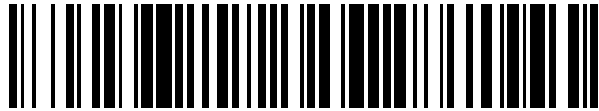


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 425**

21 Número de solicitud: 201800121

51 Int. Cl.:

G01M 7/02 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

09.05.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

11.11.2019

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

13.08.2019

Fecha de concesión:

21.05.2020

45 Fecha de publicación de la concesión:

28.05.2020

73 Titular/es:

**TELEFONOS LINEAS Y CENTRALES S.A. (25.0%)
C/ Anabel Segura 11 Edf. A planta 3 B-1
28108 Alcobendas (Madrid) ES;
INSE RAIL, S.L. (25.0%);
FUNDACIÓN CAMINOS DE HIERRO PARA LA
INVESTIGACIÓN Y LA INGENIERIA
FERROVIARIA (25.0%) y
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA (25.0%)**

72 Inventor/es:

**MUSEROS ROMERO, Pedro;
CUADRADO SANGUINO, Manuel y
IBÁÑEZ, Paul**

74 Agente/Representante:

ARSUAGA SANTOS, Elisa

54 Título: **Sistema excitador para inducir vibraciones en puentes de ferrocarril**

57 Resumen:

Sistema excitador para inducir vibraciones en puentes de ferrocarril que se compone de un actuador servohidráulico (1) unido a un vagón ferroviario (5) diseñado a tal efecto para poder transportarlo a través de las vías, o bien unido a un vehículo de neumáticos (12) (remolcado o autopropulsado). El actuador (1) genera fuerza al mover una masa de reacción de peso variable (2) guiada por cojinetes lineales (3). El sistema cuenta con equipos hidráulicos (9) que posibilitan la transmisión directa de las vibraciones a la infraestructura, de forma independiente del equipo de rodadura del vagón (5), o del vehículo de neumáticos (12), a través de falsas ruedas (10). El movimiento del pistón (7) del actuador (1) está controlado por un sistema informático programable que permite al actuador (1) introducir fuerzas de tipo general sobre un puente que no excedan el desplazamiento máximo admisible del pistón (7): fuerzas armónicas, impulsivas y transitorias. El sistema va equipado con los elementos de medida de fuerza y vibraciones (11) necesarios.

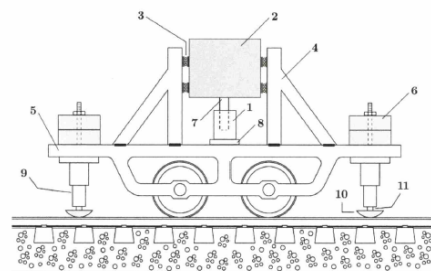


Fig 1

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

ES 2 730 425 B2

DESCRIPCIÓN

Sistema excitador para inducir vibraciones en puentes de ferrocarril.

5 Campo de aplicación industrial

La presente invención se refiere a un excitador dinámico de puentes ferroviarios transportable, capaz de ejercer fuerzas elevadas y modulables según el tipo de puente, montado preferentemente en un vagón diseñado específicamente a tal uso que, mediante un actuador hidráulico vertical, posibilite la generación de vibraciones de intensidad, frecuencia y forma de onda variables y controladas a la estructura.

Estado de la técnica

15 Existen dos situaciones principales en las que el comportamiento dinámico de un puente ferroviario es esencial para evaluar su seguridad y funcionalidad.

La primera de ellas es la puesta en servicio de una obra nueva, sometida a tráfico de alta velocidad ($V > 200$ km/h), capaz de generar vibraciones dañinas en la estructura si éstas no son adecuadamente tenidas en cuenta. El cálculo estructural durante la fase de proyecto se realiza sobre ciertas hipótesis relativas a las propiedades del puente y sus materiales, que frecuentemente se verifican por seguridad mediante prueba de carga (previa a la recepción de la obra). Particularmente en España, esta verificación es obligatoria según la Instrucción sobre las inspecciones técnicas en los puentes de ferrocarril (ITPF-05).

