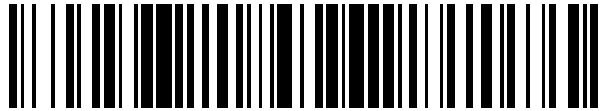


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 881 448**

21 Número de solicitud: 202030484

51 Int. Cl.:

G01N 21/00 (2006.01)
G01B 7/02 (2006.01)
B61L 23/04 (2006.01)
G01B 7/02 (2006.01)
B61K 9/08 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

25.05.2020

43 Fecha de publicación de la solicitud:

29.11.2021

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

23.02.2022

Fecha de concesión:

12.07.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

19.07.2022

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD DE SEVILLA (100.0%)
Paseo de las Delicias, s/n - Pabellón de Brasil
41013 Sevilla (Sevilla) ES

72 Inventor/es:

ESCALONA FRANCO, José Luis;
MUÑOZ MORENO, Sergio;
CHAMORRO MORENO, Rosario y
URDA GÓMEZ, Pedro

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO DE MEDIDA DE GEOMETRÍA DE VÍAS**

57 Resumen:

Sistema y método de medida de geometría de vías (SMGV), para identificar y cuantificar irregularidades en una vía (1), donde el sistema comprende una estructura (2) rígida, para acoplarse a un medio de desplazamiento externo por la vía (1); un módulo de visión (3) para capturar imágenes de los carriles de la vía (1) durante un desplazamiento de la estructura (2); un módulo de proyección (4) para generar una línea de perfil del carril (5); un módulo de medida inercial (6), que comprende al menos un giróscopo para obtener la orientación de la estructura (2) y al menos un acelerómetro para obtener la aceleración y dirección de la vertical; un módulo de posicionamiento (7), para obtener información de posición; y un módulo de control (8) conectado a los módulos para calcular en tiempo real las irregularidades en las vías (1), ancho (D), peralte (A), alineamiento (C) y nivelación (B).

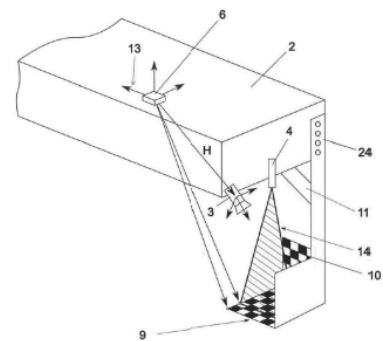


Fig. 8

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 881 448 B2

DESCRIPCIÓN

SISTEMA Y MÉTODO DE MEDIDA DE GEOMETRÍA DE VÍAS

5 OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención está relacionada con las tareas de mantenimiento de vías ferroviarias y más concretamente con la medición de irregularidades geométricas, también conocido como auscultación geométrica de vías.

10

En particular, la invención se refiere a un sistema y método de medida de geometría de vías (SMGV), destinado a identificar y cuantificar irregularidades en una vía de forma precisa y en tiempo real.

15

Un objeto de la presente invención es proveer un sistema de medida de geometría de vías para detectar irregularidades.

Otro objeto de la invención es proveer un método de medida de geometría de vías que permita cuantificar de forma precisa las irregularidades de una vía.

20

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La medida de las irregularidades geométricas de vías ferroviarias, o auscultación geométrica de vías, es una fase del mantenimiento de vías que en Europa viene regulado por la norma
25 EN 13848, Partes 1 - 5.

Las irregularidades geométricas, con longitudes de onda características entre 3 y 200 m, se denominan: alineamiento, nivelación, peralte, ancho y alabeo. Sin embargo, esta última no es una irregularidad independiente, sino que representa la variación longitudinal del peralte.

30

Se clasifican las irregularidades como laterales (alineamiento y ancho) o verticales (nivelación y peralte). También se clasifican en irregularidades absolutas, o de una línea media de la vía (alineamiento y nivelación), e irregularidades relativas, o de un carril respecto al otro (ancho y peralte).

35

Si la irregularidad geométrica de la vía supera ciertos límites se debe proceder a su corrección, con procedimientos costosos como bateo de la vía, con mayor o menor urgencia.

En el estado de la técnica existen numerosos sistemas de medición que podemos clasificar como:

5

1. Sistemas de medición desde un vehículo en movimiento o con un equipo ligero de accionamiento manual, como por ejemplo con carros de vía.

10

2. Sistemas de medición con contacto entre el equipo de medición con la vía, que suele ser con rodillos, o sin contacto. Los sistemas de medición desde vehículo suelen ser sin contacto y los carros de vía son con contacto.

3. Sistemas de medición de cuerda o inerciales. Los sistemas de medición de cuerda toman como referencia una estructura rectilínea y rígida o una línea trazada con láser para la medida de la irregularidad. Los sistemas de medición inerciales no tienen una referencia física.

15

4. Sistemas de sensores inerciales o sistemas óptico-inerciales. Los sistemas de sensores inerciales realizan mediciones usando solamente sensores inerciales, que suelen ser acelerómetros y giróscopos, mientras que los sistemas óptico-inerciales utilizan además sistemas ópticos, como perfilómetros láser, cámaras de vídeo, cámaras lineales y proyectores láser.

20

La tecnología de los carros de vía mide el ancho con un brazo telescópico y un sensor de distancia, que puede ser láser o LVDT, mientras que el peralte se mide con un inclinómetro. Por su parte, la medida de las irregularidades absolutas (nivelación y alineamiento) requiere la utilización de una estación total.

25

En la literatura científica se pueden encontrar detalles técnicos de los sistemas de auscultación geométrica. Un ejemplo es la tecnología que se utilizaba en los vehículos de inspección de vías en British Railways cuando no existían cámaras digitales. En este caso, para la determinación de las irregularidades absolutas, se hacía una doble integración de las señales de los acelerómetros y se suponía que la trayectoria de las ruedas reproduce el perfil vertical y lateral de la vía, lo cual reduce considerablemente la precisión en dirección lateral. En este caso, se describe con un alto grado de detalle un proceso de medición de irregularidades geométricas con sistemas ópticos e inerciales.

30

35

Aunque en el estado de la técnica se describen algunos sistemas de auscultación de vías desde vehículos, generalmente, no se describen los procedimientos de cálculo de irregularidades geométricas a partir de las medidas de sensores que incorpora dicho sistema.

Una solución encontrada se refiere a la medida de irregularidades verticales y laterales basadas en la medida de acelerómetros y giróscopos instalados en el bastidor de un bogie de vehículos de línea. Esta solución está basada en el uso de un filtro de Kalman, un modelo dinámico del vehículo y la medida de aceleraciones del vehículo. Sin embargo, la precisión de esta solución es muy limitada debido a que la dinámica del vehículo da lugar a trayectorias que no siguen necesariamente la geometría irregular de la vía.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un sistema de medida de geometría de la vía (SMGV), para la auscultación geométrica desde vehículos, es decir, destinado a identificar y cuantificar irregularidades en vías. El sistema de la invención es de tipo inercial, sin contacto y con sensores inerciales y ópticos.

Las irregularidades detectadas en la vía pueden comprender al menos una de alineamiento, definido como la media del desplazamiento en dirección horizontal con respecto a una posición de referencia de los carriles izquierdo y derecho, nivelación, definida como la media del desplazamiento en dirección vertical con respecto a una posición de referencia de los carriles izquierdo y derecho, ancho, definido como la diferencia del desplazamiento en dirección horizontal con respecto a una posición de referencia entre el carril izquierdo y derecho y peralte, definido como la diferencia del desplazamiento en dirección vertical con respecto a una posición de referencia entre el carril izquierdo y el derecho.

El sistema de la invención comprende una estructura rígida. La estructura rígida está adaptada para acoplarse a medios de desplazamiento externos por la vía, como puede ser un chasis con ruedas o deslizadores o cualquier otro vehículo ferroviario.

Sobre la estructura rígida se monta un módulo de visión, el cual permite capturar de forma continua imágenes o video de los carriles de la vía cuando la estructura rígida está en movimiento con respecto a dicha vía.

En la estructura, también se monta un módulo de proyección, que comprende uno o más láseres. Los láseres permiten generar una línea de perfil sobre el carril de modo que se puedan obtener mediciones de la posición de la línea de perfil respecto a la estructura rígida.

Asimismo, se monta en la estructura un módulo de medida inercial, que comprende al menos un giróscopo para obtener información acerca de la orientación de la estructura rígida y al menos un acelerómetro para obtener información de la aceleración de la estructura rígida en cada instante de tiempo y la dirección de la vertical.

5

El sistema de medida de geometría de vías de la invención también comprende un módulo de posicionamiento, unido a la estructura rígida y destinado a obtener información acerca de la posición de la estructura rígida en cada instante de tiempo.

10 El sistema de la invención comprende además un módulo de control, acoplado a la estructura rígida y conectado a los módulos de visión, de proyección, de medida inercial y de posicionamiento. El módulo de control permite calcular en tiempo real las irregularidades en la vía a partir de los datos obtenidos por los distintos módulos del sistema.

15 El módulo de control puede comprender también una unidad de preprocesamiento geométrico de vías que almacena la información relativa a una geometría ideal de la vía, es decir, sin irregularidades.

Asimismo, el sistema puede comprender también un módulo de calibración que comprende
20 dos triedros tri-rectángulos con un patrón de tablero de ajedrez en cada una de sus caras. Los módulos de calibración se unen de forma rígida y desmontable con la estructura, preferiblemente, mediante una unión mecánica de alta precisión, es decir, sustancialmente sin holguras para evitar que se modifique la posición u orientación relativa entre la estructura y cada módulo de calibración.

25

Asimismo, cada módulo de calibración puede comprender también rigidizadores para evitar el movimiento relativo entre dicho módulo de calibración y la estructura.

La invención también se refiere a un método de medida de geometría de vías, para identificar
30 y cuantificar irregularidades. El método de la invención hace uso del sistema de medida de geometría de vías (SMGV) descrito previamente.

Así, el módulo de control del sistema de medida activa el módulo de proyección, el cual genera en cada uno de los carriles de la vía una línea de perfil del carril. A su vez, mediante el módulo
35 de visión, se obtienen un conjunto de imágenes en las que se identifica la línea de perfil del carril generada.

