

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 810 498**

21 Número de solicitud: 202031108

51 Int. Cl.:

H02K 41/02 (2006.01)

H02K 35/02 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

04.11.2020

43 Fecha de publicación de la solicitud:

08.03.2021

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

27.09.2021

Fecha de concesión:

20.12.2021

45 Fecha de publicación de la concesión:

28.12.2021

73 Titular/es:

**CENTRO DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS
MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS
(CIEMAT) (75.0%)**

Avda Complutense, 40

28040 MADRID (Madrid) ES;

CYCLOMED TECHNOLOGIES, S.L. (10.0%);

SUPRASYS, S.L. (10.0%) y

WEDGE GLOBAL (5.0%)

72 Inventor/es:

GARCÍA-TABARÉS RODRÍGUEZ, Luis;

MUNILLA LÓPEZ, Javier;

LÓPEZ DE TOLEDO, Carlos Hernando;

GARCÍA LORENZO, Francisco;

SARMIENTO MUÑOZ, Gustavo y

SANZ CASTILLO, Santiago

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **MÁQUINA ELÉCTRICA LINEAL SUPERCONDUCTORA DE MOVIMIENTO ALTERNATIVO**

ES 2 810 498 B2

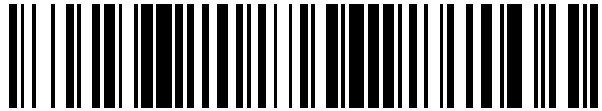
Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo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

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 810 498**

21 Número de solicitud: 202031108

57 Resúmen:

Máquina eléctrica lineal superconductora de movimiento alternativo, que comprende:
 un lado activo (2) con bobinas superconductoras (40);
 un lado pasivo (3);
 una pantalla antirradiación (5) que envuelve al lado activo (2) pasando por el entrehierro (4);
 un criostato flexible (6), que aloja al lado activo (2), al lado pasivo (3) y a la pantalla antirradiación (5) en una condición de vacío, y dispone de una cubierta lateral (9) formada por una parte central (10) rígida y dos fuelles (11, 12) que conectan de manera flexible la parte central (10) con una cubierta superior (7) y una cubierta inferior (8) solidarias al lado pasivo (3);
 un primer (17) y un segundo (18) circuito de refrigeración para refrigerar, respectivamente, las bobinas superconductoras (40) a una primera temperatura de operación (T_1) y la pantalla antirradiación (5) a una segunda temperatura de operación (T_2); y
 puertos de entrada de refrigerante (13, 14) dispuestos en la parte central (10) para el suministro de refrigerante a los circuitos de refrigeración (17, 18) a sus correspondientes temperaturas de operación (T_1 , T_2).

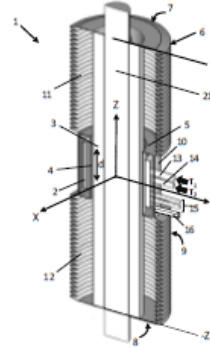


Fig. 1A

ES 2 810 498 B2

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

DESCRIPCIÓN

MÁQUINA ELÉCTRICA LINEAL SUPERCONDUCTORA DE MOVIMIENTO

ALTERNATIVO

5

Campo de la invención

La presente invención se enmarca en el campo de la ingeniería eléctrica en general y, en particular, en el campo de la superconductividad de potencia y los accionamientos eléctricos para la industria. Entre otras aplicaciones, la invención se puede aplicar a la generación de electricidad a partir de las olas del mar en los convertidores de las olas tipo absorbedor puntual.

Se trata de una máquina eléctrica de alta densidad de fuerza apropiada para la generación eléctrica en situaciones de baja velocidad y elevada fuerza de actuación.

15

Antecedentes de la invención

El problema esencial en accionamientos eléctricos de potencia, y en especial en los accionamientos lineales, es la menor densidad de fuerza en comparación con los correspondientes accionamientos neumáticos o hidráulicos. Como contrapartida ofrecen mayores velocidades de trabajo y mejores rendimientos, de manera que, dependiendo de la aplicación, pueden tener mayores o menores ventajas para su utilización. En el caso particular de la generación de energía de las olas, la velocidad de funcionamiento es relativamente baja y la fuerza requerida muy alta, por lo que los actuadores eléctricos convencionales pueden no ser adecuados. Es necesario, por lo tanto, aumentar al máximo la densidad de fuerza disponible (fuerza por unidad de masa de la máquina) garantizando, además, un alto rendimiento.

La patente ES2728442-B2, relativa a una máquina de reluctancia conmutada de alta densidad de fuerza con geometría acimutal de flujo magnético, propone una máquina que reduce al mínimo posible la cantidad de hierro en el circuito magnético, al tiempo que limita también el flujo de dispersión, por lo que se consigue producir la máxima fuerza posible por kilo de máquina y amperio de excitación. Sin embargo, la máquina tiene la limitación de que es convencional desde el punto de vista del conductor utilizado para sus bobinados (máquina resistiva de cobre o aluminio) y esto hace que su tamaño esté condicionado por la densidad de corriente admisible, que está en el entorno de 3 o 4

Amperios / mm². Los siguientes documentos reflejan otras máquinas eléctricas lineales de movimiento alternativo que tampoco emplean bobinas superconductoras:

- 5 - Omar Farrok et al., “Oceanic Wave Energy Conversion by a Novel Permanent Magnet Linear Generator Capable of Preventing Demagnetization”, IEE Transactions On Industry Applications, Vol. 54, páginas 6005 – 6014.
- Luis García-Tabares et al., “New Type of Linear Switched Reluctance Generator for Wave Energy Applications”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 30, páginas 1-5.

10 El documento Ba Lie Jun et al., “Conceptual Design of an HTS Wave Linear Generator”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 26, páginas 1-6, divulga una máquina eléctrica lineal superconductora de movimiento alternativo.

15 Se hace necesario disponer de una máquina eléctrica lineal de movimiento alternativo que resuelva los inconvenientes de las bobinas resistivas, y trabaje en su lugar con bobinas superconductoras para aumentar la potencia específica y reducir el peso total de la máquina. En la presente invención se propone el uso de bobinas superconductoras, en vez de resistivas, en las que las densidades de corriente pueden aumentar en un factor 100 y el peso total de la máquina reducirse en una cantidad equivalente.

20 La invención propone una disposición aplicable a diferentes configuraciones ya conocidas que emplean bobinas resistivas, en las que éstas se sustituyen por bobinas superconductoras, para lo cual es necesario disponer de un sistema de refrigeración criogénica. La invención propone una configuración de máquina lineal de movimiento alternativo que emplea bobinas superconductoras.

25

La invención se puede aplicar a diferentes tipos de máquinas eléctricas lineales de movimiento alternativo, ya sea síncrona, de reluctancia síncrona o de reluctancia conmutada con configuración acimutal, según se describe por ejemplo en ES2728442-B2, o con configuración cilíndrica o tubular (e.g. la divulgada en R.P.G. Mendes, M.A. Calado, S.J.S.P. Mariano “ Identification of Some Tubular Topologies of Linear Switched Reluctance Generator for Direct Drive Applications in Ocean Wave Energy Conversion”. Proceedings of the World Congress on Engineering. 2014. Vol 1. WCE 2014. Londres, July 2014).

30

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a una máquina eléctrica lineal superconductor que se mueve en movimiento alternativo. La máquina puede tener diversas aplicaciones; entre otras, aplicaciones de accionamientos de potencia y de generador eléctrico para obtener energía de las olas del mar.

La configuración de la máquina puede ser de diferentes tipos, tales como máquina síncrona, de reluctancia síncrona o de reluctancia conmutada (ya sea cilíndrica, prismática o acimutal), en cualquiera de las cuales los devanados del lado activo (parte fija o estátor) son superconductores mientras que el lado pasivo (parte móvil o “translator”) no tiene devanados atravesados por corrientes, aunque puede estar dotado de imanes permanentes o uno o más polos de material ferromagnético, pudiendo circular corrientes inducidas parásitas.

En cualquier configuración elegida, el lado activo tiene que estar a temperatura criogénica (habitualmente inferior a 20K) mientras que el lado pasivo está a una temperatura superior. La invención incorpora un criostato deformable que, por una parte, mantiene las bobinas superconductoras del lado activo a su temperatura de operación y por otra se adapta al movimiento del lado pasivo y, además, hace que el conjunto de las dos partes de la máquina se encuentre en vacío, manteniendo el aislamiento térmico del exterior.

Un sistema de refrigeración criogénica externo se encarga de refrigerar las bobinas superconductoras del lado activo con un gas (por ejemplo, helio) que se hace circular por unos conductos de refrigeración dispuestos en contacto térmico con el núcleo de material ferromagnético. El refrigerante empleado puede ser líquido, especialmente cuando se trabaja a temperaturas inferiores a 5K (e.g. helio líquido). Una vez refrigeradas las bobinas, el gas utilizado se vuelve a enfriar mediante intercambiadores de calor y un criorrefrigerador, de manera que se mantiene circulando en circuito cerrado. Mediante un segundo circuito de refrigeración se hace circular refrigerante a una temperatura en el entorno de los 30K a 80K alrededor de una pantalla antirradiación (también llamada escudo térmico) que envuelve al lado activo. Esta pantalla no es metálica (al menos la cara interior de separación entre lado activo y lado pasivo) para evitar corrientes inducidas en su interior y, por lo tanto, no puede ser refrigerada por conducción, sino solo mediante circulación de un caudal de gas, a la temperatura adecuada entre 30K-80K, que proviene del sistema de refrigeración criogénica.

