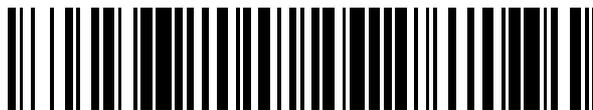


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 526 135**

21 Número de solicitud: 201330794

51 Int. Cl.:

E21D 9/00 (2006.01)

G05D 1/10 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

30.05.2013

43 Fecha de publicación de la solicitud:

07.01.2015

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)
Parque Científico Universidad Carlos III, Leganés
Tecnológico, Avenida Gregorio Peces Barba, 1
28918 Leganés (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**JARDÓN HUETE, Alberto;
MARTÍNEZ DE LA CASA DÍAZ, Santiago;
GONZÁLEZ VÍTORES, Juan Carlos;
BALAGUER BERNALDO DE QUIRÓS, Carlos;
PORTERO HERNÁNDEZ, Rafael y
MARTÍ CARDONA, Marc**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO PARA LA VERIFICACIÓN DE LA TRAYECTORIA DE UN TÚNEL**

57 Resumen:

Sistema y método para la verificación de la trayectoria de un túnel.

La invención proporciona un sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1). Este sistema comprende, al menos una superficie de recepción adecuada para la recepción de luz láser (3, 13), sensores (4, 14) adecuados para capturar datos sobre la incidencia del láser (9) en la al menos una superficie adecuada para la recepción de luz láser (3, 13), un soporte (5, 15) adecuado para sujetar la al menos una superficie de recepción (3, 13), y medios de procesamiento de información (6). Los sensores (4, 14) están adaptados para transmitir los datos sobre la incidencia del láser (9) a los medios de procesamiento de la información (6), y el soporte (5, 15) puede moverse en varios grados de libertad lineales y/o angulares, estando adaptado para transmitir información sobre su movimiento a los medios de procesamiento de la información (6). La invención también comprende un método de verificación de la trayectoria de un túnel.

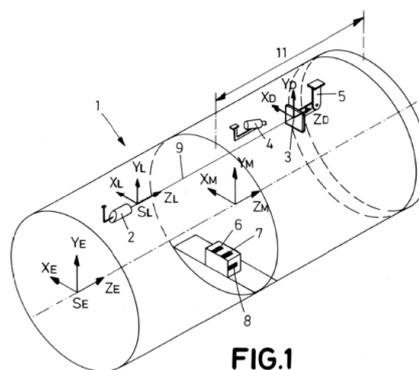


FIG.1

DESCRIPCIÓN

SISTEMA Y MÉTODO PARA LA VERIFICACIÓN DE LA TRAYECTORIA DE UN TÚNEL

5 OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención está dirigida a un sistema y un método para la verificación de la trayectoria de un túnel, ya sea durante su realización o mediante una comprobación posterior.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Las máquinas tuneladoras son empleadas para la realización de túneles bajo tierra. Debido a las grandes exigencias mecánicas de este trabajo y a la gran distorsión (vibraciones, ruido, polvo) que genera en los sistemas que la acompañan, es muy corriente que la máquina cometa desviaciones con respecto al itinerario trazado como objetivo. Además, una vez realizado el túnel, las alternativas disponibles para verificar la trayectoria final del túnel presentan algunas desventajas, como se verá a continuación.

15

20

En lo relativo al guiado de las tuneladoras, existen diversas soluciones en el estado de la técnica para llevar a cabo este guiado. La más conocida, descrita por la patente US 5.501.548, consiste en la colocación de un conjunto de espejos para detectar la incidencia de un haz de luz láser, junto con una cámara que monitorice esta incidencia. Mediante la comparación de la incidencia recibida con la trayectoria esperada, se obtiene la corrección que necesitaría la máquina para seguir dicha trayectoria deseada. Una solución parecida se describe en US 5.529.437, donde en lugar de los espejos, se utilizan un par de superficies, una translúcida y otra opaca, a modo de diana, para recibir la incidencia del láser. Una solución mejorada la presenta el sistema "Basic System ZED 26" de la empresa ZED Tunnel Guidance Ltd. Este dispositivo incluye un soporte para la diana que recibe la incidencia del láser tal que permite su montaje y desmontaje de manera más rápida.

25

30

Estas soluciones presentan algunos problemas. El problema más importante es la necesidad de detener el trabajo cada vez que, debido a la desviación de la máquina o al radio de curvatura de la trayectoria a seguir, la incidencia del láser se sale fuera del campo de alcance del mecanismo de recepción del láser. Esta parada incluye la recalibración de las referencias por parte del topógrafo y requiere que durante este periodo el funcionamiento de la tuneladora esté interrumpido. Esto retrasa notoriamente la marcha de la obra, y supone

35

una pérdida de rendimiento importante de estas máquinas tuneladoras.

En cuanto al replanteo de túneles realizados mediante tuneladoras, se conoce el uso de la topografía clásica. No obstante, este método se ha descartado en el ámbito que nos ocupa, debido a la lentitud en la presentación de la información y a la falta de visibilidad necesaria para realizar un replanteo eficaz.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

10 La presente invención propone una solución a los problemas anteriores mediante un sistema de verificación de la trayectoria de un túnel según la reivindicación 1 y un método de verificación de la trayectoria de un túnel según la reivindicación 11. En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones preferidas de la invención.

15 Un primer aspecto inventivo proporciona un sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel, que comprende:

al menos una primera superficie de recepción, adecuada para la recepción de luz láser,

al menos un sensor adecuado para capturar datos sobre la incidencia de una señal emitida de luz láser en la al menos una primera superficie de recepción,

un soporte adecuado para sujetar la al menos una primera superficie de recepción, y medios de procesamiento de información;

donde

el al menos un sensor está fijado solidariamente con el soporte y/o con la al menos una primera superficie de recepción, y está adaptado para transmitir los datos sobre la incidencia de la señal emitida de luz láser a los medios de procesamiento de la información, y

el soporte está adaptado para moverse en varios grados de libertad lineales y/o angulares bajo la acción de un actuador, estando el actuador adaptado para transmitir información sobre el movimiento del soporte a los medios de procesamiento de la información.

Ventajosamente, esta configuración permite que la superficie de recepción pueda ser desplazada en el caso de que la trayectoria que sigue se aleje demasiado del haz fijo de luz láser, que siempre es emitido según la misma recta, retrasando así el momento en el que es necesario parar la maquinaria y volver a montar el sistema de emisión de luz láser en otra

posición de referencia porque el haz se ha salido del rango de tolerancia de la superficie de recepción.

