

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 732 675**

21 Número de solicitud: 201830493

51 Int. Cl.:

E01F 8/00 (2006.01)

E01B 19/00 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

22.05.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

25.11.2019

Fecha de concesión:

27.03.2020

45 Fecha de publicación de la concesión:

03.04.2020

73 Titular/es:

DIGITALIA SOLUCIONES ESTRUCTURALES, S.L.
(100.0%)

AVDA GASPAR AGUILAR 43, 1º
46007 VALENCIA (Valencia) ES

72 Inventor/es:

REAL HERRAIZ, Teresa Pilar;
BAYDAL GINER, Beatriz;
LABRADO PALOMO, Miriam;
RIBES LLARIO, Francesc;
COLOMER ROSELL, Ernesto Alejandro;
SANCHO BRU, Ana;
ZORNOZA ARNAO, Adrian y
REAL HERRAIZ, Julia Irene

54 Título: **ELEMENTO DE HORMIGÓN, PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN Y SU USO COMO BARRERA VIBRATORIA EN VÍAS FERROVIARIAS**

57 Resumen:

Elemento de hormigón, procedimiento de fabricación y su uso como barrera vibratoria en vías ferroviarias. La presente invención da a conocer un elemento de hormigón para atenuar las vibraciones en vías ferroviarias que tiene una forma paralelepípedica hueca, comprendiendo dicho hormigón: (a) cemento; (b) agua; (c) áridos finos; (d) áridos mixtos; (e) áridos gruesos; (f) caucho procedente de neumáticos fuera de uso (en adelante, NFU); y (g) fibras de polipropileno monofilamentadas. La presente invención también se refiere a un procedimiento de fabricación, y uso como barrera vibratoria en vías ferroviarias.

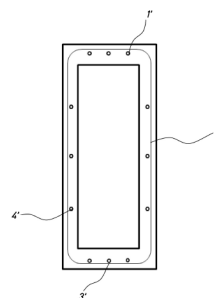


Fig.3

ES 2 732 675 B2

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).

DESCRIPCIÓN

Elemento de hormigón, procedimiento de fabricación y su uso como barrera vibratoria en vías ferroviarias

5

La presente invención se refiere al sector de la ingeniería civil, en particular se refiere a un elemento fabricado a partir de una composición específica de hormigón, que se puede utilizar como una barrera para las vibraciones provocadas en entornos ferroviarios. La presente invención se refiere además a un procedimiento para su fabricación, instalación y

10

Fundamentalmente en el entorno urbano, la transmisión de vibraciones provocadas en el entorno ferroviario resulta un problema tanto de contaminación acústica como de seguridad. Son conocidos diferentes dispositivos y métodos que han sido diseñados para disuadir o ejercer como barrera frente a las vibraciones en los entornos ferroviarios, fundamentalmente cuando estas tienen lugar en entornos urbanos.

15

El fenómeno vibratorio en el campo de la ingeniería ferroviaria se produce en tres fases: generación, transmisión y propagación. El origen de las vibraciones (generación) por el paso de un vehículo ferroviario tiene lugar a partir de la interacción del propio vehículo con la vía, en concreto, la generación de estas vibraciones acontece en la zona de contacto entre la rueda y el carril. Desde este punto, la energía transmitida por el tren a la vía se manifiesta de diferentes formas, entre las que destacan especialmente las vibraciones. En función de los principales mecanismos de generación en cada caso, las vibraciones tendrán unas características diferentes, en términos de valores de amplitud y/o frecuencia. Estos mecanismos de generación dependen fundamentalmente del movimiento de la carga “cuasi-estática” o las fuerzas dinámicas provocadas a causa de diferentes defectos encontrados tanto en la rueda como en el carril.

20

25

Se entiende por carga “cuasi estática” aquella generada por el desplazamiento de la masa del tren a lo largo del sistema flexible a través del suelo. De esta forma, el peso de un supuesto tren parado crea una deformación estática en los puntos sobre los cuales apoyan las ruedas, cuyo valor dependerá de las propiedades mecánicas de la vía. Desde el punto de vista vibratorio, cuando el tren se mueve, la deformación excita cada uno de estos puntos generando ondas que se propagan hasta un entorno cercano, aproximadamente hasta una distancia de un cuarto de longitud de onda desde la vía, cuyo valor aproximado suele quedar

30

35

establecido en el orden de los 10 m desde los carriles. En cualquier caso, tanto las frecuencias de vibración generadas por este tipo de carga como su magnitud, dependerán básicamente de aspectos como la estructura y peso del vehículo, la velocidad de circulación o la carga transmitida por eje.

5

Respecto a las fuerzas dinámicas, son aquellas generadas en la zona de contacto rueda-carril a partir de la combinación del perfil irregular del carril y de las imperfecciones en la rueda, así como de los cambios de rigidez generados en el paquete de vía, por ejemplo, en la transición suelo-estructura, aparición del fenómeno de danza de traviesas, entre otros.

10

Su importancia en el ámbito ferroviario ocupa una posición destacada, pues dependiendo de la magnitud de los desperfectos, podrán llegar a alcanzar una magnitud varias veces superior al valor estático del peso del tren.

15

En cuanto a las frecuencias registradas en la fase de generación, las frecuencias más bajas se deben a fenómenos de movimiento del propio vehículo, mientras que las frecuencias intermedias, que serán las que más efecto vayan a tener en las personas e infraestructuras cercanas, se deben a fenómenos de resonancia entre rueda y carril, al paso de las traviesas y defectos de rueda como planos y ruedas ovals. Finalmente, las frecuencias más altas se deben a la corrugación, tanto de la rueda como de la cabeza del carril.

