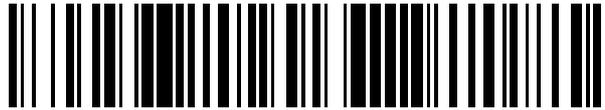


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 717**

21 Número de solicitud: 201630961

51 Int. Cl.:

**B61L 23/04** (2006.01)

**B61L 23/06** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

**14.07.2016**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**15.01.2018**

71 Solicitantes:

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

72 Inventor/es:

**MARTÍN GÓMEZ, David;  
GUINDEL GÓMEZ, Carlos;  
GARCÍA FERNÁNDEZ, Fernando;  
ARMINGOL MORENO, José María;  
DE LA ESCALERA HUESO, Arturo y  
SÁNCHEZ PANIAGUA, Ismael**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

54 Título: **Dispositivo y sistema para caracterizar vibraciones en railes, sistema y método de detección de acercamiento trenes que comprende dicho dispositivo y/o sistema, y método para detectar la rotura de un carril empleando el sistema para caracterizar vibraciones en railes**

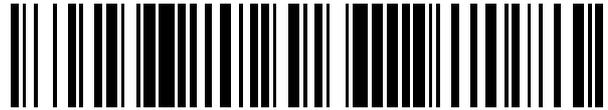
**ES 2 649 717 A2**

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 717**

21 Número de solicitud: 201630961

57 Resumen:

Dispositivo y sistema para caracterizar vibraciones en railes, sistema y método de detección de acercamiento trenes que comprende dicho dispositivo y/o sistema, y método para detectar la rotura de un carril empleando el sistema para caracterizar vibraciones en railes.

Dispositivo para caracterizar vibraciones en railes, que comprende: un módulo de adquisición, un módulo de procesamiento conectado a dicho módulo de adquisición, un módulo de alimentación, en donde el dispositivo está configurado para, medir, acondicionar y digitalizar un parámetro (P) de la vibración mecánica que se propaga por el rail, obteniendo una señal de vibración digitalizada (SVD), transmitir la señal de vibración digitalizada (SVD) medida por el módulo de adquisición caracterizar a través del procesamiento digital de la señal de vibración digitalizada (SVD) por medio del módulo de procesamiento, obteniéndose una estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD) en función de la frecuencia y el tiempo y estimar si la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD) corresponde a un tren.

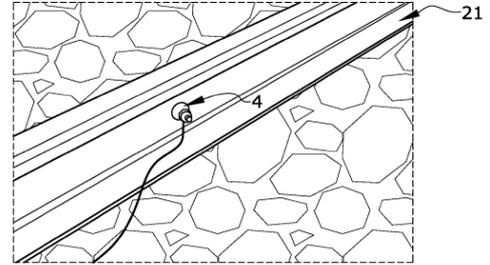


FIG.3

**DESCRIPCIÓN**

5 **DISPOSITIVO Y SISTEMA PARA CARACTERIZAR VIBRACIONES EN RAILES,  
SISTEMA Y MÉTODO DE DETECCIÓN DE ACERCAMIENTO TRENES QUE  
COMPRENDE DICHO DISPOSITIVO Y/O SISTEMA, Y MÉTODO PARA DETECTAR LA  
ROTURA DE UN CARRIL EMPLEANDO EL SISTEMA PARA CARACTERIZAR  
VIBRACIONES EN RAILES**

10 **OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención está dirigida a un sistema y un método para la detección de tráfico ferroviario en vía férrea. Adicionalmente se presenta un sistema y método de detección de roturas en vía ferroviarias basado en dicho sistema de detección de tráfico ferroviario.

15 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

La estimación de la posición de un tren que circula por vías férreas es un aspecto muy importante para la seguridad ferroviaria. En particular y en el ámbito de los trabajos realizados en una vía férrea, como por ejemplo, limpieza de vías, sustitución de vías, catenaria o reparaciones de las mismas, es esencial que los trabajadores conozcan si un tren se puede aproximar a la posición donde se están realizando dichos trabajos.

Es frecuente que este tipo de trabajos se efectúen en vías férreas abiertas a la circulación, ya sea en las proximidades de vías en servicio o, incluso, sobre las propias vías abiertas al tráfico ferroviario. Esto supone un riesgo constante de arrollamiento para los trabajadores involucrados en este tipo de trabajos, especialmente grave por su carácter altamente súbito e imprevisto. Un problema adicional de este tipo de trabajos es su gran movilidad. Esto es debido a que una vez ha concluido el trabajo en una zona, los trabajadores se trasladan a otra zona a realizar un nuevo trabajo.

Los sistemas de señalización ferroviaria se utilizan para indicar al maquinista las condiciones de la vía férrea por la que va a circular el tren. Estos sistemas se basan en los llamados circuitos de vía, que constituyen secciones de vía aisladas eléctricamente entre sí. En uno de los extremos de cada una de estas secciones, se aplica una diferencia de potencial entre ambos carriles; si esta diferencia no alcanza el otro extremo, puede deberse a la presencia de un tren, cuyos ejes se encuentran cortocircuitando los carriles, o bien a que se ha producido la rotura del carril. El problema de estos sistemas es que la información

sobre la ocupación de una sección está disponible en el enclavamiento correspondiente, donde es necesaria para programar el tráfico ferroviario, sin embargo, no es fácilmente obtenible fuera de este ámbito y por lo tanto, debido a su poca escalabilidad, no puede ser empleada para detectar el tráfico ferroviario para el ámbito de trabajos realizados en una vía férrea.

En la actualidad, la medida de seguridad empleada y obligatoria en los trabajos en la vía férrea consiste en la presencia de medios humanos habilitados: los pilotos de seguridad. Los pilotos de seguridad tienen como función avisar a los operarios que están trabajando en la vía férrea, cuando se aproxima un tren a la zona de trabajo para que procedan a interrumpir su tarea y retirarse de forma inmediata de la vía.

Con el fin de mejorar la fiabilidad del aviso en este tipo de situaciones, existen sistemas de apoyo al piloto, denominados de forma genérica SAAT (Sistemas de Alarma por Aproximación de Trenes). Como por ejemplo:

- SAAT Autoprowa Móvil (de la empresa ZÖLLNER Signal GmbH).
- MINIMEL95 (de la empresa Schweizer Electronic AG).
- TRACK (de la empresa Safetrack).

Todos estos sistemas detectan el paso de un tren cuando el tren activa un sensor de tipo inductivo (o similar) situado a larga distancia de la zona de trabajo. Posteriormente, se transmite la señal de aviso desde la ubicación de los sensores a los pilotos y/u operarios presentes en la zona de trabajo. Esta transmisión requiere, o bien el tendido y retirada de grandes longitudes de cableado diariamente, con el elevado gasto de recursos que ello supone, o bien comunicación vía radio, que presenta problemas de fiabilidad en zonas de orografía escarpada. Estos problemas, unidos a su muy elevado precio, han motivado la escasa implantación de este tipo de sistemas en situaciones de obra real.

En la literatura patente se puede encontrar la solicitud de patente canadiense CA 2685575 A1 que describe un sistema con los inconvenientes de los sistemas mencionados anteriormente. Esta solicitud de patente describe un sistema que consta de sensores inductivos colocados en ambos carriles y separados por una distancia óptima, siendo la distancia óptima una distancia igual a la longitud de un boje o bogie. Dicha solicitud de patente permite la clasificación de los coches, la detección de vehículos altos ferroviarios,

vehículos de mantenimiento y locomotoras en virtud de las diferentes secuencias de las ruedas cuando el vehículo se mueve sobre los sensores.

Por lo tanto, es necesario el desarrollo de un sistema y método de detección de tráfico ferroviario que solucione los problemas vistos en los sistemas de apoyo al piloto.

## **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención propone una solución a los problemas anteriores mediante un dispositivo para caracterizar vibraciones en railes según la reivindicación 1, un sistema para caracterizar vibraciones en railes según la reivindicación 14, un sistema de alerta de acercamiento de trenes según la reivindicación 17 y 18, un método para detectar el acercamiento de un tren que circula por railes según la reivindicación 20 y un método para detectar la rotura de un rail según la reivindicación 21. En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones preferidas de la invención.

