

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 920 606**

51 Int. Cl.:

G10K 11/165 (2006.01)

G10K 11/162 (2006.01)

G10K 11/16 (2006.01)

G10K 11/172 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.05.2019 PCT/EP2019/061783**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.11.2019 WO19219474**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.05.2019 E 19721324 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.05.2022 EP 3794584**

54 Título: **Elemento de aislamiento acústico**

30 Prioridad:

16.05.2018 EP 18172527

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

05.08.2022

73 Titular/es:

EMRI, IGOR (50.0%)

Pot za Brdom 104

1125 Ljubljana, SI y

VON BERNSTORFF, BERND-STEFFEN (50.0%)

72 Inventor/es:

OBLAK, PAVEL;

NIKONOV, ANATOLIJ;

EMRI, IGOR y

V. BERNSTORFF, BERND-STEFFEN

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 920 606 T3

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

DESCRIPCIÓN

Elemento de aislamiento acústico

5 La invención se refiere a un elemento de aislamiento acústico que utiliza una red de fuerzas fuerte como mecanismo principal de disipación de energía, en donde la red de fuerzas fuerte se genera a través de interacciones complejas de partículas sólidas en un sistema granular, lo que conduce a la formación de un número máximo de pares de fuerzas de interconexión de acuerdo con la 3ª Ley de Newton, en donde dicha red de fuerzas fuerte se obtiene usando un material granular fabricado a partir de al menos un material sólido con una granulometría multimodal sesgada
10 específica. El elemento de aislamiento acústico comprende un material granular que consiste en partículas y una estructura de soporte que tiene al menos una cavidad, en donde la al menos una cavidad está llena de partículas del material granular.

Estado de la técnica

15 Los elementos de aislamiento acústico sirven para la absorción y protección acústica en una amplia gama de aplicaciones. Los elementos de aislamiento acústico se usan, por ejemplo, en sitios estacionarios como casas residenciales, oficinas o estudios de grabación. Por un lado, los elementos de aislamiento acústico evitan que el sonido y el ruido entren en los sitios que están aislados con los mismos, y, por otro lado, los elementos de aislamiento acústico evitan que el sonido y el ruido salgan de dichos sitios aislados. Los elementos de aislamiento acústico también se usan en aplicaciones móviles, en particular, en vehículos, por ejemplo, turismos, casas móviles, caravanas, autocaravanas, ferrocarriles, embarcaciones, yates, barcos, aviones y otras soluciones de transporte.
20

25 El sonido es una oscilación de presión transmitida a través de un gas, líquido o sólido en forma de onda viajera generada por la variación de presión localizada en un medio. El sonido puede absorberse, transmitirse o reflejarse, Figura 1a. Cuando una onda sonora alcanza un límite, parte de la energía sonora se refleja, parte se absorbe dentro del material y parte se transmite a través del mismo. La proporción que se refleja, absorbe o transmite depende de las propiedades del material y la forma del límite alcanzado por la onda sonora y la frecuencia del sonido. Si, por ejemplo, el límite es absolutamente rígido, es decir, el módulo del material y la rigidez del límite son infinitos, todo el sonido se refleja, Figura 1b.
30

35 El módulo de los materiales reales siempre es finito. Por lo tanto, parte de la energía sonora siempre entra en el material en forma de ondas. Si la rigidez del límite es alta, obtenida con el espesor del límite, las ondas son el único mecanismo de transmisión del sonido a través del límite. Sin embargo, cuando la rigidez del límite es pequeña, una parte sustancial de la energía sonora se transmite por medio de vibraciones macroscópicas del límite, Figura 1c.

40 Cuando el aislamiento se fija a un límite elástico, garantizando el contacto directo entre el límite y el aislamiento, las ondas de presión se transmiten directamente desde el límite al aislamiento a través del contacto entre dos cuerpos sólidos. Además, el límite vibratorio también impone vibraciones macroscópicas del aislamiento. En este caso, el aislamiento actúa esencialmente más como aislamiento de vibraciones que como aislamiento acústico, Figura 1d.

45 El documento EP 2 700 838 A1 desvela una traviesa ferroviaria con un elemento amortiguador para absorber las excitaciones mecánicas generadas por una rueda de una locomotora sobre un carril, por lo tanto, una interacción sólido-sólido. Dicha traviesa ferroviaria también sirve para la reducción del ruido dentro de una estructura ferroviaria de este tipo. Así, la reducción del ruido se logra reduciendo las vibraciones de carriles, ruedas y otros elementos estructurales que, como consecuencia, generan el denominado ruido de origen estructural. Por lo tanto, el documento EP 2 700 838 A1 describe elementos amortiguadores para la reducción de vibraciones mecánicas de cuerpos sólidos que son una fuente de ruido propagado de origen estructural.

50 El documento EP 2 700 839 A1 desvela un elemento amortiguador para absorber vibraciones mecánicas de cuerpos sólidos a una frecuencia dada. El elemento amortiguador para el aislamiento de vibraciones comprende un recipiente que se llena con un material viscoelástico, que puede ser un material viscoelástico granular o a granel. A continuación, dicho elemento amortiguador se presuriza para aumentar la rigidez del elemento y desplazar el máximo de su amortiguación de material inherente hacia la frecuencia de excitación de una carga externa. Dicho elemento amortiguador sirve, en particular, para amortiguar vibraciones mecánicas de cuerpos sólidos a distintas frecuencias.
55

60 El documento GB 2 064 988 A desvela una malla de amortiguación acústica que comprende una capa flexible de material que tiene poros o celdas abiertos que se llenan al menos en parte de partículas de una gravedad específica más alta, respectivamente densidad, que el material del que está fabricada la capa. Las partículas se unen entre sí y a las paredes entre los poros o celdas mediante adhesivo. Al elegir diferentes materiales para las capas flexibles, partículas añadidas y adhesivo, es posible controlar la rigidez de dicho aislamiento acústico. Al aumentar la rigidez, puede controlarse la cantidad de ruido que se transmite a través del aislamiento como vibraciones macroscópicas del material compuesto en capas. Las partículas añadidas de gravedad específica más alta, densidad respectivamente, también aumentarán la disipación de las ondas que viajan a través de la malla de amortiguación acústica a través de la reflexión, la refracción y la interferencia de las ondas sonoras. Este aislamiento es un estado de la técnica habitual de un aislamiento acústico multicapa actualmente presente en el mercado. El documento también explica el
65

procedimiento tecnológico para producir dicho aislamiento acústico compuesto.

El documento WO 2008/021455 A2 desvela una atenuación del sonido colocando una capa relativamente delgada de material nanocompuesto en una pared, tal como la carcasa de un ordenador. El material nanocompuesto de aislamiento acústico se obtiene dispersando nanopartículas en una matriz polimérica. Así, los nanorrellenos aumentan el módulo elástico de una matriz polimérica y, por lo tanto, contribuyen a la reducción de la vibración macroscópica de la pared aislante. Simultáneamente, la adición de nanorrellenos a un polímero reducirá la propagación de ondas dentro de la capa de nanocompuestos aislante, ya que los nanorrellenos actuarán como obstáculos para el viaje de las ondas sonoras de presión, provocando la reflexión y la refracción de las ondas sonoras.

El documento US 2003/0098389 A1 desvela el uso de diferentes materiales granulares que tienen una velocidad de sonido global de menos de 90 m/s para amortiguar las vibraciones y el ruido de origen estructural generado en aeronaves y, en particular, en estructuras de helicópteros. La idea inventiva es reducir el nivel de vibraciones llenando las cavidades vacías de los elementos estructurales con tales materiales granulares para lograr la reducción de las vibraciones por fricción. El documento muestra el modelo que describe la fricción como mecanismo de absorción de energía. La fricción se produce entre las partículas granulares y, en particular, a través de la fricción entre las partículas granulares y las paredes de la estructura. Para aumentar el área de intercambio por fricción entre las caras interiores de las paredes se introducen tabiques interiores agregados.

El documento US 2006/0037815 A1 utiliza una pluralidad de partículas con una densidad de al menos 1 g/cm³ e incluye un material que es viscoelástico, elastomérico y/o polimérico para reducir el ruido y las vibraciones. Al añadir a los materiales granulares viscoelásticos diferentes aditivos fabricados de otros diversos materiales, y al modificar el tamaño, la forma y la densidad del material de aislamiento de partículas, pueden lograrse diversas aplicaciones de rendimiento, tal como la reducción de energía vibratoria, energía acústica, energía térmica, energía electromagnética, y/u ondas de radio. Estos materiales granulares pueden dispersarse sobre una superficie plana o llenar las cavidades de las paredes en forma de partículas secas que fluyen libremente. Tales partículas entran en contacto entre sí y forman un aislamiento con una pluralidad de celdas de aire muertas sustancialmente distribuidas entre las partículas. Estas celdas de aire muertas, junto con la densidad específica y las propiedades viscoelásticas del polímero, proporcionan amortiguación como aislamiento térmico y acústico. El aislamiento de partículas puede proporcionarse en forma de recubrimiento o de pasta que puede adherirse a la superficie. La amortiguación se logra usando una pluralidad de partículas que flotan libremente con una densidad de al menos aproximadamente 1 g/cm³ e incluyendo el material al menos uno de un material viscoelástico, elastomérico o polimérico. El documento destaca la importancia de usar materiales viscoelásticos para aprovechar la amortiguación interna de tales materiales y el efecto de absorción de energía de las partículas que flotan libremente.

El documento US 2005/0194210 A1 desvela la "Técnica de amortiguación de partículas no obstructivas" para reducir el ruido en la cabina de una aeronave, donde las partículas de diversos materiales colisionan entre sí y con la estructura en la que se localizan las partículas. En este proceso, intercambian cantidad de movimiento y convierten la energía en calor a través de la fricción entre las partículas, y las partículas y la superficie interior de la estructura. Por lo tanto, la disipación de energía se produce debido a las pérdidas por fricción, es decir, cuando las partículas se frotan entre sí o contra la estructura, y debido a la colisión inelástica de partícula a partícula.

El documento US 5.304.415 A desvela el uso de miembros porosos de uretanos espumados, lana de vidrio y similares rellenos con partículas de polvo que tienen características de absorción de sonido en un "estado vibratorio". Las ondas de presión sonoras se reducen debido a la fricción de la viscosidad producida por las paredes de las espumas o poros mientras la onda sonora se propaga a través de las espumas o poros y debido a la incidencia con las partículas que vibran.

El documento US 2005/0109557 A1 desvela paneles insonorizantes constituidos por capas formadas por perlas esféricas huecas con paredes porosas microperforadas que permiten disipar gran cantidad de energía sonora por efecto viscotérmico del aire. Por lo tanto, la energía sonora se disipa de este modo principalmente por el efecto viscotérmico del aire que pasa a través de las capas de disipación y, en menor medida, a través de la pared porosa.

El documento EP 1 557 819 A1 desvela estructuras de absorción de sonido y procesos para producir las. Las estructuras consisten en una esfera hueca parcialmente llena de partículas, mientras que estas partículas pueden moverse libremente dentro de las estructuras huecas. A continuación, las estructuras huecas pueden ensamblarse para formar estructuras de aislamiento acústico.

El documento US 5.744.763 A desvela material insonorizante aplicado a un panel de capó de vehículo en el lado que se orienta hacia el compartimiento de motor. El material insonorizante tiene forma de lámina e incluye una capa de caucho pulverizado que contiene granos de caucho de diversos tipos de material, diversos tamaños y diversas formas y capas de recubrimiento que cubren la capa de caucho pulverizado. En la presente divulgación, el ruido se absorbe por los propios granos de caucho contenidos en la capa de caucho pulverizado y por los huecos de aire presentes entre los granos. El documento reivindica que la energía sonora se absorbe por la resistencia a la viscosidad y la transferencia de calor del aire presente entre los granos de caucho, y por la fricción entre los granos de caucho que están en contacto entre sí, convirtiendo de este modo la energía del ruido en energía vibratoria y energía térmica. Al

mezclar diversos tipos de granos de caucho con diferente capacidad de absorción acústica, el aislamiento puede absorber eficientemente una pluralidad de frecuencias de sonido.

5 El documento CN 204 010 668 U desvela el uso de partículas para formar una estructura de placa perforada, mientras que los poros acústicos pueden considerarse como una pluralidad de estructuras absorbentes de sonido de resonancia de aire (resonador de Helmholtz). El aire en la cavidad resuena y pasa de la fricción a la pérdida de calor, provocando de este modo la absorción de sonido. El documento US 2005/194210 A1 desvela estructuras de nido de abeja parcialmente llenas para amortiguar la vibración estructural y la energía del ruido a través de la flexión (es decir, 10 dobléz) de los materiales viscoelásticos, que disipa la energía mecánica (vibración) convirtiéndola en calor. El documento reivindica el denominado mecanismo de amortiguación de partículas no obstructivas (NOPD), las partículas de diversos materiales colisionan entre sí y con la estructura en la que se localizan las partículas, intercambiando cantidad de movimiento y convirtiendo la energía vibratoria en calor a través de la fricción entre las partículas. Por lo tanto, la disipación de energía se produce debido tanto a las pérdidas por fricción como a las colisiones inelásticas de partícula a partícula. La NOPD se centra en la disipación de energía mediante la combinación 15 de amortiguación por colisión, fricción y corte.

Resumiendo los principios físicos usados para amortiguar el sonido y las vibraciones de acuerdo con el estado de la técnica, puede concluirse que ninguna de las soluciones existentes utiliza redes de fuerzas fuertes como mecanismo de disipación de energía principal, resultando ser independiente del material y superior a cualquier otro mecanismo 20 disipativo actualmente conocido. Cabe señalar que cualquier cavidad llena de partículas podría formar algunas cadenas de fuerza a lo largo de las partículas en contacto y, por lo tanto, formar una "red de fuerzas débil". Sin embargo, solo cuando se maximiza el número de cadenas de fuerza aplicando una granulometría específica, se formará una "red de fuerzas fuerte".

25 Descripción de la invención

Un objetivo de la invención es proporcionar un elemento de aislamiento acústico granular que utilice redes de fuerzas fuertes como mecanismo disipativo y que proporcione una mayor absorción acústica y reducción de ruido en comparación con los elementos de aislamiento acústico granulares conocidos de la técnica anterior.

30 Una red de fuerzas se genera a través de interacciones complejas de partículas sólidas en un sistema granular, lo que conduce a la formación de una serie de pares de fuerzas de interconexión de acuerdo con la 3ª Ley de Newton formando una cadena de fuerzas. Una gran cantidad de cadenas de fuerzas forman una red de fuerzas que dispersa la dirección de la transmisión de fuerza de una onda de presión sonora entrante.