20

Una vez generadas las vibraciones en el contacto entre la rueda y el carril, éstas se transmiten a través de la superestructura de la vía (fenómeno de transmisión) para continuar su camino por el terreno (fenómeno de propagación). La importancia del fenómeno de transmisión es clave en el fenómeno vibratorio, pues supondrá el primer obstáculo al avance de las ondas. Fundamentalmente, existen tres parámetros que influyen en la transmisión de las vibraciones a través de la superestructura: los constitutivos, que son aquellos vinculados al conjunto rueda-carril, la inercia, la masa, la rigidez y el coeficiente de disipación, los estructurales, que son aquellos que contribuyen al fenómeno en base a la configuración, tanto en el orden funcional del vehículo como de la superestructura ferroviaria, y los cinemáticos, que son aquellos relativos a la velocidad de paso del tren. Por último, en cuanto a la fase de propagación, está estará fuertemente influenciada por el tipo de medio en el que tenga lugar, estratificado o elástico homogéneo.

30

35

Ante esta situación, muchas autoridades públicas se han visto en la obligación de legislar al respecto, tratando de minimizar las molestias y afecciones que puede generar el fenómeno vibratorio en el ámbito ferroviario.

Existen fundamentalmente dos mecanismos de mitigación de las ondas vibratorias: por absorción de las ondas y por la frecuencia de corte. En cuanto al primero, los elementos de disipación de los sistemas vibratorios son los que fuerzan la pérdida de energía del mismo.

- 5 Además, estos elementos poseen como característica una relación entre una fuerza aplicada y la respuesta correspondiente de velocidad. Este tipo de elementos posee unas ciertas características especiales ya que se considera que no tienen inercia, ni medios de almacenar o liberar energía potencial. El movimiento mecánico impartido a estos elementos se convierte en calor o sonido y, por tanto, se les denomina no conservativos o disipativos
10 porque el sistema mecánico no puede recuperar esta energía.

- Respecto a la frecuencia de corte, queda referida a la existencia de una frecuencia por debajo de la cual no se transmiten las ondas. Para ello, se debe estudiar cómo varía la respuesta vibratoria del sistema en función de la frecuencia a la que actúa la excitación. Por
15 tanto, para que una medida de mitigación de las vibraciones sea efectiva en cualquier escenario, ésta debe ser una solución con la capacidad de poder adaptar su sistema de atenuación a cada tipo de explotación y a cada situación en concreto. No existe en la actualidad ningún sistema que posea dicha característica básica de adaptabilidad, ya que por su propia naturaleza los sistemas actuales sólo actúan sobre intervalos muy concretos y
20 limitados.

- Las soluciones aplicadas hasta la fecha tanto en vías convencionales como vías en placa se pueden dividir fundamentalmente en las sujeciones y las zanjas paralelas a la vía. Las sujeciones se diseñan para mantener fijado tanto el patín como el alma del carril. De esta
25 forma se consigue reducir las vibraciones del carril y, en consecuencia, las vibraciones transmitidas al entorno. Este tipo de sujeciones producen una reducción de las vibraciones en la banda de 1/3 de octava de 31.5 Hz de alrededor de 12 dB. En cuanto a las zanjas ejecutadas en paralelo a la vía, estas pueden estar rellenas de otros materiales o directamente disponerse vacías. Dichas zanjas provocan un cambio en la impedancia del
30 terreno, lo cual provoca la reflexión de parte de las ondas, no pudiendo transmitirse al entorno. Para esta última solución, se han detectado niveles de atenuación de vibraciones de aproximadamente 14 dB para una frecuencia de 25 Hz. En cambio, para el caso de altas frecuencias, se han registrado fenómenos de amplificación de las vibraciones.

- 35 Asimismo, existe otro tipo de solución, que se emplea de manera concreta para casos de vía convencional o vía en placa. En esta solución se dispone una base elastomérica bajo las

traviesas. La colocación de estas mantas elastoméricas puede conseguir una disminución de las vibraciones en la banda de 1/3 de octava de 31.5 Hz de 5 dB, y en las bandas de 63 y 80 Hz una reducción de 10 dB. En cuanto a las mantas elastoméricas, éstas son colocadas en la base del balasto. El uso de las mismas en vías de superficie requiere la colocación de una capa de asfalto que hace más rígido el terraplén, así como la colocación de un estribo a uno de los dos lados de la vía para que estabilice el balasto. Esta solución ha conseguido reducciones de las vibraciones en la banda de 1/3 de octava de 40 Hz de 10 dB.

Para el caso de vías en placa, las soluciones más habituales son las estructuras apoyadas sobre capas rígidas y las traviesas envueltas en cajones elásticos. Las estructuras apoyadas sobre capas rígidas consisten en el apoyo de la vía en placa sobre capas de asfalto o de hormigón. En este caso las traviesas descansan directamente sobre estas capas. En función del fabricante, se han conseguido reducciones de 5 dB para frecuencias de 40 a 50 Hz, hasta reducciones de las vibraciones en la banda de frecuencias de 40 a 160 Hz de alrededor de 7 dB, aunque también es cierto que se pueden producir vibraciones amplificadas para vibraciones no comprendidas en el intervalo de frecuencias.

En cuanto a las traviesas envueltas en cajones elásticos, esta solución consiste en la colocación de traviesas de hormigón en cajones elásticos, los cuales envuelven completamente la propia traviesa. El conjunto de la traviesa con su envoltura elástica es embebido en la losa de hormigón de la vía en placa. La efectividad de esta solución también viene influenciada por el fabricante. Se consiguen reducciones de alrededor de 10 dB para frecuencias de alrededor de 40 Hz, hasta el mismo grado de reducción para vibraciones pero para frecuencias en torno a 100 Hz.

Tal como se ha explicado anteriormente, las diferentes soluciones en la técnica anterior se aplican en escenarios muy concretos y no funcionan en el amplio abanico de situaciones en las que es necesario atenuar las vibraciones.