A lo largo de este documento, se entenderá que cualquiera de los términos raíl, riel, carril o trillo se refieren a cada una de las barras metálicas sobre las que se desplazan las ruedas de los trenes y/o tranvías. Por lo tanto, la expresión vía férrea y/o línea férrea se refiere a la pareja de railes, rieles, carriles o trillos configurados para que un tren y/o tranvía circule sobre las mismas.

Un primer aspecto inventivo proporciona un dispositivo para caracterizar vibraciones en railes, que comprende,

- al menos un módulo de adquisición que comprende al menos un medio sensor configurado para medir al menos una vibración mecánica,
- al menos un módulo de procesamiento conectado a dicho al menos un módulo de adquisición,
- al menos un módulo de alimentación configurado para suministrar alimentación eléctrica a al menos los módulos de adquisición y de procesamiento del dispositivo para caracterizar vibraciones,

en donde el dispositivo está configurado para,

- a) medir, acondicionar y digitalizar, por medio del al menos un módulo de adquisición, al menos un parámetro (P) de la al menos una vibración mecánica que se propaga por

- el rail, obteniendo una señal de vibración digitalizada,
- b) transmitir, desde el al menos un módulo de adquisición al al menos un módulo de procesamiento, la señal de vibración digitalizada medida por el al menos un módulo de adquisición,
- 5 c) caracterizar el contenido en frecuencia de la al menos una vibración mecánica del carril obtenida en la etapa a) a través del procesamiento digital de la señal de vibración digitalizada por medio del al menos un módulo de procesamiento, obteniéndose una estimación de la densidad espectral de potencia de la señal de vibración digitalizada en función de la frecuencia y el tiempo,
- 10 d) determinar si la amplitud de la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD) supera un umbral  $\alpha$  y en una banda de frecuencia  $\Delta f$  determinada, la vibración mecánica corresponde a un tren.

El término al menos una vibración mecánica se entiende como la vibración o vibraciones generadas por un tren cuando dicho tren circula por la vía férrea. La al menos una vibración mecánica se transmite a lo largo de los carriles y es recogida por el medio sensor. Dicha al menos una vibración mecánica se puede considerar como el movimiento de oscilación de los puntos que componen la estructura de carril en torno a su posición de equilibrio.

20 El al menos un medio sensor mide la al menos una vibración mecánica que transcurre a lo largo del carril. El medio sensor transforma la vibración mecánica en una señal analógica que se acondicionada y se digitalizada en el módulo de adquisición. En un ejemplo de realización, la señal analógica del medio sensor cumple el estándar IEPE.

25 El dispositivo está configurado para caracterizar la señal de vibración digitalizada (SVD) mediante el empleo de técnicas de análisis de tiempo y frecuencia de dicha señal de vibración digitalizada. Con el proceso de caracterización de la señal de vibración digitalizada, se extraen las características con carácter no estacionario de la señal de vibración digitalizada, permitiendo obtener una estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD) en función de la frecuencia y el tiempo. Una vez el dispositivo ha obtenido la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD), dicho dispositivo está configurado para determinar si la señal de vibración digitalizada (SVD) proviene de un tren en circulación.

35

En un ejemplo de realización, el dispositivo clasifica la evolución de la amplitud de la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD). En este ejemplo de realización, si la amplitud durante un intervalo de tiempo determinado y en una banda de frecuencia  $\Delta f$  determinada supera un umbral  $\alpha$ , el dispositivo caracteriza la vibración como la de un tren.

5

En otro ejemplo de realización, si la amplitud durante un intervalo de tiempo determinado y en al menos dos bandas de frecuencia  $\Delta f_1$  y  $\Delta f_2$  determinadas presenta una tendencia creciente y supera unos umbrales  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  (respectivos a cada una de las bandas de frecuencia), sin llegarse a producir la saturación del medio sensor, el dispositivo caracteriza la vibración como la de un tren. Ventajosamente, caracterizar la vibración por un crecimiento progresivo de su PSD, permite evitar falsos positivos en forma de ruido constante.

10

El sensor empleado en este ejemplo de realización es un sensor dotado de una alta sensibilidad, ya que se satura con una aceleración de relativamente baja en este campo de la técnica, por ejemplo, 2g. Ventajosamente, esta característica permite filtrar convenientemente impactos puntuales que puedan producirse en el carril cerca de la zona de medición.

15

Ventajosamente, el dispositivo permite determinar el acercamiento de un tren a una cierta distancia o "zona segura", evitando el uso de cables y otros medios de transmisión a larga distancia, de forma tal que está basado en un único dispositivo que puede funcionar desde dentro de la propia zona de los trabajos realizados en una vía férrea.

20

En una realización particular, el al menos un parámetro (P) de la vibración mecánica es la aceleración. Ventajosamente, el empleo de la aceleración como magnitud de interés, resulta más adecuada para la medida en altas frecuencias y, facilita el montaje y calibración del módulo de adquisición. En un ejemplo de realización, la medida en altas frecuencias comprender realizar una medición en frecuencias comprendidas entre 20kHz y 80kHz.

25

En una realización particular, la etapa c) comprende aplicar una Transformada de Fourier de Tiempo reducido (STFT) a la señal de vibración digitalizada (SVD), obteniéndose como resultado una estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD).

30

En este ejemplo de realización, el dispositivo extrae las características relevantes de la

35

señal de vibración digitalizada (SVD) a través del empleo de la técnica de procesamiento digital de señal conocida como STFT. Dado el carácter altamente no estacionario de la respuesta vibratoria del carril ante las excitaciones mecánicas de interés, en la etapa c) se emplea extensivamente la Transformada de Fourier de Tiempo Reducido (STFT). Concretamente, las características de interés se obtienen a partir de la estimación de la densidad de energía de la señal que proporciona la STFT, que viene expresada a través del espectrograma  $P_s f$ :

$$P_s f[m, l] = |Sf[m, l]|^2 = \left| \sum_{n=0}^{N-1} f[n]g[n-m] \exp\left(\frac{-i2\pi ln}{N}\right) \right|^2$$

donde:

- $m$  es la variable discreta para la que está definido el espectrograma en el eje temporal.
- $l$  es la variable discreta para la que está definido el espectrograma en el eje de frecuencias.
- $N$  es el número de puntos sobre el cual se calcula la DFT.
- $g(t)$  es una función ventana que toma valores distintos de cero únicamente en un pequeño intervalo de valores  $t$ . Un ejemplo de función ventana sería la ventana de Hann.

Nótese que la expresión anterior denota que el espectrograma, definido para valores de  $m$  y  $l$ , se obtiene como el cuadrado del valor absoluto de la STFT ( $Sf$ ), la cual, a su vez, se calcula como la Transformada de Fourier Discreta (DFT) (en función de  $l$ ) del producto de la señal  $f$  por una ventana  $g$  cuyo desplazamiento viene dado por el parámetro  $m$ .

Las magnitudes contenidas en el espectrograma permiten evaluar la evolución temporal del contenido en frecuencia de la señal, dando lugar a características que permiten determinar el carácter de la excitación mecánica a partir de la cual ha sido originada la vibración.

Por lo tanto en este ejemplo de realización, la aproximación de trenes produce un incremento característico de la densidad de energía contenida en el espectrograma para determinados valores de frecuencia (esto es, distintos valores de  $l$ ). Estas características son las que se emplean en el dispositivo para determinar adecuadamente la vibración procedente de un tren en proceso de aproximación. En otro ejemplo de realización, estas características pueden utilizarse para calcular una estimación de la distancia a la que se

encuentra la circulación y, a partir de esta, calcular el tiempo restante para la llegada.

5 En una realización particular, la etapa c) comprende analizar la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD) a lo largo de un intervalo de tiempo ( $\Delta t_1$ ) dentro de al menos dos bandas de frecuencias ( $\Delta f_1$ ,  $\Delta f_2$ ). En otra realización particular, las al menos dos bandas de frecuencias ( $\Delta f_1$ ,  $\Delta f_2$ ) son respectivamente las bandas de frecuencias de 1,2 a 1,4 kHz y de 38 kHz a 39 kHz.

10 Las ondas de altas frecuencias sufren una menor atenuación al transmitirse a lo largo del carril de vía férrea. Ventajosamente, en este ejemplo de realización al analizar la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) en dichas frecuencias mejora la precisión en la caracterización de la vibración.

15 En una realización particular, la etapa c) comprende aplicar una transformada de tipo Wavelet a la señal de vibración digitalizada (SVD). En otro ejemplo de realización, la transformada Wavelet es una Transformada Wavelet Continua (CWT), Transformada Wavelet Discreta (DWT), o Transformada Wavelet de Paquetes Discreta (WPD).

