

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 901**

21 Número de solicitud: 201830488

51 Int. Cl.:

B60L 13/06 (2006.01)

E01B 25/32 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

22.05.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

03.12.2019

71 Solicitantes:

**ZELEROS GLOBAL, S.L. (100.0%)
MUELLE DE ADUANA, S/N EDIFICIO
LANZADERA
46024 VALENCIA ES**

72 Inventor/es:

**FONS SÁNCHEZ, Daniel;
ORIENT MARTÍN, Daniel;
PISTONI PÉREZ, David y
VICÉN BALAGUER, Juan**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO DE LEVITACIÓN MAGNÉTICA POR ATRACCIÓN**

57 Resumen:

Sistema y método de levitación magnética por atracción.

La presente invención se refiere a un método y un sistema de levitación magnética por atracción, que comprende: una estructura de guiado configurada para guiar un vehículo de levitación magnética por atracción, donde al menos una parte de dicha estructura comprende un material laminado ferromagnético; y un vehículo de levitación magnética por atracción configurado para desplazarse bajo dicha estructura de guiado, donde el vehículo comprende unos medios magnéticos configurados para proporcionar un campo magnético variable que provoca una fuerza de atracción constante, del vehículo hacia el material laminado ferromagnético de la estructura de guiado, que compensa el peso del vehículo.

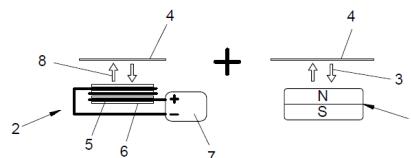


FIG. 1

DESCRIPCIÓN

SISTEMA Y MÉTODO DE LEVITACIÓN MAGNÉTICA POR ATRACCIÓN

OBJETO DE LA INVENCION

- 5 La presente invención se refiere al campo técnico de los sistema de transporte y más concretamente a los sistemas de transporte por levitación magnética para vehículos de alta velocidad, como por ejemplo trenes.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 10 Hoy en día los sistemas de transporte por levitación magnética son una realidad. Las tecnologías basadas en la levitación magnética llevan muchos años bajo estudio y las posibilidades que ofrecen frente a los métodos de transporte tradicionales las hace de gran interés para la industria.

- 15 Los medios de transporte basados en levitación magnética se benefician principalmente de que al no existir contacto físico entre el carril guía y el vehículo, sino que la única fricción se produce con el aire, pueden alcanzarse velocidades muy altas que pueden rivalizar incluso con los trasportes aéreos. Las técnicas de levitación magnética pueden ser clasificadas en dos categorías: suspensión electrodinámica (SED), basada en fuerzas repulsivas, y
20 suspensión electromagnética (SEM), basada en fuerzas atractivas.

- La configuración habitual de este tipo de transportes suele ser de tipo SED y puede observarse por ejemplo en un tren maglev, donde se disponen electroimanes en los rieles de la vía para producir un campo magnético. Sobre dicha vía se colocan los vagones de tren
25 con una disposición de materiales superconductores en su parte inferior. Al penetrar el campo magnético generado por los electroimanes en dichos superconductores, se produce un efecto Meissner y el rechazo de los superconductores a dicho campo magnético resulta en la suspensión del vehículo. Sin embargo, estos sistemas también tienen algunos inconvenientes que derivan del alto consumo de energía que implica mantener y controlar la
30 polaridad de los imanes, el alto coste de la infraestructura necesaria para las vías y sistema eléctrico de control y la imposibilidad de conseguir la levitación para velocidades bajas.

Por otro lado, la fuerza de levitación magnética de los sistemas SEM es inherentemente inestable por lo que el problema de control de dicho tipo de sistemas es complejo y a menudo desincentiva su uso en los sistemas de transporte. Debido a que un sistema SEM tiene un comportamiento dinámico no lineal e inestable, es difícil diseñar un modelo de control preciso, ya que requiere el uso de acciones de control para compensar adecuadamente los desequilibrios del sistema. Adicionalmente, la sustentación de un vehículo desplazándose a altas velocidades en un sistema tipo SEM presenta hipotéticamente efectos negativos en el rendimiento que se traducen en importantes pérdidas. Concretamente, al desplazarse un material ferromagnético tan cerca de un campo magnético, se generan corrientes inducidas que producen, por un lado, una fuerza de frenado que se opone al movimiento y, por otro lado, una fuerza de repulsión opuesta a la de los imanes.