La segunda situación se da ante el aumento de las cargas y/o velocidades de paso sobre un puente ya existente. Al circular un tráfico ferroviario más pesado o más rápido la estructura podría no estar preparada para soportar los niveles de vibración más elevados. En tal caso, vuelven a ser necesarias pruebas de carga para verificar las propiedades dinámicas y evaluar la capacidad portante real del puente. Si dicha capacidad no es suficiente, se hace necesario su reacondicionamiento o su sustitución, con los elevados costes de ello derivados. El interés de los entes administradores de infraestructuras en este sentido es considerable, dada la continua mejora del material rodante y las crecientes demandas del transporte.

35 Dada la importancia del comportamiento dinámico en ambos escenarios, algunos de los inventores de esta solicitud ya desarrollaron un modelo de utilidad previo basado en masas contrarrotantes (referencia U 201200785), al efecto de medir con fiabilidad:

- 40 – Las frecuencias y formas modales
- Las tasas de amortiguamiento en los distintos modos de vibración

En particular, para medir el amortiguamiento real se necesitan vibraciones de la estructura similares en intensidad y duración al paso de un ferrocarril, dado que ello puede generar una respuesta no lineal que haga poco fiables los métodos basados en vibraciones ambientales (p.ej. viento) o pequeños excitadores transportables manualmente. El paso de los pesados ejes del ferrocarril abre/cierra fisuras y microfisuras, moviliza la fricción en el balasto, y de éste con la vía, deforma en mayor medida los apoyos, etc., siendo dichos complejos fenómenos responsables de la no linealidad. En este sentido, se han empleado habitualmente ensayos basados en el registro de la vibración libre tras el paso de convoyes, pero su corta duración y el hecho de que no excitan todos los modos de vibración no permiten una caracterización completa de la estructura.

Así pues, a causa de las limitaciones de los métodos de vibración ambiental, con excitadores transportables manualmente, o basadas en vibraciones libres, se desarrolló el modelo de utilidad U201200785. Sin embargo, su utilidad práctica se ve limitada por dos aspectos: (I) el amplio rango de frecuencias de interés, que abarca desde valores muy bajos cercanos a 2÷3 Hz, hasta superar los 30 Hz. El factor 15 entre la mayor y menor frecuencia hace que, para introducir una fuerza de amplitud constante en todo el rango, se necesite aumentar la excentricidad del aparato contrarrotante en un factor $15^2 = 225$, lo cual crea serios inconvenientes prácticos que obligan bien a emplazar en el vagón varios motores contrarrotantes de rango de excentricidad más estrecho, bien crear un sistema automático de variación de la excentricidad que resulta complejo y costoso. De otro modo, la modificación manual de la excentricidad haría inviable el ensayo debido a su gran duración. (II) La imposibilidad de usar funciones de excitación que no sean puramente armónicas. Ello impide caracterizar la estructura ante otro tipo de cargas, por ejemplo de tipo impulsivo, que son importantes por ser representativas del paso de ejes de ferrocarril a gran velocidad, y por tanto son de mucho interés en líneas de alta velocidad.

Para solventar ambas dificultades, y dotar al aparato de la funcionalidad necesaria, es necesario por tanto diseñar un excitador basado en un actuador más versátil que el contrarrotante.

La patente Coreana con número de referencia KR101388079B1 describe una máquina que guarda cierta relación, ya que se vale de un actuador de tipo pistón. Sin embargo, su diseño tampoco resulta adecuado para ensayar puentes de ferrocarril por los siguientes motivos:

La máquina descrita en la patente KR101388079B1 está preparada para generar vibraciones en la vía del ferrocarril, pero no estando situada sobre un puente o viaducto, sino en la vía sobre terraplén. La diferencia fundamental estriba en que en la vía sobre terraplén el movimiento de la base de la máquina será esencialmente vertical, con muy limitada rotación, pero en el caso de un puente la situación es claramente distinta.

