dirección Z como la que se muestra en la FIG. 31A como perturbación durante el transporte de la chapa de aluminio. Las posiciones de las líneas de sección de luz son tal como se muestra en la FIG. 31B. Como resultado, tal como se muestra en la FIG. 31C, puede verse que se han superpuesto los cambios en la dirección del eje Z debido a la perturbación en $Z(i, X^a)$, y la altura de la superficie de la parte correspondiente no es plana. Este resultado indica que $Z(i, X^a)$ no ha podido expresar una altura precisa de la superficie. Por otro lado, tal como se muestra en la FIG. 31D, se ha hallado que $Z_{out}(i, X^a)$ ($i = 1, 2, \dots, 60$) es plana y se ha podido medir una altura precisa de la superficie.

(Ejemplo 2)

En el Ejemplo 2, la rotación alrededor del eje L como la que se muestra en la FIG. 32A (el eje de rotación se estableció en la posición central en la dirección del ancho de la chapa de aluminio, y la dirección positiva del ángulo de rotación se estableció en el sentido de las agujas del reloj a lo largo de la dirección positiva del eje L), se añadió como perturbación durante el transporte de la chapa de aluminio. La relación posicional entre las posiciones de las líneas de sección de luz y el eje de rotación es tal como se muestra en la FIG. 32B. Como resultado, tal como se muestra en la FIG. 32C, puede verse que se han superpuesto los cambios en la dirección del eje Z debido a la rotación alrededor del eje L en $Z(i, X^a)$, y la altura de la superficie de la parte correspondiente no es plana. Este resultado indica que $Z(i, X^a)$ no ha podido expresar una altura precisa de la superficie. Por otro lado, tal como se muestra en la FIG. 32D, se ha hallado que $Z_{out}(i, X^a)$ ($i = 1, 2, \dots, 60$) es plana y se ha medido una altura precisa de la superficie.

(Ejemplo 3)

En el Ejemplo 3, la rotación alrededor del eje C como la que se muestra en la FIG. 33A (el eje de rotación se estableció en la posición central en la dirección longitudinal de la chapa de aluminio, y la dirección positiva del ángulo de rotación se estableció en el sentido de las agujas del reloj a lo largo de la dirección positiva del eje C) se añadió como perturbación durante el transporte de la chapa de aluminio. La relación posicional entre las posiciones de las líneas de sección de luz y el eje de rotación es tal como se muestra en la FIG. 33B. Como resultado, tal como se muestra en la FIG. 33C, puede verse que se han superpuesto los cambios en la dirección del eje Z debido a la rotación alrededor del eje C en $Z(i, X^a)$, y la altura de la superficie de la parte correspondiente no es plana. Este resultado indica que $Z(i, X^a)$ no ha podido expresar una altura precisa de la superficie. Por otro lado, tal como se muestra en la FIG. 33D, se ha hallado que $Z_{out}(i, X^a)$ ($i = 1, 2, \dots, 60$) es plana y se ha medido una altura precisa de la superficie.

La realización o realizaciones preferidas de la presente invención se han descrito anteriormente en referencia a los dibujos anexos, aunque la presente invención no está limitada a los ejemplos anteriores. Un experto en la técnica puede encontrar diversas alteraciones y modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, y debe entenderse que se encuentran bajo el alcance técnico de la presente invención.

Lista de signos de referencia

10 aparato de medición de forma

- 100 aparato de captura de imágenes
- 101a, 101b, y 101c fuente de luz láser lineal
- 111, 113, 115, 117 cámara de área
- 200 aparato de procesamiento aritmético
- 5 201 unidad de control de la captura de imágenes
- 203 unidad de procesamiento de imagen
- 205 unidad de control de visualización
- 207 unidad de almacenamiento
- 211 unidad de adquisición de datos de captura de imágenes
- 10 213 unidad de estimación de perturbaciones
- 215 unidad de cálculo de los datos de la forma
- 217 unidad de corrección
- 219 unidad de salida de resultados
- 221 unidad de estimación de perturbaciones de la parte de irradiación común
- 15 223 unidad de estimación de perturbaciones de la posición del punto de intersección

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (10) de medición de forma para medir la forma de un cuerpo (S) rígido que va a ser medido mediante una pluralidad de líneas (L_a , L_b , L_c) de sección de luz basadas en una pluralidad de haces de luz láser lineal aplicados a una superficie del cuerpo rígido que va a ser medido procedentes de una pluralidad de fuentes (101a, 101b, 101c) de luz láser lineal que se desplazan en relación al cuerpo rígido que va a ser medido a lo largo de una dirección (L) longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido,

comprendiendo el aparato de medición de forma:

un aparato (100) de captura de imágenes para aplicar tres haces de luz láser lineal a la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido, que se desplaza de forma relativa a lo largo de la dirección longitudinal y para captar como imagen la luz reflejada de los tres haces de la luz láser lineal desde la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido en un intervalo prescrito en la dirección longitudinal; y

un aparato (200) de procesamiento aritmético para realizar un procesamiento de imágenes en las imágenes capturadas relacionadas con las líneas de sección de luz captadas como imagen por el aparato de captura de imágenes y para calcular la forma de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido,

en donde el aparato de captura de imágenes incluye

una primera fuente (101a) de luz láser lineal para emitir una línea (L_a) de sección de luz de medición de la forma que es la línea de sección de luz que se extiende en una dirección (C) del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido y se utiliza para calcular la forma de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido,

una segunda fuente (101b) de luz láser lineal para emitir una primera línea (L_b) de sección de luz que es paralela a la dirección longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido y cruza la línea de sección de luz de medición de la forma, y se utiliza para corregir un efecto de una perturbación que actúa sobre el cuerpo rígido que va a ser medido,

una tercera fuente (101c) de luz láser lineal para emitir una segunda línea (L_c) de sección de luz de corrección que es paralela a la dirección longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido, cruza la línea de sección de luz de medición de la forma, y existe en una posición en la dirección del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido diferente de la primera línea de sección de luz de corrección, y se utiliza para corregir un efecto de perturbación que actúa sobre el cuerpo rígido que va a ser medido,

una primera cámara (111) para capturar como imagen la línea de sección de luz de medición de la forma en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en la dirección longitudinal y para generar una imagen capturada de la línea de sección de luz de medición de la forma en cada tiempo, y

una segunda cámara (113) para capturar como imagen las líneas de sección de luz de corrección en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en la dirección longitudinal y para generar una imagen capturada de las líneas de sección de luz de corrección en cada tiempo, y

el aparato de procesamiento aritmético incluye

una unidad (215) de cálculo de los datos de la forma para calcular, en base a la imagen capturada de la línea de sección de luz de medición de la forma en cada tiempo, generada por la primera cámara, los datos de la forma que muestran una forma tridimensional de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido y en los que se superpone un error de medición derivado de la perturbación,

una unidad (213) de estimación de perturbaciones para

realizar, en una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en la dirección longitudinal de la primera línea de sección de luz, un procesamiento de la adquisición del valor del cambio de altura de la adquisición, a partir de valores de medición de la altura relacionados con una altura de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido adquiridos en dos tiempos diferentes para la misma posición del cuerpo rígido que va a ser medido, de un valor de cambio de la altura derivado de la perturbación en la posición, utilizando imágenes capturadas de la primera línea de sección de luz de corrección,

realizar el procesamiento de adquisición del valor del cambio de altura en una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en la dirección longitudinal de la segunda línea de sección de luz de corrección utilizando imágenes capturadas de la segunda línea de luz de corrección, y

estimar la cantidad de fluctuación de la altura derivada de la perturbación superpuesta en los datos de la forma, utilizando una pluralidad de valores de cambio de la altura derivados de la perturbación obtenidos de las imágenes capturadas de la primera línea de sección de luz y una pluralidad de valores del cambio de la altura derivados de la perturbación obtenidos de las imágenes de la segunda línea de sección de luz de corrección, y

una unidad (217) de corrección para sustraer la cantidad de fluctuación de la altura de los datos de la forma y de ese modo corregir el error de medición derivado de la perturbación.

5 2. El aparato (10) de medición de forma según la reivindicación 1, en donde la unidad de estimación de perturbaciones está configurada para aproximar, con una línea recta, los valores del cambio de altura derivados de la perturbación en una pluralidad de puntos en la primera línea de sección de luz de corrección, y estima un valor de cambio de la altura derivado de la perturbación en un punto de intersección de la línea recta y la línea de sección de luz de medición de la forma,

10 aproximar, con una línea recta, valores de cambio de la altura derivados de la perturbación en una pluralidad de puntos en la segunda línea de sección de luz de corrección y estima un valor de cambio de la altura derivado de la perturbación en un punto de intersección de la línea recta y la línea de sección de luz de medición de la forma, y

estimar la cantidad de fluctuación de la altura mediante una línea recta que conecta los valores de cambio de la altura derivados de la perturbación en los dos puntos de intersección.

15 3. El aparato (10) de medición de forma según la reivindicación 1 o 2, en donde cada una de la primera cámara y la segunda cámara está configurada para realizar la captura de imágenes en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en la dirección longitudinal y genera N imágenes capturadas, siendo N un número entero de 2 o más, y

la unidad de estimación de perturbaciones está configurada para calcular la cantidad de la fluctuación de la altura bajo la suposición de que no ha ocurrido la perturbación en una 1ª imagen capturada.

20 4. El aparato (10) de medición de forma según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde los tiempos de captura de imágenes de la primera cámara y la segunda cámara se controlan de tal manera que una región de irradiación común que es una parte del cuerpo rígido que va a ser medido irradiado con la línea de sección de luz de corrección en común existe en imágenes capturadas de la segunda cámara, capturadas en tiempos de captura de imágenes adyacentes entre sí, y

25 la unidad de estimación de perturbaciones está configurada para calcular un valor de cambio de la altura derivado de la perturbación para la pluralidad de puntos que se encuentran bajo la región de irradiación común de cada una de la primera línea de sección de luz de corrección y la segunda línea de sección de luz de corrección.

5. El aparato (10) de medición de forma según la reivindicación 4, en cuanto a que la reivindicación 4 depende de la reivindicación 3,

30 en donde, utilizando una altura aparente de la superficie que incluye el valor de cambio de la altura obtenido a partir de una imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ de la segunda cámara, siendo $i, 1, 2, \dots, N-1$, y una altura de la superficie que se obtiene de una imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada de la segunda cámara y que se presenta después de que se elimina el valor de cambio de la altura en la región de irradiación común de la imagen $i^{\text{ésima}}$, la unidad de estimación de perturbaciones está configurada para calcular el valor del cambio de la altura en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada y una altura de la superficie después de que se elimina el valor de cambio de la altura.

35 6. El aparato (10) de medición de forma según la reivindicación 4, en cuanto a que la reivindicación 4 depende de la reivindicación 3 o según la reivindicación 5,

en donde la unidad de estimación de perturbaciones está configurada para calcular el valor de cambio de la altura en una imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada de la segunda cámara con una 1ª imagen capturada de la segunda cámara como referencia, en donde $i = 2, \dots, N$.

40 7. El aparato (10) de medición de forma según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la primera fuente de luz láser lineal, la segunda fuente de luz láser lineal y la tercera fuente de luz láser lineal están provistas de tal manera que un eje óptico de cada fuente de luz es perpendicular a un plano definido por una dirección longitudinal y una dirección del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido.

45 8. El aparato (10) de medición de forma según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde un ángulo entre un eje óptico de la primera cámara y un eje óptico de la primera fuente de luz láser lineal, un ángulo entre una línea de visión de la segunda cámara y un eje óptico de la segunda fuente de luz láser lineal, y un ángulo entre la línea de visión de la segunda cámara y un eje óptico de la tercera fuente de luz láser lineal son de forma independientemente entre sí, no menor de 30 grados y no mayor de 60 grados.

50 9. Un método de medición de forma que mide la forma de un cuerpo (S) rígido que va a ser medido mediante una pluralidad de líneas (L_a, L_b, L_c) de sección de luz basadas en una pluralidad de haces de luz láser lineal aplicados a una superficie del cuerpo rígido que va a ser medido procedentes de una pluralidad de fuentes (101a, 101b, 101c)

de luz láser lineal que se desplaza en relación al cuerpo rígido que va a ser medido a lo largo de una dirección (L) longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido,

comprendiendo el método de medición de forma:

5 una etapa de captura como imágenes de la luz reflejada de tres líneas de sección de luz desde la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido en un intervalo prescrito en la dirección longitudinal, aplicando las tres líneas de sección de luz a la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido que se desplaza de forma relativa a lo largo de la dirección longitudinal desde un aparato de captura de imágenes que incluye

10 una primera fuente (101a) de luz láser lineal que emite una línea (L_a) de sección de luz de medición de la forma que es la línea de sección de luz que se extiende en una dirección del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido y se utiliza para calcular la forma de una superficie del cuerpo rígido que va a ser medido,

una segunda fuente (101b) de luz láser lineal que emite una primera línea (L_b) de sección de luz de corrección que es paralela a la dirección longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido y cruza la línea de sección de luz de medición de la forma, y se utiliza para corregir un efecto de la perturbación que actúa sobre el cuerpo rígido que va a ser medido,

15 una tercera fuente (101c) de luz láser lineal que emite una segunda línea (L_c) de sección de luz de corrección que es paralela a la dirección longitudinal del cuerpo rígido que va a ser medido, cruza la línea de sección de luz de medición, y existe en una posición en la dirección del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido diferente de la primera línea de sección de luz de corrección, y se utiliza para corregir un efecto de la perturbación que actúa sobre el cuerpo rígido que va a ser medido,

20 una primera cámara (111) que captura como imagen la línea de sección de luz de medición de la forma en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en la dirección longitudinal y genera una imagen capturada de la línea de sección de luz de medición de la forma en cada tiempo, y

25 una segunda cámara (113) que captura como imagen las líneas de sección de luz de corrección en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en dirección longitudinal y genera una imagen capturada de las líneas de sección de luz de corrección en cada tiempo;

una etapa de cálculo de los datos de la forma de, en base a la imagen capturada de la línea de sección de luz de medición de la forma en cada tiempo generada por la primera cámara, calcular los datos de la forma que muestran una forma tridimensional de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido y en la que se superpone un error de medición derivado de la perturbación;

30 una etapa de estimación de la perturbación de

realizar, en una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en dirección longitudinal de la primera línea de sección de luz de corrección, el procesamiento de adquisición del valor del cambio de la altura de adquirir, a partir de valores de medición de la altura relacionados con una altura de la superficie del cuerpo rígido que va a ser medido adquirido en dos tiempos diferentes para la misma posición del cuerpo rígido que va a ser medido, un valor de cambio de la altura derivado de la perturbación en dicha posición, utilizando imágenes capturadas de la primera línea de sección de luz de corrección,

realizar el procesamiento de adquisición del valor de cambio de la altura en una pluralidad de puntos de diferentes posiciones en dirección longitudinal de la segunda línea de sección de luz de corrección, utilizando imágenes capturadas de la segunda línea de sección de luz de corrección, y

40 estimar la cantidad de fluctuación de la altura derivada de la perturbación superpuesta en los datos de la forma, utilizando una pluralidad de valores de cambio de la altura derivados de la perturbación obtenidos de las imágenes capturadas de la primera línea de sección de luz de corrección y una pluralidad de valores de cambio de la altura derivados de la perturbación obtenidos de imágenes capturadas de la segunda línea de sección de luz de corrección; y

45 una etapa de corrección de sustraer la cantidad de fluctuación de la altura de los datos de la forma y corregir, de ese modo, el error de medición derivado de la perturbación.