Por todo lo expuesto anteriormente, se echa en falta en el estado del arte una solución que permita implantar sistemas de levitación magnética por atracción eficientes y estables, que minimicen las pérdidas y permitan el transporte de vehículos a altas velocidades con un consumo de potencia relativamente bajo.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Con el fin de alcanzar los objetivos y evitar los inconvenientes mencionados anteriormente, la presente invención describe, en un primer aspecto, un sistema de levitación magnética por atracción que comprende:

- una estructura de guiado configurada para guiar un vehículo de levitación magnética por atracción, donde al menos una parte de dicha estructura comprende un material laminado ferromagnético; y
 - un vehículo de levitación magnética por atracción configurado para desplazarse bajo dicha estructura de guiado, donde el vehículo comprende unos medios magnéticos configurados para proporcionar un campo magnético variable,
- donde el campo magnético variable proporcionado por los medios magnéticos del vehículo provoca una fuerza de atracción constante del vehículo hacia el material laminado ferromagnético de la estructura de guiado que compensa el peso del vehículo.

En una de las realizaciones, los medios magnéticos se disponen en una cara superior del vehículo, el material laminado ferromagnético se dispone en una cara inferior de la

estructura de guiado y la cara superior del vehículo y la cara inferior de la estructura de guiado se enfrentan. Así, ventajosamente se consigue la interacción entre los medios magnéticos y el material ferromagnético dispuesto en láminas, con lo que al compensarse la fuerza gravitatoria con la fuerza de atracción provocada por las fuerzas magnéticas generadas por los medios magnéticos, el vehículo queda colgado de la estructura sin que exista ningún tipo de contacto entre ellas.

Opcionalmente, se contempla que la disposición del material laminado ferromagnético sea continua a lo largo de toda la cara inferior de la estructura de guiado. Alternativamente, en otras realizaciones se contempla una disposición discontinua del material.

En una realización de la invención, la cara inferior de la estructura de guiado que comprende el material laminado ferromagnético se contempla que sea paralela a la dirección de desplazamiento del vehículo. Alternativamente, una realización de la invención contempla que el material laminado ferromagnético se disponga perpendicularmente a la dirección de desplazamiento del vehículo.

El material laminado ferromagnético, de acuerdo a una de las realizaciones de la invención, se dispone perpendicularmente a la dirección longitudinal de la estructura de guiado. Así ventajosamente se limita el camino de la corriente y se reducen las pérdidas.

Los medios magnéticos, de acuerdo a una de las realizaciones de la invención, comprenden: un imán permanente configurado para ejercer una primera fuerza de atracción magnética determinada; un sensor configurado para detectar al menos un parámetro característico; y un electro-imán, en comunicación con el sensor, configurado para ejercer una segunda fuerza de atracción magnética variable, en función de la variación de un parámetro característico respecto un punto de equilibrio. La realimentación de la señal de salida del sensor y la entrada del electroimán permiten mantener el electroimán entre unos valores preestablecidos asociados a un punto de equilibrio. Así, ventajosamente, se mantiene el vehículo en un punto de equilibrio gracias a las acciones de corrección del electro-imán, que compensan pequeñas variaciones y aseguran una fuerza de atracción constante mediante un bucle de realimentación, dispuesto entre el sensor y el electroimán, configurado para ajustar la segunda fuerza de atracción variable del electroimán en función del parámetro característico detectado por el sensor.

35

La estructura de guiado se contempla, en una de las realizaciones de la invención, que sea una estructura tubular configurada para permitir el desplazamiento del vehículo por el interior de dicha estructura tubular. Alternativamente, la estructura puede ser de tipo abierto.