Los presentes inventores tras exhaustivas investigaciones han desarrollado un elemento fabricado de una composición específica de hormigón, que da respuesta a las necesidades de atenuación de vibraciones en cualquier escenario. El procedimiento para atenuar las vibraciones que utiliza dicho elemento de hormigón se basa en el uso de dichos elementos en forma modular, que tienen forma de prisma rectangular con un orificio central y se adaptan a cada tipo de explotación y situación concreta.

La presente invención será descrita en base a las figuras adjuntas en las que:

5 La figura 1 muestra una vista en perspectiva de una realización del elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias de la presente invención.

La figura 2 muestra una sección transversal correspondiente al elemento de hormigón para la atenuación de vibraciones de la presente invención instalado en el terreno.

10 La figura 3 muestra una vista en sección transversal correspondiente al elemento de hormigón para la atenuación de vibraciones de la presente invención en el que se ha aplicado una posibilidad de armado.

15 La figura 4 muestra una vista en perspectiva del entorno en el que se instalan los elementos de hormigón para la atenuación de vibraciones de la presente invención.

Tal como se describió anteriormente, un primer objeto de la presente invención es un elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, caracterizado por que tiene una forma paralelepípedica hueca y por que dicho hormigón comprende: (a) cemento; (b)
20 agua; (c) áridos finos; (d) áridos mixtos; (e) áridos gruesos; (f) caucho procedente de neumáticos fuera de uso (en adelante, NFU); y (g) fibras de polipropileno monofilamentadas.

Preferentemente, dicho cemento es cemento gris recomendado para hormigón estructural y prefabricado. Este cemento proporciona una resistencia normal comprendida entre 42,5 y
25 62,5 MPa, y tiene una mayor resistencia a todas las edades. Preferentemente, la cantidad de cemento en el hormigón está en el intervalo entre 225 y 325 kg por m³ de hormigón, más preferentemente entre 250 y 300 kg por m³ de hormigón.

Preferentemente, la cantidad de agua en el hormigón de la presente invención está en el
30 intervalo entre 100 y 200 kg por m³ de hormigón, más preferentemente entre 115 y 150 kg por m³ de hormigón.

Además, se contempla el uso de una proporción de agua/cemento en el intervalo entre 0,3 y 0,7.

35 En la presente descripción el término "árido fino" se refiere a áridos con una granulometría comprendida entre 0,1 - 4 mm. Preferentemente, dichos áridos finos utilizados en el

hormigón de la presente invención son arena triturada y/o arena lavada. La diferencia principal entre ambas es la cantidad de finos ($<0,063$ mm) que se encuentran en la arena triturada, siendo el 16 % en la arena triturada. El árido fino empleado en la presente invención tiene una densidad comprendida entre $2,1$ y $2,9$ g/cm³. El árido fino proporciona al hormigón de la presente invención cohesión y ligazón con el resto de insumos añadidos, especialmente el NFU y las fibras de polipropileno.

Preferentemente, la cantidad de áridos finos en el hormigón de la presente invención está en el intervalo entre 600 y 1000 kg por m³ de hormigón, más preferentemente entre 650 y 900 kg por m³ de hormigón.

En la presente invención el término “árido mixto” se refiere a áridos con una granulometría comprendida entre $4 - 10$ mm. El árido mixto empleado en la presente invención tendrá una densidad comprendida entre $2,1$ y $2,9$ g/cm³. El árido mixto proporciona al hormigón una continuidad en su curva granulométrica, lo cual se traduce en una disminución de los riesgos de segregación del hormigón, y una mayor homogeneidad global del conjunto. Ambos factores muy importantes en relación a una mezcla que incorpora insumos con densidades tan diferentes como el caucho NFU o las fibras.

Preferentemente, la cantidad de áridos mixtos en el hormigón de la presente invención está en el intervalo de 200 y 300 kg por m³ de hormigón, más preferentemente entre 210 y 250 kg por m³ de hormigón.

Además, en la presente descripción el término “árido grueso” se refiere a áridos con una granulometría de $10 - 16$ mm. El árido grueso empleado en la presente invención tendrá una densidad comprendida entre $2,1$ y $2,9$ g/cm³. Preferentemente, el árido grueso utilizado en el hormigón de la presente invención es grava. El tamaño máximo de los áridos gruesos se limitó a 16 mm para poder conseguir posteriormente un buen acabado exterior en los moldes de hormigón, así como para evitar incompatibilidades con la armadura a instalar.

Preferentemente, la cantidad de áridos gruesos en el hormigón de la presente invención está en el intervalo entre 550 y 900 kg por m³ de hormigón, más preferentemente entre 600 y 800 kg por m³ de hormigón.

En la presente invención, el término “caucho NFU” hace referencia a caucho procedente de neumáticos fuera de uso troceado con una granulometría de $1-4$ mm, en su versión fina, o $10-16$ mm, en su versión gruesa. El caucho NFU empleado en la presente invención tendrá

una densidad comprendida entre 0,2 y 0,8 g/cm³. El caucho NFU es adicionado a la mezcla de hormigón para mejorar las propiedades absorbentes del material, y mejorar así su capacidad de mitigar las vibraciones. Preferentemente, la cantidad de caucho NFU en la presente invención está en el intervalo de 0,5 y 100 kg por m³ de hormigón, y más
5 preferentemente entre 8 y 47 kg por m³ de hormigón.

Las fibras de polipropileno monofilamentadas utilizadas en el hormigón de la presente invención evitan la fisuración y la retracción plástica. Además, mejora su resistencia al fuego. Preferentemente, la cantidad de fibras de polipropileno monofilamentadas en el
10 hormigón de la presente invención está en el intervalo entre 0,1 y 1,5 kg por m³ de hormigón, más preferentemente entre 0,5 y 1,0 kg por m³ de hormigón.

Teniendo en cuenta lo anterior, el elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias de la presente invención posee una resistencia a la compresión entre 25 y 40
15 MPa, una resistencia a la tracción indirecta entre 2 y 5 MPa, un módulo de elasticidad entre 25 y 35 GPa, y un coeficiente de amortiguamiento entre 0,9 y 2,5 %.