10. El método de medición de forma según la reivindicación 9, en donde, en la etapa de estimación de la perturbación,

50 los valores de cambio de la altura derivados de la perturbación en una pluralidad de puntos en la primera línea de sección de luz de corrección se aproximan con una línea recta, y de este modo se estima un valor de cambio de la altura derivado de la perturbación en un punto de intersección de la línea recta y de la línea de sección de luz de medición de la forma,

los valores de cambio de altura derivados de la perturbación en una pluralidad de puntos en la segunda línea de sección de luz de corrección se aproximan con una línea recta, y de este modo se estima un valor de cambio de la altura derivado de la perturbación en un punto de intersección de la línea recta y la línea de sección de luz de medición de la forma, y

5 la cantidad de fluctuación de la altura se estima mediante una línea recta que conecta los valores de cambio de la altura derivados de la perturbación en los dos puntos de intersección.

11. El método de medición de forma según la reivindicación 9 o 10,

10 en donde cada una de la primera cámara y la segunda cámara realiza la captura de imágenes en cada tiempo correspondiente a un intervalo prescrito en la dirección longitudinal y genera N imágenes capturadas, siendo N un número entero de 2 o más, y

en la etapa de estimación de la perturbación, la cantidad de fluctuación de la altura se calcula bajo la suposición de que no ha ocurrido la perturbación en una 1ª imagen capturada.

12. El método de medición de forma según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en donde los tiempos de captura de imágenes de la primera cámara y la segunda cámara se controlan de manera que una región de irradiación común, que es una parte del cuerpo rígido que va a ser medido, irradiada con la línea de sección de luz de corrección en común existe en imágenes capturadas de la segunda cámara, capturadas como imagen en tiempos de captura de imágenes adyacentes entre sí, y

20 en la etapa de estimación de la perturbación, se calcula un valor de cambio de la altura derivado de la perturbación para la pluralidad de puntos que caen bajo la región de irradiación común de cada una de la primera línea de sección de luz de corrección y la segunda línea de sección de luz de corrección.

13. El método de medición de forma según la reivindicación 12 en cuanto a que la reivindicación 12 depende de la reivindicación 11,

25 en donde, en la etapa de estimación de la perturbación, utilizando una altura aparente de la superficie que incluye el valor de cambio de la altura obtenido a partir de una imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada de la segunda cámara, siendo $i = 1, 2, \dots, N-1$, y una altura de superficie que se obtiene de una imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada de la segunda cámara y que se presenta después de que se elimina el valor de cambio de la altura en la región de irradiación común de la imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada, se calculan el valor de cambio de la altura en la imagen $(i+1)^{\text{ésima}}$ capturada y una altura de la superficie después de que se elimina el valor de cambio de la altura.

30 14. El método de medición de forma según la reivindicación 12 en cuanto a que la reivindicación 12 depende de la reivindicación 11 o según la reivindicación 13,

en donde, en la etapa de estimación de la perturbación, el valor de cambio de la altura en una imagen $i^{\text{ésima}}$ capturada de la segunda cámara se calcula con una 1ª imagen capturada de la segunda cámara como referencia, en donde $i = 2, \dots, N$.

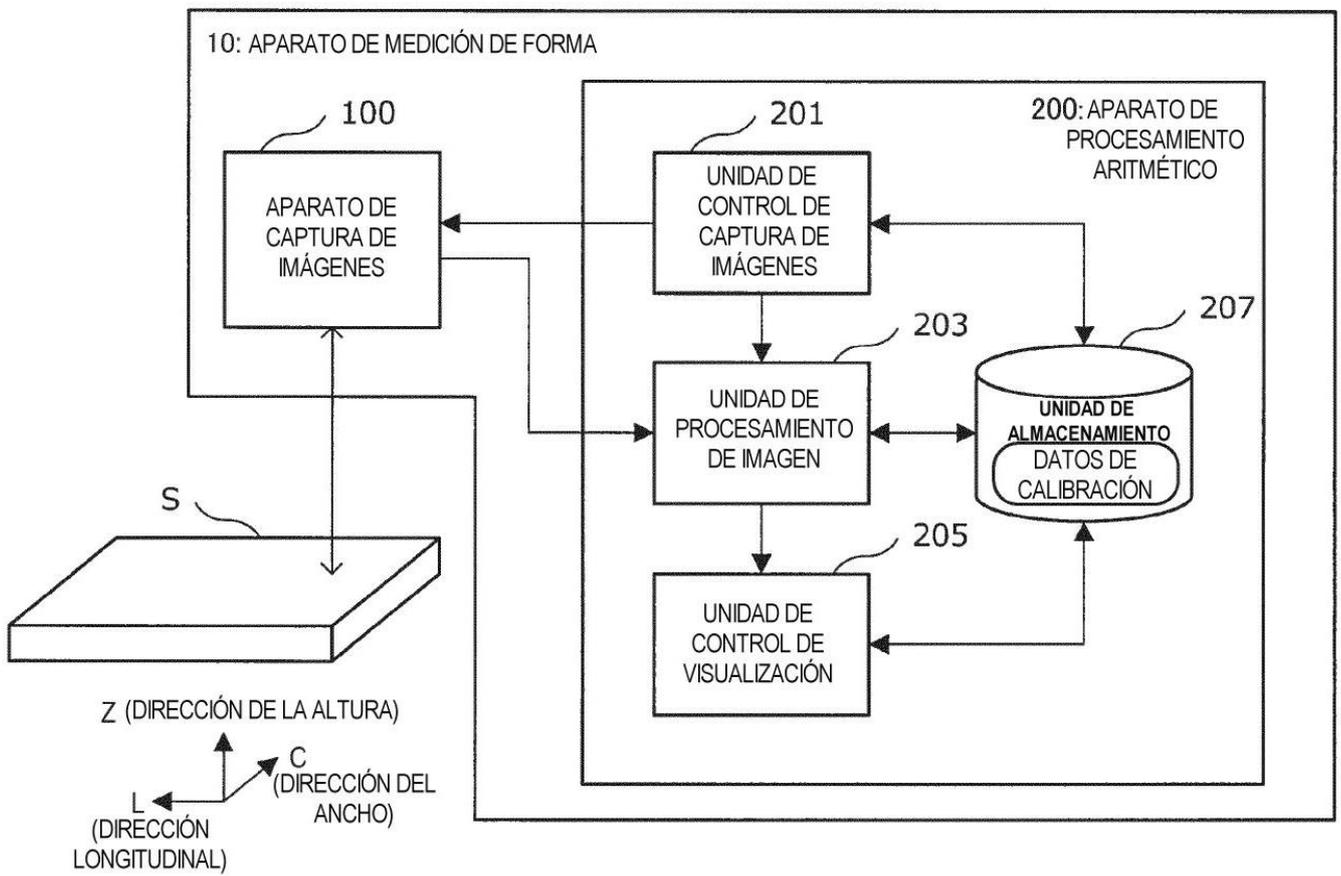
15. El método de medición de forma según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14,

35 en donde la primera fuente de luz láser lineal, la segunda fuente de luz láser lineal, y la tercera fuente de luz láser lineal están provistas de tal manera que un eje óptico de cada fuente de luz es perpendicular a un plano definido por una dirección longitudinal y una dirección del ancho del cuerpo rígido que va a ser medido.

16. El método de medición de forma según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15,

40 en donde un ángulo entre un eje óptico de la primera cámara y un eje óptico de la primera fuente de luz láser lineal, un ángulo entre una línea de visión de la segunda cámara y un eje óptico de la segunda fuente de luz láser lineal, y un ángulo entre la línea de visión de la segunda cámara y un eje óptico de la tercera fuente de luz láser lineal son independientemente entre sí no menores de 30 grados y no mayores de 60 grados.