20 El uso de una transformada Wavelet permite utilizar una resolución temporal mayor en el análisis de las altas frecuencias. Ventajosamente, este ejemplo de realización mejora la precisión en la caracterización de la vibración.

25 En una realización particular, el dispositivo comprende al menos un módulo de geoposicionamiento configurado para determinar la posición geográfica en la que se encuentra el dispositivo.

30 En una realización particular, el dispositivo comprende un primer módulo de comunicación configurado para transmitir la posición del dispositivo, la caracterización de la vibración mecánica, la determinación de la densidad espectral de potencia (PSD) o todas, a un módulo de comunicaciones externo.

35 En una realización particular, el módulo de procesamiento está configurado para calcular una estimación de la distancia a la que se ha originado la vibración a partir de la regresión exponencial de la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD). Adicionalmente, el dispositivo está configurado para

caracterizar la señal de vibración digitalizada (SVD) durante el periodo transcurrido entre la primera caracterización de señal de vibración digitalizada (SVD), que indicaba que la vibración mecánica correspondía a un tren, y el paso del tren en la posición donde se encuentra el medio sensor, y para calcular una estimación del tiempo restante y de la distancia a la que se encuentra el tren en cada momento.

En este ejemplo de realización, la determinación de la distancia del tren se basa en el siguiente principio: primero se comprueba que la amplitud de la PSD de la vibración en una banda limitada de frecuencias ( $\Delta f_1$ ,  $\Delta f_2$ ) es una función aproximadamente exponencial de la distancia al origen de la vibración, es decir, que la vibración decae exponencialmente con la distancia según viaja por el carril. Dicha función estaría expresada de la siguiente manera  $P = Ae^{-\beta x}$ , siendo P la densidad de potencia, x la distancia y A y  $\beta$  constantes positivas. Dado que la potencia PSD suele expresarse en dB (escala logarítmica), se puede expresar la PSD como  $P(dB) = C_1x + C_2$  siendo  $C_1$  y  $C_2$  constantes que dependen de las anteriores A y  $\beta$ . Por lo tanto, al despejar x se determinaría la distancia del tren.

En una realización particular, el módulo de procesamiento está configurado para calcular varios niveles de alerta de proximidad en función de un parámetro de certeza obtenido de la estimación de la densidad espectral de potencia de la señal de vibración digitalizada.

En un ejemplo de realización, el parámetro de certeza se obtiene de la siguiente forma:

- asignar valor “precaución” al parámetro de certeza si la amplitud durante un intervalo de tiempo determinado  $\Delta t_1$  y en unas bandas de frecuencia  $\Delta f_1$  y  $\Delta f_2$  determinadas supera unos umbrales  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ . En este ejemplo de realización,  $\Delta t_1$  es 2 s.
- asignar valor “proximidad” al parámetro de certeza si la amplitud durante un intervalo de tiempo determinado  $\Delta t_2$  y en unas bandas de frecuencia  $\Delta f_1$  y  $\Delta f_2$  determinadas supera unos umbrales  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ . En este ejemplo de realización,  $\Delta t_2$  es 4 s.
- asignar valor “aproximación” al parámetro de certeza si la amplitud durante un intervalo de tiempo determinado  $\Delta t_3$  y en unas bandas de frecuencia  $\Delta f_1$  y  $\Delta f_2$  determinadas supera unos umbrales  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ . En este ejemplo de realización,  $\Delta t_3$  es 6 s.
- asignar valor “alarma” al parámetro de certeza si la amplitud durante un intervalo de tiempo determinado  $\Delta t_4$  y en unas bandas de frecuencia  $\Delta f_1$  y  $\Delta f_2$  determinadas supera unos umbrales  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ . En este ejemplo de realización,  $\Delta t_4$  es 8 s.

En otro ejemplo de realización los umbrales  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  son diferentes según el parámetro de certeza que se va a asignar. Esto significa que para asignar el valor de “precaución” los umbrales  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  son diferentes que para asignar el valor “proximidad”, “aproximación” y “alarma”. De la misma forma, para asignar el resto de valores del parámetro de certeza, los umbrales empleados  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  son diferentes entre sí.

En una realización particular, el dispositivo comprende un segundo módulo de comunicación configurado para transmitir una alerta de proximidad en función del valor del parámetro (C) de certeza. En un ejemplo de realización el valor del parámetro de certeza es “alarma”.

Ventajosamente, esta realización aumenta la seguridad de los operarios que realizan trabajos de vía ya que permite alertar a dichos operarios que un tren se está aproximando a su posición.

En otro ejemplo de realización el primer módulo y el segundo módulo de comunicación están integrados en un módulo de comunicación único.

En una realización particular, el al menos un medio sensor comprende un acelerómetro.

En una realización particular, el dispositivo comprende al menos un medio de fijación unido al al menos un módulo de adquisición, en el que dicho al menos un medio de fijación está configurado para fijar el al menos un módulo de adquisición a un rail, siendo preferiblemente el al menos un medio de fijación un sistema de fijación magnética.

En otra realización particular, el al menos un medio sensor comprende un medio de fijación en el que dicho al menos un medio de fijación está configurado para fijar el al menos un medio sensor a un rail, siendo preferiblemente el al menos un medio de fijación un sistema de fijación magnética. En este ejemplo de realización el medio sensor está fijado a la vía y el módulo de adquisición está separado de la vía.

Como el módulo de adquisición o el medio sensor está fijado al raíl mediante el medio de fijación, ventajosamente, el dispositivo está configurado para determinar cualquier vibración mecánica en railes independientemente de las condiciones climatológicas, por ejemplo viento o lluvia, que puedan producir una eventual desconexión del medio sensor o del módulo de adquisición a la vía.

En un ejemplo de realización, el dispositivo comprende al menos dos módulos de adquisición con un medio sensor cada uno, y dichos medios sensores están configurados para ser fijados a cada uno de los dos railes que componen una vía férrea. En otro ejemplo de realización, el dispositivo comprende dos medios sensores y dichos medios sensores están configurados para ser fijados a cada uno de los dos railes que componen una vía férrea. En estas realizaciones, el/los módulo/s de adquisición estaría/n conectado/s al al menos un módulo de procesamiento. En estos ejemplos de realización se constituye un dispositivo redundante que, ventajosamente, aumentaría la tolerancia a los fallos ya que mediría la vibración generada por el tren en los dos railes y evitaría cualquier tipo de problema existente en uno de los carriles. Por lo tanto, la probabilidad de una falsa alarma y/o la probabilidad de no que se determine un tren en circulación (probabilidad de pérdida) disminuirían.

En un segundo aspecto inventivo, la invención proporciona un sistema para caracterizar vibraciones en railes, que comprende

- al menos un dispositivo generador de vibraciones configurado para estar en contacto con un raíl, que comprende:
  - al menos un actuador mecánico configurado para golpear en el rail y generar una vibración mecánica,
  - al menos un módulo de comunicaciones configurado para transmitir y recibir instrucciones, parámetros o ambos,
  - al menos un módulo de procesamiento configurado para procesar instrucciones y activar el al menos un actuador mecánico,
  - al menos un módulo de alimentación, configurado para suministrar alimentación eléctrica a todos los elementos del dispositivo generador de vibraciones, y
- al menos un dispositivo para caracterizar vibraciones en railes según cualquiera de los ejemplos de realización anteriores.

En un ejemplo de realización, el al menos un actuador mecánico del al menos un dispositivo generador de vibraciones comprende un solenoide con un émbolo metálico en su interior.

En un ejemplo de realización, el sistema para caracterizar vibraciones comprende al menos un medio de fijación unido a dicho dispositivo generador de vibraciones, en el que dicho al

menos un medio de fijación está configurado para fijar el dispositivo generador de vibraciones al rail.

5 El dispositivo generador de vibraciones está configurado para generar excitaciones forzadas sobre el carril que puedan ser interpretadas por el dispositivo para caracterizar vibraciones en railes. En el ejemplo de realización en el que el actuador mecánico comprende un solenoide con un émbolo metálico en su interior, se aplica una determinada corriente sobre el solenoide que produce que el émbolo experimente una cierta aceleración e impacte sobre la superficie del carril. En un ejemplo de realización, la situación de este dispositivo  
10 generador de vibraciones sobre el carril se basa en un medio de fijación con acople magnético.