35 Las cadenas de fuerzas y las redes de fuerzas son conocidas por los expertos en la materia. Por ejemplo, los documentos N. S. Nguyen y B. Brogliato, "Multiple Impacts in Dissipative Granular Chains", Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics, vol. 72, Springer (2014); K.E. Daniels, "The role of force networks in granular materials", EPJ Web of Conferences 140, Powders & Grains (2017); QICHENG SUN et al, "Understanding Force Chains in Dense Granular Materilas", Int. Mod. J. Phys. B 24, 5743 (2010); P. Richard, M. Nicodemi, R. Delannay, P. Ribiere y D. Bideau, "Slow relaxation and compaction of granular systems", Nature Materials, vol 4, febrero de 2005; E. Somfai, J.-N. Roux, J. H. Snoeijer, M. van Hecke y W. van Saarloos, "Elastic wave propagation in confined granular system", Physical Review E 72, 021301 (2005); L. Zhang, N. G. H. Nguyen, S. Lambert, F. Nicot, F. Prunier & I. Djeran-Maigre, "The role of force chains in granular materials: from statics to dynamics", European Journal of Environmental and Civil Engineering, DOI:10.1080/19648189.2016.1194332 (2016); describen las características de las redes de fuerzas.

40 Además, la bibliografía, tal como la de M. Kramar, A. Goulet, L. Kondie y K. Mischaikow, "Quantifying force networks in particulate systems", Physica D, 283, 32-55, (2014); R. Arevalo, I. Zuriguel, y D. Maza, "Topology of the force network in the jamming transition of an isotopically compressed granular packing", Physical Review E, 81, 041302, (2010); F. Radjai, DE Wolf, M. Jean, J.-J. Moreau, "Bimodal Character of Stress Transmission in Granular Packings", Physical Review Letters, vol. 80, N.º 1, (1998); distingue entre redes de fuerzas "débiles" y "fuertes", de acuerdo con su topología y tamaño, es decir, el número de pares de fuerzas formados que soportan la carga. En la actualidad, no se comprenden los mecanismos de formación de cómo obtener las redes de fuerzas "débiles" y "fuertes".

55 Se descubrió accidentalmente que la granulometría específica como se reivindica en la presente patente conduce a la formación de redes de fuerzas "fuertes" que consumen una enorme cantidad de energía, lo que las convierte en los mecanismos de disipación dominantes sobre los mecanismos de disipación mencionados en el estado de la técnica: fricción, amortiguación viscoelástica, colisión de partículas y efecto viscotérmico.

60 Todos los elementos de aislamiento acústico de materiales granulares podrían formar redes de fuerzas de disipación de energía comunes que conducen a una cierta reducción del nivel de presión sonora (SPLR), figura 2a.

Un objetivo de la invención es utilizar una granulometría granular específica y un tamaño específico de las cavidades para permitir la formación de redes de fuerzas fuertes que conduzcan a una reducción del nivel de presión sonora 65 mucho mayor, figura 2b, que la conocida en la técnica anterior.

Se proporciona un elemento de aislamiento acústico de acuerdo con la reivindicación 1 que utiliza una red de fuerzas fuerte como mecanismo de disipación de energía principal, en donde la red de fuerzas fuerte se genera a través de interacciones complejas de partículas sólidas en un sistema granular, lo que conduce a la formación de un número máximo de pares de fuerzas de interconexión de acuerdo con la 3ª Ley de Newton, en donde dicha red de fuerzas fuerte se obtiene usando un material granular fabricado de al menos un material sólido con una granulometría multimodal sesgada específica. El elemento de aislamiento acústico comprende un material granular que consiste en partículas con una granulometría específica y una estructura de soporte que tiene al menos una cavidad, en donde la al menos una cavidad se llena con partículas del material granular. La estructura de soporte sirve simplemente para mantener el material granular en una posición seleccionada en el espacio, en particular, en una posición vertical.

El tamaño de una partícula puede definirse con el diámetro de un círculo que rodea la partícula y toca su límite en al menos dos puntos. Cualquier otra forma de describir el tamaño de las partículas, tal como el diámetro de un círculo interior o el diámetro de una partícula esférica que tiene un volumen o una masa equivalente, describiría igualmente bien la distribución del tamaño de las partículas reivindicada.

El elemento de aislamiento acústico de acuerdo con la reivindicación 1 desvela una distribución que asigna un número de partículas a un diámetro exterior equivalente de las partículas que se selecciona de tal manera que las partículas formen una red de fuerzas fuerte disipadora de energía dentro de la al menos una cavidad. Así, la distribución que asigna un número de partículas a un diámetro exterior equivalente de las partículas es una distribución asimétrica, es decir, se desvía de una distribución simétrica. Así, la distribución de diámetros exteriores equivalentes de las partículas es multimodal, teniendo varios modos. Así, dicha distribución multimodal está sesgada, de tal manera que dicha distribución multimodal tiene un modo máximo que tiene un número máximo de partículas asignado a un diámetro exterior equivalente fundamental de partículas, y en el que dicha distribución multimodal tiene al menos un modo anterior y al menos un modo posterior.

Es decir, dicha distribución multimodal no es simétrica a ninguno de los modos.

La distribución de diámetros exteriores equivalentes de las partículas se selecciona de tal manera que garantice un llenado hermético de las cavidades con partículas que se requiere para la formación de una red de fuerzas fuerte. En tal distribución, los diámetros de las partículas y su correspondiente número de partículas que pertenecen a un modo dado de la distribución multimodal deben estar de acuerdo con una cierta relación, como se describe a continuación.

Se descubrió que dicha multimodalidad de distribución debería estar sesgada, por ejemplo negativamente, como se muestra en la figura 4a, o positivamente, como se muestra en la figura 4c. La multimodalidad sesgada negativamente tiene varios modos de tamaños de partículas seleccionados correctamente, D_{i-1} , D_{i-2} ,..., a la izquierda del modo máximo D_i , mientras que la multimodalidad sesgada positivamente tiene varios modos de tamaños de partículas seleccionados correctamente, D_{i+1} , D_{i+2} ,..., a la derecha del modo máximo D_i . En ambos casos, el sesgo de la multimodalidad se obtiene mediante la selección adecuada del número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente correspondiente D_k de los modos, en donde $k = \dots i-3, i-2, i-1, i, i+1, i+2, i+3, \dots$

Se descubrió que el sesgo positivo y negativo de dicha multimodalidad conducen a diferentes tipos de formas topológicas de red de fuerzas fuertes, que permiten el ajuste de las características de frecuencia del aislamiento acústico.

Para mayor claridad, cabe señalar que una desviación de la simetría no implica que una distribución sea multimodal, y viceversa, la multimodalidad no implica que una distribución esté sesgada.

La invención se basa en la comprensión intuitiva de que el aislamiento acústico es esencialmente un proceso de disipación de la energía cinética del aire en vibración, respectivamente ondas de presión sonoras que excitan el aislamiento acústico, lo que implica interacciones complejas entre el aire en vibración y la materia sólida que refuerzan la formación de una red de fuerzas. El aislamiento acústico de acuerdo con la invención no se basa en las propiedades del material, como se entiende hoy y se considera en las soluciones existentes disponibles, sino en un proceso de formación de redes de fuerzas disipativas que son independientes del material. Esto se demuestra en las figuras 3a a 3d, donde los aislamientos se fabricaron con diferentes materiales granulares, es decir, 3a - llantas de desecho, 3b - LDPE, 3c - serrín de madera y 3d - PMMA, y los cuatro aislamientos muestran la misma dependencia de frecuencia del aislamiento.

Por lo tanto, la invención se refiere al aislamiento acústico basado en la formación de una red de fuerzas fuerte entre las partículas granulares dentro de la estructura de soporte del elemento de aislamiento. Se descubrió que la formación de la red de fuerzas fuerte es una manera muy eficaz de dispersar las ondas de presión sonoras entrantes. La onda de presión se transmite a la red de fuerzas formada por las partículas granulares que se localizan en las cavidades de la estructura de soporte. Se descubrió que una granulometría multimodal correctamente seleccionada conducirá a una absorción de energía de red de fuerzas muy alta. Al mismo tiempo, una granulometría adecuadamente seleccionada también minimizará el espacio restante entre las partículas que forman la red, lo que refuerza la transmisión de la presión del sonido principalmente a través de la red de fuerzas, como se muestra, por ejemplo, en la figura 4b y la figura 4d.

- Accidentalmente también se descubrió que las distribuciones comunes de partículas no conducen a las redes de fuerzas con la eficiencia que prevalecería sobre los mecanismos de disipación mencionados en el estado de la técnica. En la bibliografía, tales redes de fuerzas se conocen como redes de fuerzas débiles. Como ejemplo, la figura 2 muestra la comparación de la reducción del nivel de presión sonora medida de un aislamiento fabricado de serrín con una granulometría común (véase la figura 2a), lo que da como resultado una red de fuerzas débil, y el aislamiento fabricado del mismo serrín después de ajustar la distribución de partículas de serrín de acuerdo con la granulometría reivindicada en este caso (véase la figura 2b), lo que da como resultado una red de fuerzas fuerte.
- Sorprendentemente, se descubrió que la generación periódica de una red de fuerzas requiere una entrada de energía continua y puede utilizarse como un mecanismo disipativo. Se descubrió que la cantidad de energía disipada depende del número de fuerzas de contacto, que pueden maximizarse usando materiales granulares con la granulometría reivindicada. Tal sistema de materiales granulares con un número maximizado de fuerzas de contacto representa una red disipativa de cuerpos que interactúan que se denomina red de fuerzas fuerte. También se descubrió que la formación periódica de una red de fuerzas fuerte, reforzada por la interacción periódica del aire en vibración, respectivamente el sonido, y los materiales granulares con una granulometría definida, es el mecanismo disipativo regulador del aislamiento acústico recién inventado.
- En el caso de las ondas de presión sonoras que interactúan con materiales granulares con una distribución de tamaño de partículas definida, estas redes de fuerzas fuertes aparecen y desaparecen periódicamente y disipan una enorme cantidad de energía.
- También se descubrió que modificando la composición de las partículas que interactúan ajustando sus tamaños y cantidades de partículas con un tamaño dado, puede controlarse el tamaño de una red de fuerzas y el proceso de disipación de energía. La distribución adecuadamente seleccionada de los diámetros de las partículas optimiza el tamaño de la red de fuerzas.
- El elemento de aislamiento acústico de acuerdo con la presente invención comprende partículas granulares distribuidas en las cavidades de la estructura de soporte, tal como espumas de celdas abiertas, para permitir la formación de redes de fuerzas fuertes. Por lo tanto, el elemento de aislamiento acústico inventado no depende del material, sino que depende del proceso disipativo.
- Sorprendentemente, se descubrió que mediante la selección adecuada de los tamaños de partículas granulares y su proporción numérica, el tamaño y la estructura, respectivamente, la topología de las redes de fuerzas fuertes formadas puede optimizarse de tal manera que la red de fuerzas disipe una cantidad máxima de energía. Para aumentar el número de puntos de contacto de partículas adyacentes y, de este modo, reducir también la separación entre partículas, es beneficioso usar partículas con una gama muy amplia de diámetros de partícula.
- Preferentemente, las partículas del material granular tienen un diámetro exterior equivalente que está entre 0,0001 mm y 10 mm. Muy preferentemente, las partículas del material granular tienen un diámetro exterior equivalente que está en un intervalo entre 0,001 mm y 4 mm. Especialmente las partículas que tienen diámetros exteriores equivalentes en dicho intervalo permiten la formación de redes de fuerzas fuertes.
- Preferentemente, el al menos un modo anterior tiene un número anterior de partículas asignado a un diámetro exterior equivalente anterior de partículas que es menor que el diámetro exterior equivalente fundamental de partículas del modo máximo. Además, el al menos un modo posterior tiene un número posterior de partículas asignado a un diámetro exterior equivalente posterior de partículas que es mayor que el diámetro exterior equivalente fundamental de partículas del modo máximo.
- El número máximo de partículas es mayor que el número de partículas anterior. El número máximo de partículas también es mayor que el número de partículas posterior.
- De acuerdo con una posible realización de la invención, la distribución multimodal tiene al menos una sección a la izquierda del modo máximo que comprende varios modos y que comprende el modo máximo, en donde el número de partículas asignado al diámetro exterior equivalente de las partículas disminuye cuando el diámetro exterior equivalente de las partículas disminuye, de tal manera que una curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente. Cuando la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente, entonces la pendiente de dicha curva de envolvente es positiva. Preferentemente, la multimodalidad sesgada negativamente tiene al menos dos modos a la izquierda del modo máximo, como se muestra en la figura 4a.
- En particular, las partículas se eligen de tal manera que la distribución multimodal tenga al menos una sección que comprenda varios modos y que comprenda el modo máximo, en donde un número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de cualquier modo elegido k dentro de dicha sección es mayor que un número de partículas asignado al diámetro exterior equivalente de un modo adyacente, si el diámetro exterior equivalente D_k del modo elegido k es mayor que el diámetro exterior equivalente del modo adyacente, de tal manera que una curva envolvente sobre los modos está sesgada negativamente dentro de dicha sección.

Preferentemente, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente, una relación

5
$$RD_k = \{D_k/D_{k-1}\}_{k=i, i-1, i-2, \dots} = \{D_i/D_{i-1}, D_{i-1}/D_{i-2}, D_{i-2}/D_{i-3}, \dots\}$$

es mayor o igual a 1,2 y es menor o igual a 2,1, tal que $1.2 \leq RD_k \leq 2.1$, con $k \leq i$.

10 Así, un número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k es mayor que un número de partículas N_{k-1} asignado al diámetro exterior equivalente D_{k-1} de un modo adyacente $k-1$.

Más preferentemente, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente, dicha relación RD_k es mayor o igual a 1,4 y es menor o igual a 1,9. Aún más preferentemente, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente, dicha relación RD_k es mayor o igual a 1,5 y es menor o igual a 1,8.

De manera especialmente preferente, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente, una relación

20
$$RD_k = \{D_k/D_{k-1}\}_{k=i, i-1, i-2, \dots} = \{D_i/D_{i-1}, D_{i-1}/D_{i-2}, D_{i-2}/D_{i-3}, \dots\}$$

es igual a $(1+\sqrt{5})/2$ o a cualquier multiplicador entero de dicho valor, tal que $RD_k = (1 + \sqrt{5})/2$ o $RD_k = n * (1 + \sqrt{5})/2$, con $k \leq i$ y $n =$ entero.

25 Así, un número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k es mayor que un número N_{k-1} de partículas asignado al diámetro exterior equivalente D_{k-1} de un modo adyacente $k-1$.

Dicha relación $(1+\sqrt{5}) / 2$, que es de aproximadamente 1,618, también se conoce como la proporción áurea. Por lo tanto, dentro de dicha sección que está sesgada negativamente, la relación RD_k entre un diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k y un diámetro exterior equivalente D_{k-1} de un modo adyacente $k-1$ corresponde preferentemente a la proporción áurea o se desvía de la proporción áurea menos del 30 %, o menos del 20 %, o menos del 10 %.

