

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 381**

51 Int. Cl.:

E01B 35/00	(2006.01)
G01M 5/00	(2006.01)
G01M 7/00	(2006.01)
G01N 29/04	(2006.01)
G01N 29/44	(2006.01)
G01N 29/46	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.01.2018 PCT/FR2018/050092**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.07.2018 WO18134506**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.01.2018 E 18704270 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2024 EP 3571350**

54 Título: **Procedimiento e instalación de detección de daños en un bloque**

30 Prioridad:

19.01.2017 FR 1750421

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

26.11.2024

73 Titular/es:

**FRANCE-MANCHE (50.0%)
37/39 rue de la Bienfaisance
75008 Paris, FR y
ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**BOUDON, CLOTILDE;
SABATIER, FRANCIS;
DUHAMEL, DENIS;
FORET, GILLES y
HOANG, TIEN**

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 989 381 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento e instalación de detección de daños en un bloque

5 Sector de la técnica

La presente invención se refiere al campo del mantenimiento de vías férreas, tales como, por ejemplo, aunque no exclusivamente, vías férreas sin balasto. En este tipo de vía férrea, el balasto se sustituye por una losa de hormigón no armado en la que se encastran sistemas de fijación a los que se fijan los carriles. Mientras que las vías férreas con balasto suelen estar equipadas con traviesas de una sola pieza que conectan los dos carriles, la mayoría de las veces, las vías férreas sin balasto están equipadas con sistemas de fijación independientes, posiblemente conectados por un espaciador metálico.

15 Estado de la técnica

Actualmente, los túneles ferroviarios, los puentes y determinadas líneas de alta velocidad están equipados con tales vías férreas sin balasto.

Entre estos sistemas de fijación, se conocen en concreto el sistema de fijación LVT (marca registrada) diseñado por la empresa Sonnevile.

Este tipo de sistema de fijación incluye generalmente un soporte de carril, presentándose en forma de bloque generalmente denominado "bloque". El bloque es por tanto un bloque de soporte al que se fija el carril. El bloque está constituido tradicionalmente de hormigón, generalmente, hormigón armado. El bloque está alojado en un calce de goma que está incrustado en una losa de hormigón no armado dispuesto debajo de la vía férrea, gracias a lo cual el bloque se desacopla de la losa.

Este tipo de vía férrea sufre un envejecimiento debido al paso repetido de los trenes. Esto da como resultado un deterioro progresivo de los sistemas de fijación y en particular de los bloques. Este deterioro es más o menos rápido según la densidad del tráfico ferroviario.

Se ha constatado que los bloques sufren tensiones mecánicas siguiendo los cuatro movimientos principales del carril: los desplazamientos vertical y transversal y las rotaciones a lo largo de dos ejes horizontales. Estos movimientos generan zonas de concentración de tensiones en cada componente del sistema de fijación que son responsables de los daños. También, vigilar la degradación de los componentes del sistema de fijación resulta difícil en la medida en que el sistema de fijación está insertado en la losa de hormigón.

El bloque es uno de los componentes más importantes del sistema de fijación. Cuando está dañado, el sistema de fijación ya no soporta correctamente el carril. Por consiguiente, la vida útil del bloque también representa la vida útil del sistema de fijación.

La invención se refiere más específicamente a la detección de daños en los bloques, concretamente para vías férreas sin balasto.

Como el bloque está insertado en el calce, que a su vez está insertada en la losa subyacente, las grietas que aparecen en el interior o en las superficies inferior y lateral del bloque no son fácilmente detectables desde el exterior durante las operaciones de inspección de vía.

Además, es difícil plantear la retirada sistemática de los sistemas de fijación porque requeriría desmontar el carril y extraer los sistemas de fijación fuera de la losa, lo que requeriría un tiempo considerable con una eficacia reducida. Lo que, es más, cuando se quita el sistema de fijación de su cavidad en la losa, volver a colocarlo en su sitio puede resultar complejo.

El documento EP1533421 describe un procedimiento de detección de defectos en un bloque que requiere un análisis visual y una limpieza previa. El documento JP410026576 describe un procedimiento de detección de daños en un balasto utilizando un excitador fijado al balasto y midiendo una respuesta de frecuencia.

Objeto de la invención

Un objetivo de la presente invención es proponer un procedimiento de detección de daños en un bloque de una vía férrea que permita vigilar de forma sencilla y rápida los soportes del carril.

Para ello, la invención trata sobre un procedimiento de detección de daños en un bloque de una vía férrea según la reivindicación 1, procedimiento en donde:

- 65 - se excita el bloque; y, a continuación,

- se mide la respuesta vibratoria del bloque;
- se determina al menos una primera frecuencia natural de un primer modo natural del bloque a partir de la respuesta vibratoria medida;
- se determina al menos un nivel de daño en el bloque a partir de al menos dicha primera frecuencia natural.

5 Por tanto, se entenderá que el procedimiento de detección según la invención no es destructivo, es decir, que permite evaluar un nivel de daño sin tener que romper el bloque para buscar la presencia de grietas internas.

10 Otro beneficio del procedimiento de detección según la invención es que se puede implementar de forma sencilla y rápida, ya que no requiere desmontar el carril ni extraer los bloques fuera de la losa de hormigón subyacente de la vía. La invención permite así realizar las operaciones de mantenimiento de las vías férreas de forma más eficaz y menos costosa.

15 Otro beneficio más de la invención es que el procedimiento de detección según la invención puede automatizarse, como se detallará más adelante, lo que permite intervenir fácilmente en sitios confinados o de difícil acceso para un operador, como, por ejemplo, recintos ferroviarios subterráneos.

20 De manera particularmente ventajosa, el procedimiento de detección según la invención se puede utilizar en el contexto del mantenimiento de túneles ferroviarios, en particular, túneles de gran longitud, ya sea terrestres o submarinos. También se puede aplicar la invención en la detección de daños en bloques de hormigón armado, tales como, por ejemplo, los bloques del sistema LVT (marca registrada) de la empresa Sonneville AG o equivalentes.

25 El procedimiento de detección se implementa ventajosamente en una vía férrea que incluye un primer carril y un segundo carril, estando el primer carril dispuesto, en particular fijado, sobre unos primeros bloques, mientras que el segundo carril está dispuesto, en particular fijado, sobre unos segundos bloques independientes de los primeros bloques en una dirección transversal al primer carril. La mayoría de las veces, los segundos bloques son distintos y están distantes de los primeros bloques. Algunos de los primeros bloques, sin embargo, pueden estar conectados a los segundos bloques mediante espaciadores metálicos. Este tipo de montaje se denomina tradicionalmente "travesía bibloque".