La pantalla antirradiación separa térmicamente el lado activo, que está a una temperatura ligeramente por encima del refrigerante que lo enfría, y el lado pasivo, que puede estar a una temperatura mucho mayor y que haría que el calor radiado por el lado pasivo hacia el lado activo introdujese unas pérdidas inadmisibles en el lado de baja temperatura. La pantalla antirradiación lleva su propio circuito de refrigeración que garantiza que esté en el entorno de los 30-80K, preferentemente en el rango de los 60K-70K, con lo cual se disminuyen drásticamente las pérdidas térmicas asociadas al circuito de refrigeración de las bobinas superconductoras permitiendo que operen en estado superconductor.

10

Para reducir las pérdidas térmicas del conjunto, el lado activo, el lado pasivo y la pantalla antirradiación se introducen en el criostato flexible, un recipiente de vacío deformable al disponer de dos fuelles (uno en su parte superior y otro en la parte inferior) que se expanden y se contraen a medida que el lado pasivo de la máquina se desplaza linealmente a lo largo de una o de otra dirección. Se consigue así una configuración de criostato de longitud lo más pequeña posible e igual al doble de la carrera de la máquina (donde la carrera es la distancia en la que se mueve en cada sentido) más la longitud del lado activo.

15

Una aplicación de la máquina eléctrica lineal superconductoras puede ser por ejemplo una aplicación de PTO ("Power Take Off") para generar energía a partir de las olas. La configuración particular elegida para la máquina puede ser, por ejemplo, una máquina de reluctancia conmutada cilíndrica (o tubular) al tener las siguientes características idóneas para esta aplicación:

25

- Tiene geometría cilíndrica, fácilmente adaptable a la de los convertidores de energía marina.
- Las bobinas son circulares con grandes radios de curvatura, lo cual es especialmente adecuado para algunos materiales que constituyen los cables superconductores y que no pueden ser doblados con radios de curvatura pequeños.
- Tienen un solo entrehierro de separación entre el lado activo y el lado pasivo.
- No tienen cabeza de bobinas, toda la longitud de la bobina es activa y contribuye a generar fuerza.

30

En este ejemplo, el lado activo es un cilindro ranurado de material magnético, en el que se alojan bobinas solenoidales superconductoras. Con objeto de trabajar con el menor número de bobinas superconductoras se propone una máquina de tres fases y dos polos por fase, lo que conlleva a disponer de seis bobinas superconductoras en seis ranuras igualmente espaciadas. En cualquier caso, se procurará trabajar a la frecuencia de conmutación más baja posible para reducir al mínimo las pérdidas de alterna en el superconductor.

El lado pasivo, por otra parte, es otro cilindro ranurado, pero sin bobinados, construido a partir de un material magnético similar al del lado activo. La longitud de este cilindro será la suma de la longitud del lado activo más el doble de la carrera de desplazamiento necesaria en cada dirección.

Entre ambos cilindros existe una separación (entrehierro) lo menor posible, del orden de unos pocos milímetros. Alrededor del lado activo se encuentra una pantalla antirradiación que lo envuelve por completo (lateralmente lo rodea por la cara que lo enfrenta al lado pasivo, i.e. por el entrehierro) y que estará hecha de un material no metálico para evitar que durante el funcionamiento de la máquina se induzcan en ella corrientes que la calienten.

Todo el conjunto se aloja en un criostato expansible, también cilíndrico, que tiene una parte central no deformable, a la que se añaden sendos fuelles (uno por encima y otro por debajo) para que puedan deformarse para acompañar al lado pasivo en su movimiento. En el interior de este criostato se hace el vacío para reducir las pérdidas térmicas. El criostato va mecánicamente unido a un pistón que lo arrastra siguiendo el movimiento de las olas del mar. Por otra parte, se disponen de guías externas para el movimiento de los fuelles y garantizar que, en todo momento, realicen una trayectoria rectilínea.

30 **Breve descripción de los dibujos**

A continuación, se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

35 Las Figuras 1A y 1B muestran una representación esquemática de una máquina eléctrica

lineal superconductora de movimiento alternativo de acuerdo a una posible realización.

La Figura 2 ilustra en una vista esquemática los componentes internos básicos de una máquina eléctrica lineal con geometría cilíndrica de acuerdo a una posible realización.

5

La Figura 3 representa de manera esquemática otra realización de la máquina eléctrica lineal de la presente invención, también con configuración cilíndrica.

Las Figuras 4A-4C muestran vistas en perspectiva y en sección de la máquina de la Figura 3, de acuerdo a una posible realización.

10

Las Figuras 5 a 7 ilustran detalles de distintos componentes internos de la máquina de la Figura 3: lado activo (Figuras 5A-5D), pantalla antirradiación (Figuras 6A-6C) y lado pasivo (Figura 7).

15

La Figura 8 representa los circuitos de refrigeración del lado activo y la pantalla antirradiación, y la alimentación de las bobinas del lado activo.

La Figura 9 muestra una realización de la presente invención aplicada a una máquina de reluctancia conmutada con geometría acimutal.

20

Descripción detallada de la invención

La **Figura 1A** muestra de manera esquemática un corte longitudinal de una máquina eléctrica lineal 1 superconductora de movimiento alternativo de acuerdo a una realización de la presente invención. La máquina eléctrica lineal 1 comprende un lado activo 2 y un lado pasivo 3. El lado activo 2 incorpora, para cada fase (la máquina eléctrica lineal 1 puede tener una o varias fases), una o más bobinas superconductoras devanadas alrededor de un núcleo de material ferromagnético correspondiente a cada bobina.

25

El lado pasivo 3 está enfrentado al lado activo 2 y separado de este por al menos un entrehierro 4. El lado pasivo 3 no incorpora en ningún caso bobinas recorridas por corriente eléctrica, sino uno o más polos de material ferromagnético, uno o más imanes permanentes o una combinación de ambos, en función del tipo de máquina empleada. La configuración de la máquina eléctrica 1 puede ser de cualquiera de los diferentes tipos de

30

máquinas lineales de movimiento alternativo conocidas, tales como máquina síncrona, máquina de reluctancia síncrona o máquina de reluctancia conmutada.

5 La máquina eléctrica lineal 1 de la presente invención es una máquina lineal de movimiento alternativo, que puede actuar como motor o como generador, en la que el lado activo 2 es inmóvil y el lado pasivo 3 es movable de acuerdo a un movimiento lineal alternativo en una dirección de desplazamiento d.

10 La máquina eléctrica lineal 1 comprende también una pantalla antirradiación 5 no metálica que envuelve por completo al lado activo 2, quedando exterior al lado pasivo 3. La pantalla antirradiación 5 está formada por varias superficies o paredes que forman un volumen cerrado que contiene al lado activo 2, al menos una de las cuales discurre entre el lado activo 2 y el lado pasivo 3, dispuesta en al menos un entrehierro 4.

15 La máquina eléctrica lineal 1 de la presente invención dispone de un criostato flexible 6 que aloja en su interior al lado activo 2, al lado pasivo 3 y a la pantalla antirradiación 5 en una condición de vacío para así mantener eficazmente al lado activo 2 y a la pantalla antirradiación 5 en unas condiciones de temperatura determinadas. El criostato flexible 6 está delimitado por una cubierta superior 7, una cubierta inferior 8 y una cubierta lateral 9
20 que definen un volumen interior en el que se realiza el vacío.

La cubierta superior 7 e inferior 8 son unas tapas del criostato flexible 6 que están unidas rígidamente entre sí. A su vez, la cubierta superior 7 y la cubierta inferior 8 son solidarias al lado pasivo 3 y están aisladas térmicamente del lado pasivo 3, a través de al menos un
25 elemento aislante térmico, ya que el lado pasivo 3 no puede estar en contacto directo con ninguna de las paredes del criostato (incluidas la cubierta superior, la cubierta inferior y la cara interior del criostato). Al menos una de dichas cubiertas es acoplable, por ejemplo, a través de unos medios de sujeción, a un actuador lineal (no mostrado en la Figura 1A) externo a la máquina eléctrica lineal 1. El actuador lineal es un elemento de
30 accionamiento, que no necesariamente forma parte de la máquina eléctrica lineal 1, encargado de producir un movimiento lineal de vaivén, tal como por ejemplo un pistón accionado por el movimiento de las olas del mar, en el caso de que la máquina eléctrica lineal 1 sea un generador eléctrico preparado para obtener energía undimotriz. Cuando la máquina eléctrica lineal 1 actúe como motor, impondrá un movimiento lineal alternativo al
35 actuador lineal.

Por su parte, la cubierta lateral 9 es una superficie lateral externa del criostato flexible 6 que está formada por una parte central 10 rígida y por dos fuelles, un fuelle superior 11 y un fuelle inferior 12.

5

La parte central 10 es solidaria al lado activo 2 y a la pantalla antirradiación 5 a través de uno o varios elementos de unión. Al menos un elemento de unión atraviesa la pantalla térmica 5 para la sujeción del lado activo. Para mantener inalterable la temperatura del lado activo 2 y de la pantalla antirradiación 5, los elementos de unión están fabricados (al menos las partes que contactan con el lado activo 2, que se introducen en el interior de la pantalla antirradiación 5 o que contactan con esta), de un material aislante térmico. La parte central 10 es acoplable a una estructura fija (no representada en la Figura 1A) externa a la máquina eléctrica lineal 1, como por ejemplo una pared o una columna de una instalación, para mantener inmóviles al lado activo 2 y a la pantalla antirradiación 5.