Preferentemente, el elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias tiene una altura entre 0,5 y 4 metros, una anchura entre 0,3 y 0,6 metros, una longitud entre 1,5 y
20 10 metros y un espesor entre la cara exterior y espacio interior comprendido entre 0,05 y 0,15 metros, dependiendo de la aplicación concreta que la que se vaya a utilizar.

El elemento de hormigón de la presente invención puede tener un armado longitudinal en la cara superior, un armado longitudinal en la cara inferior, cercos y armaduras de piel en cada
25 pared lateral.

El elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias de la presente invención se adapta a las necesidades de atenuación de vibraciones en cualquier escenario, gracias a su capacidad de combinar los mecanismos de atenuación de frecuencia de corte y
30 absorción. Además, se puede integrar en los alrededores de la infraestructura ferroviaria empleando medios tecnológicos habituales con una eficiencia técnica y económica.

En un aspecto adicional, la presente invención da a conocer un procedimiento para la fabricación del elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias caracterizado
35 por que comprende las etapas de:

- a) Preparar el hormigón en una amasadora;
- b) Curar dicho hormigón entre 0,1 y 28 días
- c) Apilar las piezas obtenidas protegiendo las aristas y puntos de contacto entre piezas.

5 Preferentemente, en dicho procedimiento el material cementante se introducirá en la amasadora primero que el resto de componentes del hormigón.

Preferentemente, en dicho procedimiento el agregado convencional y el caucho NFU se proporcionará previamente premezclado.

10

También preferentemente, en dicho procedimiento el añadido de agua en el proceso de fabricación del hormigón se realizará en diferentes vertidos. Preferentemente, las fibras monofilamentadas de polipropileno se añadirán en el último lugar.

15 La protección de los elementos de hormigón se puede realizar mediante lonas o cualquier material rígido o elastomérico. En su fabricación, se colocará poliestireno expandido en el interior del elemento de hormigón, a modo de encofrado, para conseguir el hueco deseado. El tiempo de curado de cada pieza varía según el tipo y destino de dicho cajón hueco de hormigón.

20

Para su posterior manejo e instalación, es conveniente dar a dicho elemento un acabado macho - hembra en las partes delantera y trasera.

En un aspecto adicional, la presente invención se refiere al uso del elemento de hormigón, mencionado anteriormente, para la atenuación de las vibraciones ferroviarias.

25

Sobre la excavación de la zanja, en caso de terrenos inestables, poco competentes o con características especiales (por ejemplo, existencia de nivel freático), preferentemente se verterá en el fondo una capa de hormigón de regularización para asegurar la correcta disposición de los elementos de hormigón.

30

Preferentemente, se utiliza un sellador en las uniones entre los diferentes elementos de hormigón o cualquier tipo de medida que evite la entrada de agua al interior de dichos elementos. Más preferentemente, dicho sellador es lechada de cemento, mortero o polímeros impermeabilizantes tal como PVC.

35

Dicho relleno de la etapa d) del procedimiento de la presente invención no será superior a 10 cm por encima del elemento del hormigón y tendrá el objetivo de no dejar vistos dichos elementos que componen la barrera antivibración.

- 5 Con el procedimiento de la presente invención es posible crear una estructura estable en su conjunto, plenamente integrada en el entorno ferroviario, capaz de ejercer como barrera eficaz frente a las vibraciones.

10 La presente invención se explicará a continuación en base a las figuras y ejemplos, a título explicativo pero no limitativo.

La figura 1 muestra una vista en perspectiva de una realización del elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias de la presente invención. En dicha figura, el elemento de hormigón -1- tiene forma paralelepípedica hueca, es decir, forma de prisma hueco. La figura 2 muestra dicho elemento de hormigón -1-, teniendo en esta realización un
15 armado -2-. Se observa además el hueco -3- en el interior de dicho elemento de hormigón -1-, así como el terreno circundante -4- y la superficie -5-.

La figura 3 muestra una vista en sección transversal correspondiente al elemento de hormigón para la atenuación de vibraciones de la presente invención en el que se ha
20 aplicado una posibilidad de armado. Se observa la armadura longitudinal superior -1'-, los cercos con separación -2'-, el armado longitudinal inferior -3'-, y la armadura de piel para cada pared lateral -4'-.

25 La figura 4 muestra una vista en perspectiva del entorno en el que se instalan los elementos de hormigón para la atenuación de vibraciones de la presente invención. Se observa, la vía ferroviaria -6-, los elementos de hormigón -1- unidos entre sí y un edificio colindante -7-.

EJEMPLO 1. Elección de la forma del elemento para atenuar las vibraciones ferroviarias de
30 la presente invención

Para la elección de la forma del elemento para atenuar las vibraciones ferroviarias de la presente invención se prepararon dichos elementos con tres formas diferentes:

- 1 - Forma paralelepípedica maciza;
- 2 - Forma paralelepípedica hueca; y
- 3 - Losa maciza

- 5 Las dos primeras fueron colocadas en zanjas paralelas a la vía ferroviaria, mientras que la losa maciza se colocó bajo la infraestructura.

Para determinar qué forma proporciona una respuesta más eficaz se siguió una metodología basada en el estudio de atenuación de ondas sonoras en ingeniería acústica. De este modo,
10 el grado de atenuación se midió mediante el coeficiente de inserción. El coeficiente de inserción indica que las pérdidas por inserción representan la reducción que sufre una vibración cuando entre el emisor y el receptor se inserta un material. Las pérdidas por inserción se deben a una combinación de la vibración reflejada por el material y la vibración absorbida por el mismo.

15

El estudio se enfocó fundamentalmente a la propagación horizontal de vibraciones puesto que es donde se espera que haya elementos susceptibles de sufrir los perjuicios de las ondas mecánicas.