30 De acuerdo con otra posible realización de la invención, la distribución multimodal tiene al menos una sección a la derecha del modo máximo que comprende varios modos y que comprende el modo máximo, en donde el número de partículas asignado al diámetro exterior equivalente de las partículas disminuye cuando el diámetro exterior equivalente de las partículas aumenta, de tal manera que una curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente. Cuando la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente, entonces la pendiente de dicha curva envolvente es negativa. Preferentemente, la multimodalidad sesgada positivamente tiene al menos dos modos a la derecha del modo máximo, como se muestra en la figura 4c.

35 En particular, las partículas se eligen de tal manera que la distribución multimodal tenga al menos una sección que comprenda varios modos y que comprenda el modo máximo, en donde un número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de cualquier modo k elegido dentro de dicha sección es mayor que un número de partículas asignado al diámetro exterior equivalente de un modo adyacente, si el diámetro exterior equivalente D_k del modo elegido k es menor que el diámetro exterior equivalente del modo adyacente, de tal manera que una curva envolvente sobre los modos está sesgada positivamente dentro de dicha sección.

40 Preferentemente, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente, una relación

50
$$RD_k = \{D_k/D_{k+1}\}_{k=i, i+1, i+2, \dots} = \{D_i/D_{i+1}, D_{i+1}/D_{i+2}, D_{i+2}/D_{i+3}, \dots\}$$

es mayor o igual a 0,45 y es menor o igual a 0,8, tal que $0,45 \leq RD_k \leq 0,8$, con $k \geq i$.

55 Así, un número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k es mayor que un número de partículas N_{k+1} asignado al diámetro exterior equivalente D_{k+1} de un modo adyacente $k+1$.

Más preferentemente, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente, dicha relación RD_k es mayor o igual a 0,5 y es menor o igual a 0,75. Aún más preferentemente, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente, dicha relación RD_k es mayor o igual a 0,55 y es menor o igual a 0,7.

60 De manera especialmente preferida, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente, una relación

65

$$RD_k = \{D_k/D_{k+1}\}_{k=i, i+1, i+2, \dots} = \{D_i/D_{i+1}, D_{i+1}/D_{i+2}, D_{i+2}/D_{i+3}, \dots\}$$

es igual a $2 / (1+\sqrt{5})$ o a cualquier divisor entero de dicho valor, tal que $RD_k = 2/(1 + \sqrt{5})$ o $RD_k = 2/(n * (1 + \sqrt{5}))$, con $k \geq i$ y $n =$ entero.

5 Así, un número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k es mayor que un número de partículas N_{k+1} asignado al diámetro exterior equivalente D_{k+1} de un modo adyacente $k+1$.

10 Dicha relación $2 / (1+\sqrt{5})$ que es de aproximadamente 0,618 es el valor recíproco de la proporción áurea. Por lo tanto, dentro de dicha sección que está sesgada positivamente, una relación RD_k entre un diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k , y un diámetro exterior equivalente D_{k+1} de un modo adyacente $k+1$ corresponde preferentemente al valor recíproco de la proporción áurea o se desvía del valor recíproco de la proporción áurea menos del 30 %, o menos del 20 %, o menos del 10 %.

15 De acuerdo con un desarrollo adicional ventajoso de la invención, dentro de una sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente, las relaciones

$$RN_k = \{N_k/N_{k-1}\}_{k=i, i-1, i-2, \dots} = \{N_i/N_{i-1}, N_{i-1}/N_{i-2}, \dots\}$$

20 son mayores o iguales a 1,2 y son menores o iguales a 2,1, tal que $1,2 \leq RN_k \leq 2,1$, con $k \leq i$.

Así, un número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k es mayor que un número de partículas N_{k-1} asignado al diámetro exterior equivalente D_{k-1} de un modo adyacente $k-1$.

25 Preferentemente, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente, dichas relaciones RN_k son mayores o iguales a 1,4 y son menores o iguales a 1,9. Más preferentemente, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente, dichas relaciones RN_k son mayores o iguales a 1,5 y son menores o iguales a 1,8.

30 De acuerdo con otro desarrollo adicional ventajoso de la invención, dentro de una sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente, las relaciones

$$RN_k = \{N_k/N_{k-1}\}_{k=i, i-1, i-2, \dots} = \{N_i/N_{i-1}, N_{i-1}/N_{i-2}, \dots\}$$

35 son iguales a $(1+\sqrt{5})/2$ o a cualquier multiplicador entero de dicho valor, tal que $RN_k = (1 + \sqrt{5})/2$ o $RN_k = n * (1 + \sqrt{5})/2$, con $k \leq i$ y $n =$ entero.

Así, un número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k es mayor que un número de partículas N_{k-1} asignado al diámetro exterior equivalente D_{k-1} de un modo adyacente $k-1$.

40 Dicha relación $(1+\sqrt{5}) / 2$, que es de aproximadamente 1,618, también se conoce como la proporción áurea. Por lo tanto, dentro de dicha sección que está sesgada negativamente, las relaciones RN_k entre un número de partículas N_k de un modo elegido k y un número de partículas N_{k-1} de un modo adyacente $k-1$ corresponden preferentemente a la proporción áurea o se desvían de la proporción áurea menos del 30 %, o menos del 20 %, o menos del 10 %.

45 Como alternativa o adicionalmente, dentro de una sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente, las relaciones

$$RN_k = \{N_k/N_{k+1}\}_{k=i, i+1, i+2, \dots} = \{N_i/N_{i+1}, N_{i+1}/N_{i+2}, \dots\}$$

50 son mayores o iguales a 1,2 y son menores o iguales a 2,1, tal que $1,2 \leq RN_k \leq 2,1$, con $k \geq i$.

Así, un número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k es mayor que un número de partículas N_{k+1} asignado al diámetro exterior equivalente D_{k+1} de un modo adyacente $k+1$.

55 Preferentemente, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente, dichas relaciones RN_k son mayores o iguales a 1,4 y son menores o iguales a 1,9. Más preferentemente, dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente, dichas relaciones RN_k son mayores o iguales a 1,5 y son menores o iguales a 1,8.

60 Como alternativa o adicionalmente, dentro de una sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente, las relaciones

$$RN_k = \{N_k/N_{k+1}\}_{k=i, i+1, i+2, \dots} = \{N_i/N_{i+1}, N_{i+1}/N_{i+2}, \dots\}$$

65 son iguales a $(1+\sqrt{5})/2$ o a cualquier multiplicador entero de dicho valor, tal que $RN_k = (1 + \sqrt{5})/2$ o $RN_k = n * (1 + \sqrt{5})/2$,

con $k \geq i$ y $n =$ entero.

Así, un número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k es mayor que un número de partículas N_{k+1} asignado al diámetro exterior equivalente D_{k+1} de un modo adyacente $k+1$.

Dicha relación $(1+\sqrt{5})/2$, que es de aproximadamente 1,618, también se conoce como la proporción áurea. Por lo tanto, dentro de dicha sección, que está sesgada positivamente, las relaciones RN_k entre un número de partículas N_k de un modo elegido k y un número de partículas N_{k+1} de un modo adyacente $k+1$ corresponden preferentemente a la proporción áurea o se desvían de la proporción áurea menos del 30 %, o menos del 20 %, o menos del 10 %.

También se descubrió que dicho sesgo puede obtenerse preferentemente mezclando varios grupos de partículas granulares con diferente granulometría simétricas. Sorprendentemente, se descubrió que cuando se mezclan varios grupos de partículas granulares con diferentes tamaños de partícula promedio, el número de partículas es pertinente para especificar una cantidad de partículas de grupos individuales en lugar de su peso o volumen.

Se descubrió que una disposición de este tipo de acuerdo con la invención puede establecer un elemento de aislamiento acústico que tiene propiedades de absorción y reducción del ruido que son considerablemente mejores que las de los elementos conocidos en la técnica anterior. Un elemento de aislamiento acústico de acuerdo con la invención que tenga el mismo espesor que un tablero de espuma rígida, por ejemplo, puede tener al menos tres veces mejores propiedades de reducción de ruido, medidas en nivel de presión sonora, que dicho tablero de espuma rígida o un tablero de espuma blanda, o una lana de roca. La red de fuerzas fuerte puede, por ejemplo, estar formada por partículas fabricadas de caucho de neumáticos de desecho molido, o cualquier otro material sólido o su mezcla.

La reducción de ruido también depende de la frecuencia acústica. La relación de reducción de ruido del elemento de aislamiento acústico de acuerdo con la invención en comparación con la reducción de ruido de un panel de espuma rígida que tiene el mismo espesor varía con la variación de la frecuencia acústica. Como se ha indicado anteriormente, las características de frecuencia del aislamiento acústico inventado pueden ajustarse con un ajuste del sesgo de la granulometría granulares multimodales. Sin embargo, dentro de un intervalo de frecuencia dado de, por ejemplo, 10 Hz a 20 kHz que es audible para el ser humano, la reducción del sonido del elemento de aislamiento acústico de acuerdo con la invención es, sin embargo, al menos tres veces mejor, medida en nivel de presión acústica, que la reducción del ruido de un tablero de espuma rígida o blanda o lana de roca del mismo espesor.

Sorprendentemente, se descubrió que el proceso de disipación de energía de las redes de fuerzas fuerte es independiente del material. Preferentemente, las partículas del material granular son sólidas. Las partículas pueden producirse a partir de material sólido orgánico o no orgánico. El origen y la composición química del material granular no son importantes, siempre que la rigidez de las partículas sea suficiente para formar una red de fuerzas fuerte disipativa. Por lo tanto, las partículas de un material granular pueden tener su origen en diversos materiales sólidos. Por ejemplo, las partículas pueden estar fabricadas de metal, que tiene enlaces metálicos. Las partículas también pueden estar fabricadas de una sal, que tiene enlaces iónicos. Además, las partículas pueden estar fabricadas de un material plástico, que tiene enlaces covalentes. Las partículas pueden estar fabricadas de una materia prima orgánica así como de una materia prima no orgánica. En particular, las partículas pueden estar fabricadas de arena, de polímero, de caucho o de madera. En consecuencia, las partículas pueden estar fabricadas de casi cualquier material de desecho orgánico o inorgánico, como llantas de desecho, botellas viejas, serrín de madera, metales de cintura, polvo de piedra y similares. De hecho, las partículas granulares pueden producirse triturando cualquier producto sólido que no debe contener sustancias tóxicas.

Todas las partículas, o casi todas las partículas, del material granular pueden proceder de la misma materia prima. Por lo tanto, el material granular contiene solo partículas con un tipo de materia prima y, por lo tanto, tiene una composición homogénea de partículas.

Las partículas del material granular también pueden proceder de diferentes materias primas. Por lo tanto, el material granular contiene una mezcla de partículas con varios tipos de materias primas y, por lo tanto, tiene una composición heterogénea de partículas.

El material granular puede contener partículas con geometría esférica. Por lo tanto, las partículas tienen forma de bolas o perlas regulares. En este caso, el tamaño de dichas partículas puede expresarse por su diámetro exterior. El material granular también puede contener partículas con una geometría compleja que se desvía de formas como bolas o perlas regulares. El tamaño de dichas partículas puede expresarse por el diámetro exterior equivalente.

El diámetro exterior equivalente de tal partícula corresponde al diámetro exterior de una partícula que tiene geometría esférica y que tiene el mismo volumen o masa. Como alternativa, el diámetro exterior de una partícula puede definirse con el diámetro de una esfera en la que puede colocarse la partícula de tal manera que toque la superficie de una esfera en al menos dos puntos. El material granular puede contener, en particular, una mezcla de partículas de geometría esférica y de partículas de geometría compleja.

Las partículas del material granular pueden tener diversos tipos de estructuras. El material granular puede contener

partículas que son sólidas, también puede contener partículas que son huecas. El material granular también puede contener partículas que son porosas. El material granular puede contener, en particular, una mezcla de partículas con diferentes estructuras y formas.

5 El papel de la estructura de soporte es simplemente mantener el material granular en su lugar. Por lo tanto, su papel es solo estructural. En consecuencia, la estructura de soporte puede estar fabricada de cualquier cosa que cumpla este papel. Preferentemente, la estructura de soporte está fabricada de material poroso, en particular, producido a partir de material sólido orgánico o inorgánico, o tejido a partir de fibras orgánicas o inorgánicas, o una estructura producida con electrohilado o impresión 3D.

10 La estructura de soporte puede ser simplemente cualquier espacio hueco en el armazón o el cuerpo de las paredes o el piso de los edificios o de la estructura del cuerpo de los automóviles, vagones de tren, embarcaciones, yates, barcos, aviones, carcasa de equipos que vibran, y puede simplemente llenarse con material granular con una granulometría multimodal sesgada.

15 En otra realización de la presente invención, la estructura de soporte puede tener una composición porosa y puede tener diversos tipos de estructuras y puede estar fabricada de diversos tipos de materiales. Por ejemplo, la estructura de soporte puede estar fabricada de un material flexible. La estructura de soporte también puede estar fabricada de un material rígido. La estructura de soporte que tiene una composición porosa puede estar fabricada, por ejemplo, de un material de una sola capa. La estructura de soporte también puede estar fabricada de un material multicapa.

20 La estructura de soporte puede estar fabricada de espuma porosa. Como otro ejemplo, la estructura de soporte puede diseñarse como una red tridimensional. En particular, la estructura de soporte puede estar fabricada de una tela tejida. Como alternativa, la estructura de soporte puede estar fabricada de una tela no tejida.

25 Las cavidades de la estructura de soporte pueden tener una geometría compleja que se desvía de una forma como una esfera hueca regular. El tamaño de tales cavidades puede expresarse mediante un diámetro interior equivalente. El diámetro interior equivalente de tal cavidad corresponde al diámetro interior de una cavidad que tiene una geometría esférica hueca y que tiene el mismo volumen. Por lo tanto, a continuación, el tamaño de las cavidades de la estructura de soporte se expresa por su diámetro interior equivalente.

30 El diámetro interior de las cavidades es mayor que el diámetro exterior equivalente de las partículas más grandes y, además, debe alojar un número suficiente de partículas más pequeñas para llenar la cavidad y evitar el movimiento de las partículas con el fin de formar la red de fuerzas fuerte. Preferentemente, el diámetro interior se selecciona lo suficientemente grande para alojar un número suficiente de partículas de la granulometría completa para maximizar el número de puntos de contacto entre las partículas que forman la red de fuerzas fuerte.

35 Preferentemente, las partículas están estrechamente dispuestas en las cavidades de tal manera que las partículas forman una red de fuerzas fuerte dentro de las cavidades. En particular, las partículas del material granular están dispuestas en las cavidades de la estructura de soporte de tal manera que las partículas que forman la red de fuerzas fuerte dentro de las cavidades llenen al menos el 70 % de su volumen.