En dichas imágenes se determina la intensidad de los píxeles con el fin de identificar los puntos que se corresponden con la línea de perfil del carril. Se determinan como puntos que pertenecen a la línea de carril, aquellos con una intensidad cercana al blanco, es decir, por encima de un valor umbral de intensidad, preferentemente de 200.

Una vez identificados los puntos de la línea de perfil del carril, se obtiene la posición de dichos puntos de la línea de perfil del carril en un sistema de referencia de las imágenes, y, a partir de la posición obtenida, se calcula la posición de los puntos de la línea de perfil del carril en un sistema de referencia ligado a la estructura. Para ello, se hace uso de unos parámetros de calibración del módulo de visión y el módulo de proyección. Los parámetros de calibración comprenden parámetros intrínsecos y extrínsecos del módulo de visión y un plano de proyección que representa un haz generado por el módulo de proyección, el cual comprende todos los puntos de la línea de perfil del carril.

Preferentemente, los parámetros extrínsecos son la posición y la orientación del módulo de visión con respecto al sistema de referencia de la estructura.

A continuación, se obtiene la posición, velocidad y aceleración de la estructura dentro de la vía, pudiendo hacer uso de un encóder o tacómetro.

Para obtener la posición, velocidad y aceleración de la estructura a lo largo de la vía, se puede hacer uso de un módulo de posicionamiento, de tipo GNSS, y la unidad de preprocesamiento geométrico de vías que almacena información acerca de la geometría ideal de la vía.

Alternativamente, se puede hacer uso de un encóder instalado en una rueda perteneciente a la estructura, si la tuviera, que proporciona, con una hipótesis de rodadura sin deslizamiento, una posición aproximada dentro de la vía mediante la medida del ángulo de rodadura. La posición aproximada a lo largo de la vía se corrige comparando una curvatura experimental de la vía, calculada a partir de una componente vertical de velocidad angular, suministrada por un giróscopo, y una velocidad de avance, con una curvatura teórica horizontal de la vía proporcionada por la unidad de preprocesamiento geométrico de vías.

De la unidad de preprocesamiento geométrico de vías se puede obtener una curvatura horizontal, una derivada espacial de la curvatura horizontal, una curvatura vertical y una curvatura de torsión teóricas, es decir, las que tendría la vía si careciese de irregularidades.

La unidad de preprocesamiento geométrico de vías almacena información acerca de la vía con geometría ideal. A partir de esta unidad se puede obtener una geometría de referencia de la línea media de cada uno de los carriles de la vía con geometría ideal. Para ello, previamente se envía desde el módulo de control una señal que representa la posición de la estructura a lo largo de la vía.

La posición de los puntos de la línea del perfil del carril obtenida mediante el módulo de visión se usa para determinar la posición y ángulo de giro de la sección transversal del carril. Para ello, se calcula la posición y orientación que tendría la línea teórica del perfil del carril de forma que la suma de las distancias cuadráticas a los puntos obtenidos con el módulo de visión sea mínima.

Asimismo, se procede a calcular una orientación de la estructura mediante unas señales proporcionadas por el giróscopo y el acelerómetro, del módulo de medida inercial, para calcular al menos una de las irregularidades de ancho y peralte.

La etapa de calcular una orientación de la estructura puede llevarse a cabo considerando que las señales proporcionadas por el acelerómetro se deben exclusivamente a la acción de la gravedad.

Alternativamente, la etapa de calcular una orientación de la estructura puede realizarse de forma más precisa considerando la contribución a las señales del acelerómetro debida a las aceleraciones tangenciales y centrípetas, que tienen lugar al avanzar la estructura con una velocidad y aceleración a lo largo de la vía, así dicha etapa puede comprender una fase de corregir el reparto de la aceleración proporcionada. Estas aceleraciones se estiman, respectivamente, a partir de la derivada de la velocidad de la estructura en el sentido de la vía y a partir de la curvatura vertical y la curvatura horizontal de la línea media obtenidas previamente mediante el preprocesador geométrico de vías.

Alternativamente, la etapa de calcular una orientación de la estructura, se puede llevar a cabo mediante una señal proporcionada por un inclinómetro de dos ejes y, preferentemente, haciendo uso de un filtro complementario que usa los resultados de la fase de corregir la señal proporcionada por el acelerómetro del módulo de medida inercial.

Adicionalmente, para calcular las irregularidades de alineamiento y nivelación, se procede a calcular la posición de la estructura en cada instante de tiempo respecto a la línea media de

la vía usando la señal del acelerómetro del módulo de medida inercial, la orientación calculada, las curvaturas obtenidas y la velocidad y aceleración en dirección longitudinal a la vía.

- 5 La etapa de calcular la posición de los píxeles de la línea del perfil del carril con respecto a la estructura, puede comprender además una fase de calibración que permite identificar parámetros intrínsecos y extrínsecos del módulo de visión y obtener el plano de proyección del módulo de proyección.
- 10 La calibración se lleva a cabo mediante el uso de dos triedros tri-rectángulos con un patrón de tablero de ajedrez en cada una de sus caras, siendo conocidas la posición y orientación de los vértices del patrón con respecto al sistema de referencia de la estructura y, en el que se conoce además la posición de al menos 5 puntos de cada plano del triedro (al menos 15 puntos) en el sistema de referencia del patrón y el sistema de referencia de la imagen,
- 15 obteniendo una matriz que relaciona la posición de los puntos en las imágenes y respecto al sistema de referencia de la estructura.

Con el fin de determinar el plano de proyección del módulo de proyección, se obtienen previamente las coordenadas de puntos que pertenecen al plano de proyección en el sistema

20 de referencia de la estructura y en el sistema de referencia de la imagen, al menos 2 en al menos dos planos del triedro. Asimismo, la posición de los puntos del triedro se obtiene mediante interpolación de puntos vecinos.

Preferiblemente, la posición de la estructura respecto a los triedros es igual o sustancialmente

25 igual a posición de la estructura respecto a los carriles de la vía, cuando la estructura está centrada y no hay irregularidad.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

30 Fig. 1.- Muestra una representación esquemática de una vista lateral de unos carriles de una vía.

Fig. 2.- Muestra una representación esquemática de una vista en planta de unos carriles de una vía.

35

Fig. 3.- Muestra una vista esquemática de una sección transversal a una vía, incluyendo la sección transversal de los carriles en la vía con geometría ideal y en la vía con geometría irregular.

5 Fig. 4.- Muestra una vista esquemática del sistema de medida de geometría de vías (SMGV) de la invención.

Fig. 5.- Muestra una vista esquemática de una sección transversal de la vía, donde la sección de los carriles en la vía con geometría ideal y en la vía con geometría irregular se representan
10 con círculos, incluyendo el sistema de medida de geometría de vías (SMGV) de la invención.

Fig. 6.- Muestra una representación de los puntos que pertenecen a una línea del perfil del carril como círculos, así como la curva teórica de dicha línea de perfil.

15 Fig. 7.- Muestra una vista esquemática de un módulo de proyección y un módulo de calibración del sistema de medida de geometría de vías (SMGV) de la invención.

Fig. 8.- Muestra una vista esquemática del sistema de medida de geometría de vías (SMGV) de la invención incluyendo uno de los módulos de calibración.
20

Fig. 9.- Muestra un diagrama del método de medida de geometría de vías de la invención.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

25 Las ventajas de la invención se muestran en los ejemplos de realización preferente mostrados en las Figuras y descritos a continuación.

Las Figuras 1 y 2 muestran una representación de ejemplos de irregularidades que se pretenden calcular, en particular, ancho (D), peralte (A), alineamiento (C) y nivelación (B).

30 En particular, en la Figura 1 se muestra una vista lateral de los carriles izquierdo y derecho y, marcada en línea de trazos, la línea central (15) de la vía (1). En la Figura 1 también se muestra un sistema de referencia de la vía (17) ligado a la sección más hacia la izquierda de la vía, en el que un eje X está orientado en dirección tangente a la línea media ideal de la vía,
35 un eje Y que está orientado en dirección transversal a la línea media ideal de la vía y un eje Z que está orientado en dirección perpendicular al plano formado por los ejes X e Y.

En la Figura 1, el peralte (A) se corresponde con la diferencia de cota entre los carriles izquierdo y derecho en cada sección y la nivelación (B) con la distancia de la línea central (15) con respecto al eje X del sistema de referencia de la vía (17), como se desprende de la Ec. 1:

5

$$\begin{aligned} al &= \frac{y^{izq} + y^{der}}{2} \\ ni &= \frac{z^{izq} + z^{der}}{2} \\ an &= y^{izq} - y^{der} \\ pe &= z^{izq} - z^{der} \end{aligned} \quad (\text{Ec. 1})$$

10

En la Ec. 1, tanto y^{izq} como y^{der} representan la cota en el eje Y de los carriles izquierdo y derecho respectivamente. Por su parte, la componente z^{izq} y la z^{der} , representan la cota en el eje Z de los carriles izquierdo y derecho respectivamente.

15 En la Figura 2 se muestra una vista en planta de los carriles izquierdo y derecho y, marcada en línea de trazos, la línea central (15) de la vía (1). El ancho (D) se corresponde con la distancia entre los carriles izquierdo y derecho en planta, mientras que el alineamiento (C), es la variación de la distancia entre la línea central (15) de la vía (1) y el eje X del sistema de referencia de la vía (17), como se muestra también en la ecuación 1.

20

La figura 3 muestra una representación gráfica de una sección transversal de la vía con geometría ideal (16), marcada en línea fina, y una sección de la vía (1) con geometría real.

25 Una vía con geometría ideal (16), se refiere a una vía sin irregularidades. En la figura 3 se representa una sección transversal de los carriles izquierdo y derecho de una vía con geometría ideal (16), así como los vectores (E, F) que unen dichos carriles con los carriles izquierdo y derecho de la vía (1) con geometría real, mostrando así el desplazamiento de las secciones izquierda y derecha, respectivamente, debido a la irregularidad.

30 También se observa en la figura 3, un sistema de referencia de la vía (17) y un sistema de referencia ligado a los carriles de la vía (18).

La figura 4 muestra una realización preferente del sistema de medida de geometría de vías (SMGV), que se desplaza por medio de un medio de desplazamiento externo a lo largo de la vía (1) para identificar y cuantificar irregularidades de la misma.