En un ejemplo de realización, el dispositivo generador de vibraciones se sitúa sobre el carril a una distancia del dispositivo para caracterizar vibraciones igual a la distancia a la que se  
15 quiere detectar la llegada de las circulaciones. En este ejemplo de realización, el dispositivo generador de vibraciones y el dispositivo para caracterizar vibraciones están conectados entre sí. El dispositivo para caracterizar vibraciones está configurado para enviar una orden de activación al dispositivo generador de vibraciones. Una vez el dispositivo generador de vibraciones recibe dicha orden el dispositivo generador de vibraciones golpea la vía con el  
20 émbolo. El dispositivo para caracterizar vibraciones está configurado para calibrar los umbrales de obtención del parámetro de certeza en función de la vibración recibida. Ventajosamente, este ejemplo de realización permite garantizar el mantenimiento de las condiciones adecuadas para el correcto funcionamiento del sistema, tanto en el carril como en el sistema de medida de la vibración.

25 Adicionalmente, en el caso de que las obras que se efectúan en la vía originen una rotura del carril que impida la correcta detección de la aproximación de las circulaciones, este ejemplo de realización, ventajosamente, permitirá detectar automáticamente la rotura de la vía y advertirlo a los usuarios con la suficiente antelación.

30 En un ejemplo de realización, el sistema para caracterizar vibraciones está configurado para determinar la tasa de atenuación de la vibración a lo largo del carril, que es una variable dependiente de las condiciones mecánicas particulares de la vía. Este aspecto es importante debido a que las variables que presentan una influencia más significativa en la  
35 respuesta vibratoria del carril son las características mecánicas de la vía. Así, un parámetro

especialmente relevante es la tasa de decaimiento, que determina la atenuación (aproximadamente exponencial) que experimentan las ondas de vibración correspondientes a cada frecuencia al transmitirse por el carril. La presencia de heterogeneidades relativas a la continuidad del carril, tales como las que introducen los aparatos de vía (bridas, juntas de unión, etc.), influye de forma decisiva en este parámetro.

En un ejemplo de realización, el dispositivo generador de vibraciones se encarga de generar, mecánicamente, referencias puntuales periódicas sobre el carril, garantizando ventajosamente que el sistema se mantiene en funcionamiento de forma continuada y, además, que las condiciones mecánicas de la vía son admisibles para efectuar la detección a la distancia adecuada.

En un tercer aspecto inventivo, la invención proporciona un sistema de alerta de acercamiento de trenes que circulan por raíles, que comprende,

- un dispositivo para caracterizar vibraciones en raíles según cualquiera de los ejemplos de realización anteriores, o un sistema para caracterizar vibraciones en raíles según cualquiera de los ejemplos de realización anteriores y
- unos medios de alerta configurados para emitir un aviso, preferiblemente sonoro o visual o ambos, en función de la caracterización de la vibraciones mecánicas en los raíles.

En un ejemplo de realización, el sistema de alerta de acercamiento de trenes comprende un segundo módulo de comunicaciones configurado para recibir la caracterización de la vibración mecánica medida y emitir un aviso en función de la misma. En un ejemplo de realización el segundo módulo de comunicaciones está integrado en un medio de aviso individual para los operarios, por ejemplo, tipo brazaletes vibratorios. Ventajosamente esta realización permite avisar a los operarios de forma individualizada aumentando la seguridad del sistema.

En un cuarto aspecto inventivo, la invención proporciona un método para detectar el acercamiento de un tren que circula por raíles, que comprende,

- proveer un dispositivo para caracterizar vibraciones en raíles según cualquiera de los ejemplos de realización anteriores,
- colocar el dispositivo para caracterizar vibraciones en contacto con un rail, y
- activar el dispositivo para caracterizar vibraciones para detectar el acercamiento de

un tren.

En un quinto aspecto inventivo, la invención proporciona un método para detectar la rotura de un rail que comprende

- 5       – proveer un sistema para caracterizar vibraciones en railes según cualquiera de los ejemplos de realización anteriores,
- colocar el generador de vibraciones en contacto con un rail en una primera ubicación
- colocar el dispositivo para caracterizar vibraciones en contacto con el rail en una segunda ubicación diferente a la primer ubicación,
- 10       – activar el dispositivo para caracterizar vibraciones, y
- activar el generador de vibraciones para generar una vibración mecánica en el rail.

Todas las características y/o las etapas de métodos descritas en esta memoria (incluyendo las reivindicaciones, descripción y figuras) pueden combinarse en cualquier combinación, 15 exceptuando las combinaciones de tales características mutuamente excluyentes.

### **DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Estas y otras características y ventajas de la invención, se pondrán más claramente de 20 manifiesto a partir de la descripción detallada que sigue de formas de realización preferidas, dada únicamente a título de ejemplo ilustrativo y no limitativo, con referencia a las figuras que se acompañan.

Figura 1   En esta figura se muestra una representación esquemática de un diagrama de 25 bloques de un dispositivo para caracterizar vibraciones según la presente invención.

Figura 2   En esta figura se muestra un ejemplo de realización en detalle de los componentes de un dispositivo para caracterizar vibraciones según la presente invención.

30   Figura 3   En esta figura se muestra un ejemplo de realización de la ubicación del acelerómetro sobre el carril.

### **EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

35   En los ejemplos de realización de esta invención descritos en esta sección se describe un

sistema para caracterizar vibraciones en railes. La figura 1 muestra un esquema de conjunto de las distintas partes dedicadas a esta función dentro de un dispositivo para caracterizar vibraciones según la presente invención. En este ejemplo de realización, el dispositivo está construido en dos cajas diferenciadas, las cuales se pueden situar en diferentes posiciones a lo largo de la vía.

Una primera caja (12) que comprende un módulo de adquisición (1) con un medio sensor (4) y una segunda caja (13) que comprende el módulo de alimentación (3). El módulo de alimentación (3) suministra alimentación eléctrica a dichos módulos (1, 2). El módulo de procesamiento (2) conectado a dicho al menos un módulo de adquisición (1). En un ejemplo de realización el módulo de alimentación comprende una batería recargable y/o extraíble. Gracias a esta configuración cuando la batería del módulo de alimentación (3) tenga un nivel bajo de batería, el dispositivo para caracterizar vibraciones (10) está configurado para emitir un aviso para que un operario pueda substituir fácilmente dicha batería.

15

Dispositivo para caracterizar vibraciones (10):

La figura 2 muestra un ejemplo de realización de un dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en railes que comprende los siguientes elementos:

20

- al menos un módulo de adquisición (1) que comprende al menos un medio sensor (4) configurado para medir al menos una vibración mecánica,
- al menos un módulo de procesamiento (2) conectado a dicho al menos un módulo de adquisición (1),
- al menos un módulo de alimentación (3) configurado para suministrar alimentación eléctrica a todos los módulos del dispositivo.

25

Módulo de adquisición (1)

El módulo de adquisición (1) comprende dos etapas, una primera etapa (1.1) configurada para medir y acondicionar la al menos una vibración mecánica y una segunda etapa (1.2) configurada para digitalizar la señal acondicionada y medida en la primera etapa (1.2). En otros ejemplos de realización, ambas etapas pueden estar unificadas en una misma etapa o separadas en más sub-etapas.

35

La primera etapa (1.1) del módulo de adquisición (1) comprende al menos un medio sensor (4). En este ejemplo de realización el medio sensor es un acelerómetro (4). El acelerómetro (4) utilizado para la medida de la vibración mecánica es de tipo piezoeléctrico, y está configurado para medir al menos una vibración mecánica y convertirla en una señal eléctrica aprovechando las características físicas de los materiales que componen al acelerómetro (4). En este ejemplo de realización, el acelerómetro (4) está configurado para medir en un amplio rango de frecuencias en torno a una frecuencia de resonancia de 32 kHz. Esto es debido a que las ondas que sufren menor atenuación al transmitirse a lo largo del carril de vía férrea son las que corresponden a altas frecuencias.

10

En este ejemplo de realización y con el objetivo de incrementar la seguridad de los operarios, el acelerómetro (4) tiene una sensibilidad de 50 mV/g, la cual es suficientemente elevada como para permitir la detección de las vibraciones mecánicas generadas a larga distancia. Adicionalmente, el acelerómetro (4) comprende una base aislada y herméticamente sellada que permite al acelerómetro (4) proporcionar medidas de alta resolución y bajo ruido.