40 De acuerdo con un desarrollo adicional de la invención, cuando la estructura de soporte está fabricada de una tela tejida o una tela no tejida, dicha tela tejida o dicha tela no tejida está preferentemente fabricada de biofibras y/o de fibras sintéticas y/o de una combinación de dichas fibras. Nuevamente, en principio, puede estar fabricada de cualquier material siempre que mantenga las partículas granulares en su lugar en la posición requerida.

45 De acuerdo con otro desarrollo adicional de la invención, cuando la estructura de soporte está fabricada de una tela tejida o una tela no tejida, dicha tela tejida o dicha tela no tejida está fabricada de fibras metálicas y/o de fibras de vidrio y/o de fibras de carbono y/o de fibras de basalto y/o de una combinación de dichas fibras. Por lo tanto, la estructura de soporte es resistente a altas temperaturas.

50 Preferentemente, en particular, si la estructura de soporte es resistente a altas temperaturas, las cavidades de la estructura de soporte se llenan de partículas que son inorgánicas y también resistentes a altas temperaturas. En especial, dichas partículas están fabricadas de un material que resiste altas temperaturas de hasta 3400 C°.

55 De acuerdo con una realización ventajosa de la invención, la estructura de soporte está cubierta por una cubierta. La función de dicha cubierta es, en particular, mantener las partículas granulares dentro de las cavidades de la estructura de soporte. Es una función adicional de dicha cubierta evitar que la suciedad o la humedad entre en las cavidades de la estructura de soporte y entre en contacto con el material granular. En una realización de la presente invención, la cubierta puede ser no porosa.

60 En otra realización de la presente invención, la cubierta tiene poros con un diámetro de poro equivalente que es menor que el diámetro exterior equivalente de las partículas más pequeñas. Una disposición de este tipo permite que las ondas sonoras entren en la estructura de aislamiento y el aislamiento adopta excelentes propiedades de absorción y aislamiento acústico.

65

Un elemento de aislamiento acústico de acuerdo con la invención puede usarse en varias aplicaciones. Tales aplicaciones son, especialmente, aplicaciones de automoción, aplicaciones de ingeniería mecánica, aplicaciones de ingeniería eléctrica, aplicaciones de ingeniería aeroespacial, aplicaciones de ingeniería de transporte, aplicaciones de ingeniería naval y aplicaciones de ingeniería civil.

Posteriormente, se describe un método para producir material granular para un elemento de aislamiento acústico, en donde las partículas de dicho material granular tienen una distribución multimodal sesgada de sus diámetros exteriores equivalentes con la relación adecuada de su número y tamaños de partículas con el fin de maximizar el tamaño de la red de fuerzas fuerte disipativa. El método para producir dicho material granular incluye las siguientes etapas:

En una primera etapa puede prepararse material granular a partir de cualquier sustancia sólida independientemente de su origen y composición química. El material granular puede prepararse con cualquiera de las tecnologías existentes actualmente usadas para la molienda.

En una segunda etapa, la materia prima granular se filtra para separar las partículas de acuerdo con sus diámetros exteriores equivalentes. Así, se obtienen partículas con diferentes diámetros exteriores equivalentes promedio con una granulometría monomodal aproximadamente simétrica.

En una tercera etapa, aquellas partículas con diferentes diámetros exteriores equivalentes correspondientes a modos pertinentes se mezclan de acuerdo con las relaciones requeridas RD_k y RN_k de modos vecinos de la granulometría multimodal sesgada. Por lo tanto, dicha mezcla tiene una distribución multimodal sesgada de diámetros exteriores y puede formar el material granular para formar redes de fuerzas fuertes requeridas dentro del elemento de aislamiento acústico.

Breve descripción de los dibujos

Más detalles, realizaciones y ventajas de la presente invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, que se proporciona únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los que:

- Figura 1a es una ilustración a modo de ejemplo de un primer sistema de transmisión de sonido de acuerdo con la técnica anterior,
- Figura 1b es una ilustración a modo de ejemplo de un segundo sistema de transmisión de sonido hipotético que tiene propiedades de aislamiento ideales,
- Figura 1c es una ilustración a modo de ejemplo de un tercer sistema de transmisión de sonido de acuerdo con la técnica anterior,
- Figura 1d es una ilustración a modo de ejemplo de un cuarto sistema de transmisión de sonido de acuerdo con la técnica anterior,
- Figura 2a es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora de un aislamiento fabricado de serrín con una granulometría común,
- Figura 2b es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora de un aislamiento fabricado del mismo serrín con una granulometría de acuerdo con la invención,
- Figura 3a es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora de un aislamiento fabricado de caucho con una granulometría de acuerdo con la invención,
- Figura 3b es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora de un aislamiento fabricado de LDPE con una granulometría de acuerdo con la invención,
- Figura 3c es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora de un aislamiento fabricado de serrín de madera con una granulometría de acuerdo con la invención,
- Figura 3d es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora de un aislamiento fabricado de PMMA con una granulometría de acuerdo con la invención,
- Figura 4a es una ilustración esquemática de una distribución de diámetro exterior equivalente con una sección multimodal sesgada negativamente,
- Figura 4b es una ilustración esquemática de una posible disposición de partículas que tienen una distribución de diámetro exterior de acuerdo con la figura 4a con un área aumentada,

- Figura 4c es una ilustración esquemática de una distribución de diámetro exterior equivalente con una sección multimodal sesgada positivamente,
- 5 Figura 4d es una ilustración esquemática de una posible disposición de partículas que tienen una distribución de diámetro exterior de acuerdo con la figura 4c con un área aumentada,
- Figura 5 es una gráfica que muestra la dependencia de frecuencia de una reducción del nivel de presión sonora de aislamientos fabricados de diferentes materiales aislantes comunes en comparación con un aislamiento fabricado de un material con una granulometría de acuerdo con la invención.
- 10 Figura 6 es una ilustración esquemática de una estructura de soporte con un detalle aumentado,
- Figura 7 es una vista en sección esquemática de un elemento de aislamiento acústico con un detalle aumentado,
- 15 Figuras 8a y 8b son ilustraciones esquemáticas de estructuras de soporte fabricadas de tela tejida, respectivamente tela no tejida,
- Figura 9 es un turismo con detalles aumentados,
- 20 Figura 10 es un coche de casa móvil con detalles aumentados,
- Figura 11 es una embarcación con detalles aumentados,
- Figura 12 es un tren con detalles aumentados,
- 25 Figura 13 es un avión con detalles aumentados,
- Figura 14 es una casa residencial con detalles aumentados, y
- 30 Figura 15 es una vista en sección esquemática de un ascensor en un edificio con un detalle aumentado.

A continuación, se describirán realizaciones preferidas de la presente invención con referencia a los dibujos. Los dibujos solo proporcionan vistas esquemáticas de la invención. Los números de referencia similares se refieren a partes, elementos o componentes correspondientes a lo largo de las figuras, a menos que se indique lo contrario.

35 Descripción detallada

La figura 1a es una ilustración a modo de ejemplo de un primer sistema de transmisión de sonido 201 de acuerdo con la técnica anterior. El sistema 201 comprende un emisor de sonido 210 en forma de altavoz, un receptor de sonido 212 indicado por un oído humano y un elemento de separación 214 que separa el emisor de sonido 210 del receptor de sonido 212. Los números de la ilustración son un ejemplo de cómo las ondas sonoras emitidas se reflejan por el elemento de separación 214, se absorben por el elemento de separación 214 y se transmiten por propagación de ondas.

45 En el presente caso, el elemento de separación 214 es una pared metálica rígida que no puede realizar ninguna vibración macroscópica. En este caso, aproximadamente el 88 % de las ondas sonoras emitidas se reflejan por el elemento de separación 214 y solo aproximadamente el 12 % de las ondas sonoras entran en el elemento de separación 214. La mayoría de estas ondas sonoras se disipan dentro del elemento de separación 214 y solo aproximadamente el 1,4 % de las ondas sonoras se transmiten al receptor de sonido 212. Esto significa que una pérdida de transmisión de sonido es aproximadamente:

$$STL = 20 \log(100/1,4) \approx 37 \text{ dB}$$

55 La figura 1b es una ilustración a modo de ejemplo de un segundo sistema de transmisión de sonido hipotético 202 que tiene propiedades de aislamiento ideales. El sistema 202 comprende un emisor de sonido 210 en forma de altavoz, un receptor de sonido 212 indicado por un oído humano y un elemento de separación 214 que separa el emisor de sonido 210 del receptor de sonido 212.

60 En el presente caso, el elemento de separación 214 es una pared absolutamente rígida. Eso significa que el módulo de elasticidad y la rigidez del elemento de separación 214 son infinitos. En este caso, todas las ondas sonoras emitidas se reflejan por el elemento de separación 214.

65 La figura 1c es una ilustración a modo de ejemplo de un tercer sistema de transmisión de sonido 203 de acuerdo con la técnica anterior. El sistema 203 comprende un emisor de sonido 210 en forma de altavoz, un receptor de sonido 212 indicado por un oído humano y un elemento de separación 214 que separa el emisor de sonido 210 del receptor de sonido 212. Los números en la ilustración son un ejemplo de cómo las ondas sonoras emitidas se reflejan por el

elemento de separación 214, se absorben por el elemento de separación 214 y se transmiten a través del elemento de separación 214.

5 En el presente caso, la rigidez del elemento de separación 214 es relativamente pequeña. Así, una parte sustancial de aproximadamente el 80 % de la energía de las ondas sonoras emitidas se transmite por medio de vibraciones macroscópicas del elemento de separación 214 y solo aproximadamente el 20 % de las ondas sonoras emitidas se reflejan por el elemento de separación 214.

10 La figura 1d es una ilustración a modo de ejemplo de un cuarto sistema de transmisión de sonido 204 de acuerdo con la técnica anterior. El sistema 204 comprende un emisor de sonido 210 en forma de altavoz, un receptor de sonido 212 indicado por un oído humano y un elemento de separación 214 que separa el emisor de sonido 210 del receptor de sonido 212. Los números en la ilustración son un ejemplo de cómo las ondas sonoras emitidas se reflejan por el elemento de separación 214, se absorben por el elemento de separación 214 y se transmiten a través del elemento de separación 214.

15 En el presente caso, el elemento de separación 214 es una pared elástica con un material aislante fijado sobre la misma, garantizando el contacto directo entre el elástico y el material aislante. En este caso, las ondas de presión se transmiten directamente desde la pared elástica al material aislante a través del contacto entre dos cuerpos sólidos. Además, la pared elástica vibratoria también impondrá las vibraciones macroscópicas del material aislante. En este caso, el elemento de separación 214 actúa esencialmente más como aislamiento vibratorio que como aislamiento acústico. Así, aproximadamente el 70 % de la energía de las ondas sonoras emitidas se transmite a través del elemento de separación 214, el 10 % se disipa dentro del elemento de separación 214 y solo aproximadamente el 20 % de las ondas sonoras emitidas se reflejan en el elemento de separación 214.

25 La figura 2 es una comparación a modo de ejemplo de la reducción del nivel de presión sonora SPLR medida de un aislamiento fabricado de serrín. Así, la figura 2a es una gráfica que muestra la reducción del nivel de presión sonora SPLR frente a una frecuencia F de un aislamiento fabricado de serrín con una granulometría común. La figura 2b es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora SPLR frente a una frecuencia F de un aislamiento fabricado del mismo serrín con una granulometría que se ajusta de acuerdo con la invención.

30 La figura 3 es una demostración a modo de ejemplo de que el rendimiento del nuevo aislamiento acústico de red de fuerzas fuerte es independiente del material. La figura 3 presenta una comparación de cuatro aislamientos fabricados de diferentes materiales granulados. La figura 3a es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora SPLR frente a una frecuencia F de un aislamiento fabricado a partir de caucho de neumáticos de desecho con una granulometría que se ajusta de acuerdo con la invención. La figura 3b es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora SPLR frente a una frecuencia F de un aislamiento fabricado de LDPE (polietileno de baja densidad) con una granulometría que se ajusta de acuerdo con la invención. La figura 3c es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora SPLR frente a una frecuencia F de un aislamiento fabricado de serrín de madera con una granulometría que se ajusta de acuerdo con la invención. La figura 3d es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora SPLR frente a una frecuencia F de un aislamiento fabricado de PMMA (polimetilmetacrilato) con una granulometría que se ajusta de acuerdo con la invención. Los cuatro aislamientos muestran un rendimiento casi idéntico.

45 La figura 4a es una ilustración esquemática de una distribución de diámetro exterior equivalente con una sección multimodal sesgada negativamente. La sección sesgada negativamente de la distribución multimodal tiene un modo máximo i que tiene un número máximo N_i de partículas 14 asignado a un diámetro exterior equivalente fundamental D_i de partículas 14.

50 La sección multimodal sesgada negativamente de la distribución multimodal tiene un modo anterior $i-1$ que tiene un número anterior N_{i-1} de partículas asignado a un diámetro exterior equivalente anterior D_{i-1} de partículas 14 y otro modo que tiene un número N_{i-2} de partículas 14 asignado a un diámetro exterior equivalente D_{i-2} de partículas 14 y otro modo que tiene un número N_{i-3} de partículas 14 asignado a un diámetro exterior equivalente D_{i-3} de partículas 14. Así, el número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de los modos aumenta con el aumento del diámetro exterior equivalente D_k :

55 $D_k > D_{k-1}$ y $N_k > N_{k-1}$ para $k \leq i$

Actualmente, dentro de dicha sección de multimodalidad que está sesgada negativamente, una relación RD_k entre un diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k , y un diámetro exterior equivalente D_{k-1} de un modo adyacente $k-1$ es igual a $(1+\sqrt{5})/2$ o a cualquier entero múltiplo de dicho valor:

60
$$RD_k = D_k/D_{k-1} = n \cdot (1+\sqrt{5})/2$$

con $n =$ entero

65 Actualmente, dentro de dicha sección de multimodalidad que está sesgada negativamente, una relación RN_k entre un número N_k de un modo elegido k , y un número N_{k-1} de un modo adyacente $k-1$ es igual a $(1+\sqrt{5})/2$ o a cualquier entero

múltiplo de dicho valor.

$$RN_k = N_k/N_{k-1} = n \cdot (1+\sqrt{5})/2$$

5 con n = entero

La distribución multimodal tiene además un modo posterior i+1 que tiene un número posterior N_{i+1} de partículas 14 asignado a un diámetro exterior equivalente posterior D_{i+1} de partículas 14. Sin embargo, dicho modo posterior i+1 no forma parte de la sección de multimodalidad sesgada negativamente de la distribución multimodal.