FIG. 1



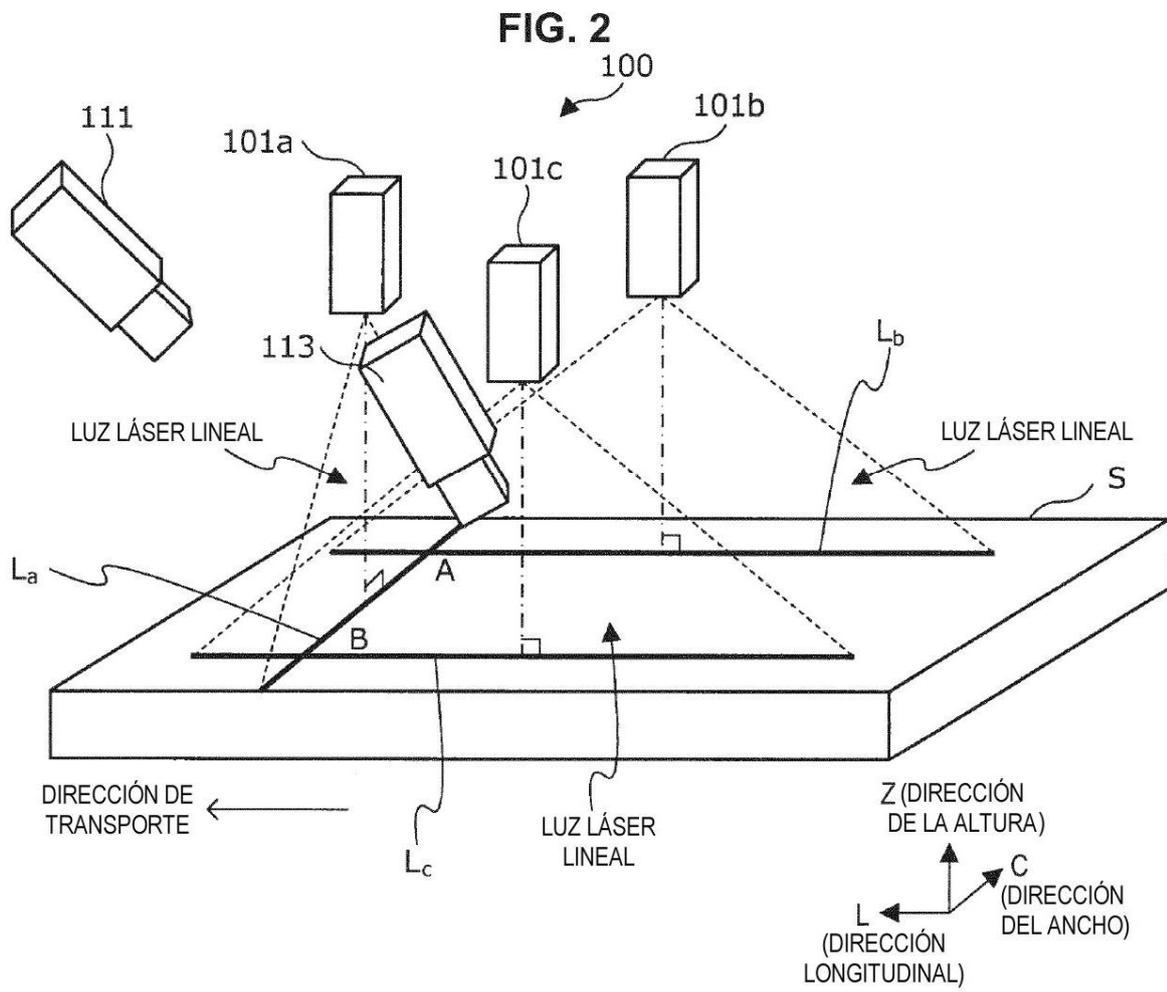


FIG. 3

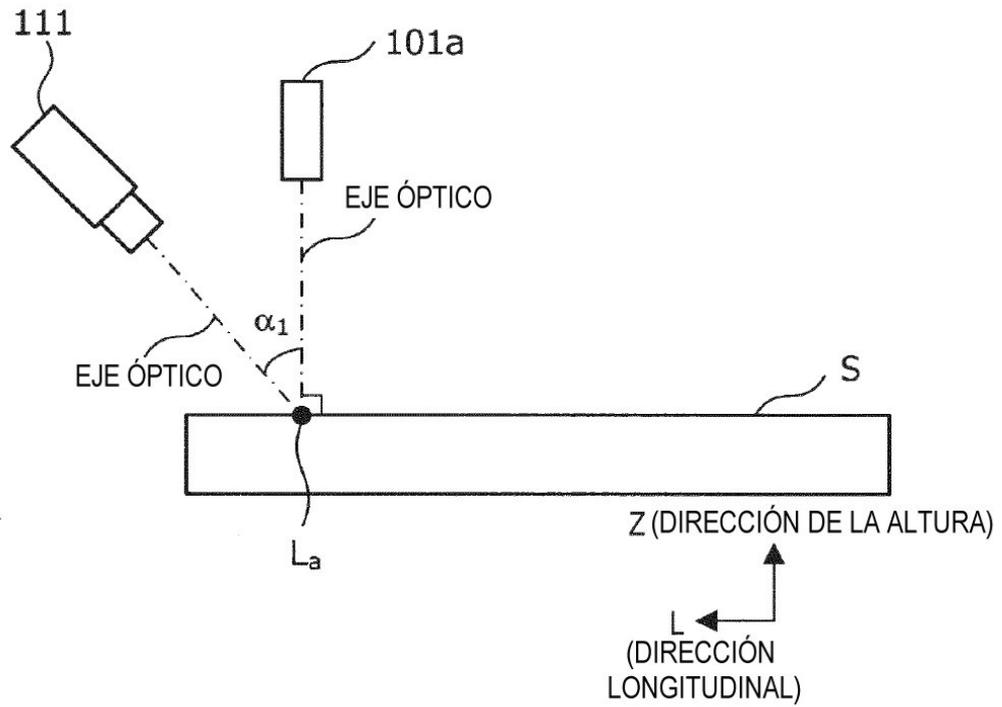


FIG. 4

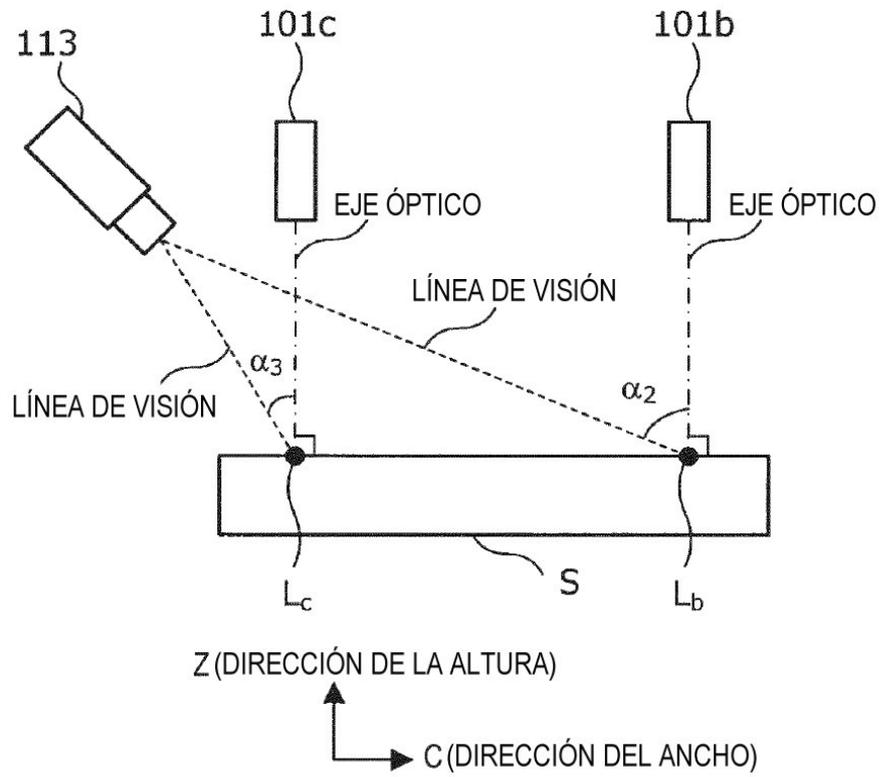


FIG. 5

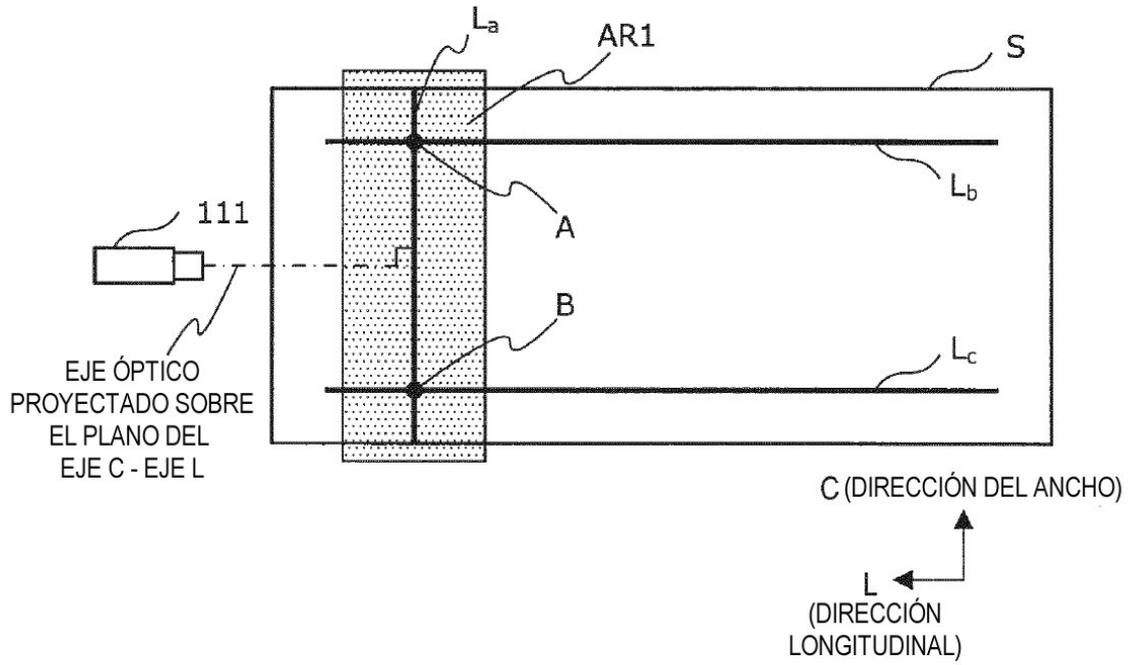


FIG. 6

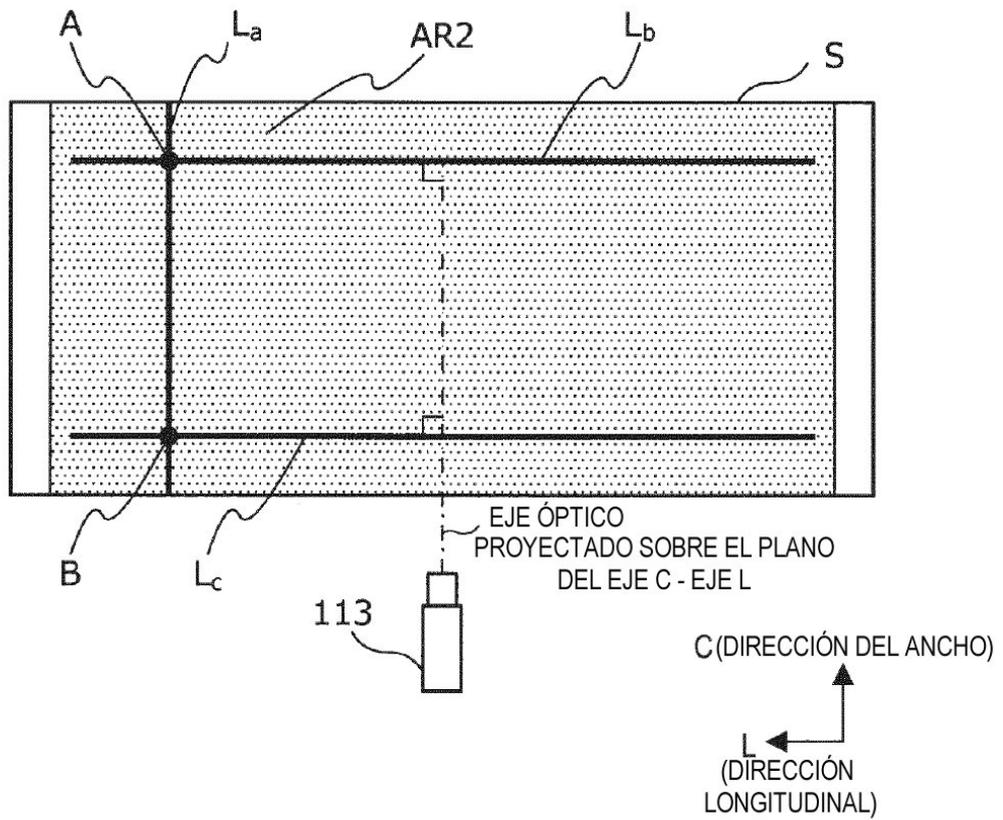


FIG. 8