15

El fuelle superior 11 conecta de manera flexible la parte central 10 con la cubierta superior 7. De manera similar, el fuelle inferior 12 conecta de manera flexible la parte central 10 con la cubierta inferior 8. De esta forma, el criostato flexible 6 puede seguir el movimiento alternativo del actuador lineal, a la vez que se mantiene al lado activo 2 en una posición fija. En la Figura 1A se representa la cubierta superior 7, la cubierta inferior 8 y los fuelles (11, 12) en una posición intermedia ($z=Z_1$ y $z=-Z_1$, respectivamente), mientras que la **Figura 1B** muestra la cubierta superior 7 y el fuelle superior 11 en una posición extendida extrema ($z=Z_{MAX}$), y la cubierta inferior 8 y el fuelle inferior 12 en una posición comprimida extrema ($z=-Z_{MIN}$) por efecto del desplazamiento del lado pasivo 3 hacia arriba, estando en ambas figuras el lado activo 2 siempre fijo en la misma posición (centrado en $z=0$).

La máquina eléctrica lineal 1 dispone de dos circuitos de refrigeración (no representados en la Figura 1A), un primer circuito de refrigeración para refrigerar las bobinas superconductoras del lado activo 2 a una primera temperatura de operación T_1 y un segundo circuito de refrigeración para refrigerar la pantalla antirradiación 5 a una segunda temperatura de operación T_2 . La primera temperatura de operación T_1 es una temperatura criogénica lo suficientemente fría como para garantizar que las bobinas superconductoras operan en un estado superconductor. Dicha primera temperatura de operación T_1 dependerá del material utilizado en las bobinas, y normalmente se sitúa en

35

torno a unos 10 K. La segunda temperatura de operación T_2 es una temperatura fría, en la mayoría de los casos también criogénica (i.e. inferior a 77,36 K, la temperatura de ebullición del nitrógeno), pero superior a la primera temperatura de operación T_1 , y preferentemente en el rango comprendido entre los 30 K y los 80 K.

5

En la Figura 1A se representan los puertos de entrada de refrigerante (13, 14) para el suministro de refrigerante a los circuitos de refrigeración a sus correspondientes temperaturas de operación (T_1 , T_2). Los puertos de entrada de refrigerante (13, 14) se ubican en la parte central 10 de la cubierta lateral 9 del criostato flexible 6, e incluyen un primer puerto de entrada de refrigerante 13 para el suministro de refrigerante al primer circuito de refrigeración a la primera temperatura de operación T_1 , y un segundo puerto de entrada de refrigerante 14 para el suministro de refrigerante al segundo circuito de refrigeración a la segunda temperatura de operación T_2 . Un sistema de refrigeración criogénica, externo al criostato flexible 6 y no representado en la Figura 1A, se encarga de suministrar el refrigerante a los circuitos de refrigeración a sus correspondientes temperaturas de operación (T_1 , T_2) a través de los correspondientes puertos de entrada de refrigerante (13, 14).

En la parte central 10 de la cubierta lateral 9 del criostato flexible 6 también se dispone al menos un puerto de entrada de corriente 15 para proporcionar corriente de excitación a cada bobina superconductora del lado activo 2, habiendo tantos puertos de entrada de corriente 15 como fases y disponiendo cada puerto de entrada de corriente 15 de dos entradas de corriente. También se dispone en dicha parte central 10 (o en otra parte del criostato flexible, por ejemplo, en la cubierta inferior 8) de una toma de vacío 16 para establecer el vacío en el interior del criostato flexible 6 mediante un sistema de vacío externo, no mostrado en la Figura 1A.

En las realizaciones mostradas en las Figuras 1A y 1B el criostato flexible 6 tiene una geometría externa cilíndrica, donde la parte central 10 puede tener el mismo radio o un radio diferente (en el ejemplo de las figuras, un radio menor) que el radio de la cubierta superior 7, de la cubierta inferior 8 y de los fuelles (11, 12). La pantalla antirradiación 5 representada en estas figuras es también cilíndrica. Sin embargo, otras disposiciones y formas geométricas son posibles tanto para la pantalla antirradiación 5 como para el criostato flexible 6, por ejemplo, una geometría prismática.

35

En la **Figura 2** se muestra, de acuerdo a una vista en sección longitudinal media, un esquema básico y conceptual de la máquina eléctrica lineal 1 con geometría cilíndrica, donde el fuelle superior 11 está en una posición extendida y el fuelle inferior 12 en una posición comprimida, similar a la posición de la Figura 1B. En esta realización, la cubierta superior 7 y la cubierta inferior 8 del criostato flexible 6 están unidas rígidamente entre sí a través del lado pasivo 3 y de elementos aislantes térmicos 20 dispuestos en los extremos del lado pasivo 3 y que contactan directamente el lado pasivo 3 con la cubierta superior 7 y la cubierta inferior 8.

En otra realización, como la mostrada en el esquema de la **Figura 3** (también una vista en sección longitudinal), la cubierta superior 7 y la cubierta inferior 8 del criostato flexible 6 están unidas rígidamente entre sí a través de una pared lateral interna 26 del criostato flexible 6, y la máquina dispone de un cilindro de guiado 21 interno que dispone de guías o rodamientos 22 para el guiado del criostato flexible 6 y del lado pasivo 3 en su movimiento lineal. El criostato flexible 6 está mecánicamente unido a un actuador lineal externo, como por ejemplo un pistón 30 accionado por el movimiento de las olas. En la parte izquierda de la Figura 3 se representa la disposición de la máquina cuando el pistón 30 está en su posición superior, estando el fuelle superior 11 estirado y el fuelle inferior 12 encogido. En la parte derecha de la figura se representa la disposición cuando el pistón 30 está en la posición inferior, con el fuelle superior 11 encogido y el fuelle inferior 12 estirado.

La Figura 3 muestra una realización de la invención para una máquina eléctrica que tiene un lado activo 2 con bobinas superconductoras y que está rodeada de una pantalla antirradiación 5 refrigerada, mediante un segundo circuito de refrigeración 18, por un gas criogénico a una segunda temperatura de operación T_2 (en el rango entre los 30 K a 80 K, aproximadamente) y que garantiza que las pérdidas térmicas que tiene que extraer el refrigerante del lado activo 2 estén por debajo de la capacidad refrigeradora de un sistema de refrigeración criogénica 19 externo a la máquina.

30

Al otro lado de la pantalla antirradiación 5, y separada la distancia correspondiente al entrehierro 4, se encuentra el lado pasivo 3, que se mueve en un movimiento alternativo. El lado activo 2 se encuentra también refrigerado mediante la circulación, a través de un primer circuito de refrigeración 17, de un refrigerante líquido o gas a una primera temperatura de operación T_1 necesaria para que sus bobinas sean superconductoras y

35

puedan transportar la corriente de operación, normalmente en torno a 10 K. Esta primera temperatura de operación T_1 podrá variar para cada diseño en función del tipo de superconductor o de su punto de trabajo en la línea de carga.

5 El sistema de refrigeración criogénica 19 está conectado a los circuitos de refrigeración (17, 18) través de correspondientes puertos de entrada de refrigerante (13, 14). Como sistema de refrigeración criogénica 19 con doble circuito de refrigeración se puede emplear cualquiera de los ya conocidos en el estado del arte, como por ejemplo el divulgado en el documento de patente WO2016091990-A1.

10

El lado activo 2, el lado pasivo 3 y la pantalla antirradiación 5 se encuentran alojados en un criostato flexible 6 formado por una parte central 10 rígida y dos fuelles (11, 12), uno situado en la parte superior y otro en la parte inferior, de manera que a medida que el lado pasivo 3 avanza, el criostato flexible 6 adapta su geometría a la posición de dicho lado pasivo 3. La parte central 10 está unida a una estructura fija 23 externa a la máquina. A su vez, la pantalla antirradiación 5 está sujeta a la parte central 10 por unos elementos de sujeción 24 con aislante térmico en la parte de contacto con la pantalla antirradiación 5. Tanto el actuador lineal (pistón 30) de la máquina como el sistema de refrigeración criogénico 19 son externos al criostato flexible 6, por lo que se emplean pasamuros estancos en la parte central 10 y en la pantalla antirradiación 5 por los que se introduce el refrigerante en los circuitos de refrigeración, se suministra corriente eléctrica a las bobinas superconductoras, y se realiza el vacío a través de la toma de vacío 16.

15

Para guiar el movimiento de los fuelles (11, 12), se dispone un sistema de guiado por la parte exterior externa del criostato flexible 6, implementado por ejemplo mediante unas guías laterales externas 25, paralelas a la dirección de movimiento lineal del lado pasivo 3, y un sistema de guiado por la parte interior externa del criostato flexible 6, implementado en el ejemplo de la figura mediante unos rodamientos 22 ubicados entre la pared lateral interna 26 del criostato flexible 6 y el cilindro de guiado 21. El lado pasivo 3 está fijado mediante al menos un elemento aislante térmico 27 a al menos una de las paredes del criostato flexible 6, ya sea la cubierta superior 7, la cubierta inferior 8 o, como en el ejemplo representado en la figura, la pared lateral interna 26.

20

25

La **Figura 4A** representa una vista en perspectiva de un ejemplo de realización de la máquina eléctrica lineal 1 con configuración cilíndrica, donde se aprecian los distintos

30

elementos externos de la máquina cuando esta se encuentra en una posición intermedia. La cubierta superior 7 dispone de unos medios de sujeción, alojamiento 31, a través del cual se puede acoplar un actuador lineal externo, como por ejemplo un pistón 30, preparado para efectuar un desplazamiento lineal alternativo. En la **Figura 4B** se ilustra un corte medio longitudinal de la máquina de la Figura 4A y un detalle ampliado del interior de la máquina en el que se aprecian los puertos de entrada de refrigerante (13, 14), un puerto de entrada de corriente 15 para una fase de las bobinas, el lado activo 2, el lado pasivo 3 y la pantalla antirradiación 5 que rodea al lado activo 2 y con una de sus paredes dispuesta en el entrehierro 4 que separa el lado activo 2 del lado pasivo 3. La toma de vacío 16 no se representa en esta figura. La **Figura 4C** representa un corte medio longitudinal de la máquina con el fuelle inferior 12 extendido.