10 La figura 4b es una ilustración esquemática de una posible disposición de partículas 14 que tienen una distribución de diámetro exterior de acuerdo con la figura 4a con un área aumentada. Con el fin de facilitar la presentación, las partículas 14 se muestran como bolas regulares con geometría esférica.

15 Actualmente, tres partículas 14 que tienen el diámetro máximo D_i del modo máximo están dispuestas de tal manera que se tocan entre sí y dejan un espacio intermedio entre las mismas. Dos partículas 14 que tienen el diámetro anterior D_{i-1} del modo anterior i-1 están dispuestas dentro de dicho espacio intermedio, así como una partícula que tiene el diámetro D_{i-2} del modo adyacente.

20 La figura 4c es una ilustración esquemática de una distribución de diámetro exterior equivalente con una sección multimodal sesgada positivamente. La sección sesgada positivamente de la distribución multimodal tiene un modo máximo i que tiene un número máximo N_i de partículas 14 asignado a un diámetro exterior equivalente fundamental D_i de partículas 14.

25 La sección multimodal sesgada positivamente de la distribución multimodal tiene un modo posterior i+1 que tiene un número posterior N_{i+1} de partículas 14 asignado a un diámetro exterior equivalente posterior D_{i+1} de partículas 14 y otro modo que tiene un número N_{i+2} de partículas 14 asignado a un diámetro exterior equivalente D_{i+2} de partículas 14 y otro modo que tiene un número N_{i+3} de partículas 14 asignado a un diámetro exterior equivalente D_{i+3} de partículas 14. Así, el número de partículas N_k asignado al diámetro exterior equivalente D_k de los modos cae con el aumento del

30 diámetro exterior equivalente D_k :
 $D_k < D_{k+1}$ y $N_k > N_{k+1}$ para $k \geq i$

Actualmente, dentro de dicha sección de multimodalidad que está sesgada positivamente, una relación RD_k entre un diámetro exterior equivalente D_k de un modo elegido k, y un diámetro exterior equivalente D_{k+1} de un modo adyacente k+1 es igual a $(1+\sqrt{5}) / 2$ o a cualquier divisor entero de dicho valor:

$$RD_k = D_k/D_{k+1} = 2/(n \cdot (1-\sqrt{5}))$$

40 con n = entero

Actualmente, dentro de dicha sección de multimodalidad que está sesgada positivamente, una relación RN_k entre un número N_k de un modo elegido k, y un número N_{k+1} de un modo adyacente k+1 es igual a $(1+\sqrt{5}) / 2$ o a cualquier entero múltiplo de dicho valor.

$$RN_k = N_k/N_{k+1} = n \cdot (1+\sqrt{5})/2$$

45 con n = entero

50 La distribución multimodal tiene además un modo anterior i-1 que tiene un número anterior N_{i-1} de partículas 14 asignado a un diámetro exterior equivalente anterior D_{i-1} de partículas 14. Sin embargo, dicho modo anterior i-1 no forma parte de la sección de multimodalidad sesgada positivamente de la distribución multimodal.

La figura 4d es una ilustración esquemática de una posible disposición de partículas 14 que tienen una distribución de diámetro exterior de acuerdo con la figura 4c con un área aumentada. Con el fin de facilitar la presentación, las partículas 14 se muestran como bolas regulares con geometría esférica.

55 Actualmente, cuatro partículas 14 que tienen el diámetro D_{i+2} del modo adyacente al modo posterior i+1 adyacente al modo máximo i están dispuestas de tal manera que se tocan entre sí y dejan un espacio intermedio entre las mismas. Varias partículas 14 que tienen el diámetro posterior D_{i+1} del modo posterior i+1 adyacente al modo máximo i están dispuestas dentro de dicho espacio intermedio así como varias partículas que tienen el diámetro fundamental D_i del modo máximo i.

65 La figura 5 es una gráfica que muestra una reducción del nivel de presión sonora SPLR frente a una frecuencia F de aislamientos fabricados de diferentes materiales con una granulometría común en comparación con un aislamiento fabricado de un material 305 con una granulometría de acuerdo con la invención. Así, se proporcionan gráficas para Styropor 301, Stonewool 302, Styrodur 303 y un material de aislamiento acústico comercial de gama alta denominado

"FAI30M" 304.

La figura 5 es una comparación a modo de ejemplo de las mediciones del nuevo aislamiento que forma una red de fuerzas fuerte en comparación con los aislamientos comerciales habituales. En el presente caso, el nuevo aislamiento basado en una red de fuerzas fuerte supera al aislamiento existente en varios órdenes de magnitud. En particular, la mejora del aislamiento acústico a frecuencias más bajas en la reducción de la presión de las ondas sonoras es al menos tres veces, mientras que a frecuencias más altas, por encima de 3000 Hz, la mejora es más de diez veces. La presión de onda sonora p se calcula como

$$p = p_0 \cdot 10^{(\text{SPLR}/20)} \text{ [Pa]}$$

Así, p_0 es una presión de onda sonora de referencia y SPLR es la reducción del nivel de presión de sonido medido.

La figura 6 es una ilustración esquemática de una posible estructura de soporte 40 con un detalle aumentado. La estructura de soporte 40 comprende unas paredes 41 que rodean las cavidades 42. En la ilustración dada, las paredes 41 son casi rectas y tienen ligeras curvas, mientras que las paredes 41 están dispuestas regularmente. En particular, en la presentación dada, las paredes 41 están dispuestas paralelas, respectivamente ortogonales entre sí, y las cavidades 42 tienen una forma casi rectangular y cada cavidad 42 está rodeada por al menos cuatro paredes 41. Las cavidades 42 pueden estar rodeadas adicionalmente por una pared superior y una pared inferior que no se muestran en esta ilustración.

Sin embargo, las paredes 41 de la estructura de soporte también pueden estar dispuestas de manera irregular y asimétrica. Por lo tanto, las cavidades 42 de la estructura de soporte 40 también pueden tener una forma irregular. Además, las cavidades 42 pueden tener, por ejemplo, una forma esférica.

La figura 7 es una vista en sección esquemática de un elemento de aislamiento acústico 10 con un detalle aumentado. El elemento de aislamiento acústico 10 comprende la estructura de soporte 40 mostrada en la figura 6, en donde las cavidades 42 de dicha estructura de soporte 40 están llenas de un material granular 12. El material granular 12 del elemento de aislamiento acústico 10 contiene unas partículas granulares 14. Como puede verse, en particular, en el detalle aumentado, las partículas 14 tienen un tamaño diferente y, por lo tanto, tienen diferentes diámetros exteriores equivalentes D . Los diámetros exteriores equivalentes D y los números respectivos N de las partículas granulares 14 necesitan estar en la relación adecuada para garantizar un tamaño deseado de una red de fuerzas fuerte disipativa. En aras de la visibilidad, las cavidades mostradas no están completamente llenas de partículas.

En principio, la estructura de soporte 40 puede adoptar cualquier forma estructural siempre que mantenga las partículas granulares 14 del material granular 12 en una posición deseada en el espacio y permita interacciones complejas de las partículas granulares 14 a partir de una red de fuerzas fuerte.

La estructura de soporte 40 está cubierta por una cubierta 50 que solo es parcialmente visible en la presentación dada. La cubierta 50 evita que las partículas granulares 14 del material granular 12 se caigan de las cavidades 42 de la estructura de soporte 40. La cubierta 50 también evita que la suciedad o la humedad entre en las cavidades 42 de la estructura de soporte 40 y, por lo tanto, entre en contacto con las partículas 14 del material granular 12.

En el presente caso, la cubierta 50 no es porosa. En otras realizaciones de la invención, la cubierta 50 puede fabricarse de un material poroso que tiene poros con un diámetro de poro equivalente que es menor que el diámetro exterior equivalente D de las partículas granulares más pequeñas 14. En tal disposición, las ondas sonoras penetrarán en la estructura de aislamiento y reducirán sustancialmente la reflexión de las ondas sonoras. Dicho aislamiento mostrará excelentes características de absorción acústica y aislamiento acústico.

La figura 8a es una ilustración esquemática de una estructura de soporte 40 fabricada de tela tejida 45. Dicha estructura de soporte 40 está diseñada como una red tridimensional que tiene una forma casi regular. Dentro de la estructura de soporte 40 y rodeada por la tela tejida 45, se incluyen una pluralidad de cavidades 42 para la recepción de las partículas granulares 14.

La figura 8b es una ilustración esquemática de una estructura de soporte 40 fabricada de tela no tejida 46. Dicha estructura de soporte 40 está diseñada como una red tridimensional que tiene una forma irregular. Dentro de la estructura de soporte 40 y rodeada por la tela no tejida 46, se incluyen una pluralidad de cavidades 42 para la recepción de las partículas granulares 14.

La figura 9 muestra un turismo 60 con vistas en sección de detalles aumentados de varias partes que pueden equiparse con elementos de aislamiento acústico 10. Dichas partes comprenden, entre otras, un capó de motor 61, una estructura de techo 62, un batiente 63, un pilar 64 o una puerta 65.

Un elemento de aislamiento acústico 10 usado en el capó de motor 61 para reducir el ruido de un motor de combustión se crea preferentemente resistente a la temperatura. Como alternativa, o adicionalmente, el elemento de aislamiento acústico 10 puede colocarse directamente en el motor de combustión.

- 5 Los elementos estructurales del turismo 60 que son huecos, por ejemplo, los batientes 63, los pilares 64 o las partes de las puertas 65, pueden alternativamente llenarse con partículas 14 del material granular 12 directamente sin suministrar una estructura de soporte explícita 40 que tenga una composición porosa.
- 10 La figura 10 muestra un coche de casa móvil 70 con vistas en sección de detalles aumentados de varias partes que pueden equiparse con unos elementos de aislamiento acústico 10. Dichas partes comprenden, entre otras, un capó de motor 71, un pilar 74 o unas paredes laterales 72 que rodean una cabina habitable.
- 15 Un elemento de aislamiento acústico 10 usado en el capó de motor 61 para reducir el ruido de un motor de combustión se crea preferentemente resistente a la temperatura. Como alternativa, o adicionalmente, el elemento de aislamiento acústico 10 puede colocarse directamente en el motor de combustión.
- 20 Los elementos estructurales del coche de casa móvil 70 que son huecos, por ejemplo, los pilares 64 o las paredes laterales 72, pueden llenarse, como alternativa, con las partículas 14 del material granular 12 directamente sin proporcionar una estructura de soporte explícita 40 que tenga una composición porosa.
- 25 La figura 11 muestra una embarcación 80 con vistas en sección de detalles aumentados de varias partes que pueden equiparse con los elementos de aislamiento acústico 10. Dichas partes comprenden, entre otras, una pared exterior 81, unas paredes interiores 82 que rodean una cabina habitable o unas paredes de separación 83 que dividen un compartimento de motor de combustión o una caja de cambios de la cabina habitable.
- 30 Un elemento de aislamiento acústico 10 usado en las paredes de separación 83 se crea preferentemente resistente a la temperatura. Como alternativa, o adicionalmente, el elemento de aislamiento acústico 10 puede colocarse directamente en el compartimento de motor de combustión o en la caja de cambios.
- 35 Los elementos estructurales de la embarcación 80 que son huecos, por ejemplo, segmentos de la pared exterior 81 o de las paredes interiores 82, pueden, como alternativa, llenarse con las partículas 14 del material granular 12 directamente sin proporcionar una estructura de soporte explícita 40 que tenga una composición porosa. También es posible llenar un espacio hueco de un elemento estructural, por ejemplo, de una pared de separación 83, con las partículas 14 del material granular 12 directamente y colocar un elemento de aislamiento acústico 10 adicionalmente sobre dicho elemento estructural.
- 40 La figura 12 muestra un tren 90 con vistas en sección de detalles aumentados de varias partes que pueden equiparse con elementos de aislamiento acústico 10. Dichas partes comprenden, entre otras, unas paredes exteriores 91, unas paredes interiores 92 o unas estructuras de techo 95.
- 45 Los elementos estructurales del tren 90 que son huecos pueden, como alternativa, llenarse con las partículas 14 del material granular 12 directamente sin suministrar una estructura de soporte explícita 40 que tenga una composición porosa. También es posible llenar un espacio hueco de un elemento estructural, por ejemplo, de una pared exterior 91, con las partículas 14 del material granular 12 directamente y colocar un elemento de aislamiento acústico 10 adicionalmente sobre dicho elemento estructural.
- 50 La figura 13 muestra un avión 100 con vistas en sección de detalles aumentados de varias partes que pueden equiparse con los elementos de aislamiento acústico 10. Dichas partes comprenden, entre otras, unas paredes exteriores 101, unas paredes interiores 102 que dividen compartimentos del avión 100 o un motor de turbina 105.
- 55 Un elemento de aislamiento acústico 10 usado en el motor de turbina 105 se crea, preferentemente, resistente a altas temperaturas, resistiendo altas temperaturas de hasta 2000 C°.
- 60 Preferentemente, el elemento de aislamiento acústico 10 se coloca directamente en el motor de turbina 105. Así, el elemento de aislamiento acústico 10 rodea el motor de turbina 105 como una carcasa cilíndrica que se adapta a la geometría del motor de turbina 105, en donde un extremo delantero y un extremo trasero permanecen abiertos.
- 65 La figura 14 muestra una casa residencial 110 con vistas en sección de detalles aumentados de varias partes que pueden equiparse con elementos de aislamiento acústico 10. Dichas partes comprenden, entre otras, marcos de ventanas 112 o puertas 114. Otras partes que no se muestran son, por ejemplo, paredes de baños, tuberías sanitarias e instalaciones de calefacción. Los elementos de la casa residencial 110 que son huecos pueden, como alternativa, llenarse con las partículas 14 del material granular 12 directamente sin suministrar una estructura de soporte explícita 40 que tenga una composición porosa.
- La figura 15 muestra una vista en sección de un ascensor 120 en un edificio 122 con una vista en sección de un detalle aumentado de una pared de cabina 124 que puede equiparse con un elemento de aislamiento acústico 10. Además, las paredes laterales de un hueco para el ascensor en el edificio 122 pueden equiparse con un elemento de aislamiento acústico 10. Las paredes de cabina 124 que son huecas pueden, como alternativa, llenarse con las partículas 14 del material granular 12 directamente sin suministrar una estructura de soporte explícita 40 que tenga una composición

porosa.

5 Aunque la presente invención se ha descrito en el presente documento en detalle en relación con una o más realizaciones preferidas, debe entenderse que la presente divulgación es solo ilustrativa y a modo de ejemplo de la presente invención y se realiza simplemente con el fin de proporcionar una divulgación completa y habilitante de la invención. La divulgación anterior no pretende interpretarse como una limitación de la presente invención o excluir de otro modo cualquier otra forma de realización, adaptación, variación, modificación o disposición equivalente; estando la presente invención definida por las reivindicaciones adjuntas a la misma.