5 El sistema de la invención comprende una estructura (2) rígida, destinada a acoplarse al medio de desplazamiento externo. En la estructura (2) se incorporan además un módulo de visión (3), que comprende cámaras para capturar de forma continua imágenes o videos de la vía (1) mientras se desplaza la estructura (2), y un módulo de proyección (4), que comprende láseres para generar un haz (14) que se proyecta sobre el carril correspondiente para generar en
10 dicho carril una línea de perfil del carril (5).

El sistema también comprende un módulo de medida inercial (6), unido a la estructura (2) rígida, que comprende un giróscopo para determinar la orientación de la estructura (2). Asimismo, el módulo de medida inercial (6) también comprende un acelerómetro para
15 determinar la aceleración de la estructura (2) rígida y la dirección de la gravedad en cada instante de tiempo.

Además, el sistema incorpora un módulo de posicionamiento (7) de la estructura (2) rígida para obtener información de su posición absoluta en cada instante de tiempo.

20 También, se incorpora un módulo de control (8) que se conecta a los módulos de visión (3), de proyección (4), de medida inercial (6) y de posicionamiento (7), con los que interacciona para calcular en tiempo real las irregularidades a partir de los datos obtenidos por dichos módulos (3, 4, 6, 7).

25 El módulo de control (8) comprende también una unidad de preprocesamiento geométrico de vías que almacena información acerca de una vía con geometría ideal (16) y permite el cálculo de irregularidades de la vía (1) con geometría real al compararla con la vía con geometría ideal (16).

30 Como se muestra en la Figura 4, la posición del módulo de medida inercial (6) coincide con el origen del sistema de referencia ligado a la estructura (13).

La figura 5 muestra una representación gráfica del sistema de la invención, así como los
35 vectores que definen el método de medida que se detalla en la figura 9.

El módulo de proyección (4) genera en el carril correspondiente la vía la línea de perfil del carril (19). A continuación, se obtienen imágenes haciendo uso del módulo de visión (5). En cada una de las imágenes se identifica la línea de perfil del carril (19) generada. Para ello, se obtiene la intensidad de los píxeles de cada imagen obtenida y se identifican unos puntos de la línea de carril (19). Los puntos de la línea de carril (19) son aquellos con una intensidad cercana al blanco, por encima de un valor umbral, que en este caso es de 200, los cuales se almacenan en forma de vectores que fijan la posición de los píxeles en la imagen, como se muestra en la Ec. 2:

$$n^P = \begin{bmatrix} n_x^P \\ n_y^P \end{bmatrix}, P = 1, 2, 3, \dots, np$$

$$n^Q = \begin{bmatrix} n_x^Q \\ n_y^Q \end{bmatrix}, Q = 1, 2, 3, \dots, nq$$

(Ec. 2)

En la Ec. 2, np es el número total de píxeles en el carril derecho, n_x^P y n_y^P son los índices de cada uno de ellos en la imagen, nq es el número total de píxeles en el carril izquierdo, n_x^Q y n_y^Q son los índices de cada uno de ellos en la imagen.

Seguidamente, se obtiene la posición de los puntos de la línea de carril (19) en un sistema de referencia ligado a la estructura (13). Para ello, se hace uso de datos de parámetros intrínsecos y extrínsecos del módulo de visión (5) y de un plano de proyección conocido, que representa el haz (14) generado por el módulo de proyección (4). La posición de los puntos de la línea de carril (19) se representa mediante los vectores posición de la Ec. 3:

$$u^P = \begin{bmatrix} u_x^P \\ u_y^P \\ u_z^P \end{bmatrix}, P = 1, 2, 3, \dots, np$$

$$u^Q = \begin{bmatrix} u_x^Q \\ u_y^Q \\ u_z^Q \end{bmatrix}, Q = 1, 2, 3, \dots, nq$$

(Ec. 3)

De modo que se establece entre los vectores que fijan la posición de los píxeles en la imagen y los vectores posición de los puntos de la línea de carril (19) en un sistema de referencia ligado a la estructura (13) una relación descrita por la Ec. 4:

$$c_P \begin{bmatrix} n^P \\ 1 \end{bmatrix} = P^{der} \begin{bmatrix} u^P \\ 1 \end{bmatrix}, P = 1, 2, 3, \dots, np$$

(Ec. 4)

$$c_Q \begin{bmatrix} n^Q \\ 1 \end{bmatrix} = P^{izq} \begin{bmatrix} u^Q \\ 1 \end{bmatrix}, Q = 1, 2, 3, \dots, nq$$

En la Ec. 4, P^{izq} y P^{der} son matrices 3×4 de proyección de las cámaras izquierda y derecha, que se obtienen de un proceso de calibración del módulo de visión (3), y c_P y c_Q son factores de escala, de valor desconocido, que conforman los parámetros intrínsecos y extrínsecos del módulo de visión (3).

Además, los planos proyectados por los láseres cumplen la Ec. 5:

$$\begin{aligned} A^{der} u_x^P + B^{der} u_y^P + C^{der} u_z^P + D^{der} &= 0 \\ A^{izq} u_x^Q + B^{izq} u_y^Q + C^{izq} u_z^Q + D^{izq} &= 0 \end{aligned} \quad (\text{Ec. 5})$$

En la Ec. 5, las constantes para el láser derecho (A^{der} , B^{der} , C^{der} , D^{der}) y para el láser izquierdo (A^{izq} , B^{izq} , C^{izq} , D^{izq}), también se calculan mediante el proceso de calibración.

Estos datos se obtienen de un proceso de calibración del módulo de visión que comprende las etapas de:

1. Obtener una fotografía, al tiempo que los láseres están en funcionamiento, de cada triedro de calibración.
2. Identificar la posición de los píxeles, en la imagen tomada, de al menos 5 puntos en cada uno de los tres planos de cada triedro.
3. Identificar en las fotografías de cada triedro la posición de los píxeles de al menos dos puntos pertenecientes a los planos proyectados por los láseres en al menos dos planos de cada triedro.
4. Calcular las matrices de proyección P^{izq} y P^{der} de la Ec. 4 y las constantes (A^{der} , B^{der} , C^{der} , D^{der}) y (A^{izq} , B^{izq} , C^{izq} , D^{izq}) de la Ec. 5, utilizando los vectores posición en el sistema de referencia del SMGV de todos los puntos identificados en las fases 1 y 2, mediante un proceso de optimización matemática.

Una vez obtenida la posición de los puntos de la línea de perfil del carril (19) en el sistema de referencia de la estructura (13), se procede a obtener la posición y orientación de una curva de referencia (21) que representa el perfil del carril de la vía con geometría ideal que mejor ajusta la nube de puntos de la línea de carril (19) obtenidos. A continuación, se calcula una

posición (M) y un ángulo de giro (β) de dicha curva de referencia (21) realizando una optimización que minimiza la distancia cuadrática entre dicha curva de referencia (21) y los puntos de la línea de carril (19).

- 5 En esta etapa, se establecen las relaciones geométricas representadas en la figura 5. En la que se representa el sistema de referencia de la vía (12).

En este caso, la sección transversal de dicha línea central (15), al igual que la sección transversal del eje de los carriles con geometría ideal (16) y real (1), se corresponden con puntos situados en el plano YZ. Así, se representan vectores (E , F) que unen, respectivamente, los ejes del carril derecho e izquierdo de la vía con geometría ideal con los ejes de los carriles en la vía con geometría real, representando así los desplazamientos de los carriles izquierdo y derecho, debido a las irregularidades.

- 15 Asimismo, se representan vectores (K , L) que unen el origen del sistema de referencia ligado a la estructura (13) con los ejes de los carriles de la vía con geometría real (1), representando vectores de posición del sistema de coordenadas del carril izquierdo y del derecho (18) respectivamente, respecto al sistema de referencia de la estructura (13).

- 20 Se representan también vectores (I , J) que unen el origen del sistema de referencia de la vía (12) con los ejes de los carriles de la vía con geometría ideal (16), así como, un vector (r) que une el origen del sistema de referencia de la vía (12) con el origen del sistema de referencia ligado a la estructura (13). En la figura 5, también se muestra el ángulo de balanceo (φ) de la estructura.

- 25 La figura 6, por su parte, muestra una representación gráfica que ilustra la etapa de cálculo del vector posición (M) y el ángulo de giro (β) de la curva de referencia (21) para que se ajuste a la nube de puntos de la línea del perfil de carril (19). La curva de referencia representa el perfil del carril de la vía con geometría ideal, formado por tramos rectos y circulares, siendo en este caso el carril de tipo UIC54.

- 30 En la figura 6 se ha incorporado la curva de referencia (21) en línea de trazos en la posición en la que el perfil mejor se aproxima a la nube de puntos de la línea de carril (19). Así, se identifica el vector posición (M) y el ángulo de giro (β) que se aplica a la curva de referencia (21) para adecuarse a la nube de puntos de la línea del perfil del carril (19). Se representa

además un vector posición (N) de un punto cualquiera de la nube de puntos de la línea de carril (19).

En este proceso, primero se define un perfil teórico del carril mediante la Ec. 6:

5

$$G_z = f(G_y) \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde G_y y G_z son las coordenadas de los puntos que pertenecen a la curva de referencia (21). Si se desplaza dicha curva una cantidad M y se gira un ángulo β en el plano YZ del sistema de referencia ligado a cada uno de los carriles izquierdo y derecho, las coordenadas de los puntos de la curva desplazada y girada (G') se definirán mediante la Ec. 7:

10

$$\begin{aligned} G_y' &= M_y + G_y \cos(\beta) - f(G_y) \sin(\beta) \\ G_z' &= M_z + G_y \sin(\beta) + f(G_y) \cos(\beta) \end{aligned} \quad (\text{Ec. 7})$$

15

El cuadrado de la distancia de un punto i de la nube al perfil al perfil teórico se obtiene de aplicar la Ec. 8:

20

$$\begin{aligned} (d^i)^2 &= [N_y^i - (M_y + G_y^i \cos(\beta) - f(G_y^i) \sin(\beta))]^2 + [N_z^i \\ &\quad - (M_z + G_y^i \sin(\beta) + f(G_y^i) \cos(\beta))]^2 \end{aligned} \quad (\text{Ec. 8})$$

25

EN la Ec. 8, G_y^i es la coordenada Y del punto más próximo en la curva de referencia (21) al punto i de la nube de puntos con coordenadas N_y^i y N_z^i . La distancia cuadrática es una función de la traslación de la posición (M) y el ángulo de giro (β) del perfil. La optimización se expresa matemáticamente mediante la Ec. 9:

$$\arg \min \sum_{i=1}^{np} (d^i)^2 \quad (\text{Ec. 9})$$

30

El mismo procedimiento es aplicado al carril izquierdo.