30 El procedimiento de detección según la invención preferentemente, pero no necesariamente, se implementa mientras el bloque está fijado al carril, es decir que la detección de daños se realiza en la vía. El procedimiento según la invención también se puede implementar mientras el carril no está fijado al bloque. Ventajosamente, pero no exclusivamente, el procedimiento de detección se implementa en una vía férrea sin balasto.

35 En el sentido de la presente invención, se entiende por primer modo natural (también denominado modo normal), a uno de los modos naturales de vibración del bloque. Preferentemente, pero no exclusivamente, se trata del modo natural cuya frecuencia natural es la más baja. Sin salirse del contexto de la presente invención, sin embargo, podría tratarse de otro modo natural. Preferentemente, la primera frecuencia natural es superior a 100 Hz, preferentemente, superior a 200 Hz. En el caso de bloques de repuesto, es decir, los bloques que se pusieron para reemplazar los bloques originales, la primera frecuencia natural es superior a 300 Hz.

40 Preferentemente, la respuesta vibratoria se mide mediante un sensor de vibraciones, por ejemplo, un acelerómetro o un vibrómetro, antes ser transformada en una función de respuesta de frecuencia (FRF) mediante una técnica matemática del tipo transformada de Fourier, también conocida. La primera frecuencia natural del primer modo natural se determina ventajosamente a partir de la función de respuesta de frecuencia, preferentemente, con la ayuda de una calculadora.

45 Preferentemente, los picos cuya frecuencia es inferior a un valor umbral, por ejemplo, 100 Hz o 200 Hz, se filtran, es decir, no se toman en consideración. En el caso de bloques de repuesto, el valor umbral elegido es del orden de 300 Hz. Para ello, se determina la frecuencia natural más pequeña superior a las frecuencias filtradas.

50 También, en el caso de que el bloque analizado no esté fijado al carril, no será necesario proceder a esta etapa de filtrado.

55 Eventualmente, se podrán realizar varias excitaciones sucesivas, por ejemplo, excitando diferentes zonas del bloque, con el fin de garantizar que se obtiene la primera frecuencia natural correspondiente al primer modo natural. Según otra variante, la excitación se podrá realizar sobre el carril fijado al bloque o sobre una cara lateral.

60 Sin embargo y de manera preferente, se realiza una única excitación actuando sobre una parte de extremo del bloque, preferentemente, en su cara superior. De nuevo preferentemente, la única excitación consiste en realizar una percusión o impacto localizado en una zona de extremo longitudinal del bloque.

65 La medición de la respuesta vibratoria se realiza preferentemente a cierta distancia de la zona de impacto. A modo de ejemplo no limitativo, la zona de medición y la zona de impacto están situadas en dos partes de extremos opuestos

de la cara superior del bloque, de nuevo preferentemente en dos extremos de una diagonal de la cara superior del bloque.

5 A continuación, se caracteriza el nivel de daño a partir de la primera frecuencia natural que se ha determinado a partir de la respuesta vibratoria medida.

En función del valor de la primera frecuencia natural, el procedimiento evaluará un nivel de daño, por ejemplo, débil o fuerte.

10 Según la invención, para detectar el nivel de daño en el bloque, la primera frecuencia natural se compara con al menos un primer valor de frecuencia predeterminado.

Esta comparación se podrá efectuar con la ayuda de una calculadora.

15 Por ejemplo, si la primera frecuencia natural es superior al primer valor de frecuencia predeterminado, entonces se considerará que el bloque está sano, mientras que, si la primera frecuencia natural es inferior al primer valor de frecuencia predeterminado, entonces se considerará que el bloque está dañado.

20 Ventajosamente, el primer valor de frecuencia predeterminado se obtiene determinando las frecuencias naturales de varios bloques de ensayo para los cuales se ha establecido el nivel de daño. Preferentemente, los bloques de ensayo presentan diferentes niveles de daño.

25 Según un modo de realización ventajoso, para determinar el nivel de daño, el primer valor de frecuencia predeterminado se compara con una pluralidad de valores de frecuencia predeterminados. Dicho de otro modo, la primera frecuencia natural se sitúa en una escala de valores de frecuencia que se han determinado previamente a partir de las frecuencias naturales de los bloques de ensayo mencionados anteriormente.

Un beneficio es afinar la caracterización del nivel de daño.

30 Por ejemplo, en el caso de que se elijan dos valores de frecuencia predeterminados, si la primera frecuencia natural es inferior al valor de frecuencia mínimo predeterminado, entonces se considera que el bloque está roto. Si la primera frecuencia natural es superior al valor de frecuencia máximo predeterminado, entonces se considera que el bloque está sano. Si la primera frecuencia natural está entre los valores de frecuencia predeterminados máximo y mínimo, entonces se considera que el bloque está agrietado.

35 Para afinar aún más la calificación del daño, se podrá utilizar un número superior de valores de frecuencia predeterminados obtenidos a partir de las primeras frecuencias naturales de los bloques de ensayo.

40 A modo de ejemplo no limitativo, para cinco valores de frecuencia predeterminados, se pueden establecer los siguientes niveles:

- nivel 0: bloque sano;
- nivel 1: presencia de grietas menores;
- nivel 2: presencia de grietas importantes;
- 45 • nivel 3: presencia de grietas y roturas de refuerzos;
- nivel 4: bloque roto.

50 También se ha constatado que la determinación de la primera frecuencia natural del primer modo natural permite detectar grietas verticales.

Según la invención, se determina además al menos una segunda frecuencia natural de un segundo modo natural del bloque, y se detecta un primer tipo de daño en el bloque a partir de la primera y segunda frecuencias naturales.

55 El primer tipo de daño permite caracterizar mejor el nivel de daño, determinando si el bloque ha sufrido o no un tipo particular de daño, como, por ejemplo, una delaminación o un agrietamiento horizontal.

Según la invención, para determinar el primer tipo de daño en el bloque, se determina un valor a partir de la primera y segunda frecuencias naturales, y dicho valor se compara con al menos un primer coeficiente predeterminado.