En las figuras a continuación se muestran detalles de la máquina eléctrica lineal 1 de la Figura 4A.

15

Las **Figuras 5A** y **5B** muestran el lado activo 2 en vista en perspectiva y en corte, respectivamente, el cual incorpora bobinas superconductoras 40 devanadas alrededor de un núcleo de material ferromagnético 41 correspondiente a cada bobina. En la **Figura 5C** se muestra la entrada de corriente a una fase de las bobinas a través de dos entradas de corriente (42a, 42b) de un puerto de entrada de corriente 15. La **Figura 5D** ilustra una posible realización del primer circuito de refrigeración 17, el circuito de refrigeración del lado activo 2. El refrigerante entra a dicho circuito a una primera temperatura de operación T_1 a través de una entrada de refrigerante 46, circula perimetralmente por unos primeros conductos 47 que refrigeran al núcleo de material ferromagnético 41 (y, con ello, a las bobinas superconductoras 40) del lado activo 2 y abandona el circuito a través de una salida de refrigerante 48 del primer puerto de entrada de refrigerante 13.

En las **Figuras 6A-6C** se representan una posible realización de la pantalla antirradiación 5 con geometría cilíndrica, que comprende una pared lateral cilíndrica 43 y una tapa superior 44, que descansa en un soporte, a través de la cual se inyecta refrigerante a una segunda temperatura de operación T_2 proveniente del segundo puerto de entrada de refrigerante 14. La tapa superior 44 está fijada a la pared lateral cilíndrica 43 a través de unos medios de fijación 45 que aseguran un buen contacto térmico entre la tapa superior 44 refrigerada y la pared lateral cilíndrica 43 para que ésta se enfríe. La Figura 6A muestra la pantalla antirradiación 5 en una vista tridimensional, la Figura 6B una vista en

35

sección longitudinal y la Figura 6B representa la pantalla antirradiación 5 en modo transparente.

En la **Figura 7** se ilustra un detalle del lado pasivo 3, formado por polos de material ferromagnético 50 o, alternativamente, por imanes permanentes. Finalmente, en la **Figura 8** se muestra el conjunto formado por el lado activo 2, el primer circuito de refrigeración 17 encargado de refrigerar el lado activo 2 a través de unos primeros conductos 47, un puerto de entrada de corriente 15 para la alimentación de corriente a una fase de las bobinas, y el segundo circuito de refrigeración 18 encargado de refrigerar la pantalla antirradiación 5 (de la cual solo se muestra el soporte de la tapa superior 44 y parte de la pared lateral interior) a través de unos segundos conductos 51.

La **Figura 9** ilustra una vista superior de una realización de la presente invención aplicada a una máquina de reluctancia conmutada con geometría acimutal, como la divulgada por ejemplo en la patente ES2728442-B2, en la que se representa el lado activo 2, el lado pasivo 3, la pantalla antirradiación 5 y el criostato flexible 6 (en particular, su pared lateral interna 26 y su cubierta lateral 9 externa con los fuelles y la parte central). En dicha figura se muestra la pantalla antirradiación 5 envolviendo a los diferentes núcleos de material ferromagnético 41 del lado activo 2 y a las correspondientes bobinas superconductoras 40 devanadas a su alrededor, pero sin envolver a los polos de material ferromagnético 50 del lado pasivo 3. Al menos las paredes interiores 53 de la pantalla antirradiación 5 que están dispuestas en los entrehierros 4 son paredes no metálicas para evitar corrientes inducidas en su interior. En la realización de la figura, los polos de material ferromagnético 50 del lado pasivo 3 están unidas mediante unos radios a una estructura de soporte 54 cilíndrica, la cual a su vez es solidaria a través de unos elementos aislantes térmicos 55 a la pared lateral interna 26 del criostato flexible 6 que conecta rígidamente la cubierta superior 7 con la cubierta inferior 8. De esta forma, el movimiento lineal alternativo de un actuador lineal externo que actúa sobre la cubierta superior 7 y/o la cubierta inferior 8 del criostato flexible 6 es transmitido directamente al lado pasivo 3, y viceversa.

REIVINDICACIONES

1. Máquina eléctrica lineal superconductor de movimiento alternativo, que comprende:

5 un lado activo (2), inmóvil y que incorpora una o más bobinas superconductoras (40) devanadas alrededor de un núcleo de material ferromagnético (41) correspondiente a cada bobina;

10 un lado pasivo (3), enfrentado al lado activo (2) y separado de este por al menos un entrehierro (4), donde el lado pasivo (3) es movable de acuerdo a un movimiento lineal alternativo e incorpora uno o más polos de material ferromagnético (50) y/o imanes permanentes;

caracterizada por que la máquina eléctrica lineal (1) comprende adicionalmente:

una pantalla antirradiación (5) que envuelve al lado activo (2) sin envolver al lado pasivo (3), y con al menos una pared (43, 53) no metálica dispuesta en al menos un entrehierro (4);

15 un criostato flexible (6) que aloja en su interior al lado activo (2), al lado pasivo (3) y a la pantalla antirradiación (5) en una condición de vacío, y que comprende:

20 una cubierta superior (7) y una cubierta inferior (8) unidas rígidamente entre sí y solidarias al lado pasivo (3) a través de al menos un elemento aislante térmico (20, 27, 55), donde al menos una de dichas cubiertas (7, 8) es acoplable a un actuador lineal (30) externo; y

25 una cubierta lateral (9) formada por una parte central (10) rígida solidaria al lado activo (2) y a la pantalla antirradiación (5) y acoplable a una estructura fija (23) externa, y dos fuelles (11, 12) que conectan respectivamente de manera flexible dicha parte central (10) con la cubierta superior (7) y con la cubierta inferior (8);

un primer circuito de refrigeración (17) para refrigerar las bobinas superconductoras (40) a una primera temperatura de operación (T_1) en la que operan en un estado superconductor;

30 un segundo circuito de refrigeración (18) para refrigerar la pantalla antirradiación (5) a una segunda temperatura de operación (T_2), superior a la primera temperatura de operación (T_1); y

puertos de entrada de refrigerante (13, 14) ubicados en la parte central (10) de la cubierta lateral (9) del criostato flexible (6) para el suministro de refrigerante a los circuitos de refrigeración (17, 18) a sus correspondientes temperaturas de operación (T_1 , T_2).

35

2. Máquina eléctrica lineal según la reivindicación 1, caracterizada por que comprende una toma de vacío (16) ubicada en la parte central (10) de la cubierta lateral (9) del criostato flexible (6) para establecer el vacío en el interior del criostato flexible (6) mediante un sistema de vacío externo.

5

3. Máquina eléctrica lineal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que comprende al menos un puerto de entrada de corriente (15) ubicado en la parte central (10) de la cubierta lateral (9) del criostato flexible (6) para proporcionar corriente de excitación a cada bobina superconductora (40) del lado activo (2).

10

4. Máquina eléctrica lineal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el criostato flexible (6) es cilíndrico o prismático.

15

5. Máquina eléctrica lineal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el criostato flexible (6) comprende unas guías laterales externas (25), paralelas a la dirección de movimiento lineal del lado pasivo (2), para el guiado de los fuelles (11, 12).

20

6. Máquina eléctrica lineal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la cubierta superior (7) y la cubierta inferior (8) del criostato flexible (6) están unidas rígidamente entre sí a través de un cilindro de guiado (21) interno que dispone de guías o rodamientos (22) para el guiado del lado pasivo (3) en su movimiento lineal.

25

7. Máquina eléctrica lineal según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada por que la cubierta superior (7) y la cubierta inferior (8) del criostato flexible (6) están unidas rígidamente entre sí a través del lado pasivo (3) y de elementos aislantes térmicos (20) dispuestos en los extremos del lado pasivo (3) y que contactan directamente con las cubiertas (7, 8).

30

8. Máquina eléctrica lineal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la pantalla antirradiación (5) es cilíndrica o prismática.

9. Máquina eléctrica lineal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que comprende un sistema de refrigeración criogénica (19) externo al criostato flexible (6) y configurado para suministrar refrigerante a los circuitos de refrigeración (17, 18) a sus correspondientes temperaturas de operación (T_1 , T_2) a través de los correspondientes puertos de entrada de refrigerante (13, 14).
- 5