5 En una realización particular, el al menos un sensor es una cámara adecuada para capturar imágenes de la incidencia de la señal emitida de luz láser sobre la al menos una primera superficie de recepción.

10 En una realización particular, los sensores están integrados en la primera superficie de recepción, configurando así esta superficie como fotosensible.

15 En una realización particular, el sistema comprende adicionalmente una segunda superficie de recepción que forma junto con la primera superficie de recepción una diana de puntería, siendo ambas superficies de recepción primera y segunda sustancialmente paralelas, estando separadas entre sí una distancia z_1 , y el soporte está adaptado para mover la diana de puntería en varios grados de libertad lineales o angulares.

20 Ventajosamente, esta realización permite tener dos medidas con una sola emisión de luz láser, ya que el haz incide sobre la primera superficie y sobre la segunda. Como la distancia entre ambas superficies es conocida y la posición relativa de las mismas entre sí no cambia, se pueden obtener datos sobre la orientación de esta diana de puntería.

25 El soporte es cualquier tipo de soporte capaz de sostener la diana de puntería en una posición fija, y está adaptado para mover la diana de puntería en varios grados de libertad lineales o angulares. En una realización particular, este soporte puede ser un sistema de rodillos capaz de mover la diana de puntería en dos grados de libertad angulares.

30 En una realización particular, el soporte es un brazo robótico adecuado para mover la primera superficie de recepción en los tres grados de libertad lineales y en al menos otro grado de libertad angular.

En una realización particular, la al menos una primera superficie de recepción, los sensores y el soporte se encuentran montados en una máquina tuneladora.

35 Ventajosamente, esta realización permite llevar a cabo la comprobación de la trayectoria de un túnel que se está realizando, mientras la máquina tuneladora está perforando dicho túnel.

En una realización particular, el sistema comprende adicionalmente medios de actuación sobre la máquina tuneladora.

- 5 Ventajosamente, esta realización permite enviar información a la máquina tuneladora para que corrija la trayectoria que está siguiendo en base a los datos obtenidos por las superficies de recepción.

10 En una realización particular, el sistema comprende adicionalmente un sistema de medición de avance longitudinal de la máquina tuneladora.

Ventajosamente, esta realización permite calcular la posición de la máquina tuneladora, de modo que los datos sobre corrección de trayectoria se pueden hacer en base al recorrido real y no a un recorrido estimado.

15

En una realización particular, el sistema comprende adicionalmente medios de guiado a lo largo de los cuales el soporte se puede desplazar

20 En una realización particular, los medios de guiado son un carril, que recorre la periferia de una sección transversal de la máquina tuneladora.

En una realización particular, la al menos una superficie de recepción, los sensores y el soporte se encuentran dentro de un sistema móvil de desplazamiento adecuado para recorrer un túnel existente.

25

Ventajosamente, esta realización permite comprobar la trayectoria de un túnel ya realizado, montando el sistema, no en la tuneladora, sino en un móvil que recorra el túnel.

30 En una realización particular, el sistema comprende adicionalmente un sistema de emisión de luz láser (2).

En un segundo aspecto inventivo, la invención proporciona un método de verificación de la trayectoria de un túnel, que comprende las etapas de:

- 35 (a) emitir una señal de luz láser,
(b) capturar primeros datos d_0 sobre la incidencia de dicha señal en una primera superficie de recepción, en forma de primera posición p_0 relativa a un punto c_1 definido

como centro de dicha primera superficie de recepción,

(c) mover la primera superficie de recepción hasta que la incidencia de la señal emitida de luz láser coincida en el punto c_1 ,

5 (d) capturar segundos datos d_1 sobre la incidencia de dicha señal en una segunda superficie de recepción paralela a la primera y situada a una distancia z_1 de la primera, en forma de primera posición p_1 relativa a un punto c_2 definido como centro de dicha segunda superficie de recepción,

(e) mover la segunda superficie de recepción hasta que la incidencia de la señal emitida de luz láser coincida en el punto c_2 , y

10 (f) procesar los datos d_0 y d_1 para calcular la desviación de la trayectoria real del túnel respecto a una trayectoria ideal predeterminada.

En una realización particular, la segunda superficie de recepción corresponde a la primera superficie de recepción desplazada una distancia z_1 respecto a su posición al término de la etapa (c) en una dirección perpendicular al plano de dicha superficie.

En otra realización particular, la segunda superficie de recepción es una superficie distinta a la primera superficie de recepción. En una realización particular, ambas superficies de recepción se encuentran unidas solidariamente.

20 En una realización particular, el movimiento de la primera superficie de recepción en la etapa (c) se realiza manteniendo dicha primera superficie en el plano que la contiene y el movimiento de la segunda superficie de recepción en la etapa (e) se realiza manteniendo dicha segunda superficie en el plano que la contiene.

25 En una realización particular, el método comprende adicionalmente una etapa de desplazamiento de la primera superficie de recepción una distancia z_1 respecto a su posición al término de la etapa (e) en dirección perpendicular al plano de dicha superficie de recepción pero en sentido inverso al anterior desplazamiento.

30 En una realización particular, en la etapa (c), el movimiento de la primera superficie de recepción se lleva a cabo girando solidariamente el conjunto formado por la primera superficie de recepción y la segunda superficie de recepción tomando como origen del giro la posición de un soporte adaptado para actuar sobre dicho conjunto.

35 En una realización particular, en la etapa (e), el movimiento de la segunda superficie de

recepción se lleva a cabo girando solidariamente el conjunto formado por la primera superficie de recepción y la segunda superficie de recepción tomando como origen del giro la posición del soporte adaptado para actuar sobre dicho conjunto.

- 5 En una realización particular, el método comprende adicionalmente unas etapas de calibración previas a la etapa (a):
- posicionar un sistema de emisión de luz láser,
 - posicionar una primera superficie de recepción, adecuada para la recepción de luz láser, estando dicha superficie de recepción soportada por un soporte móvil que permite
 - 10 desplazar y/u orientar dicha primera superficie de recepción según varios grados de libertad lineales y/o angulares,
 - emitir una señal de calibración de luz láser,
 - actuar sobre el soporte móvil de modo que la señal de calibración quede situada en el centro de la superficie de recepción.

15

Todas las características y/o las etapas de métodos descritas en esta memoria (incluyendo las reivindicaciones, descripción y dibujos) pueden combinarse en cualquier combinación, exceptuando las combinaciones de tales características mutuamente excluyentes.

20 **DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

Estas y otras características y ventajas de la invención, se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción detallada que sigue de una forma preferida de realización, dada únicamente a título de ejemplo ilustrativo y no limitativo, con referencia a

25 las figuras que se acompañan.