60 Para determinar el primer tipo de daño en el bloque, se compara la relación entre la segunda y primeras frecuencias naturales con dicho primer coeficiente predeterminado.

65 Este primer coeficiente podrá determinarse previamente a partir del análisis de los citados bloques de ensayo para los que previamente se ha caracterizado la posible presencia de un primer tipo de daño.

Los inventores han constatado que una relación cuyo valor es superior al primer coeficiente predeterminado

caracteriza la presencia de una delaminación o de un agrietamiento horizontal del hormigón. Para los bloques de ensayo, se ha constatado que una relación superior a un primer coeficiente predeterminado comprendido entre 0,5 y 1,5 permite caracterizar la presencia de una delaminación o de un agrietamiento predeterminado.

5 Ventajosamente, además se determina al menos un primer coeficiente de amortiguación relativo al primer modo natural del bloque a partir de la respuesta vibratoria medida, y se determina un segundo tipo de daño a partir del primer coeficiente de amortiguación.

Un beneficio es afinar aún más la caracterización del daño en el bloque.

10 Ventajosamente, el primer coeficiente de amortiguación se compara con un valor de referencia predeterminado.

Preferentemente, este valor de referencia también se determina previamente a partir de bloques de ensayo. Los inventores han constatado que un primer coeficiente de amortiguación superior a un valor de referencia predeterminado permite caracterizar que se ha desprendido al menos un trozo del bloque. El análisis de los bloques de ensayo antes mencionados ha permitido constatar que un primer coeficiente de amortiguación superior a un valor de referencia comprendido entre el 2 % y el 4 % permite caracterizar que al menos un trozo de bloque se ha desprendido.

20 Cuando el carril se dispone sobre el bloque, la posición del carril sobre el bloque delimita, sobre la cara superior del bloque, una primera y una segunda superficie que están situadas a ambos lados del carril.

Ventajosamente, se excita el bloque actuando sobre la primera superficie y se mide la respuesta vibratoria en la segunda superficie.

25 Ventajosamente, la excitación del bloque se realiza en una zona de excitación situada en una primera parte de extremo del bloque, mientras que la medición de la respuesta vibratoria se realiza en una zona de medición situada en una segunda parte de extremo del bloque que está opuesta a la primera parte de extremo.

30 Ventajosamente, se excita el bloque realizando un impacto o percusión sobre dicho bloque. Este impacto se realiza, por ejemplo, dejando caer un objeto, tal como una bola de acero, por ejemplo, sobre la cara superior del bloque. Preferentemente, la energía del impacto está comprendida entre 0,05 y 1,5 J.

Según un modo de realización ventajoso, el bloque es un bloque de hormigón, preferentemente, de hormigón armado.

35 La invención también trata sobre la utilización del procedimiento de detección según la invención para determinar al menos un nivel de daño en un bloque sobre el que está puesto un carril de una vía férrea, preferentemente sin balasto.

40 La invención también trata sobre una instalación de detección de daños en un primer bloque fijado a un primer carril de una vía férrea según la reivindicación 7, que implementa el procedimiento de detección según la invención, incluyendo dicha instalación de detección:

- al menos un primer dispositivo de excitación para excitar al menos el primer bloque;
- al menos un primer dispositivo de medición para medir la respuesta vibratoria del primer bloque;
- 45 - al menos un dispositivo de cálculo para determinar al menos la primera frecuencia natural de un primer modo natural del primer bloque a partir de la respuesta vibratoria medida del primer bloque, y determinar un nivel de daño del primer bloque.

50 El dispositivo de cálculo es, por ejemplo, un ordenador, que está conectado al primer dispositivo de medición mediante una conexión por cable o inalámbrica, pudiendo estar el ordenador conectado al dispositivo de medición a través de la red Internet o cualquier otra red informática.

Preferentemente, el primer dispositivo de excitación comprende un impactador. Asimismo, el segundo dispositivo de excitación comprende un impactador.

55 Preferentemente, el primer dispositivo de medición comprende al menos un sensor láser, preferentemente, un vibrómetro láser o cualquier otro medio para medir la vibración. Asimismo, el segundo dispositivo de medición preferentemente comprende un vibrómetro láser.

60 La invención trata por último sobre una vagoneta de detección para la detección de daños en un soporte de carril fijado a un primer carril de una vía férrea, incluyendo la vagoneta de detección:

- al menos un primer dispositivo de excitación para hacer vibrar el primer soporte de carril; y
- 65 - al menos un primer dispositivo de medición para medir la respuesta vibratoria del primer soporte de carril.

Ventajosamente, la vagoneta de detección incluye, además:

- un segundo dispositivo de excitación para excitar al menos un segundo bloque fijado a un segundo carril de la vía férrea;
- al menos un segundo dispositivo de medición para medir la respuesta vibratoria del segundo bloque.

5 La vagoneta está montada sobre ruedas y, según una variante, es móvil a lo largo de la vía férrea rodando sobre la losa de hormigón.

Según un modo de realización preferente, la vagoneta de detección es una vagoneta ferroviaria que incluye:

- al menos una primera rueda que tiene un eje y está configurada para cooperar con el primer carril;
- al menos un primer dispositivo de excitación para hacer vibrar el primer bloque;
- al menos un primer dispositivo de medición para medir la respuesta vibratoria del primer bloque;
- estando dispuestos el primer dispositivo de excitación y el primer dispositivo de medición a ambos lados de un plano ortogonal al eje y que pasa por la primera rueda.

Gracias a esta configuración, la excitación del primer bloque y la medición de la respuesta vibratoria se pueden realizar en porciones de extremo opuestas del primer bloque.

20 Un beneficio es poder obtener, con una sola excitación, al menos la primera y segunda frecuencias naturales del primer y segundo modos naturales, así como al menos el primer coeficiente de amortiguación del primer modo natural.

Ventajosamente, la vagoneta incluye, además:

- un motor para accionar en rotación al menos la primera rueda; y
- un dispositivo de posicionamiento configurado para controlar el motor con el fin de posicionar la vagoneta ferroviaria con respecto al primer bloque.

30 Un beneficio es poder automatizar las operaciones de detección de daños, recorriendo la vagoneta la vía férrea de forma autónoma posicionándose solo con respecto a cada bloque a inspeccionar.

Por ejemplo, el dispositivo de posicionamiento incluye un sensor de posición configurado para localizar uno de los elementos constitutivos del sistema de fijación, tal como, por ejemplo, una tuerca. Por tanto, el posicionamiento de la vagoneta se hace con respecto a ese elemento.