La patente KR101388079B1 permite la colocación de masas vibrantes en forma de discos, que cuelgan a modo de péndulo del actuador. Pero si se quisiera emplear dicho equipo en un puente y se situase el aparato en cualquier punto de la estructura en el que el movimiento no fuera puramente vertical, las masas colgantes oscilarían lateralmente dañando el actuador. Un caso típico sería un puente de vía doble: situando la máquina en una de las dos vías, en centro de vano. En ese caso la oscilación de torsión provocaría el balanceo lateral de las masas, máxime teniendo en cuenta su notable elevación respecto del plano del carril. Algo similar sucedería incluso en puentes de vía única, si no se emplease exclusivamente en centro de vano o si presentasen esviaje.

La invención descrita en la patente KR101388079B1 presenta además un problema adicional, ya que no está preparada para ser transportada largas distancias por la vía al disponer únicamente de unas pequeñas ruedas, aptas solo para desplazamientos cortos.

Por otra parte, la acción de un tren sobre un puente presenta una componente pseudo-estática considerable debido a que las cargas siempre actúan hacia abajo, y además es frecuente (según la luz del puente) que haya una o varias cargas sobre la estructura. Esto provoca que el desplazamiento vertical del puente al paso del tren sea similar al de la figura 3.

Este efecto es de singular importancia en los puentes. La figura 3 muestra el paso de un TGV sobre un vano de 20 metros a 180 km/h. Se aprecia una clara componente de valor medio, indicada por la línea horizontal (valor pseudo-estático igual a 0,8 mm), y que provoca que el puente se aleje de su configuración inicial (sólo deformada por el peso propio) al entrar las cargas. A partir de ahí se crea la oscilación, que incluso podría tener carácter resonante en

función de la velocidad: las características de la respuesta se verán afectadas por el valor pseudo-estático del que partan, ya que éste determina el grado de apertura de las fisuras y microfisuras, así como el trabajo de los apoyos a plena carga y una mayor movilización del rozamiento en la capa de balasto.

5 Para reproducir un efecto de este tipo, y poder aplicar a la vez fuerzas dinámicas intensas con un excitador, es necesario poder lastrarlo con un peso variable y que se adecúe a cada puente de manera sencilla, característica ésta que queda recogida por la máquina que aquí se solicita patentar.

10 Finalmente, otro aspecto novedoso al emplear un actuador hidráulico en vez de uno contrarrotante como en el modelo previo U 201200785, es la posibilidad de instalar una célula de carga entre el propio émbolo del actuador y el bastidor del vagón, para así tener una medida directa de la fuerza ejercida que sirva de contraste y calibración para las obtenidas por los
15 sensores dispuestos en las falsas ruedas, consiguiéndose de ese modo una medida redundante que detectará posibles discrepancias y mejorará la fiabilidad del aparato.

En resumen, en el campo de los sistemas excitadores para infraestructuras ferroviarias, no
20 existe en la actualidad ninguno adecuado para puentes de ferrocarril que sea capaz de introducir fuerzas de tipo general, con componente estática regulable y soportar adecuadamente las oscilaciones laterales y de torsión del puente. El modelo de utilidad U 201200785 sólo puede producir fuerzas armónicas pero no impulsivas ni transitorias generales y, dado el amplio rango de frecuencias de interés, se necesita variar la excentricidad de la máquina en una relación 255:1 que vuelve compleja tanto su construcción como su operación.
25 Por otra parte, la patente coreana KR101388079B1 no puede tampoco utilizarse ya que se deterioraría a causa de la oscilación lateral/torsional del puente, necesitando un actuador con las masas guiadas por cojinetes lineales. Además, el aparato de origen coreano no está preparado para lastrarse, ni tampoco para transportarse largas distancias por vía de ferrocarril, lo que hace del todo impráctico su uso en puentes ferroviarios reales. Este tipo de estructuras,
30 por sus diferentes longitudes y rigideces, necesitan una fuerza estática suplementaria regulable, que debe controlarse mediante lastres adecuados a cada puente. Además, en ciertas situaciones puede convenir que los ensayos dinámicos se realicen previamente a la instalación de la vía para verificar las características estructurales de una obra nueva. En consecuencia, en la invención que se presenta también es relevante plantear un modo de
35 realización tal que el aparato pueda desplazarse en vehículo rodado de neumáticos hasta la estructura.