- Figura 1 En esta figura se muestra un esquema de una primera realización de un sistema según la invención, con la variante de diana de recepción y brazo robótico.
- Figuras 2a-2e En estas figuras se ilustran las etapas de un método de verificación de
- 30 trayectoria según la invención, en el que se observan los movimientos de la diana de recepción.
- Figura 3 En esta figura se muestra un esquema de una segunda realización de un sistema según la invención con la variante de diana de puntería y sistema de rodillos.
- 35 Figuras 4a-4b En estas figuras se ilustran las etapas de un método de verificación de trayectoria según la invención, en el que se observan los movimientos de la

diana de puntería.

Figura 5 En esta figura se muestra un esquema de una tercera realización de un sistema según la invención, en la versión de dispositivo portátil.

5 **EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

La Figura 1 muestra un sistema de verificación de la trayectoria de un túnel (1) según un ejemplo particular de realización de la invención. En este ejemplo, el sistema de verificación se encuentra asociado a una máquina tuneladora (11). Este sistema cuenta en esta
10 realización particular con los siguientes elementos:

- una diana de recepción (3),
- una cámara (4),
- un brazo robótico (5) que soporta la diana de recepción (3), y
- 15 - medios de procesamiento de información (6)
- medios de medición del avance (7) de la máquina tuneladora
- medios de actuación sobre la trayectoria (8) de la máquina tuneladora;

El funcionamiento básico de este sistema es el siguiente: la máquina tuneladora (11)
20 comienza a funcionar llevando a cabo la perforación del túnel. A medida que avanza, lleva solidario consigo el brazo robótico (5) que soporta la diana de recepción (3). Por su parte, un sistema de emisión de luz láser (2), emite una señal de luz láser (9) hacia la diana de recepción (3). El sistema de emisión de luz láser (2) no se mueve con la máquina tuneladora (11), sino que permanece fijo durante intervalos de tiempo, hasta que se pierde la señal de
25 luz láser (9) y es necesario recolocararlo. La cámara (4), que en una realización particular se mueve solidariamente con el brazo robótico (5), captura la incidencia de la señal de luz láser (9) sobre la diana de recepción (3) y envía los datos a los medios de procesamiento de la información (6).

30 En otra realización particular, la cámara (4) se mueve solidariamente con la diana de recepción (3). En otra realización particular, la cámara (4) tiene su base fijada a la tuneladora y se mueve solidariamente con ella.

En una realización particular, el sistema de emisión de luz láser (2) es un sistema de
35 emisión de luz láser verde. Ventajosamente, este sistema tiene un alcance mayor que los sistemas de emisión de láser rojo. Esto permite que la tuneladora (11) pueda avanzar más

recorrido antes de que la diana de recepción (3) que lleva solidaria pierda la señal de luz láser (9) emitida por el sistema de emisión de luz láser (2).

La diana de recepción (3) es un tipo de superficie de recepción adecuada para recibir la
 5 incidencia de la señal emitida de luz láser (9). En una realización, esta diana de recepción (3) es una superficie pasiva, que ofrece mayor simplicidad respecto a las dianas fotosensibles (i.e., aquellas que comprenden elementos sensibles a la señal de luz láser (9)) que se emplean en el estado de la técnica.

10 El brazo robótico (5) puede moverse en varios grados de libertad lineales y angulares, y está movido por un actuador que está adaptado para transmitir información sobre su movimiento a los medios de procesamiento de la información (6).

Además de estos elementos, también se observan en la Figura 1 una serie de sistemas de
 15 referencia asociados a algunos de los elementos que componen el sistema de verificación (1), de la siguiente manera:

- un sistema de referencia global S_E , asociado a tierra,
- un sistema de referencia láser S_L , asociado al sistema de emisión de luz láser (2),
- 20 - un sistema de referencia máquina S_M , asociado a la máquina tuneladora (11), y
- un sistema de referencia diana S_D , asociada a la diana de recepción (3).

El eje z_E del sistema de referencia global S_E está orientado según la dirección de avance
 25 inicial de la máquina tuneladora, el eje x_E es perpendicular a él y está contenido en un plano paralelo a la horizontal del terreno y el eje y_E completa el triedro (x_E, y_E, z_E).

El eje z_L del sistema de referencia láser S_L está orientado según la dirección de emisión de
 la señal emitida de luz láser (9), el eje x_L es perpendicular a él y está contenido en un plano
 paralelo a la horizontal del terreno y el eje y_L completa el triedro (x_L, y_L, z_L).

30 El eje z_M del sistema de referencia máquina S_M está orientado según la dirección de avance de la máquina tuneladora (11), el eje x_M es perpendicular a él y está contenido en un plano paralelo a la horizontal del terreno y el eje y_M completa el triedro (x_M, y_M, z_M).

35 El eje z_D del sistema de referencia diana S_D está orientado según la dirección perpendicular a la diana de recepción (3), los ejes x_D e y_D están contenidos en la diana de recepción (3).

En una realización particular del sistema, en lugar de existir una cámara (4), la diana de recepción (3) presenta una superficie fotosensible con sensores integrados en ella adaptados para capturar los datos sobre la incidencia de la señal emitida de luz láser (9) sobre dicha diana de recepción (3).

Según se puede observar en las figuras 2a-2e, un método de verificación de la trayectoria de un túnel (1) de acuerdo a esta realización, comprende las siguientes etapas:

- 10 (a) el sistema de emisión de luz láser (2) emite una señal de luz láser (9),
- (b) esta señal emitida de luz láser (9) es recibida por la diana de recepción (3), y la cámara (4) captura una primera posición p_0 de esa señal emitida de luz láser (9); esta posición es transmitida a los medios de procesamiento de información (6) en forma de coordenadas (x_0, y_0) relativas a un punto c_1 de dicha diana de recepción (3) que se define como su centro (figura 2a),
- 15 (c) el brazo robótico (5) desplaza la diana de recepción (3) en el plano que la contiene hasta que la incidencia de la señal emitida de luz láser (9) coincida en el punto c_1 (figura 2b),
- (d) el brazo robótico (5) desplaza la diana de recepción (3) una distancia z_1 respecto a su posición al término de la etapa (c) en una dirección paralela al eje longitudinal z_M (figura 2c)
- 20 (e) la cámara (4) captura una segunda posición p_1 sobre la incidencia de la señal láser (9) en la diana de recepción (3); esta posición es transmitida a los medios de procesamiento de información (6) en forma de coordenadas (x_1, y_1) relativa a un punto c_1 definido como centro de dicha diana de recepción (3) (figura 2c),
- 25 (f) el brazo robótico (5) desplaza la diana de recepción (3) en el plano que la contiene hasta que la incidencia de la señal emitida de luz láser (9) coincida en el punto c_1 , (figura 2d)
- (g) se procesan las coordenadas (x_0, y_0) y (x_1, y_1) para calcular la desviación de la trayectoria real del túnel respecto a una trayectoria ideal predeterminada, y
- 30 (h) el brazo robótico (5) desplaza la diana de recepción (3) una distancia z_1 respecto a su posición al término de la etapa (f) en dirección paralela al eje longitudinal z_M , pero en sentido inverso al del desplazamiento de la etapa (d) (figura 2e).