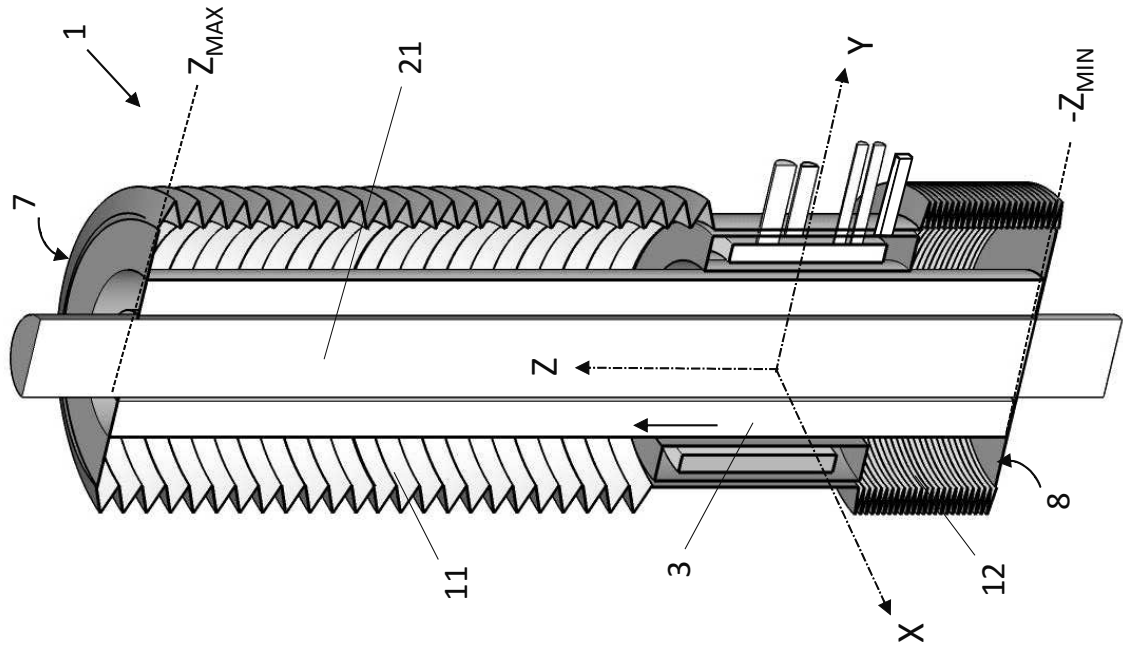


Fig. 1B

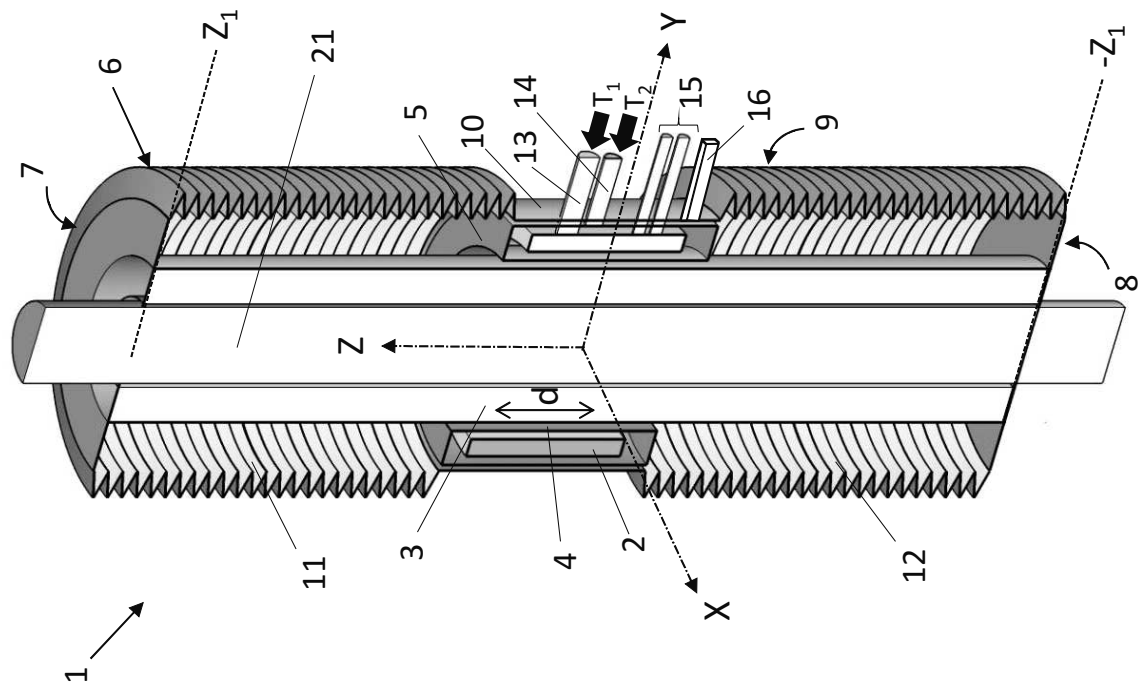


Fig. 1A

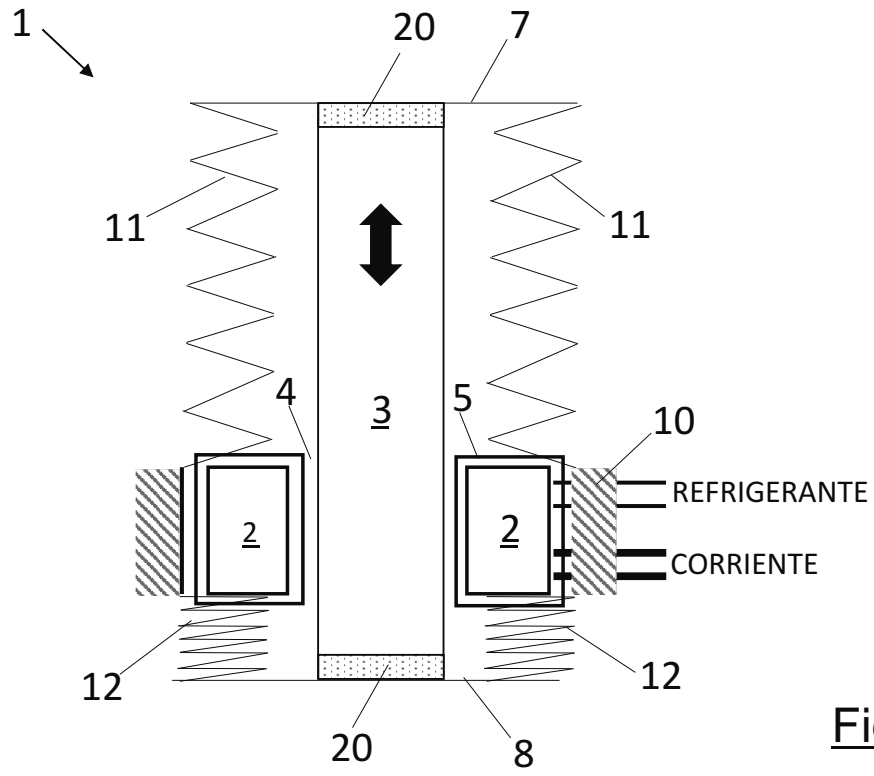


Fig. 2

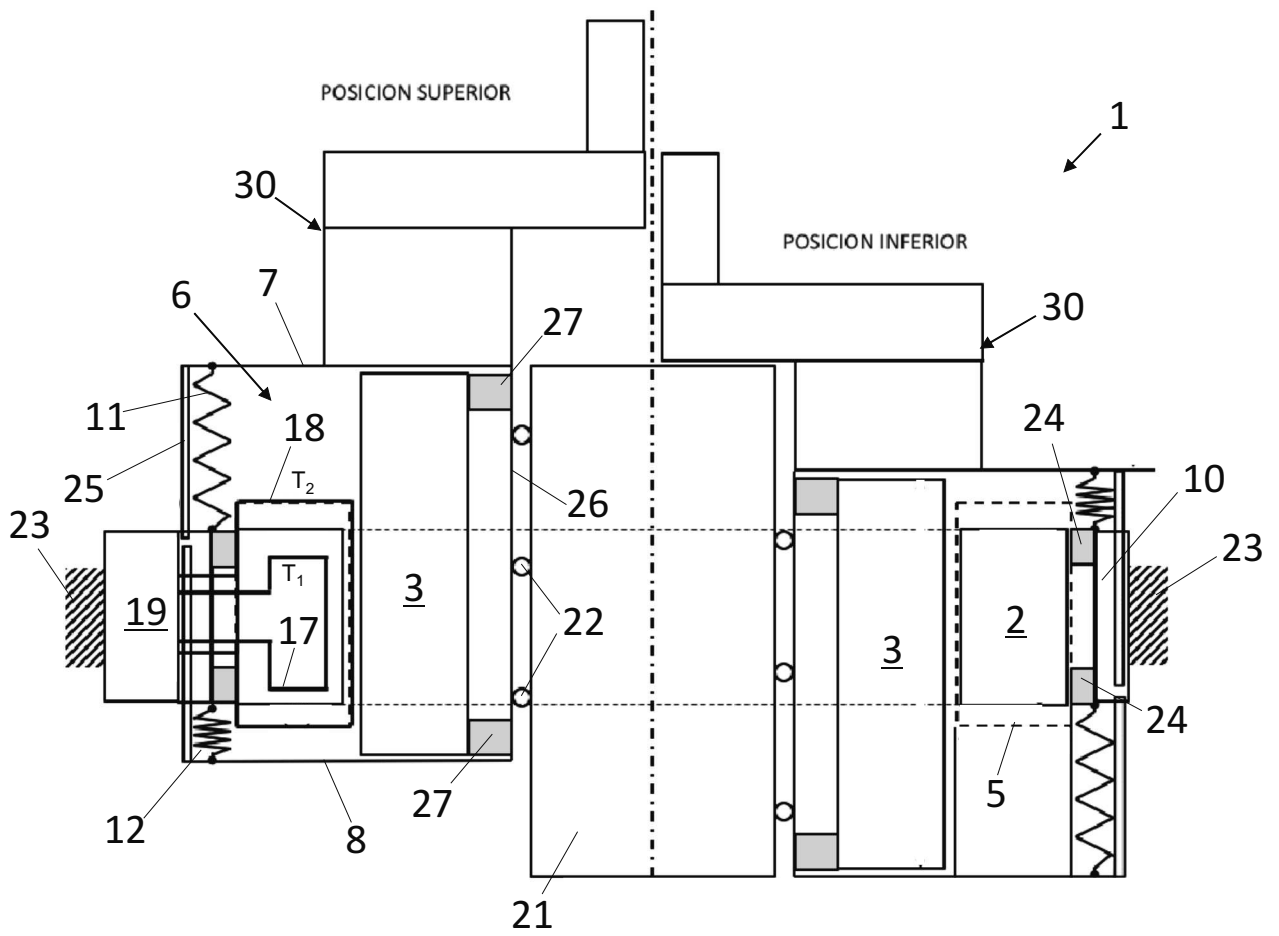