35 Descripción de las figuras

La invención se entenderá mejor tras la lectura de la siguiente descripción de los modos de realización de la invención aportados a modo de ejemplos no limitativos, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 ilustra una vía férrea sin balasto provista de bloques;
- la figura 2 esquematiza una instalación de detección según la invención que implementa el procedimiento de detección según la invención;
- la figura 3 es una vista superior de un bloque en la que se han representado las zonas de excitación y de medición de respuesta vibratoria; y
- la figura 4 ilustra un ejemplo de realización de una vagoneta de detección conforme a la invención.

Descripción detallada de la invención

50 En la figura 1, se ha representado una porción de una vía férrea 10 que incluye un primer carril 12 y un segundo carril 14 paralelos y distantes entre sí. En este ejemplo, la porción de la vía es rectilínea. La invención se aplica por supuesto a otros tipos de porciones de vía, tales como vías curvas, agujas o cualquier otro tipo de porción de vía.

55 El primer carril 12 se fija a los primeros sistemas de fijación 16 por medio de los elementos de fijación 18, mientras que el segundo carril 14 se fija a los segundos sistemas de fijación 20 por medio de los elementos de fijación 22.

Cada uno de los primeros y segundos sistemas de fijación 16,20 está encastrado en una losa de hormigón no armado 30 que lleva la vía férrea 10.

60 Como se constata con la ayuda de la figura 1, los primeros sistemas de fijación 16 están espaciados entre sí en la dirección longitudinal del primer carril 12. Asimismo, los segundos sistemas de fijación 20 están espaciados entre sí en el sentido longitudinal del segundo carril 14.

65 Se constata asimismo que los primeros sistemas de fijación 16 están separados de los segundos sistemas de fijación 20 en una dirección transversal a la dirección longitudinal del primer carril 12.

En otras palabras, los primeros sistemas de fijación son independientes de los segundos sistemas de fijación. Según una variante, los primeros y segundos sistemas de fijación podrían estar conectados entre sí por un espaciador metálico, para formar una traviesa biblique.

5 A continuación, se va a describir uno de los primeros sistemas de fijación **16**. De forma también conocida, el sistema de fijación **16**, por ejemplo, de tipo LVT (marca registrada), incluye:

- un primer bloque de hormigón **40**,
- una suela bajo el carril (no ilustrada) dispuesta entre el primer bloque **40** y el carril,
- 10 • una suela elástica debajo del bloque (no ilustrada) dispuesta debajo del primer bloque **40** y
- un calce de goma (no ilustrado) en el que descansan el primer bloque de hormigón y la suela elástica.

La suela elástica está destinada a distribuir las cargas y reducir las influencias de las bajas frecuencias. En cuanto a la suela debajo del carril, esta protege el sistema de fijación de las influencias de las altas frecuencias.

15 El calce elástico se inserta en la losa de hormigón **30**.

De forma conocida, el diseño del calce de goma evita cualquier contacto entre el primer bloque **40** y la losa de hormigón **30**. Adicionalmente, la suela debajo del bloque permite obtener una rigidez muy baja del sistema bajo una carga dinámica.

El primer bloque **40** es un bloque de hormigón armado que por sí solo absorbe casi todo el peso del sistema de fijación. Esta estructura está diseñada para poder soportar tanto la carga vertical (compresión) como la carga horizontal (cizallamiento) gracias a la inserción del primer bloque **40** en losa **30**.

25 A modo de ejemplo, las características de los primeros bloques pueden ser las siguientes:

- longitud de la superficie de apoyo (L): 640 mm;
- anchura de la superficie de apoyo (l): 264 mm;
- 30 - espesor debajo del carril: 200 mm.

La suela debajo del bloque está realizada preferentemente de acetato de etilvinilo, mientras que el calce de caucho está constituido preferentemente de caucho de butadieno-estireno (SBR).

35 En este ejemplo, el primer y segundo carriles **12,14** son carriles de tipo "Vignole", también conocido.

En este ejemplo, los segundos sistemas de fijación **20** son idénticos a los primeros sistemas de fijación **16**. Los segundos sistemas de fijación **20** comprenden por tanto unos segundos bloques **42** que son idénticos a los primeros bloques **40**.

40 En el ejemplo de la figura **1**, la vía férrea **10** está desprovista de balasto. No obstante, la presente invención se puede implementar en una vía con balasto.

En la figura **2**, se ha esquematizado una instalación **100** de detección de daños en el primer bloque **40** fijado al primer carril **12** de la vía férrea **10**. En este ejemplo, dicha instalación **100** también permite detectar posibles daños en los segundos bloques **42** ilustrados en la figura **1**.

Esta instalación **100** implementa el procedimiento de detección según la invención que se describirá a continuación.

50 La instalación de detección **100** incluye un primer dispositivo de excitación **102** para excitar el primer bloque **40**. Dicho de otro modo, el primer dispositivo de excitación **102** está configurado para hacer vibrar el primer bloque **40**.

En este ejemplo, el dispositivo de excitación **102** incluye un peso **104** que se puede mover verticalmente para realizar un impacto en la cara superior **41** del primer bloque **40**. Por ejemplo, el peso **104** se suelta desde una altura predeterminada de forma que percute verticalmente el primer bloque **40**.

Dicho de otro modo, el primer dispositivo de excitación **102** es un impactador.

60 Como se constata con la ayuda de la figura **3**, en este ejemplo, la excitación del primer bloque **40** se realiza en una zona de excitación **ZE** que está situada en una primera parte de extremo longitudinal **41a** del primer bloque **40**. Más específicamente, la zona de excitación **ZE** está situada en una esquina de la cara superior **41** del primer bloque **40**. En este ejemplo, el impacto realizado por el impactador **104** es una percusión cuya energía es, en este ejemplo, del orden de 0,1 J.

65 La instalación **100** incluye también al menos un primer dispositivo de medición **110** para medir la respuesta vibratoria del primer bloque **40** que sigue a la excitación, es decir la puesta en vibración, realizada por el primer dispositivo de

excitación **102**.