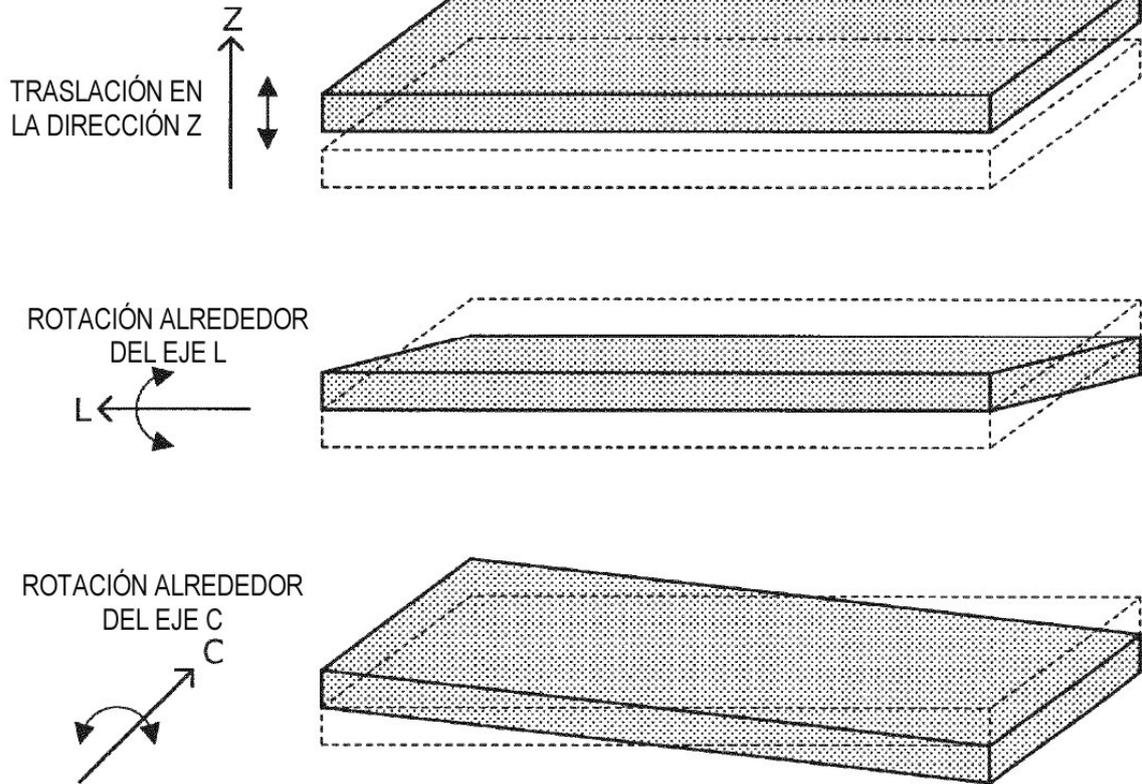


FIG. 9

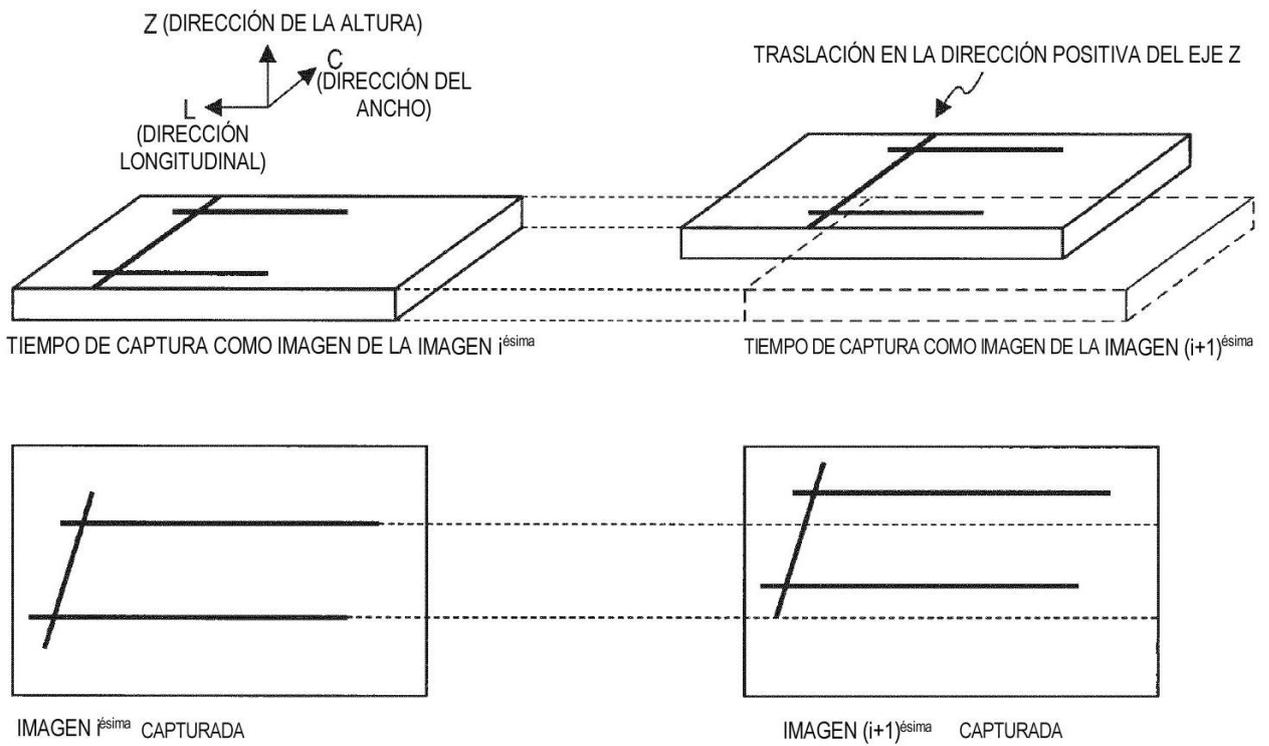


FIG. 10

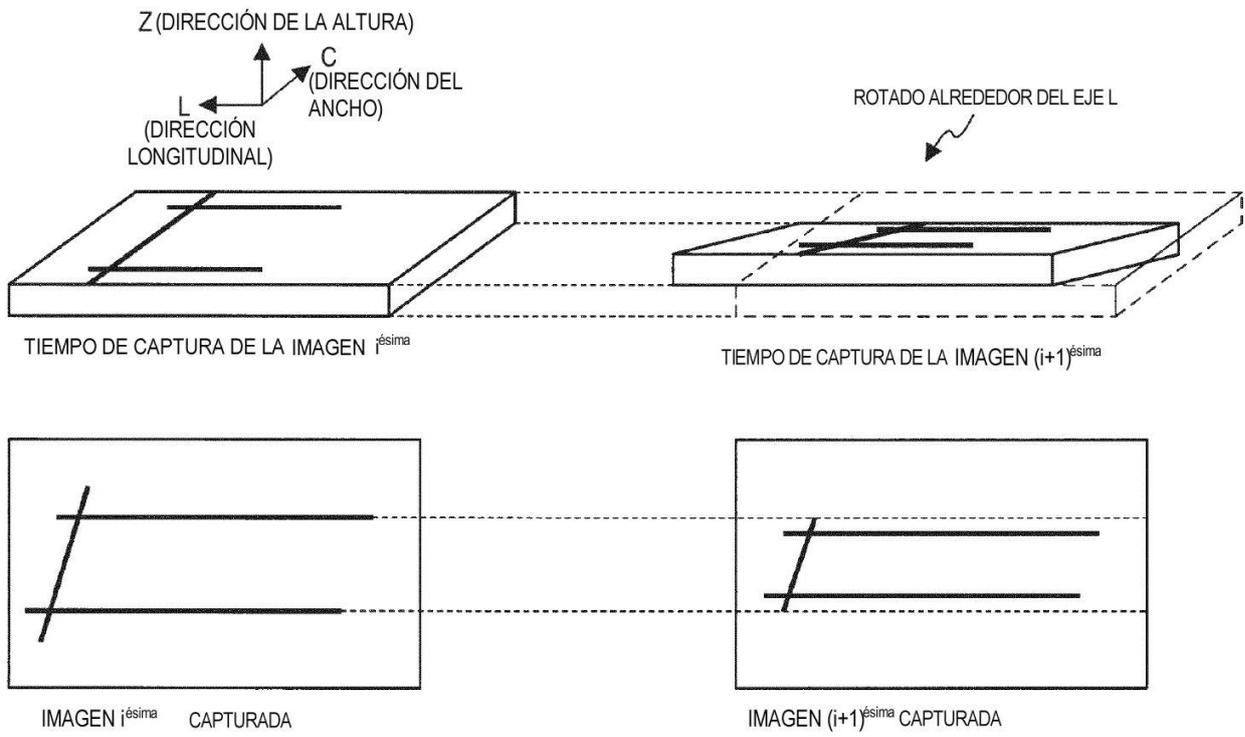


FIG. 11

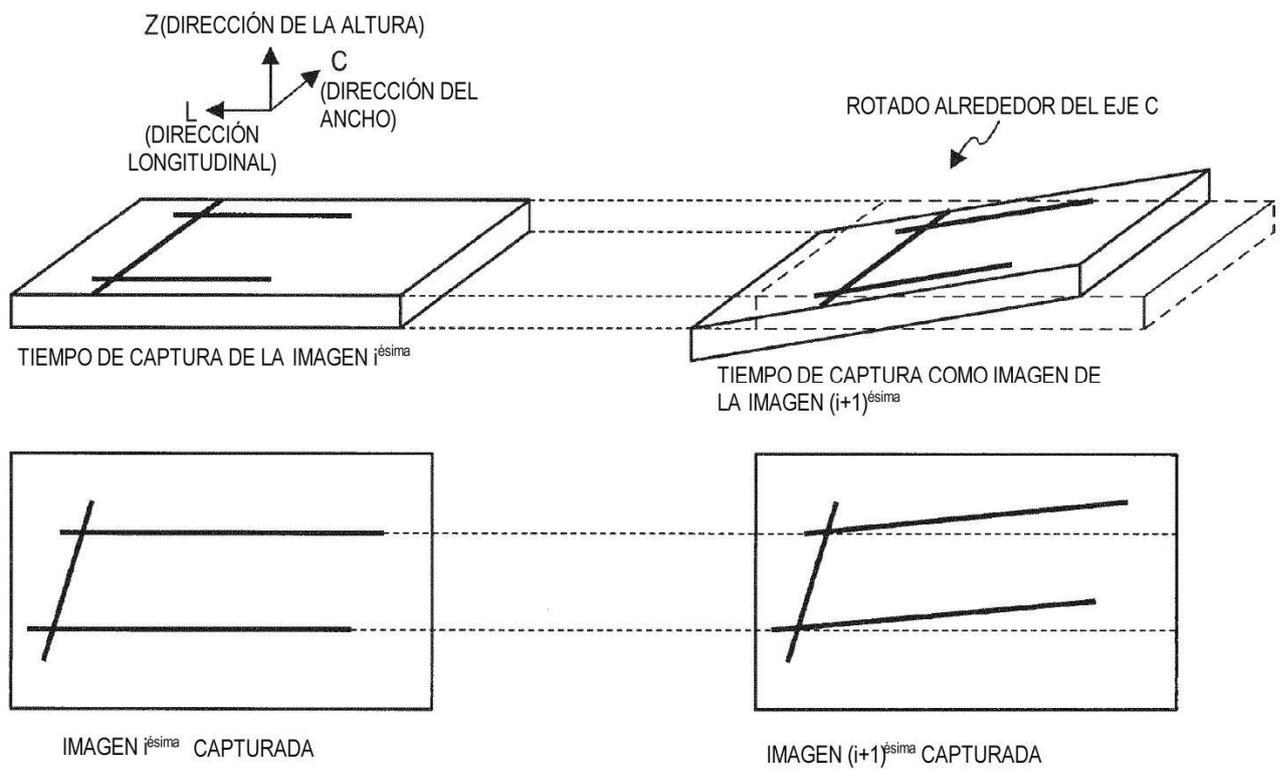


FIG. 12

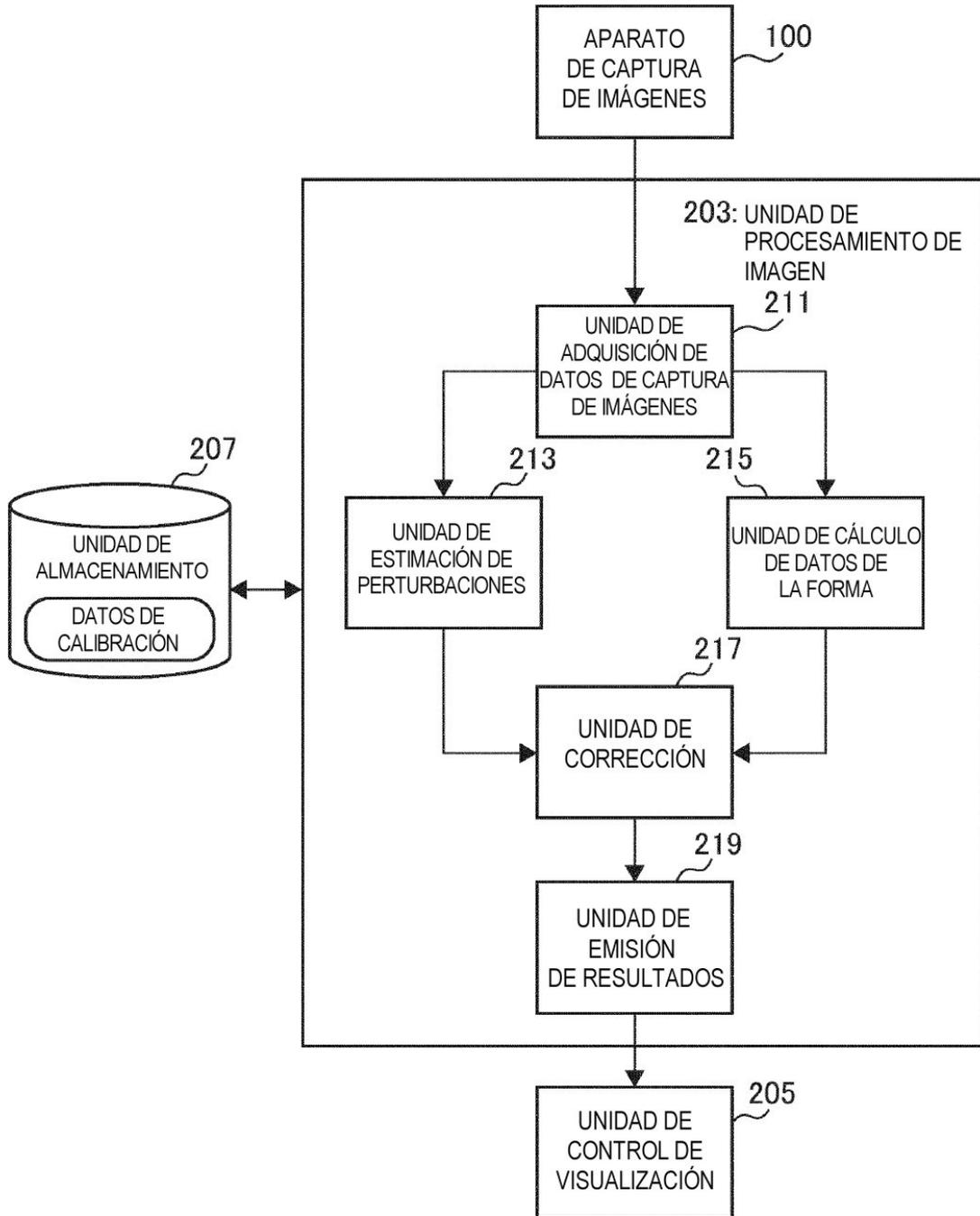


FIG. 13

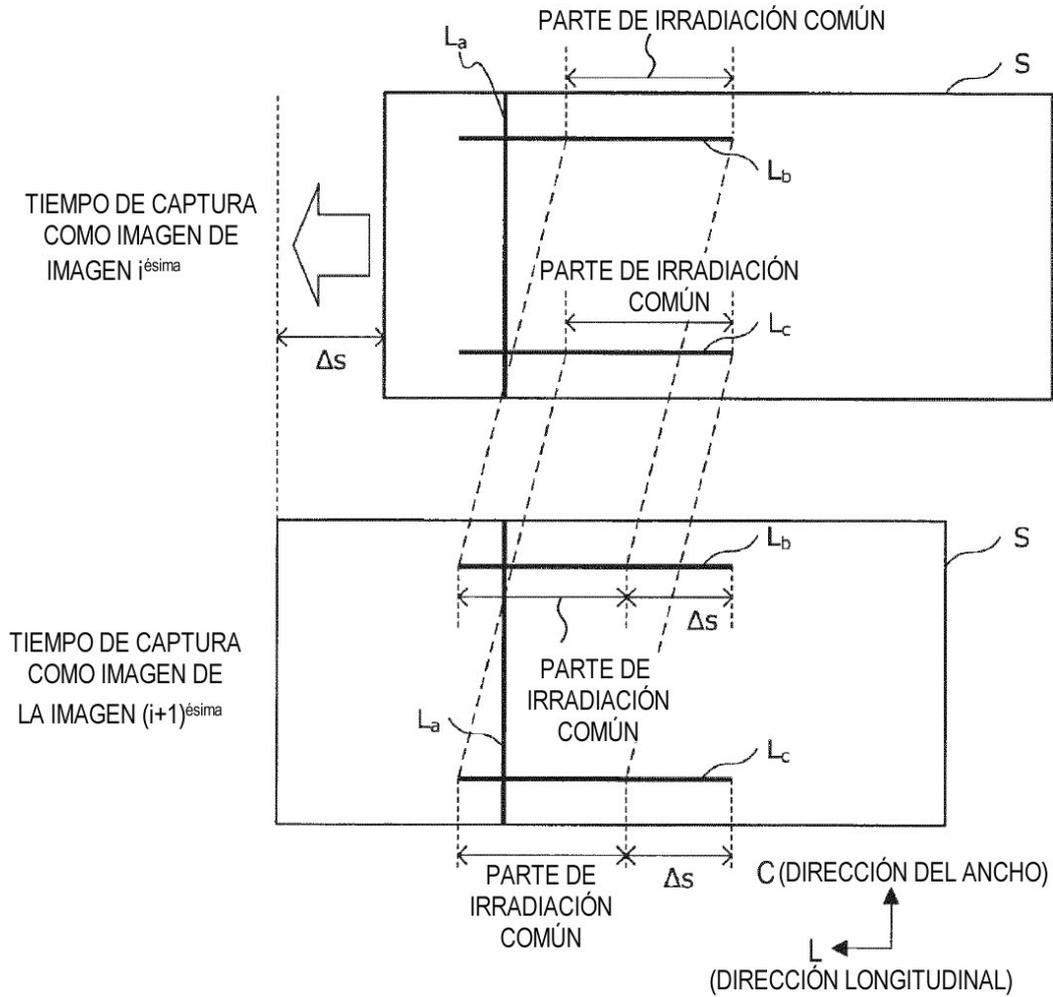