- 20 En base a la información anterior, se optó por evaluar la variación en la respuesta dinámica en dos puntos de control, llamados A (representa a la fuente emisora por ser el último punto de control que se encuentra en la superestructura) y B (punto que representa al receptor por encontrarse fuera de la zona de variación de distancias de las soluciones en zanja).

- 25 Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

La forma 1 se mostró favorable en cuanto a la reducción de vibraciones en comparación a la aplicación de ningún tipo de medidas anti-vibratorias. Su eficacia aumenta con la distancia a la vía y la profundidad. Los resultados más eficientes se obtuvieron a partir de una distancia
30 de 1,5 metros al pie de la banquetta. En atenuación de aceleraciones, la tendencia media con el aumento de la distancia resulta del orden del doble de influencia sobre la mejora total respecto al aumento de la profundidad. En el caso de velocidades, la influencia de ambos factores es muy similar y próxima a 1 dB/m de mejora.

- 35 La forma 2 proporcionó una respuesta atenuante muy similar a la forma 1, aunque mostró mejores resultados promedios para distancias próximas a la vía de hasta 1,34 metros del pie

de banqueta. El aumento de profundidad fue favorable tanto en aceleraciones como en velocidades, pero, a diferencia de la forma 1, el aumento de la distancia resulta desfavorable y con un peso del orden del doble a la profundidad en aceleraciones y similar en velocidades. Los resultados óptimos en términos de dB de mejora por metro los da para la profundidad menor y separaciones de la vía máximas de 1,5 metros, con velocidades de circulación bajas.

La forma 3 no mostró una respuesta tan favorable como las formas 1 y 2 colocadas en zanja en términos de atenuación de vibraciones. En la mayoría de casos procesados ha dado resultados de amplificación de la respuesta en los puntos de control respecto a una situación de no poner barreras vibratorias. En términos de aceleraciones sólo es posible encontrar casos favorables para algunos de los escenarios en los que sustituye a la capa de subbalasto o se encuentra a una cierta profundidad - 1.5 metros - en la plataforma. Es decir, para los escenarios planteados, las profundidades intermedias originan un aumento de la excitación debido a la interacción entre la onda reflejada y la incidente que produce efectos desfavorables al no disponer de una barrera vertical lateral.

Para la selección definitiva de la solución referente a esta invención se llevó a cabo un análisis multicriterio en el que se consideraron tres aspectos fundamentales: reducción en la atenuación de vibraciones, economía y no comprometer la estabilidad de la vía. Los resultados obtenidos mostraron a la alternativa cajón en zanja hueco como la mejor posicionada de entre las tres posibles. Se trató de una solución muy equilibrada que combinó buenos resultados en todos los escenarios procesados, ligera mejora en la estabilidad de vía respecto a la solución nula y, con diferencia, el menor coste.

EJEMPLO 2. Preparación de diferentes tipos de hormigón para la fabricación de los elementos para atenuar vibraciones ferroviarias según la presente invención

Se prepararon 6 mezclas diferentes (denominadas MEZCLA 1, MEZCLA 2, MEZCLA 3, MEZCLA 4 y MEZCLA 5, según las siguiente tablas 1 a 5 siguientes:

MEZCLA 1	
MATERIALES	Cantidad (Kg/m ³)
CEM II 42,5 N	275
Arena (1 - 4 mm)	837
Gravilla (4 - 10 mm)	230
Grava (10 - 16 mm)	642
NFU grueso	47
Agua	133
Fibras polipropileno	0,6

Tabla 1

MEZCLA 2	
MATERIALES	Cantidad (Kg/m ³)
CEM II 42,5 N	275
Arena (1 - 4 mm)	795
Gravilla (4 - 10 mm)	230
Grava (10 - 16 mm)	755
NFU fino	16
Agua	133
Fibras polipropileno	0,6

Tabla 2

MEZCLA 3	
MATERIALES	Cantidad (Kg/m ³)
CEM II 42,5 N	275
Arena (1 - 4 mm)	837
Gravilla (4 - 10 mm)	230
Grava (10 - 16 mm)	755
Agua	133
Fibras polipropileno	0,6

Tabla 3

MEZCLA 4	
MATERIALES	Cantidad (Kg/m ³)
CEM II 42,5 N	300
Arena (1 - 4 mm)	900
Gravilla (4 - 10 mm)	250
Grava (10 - 16 mm)	800
Agua	145
Fibras polipropileno	0,6

Tabla 4

MEZCLA 5	
MATERIALES	Cantidad (Kg/m ³)
CEM II 42,5 N	300
Arena (1 - 4 mm)	900
Gravilla (4 - 10 mm)	250
Grava (10 - 16 mm)	800
Agua	145

Tabla 5

EJEMPLO 3. Resultados de los ensayos realizados a las mezclas preparadas en el ejemplo anterior

- 5 A las 5 mezclas preparadas en el ejemplo 2 se les realizaron ensayos de resistencia a la compresión, módulo elástico, tracción indirecta y coeficiente de amortiguamiento. A continuación se muestran los resultados para cada uno de estos ensayos.

10

Resistencia a compresión del hormigón	
MEZCLA	CARGA MÁXIMA (MPa)
1	31
2	39
3	34
4	38,5
5	40

Tabla 6. Resistencia a la compresión de las diferentes mezclas de hormigón preparadas.

Módulo elástico del hormigón	
MEZCLA	MÓDULO (GPa)
1	26
2	30
3	42
4	31
5	32

Tabla 7. Módulo elástico de las diferentes mezclas de hormigón preparadas.

Tracción del hormigón	
MEZCLA	CARGA MÁXIMA (MPa)
1	3,15
2	4,4
3	3,75
4	4,4
5	4,6

Tabla 8. Tracción del hormigón de las diferentes mezclas preparadas.