- 5 En una de las realizaciones de la invención se contempla que el vehículo sea un vehículo de transporte de pasajeros, por ejemplo de tipo cápsula.

En una de las realizaciones de la invención se contempla que el vehículo sea un vehículo de transporte de carga.

10

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un método de levitación magnética por atracción de un vehículo bajo una estructura de guiado que comprende los pasos de:

- 15 a) proporcionar una primera fuerza magnética, mediante un imán permanente dispuesto en el vehículo, que compensa una primera parte de la fuerza gravitatoria a la que está sometido el vehículo bajo la estructura de guiado;
- b) proporcionar una segunda fuerza magnética, mediante un electro-imán dispuesto en el vehículo, que compensa una segunda parte de la fuerza gravitatoria a la que está sometido el vehículo bajo la estructura de guiado, donde dicha segunda fuerza magnética es variable;
- 20 c) detectar al menos un parámetro característico, mediante un sensor dispuesto en el vehículo; y
- d) en función de la variación del parámetro característico respecto a un punto de equilibrio del vehículo, enviar una señal al electroimán para variar la segunda fuerza magnética y devolver el vehículo al punto de equilibrio.

25

Adicionalmente, en una de las realizaciones de la invención se contempla proporcionar una fuerza de desplazamiento al vehículo que provoca el movimiento del vehículo a lo largo de la estructura de guiado.

- 30 En una de las realizaciones de la invención, detectar al menos un parámetro característico comprende obtener una medida de la distancia comprendida entre el vehículo y la estructura de guiado. Así, ventajosamente, se utiliza una señal relevante para realimentar las acciones

de control del electroimán y modificar la fuerza magnética producida por este para mantener el vehículo a una distancia de la estructura de guiado dentro de unos márgenes de seguridad.

- 5 En una de las realizaciones de la invención, detectar al menos un parámetro característico comprende obtener una medida del campo eléctrico generado por el electro-imán.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

- 10 Para completar la descripción de la invención y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de sus características, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización de la misma, se acompaña un conjunto de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se han representado las siguientes figuras:

- 15 - La **figura 1** representa una combinación de medios magnéticos utilizada en una realización de la invención, concretamente un imán permanente y un electroimán.

- 20 - La **figura 2** representa esquemáticamente una realización de la invención, donde el vehículo de levitación magnético por atracción, dotado de los medios magnéticos correspondientes, se desplaza bajo la estructura de guiado.

- La **figura 3** representa en detalle la configuración del material utilizado en la estructura de guiado, concretamente un material ferromagnético laminado.

25 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención divulga un método y un sistema de levitación magnética por atracción para vehículos de alta velocidad que se desplazan de acuerdo a una estructura de guiado.

- 30 Los vehículos se desplazan por sistemas de propulsión convencionales y se mantienen en suspensión gracias a la compensación del peso de los vehículos con una fuerza de atracción generada por una combinación de imanes capaces de producir una fuerza magnética variable. La combinación de imanes se dota de unos medios de control, para

mantener el punto de equilibrio necesario entre el vehículo y la estructura de guiado, que monitorizan al menos un parámetro característico, como puede ser la distancia entre el vehículo y la estructura, con un sistema de bucle cerrado.

- 5 En la **figura 1** se muestra una combinación de medios magnéticos que consiste en un imán permanente (1) y un electroimán (2).

El imán permanente (1) produce una fuerza de atracción magnética (3) respecto a un material ferromagnético (4) que sigue una ley del tipo $1/r^2$, de forma que para una masa dada, existe una distancia en la cual la fuerza de la gravedad es igual a la fuerza magnética:

10
$$mg=K/r^2$$

En este punto de equilibrio, un imán levita magnéticamente sin más, pero en la práctica, la más mínima perturbación modifica esta distancia y, al tratarse de un equilibrio inestable, este punto no se recupera.