Fig. 3

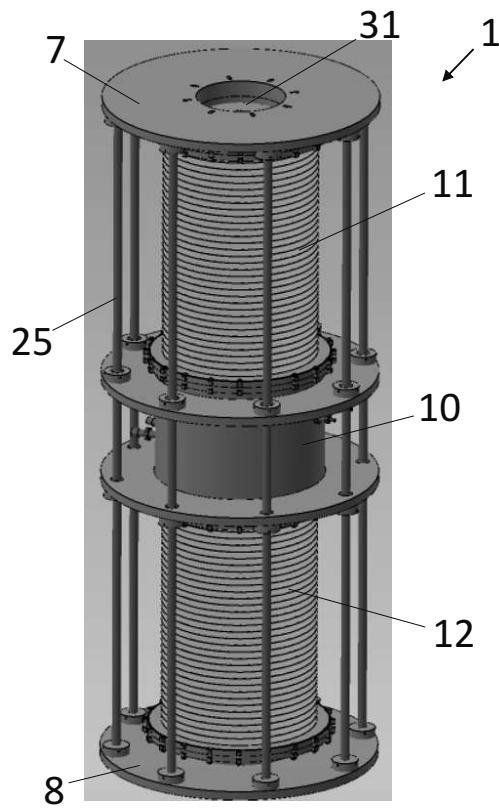


Fig. 4A

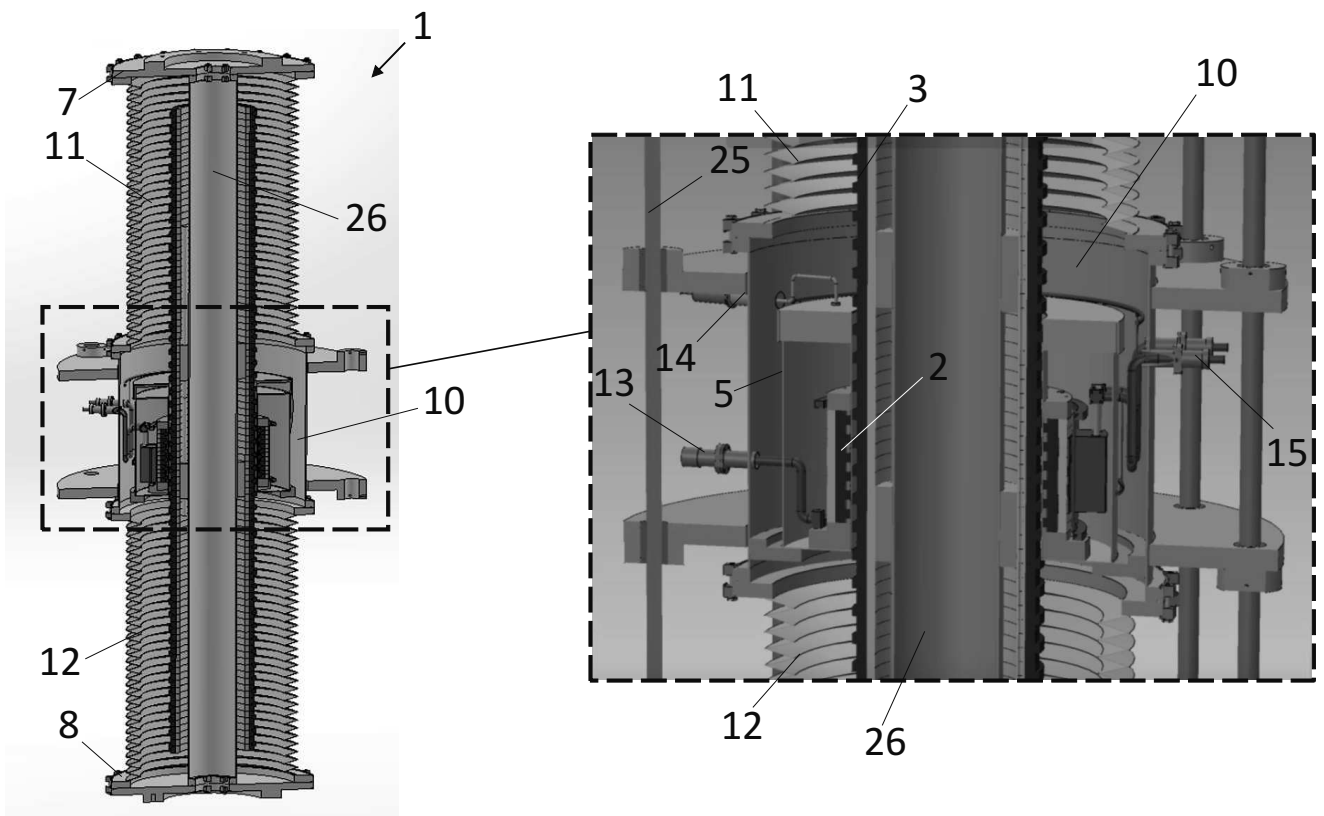


Fig. 4B

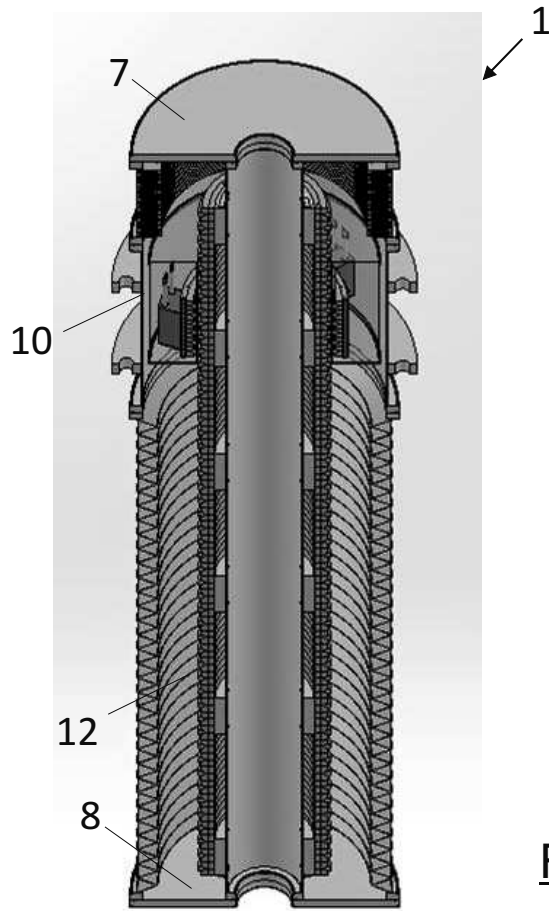


Fig. 4C