35 En una realización particular del método, los medios de procesamiento de la información (6) llevan a cabo el cálculo de unos ángulos α y β , siendo:

$$\alpha = \text{atan2}(dy, z1), \quad \text{siendo } dy = y_1 - y_0$$

$$\beta = \text{atan2}(dx, z1), \quad \text{siendo } dx = x_1 - x_0$$

La función atan2 es una función conocida para el experto en la materia, se define de modo que atan2(x,y) es el ángulo, en radianes, que se encuentra entre el eje x positivo de un plano y el punto dado por las coordenadas (x,y) contenido en él. El ángulo será positivo para y positivo y será negativo para y negativo. En términos matemáticos, atan2 calcula el valor principal de la función argumento del número complejo x+iy.

En una realización particular de este método de verificación, antes de comenzar el movimiento de la máquina tuneladora (11) se lleva a cabo una calibración del sistema, mediante las siguientes etapas:

- posicionar un sistema de emisión de luz láser (2),
- posicionar una diana de recepción (3), adecuada para la recepción de luz láser, estando dicha diana de recepción (3) soportada por un brazo robótico (5) que permite desplazar y/u orientar dicha diana de recepción (3) según varios grados de libertad lineales y/o angulares,
- emitir una señal de calibración de luz láser,
- actuar sobre el brazo robótico (5) de modo que la señal de calibración esté situada en el centro de la diana de recepción (3).

En una realización particular de este método, la diana de recepción (3) se ha calibrado para que al comienzo del movimiento de la tuneladora (11) la posición del plano de dicha diana de recepción (3) sea perpendicular al eje de la tuneladora (11).

En una realización particular de este método, los medios de procesamiento de la información (6) calculan la posición del sistema de referencia máquina S_M con respecto al sistema de referencia global S_E .

La relación entre el sistema de referencia global S_E y el sistema de referencia láser S_L es conocida, ya que el láser se posiciona en puntos conocidos y permanece fijo durante todas las mediciones hasta que el sistema de emisión de luz láser (2) necesita una nueva recolocación y se para el procedimiento para trasladarlo y posicionarlo en otro punto fijo. Por lo tanto, la matriz de transformación entre ambos sistemas de referencia es la de una traslación pura.

Por su parte, la posición del sistema de referencia diana S_D respecto al sistema de referencia máquina S_M viene determinada por la cinemática inversa de las traslaciones y rotaciones que haya realizado el brazo robótico (5) en la diana de recepción (3). La posición relativa del sistema de referencia diana S_D con respecto al sistema de referencia láser S_L será calculada por los datos de la cámara (4) y los ángulos α y β . A partir de estos datos, se pueden obtener las matrices de transformación de un sistema de coordenadas a otro: de S_M a S_D , de S_D a S_L y de S_L a S_E , con lo cual se tendría la orientación de S_M respecto a S_E .

La figura 3 muestra un segundo ejemplo de realización de la invención, en el que el sistema formado por el brazo robótico (5) y la diana de recepción (3) son sustituidos respectivamente por un sistema de rodillos (15) y una diana de puntería (13). Además, se añade una segunda cámara (14) al sistema.

Los sistemas de referencia son los mismos que los que se describieron para el sistema descrito en la Figura 1.

La diana de puntería (13) es un dispositivo que comprende dos superficies de recepción (31, 32) que se mantienen paralelas y separadas una distancia z_1 . La primera superficie de recepción (31) es una superficie que permite ser atravesada por la señal emitida de luz láser (9) sin provocar ninguna desviación en el haz, pero que a la vez permite captar el punto de incidencia de dicha señal de luz láser (9) sobre ella. La segunda superficie de recepción (32) también permite captar el punto de incidencia de dicha señal de luz láser (9) sobre ella. Por ello se añade una segunda cámara (14) al sistema, de modo que la primera cámara (4) recoja las imágenes de la primera superficie de recepción (31) y la segunda cámara (14) recoja las imágenes de la segunda superficie de recepción (32).

El sistema de rodillos (15) permite mover la diana de puntería (13) según dos ángulos θ y δ definidos por los ejes x_D e y_D del sistema de referencia diana S_D .

Las figuras 4a-4b ilustran las etapas realizadas para llevar a cabo la verificación de la trayectoria de un túnel por un sistema de verificación de la trayectoria de un túnel (1) de acuerdo a esta realización:

- (a) el sistema de emisión de luz láser (2) emite una señal de luz láser (9),
- (b) esta señal emitida de luz láser (9) es recibida por la diana de puntería (13), y las cámaras (4, 14) capturan una primera posición p_0 de esa señal emitida de luz láser (9) en

ambas superficies de recepción (31, 32). Estas posiciones son transmitidas a los medios de procesamiento de información (6) en forma de coordenadas (x_{01}, y_{01}) y (x_{02}, y_{02}) relativas las primeras a un punto c11 de la primera superficie de puntería (31) que se define como su centro y relativas las segundas a un punto c12 de la segunda superficie de puntería (32) que se define como su centro (figura 4a),

(c) el sistema de rodillos (15) mueve la diana de puntería (13) según sus grados de libertad hasta que la incidencia de la señal emitida de luz láser (9) coincida en el punto c11 (figura 4b), y

(d) se procesan las coordenadas (x_{01}, y_{01}) y (x_{02}, y_{02}) para calcular la desviación de la trayectoria real del túnel respecto a una trayectoria ideal predeterminada.

En una realización particular de este método de verificación, antes de comenzar el movimiento de la máquina tuneladora (11) se lleva a cabo una calibración del sistema, mediante las siguientes etapas:

posicionar un sistema de emisión de luz láser (2),
posicionar una diana de puntería (13) que comprende dos superficies de recepción (31, 32), soportada por un sistema de rodillos (15) que permite desplazar y/u orientar dicha diana de puntería (13) según varios grados de libertad, al menos dos grados de libertad angulares,

emitir una señal de calibración de luz láser,
actuar sobre el sistema de rodillos (15) de modo que la diana de puntería (13) queda orientada según la señal de calibración de luz láser.