Coeficiente de amortiguamiento del hormigón	
MEZCLA	AMORTIGUAMIENTO (%)
1	2,3
2	1,95
3	1,21
4	0,92
5	1,01

Tabla 9. Coeficiente de amortiguamiento de las diferentes mezclas de hormigón preparadas

En las tablas 6, 7, 8 y 9 se muestran valores de resistencia a compresión, módulo elástico, resistencia a tracción indirecta y coeficiente de amortiguamiento de las diferentes mezclas preparadas. Una vez caracterizado el hormigón en cuanto a competencias mecánicas, el ensayo de coeficiente de amortiguamiento del hormigón proporciona la capacidad del material para mitigar vibraciones. De los resultados anteriores y en términos de coeficiente de amortiguamiento, se observa que es mejor usar fibras de polipropileno frente a la opción de no usar las mismas.

De los resultados anteriores y en términos de coeficiente de amortiguamiento, se observa la preferencia que es mejor utilizar caucho NFU frente a la opción de no utilizarlo y, además, de utilizar caucho NFU y fibras de polipropileno de manera combinada en la mezcla de hormigón.

EJEMPLO 4. Procedimiento para la atenuación de las vibraciones ferroviarias según la presente invención

Se preparó un elemento de hormigón de 1,2 metros de altura, 0,5 metros de ancho, 2 metros de longitud y 0,1 metros de espesor. Se excavó una zanja de 26 metros de longitud, en la que se instalaron 13 unidades de los elementos de hormigón, que se situó a una distancia aproximada de 2 metros de la línea ferroviaria por exigencias del administrador ferroviario.

A partir de acelerómetros dispuestos a 1,5 metros y a 3 metros, respectivamente, de la barrera vibratoria se tomaron registros y se alcanzaron los siguientes resultados:

- En el dominio de la frecuencia: Se centraron los resultados dentro del rango de frecuencias de interés comprendido entre 0 y 100 Hz. Se detectó que para intervalos como por ejemplo 20-40 Hz o 50-70 Hz se conseguían reducciones de aceleraciones de más de un 1500%.

- En el dominio del tiempo: Entre los puntos de control anterior y posterior a la barrera se ha reducido en casi un 1000 % la amplitud de las aceleraciones verticales respecto a no haber dispuesto ninguna medida. Se traduce en una ganancia superior a 8 y 13 dB respectivamente.

Si bien la invención se ha presentado y descrito con referencia a una realización de la

misma, se comprenderá que ésta no es limitativa de la invención, por lo que podrán darse variables múltiples, detalles constructivos u otros que podrán resultar evidentes para los técnicos del sector después de interpretar la materia que se da a conocer en la presente descripción, reivindicaciones y dibujos. Así pues, todas las variantes y equivalentes
5 quedarán incluidas dentro del alcance de la presente invención si se pueden considerar comprendidas dentro del ámbito más extenso de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, caracterizado por que tiene una forma paralelepípedica hueca y por que dicho hormigón comprende: (a) cemento;
5 (b) agua; (c) áridos finos; (d) áridos mixtos; (e) áridos gruesos; (f) caucho procedente de neumáticos fuera de uso (en adelante, NFU); y (g) fibras de polipropileno monofilamentadas.
2. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según la reivindicación
10 1, caracterizado por que dicho cemento tiene una resistencia normal comprendida entre 42,5 y 62,5 MPa.
3. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según la reivindicación
15 1 o 2, caracterizado por que la cantidad de cemento en dicho hormigón está en el intervalo entre 225 y 325 kg por m³ de hormigón.
4. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según la reivindicación
3, caracterizado por que la cantidad de cemento en dicho hormigón está en el intervalo entre 200 y 300 kg por m³ de hormigón.
- 20 5. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la cantidad de agua en dicho hormigón está en el intervalo entre 100 y 200 kg por m³ de hormigón.
6. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según la reivindicación
25 5, caracterizado por que la cantidad de agua en dicho hormigón está en el intervalo entre 115 y 150 kg por m³ de hormigón.
7. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según cualquiera de las
reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la proporción de agua/cemento en dicho
30 hormigón está en el intervalo entre 0,3 y 0,7.
8. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según cualquiera de las
reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la cantidad de áridos finos en dicho
hormigón está en el intervalo entre 600 y 1000 kg por m³ de hormigón.

35

9. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según la reivindicación 8, caracterizado por que la cantidad de áridos finos en dicho hormigón está en el intervalo entre 650 y 900 kg por m³ de hormigón.
- 5 10. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la cantidad de áridos mixtos en dicho hormigón está en el intervalo entre 200 y 300 kg por m³ de hormigón.
11. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según la reivindicación 10, caracterizado por que la cantidad de áridos mixtos en dicho hormigón está en el intervalo entre 210 y 250 kg por m³ de hormigón.
- 10 12. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la cantidad de áridos gruesos en dicho hormigón está en el intervalo entre 550 y 900 kg por m³ de hormigón.
- 15 13. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según la reivindicación 12, caracterizado por que la cantidad de áridos mixtos en dicho hormigón está en el intervalo entre 600 y 800 kg por m³ de hormigón.
- 20 14. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dicho caucho procedente de NFU tiene una densidad comprendida entre 0,2 y 0,8 g/cm³.
- 25 15. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la cantidad de dicho caucho procedente de NFU en dicho hormigón está en el intervalo entre 0,5 y 100 kg por m³ de hormigón.
- 30 16. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según la reivindicación 15, caracterizado por que la cantidad de dicho caucho procedente de NFU en dicho hormigón está en el intervalo entre 8 y 47 kg por m³ de hormigón.
- 35 17. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la cantidad de fibras de polipropileno monofilamentadas en dicho hormigón está en el intervalo entre 0,1 y 1,5 kg por m³ de hormigón.

18. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según la reivindicación 17, caracterizado por que la cantidad de fibras de polipropileno monofilamentadas en dicho hormigón está en el intervalo entre 0,5 y 1,0 kg por m³ de hormigón.