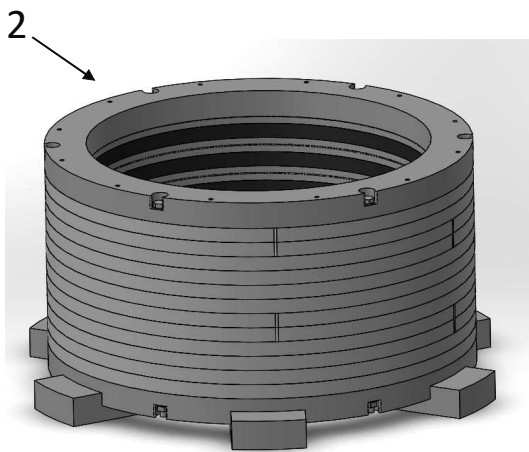


Fig. 5A

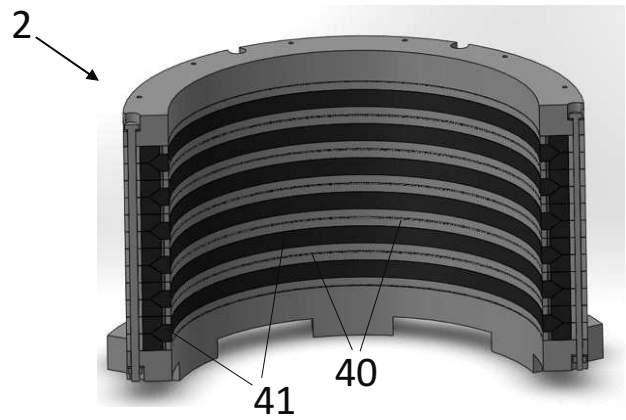
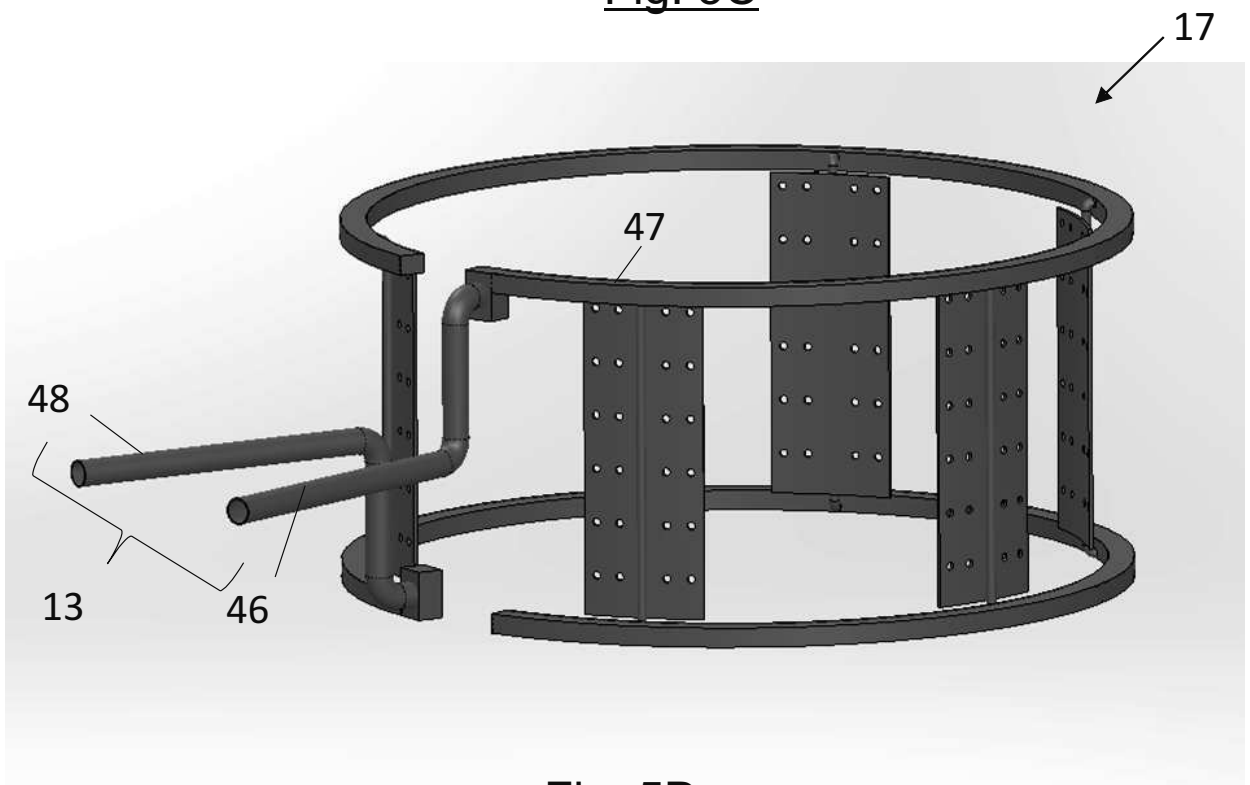
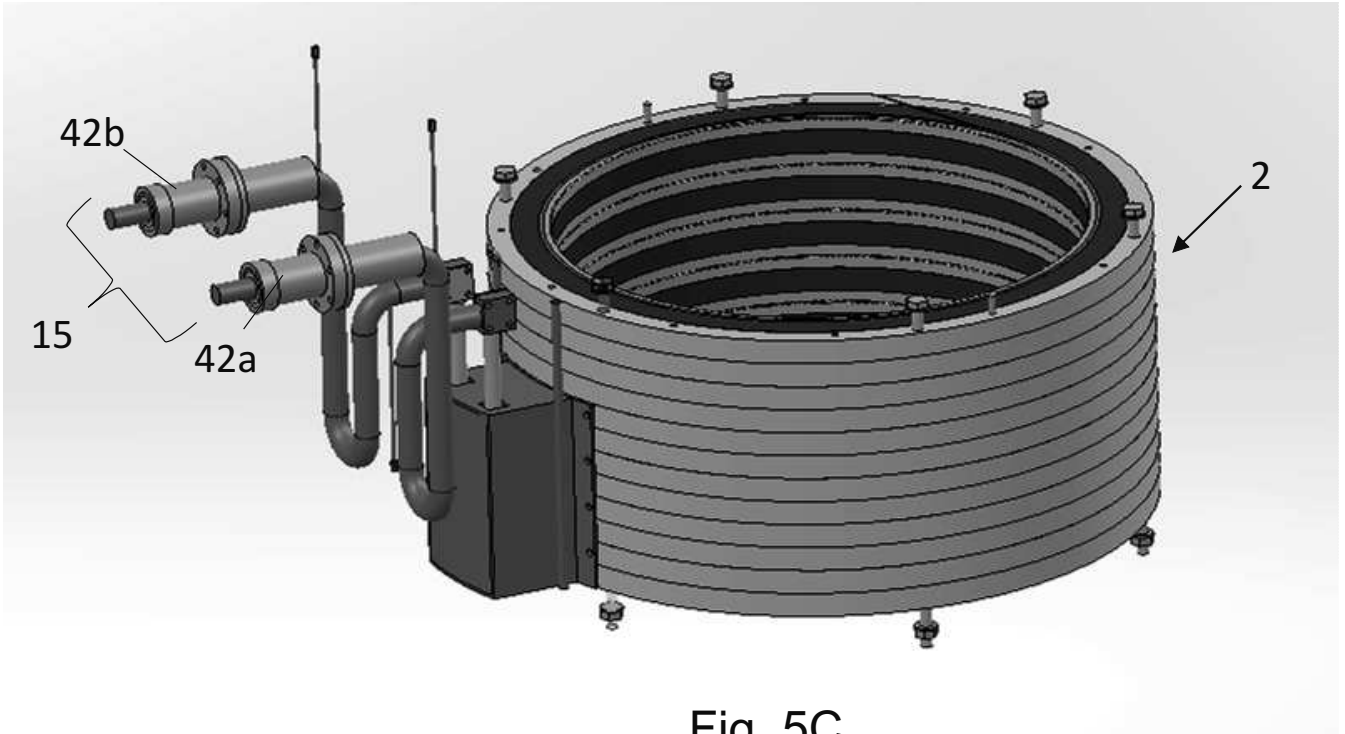