10 Símbolos de referencia

10	Elemento de aislamiento acústico
12	Material granular
14	Partículas
40	Estructura de soporte
41	Pared
42	Cavidad
45	Tela tejida
46	Tela no tejida
50	Cubierta
60	Turismo
61	Capó de motor
62	Estructura de tejado
63	Batiente
64	Pilar
65	Puerta
70	Coche de casa móvil
71	Capó de motor
72	Pared lateral
74	Pilar
80	Embarcación
81	Pared exterior
82	Pared interior
83	Pared de separación
90	Tren
91	Pared exterior
92	Pared interior
95	Estructura de tejado
100	Avión
101	Pared exterior
102	Pared interior
105	Motor de turbina
110	Casa residencial
112	Marco de ventana
114	Puerta
120	Ascensor
122	Edificio
124	Pared de cabina
201	Primer sistema de transmisión de sonido
202	Segundo sistema de transmisión de sonido
203	Tercer sistema de transmisión de sonido
204	Cuarto sistema de transmisión de sonido
210	Emisor de sonido
212	Receptor de sonido
214	Elemento de separación
301	Styropor
302	Stonewool
303	Styrodur
304	FAI30M
305	material con distribución granulométrica de acuerdo con la invención
i	Número de serie del modo máximo
i-1	Número de serie del modo anterior
i+1	Número de serie del modo posterior
D	Diámetro exterior equivalente

ES 2 920 606 T3

D_i	Diámetro exterior equivalente fundamental del modo máximo
D_{i-1}	Diámetro exterior equivalente anterior del modo anterior
D_{i+1}	Diámetro exterior equivalente posterior del modo posterior
N	Número de partículas
N_i	Número máximo de partículas del modo máximo
N_{i-1}	Número anterior de partículas del modo anterior
N_{i+1}	Número posterior de partículas del modo posterior
p	Presión de onda sonora
p_0	Presión de onda sonora de referencia
SPLR	Reducción del nivel de presión sonora
STL	Pérdida de transmisión de sonido

REIVINDICACIONES

1. Elemento de aislamiento acústico (10),

5 que utiliza una red de fuerzas fuerte como mecanismo de disipación de energía principal, en donde la red de fuerzas fuerte se genera a través de interacciones complejas de partículas sólidas (14) en un sistema granular, lo que conduce a la formación de un número máximo de pares de fuerzas de interconexión de acuerdo con la 3ª Ley de Newton, en donde dicha red de fuerzas fuerte se obtiene usando un material granular (12) fabricado de al menos un material sólido con una granulometría multimodal sesgada específica,

10 que comprende un material granular (12) que consiste en partículas (14), y una estructura de soporte (40) que tiene al menos una cavidad (42), en donde la al menos una cavidad (42) está llena de las partículas (14) del material granular (12), en donde se selecciona una distribución que asigna un número (N) de partículas (14) a un diámetro exterior equivalente (D) de las partículas (14), de tal manera que las partículas (14) forman una red de fuerzas fuerte de disipación de energía dentro de la al menos una cavidad (42),

15 en donde la distribución que asigna un número (N) de partículas (14) a un diámetro exterior equivalente (D) de las partículas (14) es una distribución asimétrica, en donde la distribución de los diámetros exteriores equivalentes (D) de las partículas (14) es multimodal, teniendo varios modos, y en donde dicha distribución multimodal está sesgada, de tal manera que dicha distribución multimodal tiene un modo máximo (i) que tiene un número máximo (N_i) de partículas (14) asignado a un diámetro exterior equivalente fundamental (D_i) de partículas (14), y en donde

20 dicha distribución multimodal tiene al menos un modo anterior (i-1) y al menos un modo posterior (i+1).

2. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las partículas (14) tienen un diámetro exterior equivalente (D) que está entre 0,0001 mm y 10 mm.

30 3. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde el al menos un modo anterior (i-1) tiene un número anterior (N_{i-1}) de partículas (14) asignado a un diámetro exterior equivalente anterior (D_{i-1}) de partículas (14) que es menor que el diámetro exterior equivalente fundamental (D_i) de partículas (14), y en donde el al menos un modo posterior (i+1) tiene un número posterior (N_{i+1}) de partículas (14) asignado a un diámetro exterior equivalente posterior (D_{i+1}) de partículas (14) que es mayor que el diámetro exterior equivalente fundamental (D_i) de partículas (14).

4. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores,

40 en donde la distribución multimodal tiene al menos una sección a la izquierda del modo máximo (i) que comprende varios modos y que comprende el modo máximo (i), en donde el número (N) de partículas (14) asignado al diámetro exterior equivalente (D) de las partículas (14) disminuye cuando el diámetro exterior equivalente (D) de las partículas (14) disminuye, de tal manera que una curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente.

45 5. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con la reivindicación 4, en donde

dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente, una relación $RD_k = \{D_k/D_{k-1}\}_{k=i, i-1, i-2, \dots} = \{D_i/D_{i-1}, D_{i-1}/D_{i-2}, D_{i-2}/D_{i-3}, \dots\}$ es mayor o igual a 1,2 y es menor o igual a 2,1, tal que $1,2 \leq RD_k \leq 2,1$,

50 en donde un número (N_k) asignado al diámetro exterior equivalente (D_k) de un modo elegido (k) es mayor que un número (N_{k-1}) asignado al diámetro exterior equivalente (D_{k-1}) de un modo adyacente (k-1).

55 6. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 a 5

en donde dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente, una relación $RD_k = \{D_i/D_{i-1}\}_{k=i-1, i-2, \dots} = \{D_i/D_{i-1}, D_{i-1}/D_{i-2}, D_{i-2}/D_{i-3}, \dots\}$ es igual a $(1+\sqrt{5})/2$ o a cualquier multiplicador entero de dicho valor, tal que

$$RD_k = (1 + \sqrt{5})/2 \text{ o } RD_k = n * (1 + \sqrt{5})/2$$

en donde

65 un número (N_k) asignado al diámetro exterior equivalente (D_k) de un modo elegido (k) es mayor que

un número (N_{k-1}) asignado al diámetro exterior equivalente (D_{k-1}) de un modo adyacente ($k-1$).

7. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores,

5 en donde la distribución multimodal tiene al menos una sección a la derecha del modo máximo (i) que comprende varios modos y que comprende el modo máximo (i),
 en donde el número (N) de partículas (14) asignado al diámetro exterior equivalente (D) de las partículas (14) disminuye cuando el diámetro exterior equivalente (D) de las partículas (14) aumenta,
 de tal manera que una curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente.

10 8. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con la reivindicación 7, en donde

dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente,
 una relación $RD_k = \{D_k/D_{k+1}\}_{k=i, i+1, i+2, \dots} = \{D_i/D_{i+1}, D_{i+1}/D_{i+2}, D_{i+2}/D_{i+3}, \dots\}$ es mayor o igual a 0,45 y es menor o igual a 0,8, tal que $0,45 \leq RD_k \leq 0,8$,
 en donde
 un número (N_k) asignado al diámetro exterior equivalente (D_k) de un modo elegido (k) es mayor que
 un número (N_{k+1}) asignado al diámetro exterior equivalente (D_{k+1}) de un modo adyacente ($k+1$).

20 9. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 8

en donde dentro de dicha sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente,
 una relación $RD_k = \{D_k/D_{k+1}\}_{k=i, i+1, i+2, \dots} = \{D_i/D_{i+1}, D_{i+1}/D_{i+2}, D_{i+2}/D_{i+3}, \dots\}$ es igual a $2 / (1 + \sqrt{5})$ o a cualquier divisor entero de dicho valor, tal que

$$RD_k = 2/(1 + \sqrt{5}) \text{ o } RD_k = 2/(n * (1 + \sqrt{5}))$$

en donde

un número (N_k) asignado al diámetro exterior equivalente (D_k) de un modo elegido (k) es mayor que
 un número (N_{k+1}) asignado al diámetro exterior equivalente (D_{k+1}) de un modo adyacente ($k+1$).

35 10. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con la reivindicación 4, en donde

dentro de una sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente,
 las relaciones $RN_k = \{N_k/N_{k-1}\}_{k=i, i-1, i-2, \dots} = \{N_i/N_{i-1}, N_{i-1}/N_{i-2}, \dots\}$ son mayores o iguales a 1,2 y menores o iguales a 2,1, tal que $1,2 \leq RN_k \leq 2,1$,
 en donde

un número (N_k) asignado al diámetro exterior equivalente (D_k) de un modo elegido (k) es mayor
 que un número (N_{k-1}) asignado al diámetro exterior equivalente (D_{k-1}) de un modo adyacente ($k-1$).

45 11. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con la reivindicación 4, en donde

dentro de una sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada negativamente,
 las relaciones $RN_k = \{N_k/N_{k-1}\}_{k=i, i-1, i-2, \dots} = \{N_i/N_{i-1}, N_{i-1}/N_{i-2}, \dots\}$ son iguales a $(1 + \sqrt{5})/2$ o a cualquier multiplicador entero de dicho valor, tal que

$$RN_k = (1 + \sqrt{5})/2 \text{ o } RN_k = n * (1 + \sqrt{5})/2$$

en donde

un número (N_k) asignado al diámetro exterior equivalente (D_k) de un modo elegido (k) es mayor que
 un número (N_{k-1}) asignado al diámetro exterior equivalente (D_{k-1}) de un modo adyacente ($k-1$).

60 12. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con la reivindicación 7, en donde

dentro de una sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente,
 las relaciones $RN_k = \{N_k/N_{k+1}\}_{k=i+1, i+2, \dots} = \{N_i/N_{i+1}, N_{i+1}/N_{i+2}, \dots\}$ son mayores o iguales a 1,2 y menores o iguales a 2,1, tal que $1,2 \leq RN_k \leq 2,1$,
 en donde

un número (N_k) asignado al diámetro exterior equivalente (D_k) de un modo elegido (k) es mayor que
 un número (N_{k+1}) asignado al diámetro exterior equivalente (D_{k+1}) de un modo adyacente ($k+1$).

65 13. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con la reivindicación 7, en donde

dentro de una sección en la que la curva envolvente sobre los picos de modo está sesgada positivamente, las relaciones $RN_k = \{N_i/N_{k+1}\}_{k=i, i+1, i+2, \dots} = \{N_i/N_{i+1}, N_{i+1}/N_{i+2}, \dots\}$ son iguales a $(1+\sqrt{5})/2$ o a cualquier multiplicador entero de dicho valor, tal que

5

$$RN_k = (1 + \sqrt{5})/2 \text{ o } RN_k = n * (1 + \sqrt{5})/2$$

en donde

10

un número (N_k) asignado al diámetro exterior equivalente (D_k) de un modo elegido (k) es mayor que un número (N_{k+1}) asignado al diámetro exterior equivalente (D_{k+1}) de un modo adyacente ($k+1$).

15

14. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde la al menos una cavidad (42) tiene un diámetro interior equivalente que se selecciona lo suficientemente grande como para que un número suficiente de partículas (14) pueda formar la red de fuerzas fuerte.

20

15. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde las partículas (14) están dispuestas estrechamente en la al menos una cavidad (42) de tal manera que las partículas (14) forman una red de fuerzas fuerte dentro de la al menos una cavidad (42).

25

16. Elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde la estructura de soporte (40) está cubierta por una cubierta (50).

30

17. Uso de un elemento de aislamiento acústico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en aplicaciones de automoción, en aplicaciones de ingeniería mecánica, en aplicaciones de ingeniería eléctrica, en aplicaciones de ingeniería aeroespacial, en aplicaciones de transporte, en aplicaciones de ingeniería naval o en aplicaciones de ingeniería civil.