El método representado en la Figura 9 también comprende las etapas de obtener la posición, velocidad y aceleración de la estructura respecto al sistema de referencia de la vía, para la

cual hace uso del módulo de medida inercial (6). Teniendo en cuenta que la aceleración (a) se puede definir mediante la Ec. 10:

$$\begin{aligned}
 a_x &= dV \\
 a_y &= \rho_h V^2 \\
 a_z &= -\rho_v V^2
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 10}$$

Donde V es la velocidad de la estructura (2) en la dirección X de la vía, dV es la aceleración en la dirección X de la vía y ρ_h y ρ_v , son las curvaturas de la vía horizontal y vertical, respectivamente.

A continuación, partiendo de una estimación de la posición de la estructura rígida a lo largo de la vía dada por el módulo de posicionamiento (7), se estima la curvatura horizontal de la vía con geometría ideal, mediante la unidad de preprocesamiento geométrico de vías. Comparando esta curvatura horizontal con la obtenida experimentalmente a partir del giróscopo y la velocidad de avance se obtiene una estimación precisa de la posición de la estructura rígida a lo largo de la vía. La curvatura horizontal estimada (ρ_h^{exp}) se define mediante la Ec. 11:

$$\rho_h^{exp} = \frac{w_z^{IMU}}{V}
 \tag{Ec. 11}$$

Donde w_z^{IMU} , es la componente en dirección Z de la velocidad angular proporcionada por el módulo de medida inercial (6).

A partir de los datos obtenidos, se procede a calcular una orientación de la estructura mediante el módulo de medida inercial (6) y a calcular al menos las irregularidades de ancho (D) y peralte (A). Para ello, se definen las relaciones de los vectores posición (E, F, I, J, K, L, \vec{r}), mostradas en la figura 5, de acuerdo con la Ec. 12:

$$\begin{aligned}
 \vec{r} + K &= I + E \\
 \vec{r} + L &= J + F
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 12}$$

Si se restan ambas ecuaciones, resultan en la Ec. 13:

$$K - L = I + E - (J + F)
 \tag{Ec. 13}$$

Entonces, se proyectan los vectores en los ejes Y y Z del sistema de referencia de la vía (12) suponiendo que el ángulo φ es pequeño (el seno del ángulo es igual al ángulo y el coseno es igual a la unidad), resultando las relaciones de la Ec. 14:

5

$$\begin{aligned} K_{y'} - L_{y'} - \varphi \times (K_{z'} - L_{z'}) &= 2I + E_y - F_y \\ K_{z'} - L_{z'} + \varphi \times (K_{y'} - L_{y'}) &= E_z - F_z \end{aligned} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde los ejes Y y Z pertenecen al sistema de referencia de la vía (12), mientras que Y' y Z' pertenecen al sistema de referencia ligado a la estructura (13), I es una distancia siempre positiva y φ es el ángulo de balanceo de la estructura (2).

10

Entonces, teniendo en cuenta la definición de ancho (D) y peralte (A) dada en la Ec. 1, que coinciden con: $E_y - F_y$, y $E_z - F_z$, respectivamente, estas se obtienen según la Ec. 15:

15

$$\begin{aligned} an &= K_{y'} - L_{y'} - \varphi \times (K_{z'} - L_{z'}) - 2I \\ pe &= K_{z'} - L_{z'} + \varphi \times (K_{y'} - L_{y'}) \end{aligned} \quad (\text{Ec. 15})$$

Para calcular al menos las irregularidades de alineamiento (C) y nivelación (B) se definen las relaciones de los vectores posición (E, F, I, J, K, L, \vec{r}) de acuerdo con la Ec. 16:

20

$$E + F = 2\vec{r} + K + L \quad (\text{Ec. 16})$$

Proyectando las componentes de esta ecuación en los planos Y y Z, se obtienen las relaciones de la Ec. 17:

25

$$\begin{aligned} \vec{r}_y + \frac{1}{2}[K_y + L_y - \varphi \times (K_z + L_z)] &= \frac{1}{2}(E_y + F_y) \\ \vec{r}_z + \frac{1}{2}[K_z + L_z + \varphi \times (K_y + L_y)] &= \frac{1}{2}(E_z + F_z) \end{aligned} \quad (\text{Ec. 17})$$

Por tanto, teniendo en cuenta que la definición de las irregularidades de alineamiento (C) y nivelación (B) dada en la Ec. 1 coincide con los lados derechos de la Ec. 17, respectivamente, estas irregularidades se calculan según la Ec. 18:

30

$$al = \vec{r}_y + \frac{1}{2}[K_y + L_y - \varphi \times (K_z + L_z)] \quad (\text{Ec. 18})$$

$$n_i = \vec{r}_z + \frac{1}{2} [K_z + L_z + \varphi \times (K_y + L_y)]$$

Para obtener el valor de dichas irregularidades, es necesario previamente calcular la posición (\vec{r}) de la estructura (2) respecto al sistema de referencia de la vía (12) en cada instante de tiempo. Para ello, se hace uso de la señal del acelerómetro del módulo de medida inercial (6), la orientación calculada, las curvaturas calculadas y la velocidad y aceleración con respecto a la vía.

El cálculo de la posición (\vec{r}) de la estructura (2) respecto al sistema de referencia de la vía (12) en cada instante de tiempo se basa en la integración de la aceleración proporcionada por el módulo de medida inercial (6). La aceleración de un sólido rígido se puede definir mediante la Ec. 19:

$$\ddot{R}^{SMGV} = \ddot{R}^{id} + \dot{r}^{SMGV} + \alpha^{id} \times r^{SMGV} + w^{id} \times (w^{id} \times r^{SMGV}) + 2w^{id} \times \dot{r}^{SMGV} \quad (\text{Ec. 19})$$

donde \ddot{R}^{SMGV} , representa la aceleración de la estructura (2) en el sistema de referencia de la vía (12), \ddot{R}^{id} , es la aceleración de la estructura debida al avance a lo largo de la vía ideal, \dot{r}^{SMGV} y \ddot{r}^{SMGV} son la velocidad y la aceleración relativa con respecto a la vía (1) y α^{id} y w^{id} , son la aceleración angular y la velocidad angular relativa con respecto a la vía (1). Proyectando las componentes de esta ecuación en los planos Y y Z, se obtienen las relaciones de la Ec. 20:

$$\begin{bmatrix} \ddot{R}_y^{SMGV} \\ \ddot{R}_z^{SMGV} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_h V^2 \\ -\rho_v V^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \ddot{r}_y^{SMGV} \\ \ddot{r}_z^{SMGV} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -r_y^{SMGV} (V^2 (\rho_{tw}^2 + \rho_h^2)) - r_z^{SMGV} (-V^2 \rho_v \rho_h + V \dot{\rho}_{tw}) \\ r_y^{SMGV} (V^2 \rho_v \rho_h + V \dot{\rho}_{tw}) - r_z^{SMGV} (V^2 (\rho_{tw}^2 + \rho_h^2)) \end{bmatrix} + 2 \begin{bmatrix} -V \dot{r}_z^{SMGV} \rho_{tw} \\ V \dot{r}_y^{SMGV} \rho_{tw} \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 20})$$

Por otro lado, las señales que proporciona el acelerómetro del módulo de medida inercial (6), se identifican con los términos del lado derecho de la Ec. 21:

$$a^{IMU} = \begin{bmatrix} a_x^{IMU} \\ a_y^{IMU} \\ a_z^{IMU} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\psi^{SMGV} & \theta^{SMGV} \\ \psi^{SMGV} & 1 & -\varphi^{SMGV} \\ -\theta^{SMGV} & \varphi^{SMGV} & 1 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} \ddot{R}_x^{SMGV} \\ \ddot{R}_y^{SMGV} \\ \ddot{R}_z^{SMGV} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} \right) \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde se han supuesto de nuevo pequeños ángulos de la estructura respecto a la vía. De esta ecuación se puede extraer el valor de las componentes Y y Z de la aceleración de la estructura (2) respecto al sistema de referencia de la vía (12), resultando la relación de la Ec. 22:

5

$$\begin{bmatrix} \ddot{R}_y^{SMGV} \\ \ddot{R}_z^{SMGV} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_y^{IMU} + a_x^{IMU} \psi^{SMGV} - a_z^{IMU} \varphi^{SMGV} \\ a_z^{IMU} - a_x^{IMU} \theta^{SMGV} + a_y^{IMU} \varphi^{SMGV} - g \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 22})$$

Finalmente, igualando la Ec. 20 y la Ec. 22, se obtiene la Ec. 23:

10

$$\begin{bmatrix} \ddot{r}_y^{SMGV} \\ \ddot{r}_z^{SMGV} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -2V\rho_{tw} \\ 2V\rho_{tw} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{r}_y^{SMGV} \\ \dot{r}_z^{SMGV} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -V^2(\rho_{tw}^2 + \rho_h^2) & V^2\rho_v\rho_h - \dot{V}\rho_{tw} \\ V^2\rho_v\rho_h - \dot{V}\rho_{tw} & -V^2(\rho_t^2 + \rho_v^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_y^{SMGV} \\ r_z^{SMGV} \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} a_y^{IMU} + a_x^{IMU} \psi^{SMGV} - a_z^{IMU} \varphi^{SMGV} - \rho_h V^2 \\ a_z^{IMU} - a_x^{IMU} \theta^{SMGV} + a_y^{IMU} \varphi^{SMGV} - g + \rho_v V^2 \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 23})$$

A partir de la Ec. 23, se puede calcular la posición (\vec{r}) de la estructura (2) respecto al 5 sistema de referencia de la vía (12) en cada instante de tiempo.