En este ejemplo, el primer dispositivo de medición **110** es un vibrómetro que incluye un sensor láser. La medición de la respuesta vibratoria se realiza en una zona de medición **ZM**, ilustrada en la figura **3**, que está situada en una segunda parte de extremo longitudinal **40b** del primer bloque **40**. Como se constata en la figura **3**, esta segunda parte de extremo longitudinal **40b** está opuesta a la primera parte de extremo longitudinal **40a**. En este ejemplo, la zona de medición **ZM** está situada en una esquina de la cara superior **41** del primer bloque **40**, que está opuesto a la zona de excitación. Dicho de otro modo, la zona de medición y la zona de excitación están dispuestas en los extremos de una diagonal **D** de la cara superior **41** del primer bloque **40**.

Según otra variante, la zona de medición y la zona de excitación también pueden disponerse de forma sustancialmente simétrica con respecto al carril.

Cuando el primer carril está dispuesto en el primer bloque, se constata que la posición del primer carril **12** en el primer bloque **40** delimita, sobre la cara superior del bloque, una primera superficie **41a** y una segunda superficie **41b** que se encuentran a ambos lados del primer carril. Por tanto, parece que la zona de excitación **ZE** y la zona de medición **ZM** están dispuestas a ambos lados del primer carril **12**.

La instalación **100** también incluye al menos un dispositivo de cálculo **112**, por ejemplo, un ordenador, para determinar al menos la primera frecuencia natural **F1** de un primer modo natural del primer bloque **40** a partir de la respuesta vibratoria del primer bloque **40** medida por el vibrómetro. Para ello, el dispositivo de cálculo **112** incluye unos medios **114** para transformar la respuesta vibratoria en una función de respuesta de frecuencias (FFR). El dispositivo de cálculo **112** incluye además unos medios **115** para detectar la primera frecuencia natural **F1**, la segunda frecuencia natural **F2** y un primer coeficiente de amortiguación **A1** relativo al primer modo natural del primer bloque **40**.

El dispositivo de cálculo **112** incluye además unos medios **116** para determinar al menos un nivel de daño a partir de la primera frecuencia natural, un primer tipo de daño y un segundo tipo de daño del primer bloque **40** a partir de la primera frecuencia natural **F1**, de la segunda frecuencia natural **F2** y del primer coeficiente de amortiguación **A1**, y a partir de datos previamente almacenados en una base de datos **118**.

En este ejemplo, la instalación **100** también incluye un dispositivo **120** para mostrar el nivel de daño, así como el primer y segundo tipo de daño en el primer bloque **40**.

Según un aspecto ventajoso de la invención, al menos una parte de la instalación **100** se dispone en una vagoneta **200** ilustrada en la figura **4**.

En este ejemplo, la vagoneta **200** es una vagoneta ferroviaria. Sin salirse del ámbito de la invención, la vagoneta podría ser una vagoneta móvil provista de ruedas que están a horcajadas sobre la vía férrea.

La vagoneta ferroviaria **200** ilustrada en la figura **4** incluye un chasis **202** provisto de un par de primeras ruedas ferroviarias **204** y un par de segundas ruedas ferroviarias **206**. Se entiende que las primeras ruedas ferroviarias **204** están configurados para cooperar con el primer carril **12**, mientras que las segundas ruedas **206** están configurados para cooperar con el segundo carril **14**.

También se constata que la primera rueda **204** presenta un eje de rotación **X**.

La vagoneta **202** también incluye los primeros dispositivos de excitación **102** y el primer dispositivo de medición **110** descritos previamente.

También se constata que el primer dispositivo de excitación **102** y el primer dispositivo de medición **110** están dispuestos a ambos lados de un plano **P** que es ortogonal al eje **X** y que pasa por la primera rueda **204**.

También, la vagoneta también incluye un motor **210** para accionar en rotación al menos la primera rueda **204**.

La vagoneta también incluye un dispositivo de posicionamiento **212** que está configurado para controlar el motor **210** con el fin de posicionar la vagoneta **200** con respecto al primer bloque **40**.

Con referencia a la figura **4**, se constata que la vagoneta **200** incluye además un segundo dispositivo de excitación **102'**, idéntico al primer dispositivo de excitación **102** para excitar al menos un segundo bloque **42** fijado al segundo carril **14** de la vía férrea **10**.

Comprende además un segundo dispositivo de medición **110'**, idéntico al primer dispositivo de medición **110**, para medir la respuesta vibratoria del segundo bloque **42**.

Se entiende, por tanto, que la vagoneta ferroviaria **200** permite detectar daños en los primeros y segundos bloques **40**, **42**, simultáneamente, sin que se requiera desplazar la vagoneta.

La vagoneta ferroviaria **200** incluye además un dispositivo **220** para transmitir las respuestas vibratorias de los primeros y segundos bloques **40, 42** al dispositivo de cálculo **112** descrito anteriormente mediante una conexión inalámbrica. Según una variante, el dispositivo de cálculo **112** está montado en la vagoneta **200**.

5 A continuación, se describen tres modos de implementación del procedimiento de detección según la invención.

De forma común a los tres modos de implementación, el procedimiento de detección de daños en el bloque incluye las siguientes etapas:

- 10
- se excita el bloque, haciéndolo vibrar con la ayuda del dispositivo de excitación **102**; y, a continuación,
 - se mide la respuesta vibratoria del bloque con la ayuda del dispositivo de medición **110**;
 - se determina al menos una primera frecuencia natural **F1** de un primer modo natural del bloque a partir de la respuesta vibratoria medida. Para ello, se transforma la respuesta vibratoria en una función de la respuesta de frecuencia, mediante una técnica matemática conocida, por ejemplo, una transformada de Fourier.
- 15

Para determinar la primera frecuencia natural **F1**, se empieza filtrando las frecuencias inferiores a un valor umbral, por ejemplo, 200 Hz para los bloques originales o 300 Hz para los bloques de repuesto, precisándose que este filtrado no es necesario si el bloque no está fijado al carril. La primera frecuencia natural **F1** es la primera frecuencia natural sin filtrar.

20

A continuación, se determina al menos un nivel de daño en el bloque a partir de la primera frecuencia natural **F1**.

Para ello, se compara la primera frecuencia natural **F1** con al menos un primer valor de frecuencia predeterminado.

25

En el primer modo de implementación, se compara la primera frecuencia **F1** con cuatro valores de frecuencia predeterminados que se almacenan en la base de datos **118**.