EB71733PC

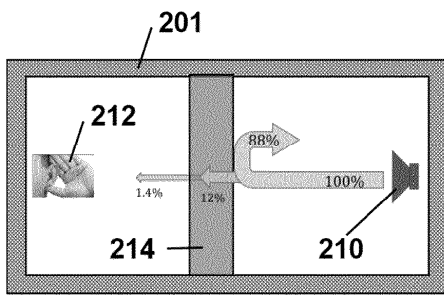


Fig. 1a

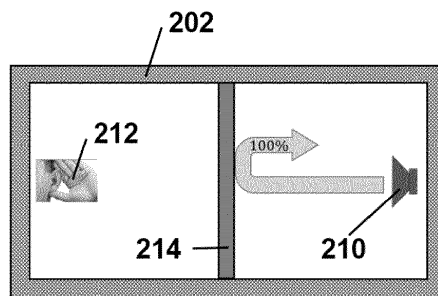


Fig. 1b

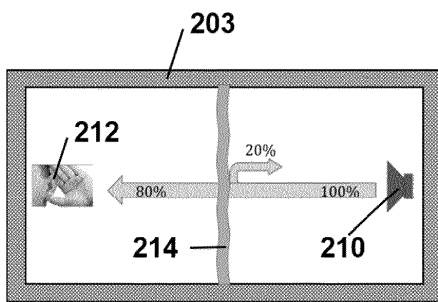


Fig. 1c

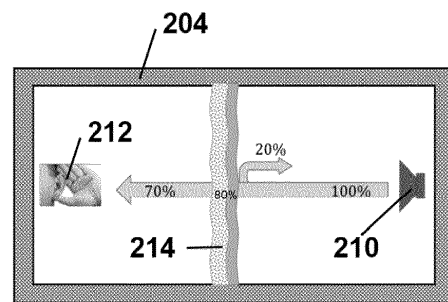


Fig. 1d

EB71733PC

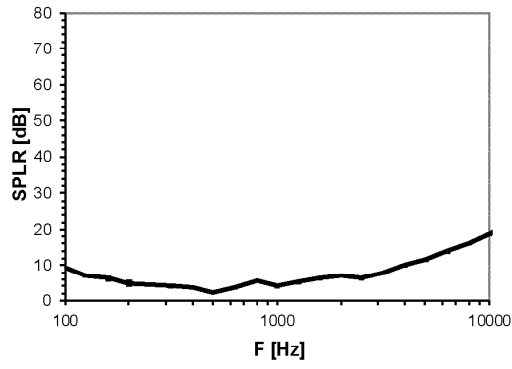


Fig. 2a

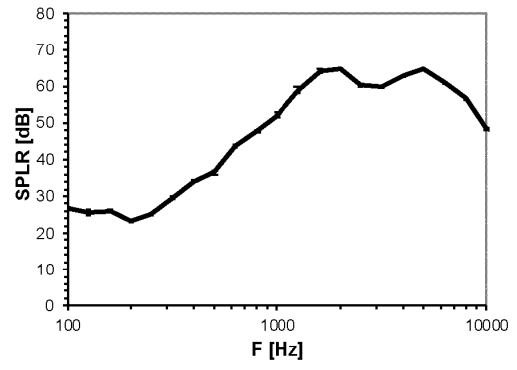


Fig. 2b

EB71733PC

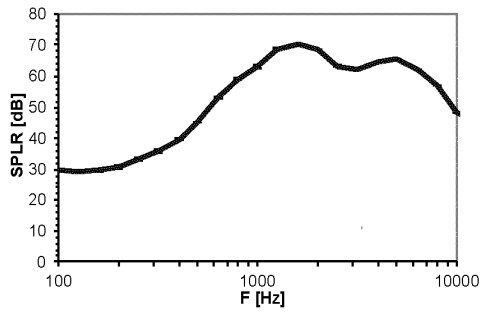


Fig. 3a

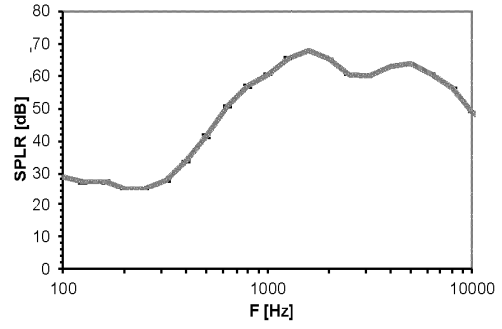


Fig. 3b

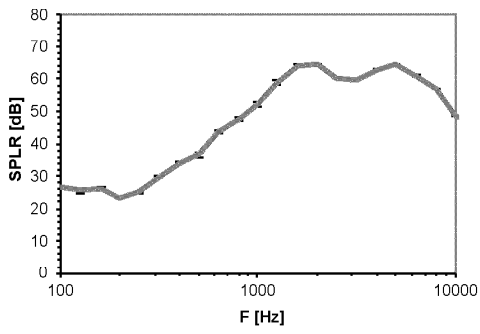


Fig. 3c

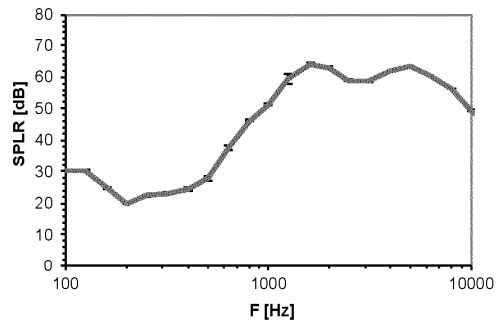


Fig. 3d

EB71733PC

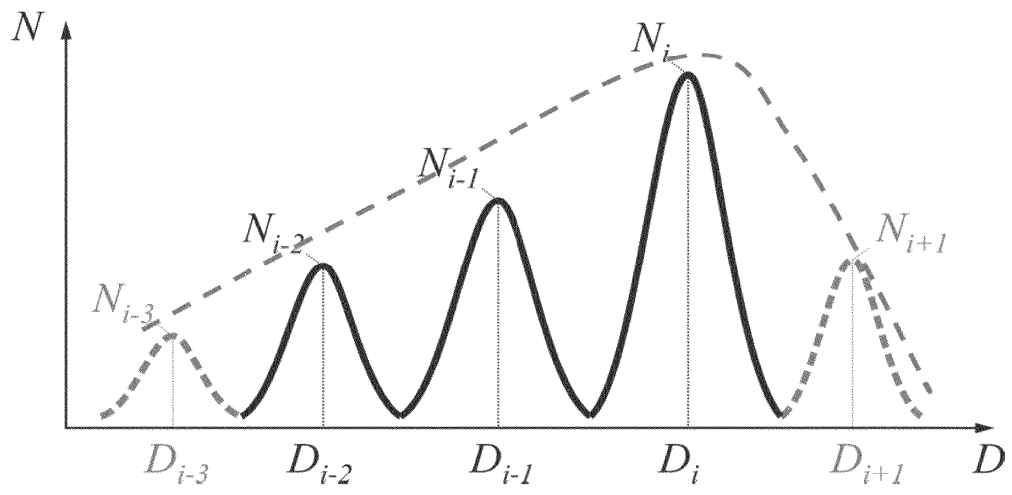


Fig. 4a

EB71733PC

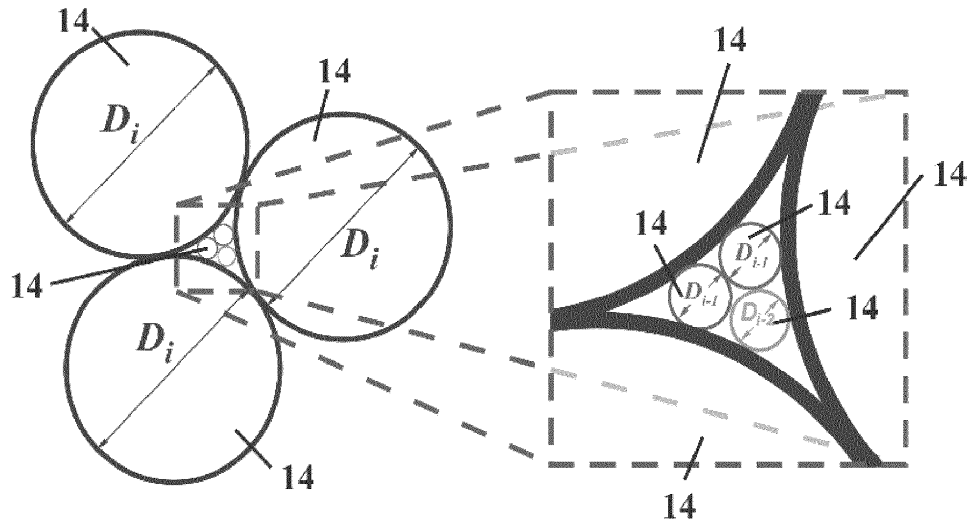


Fig. 4b

EB71733PC

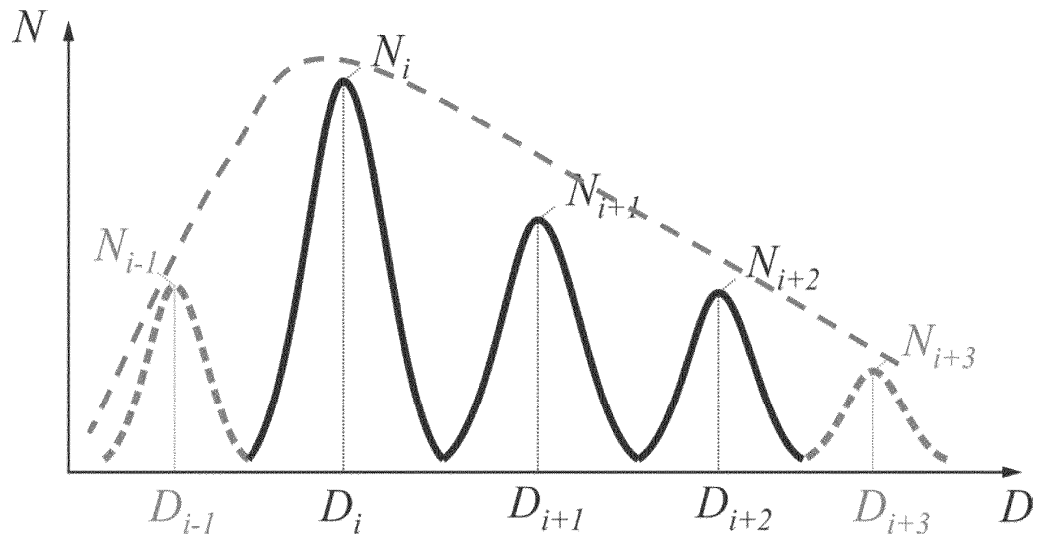


Fig. 4c

EB71733PC