15

En la figura 3 se muestra un ejemplo de realización de un acelerómetro (4) empleado en la presente invención y del posicionamiento del acelerómetro (4) en un carril (21) durante su funcionamiento. El acelerómetro (4) comprende un medio de fijación configurado para fijar dicho acelerómetro (4) al carril (21). El medio de fijación comprende un montaje de tipo magnético, en este ejemplo imanes permanentes, que permite la fijación del acelerómetro (4) al alma del carril (21). Este tipo de acople resulta adecuado por el carácter altamente provisional en la utilización del dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en raíles (21), ya que una vez finalizado el trabajo realizado en la vía férrea (21) los operarios se trasladaran a otro lugar y se llevan con ellos dicho dispositivo para caracterizar vibraciones (10).

20

25

En este ejemplo de realización el acelerómetro (4) comprende una electrónica interna basada en el estándar IEPE, que permite que la alimentación y la señal analógica de salida se transmitan a través de una única conexión. Ventajosamente, el empleo de este estándar permite integrar dentro de una sola etapa la alimentación del acelerómetro y el proceso de acondicionamiento de la vibración mecánica medida en el módulo de adquisición (1).

30

El módulo de adquisición (1) está configurado para medir, acondicionar y digitalizar al menos

35

un parámetro (P) de la al menos una vibración mecánica que se propaga por el rail (21), obteniendo una señal de vibración digitalizada (SVD). En este ejemplo de realización, el parámetro (P) es la aceleración de la vibración mecánica.

5 En este ejemplo de realización, el módulo de adquisición (1) comprende una etapa amplificadora (6). La etapa amplificadora (6) tiene una ganancia lineal de 40 dB, por lo tanto, la señal analógica recibida del acelerómetro (4) experimenta una amplificación con una ganancia lineal de 40 dB facilitando la adquisición de la vibración mecánica generada a  
10 vibraciones (10) es de 5V/g; es decir, unos 510 mV/(m/s<sup>2</sup>). En este ejemplo de realización, la etapa amplificadora (6) comprende una batería (5) que alimenta el acelerómetro (4) según el estándar IEPE.

La segunda etapa (1.2) del módulo de adquisición (1) comprende un conversor analógico  
15 digital (7), al menos un regulador de tensión (8) y un microcontrolador (9). La función de la segunda etapa (1.2) es la conversión analógico/digital de la señal analógica acondicionada por la primera etapa (1.1) obteniendo una señal de vibración digitalizada (SVD). Para cumplir esta tarea, el dispositivo para caracterizar vibraciones (10) cuenta con un conversor analógico digital (7), basado en un convertidor de tipo SAR de alta resolución (16 bits) y  
20 elevada tasa de muestreo (200 kSPS) y un filtro paso-bajo integrado. Ventajosamente, estas características permiten la correcta adquisición de las señales de mayor frecuencia.

El regulador de tensión (8) está configurado para transformar la tensión procedente del al menos un módulo de alimentación (3) a una tensión adecuada para el funcionamiento de  
25 todos los elementos del dispositivo para caracterizar vibraciones (10). En este ejemplo de realización el módulo de la alimentación (3) proporciona una tensión de 12 V y el regulador de tensión la transforma a una tensión 5V con una corriente continua.

El microcontrolador (9) está configurado para recibir, interpretar y enviar instrucciones a los  
30 diferentes elementos del dispositivo para caracterizar vibraciones (10). Para ello, el microcontrolador (9) está conectado con una interfaz de usuario (11) que comprende una botonera y una pantalla LED. La interfaz de usuario (11) está configurada para enviar instrucciones al microcontrolador (9) y recibir las respuestas de los diferentes elementos del dispositivo para caracterizar vibraciones (10). En un ejemplo de realización, la interfaz de  
35 usuario está configurada para enviar instrucciones al microcontrolador con el objetivo de

cambiar o configurar la sensibilidad del módulo de adquisición (1), la tasa de muestreo del conversión analógico digital (7) o alguno de los parámetros de módulo de procesamiento (2).

Finalmente, la señal de vibración digitalizada (SVD) es transmitida por el microcontrolador (9) al módulo de procesamiento (2) para su caracterización, utilizando un puerto *serial peripheral interface* SPI (14) de alta capacidad.

### Módulo de procesamiento (2)

- 10 El dispositivo para caracterizar vibraciones en railes (10) está configurado para interpretar la información proporcionada por el al menos un módulo de adquisición (1). Para ello, el dispositivo para caracterizar vibraciones en railes (10) extrae las características relevantes de la señal de vibración digitalizada (SVD) a través del módulo de procesamiento (2).
- 15 El módulo de procesamiento (2) comprende un puerto de Entrada/Salida de Propósito General GPIO (18), un sistema *Single-Board Computer* SBC (15) de bajo coste, un módulo de almacenamiento (16) y un puerto USB (17). En este ejemplo de realización, el SBC (15) comprende un SoC Samsung Exynos con arquitectura ARM Cortex-A9 y conjunto de instrucciones ARMv7, y el módulo de almacenamiento (16) comprende 2 GB de memoria
- 20 RAM DDR2 y un sistema de almacenamiento de estado sólido eMMC de alta velocidad de transferencia (en torno a 160 MB/s). De esta forma, el módulo de procesamiento (2) tiene los recursos adecuados para cumplir los requisitos de tiempo real imprescindibles para esta aplicación.
- 25 En este ejemplo de realización, el módulo de procesamiento (2) está configurado para ejecutar las instrucciones correspondientes a un sistema operativo GNU/Linux optimizado específicamente para la aplicación. Del mismo modo, el módulo de procesamiento (2) está configurado para ejecutar las instrucciones para caracterizar la señal en aplicaciones realizadas en lenguaje C, permitiendo una alta optimización de los procesos a bajo nivel del
- 30 SoC. Para la realización de los cálculos más complejos relativos al procesamiento en frecuencia de la señal por el módulo de procesamiento (2), se ha incorporado una librería externa que implementa el algoritmo FFT para señales discretas. En un ejemplo de realización, las señales discretas son las señales de vibración digitalizadas (SVD) adquiridas.

35

Una vez caracterizada la señal de vibración digitalizada (SVD) por el módulo de procesamiento (2), se obtiene una estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de dicha señal (SVD) en forma de un espectrograma. Las magnitudes contenidas en el espectrograma permiten evaluar la evolución temporal del contenido en frecuencia de la señal de vibración digitalizada (SVD), dando lugar a características que permiten analizar el carácter de la excitación mecánica a partir de la cual ha sido originada la vibración mecánica. En este ejemplo de realización, la aproximación de trenes al segmento de vía instrumentado por el dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en railes (21) origina un incremento característico de la densidad de energía contenida en el espectrograma para determinados valores de frecuencia. Por lo tanto, el módulo de procesamiento (2) está configurado para determinar si la vibración mecánica procede de un tren en proceso de aproximación. En otro ejemplo de realización, el módulo de procesamiento (2) está configurado para calcular una estimación de la distancia a la que se encuentra el tren en circulación y, a partir de esta, del tiempo restante para la llegada.

15

En un ejemplo de realización, la detección de llegada de los trenes se gestiona a través de un acumulador de peligro, que experimenta variaciones en función de la evolución de estas características en el tiempo, y para ello, el módulo de procesamiento (2) está configurado para determinar varios niveles de alerta de proximidad en función de un parámetro (C) de certeza obtenido de la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD). En este ejemplo de realización, el acumulador de peligro está configurado con un sistema con cuatro niveles de alerta que se van alcanzando progresivamente según aumenta el parámetro (C) de certeza indicando un peligro inminente. Los tres primeros niveles de alerta disparan alertas parciales para incrementar el nivel de atención de los usuarios, mientras que el último corresponde a una situación en la que la llegada del tren es elevada, por lo que activa el sistema de alarma en su totalidad. En cualquier caso, el disparo del aviso resulta inequívoco toda vez queda identificado el peligro. Ventajosamente, el sistema de alerta basado en niveles de certeza permite minimizar la aparición de falsos positivos.

30

La sensibilidad del sistema puede ajustarse fácilmente modificando la distancia entre estos niveles a través de la interfaz de usuario (11). En este ejemplo de realización, el acumulador de peligro está configurado para que la transición desde el estado de reposo a la activación completa de la alarma pueda producirse en unos pocos segundos.