15

La figura 7, muestra un ejemplo de realización de un módulo de calibración (9) del sistema de la invención, que comprende un patrón (10) tipo tablero de ajedrez colocado sobre un triedro tri-rectángulo. La cámara del módulo de visión (3) se coloca en posición de calibración, orientada en dirección al patrón (10). Además, se representa un sistema de referencia ligado al patrón (23), así como un vector (O) que indica la posición del módulo de visión en el sistema de referencia ligado al patrón (23).

20

La figura 8 representa el sistema de medida de geometría de vías (SMGV) que además comprende uno de los dos módulos de calibración (9).

25

En la figura 8 se ilustra la etapa de calibración, donde se determina un plano de proyección que represente el haz (14) del módulo de proyección (4), conociendo para ello previamente la posición de unos puntos que pertenecen a dicho plano de proyección y al patrón (10) en el sistema de referencia de la estructura (13) así como en el sistema de referencia ligado a la imagen (20), en particular, al menos dos puntos en al menos dos planos del triedro tri-rectángulo.

30

También se determinan en esta etapa los parámetros extrínsecos, es decir, la posición y orientación del módulo de visión (3) en el sistema de referencia de la estructura (13), siendo conocidas la posición y orientación del patrón en el sistema de referencia de la estructura (13).

- 5 Igualmente, se determinan los parámetros intrínsecos del módulo de visión (3), siendo conocidos en el patrón (10) la posición de al menos 5 puntos de cada plano del triedro (al menos 15 puntos) en el sistema de referencia ligado al patrón (23) y en el sistema de referencia ligado a la imagen (20), dando como resultado una matriz que relaciona la posición de los puntos en el sistema de referencia de las imágenes y en el sistema de referencia de la
- 10 estructura.

El módulo de calibración (9) se acopla a la estructura (2), por medio de una unión desmontable (24), de modo que el módulo de visión (3) y el módulo de proyección (4) se orientan hacia el patrón (10). En la figura se representan además un vector (H) que indica la posición del

15 módulo de visión (3) en el sistema de referencia de la estructura (13).

REIVINDICACIONES

1. Sistema de medida de geometría de vías (SMGV), destinado a identificar y cuantificar irregularidades en una vía (1), y que comprende:
 - 5 - una estructura (2) rígida, destinada a acoplarse a un medio de desplazamiento externo por la vía (1);
 - un módulo de proyección (4), unido a la estructura (2) y que comprende uno o más láseres, y está configurado para generar una línea de perfil del carril (5) sobre un carril de la vía (1) en cada instante de tiempo;
 - 10 - un módulo de visión (3), unido a la estructura (2) y que comprende una o más cámaras, configurado para capturar de forma continua imágenes o videos de la vía (1) y para identificar la línea de perfil del carril (5) durante un desplazamiento de la estructura (2) por la vía (1);
 - un módulo de medida inercial (6), unido a la estructura (2) y que comprende al
15 menos un giróscopo configurado para obtener información de la orientación de la estructura (2) y al menos un acelerómetro configurado para obtener información de la aceleración de la estructura y dirección de la gravedad (2) en cada instante de tiempo;
 - un módulo de posicionamiento (7) de la estructura rígida a lo largo de la vía, unido
20 a la estructura (2) y configurado para obtener información de posición de la estructura (2) en cada instante de tiempo a lo largo de la vía;
 - un módulo de control (8), acoplado a la estructura (2), conectado a los módulos de
visión (3), de proyección (4), de medida inercial (6) y de posicionamiento (7), y
configurado para calcular en tiempo real las irregularidades en las vías (1) a partir
25 de los datos obtenidos por dichos módulos.
2. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, donde el módulo de posicionamiento (7) de la estructura rígida a lo largo de la vía es un encoder.
- 30 3. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, donde el módulo de control (8) comprende una unidad de preprocesamiento geométrico de vías que almacena información acerca de una vía con geometría ideal (16).
4. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además
35 comprende un módulo de calibración (9) que comprende al menos un triedro tri-

rectángulo con un patrón (10) de tablero de ajedrez en cada una de sus caras unido de forma rígida y desmontable con la estructura (2).

- 5
5. Sistema de acuerdo con la reivindicación 4, donde el módulo de calibración (9) se une a la estructura (2) mediante una unión mecánica (24).
- 10
6. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4 o 5, donde el módulo de calibración (9) comprende además rigidizadores (11) entre dicho módulo de calibración y la estructura (2).
- 15
7. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, donde el patrón (10) se dispone en una posición respecto a la estructura (2) igual o sustancialmente igual a la posición de los carriles de la vía (1) respecto a la estructura (2).
- 20
8. Método de medida de geometría de vías, para identificar y cuantificar irregularidades, que hace uso del sistema de medida de geometría de vías de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, y que comprende las etapas de:
- obtener (101) un conjunto de imágenes del módulo de visión (3), en las que se identifica la línea del perfil del carril (5) generada,
 - 25 - identificar (102) como puntos de la línea de carril (19) los píxeles con una intensidad cercana al blanco, por encima de un valor umbral;
 - obtener (103) una posición de los puntos de la línea del perfil del carril (19) en un sistema de referencia de las imágenes (20),
 - calcular (104) la posición de los puntos de la línea del perfil del carril (19) en un sistema de referencia ligado a la estructura (13), haciendo uso de datos de parámetros intrínsecos y extrínsecos del módulo de visión (3) calibrado y un plano de proyección que representa un haz (14) generado por el módulo de proyección (4),
 - 30 - calcular (105) un vector posición (M) y un ángulo de giro (β) de la curva de referencia del perfil (21) mediante una optimización que minimiza la distancia cuadrática entre dicha curva de referencia (21) y los puntos de la línea del perfil del carril (19),
 - obtener (106) la posición, velocidad y aceleración de la estructura (2) a lo largo de la vía (1),
 - 35 - obtener (107) las curvaturas horizontal, vertical y de torsión, así como la derivada de la curvatura de torsión, de la línea media de la vía con geometría ideal,

- calcular (108) una orientación de la estructura (2) usando las señales proporcionadas por el módulo de medida inercial (6),
- calcular (109) al menos una de las irregularidades de ancho (D) y peralte (A).

5 9. Método de acuerdo con la reivindicación 8, donde la etapa de obtener (106) la posición, velocidad y aceleración de la estructura (2) se lleva a cabo mediante un módulo de posición (7), de tipo GNSS, y la unidad de preprocesamiento geométrico de vías que almacena información acerca de la vía con geometría ideal (16), calculando la posición de la estructura (2) a lo largo de la vía con geometría ideal (16).

10 10. Método de acuerdo con la reivindicación 8, donde la etapa de obtener (106) la posición, velocidad y aceleración de la estructura (2) comprende el uso de un encóder que proporciona, con una hipótesis de rodadura sin deslizamiento, una posición aproximada a lo largo de la vía (1), la cual se corrige comparando una curvatura experimental, calculada a partir de una componente vertical de velocidad angular, suministrada por un giróscopo, y una velocidad de avance, y una curvatura teórica horizontal de la vía proporcionada por la unidad de preprocesamiento geométrico de vías.

15 11. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, donde la etapa de calcular (108) una orientación de la estructura (2) mediante una señal proporcionada por el módulo de medida inercial (6), además comprende una fase de corregir la dirección de la vertical proporcionada por el acelerómetro mediante el cálculo de las aceleraciones debidas al avance a lo largo de la geometría ideal de la vía usando las curvaturas de la línea media (107) y la velocidad y aceleración a lo largo de la vía (106).

20 12. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, donde la etapa de calcular (111) una orientación de la estructura (2), se realiza mediante el uso de un inclinómetro de dos ejes y comprende una fase de filtrar la orientación calculada mediante un filtro complementario que hace uso de los resultados de la fase de corregir la dirección de la vertical proporcionada por el acelerómetro.

30 13. Método de acuerdo con la reivindicación 12, que además comprende la etapa de calcular (110) la posición de la estructura (2) respecto al sistema de referencia de la vía en cada instante de tiempo usando la señal del acelerómetro del módulo de medida

inercial (6), la orientación calculada, las curvaturas calculadas y la velocidad y aceleración con respecto a la vía (1).

5 14. Método de acuerdo con la reivindicación 13, que además comprende la etapa de calcular (111) las irregularidades de alineamiento (C) y nivelación (B).

10 15. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14, que además comprende una etapa de calibración del módulo de visión (3) y del módulo de proyección (4), mediante el uso de un triedro tri-rectángulo con un patrón (10) de tablero de ajedrez en cada una de sus caras, en el que se conoce la posición de al menos 5 puntos de cada plano del triedro en el sistema de referencia del patrón (23) y en el sistema de referencia de la imagen (20), obteniendo parámetros intrínsecos y extrínsecos del módulo de visión (3) y una matriz que relaciona la posición de los puntos en las imágenes y en la realidad.

15 16. Método de acuerdo con la reivindicación 15, donde los parámetros extrínsecos son la posición y la orientación del módulo de visión (3) en el sistema de referencia de la estructura (13), siendo conocidas la posición y orientación del patrón (10) en el sistema de referencia de la estructura (13).

20 17. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 15 o 16, donde en la etapa de calibración se determina un plano de proyección del módulo de proyección (4), conociendo previamente las coordenadas de puntos que pertenecen al plano de proyección, que representa el haz (4) generado por el módulo de proyección (4), en el sistema de referencia de la estructura (13) y en el sistema de referencia de la imagen (20), al menos 2 puntos en al menos dos planos del triedro.