Breve descripción de la invención

40 El excitador se compone de un actuador servohidráulico unido a un vagón ferroviario diseñado a tal efecto para poder transportarlo a través de las vías. El excitador también puede unirse a un vehículo de neumáticos (remolcado o autopropulsado), apto para circular por carretera o por una traza de ferrocarril o camino. El actuador genera fuerza al mover una masa de reacción de peso variable guiada por cojinetes lineales.

45 El valor de la masa de reacción será función del tipo de infraestructura que se desee analizar mediante la aplicación del excitador, teniendo en cuenta las necesidades de carga para la excitación. El diseño del motor se adaptará a dichas necesidades.

50 Adicionalmente, contará con equipos hidráulicos que posibiliten la transmisión directa de las vibraciones a la infraestructura, de forma independiente del equipo de rodadura del vagón o del vehículo de neumáticos, a través de falsas ruedas. Esto es necesario para evitar desgaste en los elementos de rodadura y para evitar la pérdida de energía de excitación en los elementos de suspensión del vagón o vehículo (amortiguadores de la suspensión). El vagón o vehículo

admitirán un lastre de peso variable al objeto de ejercer fuerzas variables de distinta intensidad, sin pérdida de contacto con los carriles o la estructura y pudiendo reproducir el efecto pseudo-estático.

- 5 El movimiento del pistón del actuador estará controlado por un sistema informático programable a tal efecto, que permite al actuador introducir fuerzas de tipo general sobre un puente, tales que no excedan el desplazamiento máximo admisible del pistón: fuerzas armónicas, impulsivas y transitorias.
- 10 Por último, el equipo irá equipado de los elementos de control de carga necesarios para conocer en cada instante la fuerza realmente transmitida a la infraestructura, mediante un sensor situado entre el actuador y el vagón y sensores adicionales en las falsas ruedas. Dichos sensores en las falsas ruedas medirán también el movimiento vibratorio del puente a fin de conocer su respuesta empleando el menor número posible de sensores externos.

15

Breve descripción de las figuras

A continuación, se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención, algunos de los cuales se relacionan expresamente con realizaciones de dicha invención que se presentan como ejemplos no limitativos de ésta.

20

La figura 1 muestra los componentes que integran la invención correspondiente a la reivindicación 1ª y derivadas de ésta, asociada a un primer modo de realización, donde se observa: un vagón ferroviario; actuador hidráulico; pistón o émbolo del actuador; masa de reacción de peso variable; cojinetes lineales; bastidor; lastres regulables; sensor de medida global de la fuerza entre actuador y vagón; sistema hidráulico de transmisión de fuerza a la vía sobre el puente; falsas ruedas; sensores de medida de fuerza y vibración en las falsas ruedas.

25

La figura 2 muestra los componentes que integran la invención correspondiente a la reivindicación 2ª y derivadas de ésta, asociada a un segundo modo de realización, donde se observa: un vehículo de neumáticos, remolcado o autopropulsado; actuador hidráulico; pistón o émbolo del actuador; masa de reacción de peso variable; cojinetes lineales; bastidor; lastres regulables; sensor de medida global de la fuerza entre actuador y vehículo de neumáticos; sistema hidráulico de transmisión de fuerza a la estructura del puente; falsas ruedas; sensores de medida de fuerza y vibración en las falsas ruedas.

30

35

La figura 3 muestra la respuesta (deflexión en centro de vano) de un puente isostático de 20 metros de luz ante el paso de un tren tipo TGV, circulando a 180 km/h, donde se observa la gráfica de la deflexión en función del tiempo (curva oscilante) y el valor medio pseudo-estático de la misma (línea horizontal) cuyo efecto debe ser reproducido mediante el peso de un vagón o vehículo de neumáticos suplementado mediante lastre si es necesario.