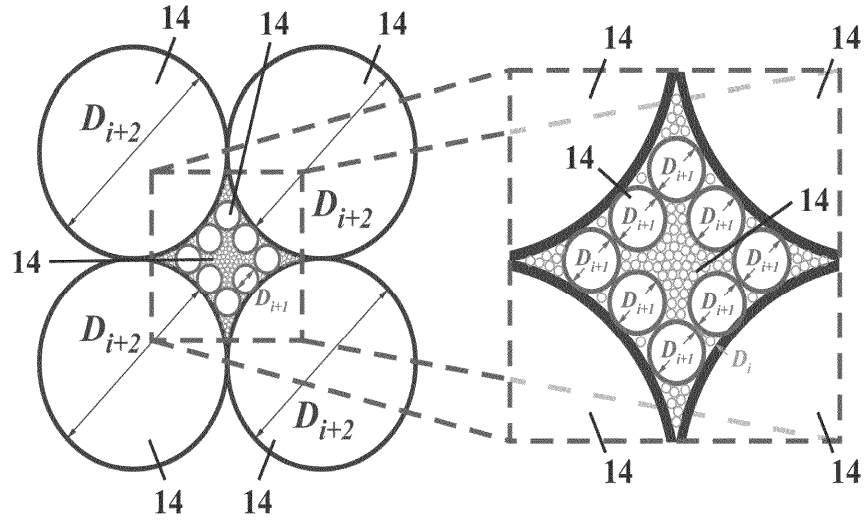


Fig. 4d

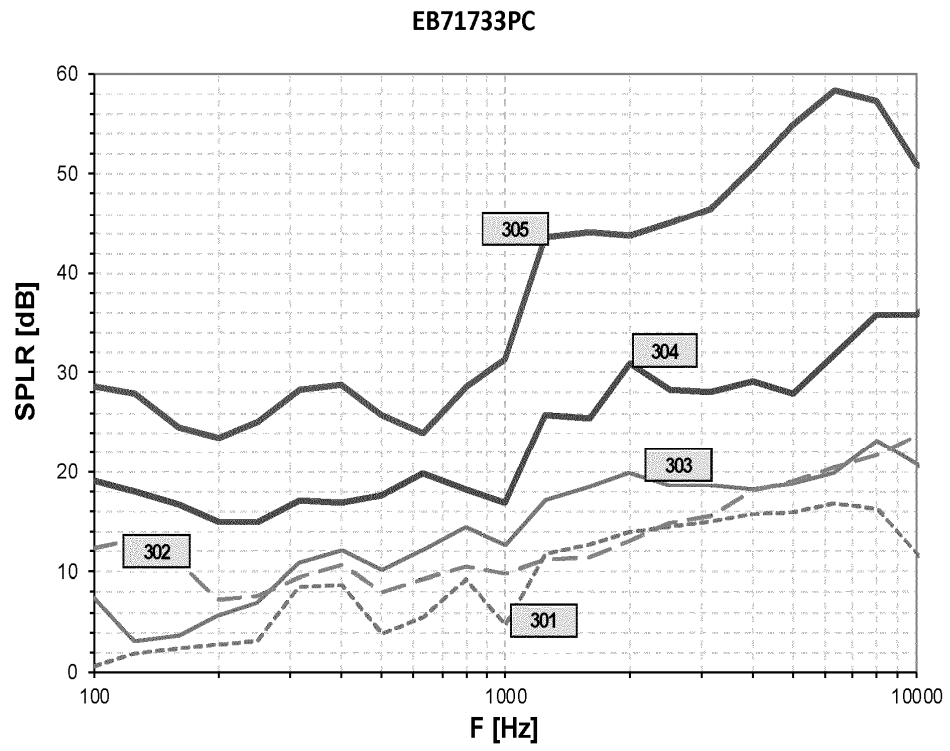


Fig. 5

EB71733PC

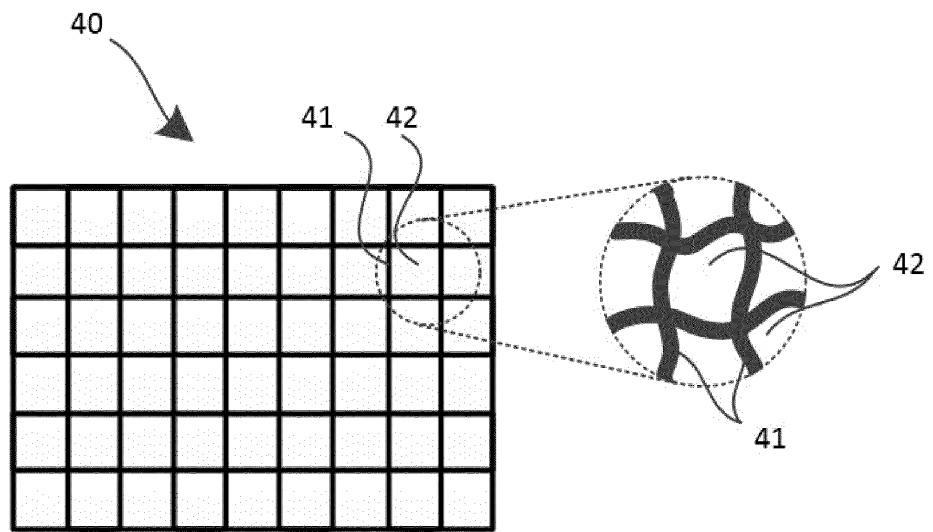


Fig. 6

EB71733PC

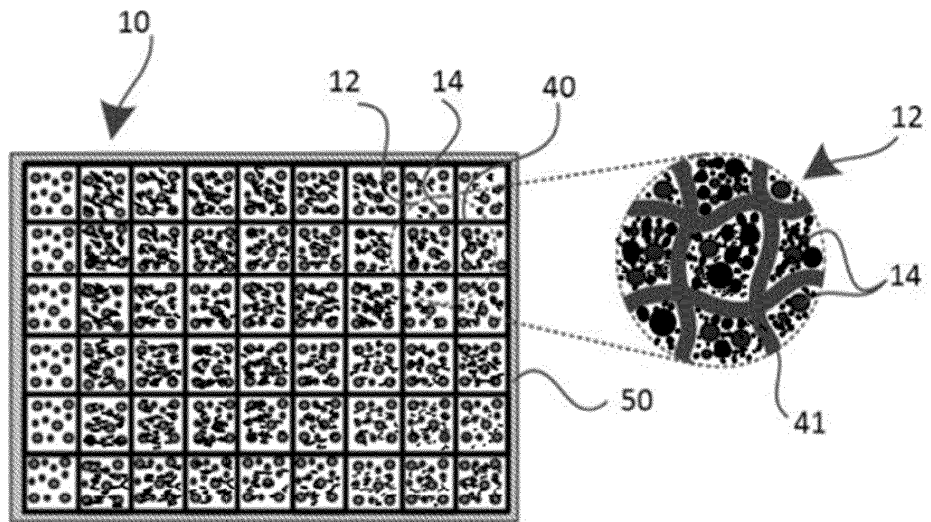


Fig. 7

EB71733PC

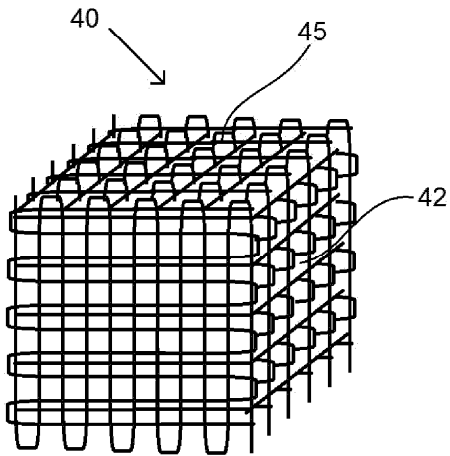


Fig. 8a

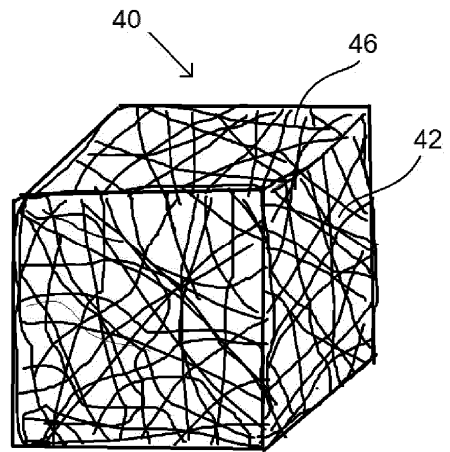


Fig. 8b

EB71733PC

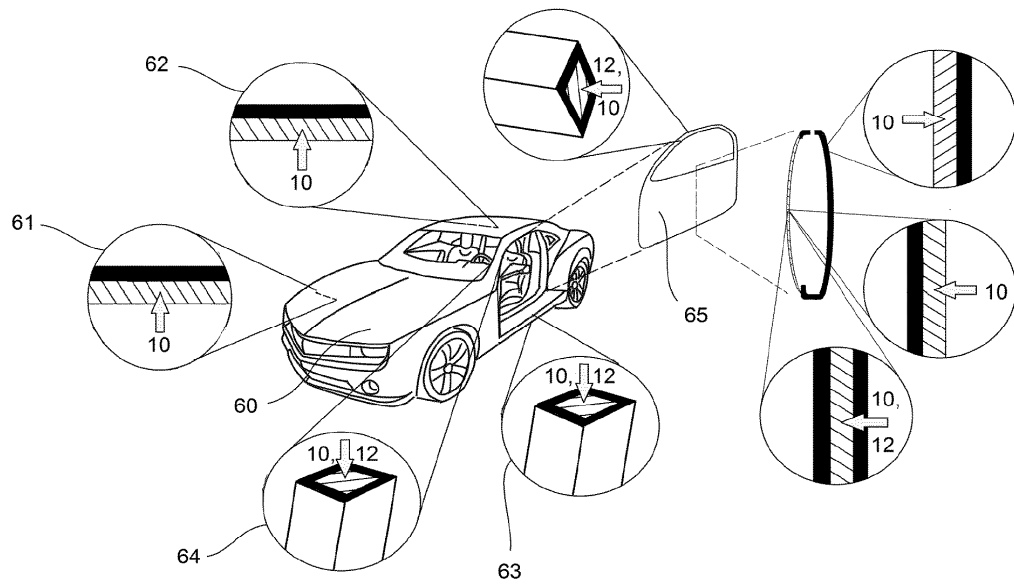


Fig. 9

EB71733PC

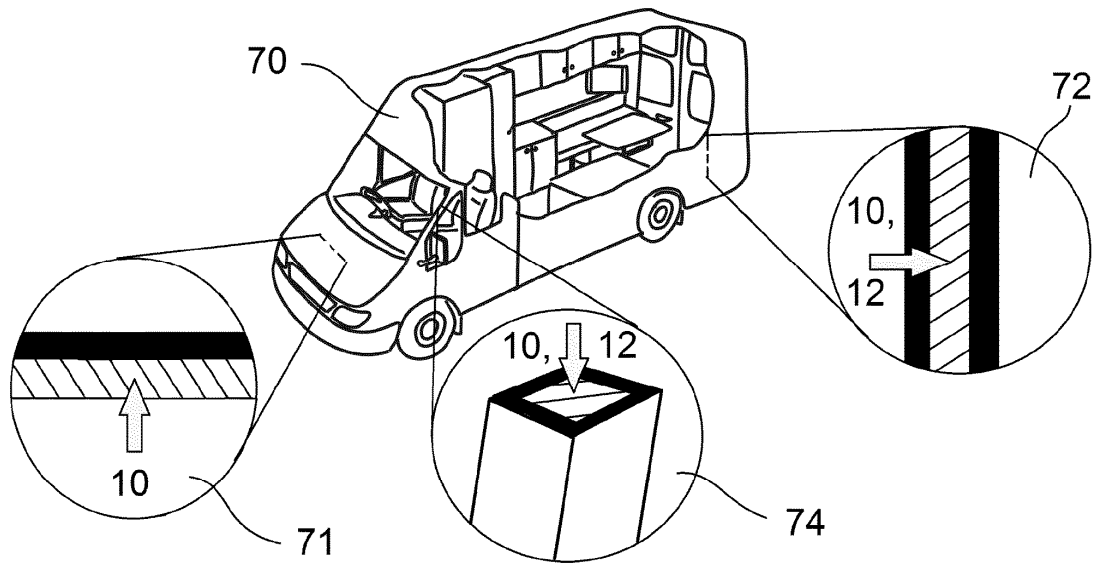


Fig. 10

EB71733PC

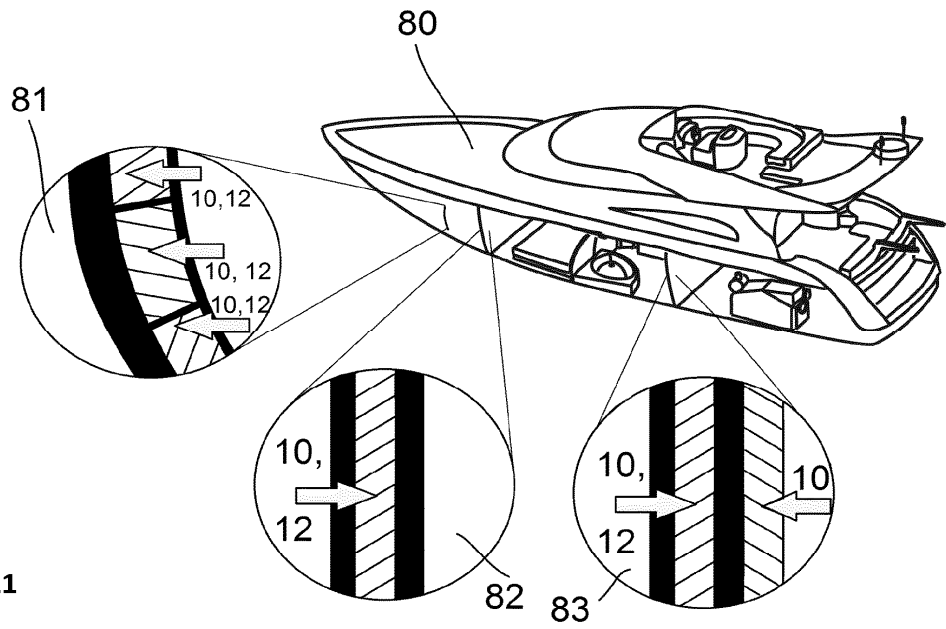


Fig. 11

EB71733PC

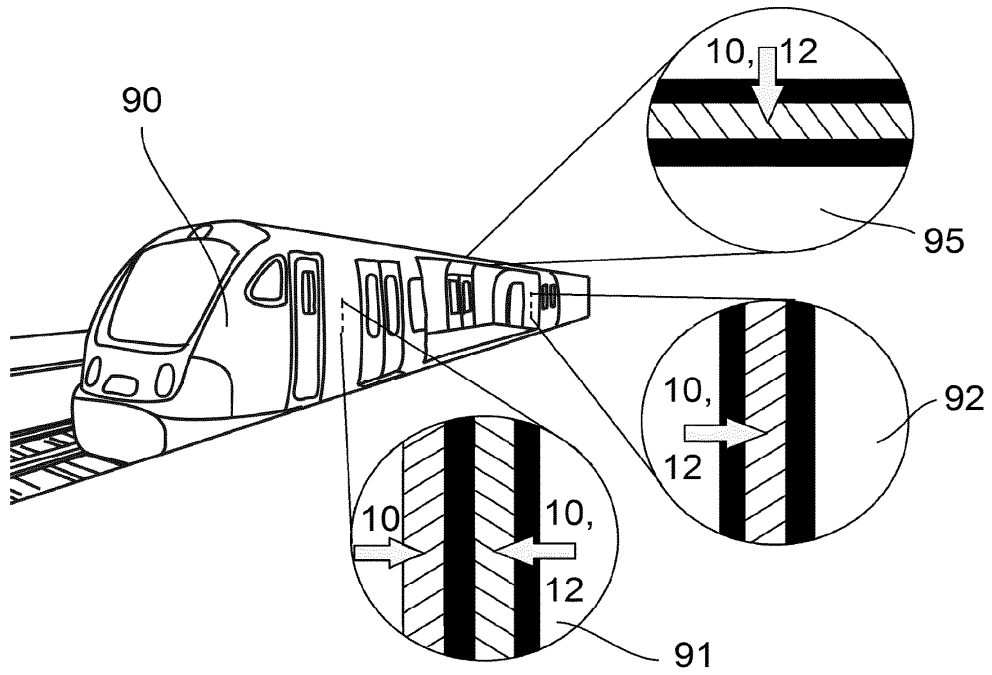


Fig. 12

EB71733PC

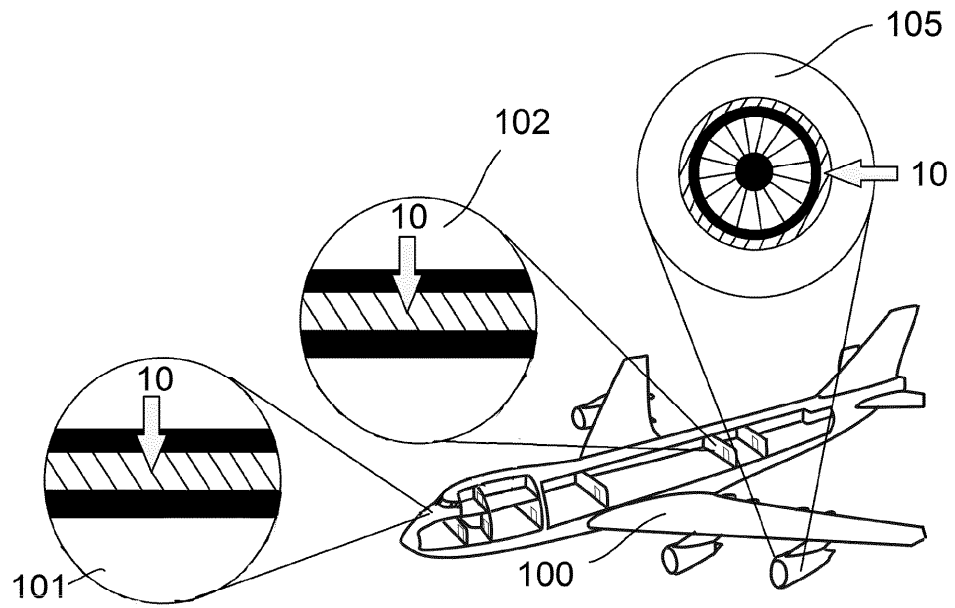


Fig. 13

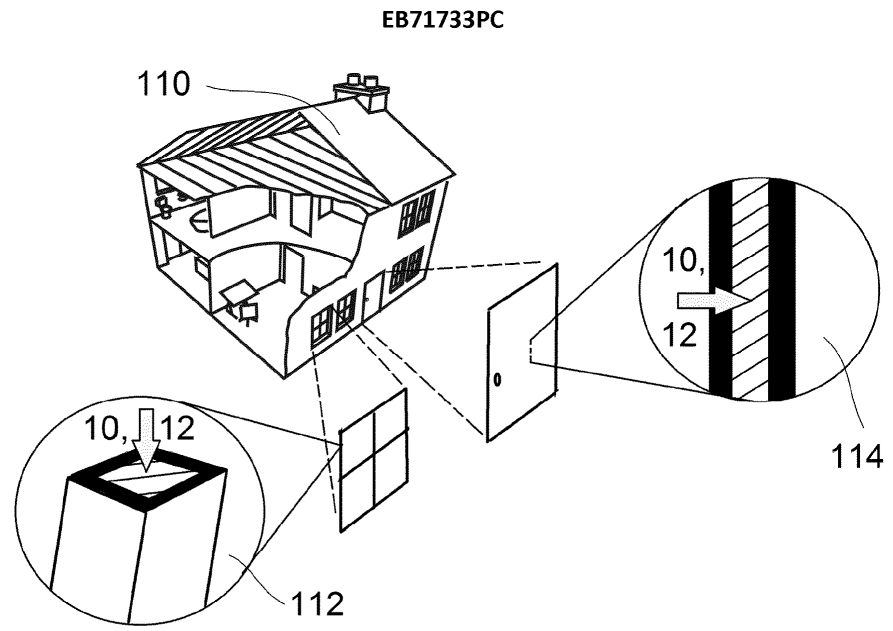


Fig. 14

EB71733PC

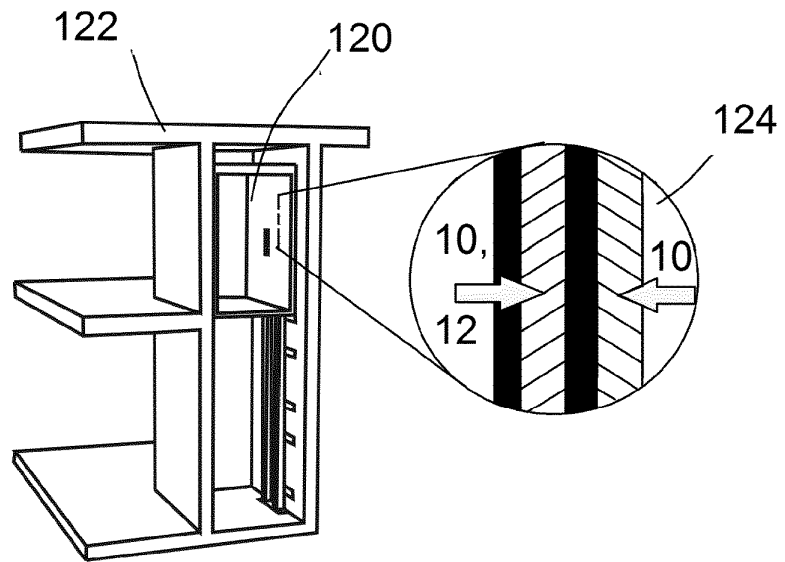


Fig. 15