Fig. 5B



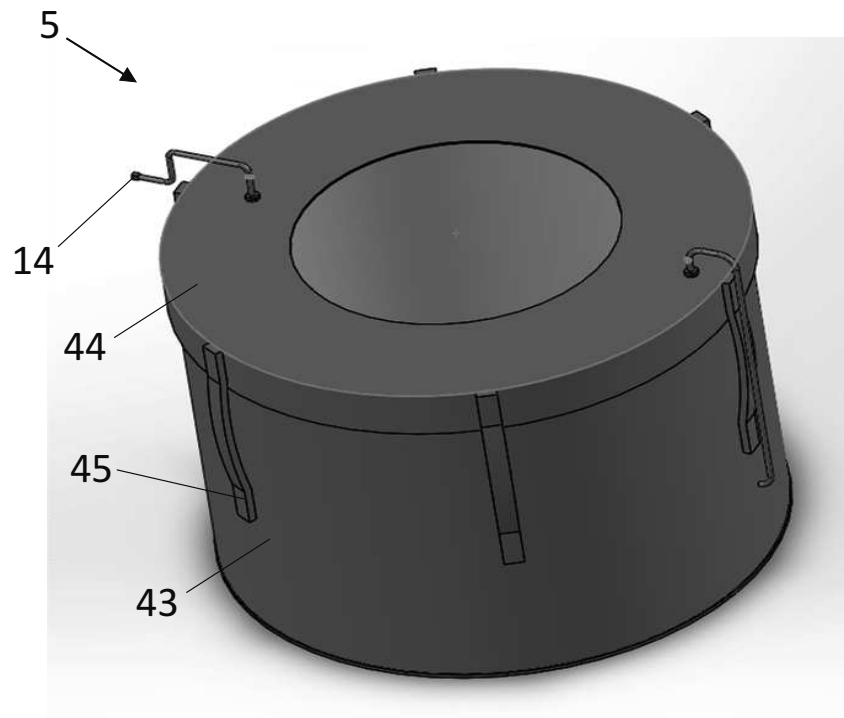


Fig. 6A

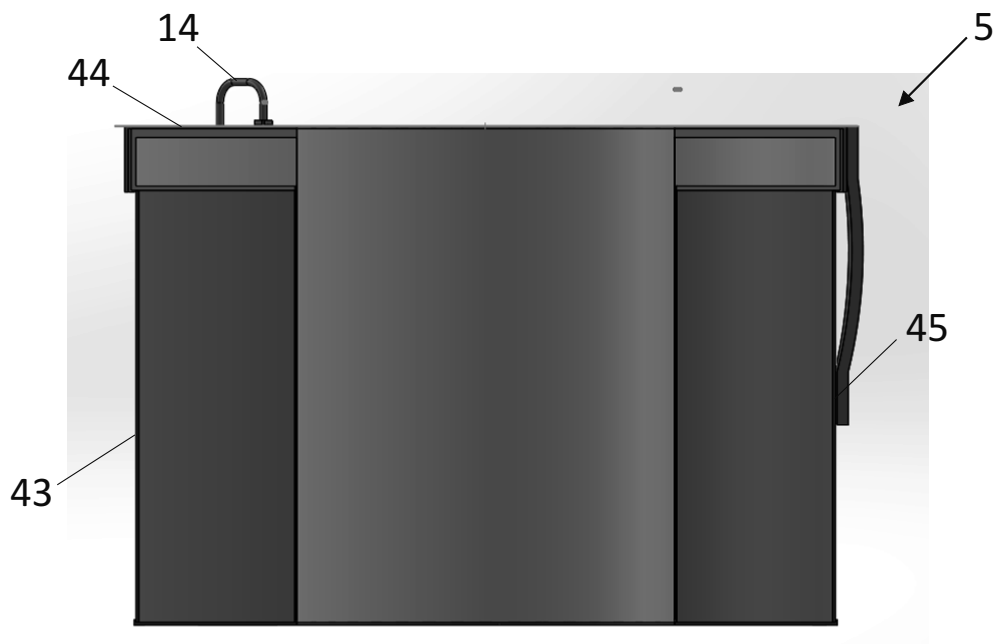


Fig. 6B

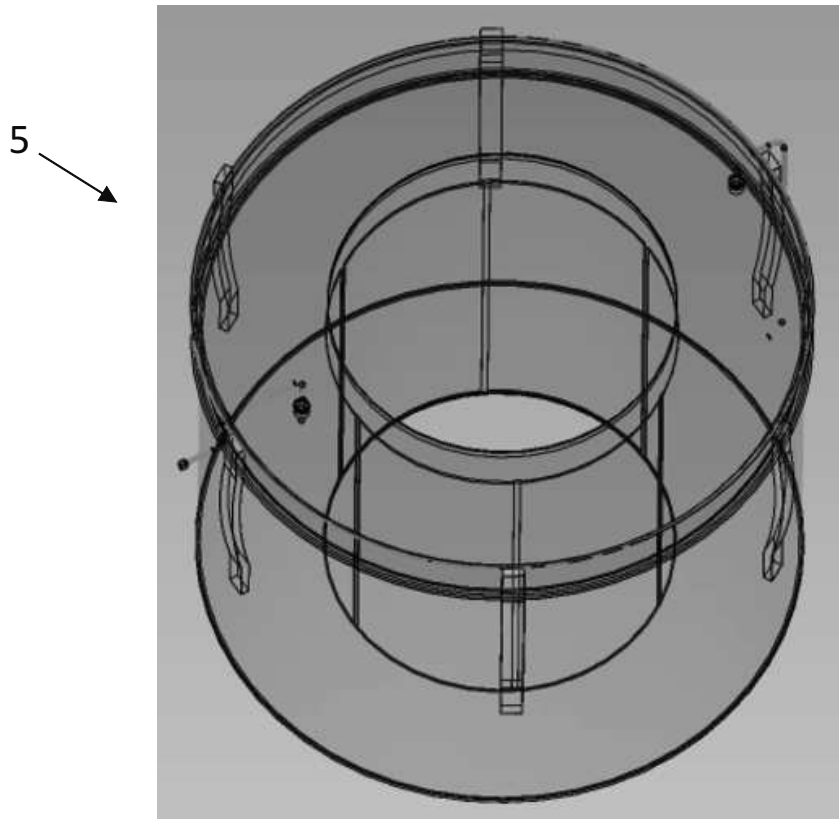


Fig. 6C

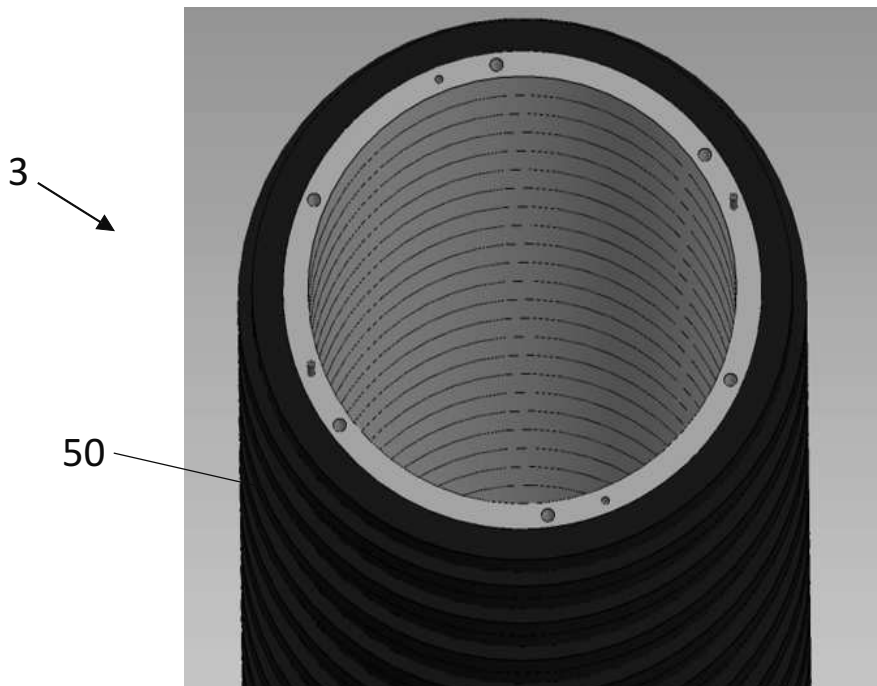


Fig. 7

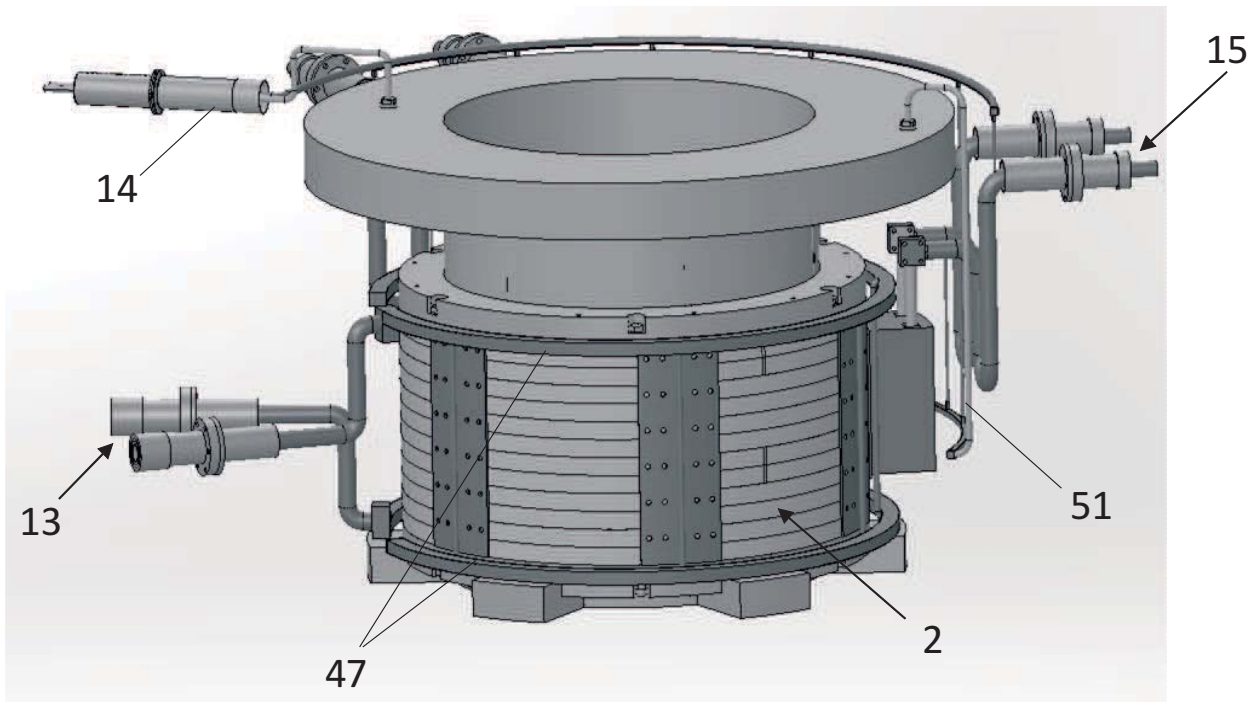


Fig. 8

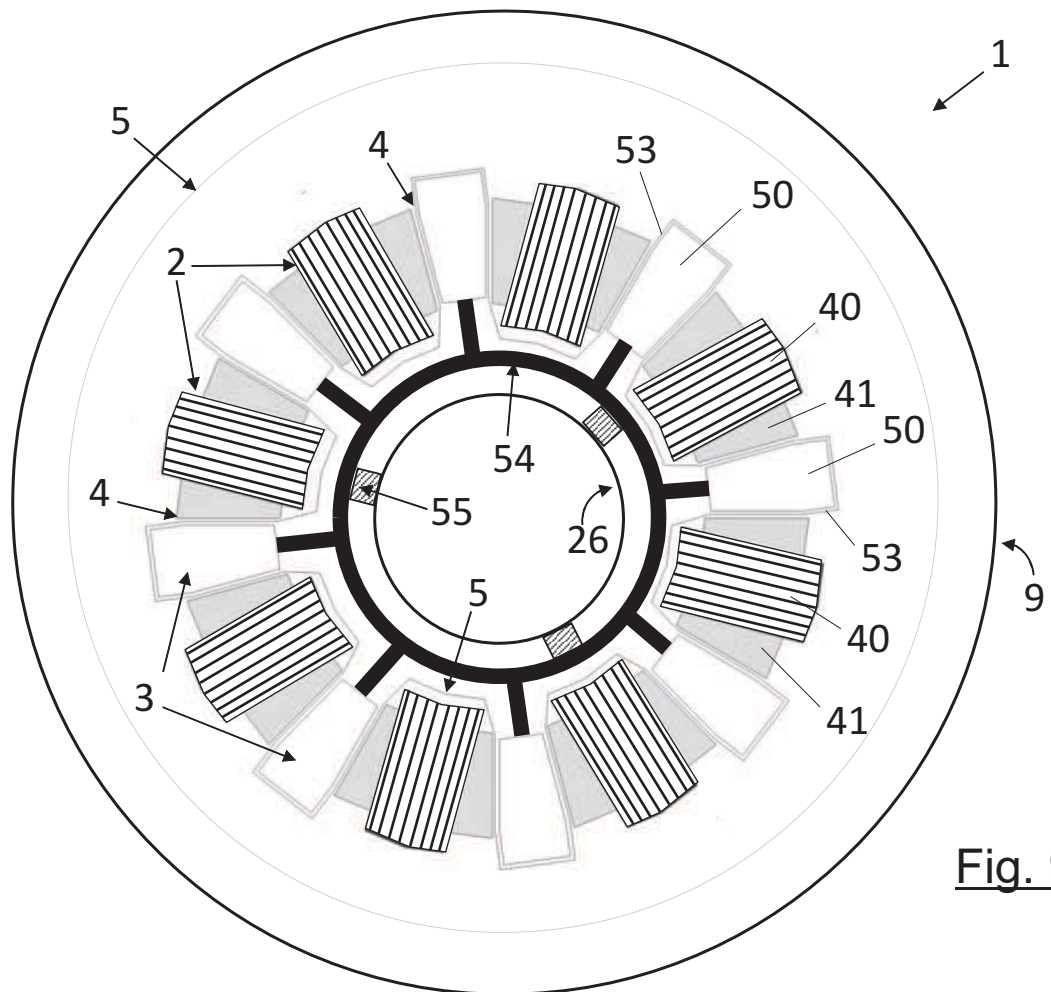


Fig. 9