40

Modos de realización

45 El modo de realización preferido se muestra en la figura 1, donde un vagón ferroviario (5) aloja un bastidor (4) solidario con el mismo, sobre el que se puede deslizar verticalmente una masa de reacción (2) ajustable en peso guiada y por cojinetes lineales (3) de muy baja fricción. La masa de reacción (2) se impulsa con un pistón o émbolo (7) que forma parte del actuador hidráulico (1), siendo el movimiento del pistón controlado mediante software y hardware ad-hoc, con las funcionalidades necesarias para producir funciones de carga de tipo general, tales que no excedan el desplazamiento máximo admisible del pistón: fuerzas armónicas, impulsivas y transitorias.

50

- La medida precisa de la función de carga es esencial, por lo que se plantea un doble dispositivo novedoso, consistente en un primer sensor global (8), situado entre el actuador (1) y el vagón (5), y sensores adicionales (11) que miden directamente la fuerza concreta que se transmite en cada punto de contacto de la máquina con la vía del tren situada sobre el puente.
- 5 Este doble dispositivo permite detectar discrepancias y aumenta por ello la calidad y fiabilidad de la medida. La medida directa de las fuerzas ejercidas en la vía permite realizar las operaciones de mantenimiento sin necesidad de desguarnecerla, ahorrando con ello tiempo y costes considerables. El contacto entre el vagón y la vía se realiza mediante falsas ruedas (10), que se ponen en contacto con los carriles mediante actuadores hidráulicos (9) capaces de
- 10 bloquear el movimiento vertical, al tiempo que se bloquean también los sistemas de suspensión del vagón para que no oscilen durante el movimiento. Los sensores (11) situados en las falsas ruedas miden también el movimiento vibratorio del puente a fin de conocer su respuesta empleando el menor número posible de sensores externos.
- 15 El efecto pseudo-estático del peso de un tren, mostrado en la figura 3, se reproduce mediante el peso propio del vagón (5), que puede necesitar lastrarse en función del puente, su luz y su rigidez. A tal efecto se dispone el vagón (5) con la posibilidad de incorporar lastre adicional (6), hasta alcanzar el peso necesario.
- 20 Un segundo modo de realización se muestra en la figura 2, donde en este caso es un vehículo de neumáticos (12) el que aloja el bastidor (4) solidario con el mismo, sobre el que se puede deslizar verticalmente una masa de reacción (2) ajustable en peso y guiada por cojinetes lineales (3) de muy baja fricción. El vehículo puede ser o bien remolcado o bien autopropulsado, según convenga. Este tipo de vehículo da la posibilidad de transportar el
- 25 sistema hasta el puente por la traza del ferrocarril, previo a la instalación de la vía, para realizar pruebas de recepción o ensayos de otro tipo. Igualmente, por su configuración permite ensayar puentes de carretera en caso necesario.
- 30 La masa de reacción (2) se impulsa con un pistón o émbolo (7) que forma parte del actuador hidráulico (1), siendo el movimiento del pistón controlado mediante software y hardware ad-hoc, con las funcionalidades necesarias para producir funciones de carga de tipo general, tales que no excedan el desplazamiento máximo admisible del pistón: fuerzas armónicas, impulsivas y transitorias.
- 35 Al igual que en la realización primera, la medida precisa de la función de carga es esencial, por lo que se plantea un doble dispositivo novedoso, consistente en un primer sensor global (8), situado entre el actuador (1) y el vehículo de neumáticos (12), y sensores adicionales (11) que miden directamente la fuerza concreta que se transmite en cada punto de contacto de la
- 40 máquina con el tablero del puente sobre el que se sitúa. Este doble dispositivo permite detectar discrepancias y aumenta por ello la calidad y fiabilidad de la medida. El contacto entre el vehículo de neumáticos y el puente se realiza mediante falsas ruedas (10), que se ponen en contacto con el tablero mediante actuadores hidráulicos (9) capaces de bloquear el movimiento vertical, al tiempo que se bloquean también los sistemas de suspensión del
- 45 vehículo de neumáticos para que no oscilen durante el movimiento. Los sensores (11) situados en las falsas ruedas miden también el movimiento vibratorio del puente a fin de conocer su respuesta empleando el menor número posible de sensores externos.
- 50 El efecto pseudo-estático del peso de un tren, mostrado en la figura 3, se reproduce mediante el peso propio del vehículo de neumáticos (12), que puede necesitar lastrarse en función del puente, su luz y su rigidez. A tal efecto se dispone el vehículo de neumáticos (12) con la posibilidad de incorporar lastre adicional (6), hasta alcanzar el peso necesario.