25

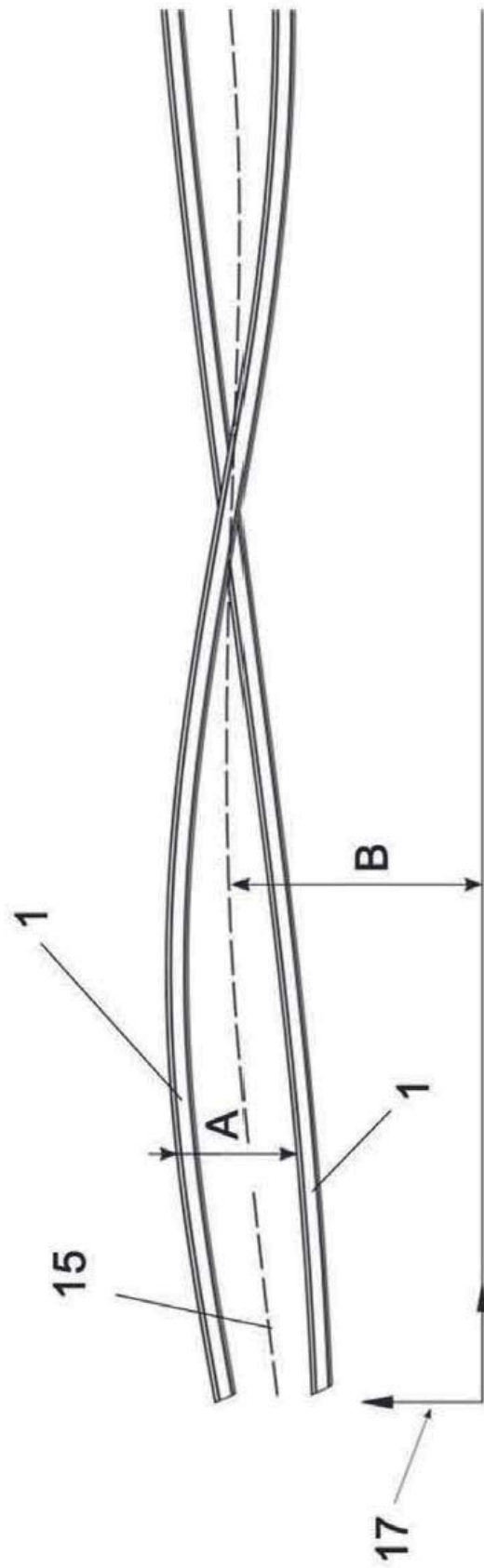


FIG. 1

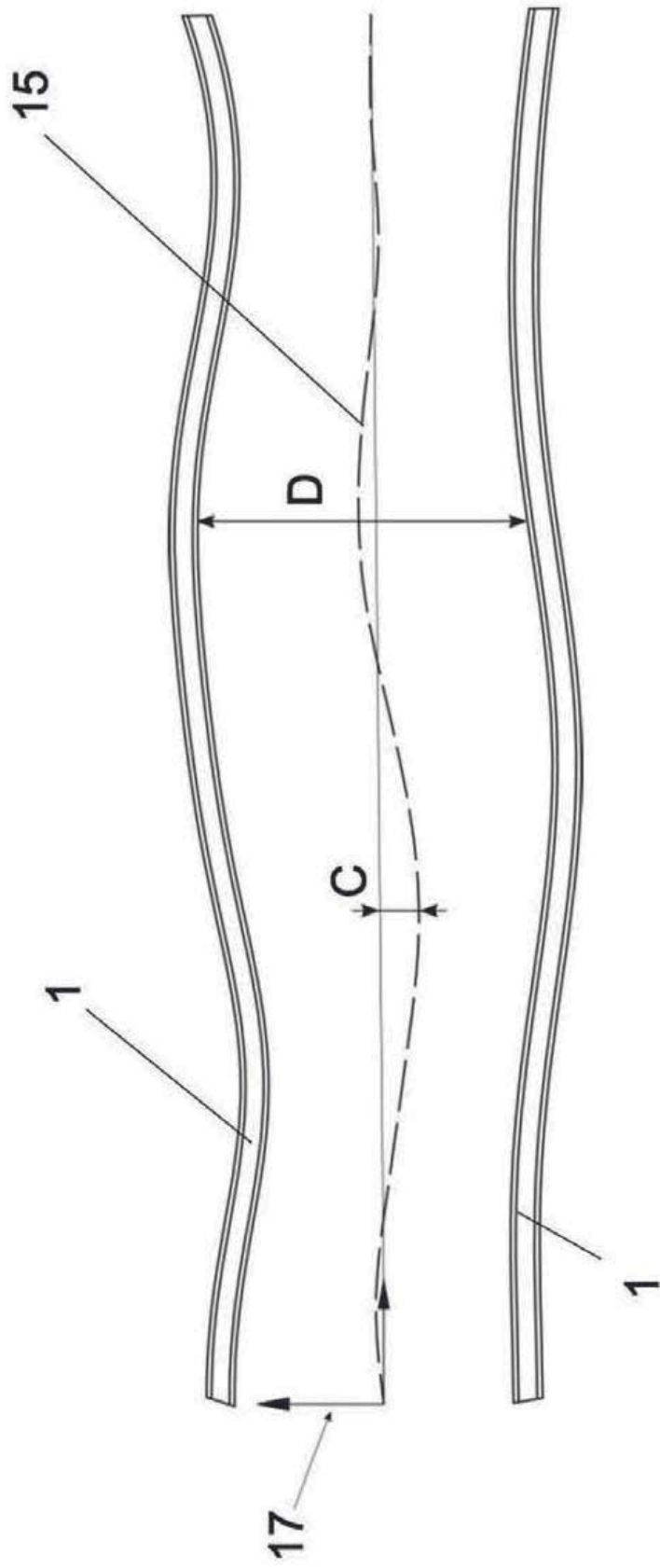


Fig. 2

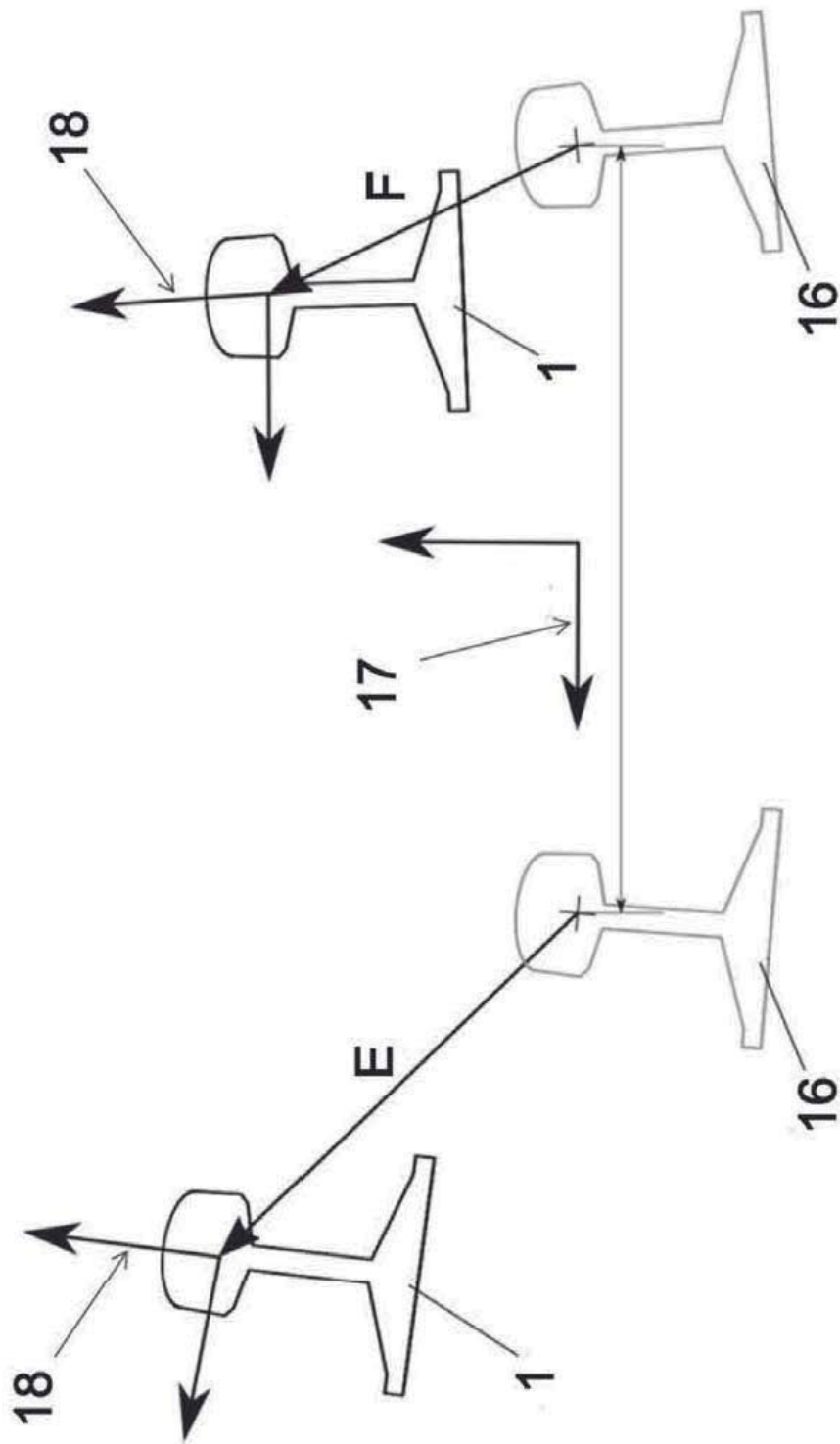


Fig. 3