En una realización particular de este método, los medios de procesamiento de la información (6) calculan la posición del sistema de referencia máquina S_M con respecto al sistema de referencia global S_E .

La relación entre el sistema de referencia global S_E y el sistema de referencia láser S_L es conocida, ya que el láser se posiciona en puntos conocidos y permanece fijo durante todas las mediciones hasta que el sistema de emisión de luz láser (2) necesita una nueva recolocación y se para el procedimiento para trasladarlo y posicionarlo en otro punto fijo. Por lo tanto, la matriz de transformación entre ambos sistemas de referencia es la de una traslación pura.

Por su parte, la posición del sistema de referencia diana S_D respecto al sistema de referencia máquina S_M viene determinada por la cinemática inversa de las rotaciones que

haya realizado el sistema de rodillos (15) en la diana de puntería (13). La posición relativa del sistema de referencia diana S_D con respecto al sistema de referencia láser S_L será calculada por los datos de las cámaras (4, 14). A partir de estos datos, se pueden obtener las matrices de transformación de un sistema de coordenadas a otro: de S_M a S_D , de S_D a S_L y de S_L a S_E , con lo cual se tendría la orientación de S_M respecto a S_E .

La Figura 5 muestra otra realización particular de un sistema de verificación de túnel según la invención. Esta realización es adecuada para verificar la trayectoria de un túnel que ya está construido. En esta realización, la diana de recepción (3), la cámara (4), el brazo robótico (5), los medios de procesamiento de la información (6) y los medios de medición del avance (7) se encuentran dentro de un sistema móvil de desplazamiento adecuado para recorrer el túnel. En una realización particular, el brazo robótico (5) y la diana de recepción (3) son sustituidos por un sistema de rodillos (15) y una diana de puntería (13). En una realización particular, se añade una segunda cámara (14) al sistema para capturar imágenes relativas a la segunda superficie de puntería (32).

REIVINDICACIONES

1.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1), caracterizado por que comprende:

5 al menos una primera superficie de recepción (3, 31), adecuada para la recepción de luz láser,

 al menos un sensor (4, 14) adecuado para capturar datos sobre la incidencia de una señal emitida de luz láser (9) en la al menos una primera superficie de recepción (3, 31),

10 un soporte (5, 15) adecuado para sujetar la al menos una primera superficie de recepción (3, 31), y

 medios de procesamiento de información (6);

donde

 el al menos un sensor (4, 14) está fijado solidariamente con el soporte (5, 15) y/o con la al menos una primera superficie de recepción (3, 31), y está adaptado para transmitir los
15 datos sobre la incidencia de la señal emitida de luz láser (9) a los medios de procesamiento de la información (6), y

 el soporte (5, 15) está adaptado para moverse en varios grados de libertad lineales y/o angulares bajo la acción de un actuador, estando el actuador adaptado para transmitir información sobre el movimiento del soporte (5, 15) a los medios de procesamiento de la
20 información (6).

2.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1) según la reivindicación 1, caracterizado por que el al menos un sensor (4, 14) es una cámara adecuada para capturar imágenes de la incidencia de la señal emitida de luz láser (9) sobre la al menos una primera
25 superficie de recepción (3, 13).

3.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1) según la reivindicación 1, caracterizado por que los sensores (4, 14) están integrados en la primera superficie de recepción (3, 31), configurando así esta superficie (3, 31) como fotosensible.
30

4.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que

 Comprende adicionalmente una segunda superficie de recepción (32) que forma junto con la primera superficie de recepción (31) una diana de puntería (13), siendo ambas
35 superficies de recepción primera y segunda sustancialmente paralelas, estando separadas entre sí una distancia z_1 , y

el soporte está adaptado para mover la diana de puntería (13) en varios grados de libertad lineales o angulares.

- 5 5.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el soporte es un brazo robótico (5) adecuado para mover la primera superficie de recepción (3, 31) en los tres grados de libertad lineales y en al menos otro grado de libertad angular.
- 10 6.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la al menos una primera superficie de recepción (3, 31), los sensores (4, 14) y el soporte (5, 15) se encuentran montados en una máquina tuneladora (11).
- 15 7.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1) según la reivindicación anterior caracterizado por que comprende adicionalmente medios de actuación (8) sobre la máquina tuneladora (11).
- 20 8.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1) según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, caracterizado por que comprende adicionalmente un sistema de medición de avance longitudinal (7) de la máquina tuneladora (11).
- 25 9.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende adicionalmente medios de guiado a lo largo de los cuales el soporte (5, 15) se puede desplazar.
- 10.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1) según la reivindicación anterior en la que los medios de guiado son un carril que recorre la periferia de una sección transversal de la máquina tuneladora (11).
- 30 11.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde la al menos una superficie de recepción (3, 13), los sensores (4, 14) y el soporte (5, 15) se encuentran dentro de un sistema móvil de desplazamiento adecuado para recorrer un túnel existente.
- 35 12.- Sistema para la verificación de la trayectoria de un túnel (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende adicionalmente un sistema de emisión de luz

láser (2).

13.- Método de verificación de la trayectoria de un túnel, caracterizado por que comprende las etapas de:

5 (a) emitir una señal de luz láser (9),

(b) capturar primeros datos d_0 sobre la incidencia de dicha señal en una primera superficie de recepción (3, 31), en forma de primera posición p_0 relativa a un punto c_1 definido como centro de dicha primera superficie de recepción (3, 31),

10 (c) mover la primera superficie de recepción (3, 31) hasta que la incidencia de la señal emitida de luz láser (9) coincida en el punto c_1 ,

(d) capturar segundos datos d_1 sobre la incidencia de dicha señal en una segunda superficie de recepción paralela a la primera y situada a una distancia z_1 de la primera, en forma de primera posición p_1 relativa a un punto c_2 definido como centro de dicha segunda superficie de recepción,

15 (e) mover la segunda superficie de recepción hasta que la incidencia de la señal emitida de luz láser (9) coincida en el punto c_2 , y

(f) procesar los datos d_0 y d_1 para calcular la desviación de la trayectoria real del túnel respecto a una trayectoria ideal predeterminada.

20 14.- Método de verificación de la trayectoria de un túnel según la reivindicación anterior, en el que el movimiento de la primera superficie de recepción en la etapa (c) se realiza manteniendo dicha primera superficie en el plano que la contiene y el movimiento de la segunda superficie de recepción en la etapa (e) se realiza manteniendo dicha segunda superficie en el plano que la contiene.