35

En este ejemplo de realización, el dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en railes (21) está configurado para determinar la presencia de trenes circulando a una velocidad de 140 km/h y con una antelación de al menos 30 segundos, es decir, a una distancia superior a 1,16 km. En un ejemplo de realización, en el período de tiempo transcurrido entre la activación del aviso y el paso del tren, el módulo de procesamiento (2) está configurado para calcular las características extraídas de la SVD para ofrecer una somera estimación del tiempo restante para su llegada y la distancia a la que se encuentra en cada momento. Ventajosamente, la detección es robusta ante distintos tipos de circulaciones ferroviarias y distintas velocidades de las mismas. Adicionalmente, las vibraciones generadas por eventos de otra índole, como la presencia cercana de maquinaria de obra en operación, presentan unos rasgos que permiten distinguirlas de forma precisa de las originadas por los trenes.

#### Interfaz de usuario

En un ejemplo de realización, una interfaz de usuario del dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en railes (21) comprende una pantalla LCD (19) con capacidad para representar 8x21 caracteres, una botonera, una pantalla LED, un primer módulo de comunicaciones (22) y una alarma acústica (20) de alta intensidad. La alarma acústica (20) está configurada para emitir un sonido y alertar a los operarios, de forma colectiva, de la llegada de los trenes con la suficiente antelación. En este ejemplo de realización, el disparo de la alarma se efectúa por medio de un relé (26).

El primer módulo de comunicaciones (22) comprende:

- un módulo GPS (24) configurado para obtener la posición geográfica del dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en railes (21), y
- una interfaz de comunicaciones inalámbricas (23), i.e WiFi, permitiendo la comunicación con un segundo módulo de comunicación
- un microcontrolador (25) configurado para gestionar el módulo de comunicaciones
- un relé (26).

El microcontrolador (25) está configurado para recibir, enviar y gestionar instrucciones de otros dispositivos, por ejemplo de un segundo módulo de comunicaciones o de un dispositivo generador de vibraciones. Adicionalmente, el microcontrolador (25) está configurado para recibir, enviar y gestionar instrucciones del microcontrolador (9) del dispositivo para caracterizar vibraciones (10) y del módulo de procesamiento (2).

Ventajosamente, estos ejemplos de realización permiten calibrar o gestionar de forma remota el dispositivo para caracterizar vibraciones (10).

5 En un ejemplo de realización, el segundo módulo de comunicación se integra en un elemento de aviso individual, i.e. pulsera vibradora, sonora y/o lumínica, que está configurado para transmitir una alerta de proximidad en función del parámetro (C) de certeza recibida por el primer módulo de comunicaciones (22).

### Integración de los subsistemas

10

Para la alimentación de todos los elementos del dispositivo, el módulo de alimentación (3) comprende una batería VRLA de 12 V y con una carga máxima de 7,2 Ah, capaz de proporcionar al sistema una autonomía superior a la decena de horas. El dispositivo para caracterizar vibraciones (10) comprende un interruptor (27), que en su posición de encendido permite que el módulo de alimentación (3) suministre energía eléctrica a los elementos del dispositivo para caracterizar vibraciones (10) y al primer módulo de comunicaciones (22).

15

Por lo tanto, la tensión se transmite directamente a la alarma acústica (20) cuando el relé (26) es activado. Por otro lado, todos los elementos electrónicos del resto del dispositivo se alimentan a 5V o 3,3V, por lo que es necesario transformar adecuadamente la alimentación de la batería a estos niveles. Esta operación de transformación de tensión se efectúa en el regulador (8), desde el cual se transmite la tensión transformada hacia el resto de elementos, tanto al dispositivo para caracterizar vibraciones (10) como al primer módulo de comunicaciones (22).

20

25

### Sistema de alerta de acercamiento de trenes

En este ejemplo de realización, el sistema de alerta de acercamiento de trenes dispuesto en dos cajas de tamaño y peso contenido: en la primera caja (12) se integra el dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en railes (21) exceptuando el módulo de alimentación (3) y la alarma acústica (20) que están dispuestas en la segunda caja (13). Ventajosamente, el sistema de alerta de acercamiento de trenes está configurado para funcionar de forma totalmente autónoma durante más de ocho horas.

35

En un ejemplo de realización, se muestra un sistema de alerta de acercamiento de trenes que circulan por raíles (21) que comprende:

- 5 – Un dispositivo generador de vibraciones configurado para estar en contacto con el raíl (21), que comprende:
  - Un actuador mecánico configurado para golpear en el raíl y generar una vibración mecánica. En este ejemplo de realización, el actuador mecánico comprende un solenoide con un émbolo metálico en su interior. Al aplicar corriente sobre el solenoide, el émbolo experimenta una cierta aceleración y acaba impactando sobre la superficie del carril (21).
  - 10 • Un módulo de comunicaciones configurado para transmitir y recibir instrucciones, parámetros o ambos.
  - Un módulo de procesamiento configurado para procesar instrucciones y activar el actuador mecánico.
  - 15 • Un módulo de alimentación, configurado para suministrar alimentación eléctrica a todos los elementos del dispositivo generador de vibraciones.
  - Un acople magnético que permite fijar el dispositivo generador de vibraciones al carril (21).
- 20 – Un dispositivo para caracterizar vibraciones (10).

En este ejemplo de realización, el sistema de alerta de acercamiento de trenes se basa en el empleo de dos dispositivos diferentes. El primero de ellos es el dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en raíles (21) y está destinado a ubicarse en la zona de trabajo. El segundo dispositivo es el dispositivo generador de vibraciones y está situado a una distancia determinada del dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en raíles (21).

En este ejemplo de realización, con el propósito de aumentar la eficiencia del sistema de alerta de acercamiento de trenes, se proporciona un dispositivo generador de vibraciones para calibrar el dispositivo para caracterizar vibraciones en raíles (10). Esto es debido a que las características de la SVD empleadas para la detección de trenes por el dispositivo para caracterizar vibraciones (10) pueden ser sensibles a aquellos parámetros relacionados a las características de la circulación: peso del tren, número de ejes, velocidad, etc. Las variables que presentan una influencia más significativa en la respuesta vibratoria del carril (21) son las características mecánicas de la vía (21), por ejemplo, la tasa de decaimiento. La tasa de decaimiento determina la atenuación que experimentan las ondas de vibración mecánicas

correspondientes a cada frecuencia al transmitirse por el carril. La presencia de heterogeneidades relativas a la continuidad del carril (21), tales como los aparatos de vía (bridas, juntas de unión, etc.), puede influir en dicha tasa.

- 5 Por lo tanto para calibrar el dispositivo para caracterizar vibraciones (10), el dispositivo generador de vibraciones genera vibraciones mecánicas puntuales y periódicas golpeando el carril con su émbolo metálico. De esta forma, el dispositivo para caracterizar vibraciones (10) recoge las características físicas de la vía (21) en cada instante de tiempo y ajusta los parámetros relativos a la caracterización de vibraciones mecánicas.
- 10 Adicionalmente, el dispositivo para caracterizar vibraciones (10) está configurado para detectar si las condiciones mecánicas de la vía son admisibles para efectuar la detección a la distancia adecuada, por ejemplo, si existe alguna rotura de la vía (21). De forma general, esta calibración permite estimar la tasa de atenuación de la vibración a lo largo del carril (21), optimizando el funcionamiento del sistema para caracterizar vibraciones en
- 15 railes (21).

En un ejemplo de realización, la distancia a la que se ubica el dispositivo generador de vibraciones sobre el carril (21) es igual a la distancia a la que se quiere detectar la llegada del tren. Ventajosamente, la detección de la vibración mecánica generada por el dispositivo

20 generador de vibraciones permite garantizar el mantenimiento de las condiciones adecuadas para el correcto funcionamiento del sistema, tanto en el carril (21) como en el dispositivo para caracterizar vibraciones (10). Por ejemplo, en el caso de que las obras que se efectúan en la vía originen una rotura del carril (21) que impida la correcta detección de la aproximación de los trenes, el sistema para caracterizar vibraciones en railes está

25 configurado para detectar la rotura del carril automáticamente y emitir una señal de alarma, advirtiendo a los operarios con la suficiente antelación.

En estos ejemplos de realización los elementos de dicho dispositivo para caracterizar vibraciones (10) se han integrado dentro de una caja de 235x185x119 mm con protección IP

30 65.