- 15 Para compensar estas eventuales perturbaciones, es necesario aplicar alguna técnica de control que permita al sistema volver a su punto de equilibrio. Para ello, la presente invención recurre a un sistema en bucle cerrado que consiste en realizar lecturas constantes de una señal relevante, como puede ser el campo magnético generado o la distancia entre el vehículo y la estructura, y establecer una acción de control compensatoria en función de la señal leída con la actuación del electroimán (2).
- 20

- 25 Un electroimán es un tipo de imán en el que el campo magnético se produce mediante el flujo de una corriente eléctrica que circula, por ejemplo, por las espiras de un alambre enrollado (5) alrededor del núcleo magnético (6). La principal diferencia respecto de un imán permanente es que el campo magnético se puede cambiar de forma rápida controlando la intensidad de la corriente eléctrica proporcionada por la fuente de alimentación (7), con lo que la fuerza magnética (8) que produce es variable. Así, ventajosamente, la presente invención compensa las pequeñas perturbaciones que pueden producirse durante el desplazamiento del vehículo bajo la estructura de guiado y pueden sacar al sistema del punto de equilibrio necesario para mantener la levitación controlada. Incluso en el caso de un sistema muy pesado, la mayor parte de la fuerza proviene del imán permanente, por lo
- 30

que la potencia necesaria para estabilizar el sistema y las acciones de control del electroimán es asumible.

La **figura 2** representa una realización particular de la presente invención, donde una estructura de guiado (20), que comprende un material ferromagnético en su cara inferior, se dispone a una cierta altura del suelo, de forma que permite a un vehículo (21) desplazarse bajo dicha estructura. En la parte superior del vehículo se dispone uno o más medios magnéticos como los explicados anteriormente, por ejemplo una combinación de un imán permanente (1) y un electroimán (2), que permiten al vehículo levitar magnéticamente por efecto de la atracción que se produce entre la combinación de imán y electroimán y el material ferromagnético dispuesto en la cara inferior de la estructura de guiado.

En el desplazamiento del vehículo bajo la estructura de guiado, en un estado de levitación magnética, el punto de equilibrio se mantiene como resultado de las acciones compensatorias del electroimán frente a cualquier perturbación. Para el control del electroimán se dispone de un sensor que detecta una característica relevante de referencia respecto de la cual establecer las acciones de control. Por ejemplo, la característica relevante puede ser el campo magnético o puede ser la distancia entre el vehículo y la estructura de guiado. En este último caso, el sensor realiza lecturas continuas de dicha distancia y en función de la realimentación del parámetro característico, para mantenerlo en un valor preestablecido asociado a un punto de equilibrio del vehículo, envía una señal al electroimán para variar la segunda fuerza magnética y devolver el vehículo al punto de equilibrio.

Concretamente esta acción regula la intensidad de la corriente eléctrica, que genera el campo magnético del electroimán, actuando sobre su fuente de alimentación.

La suma de las fuerzas magnéticas producidas por el imán permanente y el electroimán es lo que compensa el peso del vehículo y lo sustenta en el aire bajo la estructura de guiado, pero hay que garantizar que el vehículo se mantiene en un punto de equilibrio ajustando el valor del umbral de la característica relevante escogida y proporcionando una frecuencia suficientemente alta de lecturas en el sensor como para permitir corregir la fuerza magnética del electroimán en tiempo real. De esta manera, las acciones correctivas en tiempo real del electroimán garantizan que el vehículo nunca se aleje de su punto de equilibrio tanto como para perder la sustentación y el estado de levitación magnética.

35

También se contempla una estructura de guiado con forma tubular, pero tanto en una configuración abierta como en una configuración de tubo cerrado, el funcionamiento es el mismo.

- 5 El campo magnético generado por la combinación de imán permanente y electroimán es, por tanto, lo que mantiene el vehículo en suspensión. No obstante, el vehículo suspendido en el aire se desplaza a altas velocidades por la estructura y esto supone que se crean corrientes inducidas como resultado del movimiento relativo del material ferromagnético respecto del campo magnético. El problema de las corrientes inducidas es que generan
- 10 pérdidas causadas porque se producen dos efectos negativos:
- Se genera una fuerza de frenado opuesta al movimiento.
 - Se genera una fuerza de repulsión opuesta a la del imán.