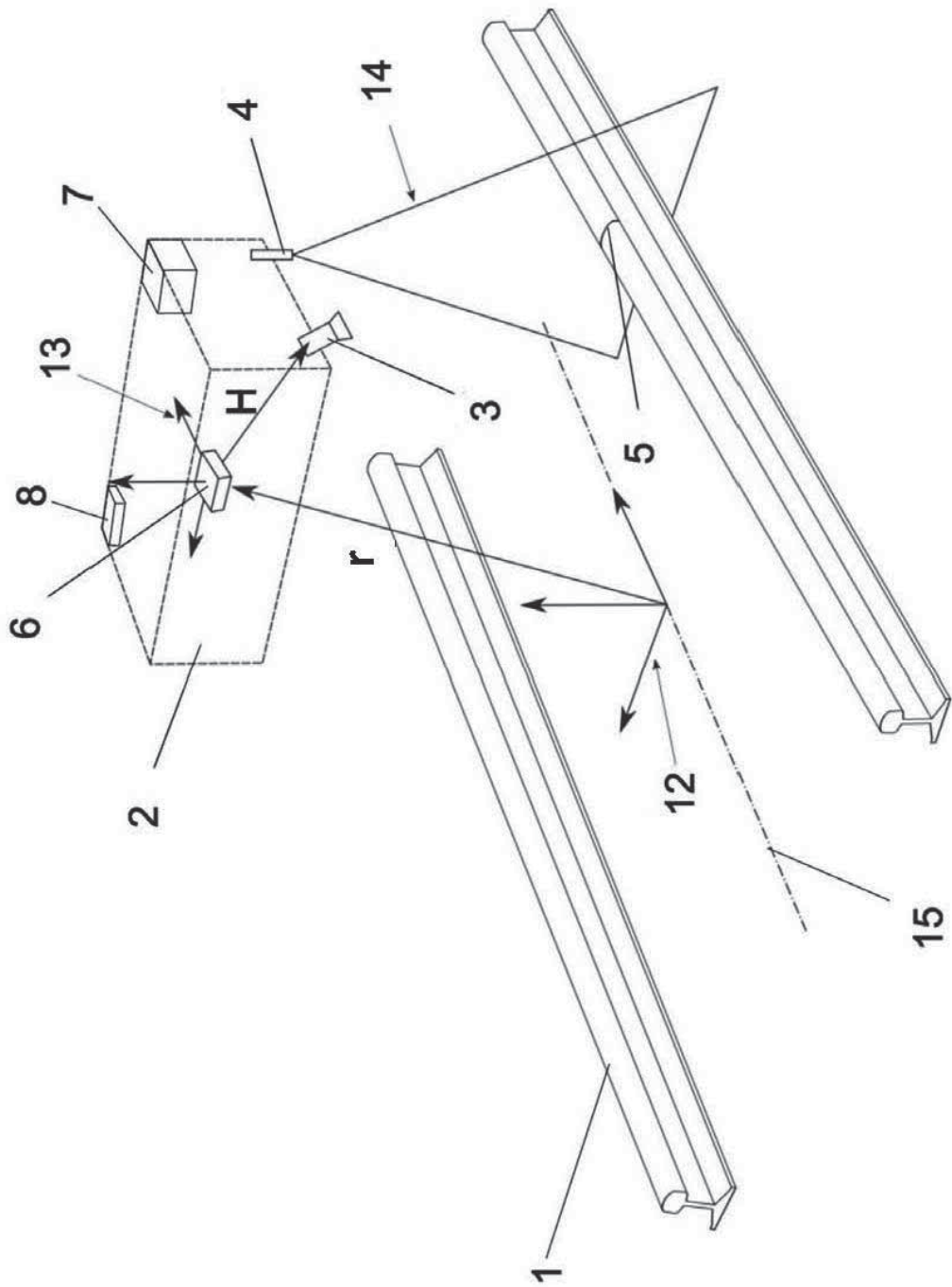


Fig. 4

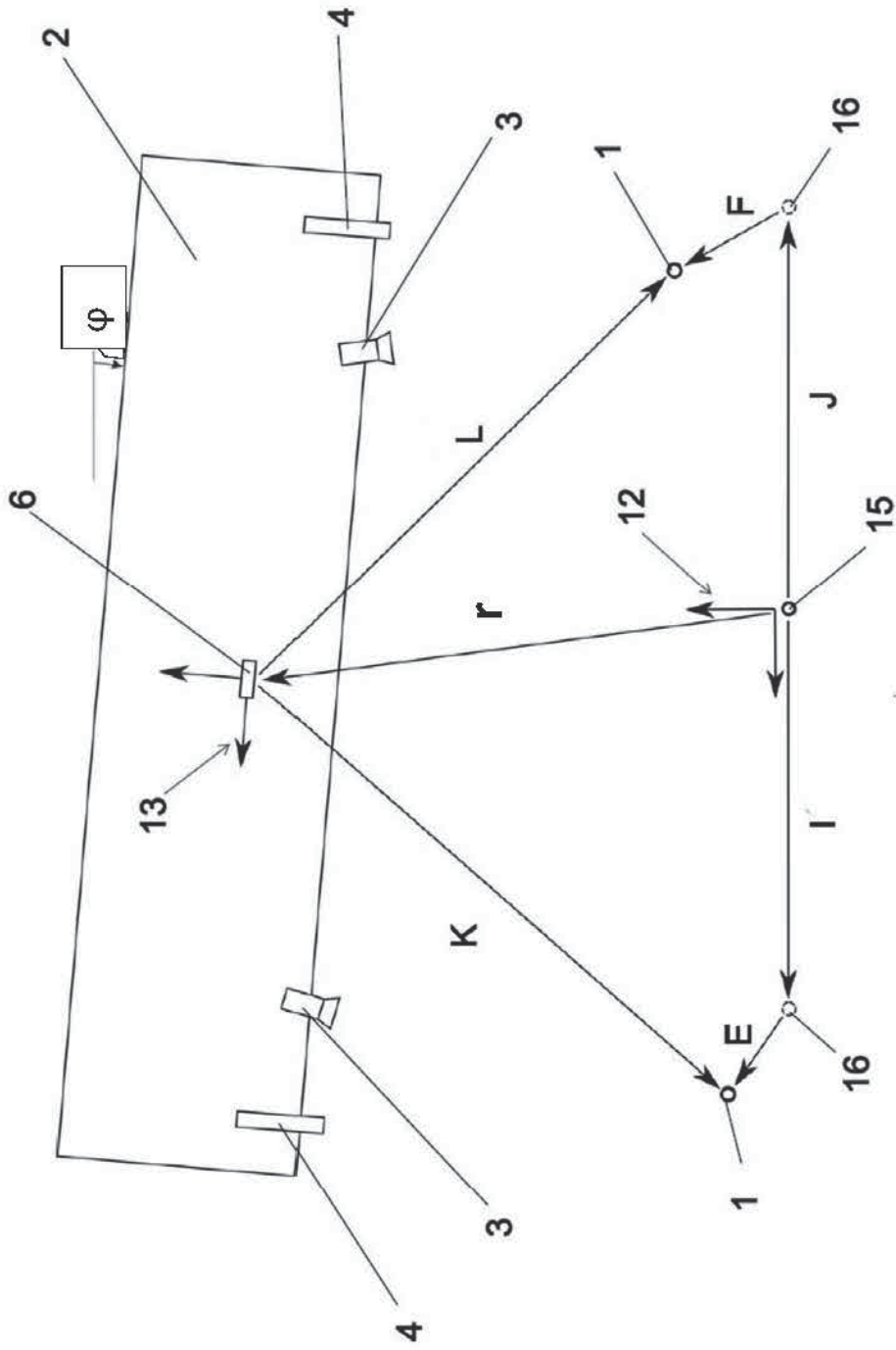


Fig. 5

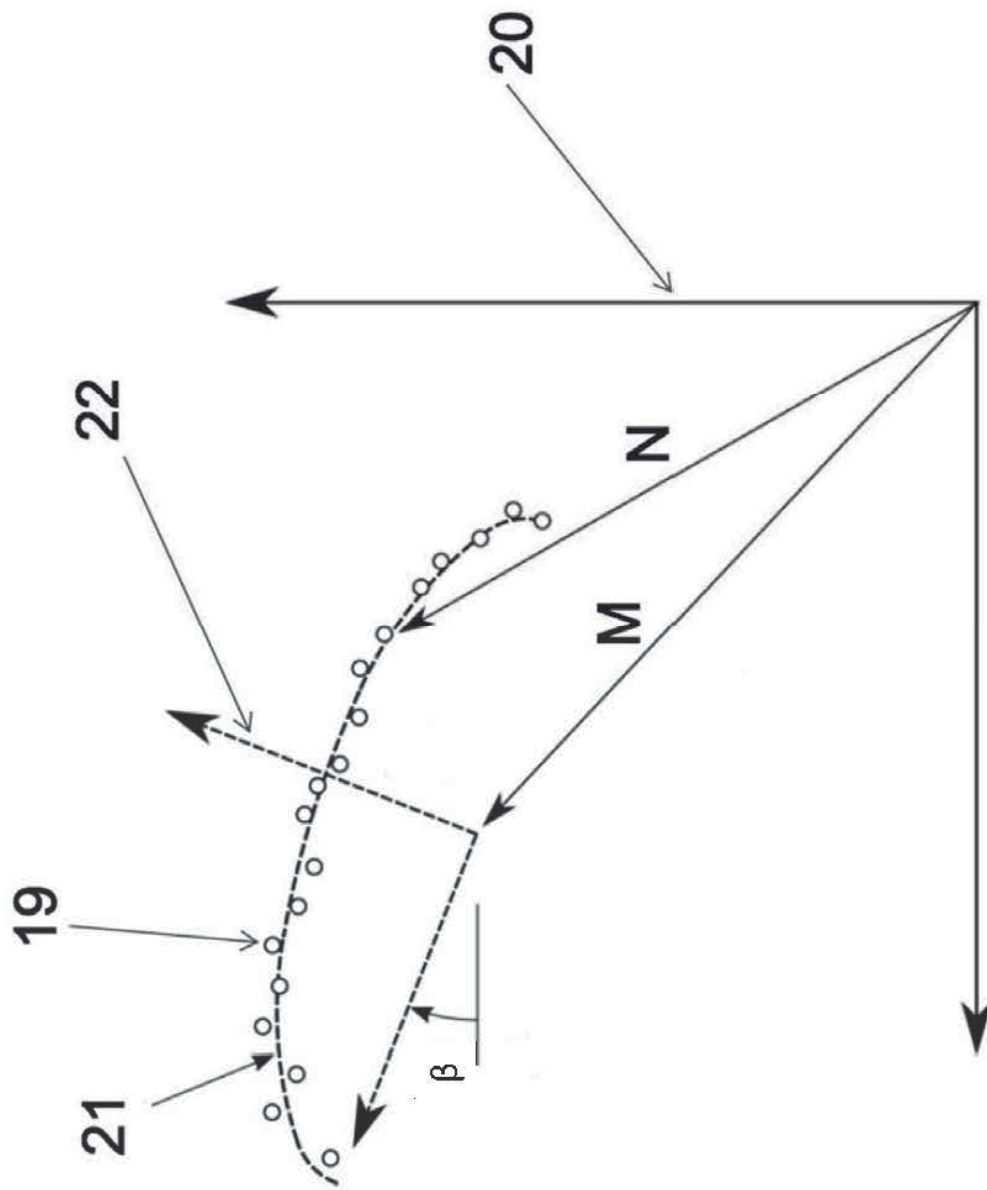


Fig. 6