FIG. 14

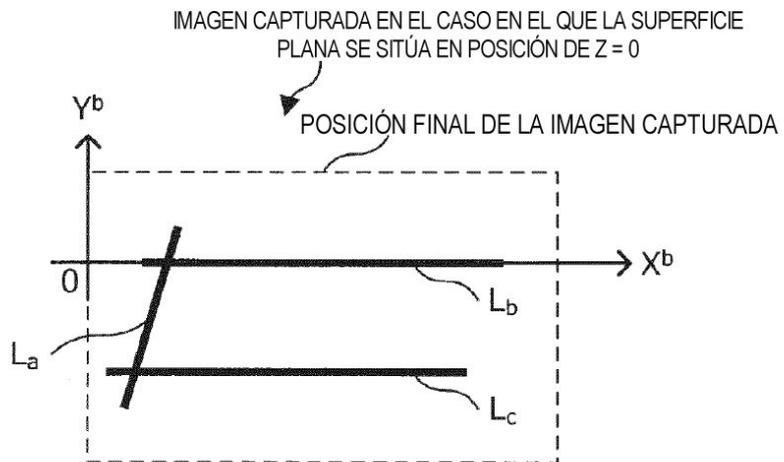


FIG. 15

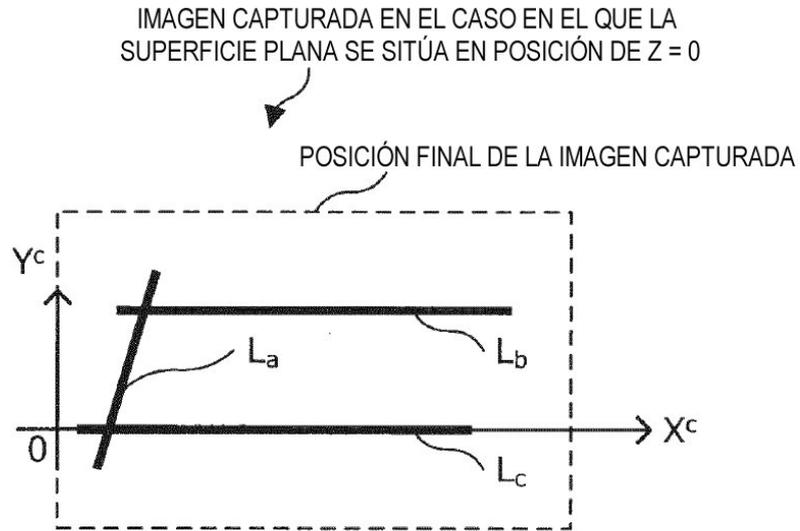


FIG. 16

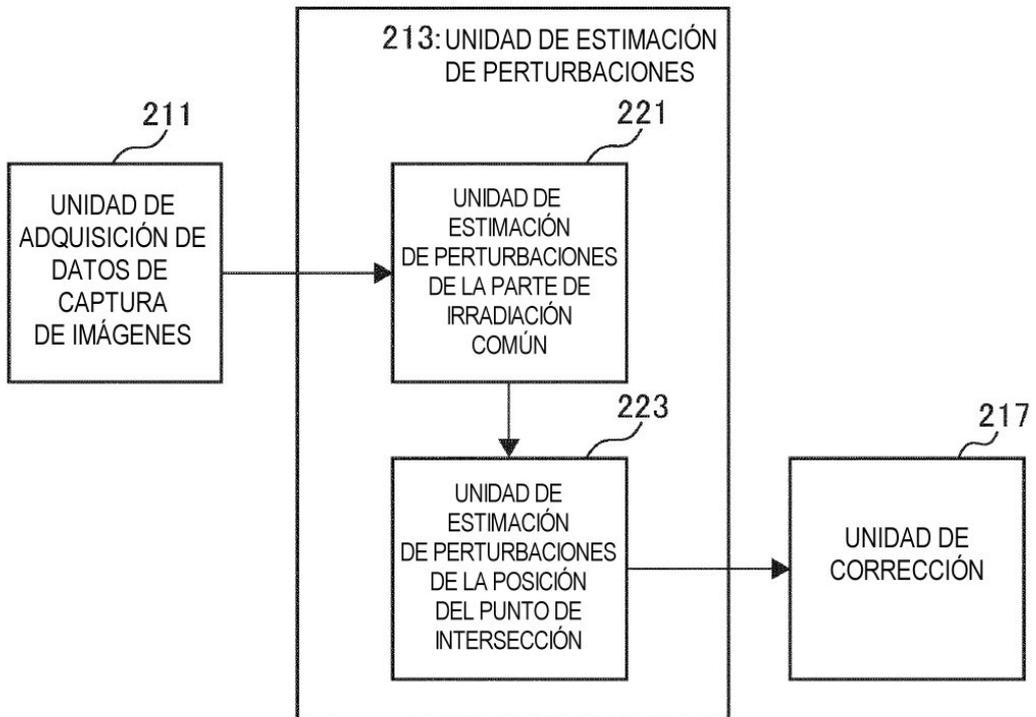


FIG. 17

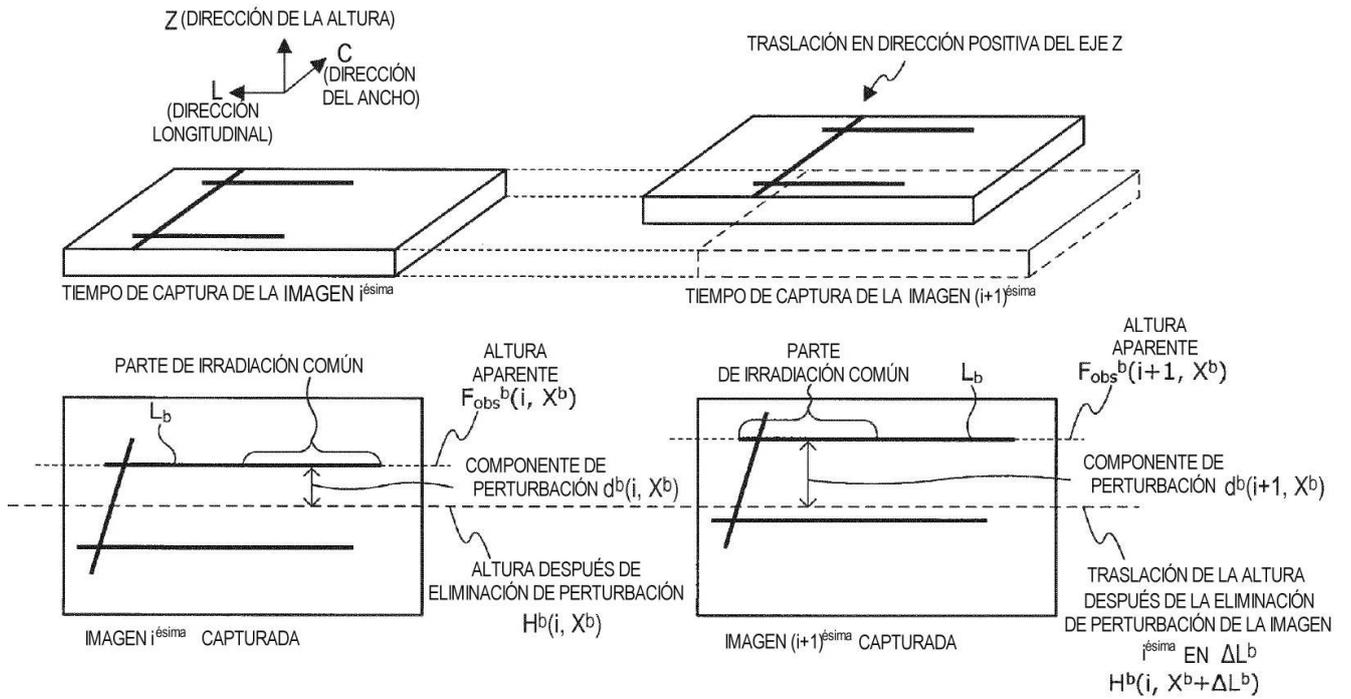


FIG. 18

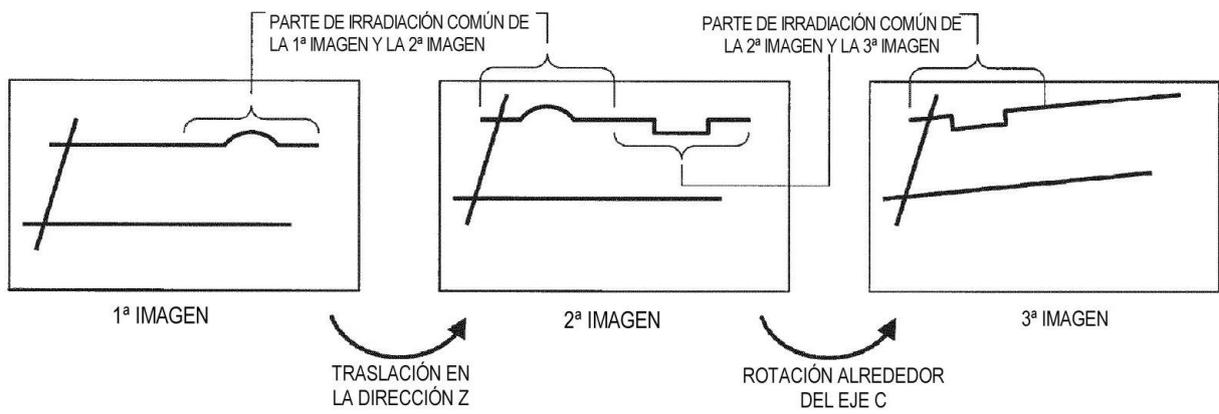


FIG. 19