5

19. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dicho elemento de hormigón tiene una resistencia a la compresión entre 25 y 40 MPa, una resistencia a la tracción indirecta entre 2 y 5 MPa, un módulo de elasticidad entre 25 y 35 GPa, y un coeficiente de amortiguamiento entre 0,9 y 2,5 %.

10

20. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dicho elemento de hormigón tiene una altura entre 0,5 y 4 metros, una anchura entre 0,3 y 0,6 metros, una longitud entre 1,5 y 10 metros y un espesor entre la cara exterior y espacio interior comprendido entre 0,05 y 0,15 metros.

15

21. Elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dicho elemento de hormigón un armado longitudinal en la cara superior, un armado longitudinal en la cara inferior, cercos y armaduras de piel en cada pared lateral.

20

22. Procedimiento para la fabricación del elemento de hormigón para atenuar las vibraciones ferroviarias, según las reivindicaciones 1 a 21, caracterizado por que comprende las etapas de:

25

- a) Preparar el hormigón en una amasadora;
- b) Curar dicho hormigón entre 0,1 y 28 días; y
- c) Apilar las piezas obtenidas protegiendo las aristas y puntos de contacto entre piezas.

23. Procedimiento, según la reivindicación 22, caracterizado por que el material cementante se introduce en la amasadora primero que el resto de componentes del hormigón.

30

24. Procedimiento, según la reivindicación 22 o 23, caracterizado por que el agregado convencional y el caucho NFU se proporciona previamente premezclado.

35

25. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 24, caracterizado por que el agua se añade en diferentes vertidos y las fibras monofilamentadas de polipropileno se añaden en el último lugar.

5 26. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 25, caracterizado por que la protección de los elementos de hormigón se realiza mediante lonas o cualquier material rígido o elastomérico.

10 27. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 26, caracterizado por que se coloca poliestireno expandido en el interior del elemento de hormigón, a modo de encofrado, para conseguir el hueco deseado.

15 28. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 27, caracterizado por que para su posterior manejo e instalación, se le da a dicho elemento de hormigón un acabado macho – hembra en las partes delantera y trasera.

20 29. Procedimiento para la atenuación de las vibraciones ferroviarias, que utiliza el elemento de hormigón, según las reivindicaciones 1 a 21, caracterizado por que comprende las etapas de:

- 20
- a) preparar el elemento de hormigón con forma paralelepípedica hueca y con una composición específica de hormigón;
 - b) excavar una zanja de hasta 1,3 m de profundidad, dejando un margen lateral entre 10 y 20 cm entre la pared de la zanja y el elemento de hormigón, a una distancia de 1,25 veces la
 - 25 longitud de onda Rayleigh entre la vía ferroviaria y dicha zanja;
 - c) colocar dichos elementos de hormigón en la zanja unidos entre sí; y
 - d) rellenar la zanja con el mismo material obtenido en la excavación.

30 30. Procedimiento, según la reivindicación 29, caracterizado por que se vierte en el fondo de la zanja una capa de hormigón de regularización para asegurar la correcta disposición de los elementos de hormigón.

35 31. Procedimiento, según la reivindicación 29 ó 30, caracterizado por que se utiliza un sellador en las uniones entre dichos elementos de hormigón.

32. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 29 a 31, caracterizado por que dicho sellador es lechada de cemento, mortero o polímeros impermeabilizantes tal como PVC.

5 33. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 29 a 32, caracterizado por que dicho relleno de la etapa d) no será superior a 10 cm por encima del elemento del hormigón para no dejar vistos dichos elementos que componen la barrera antivibración.

10 34. Uso del elemento de hormigón, según las reivindicaciones 1 a 21, para la atenuación de las vibraciones ferroviarias.