Como se ha explicado anteriormente, estos valores de frecuencia se pueden determinar realizando mediciones de las primeras frecuencias naturales en una serie de bloques de ensayo dañados cuyo nivel de daño se conoce. Los valores de frecuencia predeterminados indicados en la tabla **1** se han determinado analizando aproximadamente doscientos bloques dañados provenientes de una de las vías férreas del túnel que hay bajo el canal de la Mancha.

30

Para ello, en primer lugar, se caracterizó el nivel de daño de cada uno de los bloques. Luego, se excitaron cada uno de los bloques y se midió su primera frecuencia natural. A continuación, con la ayuda de un análisis estadístico, se identificaron cuatro valores de frecuencia que permitieron discriminar entre niveles de daño. Los niveles de daño ilustrados en la tabla **1** son cinco en total.

35

Tabla 1

Primera frecuencia natural F1 (Hz)	Nivel de daño (agrietamiento vertical del hormigón y/o rotura de los refuerzos de acero)
> 1.653 Hz	0: bloque sano
> 1.433 Hz	1: grietas menores
> 1.037 Hz	2: grietas importantes
> 555 Hz	3: grietas y roturas de lo(s) refuerzo(s)
<= 555 Hz	4: bloque roto

40

Por tanto, se entiende que en función del primer valor de la primera frecuencia natural **F1**, se caracteriza el nivel de daño en el bloque que se va a analizar.

Según el segundo modo de implementación del procedimiento de detección según la invención, se determina además al menos una segunda frecuencia natural **F2** de un segundo modo natural del bloque. A continuación, se determina un primer tipo de daño en el bloque a partir de las primeras y segundas frecuencias naturales.

45

Para ello, en este ejemplo, para determinar el primer tipo de daño en el bloque, se compara la relación entre la segunda y primera frecuencias naturales con al menos un primer coeficiente predeterminado.

50

Este primer coeficiente predeterminado resulta asimismo de un estudio estadístico realizado a partir del lote de bloques de ensayo de los que se ha caracterizado el primer tipo de daño.

En este segundo modo de implementación, el primer tipo de daño caracteriza el agrietamiento horizontal del hormigón, es decir, la presencia o no de delaminación.

55

Por ejemplo, con ayuda de la tabla **2**, se entiende que, para el tercer nivel de daño, el primer coeficiente predeterminado es igual a 1,2 y cuando la relación entre la segunda frecuencia natural y la primera frecuencia natural

es superior a 1,2, esto significa que el bloque presenta un agrietamiento vertical del hormigón, así como un agrietamiento horizontal que se materializa con una delaminación.

5 También, para el cuarto nivel de daño, es decir, el bloque roto, el segundo coeficiente predeterminado es, en este ejemplo, igual a 1,25. Cuando la relación **F2/F1** es superior a 1,25, se caracteriza la presencia de un agrietamiento horizontal.

Tabla 2

Primera frecuencia natural F1 (Hz)	Relación F2/F1	Nivel de daño (agrietamiento vertical del hormigón y/o rotura de los refuerzos de acero)	Primer tipo de daño (agrietamiento horizontal del hormigón)
> 1.653 Hz		0: bloque sano	
> 1.433 Hz		1: grietas menores	
> 1.037 Hz		2: grietas importantes	
> 555 Hz	<= 1,2	3: grietas y roturas de lo(s) refuerzo(s)	delaminación
	> 1,2		
<= 555 Hz	<=1,25	4: bloque roto	delaminación
	> 1,25		

10 Ahora se va a describir un tercer modo de implementación del procedimiento de detección según la invención.

Según este tercer modo de implementación, se determina además al menos un primer coeficiente de amortiguación **A1** que es relativo al primer modo natural del bloque. Como se precisó anteriormente, el primer coeficiente de amortiguación se determina a partir de la respuesta vibratoria medida.

15 A continuación, se determina un segundo tipo de daño, para el nivel de daño determinado, a partir del primer coeficiente de amortiguación.

20 Como se ilustra en la tabla 3, el primer coeficiente de amortiguación es igual al 2,5 %. También en este caso, se determinó a partir de un estudio estadístico realizado basándose en el lote de bloques de ensayo dañados mencionado anteriormente.

Se ha constatado que un coeficiente de amortiguación **1** superior al 2,5 % caracteriza el hecho de que unos trozos de hormigón se han desprendido del bloque.

25 Por tanto, se entiende que el tercer modo de implementación proporciona una detección de daños que es más precisa que los modos de implementación primero y segundo.

Tabla 3

Primera frecuencia natural F1 (Hz)	Relación F2/F1	A1	Nivel de daño (agrietamiento vertical del hormigón y/o rotura de los refuerzos de acero)	Primer tipo de daño (delaminación)	Segundo tipo de daño (trozos de hormigón desprendidos)
> 1.653 Hz			0: bloque sano		
> 1.433 Hz			1: grietas menores		
> 1.037 Hz			2: grietas importantes		
> 555 Hz	<= 1,2	<= 2,5 %	3: grietas y roturas de lo(s) refuerzo(s)	delaminación	
		> 2,5 %			Trozos de hormigón desprendidos
	> 1,2	<= 2,5 %			
		> 2,5 %			Trozos de hormigón desprendidos
<= 555 Hz	<=1,25	<= 2,5 %	4: bloque roto	delaminación	
		> 2,5 %			Trozos de hormigón desprendidos
	> 1,25	<= 2,5 %			
		> 2,5 %			Trozos de hormigón desprendidos