En la **figura 3**, puede verse en detalle la configuración especial del material ferromagnético, dispuesto en la estructura de guiado, utilizada por la presente invención para minimizar los dos efectos descritos anteriormente. Así, el material ferromagnético se dispone ventajosamente en láminas (30), que de una forma similar al efecto que se producen en los transformadores laminados, limitan el camino de la corriente (31).

15

20 De esta forma, la presente invención proporciona un sistema y un método de levitación magnética por atracción que mantiene constante la fuerza de atracción y reduce las pérdidas causadas por el material en los desplazamientos a altas velocidades.

La presente invención no debe verse limitada a la forma de realización aquí descrita. Otras configuraciones pueden ser realizadas por los expertos en la materia a la vista de la presente descripción. En consecuencia, el ámbito de la invención queda definido por las siguientes reivindicaciones.

25

REIVINDICACIONES

- 5
1. Un sistema de levitación magnética por atracción caracterizado por que comprende:
- una estructura de guiado (20) configurada para guiar un vehículo de levitación magnética por atracción, donde al menos una parte de dicha estructura comprende un material laminado ferromagnético (30); y
 - un vehículo (21) de levitación magnética por atracción configurado para desplazarse bajo dicha estructura de guiado, donde el vehículo comprende unos medios magnéticos configurados para proporcionar un campo magnético
- 10
- variable,
- donde el campo magnético variable proporcionado por los medios magnéticos del vehículo provoca una fuerza de atracción magnética constante del vehículo hacia el material laminado ferromagnético de la estructura de guiado que compensa el peso del vehículo.
- 15
2. Sistema de acuerdo a la reivindicación anterior, donde los medios magnéticos están dispuestos en una cara superior del vehículo; el material laminado ferromagnético está dispuesto en una cara inferior de la estructura de guiado; y donde la cara superior del vehículo y la cara inferior de la estructura de guiado están enfrentadas.
- 20
3. Sistema de acuerdo a la reivindicación 2, donde el material laminado ferromagnético se dispone de forma paralela a una dirección de desplazamiento del vehículo.
4. Sistema de acuerdo a la reivindicación 2, donde el material laminado ferromagnético
- 25
- se dispone perpendicularmente a una dirección de desplazamiento del vehículo.
5. Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde los medios magnéticos comprenden:
- un imán permanente (1) configurado para ejercer una primera fuerza (3) de atracción magnética determinada;
 - un sensor configurado para detectar al menos un parámetro característico; y
 - un electro-imán (2), en comunicación con el sensor, configurado para ejercer una segunda fuerza (8) de atracción magnética variable, en función de la variación del parámetro característico respecto a un punto de equilibrio.
- 30
- 35

- 5
6. Sistema de acuerdo a la reivindicación 5, que además comprende un bucle de realimentación, dispuesto entre el sensor y el electroimán, configurado para ajustar la segunda fuerza de atracción variable del electroimán en función del parámetro característico detectado por el sensor.
7. Sistema de acuerdo a cualquier de las reivindicaciones anteriores, donde la estructura de guiado es una estructura tubular configurada para permitir el desplazamiento del vehículo por el interior de dicha estructura tubular.
- 10
8. Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el vehículo es un vehículo configurado para transportar pasajeros en su interior.
9. Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el vehículo es un vehículo configurado para transportar carga en su interior.
- 15
10. Método de levitación magnética por atracción de un vehículo bajo una estructura de guiado, caracterizado porque comprende los pasos de:
- a) proporcionar una primera fuerza de atracción magnética, mediante un imán permanente (1) dispuesto en el vehículo (21), que compensa una primera parte de la fuerza gravitatoria a la que está sometido el vehículo bajo la estructura de guiado (20);
- 20
- b) proporcionar una segunda fuerza de atracción magnética, mediante un electroimán (2) dispuesto en el vehículo (21), que compensa una segunda parte de la fuerza gravitatoria a la que está sometido el vehículo bajo la estructura de guiado (20), donde dicha segunda fuerza de atracción magnética es variable;
- 25
- c) detectar al menos un parámetro característico, mediante un sensor dispuesto en el vehículo; y
- d) en función de la variación del parámetro característico detectado respecto a un punto de equilibrio del vehículo, enviar una señal al electroimán para variar la
- 30
- segunda fuerza de atracción magnética y devolver el vehículo al punto de equilibrio.
11. Método de acuerdo a la reivindicación 10 que además comprende proporcionar una fuerza de desplazamiento al vehículo que provoca el movimiento del vehículo a lo
- 35
- largo de la estructura de guiado.

12. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 10, 11 donde detectar al menos un parámetro característico comprende obtener una medida de la distancia comprendida entre el vehículo y la estructura de guiado.

5

13. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 10-12 donde detectar al menos un parámetro característico comprende obtener una medida del campo electromagnético generado por el electro-imán.

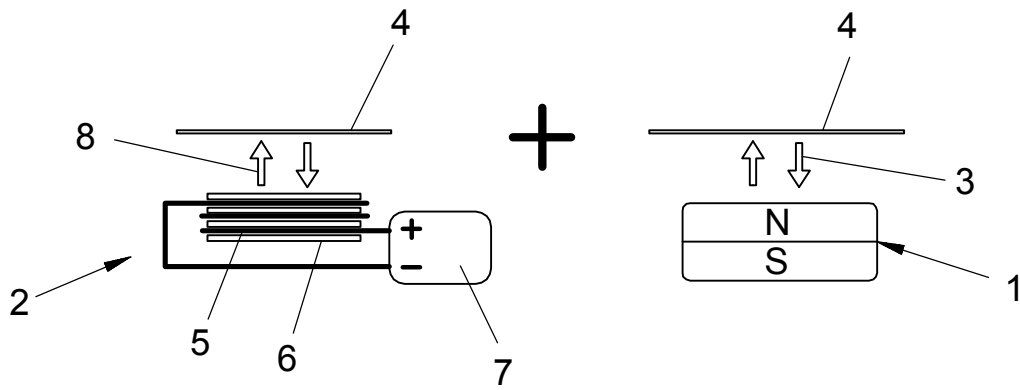


FIG. 1

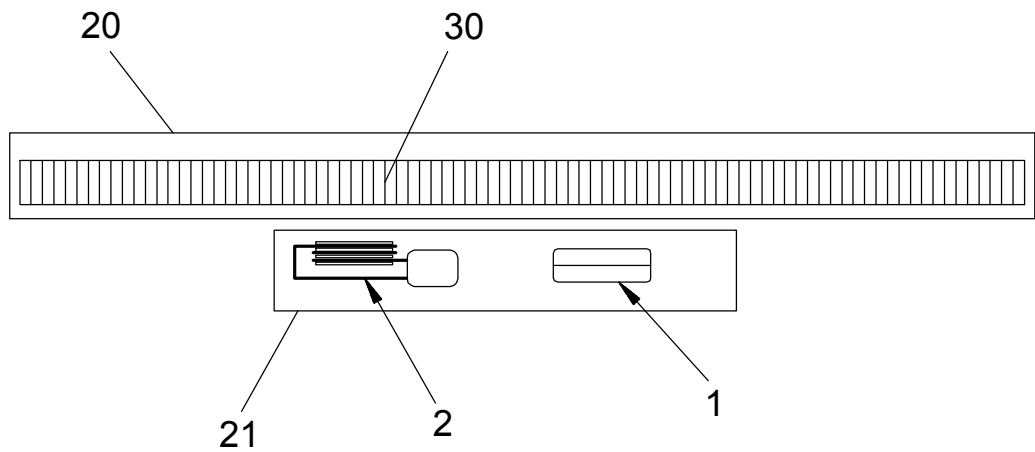


FIG. 2

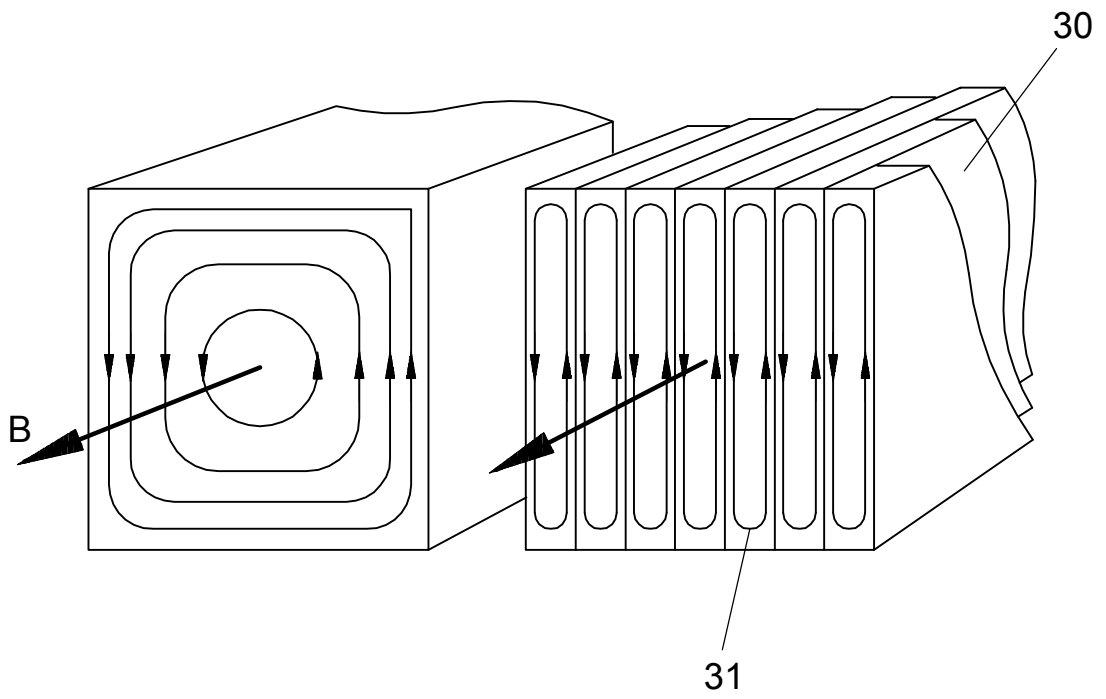


FIG. 3



- ②① N.º solicitud: 201830488
 ②② Fecha de presentación de la solicitud: 22.05.2018
 ③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **B60L13/06** (2006.01)
E01B25/32 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	MONTANER. "La Politécnica probará en EE UU su primer prototipo de tren supersónico". Levante-EMV >> Comunitat Valenciana, 02/02/2017 [en línea][recuperado el 15/03/2019]. Recuperado de Internet <URL:http://web.archive.org/web/20170209155819/https://www.levante-emv.com/comunitat-valenciana/2017/02/02/politecnica-probara-ee-uu-primer/1523308.html>	1-13
X	US 2004119358 A1 (THORNTON RICHARD D et al.) 24/06/2004, Descripción; figuras.	1-6, 8-13
X	CHANG-HYUN KIM et al. Zero-power control of magnetic levitation vehicles with permanent magnets. Control Automation and Systems (ICCAS), 2010 International Conference on, 20101027 IEEE, Piscataway, NJ, USA. , 27/10/2010, Páginas 732 - 735 [en línea][recuperado el 11/03/2019]. ISSN ISBN 978-1-4244-7453-0 ; ISBN 1-4244-7453-1	1-6, 8-13
A	US 2009103227 A1 (MORISHITA MIMPEI) 23/04/2009, Descripción; figuras.	1-13
A	WO 9933691 A1 (MAGNEMOTION INC) 08/07/1999, descripción; figuras 8, 9A, 9B	1-13

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
 A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

<p>Fecha de realización del informe 15.03.2019</p>	<p>Examinador M. P. López Sabater</p>	<p>Página 1/2</p>
---	--	------------------------------

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B60L, E01B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, IEEE, Internet, Elsevier