25 15.- Método de verificación de la trayectoria de un túnel según la reivindicación 13 o 14, caracterizado por que la segunda superficie de recepción corresponde a la primera superficie de recepción desplazada una distancia z_1 respecto a su posición al término de la etapa (c) en una dirección perpendicular al plano de dicha superficie.

30 16.- Método de verificación de la trayectoria de un túnel según la reivindicación anterior, caracterizado por que comprende adicionalmente una etapa de desplazamiento de la primera superficie de recepción una distancia z_1 respecto a su posición al término de la etapa (e) en dirección perpendicular al plano de dicha superficie pero en sentido inverso al
35 anterior desplazamiento.

17.- Método de verificación de la trayectoria de un túnel según la reivindicación 13, caracterizado por que en la etapa (c), el movimiento de la primera superficie de recepción se lleva a cabo girando solidariamente el conjunto formado por la primera superficie de recepción y la segunda superficie de recepción tomando como origen del giro la posición de un soporte adaptado para actuar sobre dicho conjunto.

18.- Método de verificación de la trayectoria de un túnel según la reivindicación anterior, caracterizado por que en la etapa (e), el movimiento de la segunda superficie de recepción se lleva a cabo girando solidariamente el conjunto formado por la primera superficie de recepción y la segunda superficie de recepción tomando como origen del giro la posición del soporte adaptado para actuar sobre dicho conjunto.

19.- Método de verificación de la trayectoria de un túnel según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 18 caracterizado por que comprende adicionalmente unas etapas de calibración previas a la etapa (a):

posicionar un sistema de emisión de luz láser (2),
posicionar una primera superficie de recepción, adecuada para la recepción de luz láser (3, 31), estando dicha superficie soportada por un soporte móvil (5, 15) que permite desplazar y/u orientar dicha primera superficie de recepción según varios grados de libertad lineales y/o angulares,
emitir una señal de calibración de luz láser,
actuar sobre el soporte móvil de modo que la señal de calibración quede situada en el centro de la superficie de recepción (3, 31).