**REIVINDICACIONES**

1.- Dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en railes (21) caracterizado porque comprende,

- 5       – al menos un módulo de adquisición (1) que comprende al menos un medio sensor (4) configurado para medir al menos una vibración mecánica,
- al menos un módulo de procesamiento (2) conectado a dicho al menos un módulo de adquisición (1),
- 10      – al menos un módulo de alimentación (3) configurado para suministrar alimentación eléctrica a al menos los módulos (1,2) del dispositivo (10) para caracterizar vibraciones (10),

en el que el dispositivo (10) está configurado para,

- 15      a) medir, acondicionar y digitalizar, por medio del al menos un módulo de adquisición (1), al menos un parámetro (P) de la al menos una vibración mecánica que se propaga por el rail (21), obteniendo una señal de vibración digitalizada (SVD),
- b) transmitir, desde el al menos un módulo de adquisición (1) al al menos un módulo de procesamiento (2), la señal de vibración digitalizada (SVD) medida por el al menos un módulo de adquisición (1),
- 20      c) caracterizar el contenido en frecuencia de la al menos una vibración mecánica del carril (21) obtenida en la etapa a) a través del procesamiento digital de la señal de vibración digitalizada (SVD) por medio del al menos un módulo de procesamiento (2), obteniéndose una estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD) en función de la frecuencia y el tiempo,
- 25      d) determinar si la amplitud de la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD) supera un umbral  $\alpha$  y en una banda de frecuencia  $\Delta f$  determinada, la vibración mecánica corresponde a un tren.

2.- Dispositivo (10) según la reivindicación 1, en el que el al menos un parámetro (P) de la  
30 vibración mecánica es la aceleración.

3.- Dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa c) comprende aplicar una Transformada de Fourier de Tiempo reducido (STFT) a la señal de vibración digitalizada (SVD), obteniéndose como resultado una estimación de la densidad  
35 espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD).

- 4.- Dispositivo (10) según la reivindicación 3, en el que la etapa c) comprende analizar la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD) a lo largo de un intervalo de tiempo ( $\Delta t_1$ ) dentro de al menos dos bandas de frecuencias ( $\Delta f_1$ ,  $\Delta f_2$ ).
- 5
- 5.- Dispositivo (10) según la reivindicación 4, en el que las al menos dos bandas de frecuencias ( $\Delta f_1$ ,  $\Delta f_2$ ) son respectivamente las bandas de frecuencias de 1,2 a 1,4 kHz y de 38 kHz a 39 kHz.
- 10
- 6.- Dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicación de 1 o 2, en el que la etapa c) comprende aplicar una transformada de tipo Wavelet a la señal de vibración digitalizada (SVD).
- 15
7. Dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos un módulo de geo-posicionamiento (24) configurado para determinar la posición geográfica en la que se encuentra el dispositivo (10).
- 8.- Dispositivo (10) según la reivindicación 5, que comprende un primer módulo de comunicación (22) configurado para transmitir la posición del dispositivo (10), la caracterización de la vibración mecánica, la determinación de la densidad espectral de potencia (PSD) o todas, a un módulo de comunicaciones externo.
- 20
- 9.- Dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo de procesamiento (2) está configurado para calcular una estimación de la distancia a la que se ha originado la vibración a partir de la regresión exponencial de la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD).
- 25
- 10.- Dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo de procesamiento (2) está configurado para calcular varios niveles de alerta de proximidad en función de un parámetro (C) de certeza obtenido de la estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de la señal de vibración digitalizada (SVD).
- 30
- 11.- Dispositivo (10) según la reivindicación 10, que comprende un segundo módulo de comunicación configurado para transmitir una alerta de proximidad en función del valor del
- 35

parámetro (C) de certeza.

12.- Dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un medio sensor (4) comprende un acelerómetro (4).

5

13.- Dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos un medio de fijación unido al al menos un módulo de adquisición (1), en el que dicho al menos un medio de fijación está configurado para fijar el al menos un módulo de adquisición (1) a un rail (21), siendo preferiblemente el al menos un medio de fijación un sistema de fijación magnética.

10

14.- Sistema para caracterizar vibraciones en railes, caracterizado porque comprende

– al menos un dispositivo generador de vibraciones configurado para estar en contacto con un raíl (21), que comprende:

15

- al menos un actuador mecánico configurado para golpear en el rail y generar una vibración mecánica,

- al menos un módulo de comunicaciones configurado para transmitir y recibir instrucciones, parámetros o ambos,

20

- al menos un módulo de procesamiento configurado para procesar instrucciones y activar el al menos un actuador mecánico,

- al menos un módulo de alimentación, configurado para suministrar alimentación eléctrica a todos los elementos del dispositivo generador de vibraciones, y

– al menos un dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en railes según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

25

15.- Sistema para caracterizar vibraciones en railes según la reivindicación 14, en el que el al menos un actuador mecánico del al menos un dispositivo generador de vibraciones comprende un solenoide con un émbolo metálico en su interior.

30

16.- Sistema para caracterizar vibraciones en railes según la reivindicación 14 o 15, que comprende al menos un medio de fijación unido a dicho dispositivo generador de vibraciones, en el que dicho al menos un medio de fijación está configurado para fijar el dispositivo generador de vibraciones al rail (21).

35

17.- Sistema de alerta de acercamiento de trenes que circulan por raíles (21), caracterizado porque comprende,

- un dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en raíles (21) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, y
- 5 – unos medios de alerta (20) configurados para emitir un aviso, preferiblemente sonoro o visual o ambos, en función de la caracterización de la vibraciones mecánicas en los raíles (21).

10 18.- Sistema de alerta de acercamiento de trenes que circulan por raíles (21), caracterizado porque comprende,

- un sistema para caracterizar vibraciones en raíles según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16, y
- unos medios de alerta (20) configurados para emitir un aviso, preferiblemente sonoro o visual o ambos, en función de la caracterización de la vibraciones mecánicas en los
- 15 raíles (21).

19.- Sistema de alerta de acercamiento de trenes que circulan por raíles (21) según reivindicación 17 o 18, que comprende un segundo módulo de comunicaciones configurado para recibir la caracterización de la vibración mecánica medida y emitir un aviso en función

20 de la misma.

20.- Método para detectar el acercamiento de un tren que circula por raíles (21), caracterizado porque comprende,

- proveer un dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en raíles (21) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13,
- colocar el dispositivo para caracterizar vibraciones en contacto con un rail (21), y
- activar el dispositivo para caracterizar vibraciones (10) para detectar el acercamiento de un tren.

30 21.- Método para detectar la rotura de un rail caracterizado porque comprende,

- proveer un sistema para caracterizar vibraciones (10) en raíles (21) según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16,
- colocar el generador de vibraciones en contacto con un rail (21) en una primera ubicación
- 35 – colocar el dispositivo para caracterizar vibraciones (10) en contacto con el rail (21) en

- una segunda ubicación diferente a la primer ubicación,
- activar el dispositivo para caracterizar vibraciones (10), y
  - activar el generador de vibraciones para generar una vibración mecánica en el rail (21).