REIVINDICACIONES

5 1.- Sistema excitador para inducir vibraciones en puentes de ferrocarril, constituido por un
actuador hidráulico vertical (1), una masa de reacción de peso variable (2) guiada verticalmente
por cojinetes lineales (3) que impiden cualquier movimiento horizontal de dicha masa respecto
del bastidor (4), el cual va montado solidariamente sobre un vagón ferroviario (5) diseñado a tal
efecto, remolcado o autopropulsado, que admite un lastre de peso variable (6) y que cuenta
10 con un equipo hidráulico (9) capaz de transmitir la excitación al puente directamente, sin pasar
por el sistema de rodadura del vagón, a través de falsas ruedas (10), y donde el movimiento del
pistón (7) del actuador (1) está controlado por un sistema informático programable a tal efecto,
que permite al actuador (1) introducir fuerzas de tipo general sobre un puente, tales que no
excedan el desplazamiento máximo admisible del pistón (fuerzas armónicas, impulsivas y
transitorias), caracterizado por ser medidas globalmente dichas fuerzas de tipo general a través
de un sensor (8) situado entre el actuador (1) y el vagón (5).

15 2.- Sistema excitador para inducir vibraciones en puentes de ferrocarril, de acuerdo con la
reivindicación 1ª, caracterizado por contar con equipos de medida de fuerza y vibraciones (11)
necesarios para conocer en cada instante tanto la fuerza realmente transmitida en cada punto
a la vía situada sobre el puente para contraste con la medida global del sensor (8), como el
20 nivel de vibraciones existentes en la estructura.

25 3.- Sistema excitador para inducir vibraciones en puentes de ferrocarril, constituido por un
actuador hidráulico vertical (1), una masa de reacción de peso variable (2) guiada verticalmente
por cojinetes lineales (3) que impiden cualquier movimiento horizontal de dicha masa respecto
del bastidor (4), el cual va montado solidariamente sobre un vehículo de neumáticos (12)
diseñado a tal efecto, remolcado o autopropulsado, que admite un lastre de peso variable (6) y
que cuenta con un equipo hidráulico (9) capaz de transmitir la excitación al puente
directamente, sin pasar por el sistema de rodadura del vehículo, a través de falsas ruedas (10),
30 y donde el movimiento del pistón (7) del actuador (1) está controlado por un sistema informático
programable a tal efecto, que permite al actuador (1) introducir fuerzas de tipo general sobre un
puente, tales que no excedan el desplazamiento máximo admisible del pistón (fuerzas
armónicas, impulsivas y transitorias), caracterizado por ser medidas globalmente dichas
fuerzas de tipo general a través de un sensor (8) situado entre el actuador (1) y el vehículo de
neumáticos (12).

35 4.- Sistema excitador para inducir vibraciones en puentes de ferrocarril, de acuerdo con la
reivindicación 3ª, caracterizado por contar con equipos de medida de fuerza y vibraciones (11)
necesarios para conocer en cada instante tanto la fuerza realmente transmitida al puente en
cada punto para contraste con la medida global del sensor (8), como el nivel de vibraciones
40 existentes en la estructura.