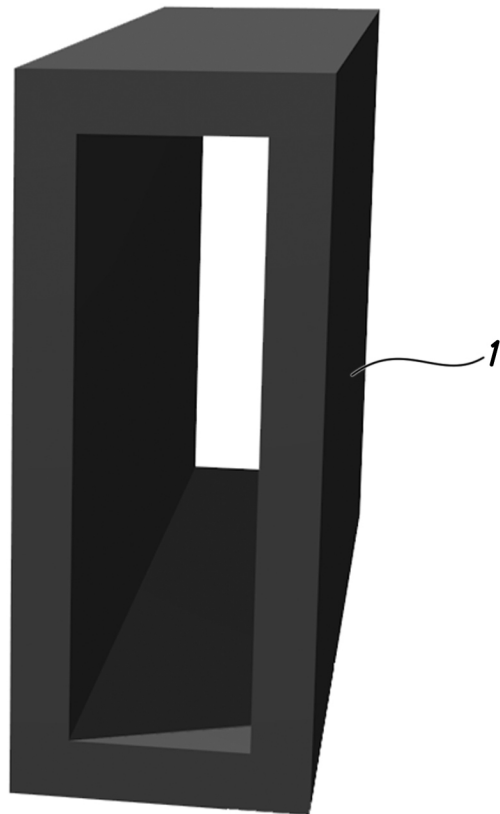


Fig. 1

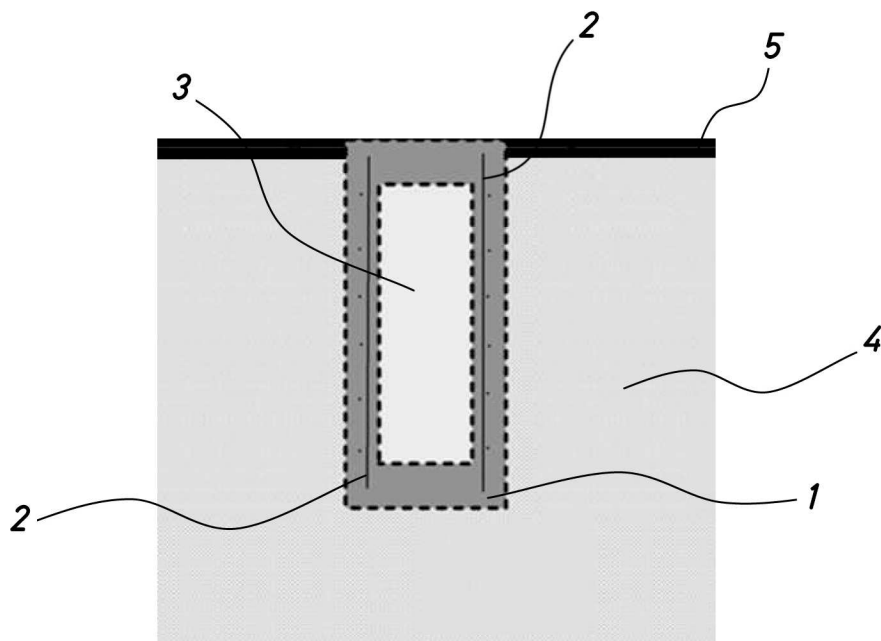


Fig.2

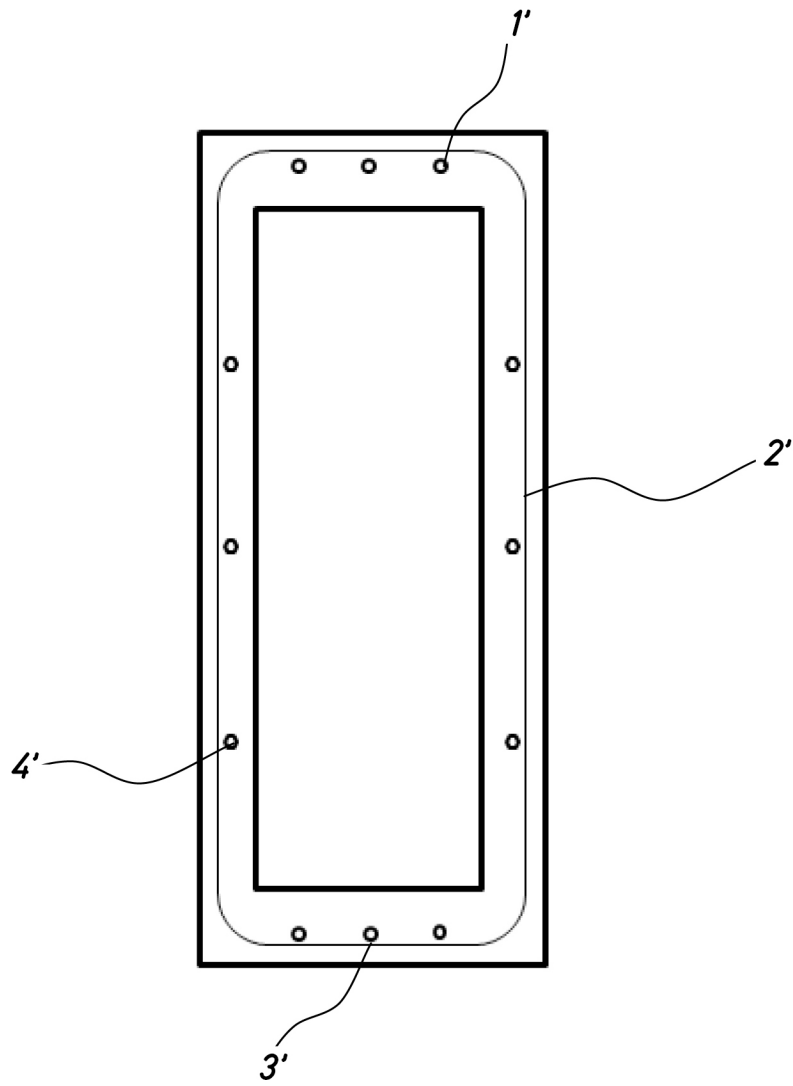


Fig.3

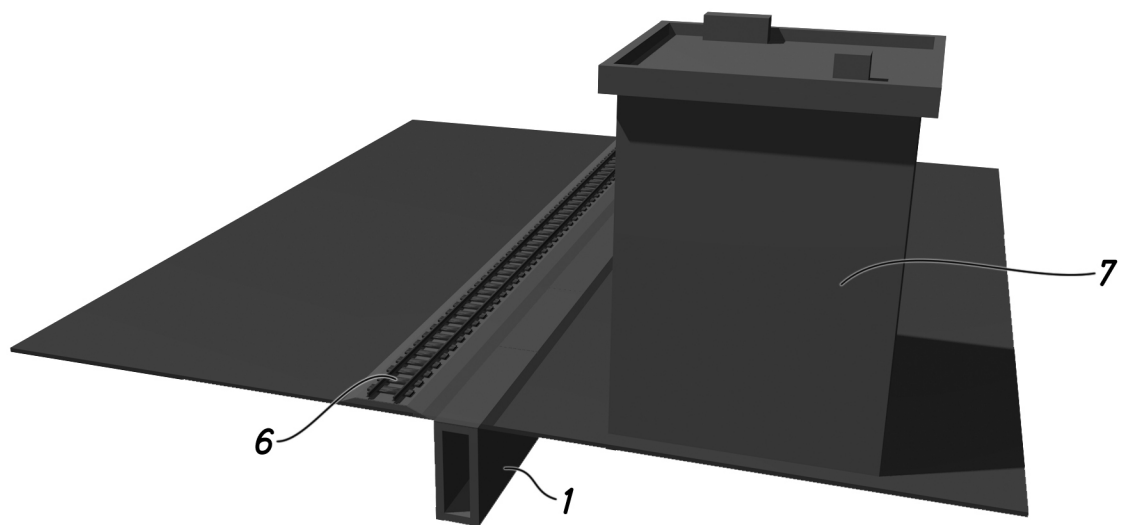


Fig.4