30

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de detección de daños en un bloque de una vía férrea, procedimiento en donde:
 - 5 - se excita el bloque (40, 42); y, a continuación,
- se mide la respuesta vibratoria del bloque;
 - se determina al menos una primera frecuencia natural (F1) de un primer modo natural del bloque a partir de la respuesta vibratoria medida;
 - 10 - se determina además al menos una segunda frecuencia natural (F2) de un segundo modo natural del bloque a partir de la respuesta vibratoria medida;
 - se determina al menos un nivel de daño en el bloque a partir de al menos dicha primera frecuencia natural, comparando la primera frecuencia natural (F1) con al menos un primer valor de frecuencia predeterminado;
 - se determina además un primer tipo de daño en el bloque a partir de la primera y segunda frecuencias naturales, comparando la relación entre la segunda y primera frecuencias naturales con al menos un primer coeficiente predeterminado.
2. Procedimiento de detección según la reivindicación 1, en donde se determina además al menos un primer coeficiente de amortiguación (A1) relativo al primer modo natural del bloque a partir de la respuesta vibratoria medida, y se determina un segundo tipo de daño a partir del primer coeficiente de amortiguación que permite caracterizar que se ha desprendido un trozo del bloque.
3. Procedimiento de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la excitación del bloque (40) se realiza en una zona de excitación (ZE) situada en una primera parte de extremo longitudinal (40a) del bloque (40), mientras que la medición de la respuesta vibratoria se realiza en una zona de medición (ZM) situada en una segunda parte de extremo longitudinal (40b) del bloque (40) que está opuesta a la primera parte de extremo longitudinal (40a).
4. Procedimiento de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el bloque (40, 42) se excita realizando un impacto sobre dicho bloque.
5. Procedimiento de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el bloque (40, 42) es de hormigón armado.
6. Procedimiento de detección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores para determinar al menos el nivel de daño y el primer tipo de daño de al menos un bloque (40, 42) sobre el que está dispuesto un carril de una vía férrea (10).
7. Instalación (100) de detección de daños en al menos un primer bloque (40) fijado a un primer carril (12) de una vía férrea (10), para la implementación del procedimiento de detección según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, incluyendo dicha instalación (100):
 - al menos un primer dispositivo de excitación (102) para excitar al menos el primer bloque (40);
 - al menos un primer dispositivo de medición (110) para medir la respuesta vibratoria del primer bloque (40);
 - 45 - al menos un dispositivo de cálculo (112) configurado para determinar, a partir de la respuesta vibratoria medida del primer bloque al menos la primera frecuencia natural (F1) de un primer modo natural del primer bloque (40), así como la segunda frecuencia natural de un segundo modo natural de dicho bloque, estando el dispositivo de cálculo configurado además para:
 - 50 determinar un nivel de daño del primer bloque a partir de la primera frecuencia natural, comparando la primera frecuencia natural (F1) con al menos un primer valor de frecuencia predeterminado; y para
 - determinar un primer tipo de daño en el bloque a partir de la primera y segunda frecuencias naturales, comparando la relación entre la segunda y primera frecuencias naturales con al menos un primer coeficiente predeterminado.
8. Instalación de detección según la reivindicación 7, **caracterizada por que** el primer dispositivo de excitación (102) comprende al menos un impactador (104).
9. Instalación de detección según la reivindicación 7 u 8, **caracterizada por que** el primer dispositivo de medición (110) comprende al menos un sensor láser.
10. Vagoneta de detección (200) para detectar daños en un primer bloque fijado a un primer carril (12) de una vía férrea (10) para la implementación del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, incluyendo la vagoneta:
 - 65 - al menos un primer dispositivo de excitación (102) para hacer vibrar el primer bloque;
 - al menos un primer dispositivo de medición (110) para medir la respuesta vibratoria del primer bloque;

- al menos una primera rueda (204) que tiene un eje (X) y está configurada para cooperar con el primer carril (12);

estando dispuestos el primer dispositivo de excitación (102) y el primer dispositivo de medición (110) a ambos lados de un plano (P) ortogonal al eje (X) y que pasa por la primera rueda (204).

- 5
11. Vagoneta de detección (200) según la reivindicación 10, **caracterizada por que** incluye:
- un segundo dispositivo de excitación (102) para excitar al menos un segundo bloque (42) fijado a un segundo carril (14) de la vía férrea (10);
- 10
- al menos un segundo dispositivo de medición (110') para medir la respuesta vibratoria del segundo bloque (42).

12. Vagoneta según la reivindicación 10 u 11, **caracterizado por que** incluye, además:

- 15
- un motor (210) para accionar en rotación al menos la primera rueda (204); y
 - un dispositivo de posicionamiento (212) configurado para controlar el motor (210) con el fin de posicionar la vagoneta (200) con respecto al primer bloque (40).