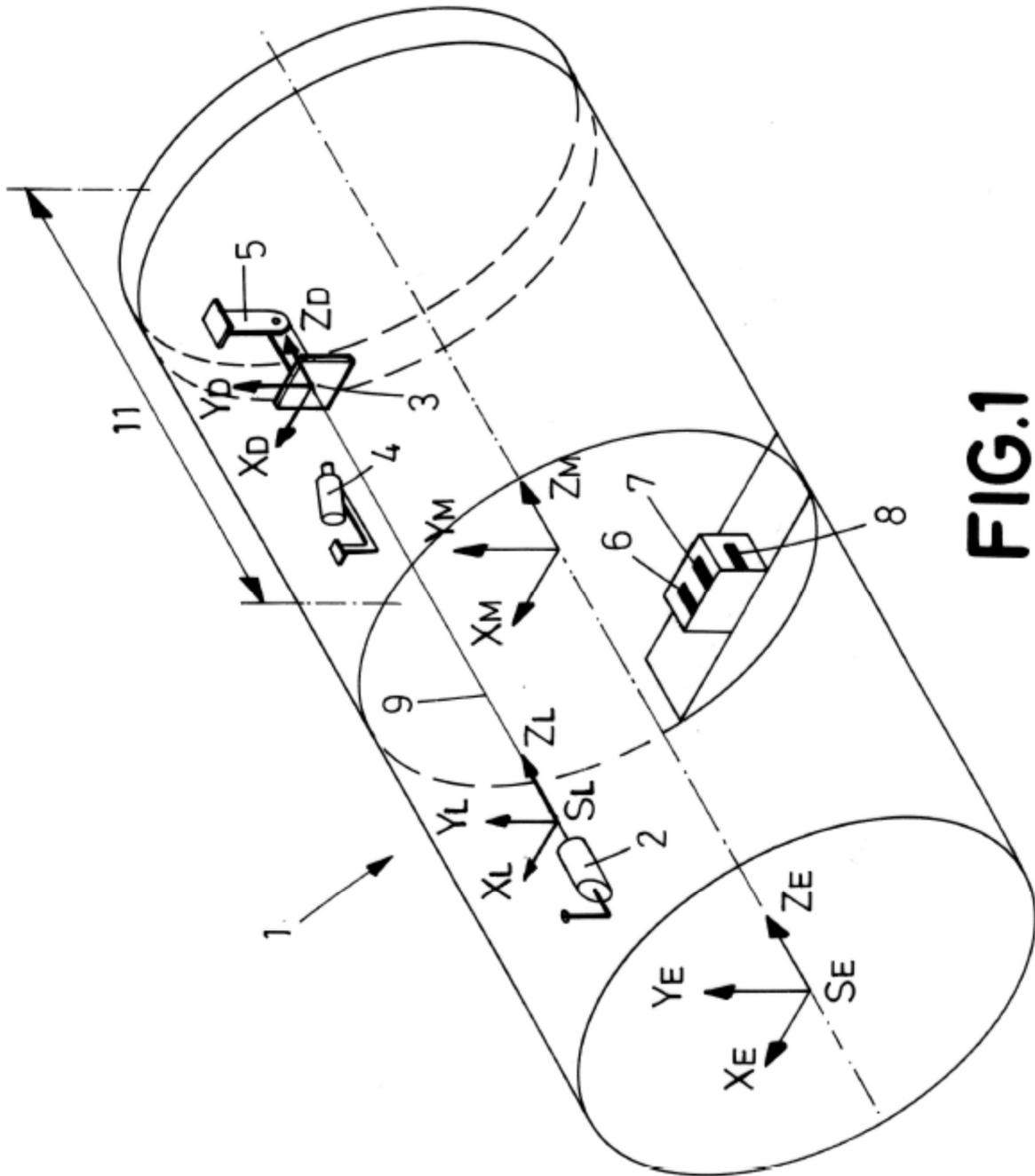


FIG.1

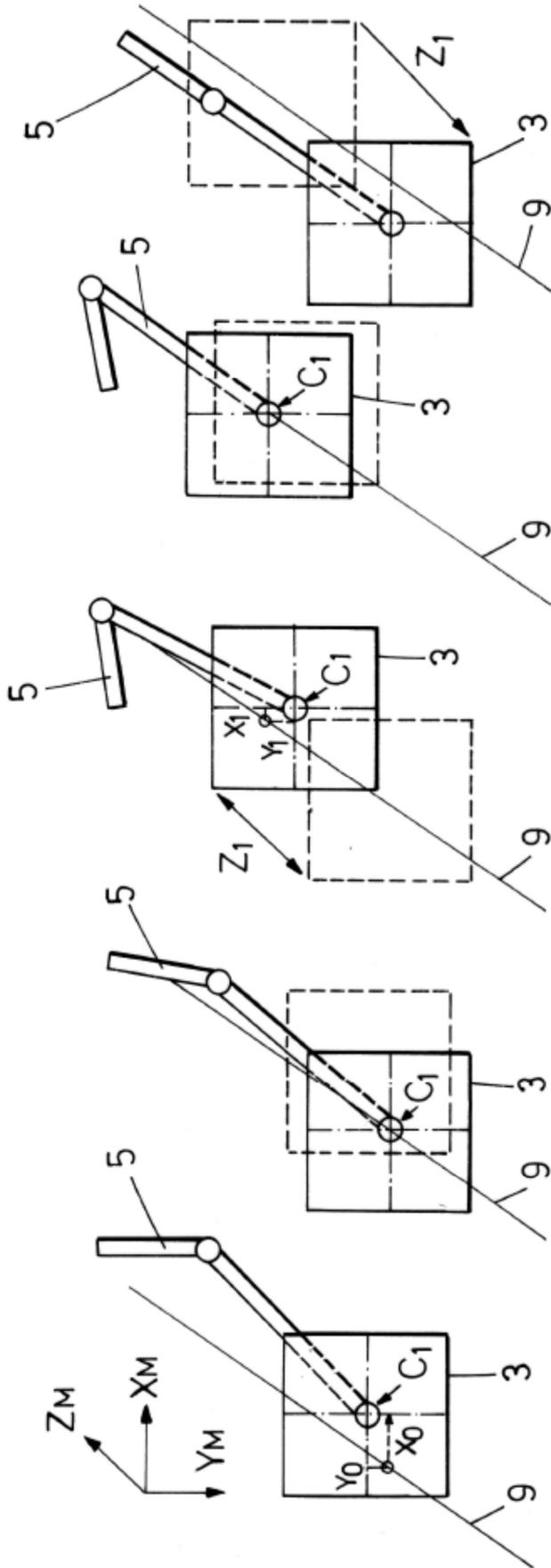


FIG.2a FIG.2b FIG.2c FIG.2d FIG.2e