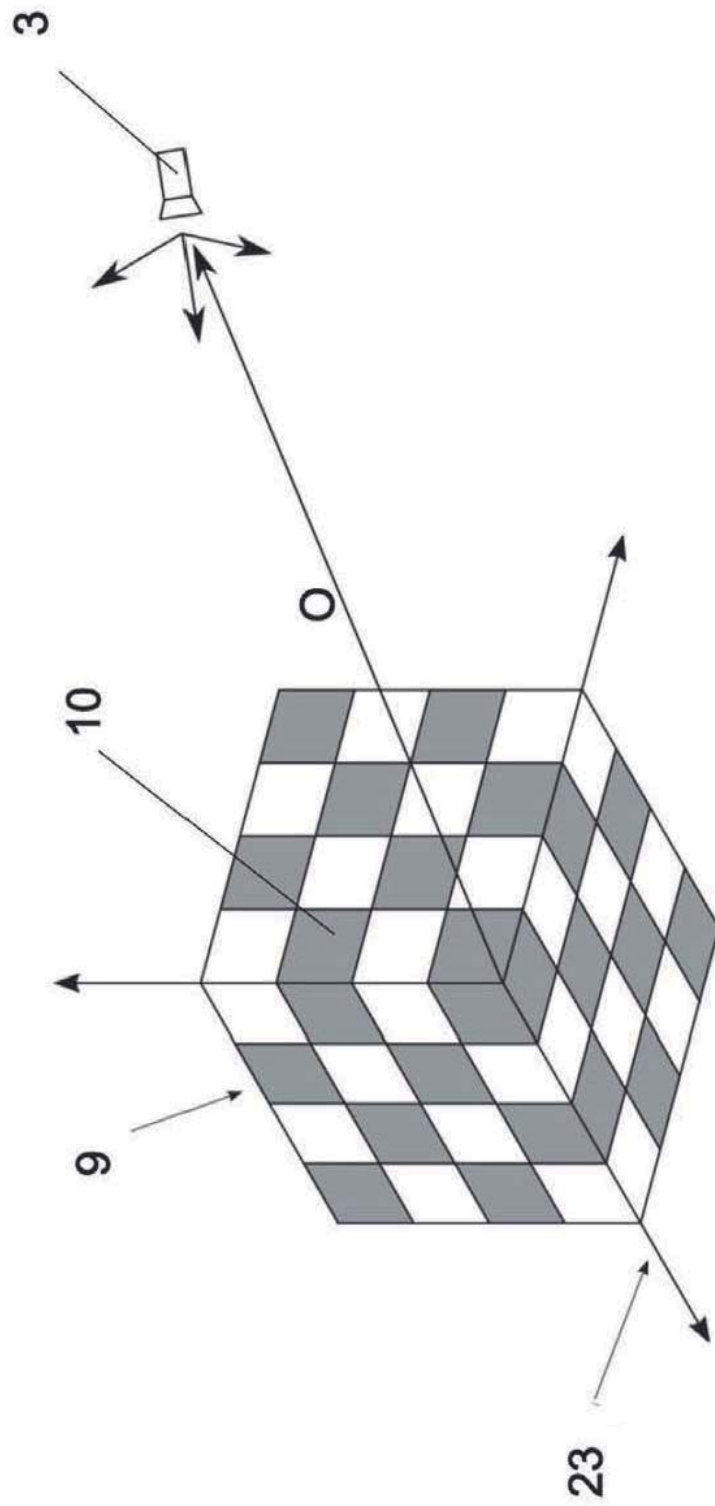


Fig. 7

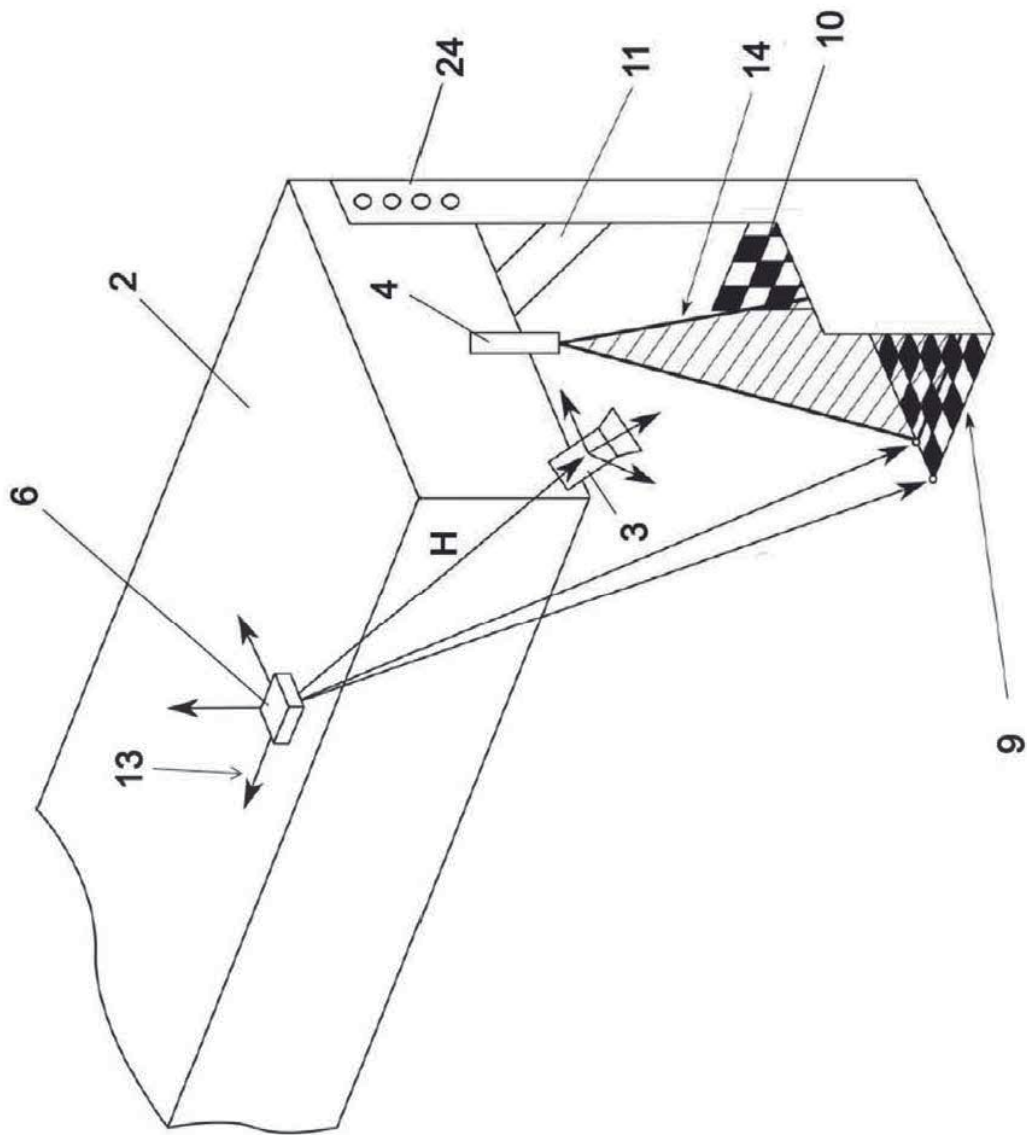


Fig. 8

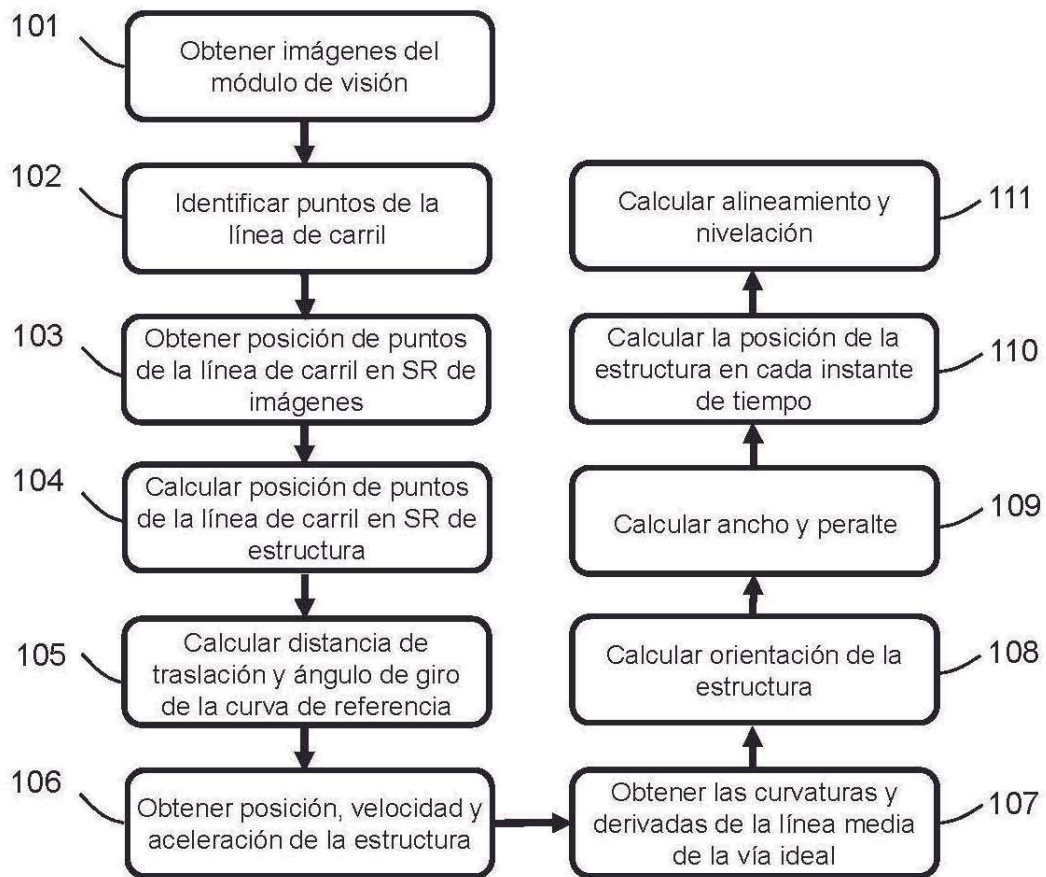


Fig. 9