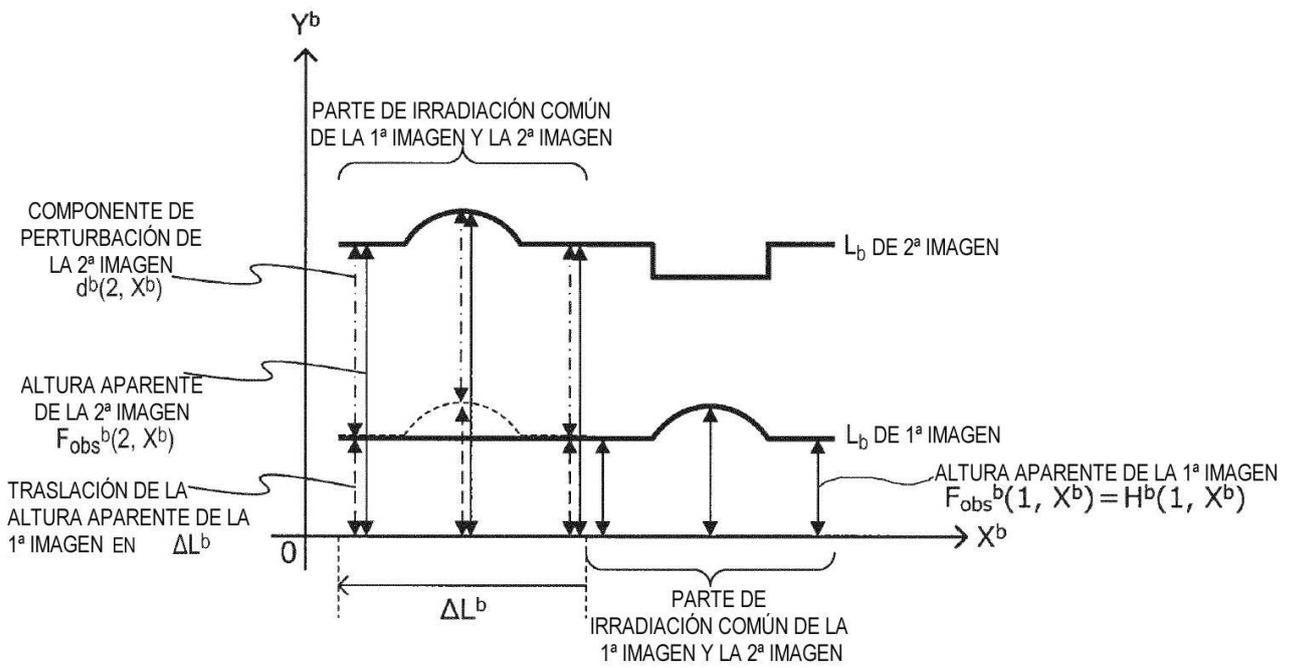


FIG. 20

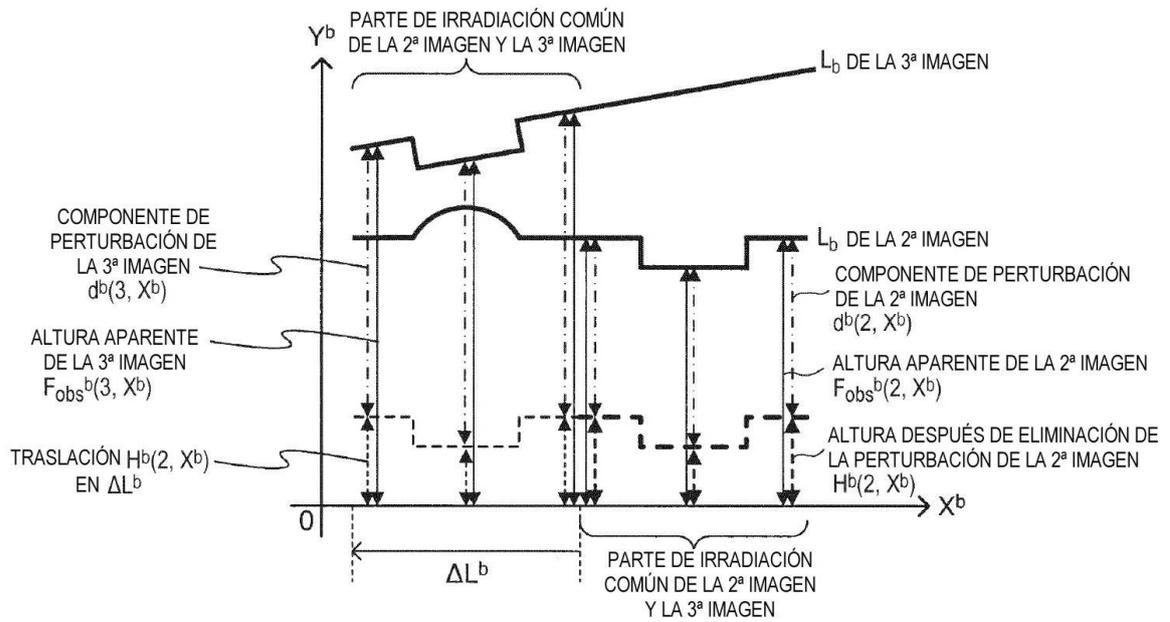


FIG. 21

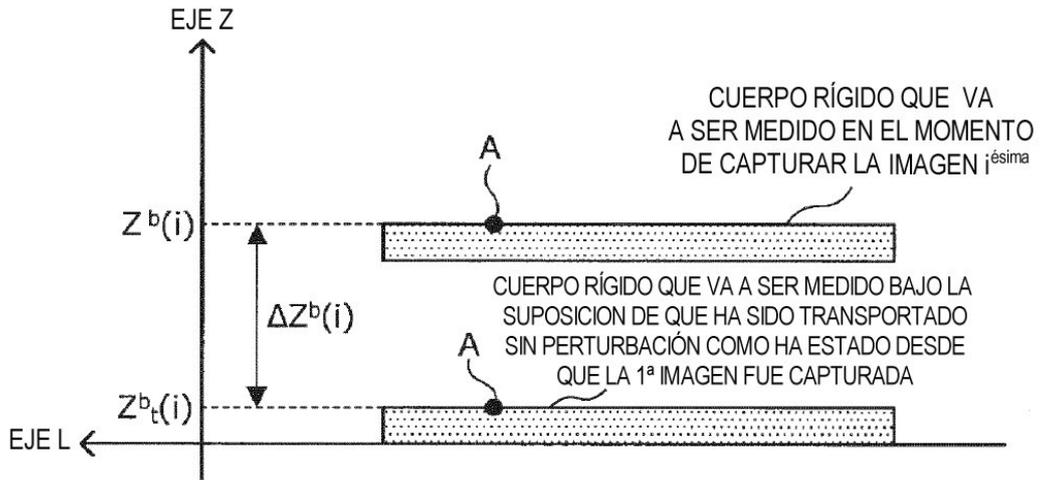


FIG. 22

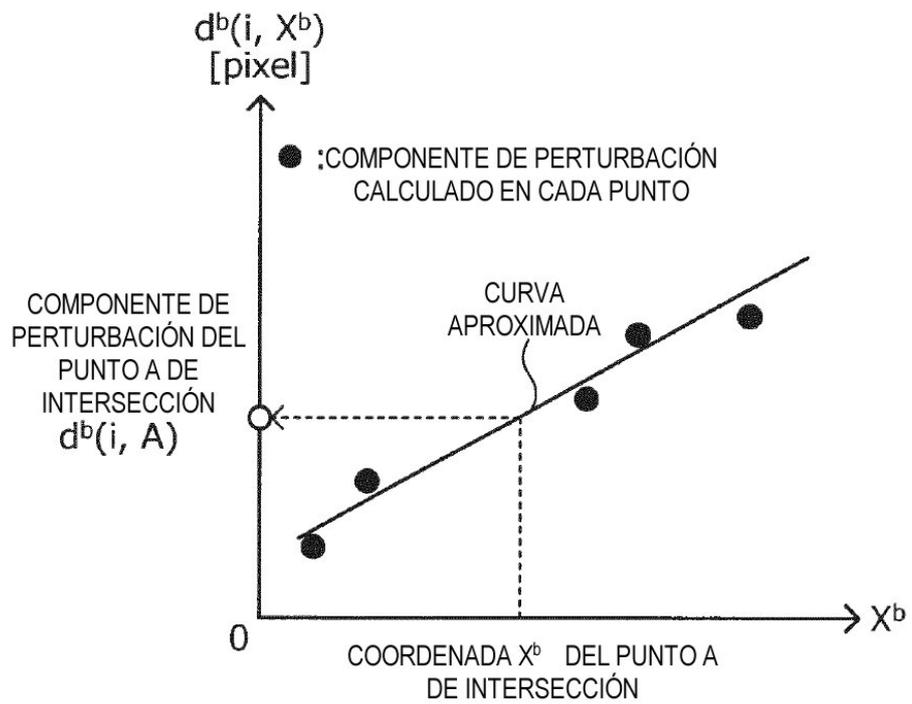


FIG. 23

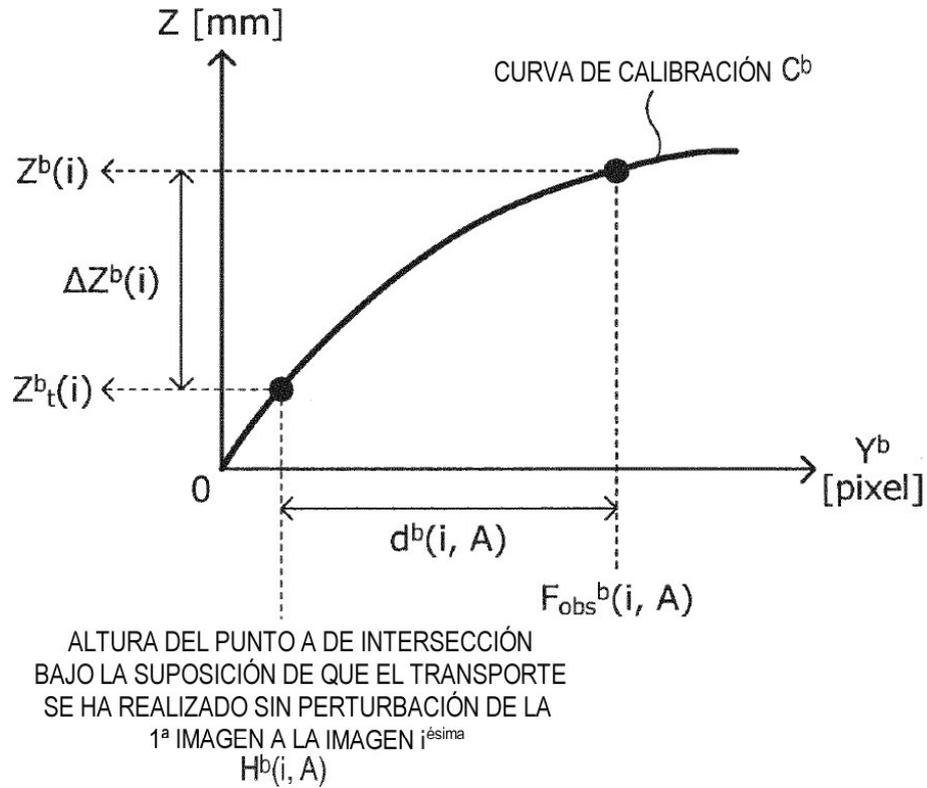
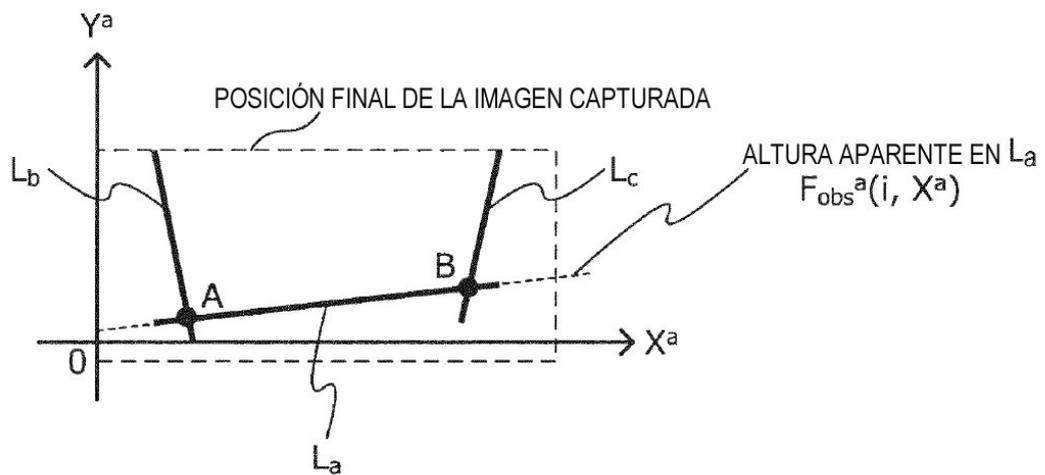