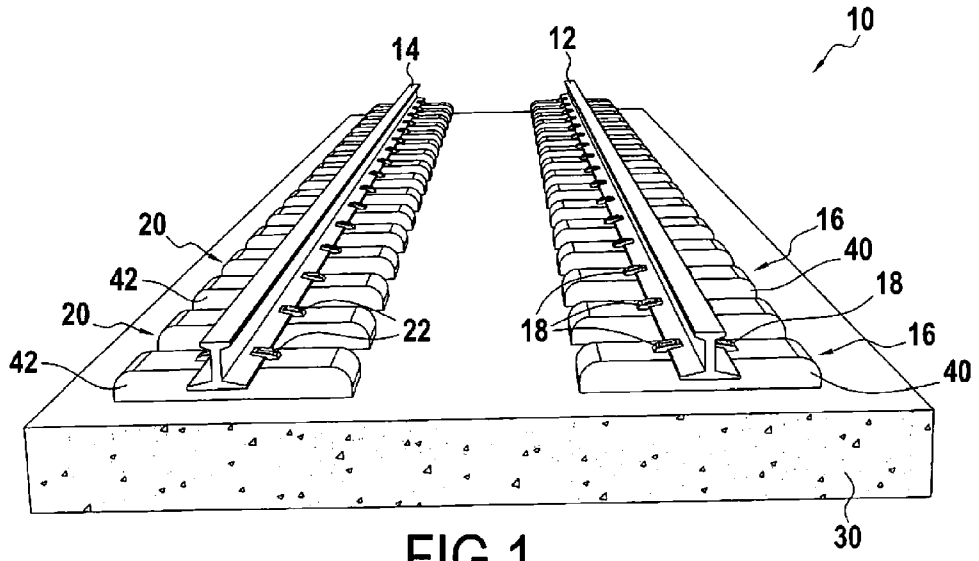


FIG. 1

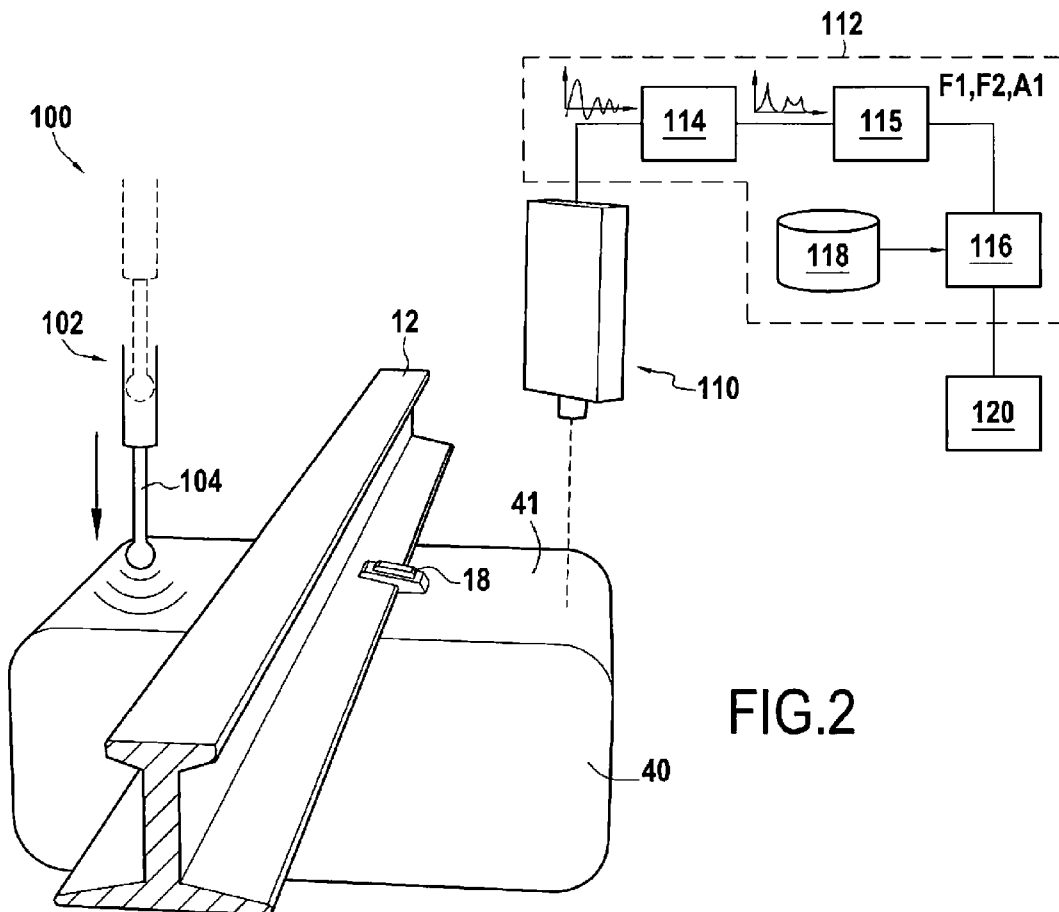


FIG. 2

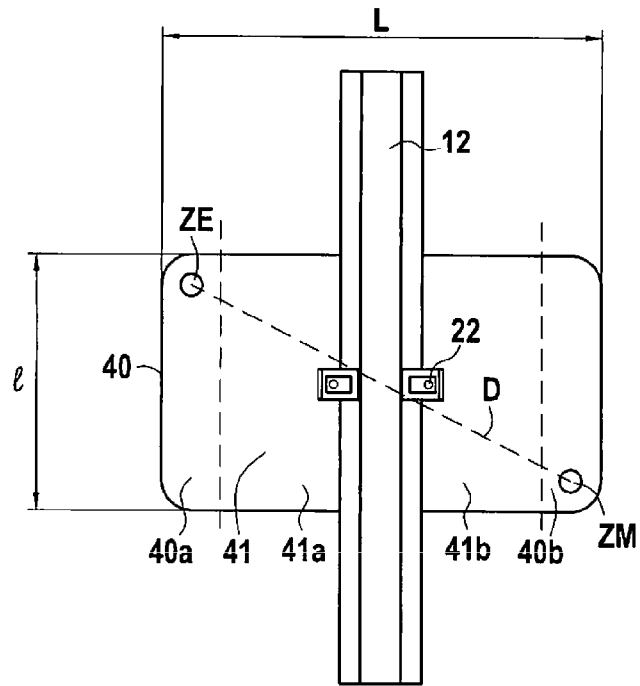


FIG.3

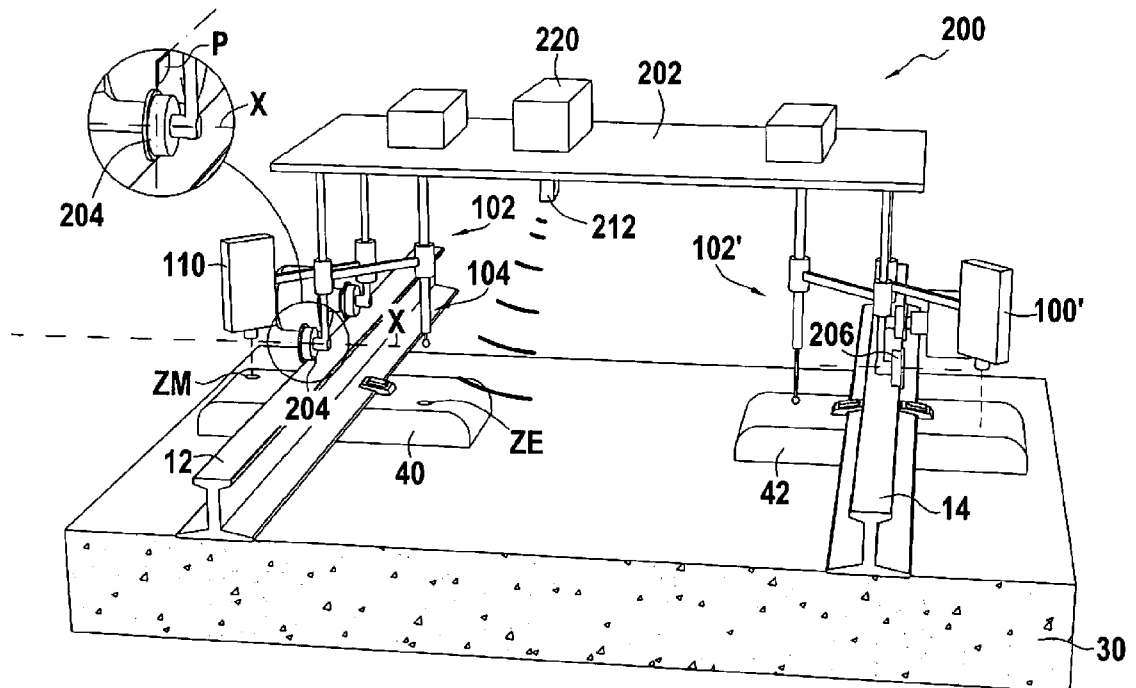


FIG.4