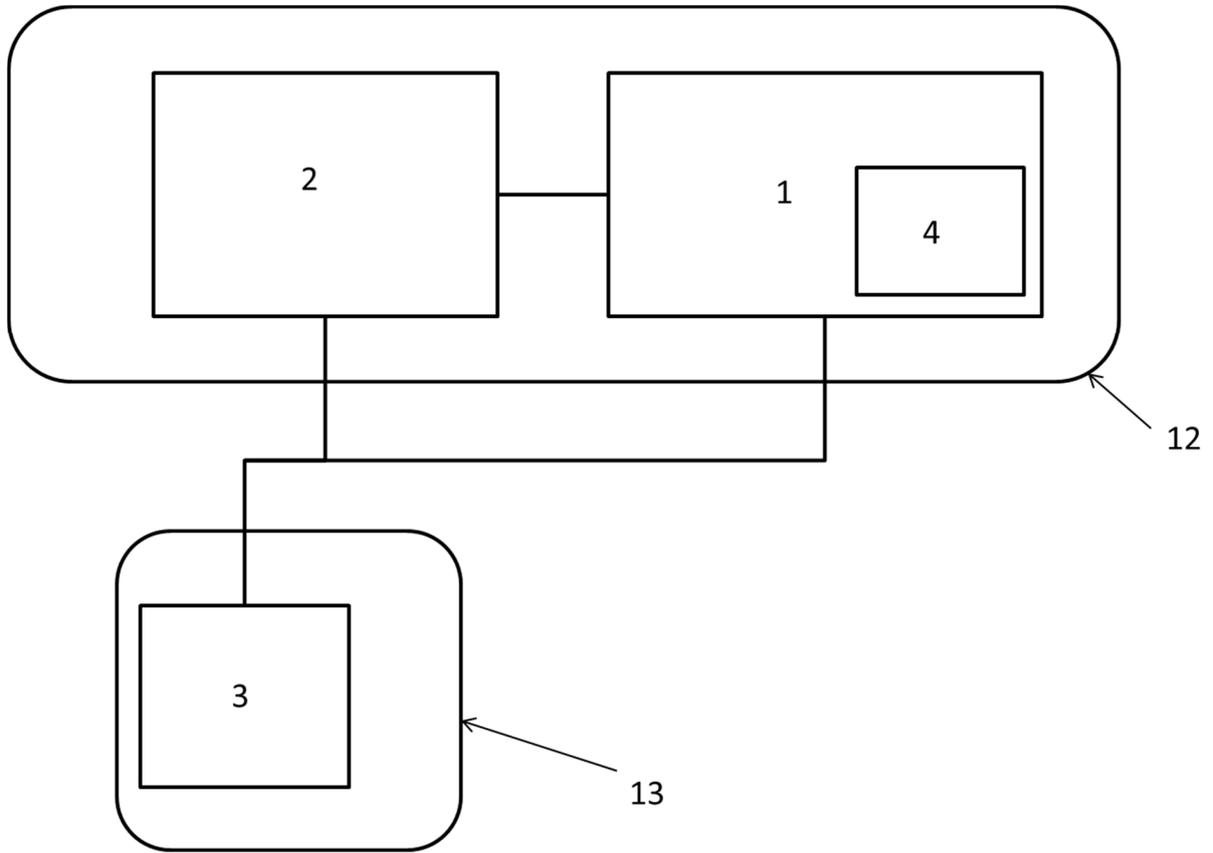


Fig. 1

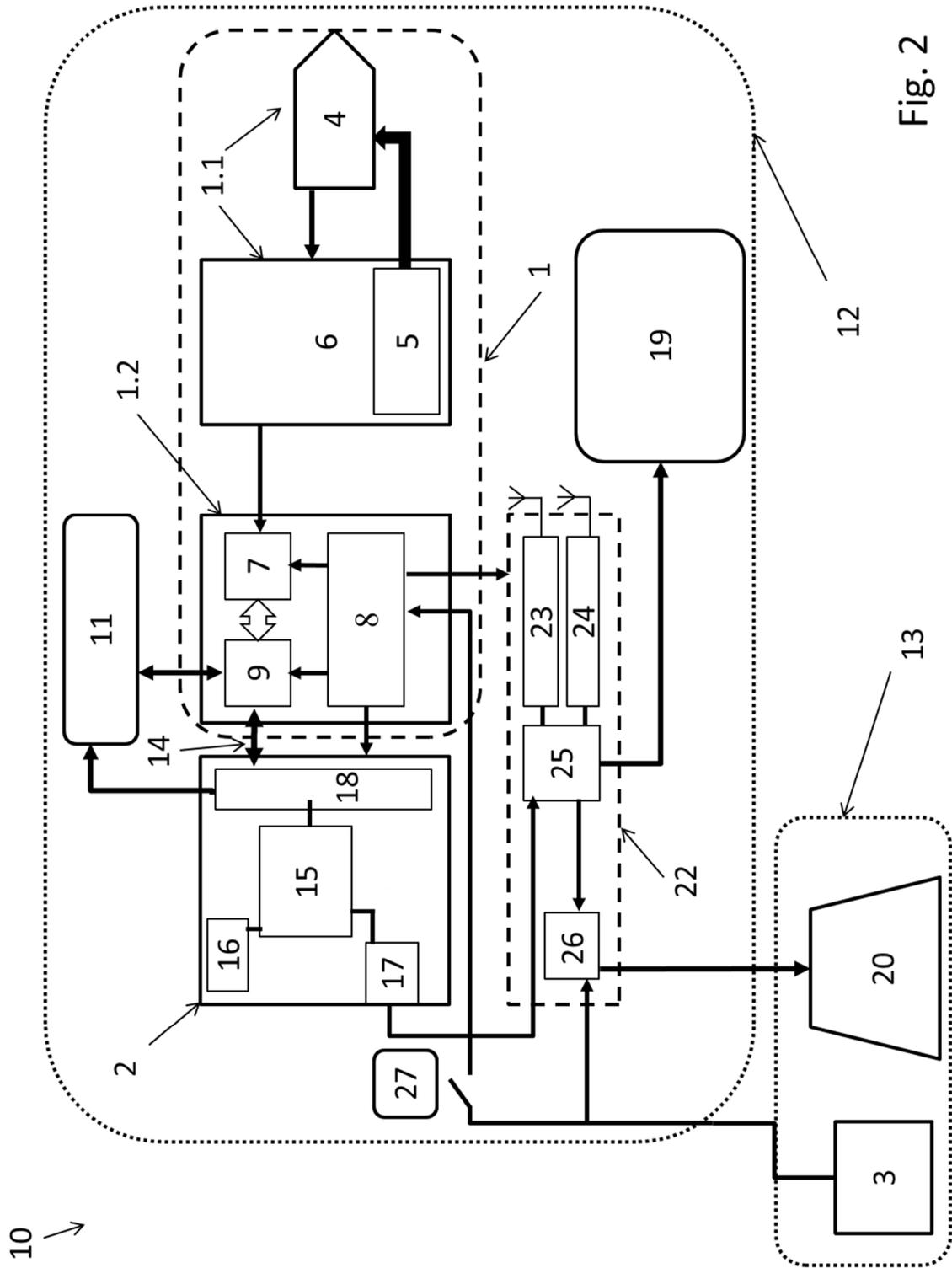
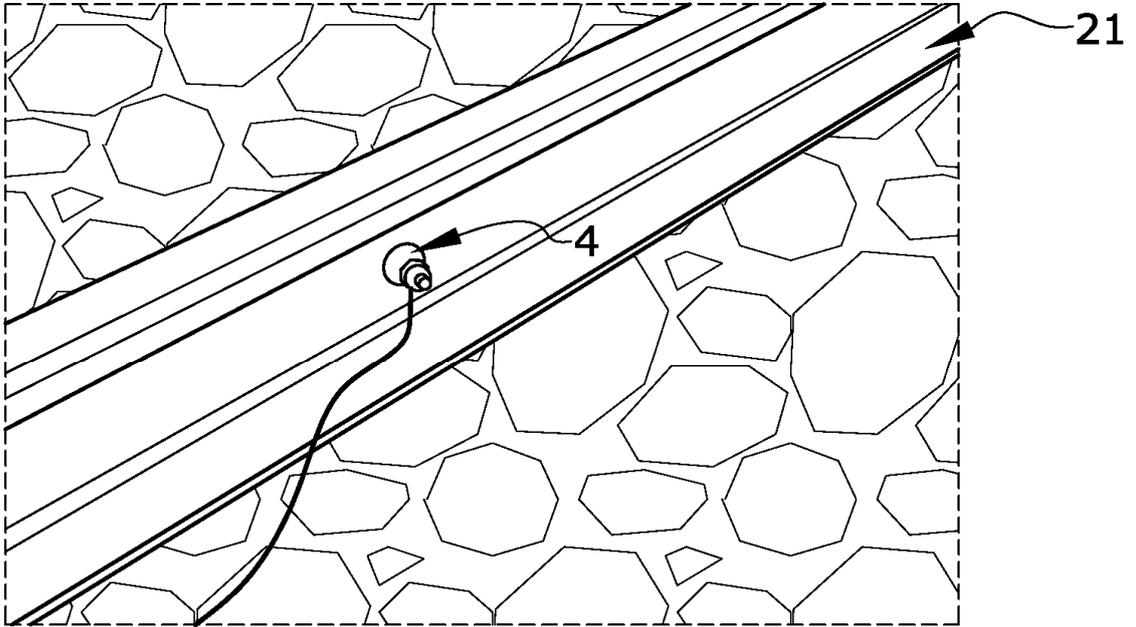


Fig. 2



**FIG.3**