FIG. 24



CONVERTIR COORDENADA Y^a [mm]
A LA COORDENADA Z $Z(i, X^a)$ [mm]
CON UNA CURVA DE CALIBRACIÓN C^a

FIG. 25

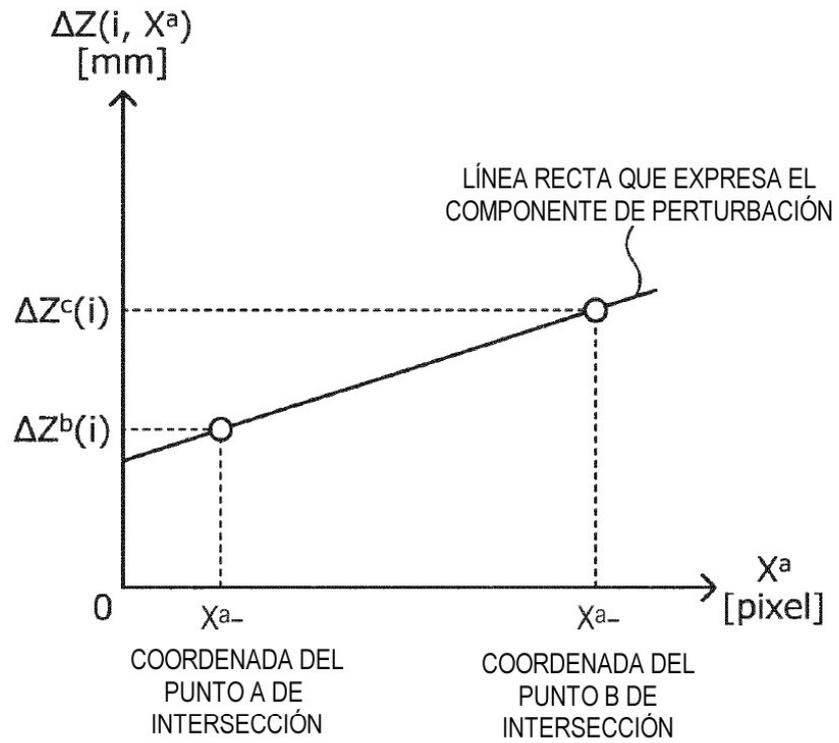


FIG. 26

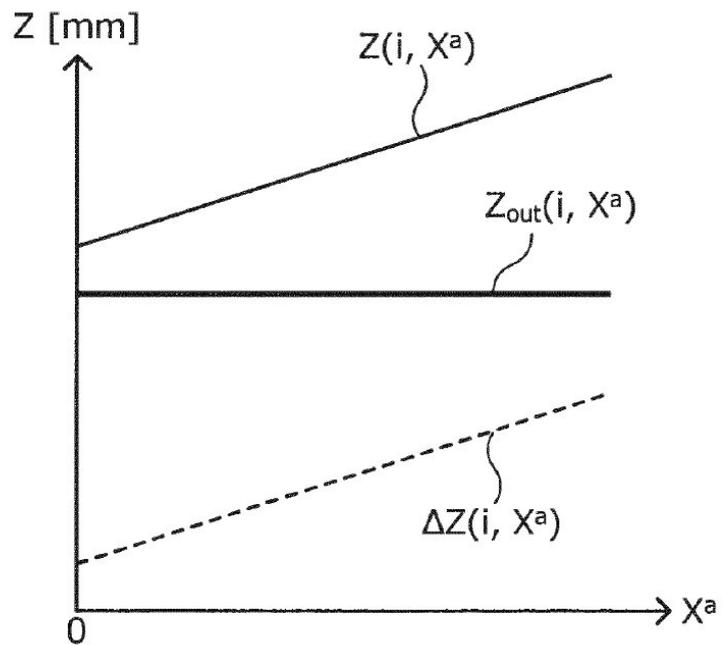


FIG. 27

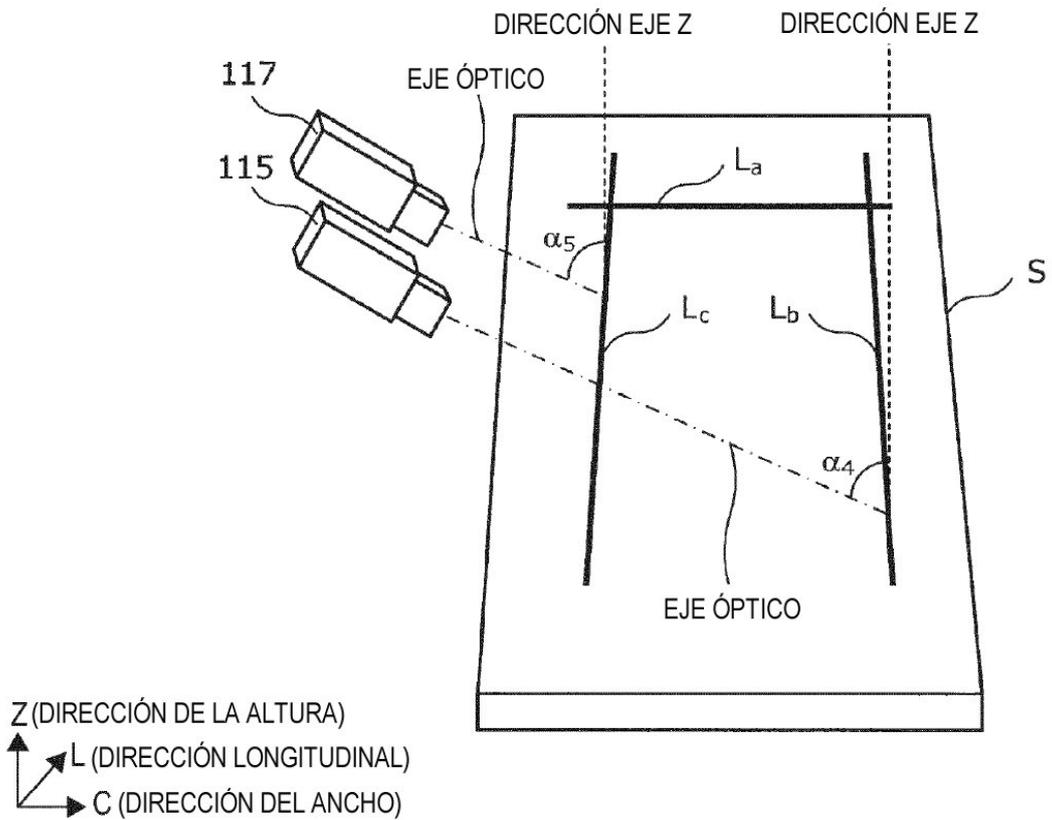


FIG. 28

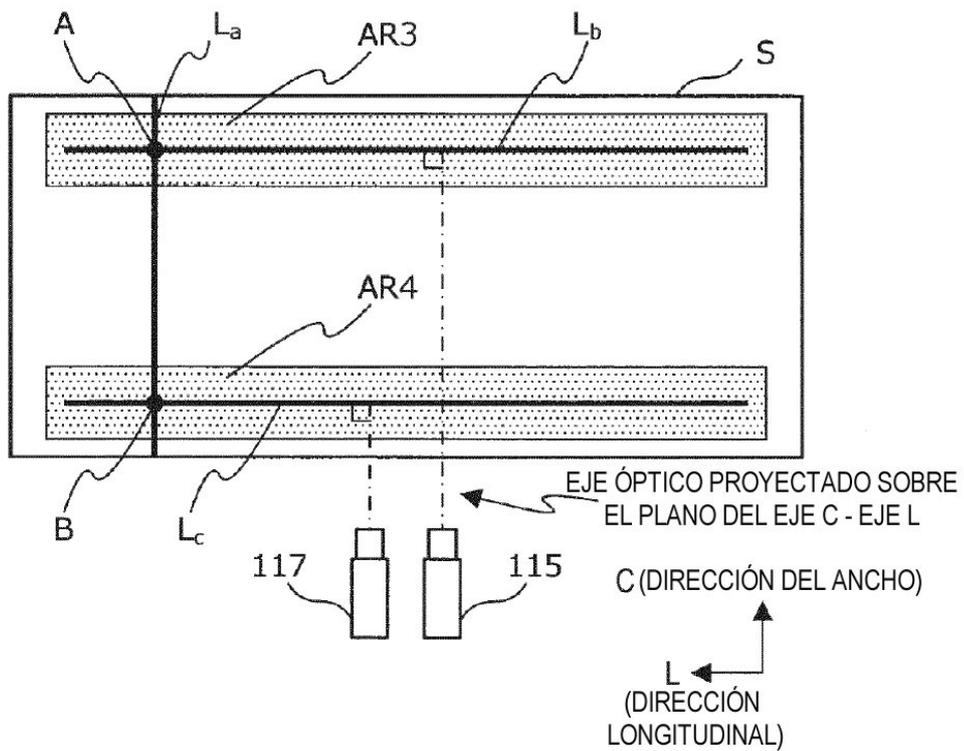


FIG. 29A

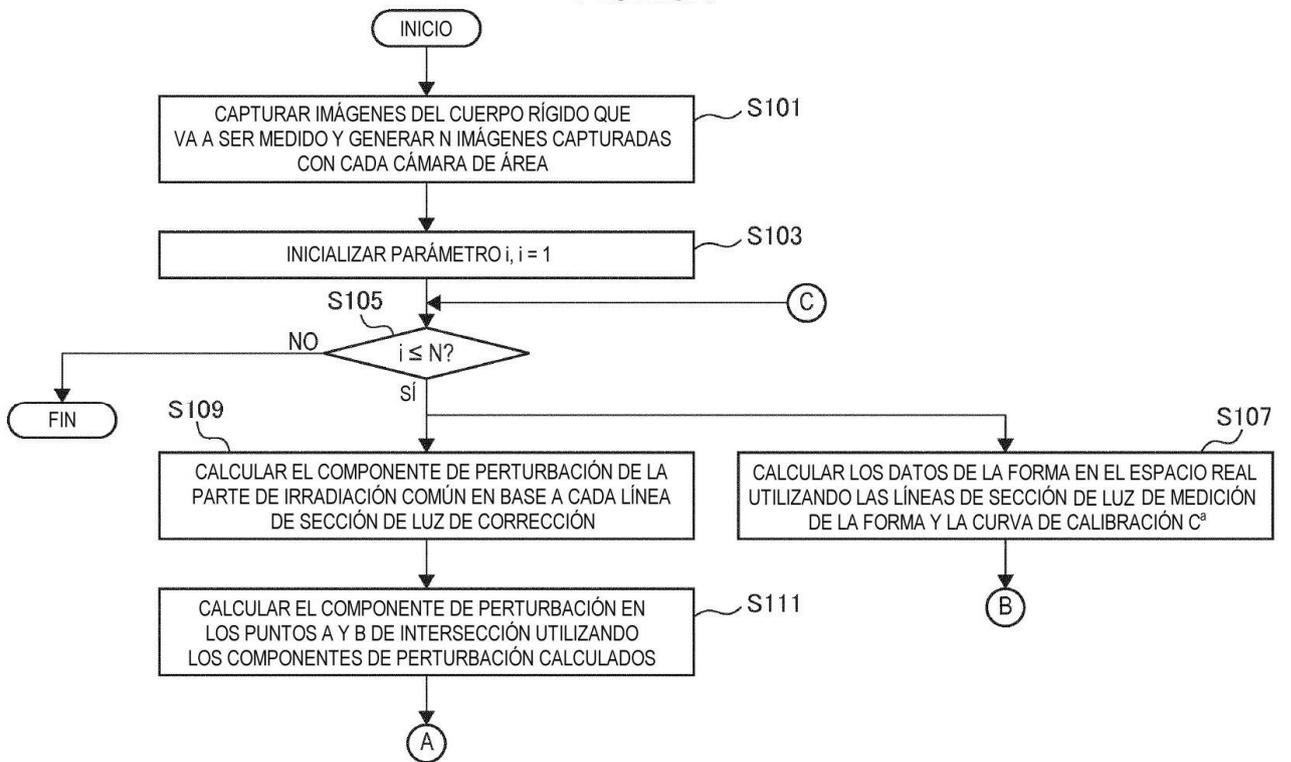


FIG. 29B

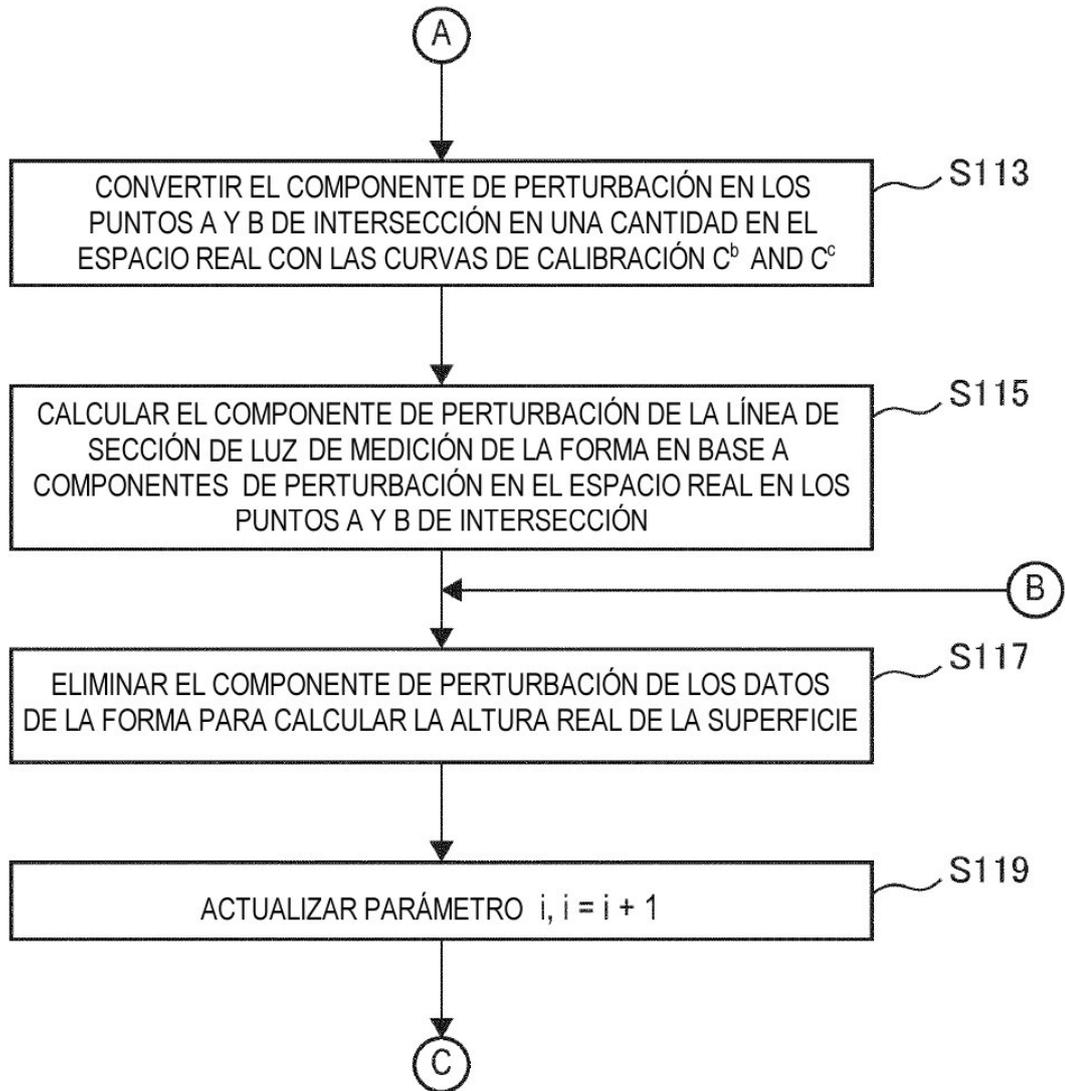


FIG. 30

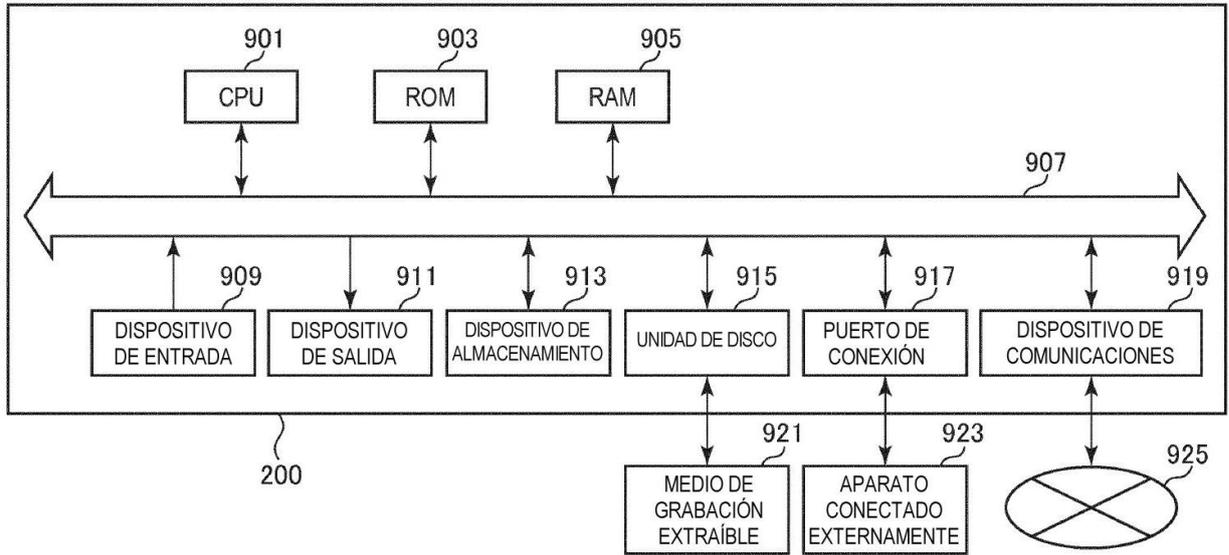


FIG. 31A

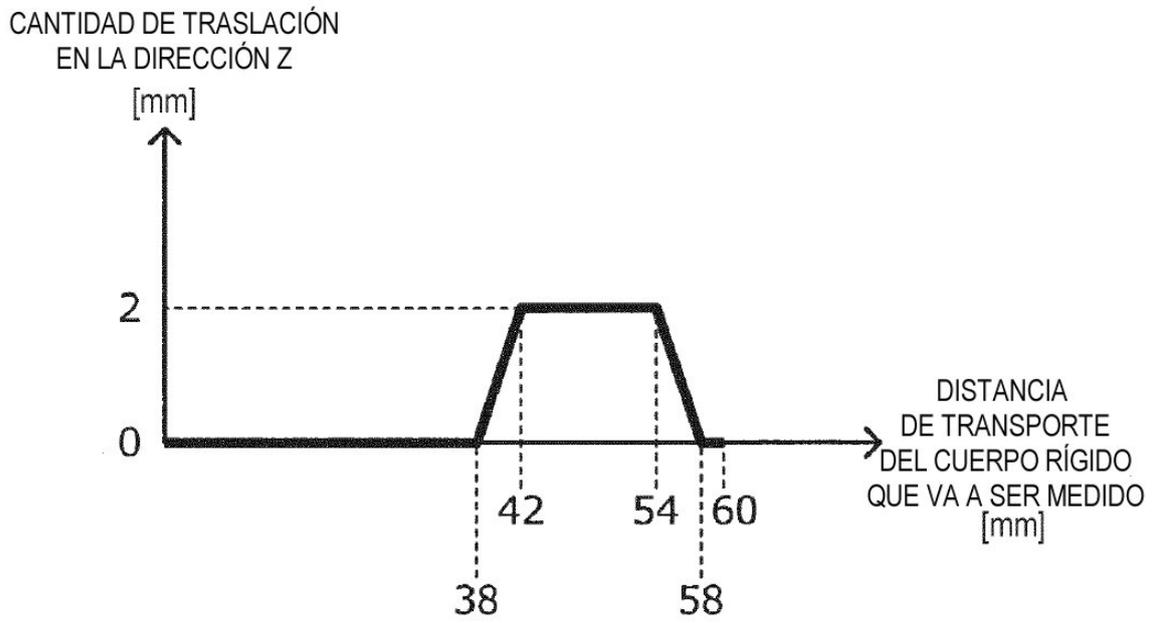


FIG. 31B

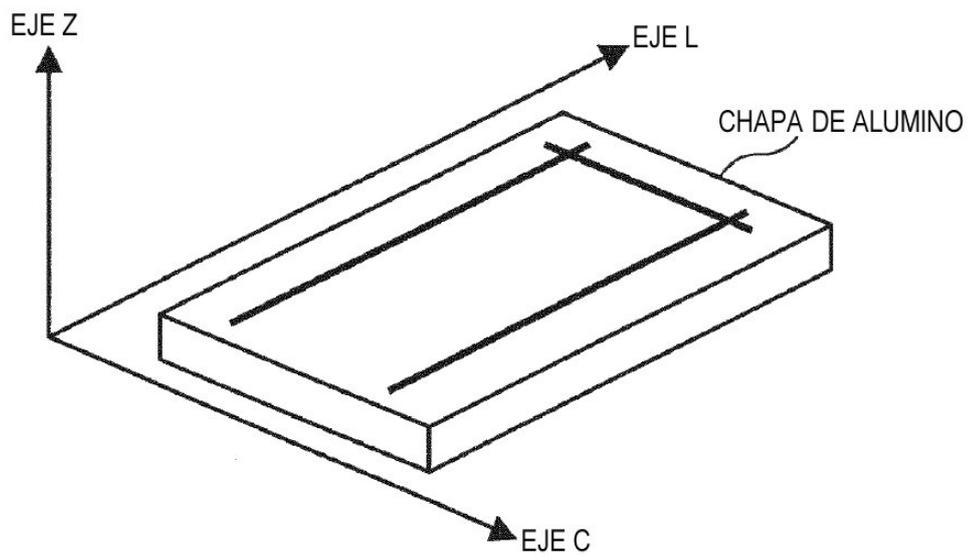


FIG. 31C

$$Z(i, X^a) \quad (i=1,2, \dots, 60)$$

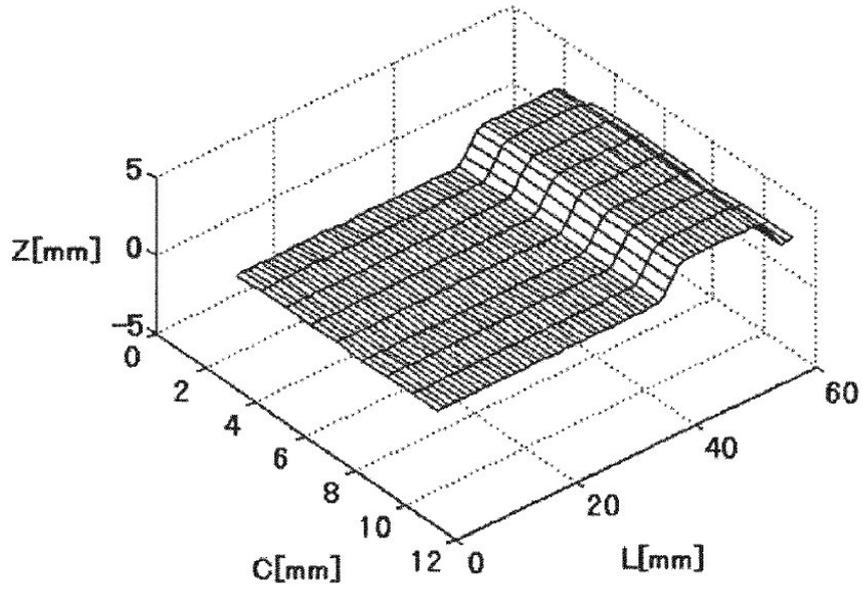