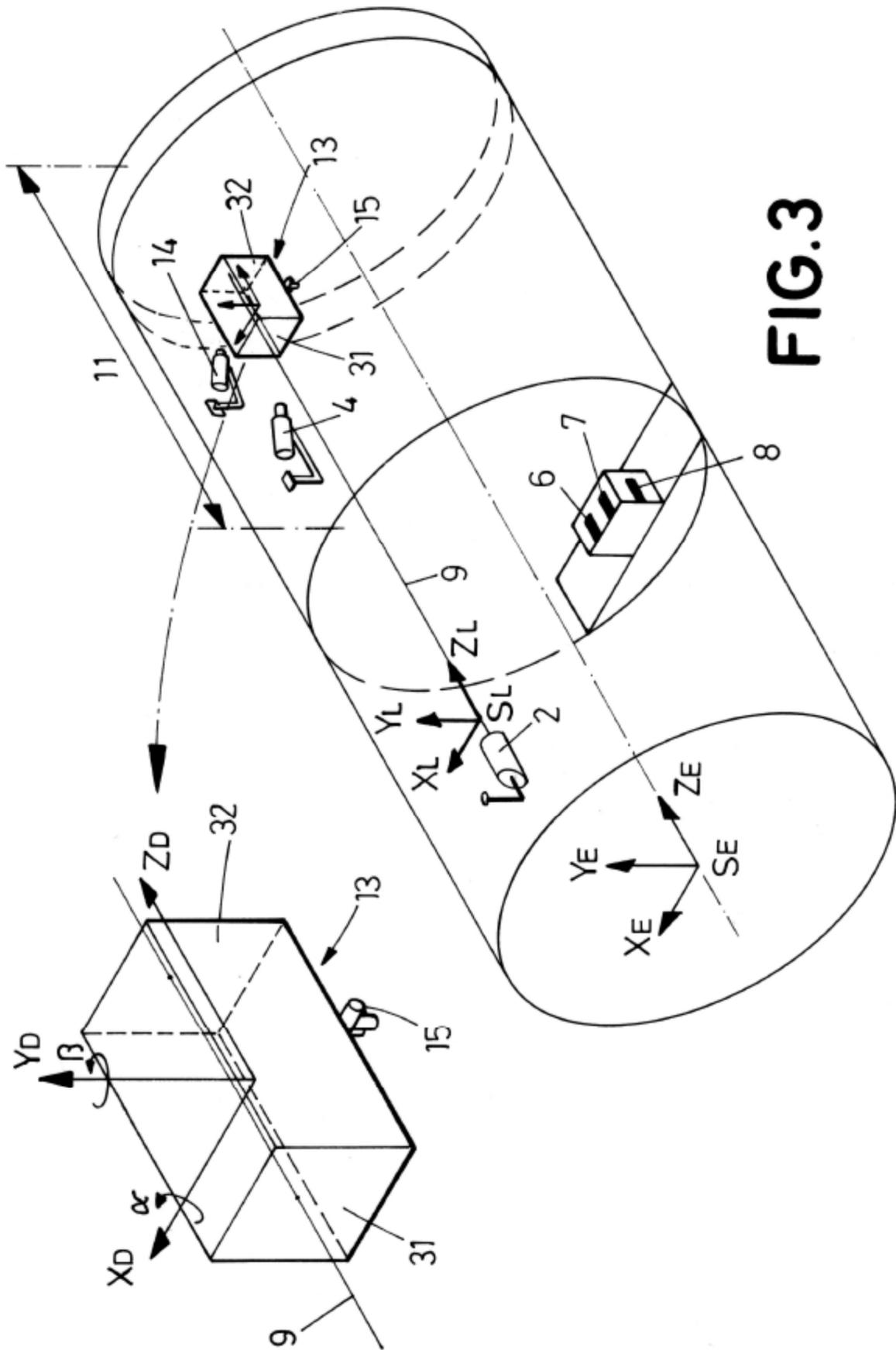


FIG.3

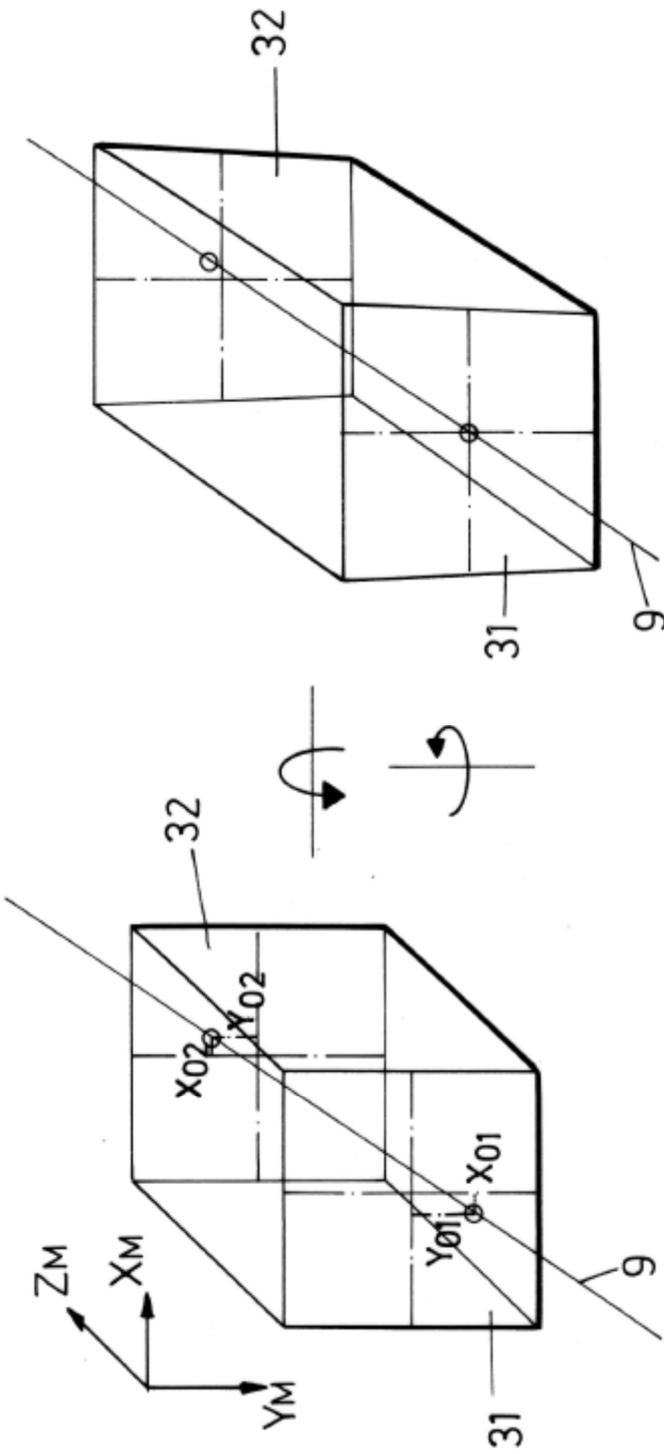


FIG. 4a

FIG. 4b

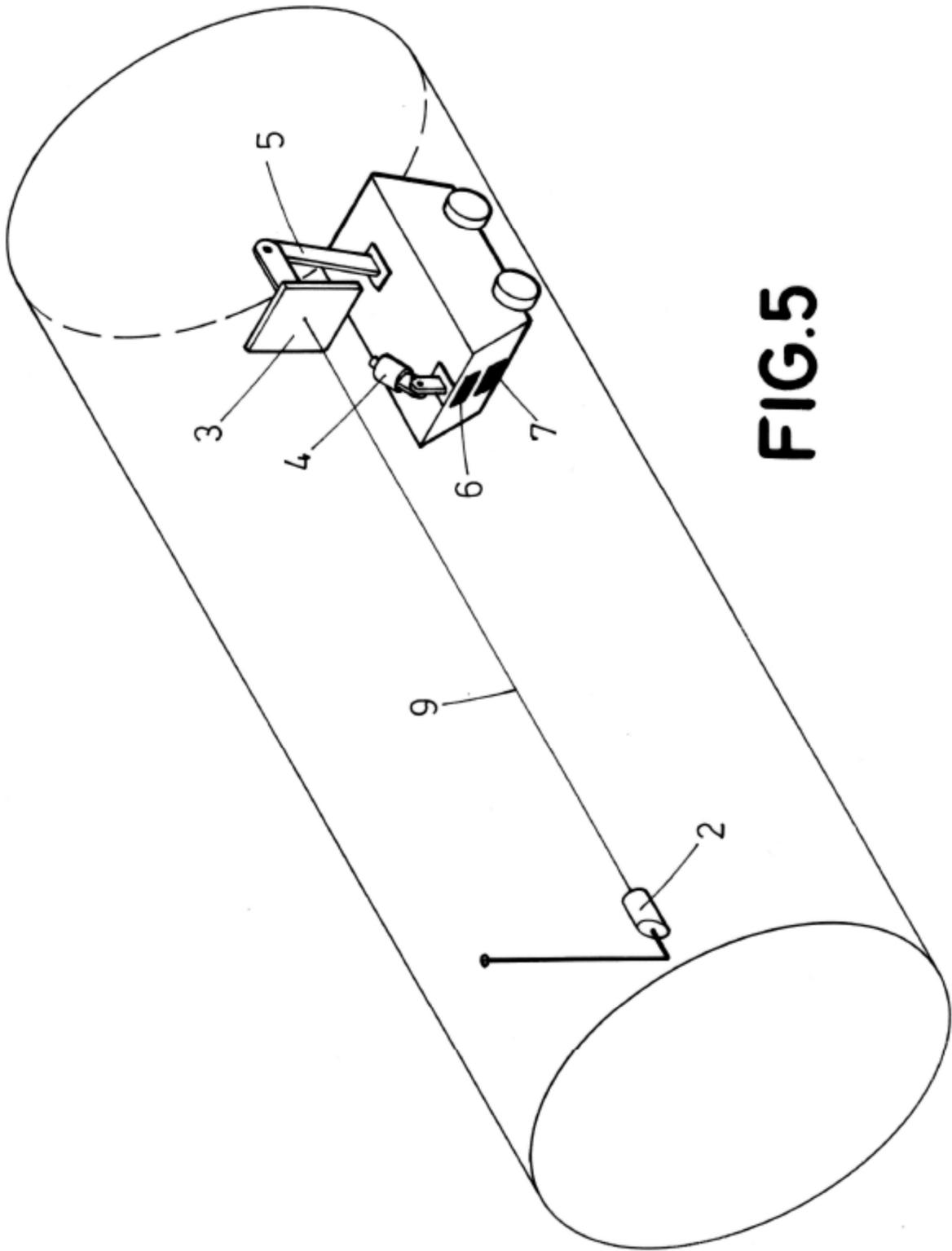


FIG.5