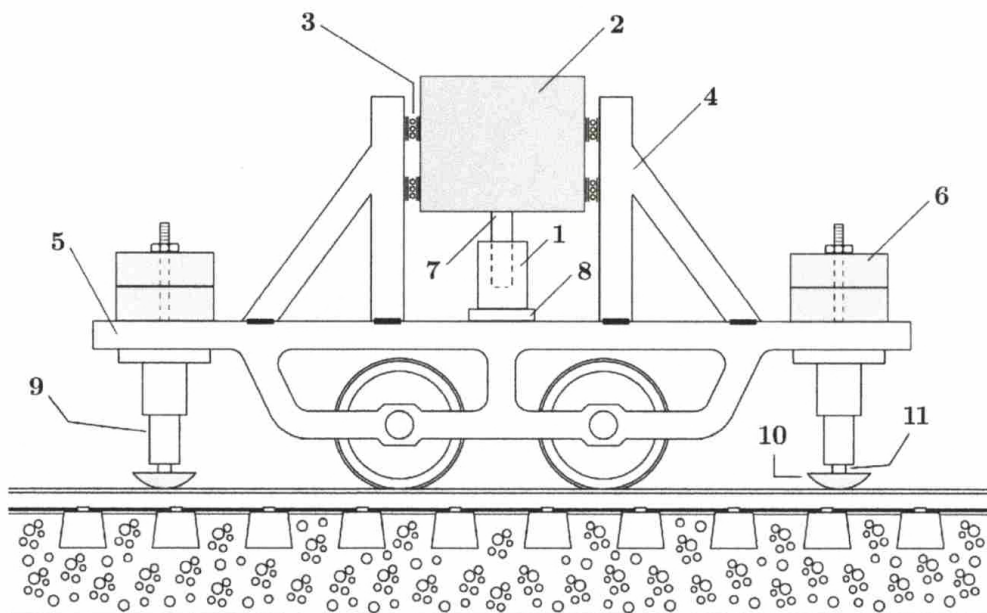


Fig 1

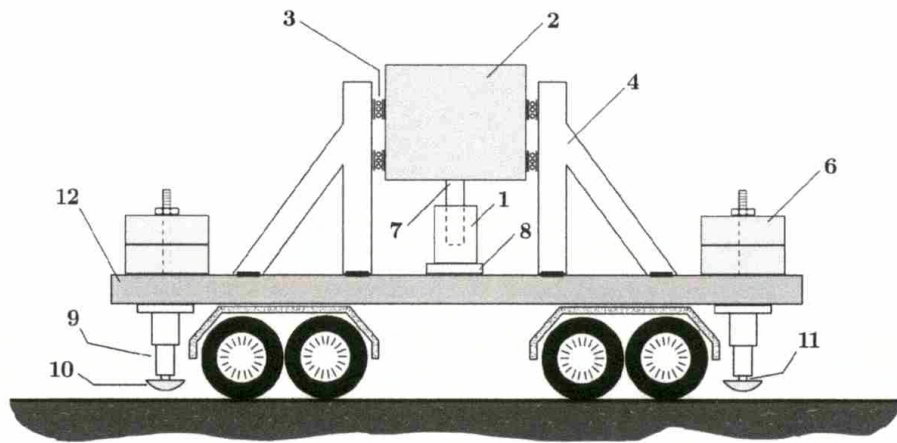


Fig 2

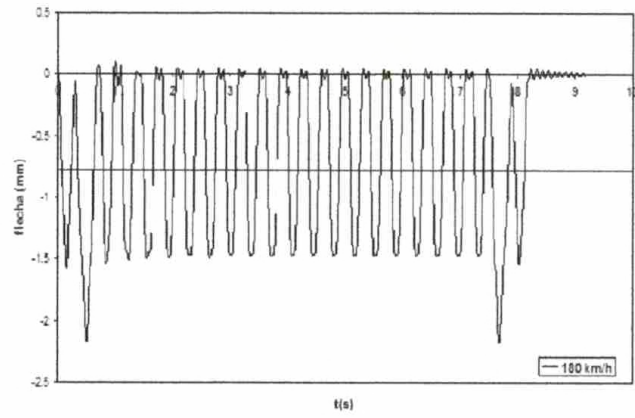


Fig 3