FIG. 31D

$$Z_{\text{out}}(i, X^a) \quad (i=1,2, \dots, 60)$$

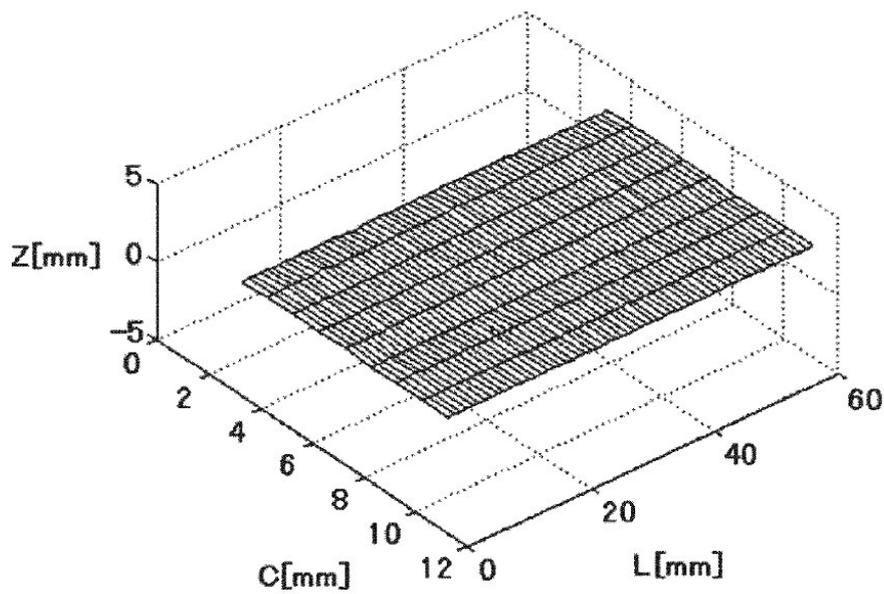


FIG. 32A

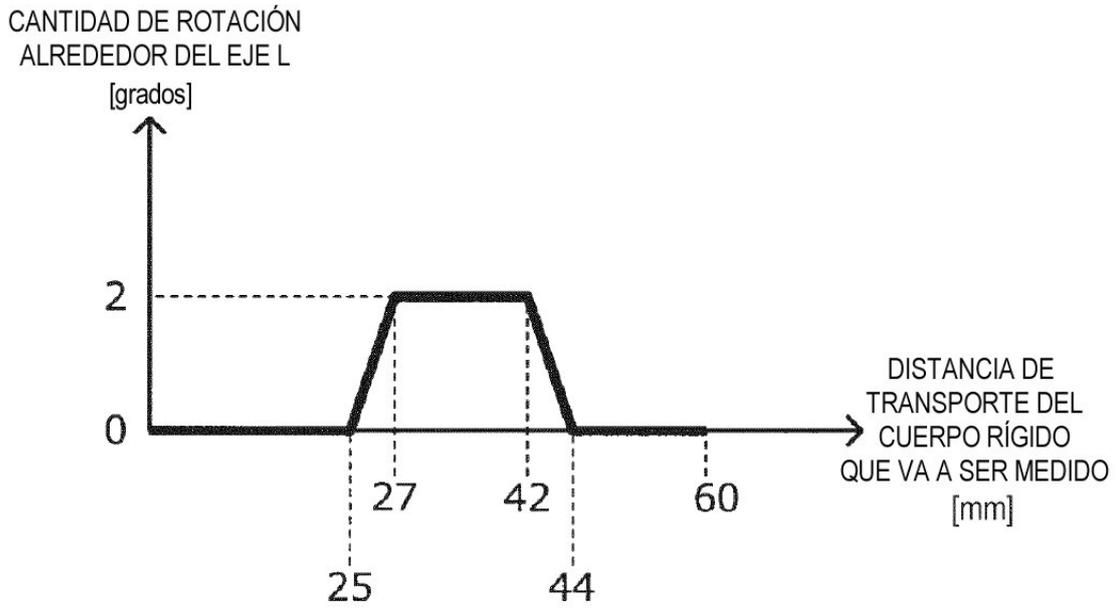


FIG. 32B

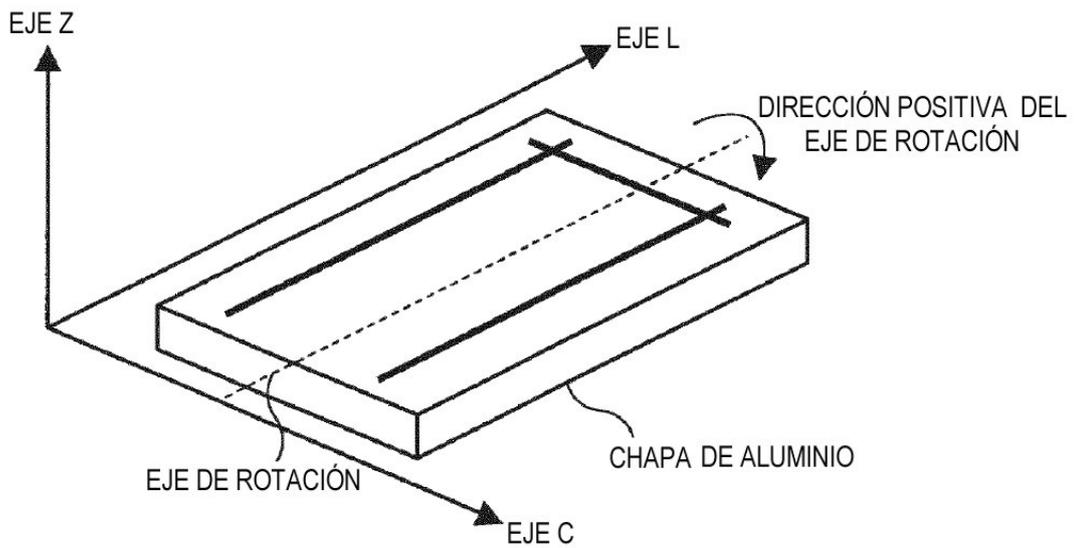


FIG. 32C

$$Z(i, X^a) \quad (i=1,2, \dots, 60)$$

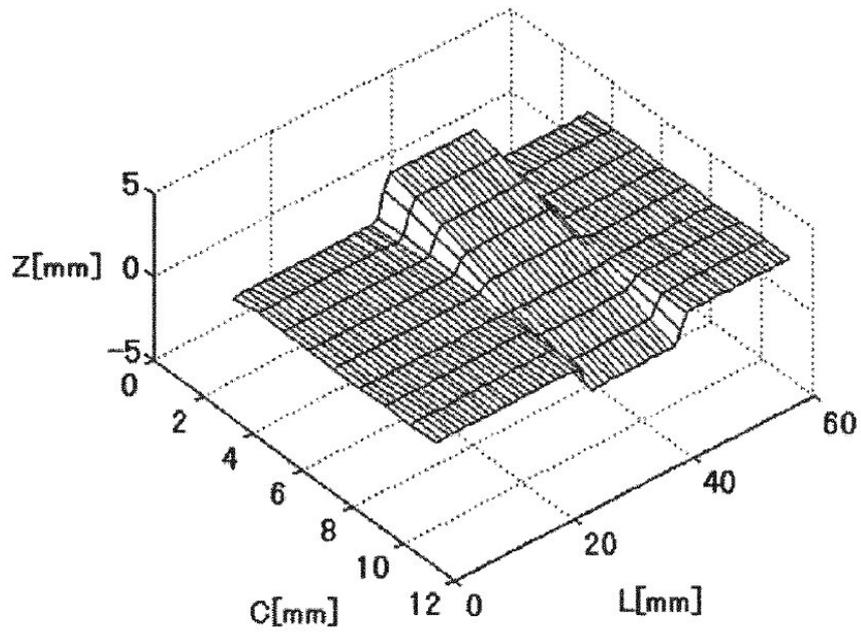


FIG. 32D

$$Z_{\text{out}}(i, X^a) \quad (i=1,2, \dots, 60)$$

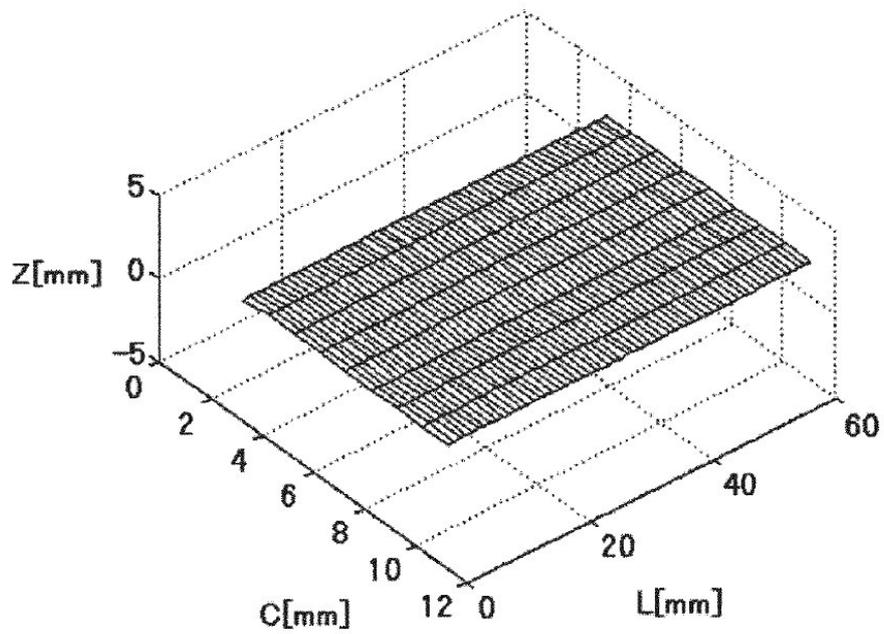


FIG. 33A

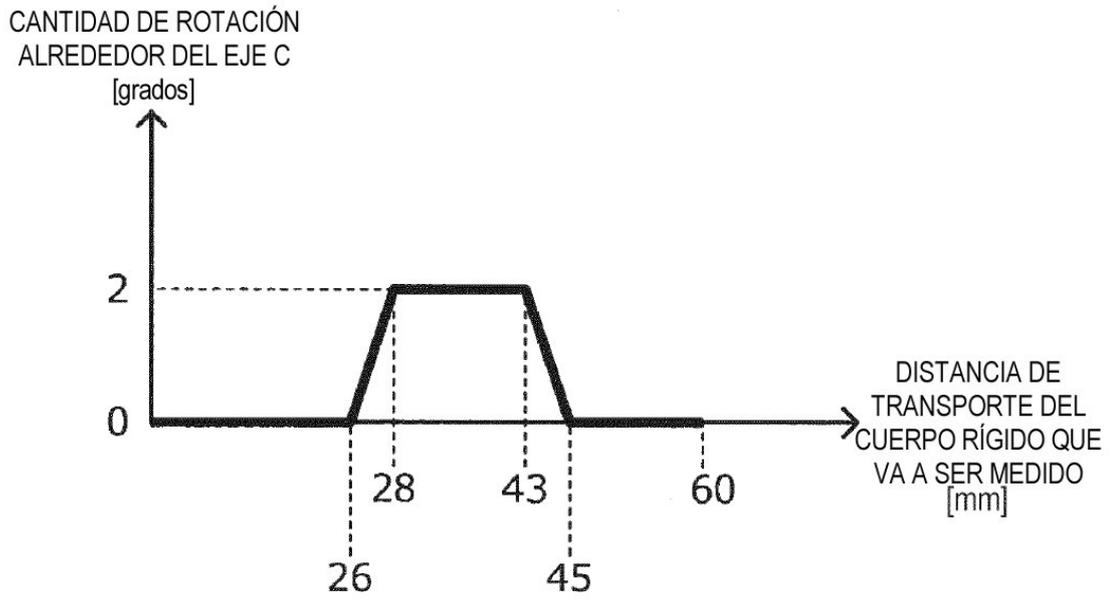


FIG. 33B

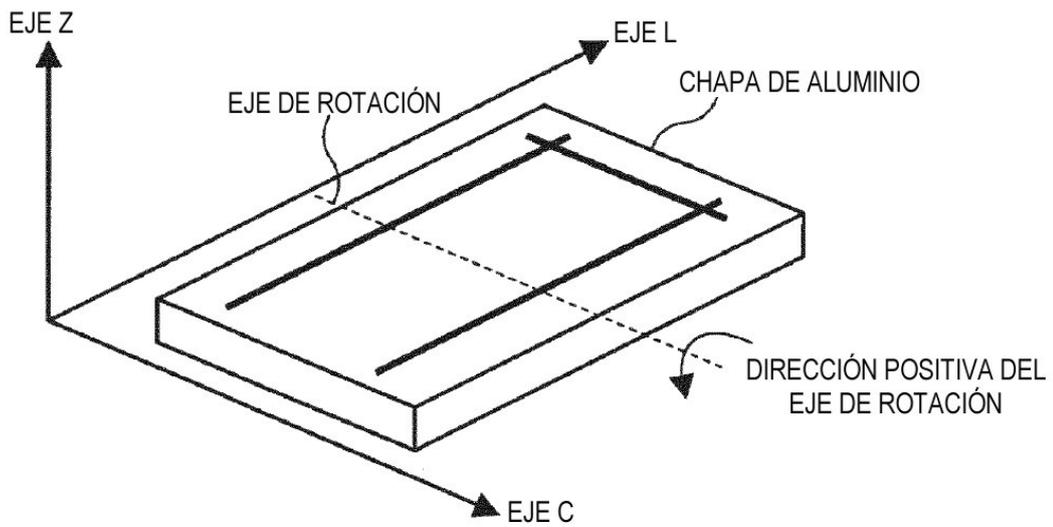


FIG. 33C

$$Z(i, X^a) \quad (i=1,2, \dots, 60)$$

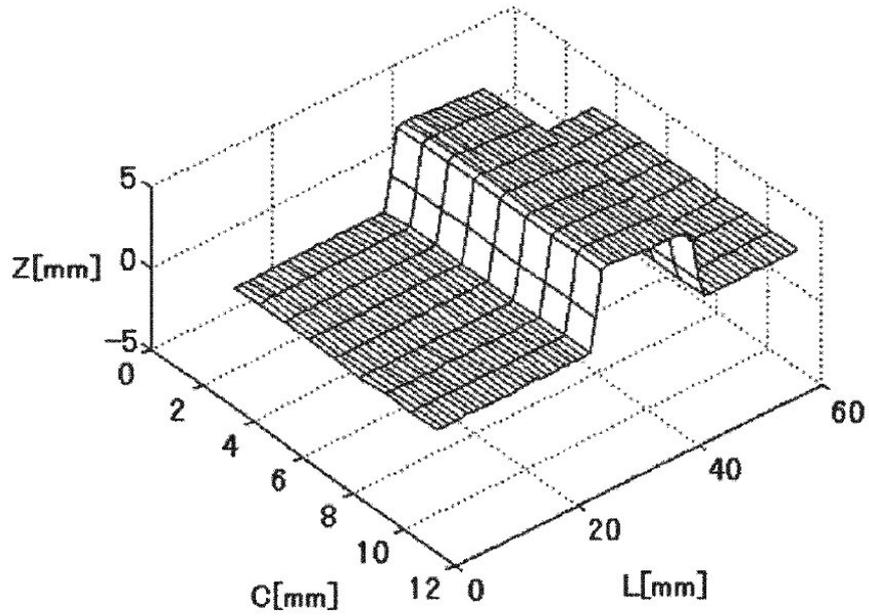


FIG. 33D

$$Z_{out}(i, X^a) \quad (i=1,2, \dots, 60)$$

