

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 701 052**

51 Int. Cl.:

H02K 49/10 (2006.01)

H02K 7/09 (2006.01)

F16C 39/06 (2006.01)

F16C 32/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.07.2014 PCT/GB2014/051993**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.01.2015 WO15001331**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2014 E 14736928 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018 EP 3017529**

54 Título: **Reducción de fuerzas de rodamiento en una máquina eléctrica**

30 Prioridad:

02.07.2013 GB 201311852

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

20.02.2019

73 Titular/es:

RODGER, DAVID (50.0%)

87 Lyncombe Hill

Bath BA1 4PJ, GB y

LAI, HONG CHENG (50.0%)

72 Inventor/es:

RODGER, DAVID y

LAI, HONG CHENG

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 701 052 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

Reducción de fuerzas de rodamiento en una máquina eléctrica

Esta invención se refiere a la reducción de fuerzas de rodamiento en una máquina eléctrica.

5 Las máquinas eléctricas en forma de generadores son muy conocidas, en las cuales se utiliza una fuente primaria de energía para hacer girar un cuerpo, y este rotor coopera con un estator para producir una corriente eléctrica. Sin embargo, cuando la fuente primaria de energía es una de las fuentes comunes de energía renovable, como el viento, las mareas o las olas, el rotor normalmente se mueve con bastante lentitud, al menos en comparación con las 3000 rpm que se obtienen en una estación eléctrica convencional.

10 Una solicitud de patente reciente (EP-A-2335344) describe máquinas que tienen un sistema de engranaje magnético integrado que convierte la rotación lenta de una fuerza motriz primaria en una rotación más rápida de un rotor en un generador. Las matrices de imanes de doble cara se emplean para producir un sistema de engranaje magnético de gran densidad de torque que resulta en una máquina más pequeña.

15 Sin embargo, en algunos casos no es necesaria una alta densidad de torque. Una solicitud de patente posterior (PCT/GB2012/053143) describe máquinas que utilizan una matriz de imanes que cooperan con una matriz de polos ferromagnéticos salientes para producir un efecto de engranaje. En algunas aplicaciones, esto podría ser menos costoso y más robusto que el sistema de imanes de doble cara anterior. Estos dos conjuntos de máquinas anteriormente descritos pueden funcionar como motores o generadores.

Para mayor comodidad, estas máquinas anteriores se denominan aquí máquinas Magnéticas (DSM) de Doble Cara o máquinas Magnéticas (MR) de Reluctancia respectivamente.

20 En común con muchas otras máquinas eléctricas, estas nuevas máquinas incluyen rotores giratorios y se requieren rodamientos para impulsarlos. Se pueden usar rodamientos mecánicos convencionales o rodamientos lisos, rodamientos magnéticos o rodamientos de fluido. Las fuerzas de rodamiento pueden ser altas en estos dos conjuntos de máquinas descritos anteriormente.

25 Las elevadas fuerzas de los rodamientos son desventajosas para los rodamientos convencionales de muchas maneras, por ejemplo, mayor coste inicial y masa, menor tiempo de servicio, mayor ruido y menor eficiencia.

En el caso de los rodamientos magnéticos activos, se suministra potencia eléctrica a las bobinas que producen un campo magnético que se utiliza para controlar la posición del rotor giratorio. Las fuerzas de rodamiento más grandes aquí dan lugar a más potencia, electroimanes más grandes y menor eficiencia.

30 El documento US2013/126669 divulga un dispositivo de accionamiento eléctrico, en el que se menciona que uno o más rodamientos pueden ser rodamientos magnéticos.

El documento US-5,856,719 divulga un accionamiento magnético con un rodamiento de empuje magnético.

El documento US2013/033136 divulga un accionamiento magnético adicional con un rodamiento de empuje magnético.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un accionamiento magnético, que comprende:

35 una fuerza motriz primaria, que tiene una primera matriz de imanes en una primera superficie del mismo;

un rotor, que tiene una segunda matriz de imanes en una superficie exterior del mismo, estando situada la superficie exterior del rotor adyacente a la primera superficie de la fuerza motriz primaria, de modo que el movimiento de la fuerza motriz primaria provoca la rotación del rotor alrededor de un eje de rotación;

40 un miembro de soporte, que tiene un árbol para definir el eje de rotación del rotor, y que tiene una tercera matriz de imanes,

en la que una tercera matriz de imanes se extiende paralela al eje de rotación del rotor, en la que se proporciona una cuarta matriz de imanes en el rotor extendiéndose paralelamente al eje de rotación del rotor, y en donde una tercera matriz de imanes coopera con la cuarta matriz de imanes para formar un rodamiento magnético para resistir fuerzas sobre el rotor que actúa a lo largo de su eje de rotación.

45 Por lo tanto, se describe cómo se pueden reducir las fuerzas de rodamiento en las máquinas DSM y MR.

Para una mejor comprensión de la presente invención, y para mostrar cómo se puede poner en práctica, ahora se hará referencia, a modo de ejemplo, a los dibujos adjuntos, en los cuales:

La Figura 1 es un diagrama esquemático, que ilustra un parte de una máquina de acuerdo con las invenciones anteriores.

La figura 2 es un diagrama esquemático, que ilustra una parte de una máquina de acuerdo con las invenciones anteriores, que muestra las fuerzas principales y los torques.

La Figura 3 es un diagrama esquemático, que ilustra cómo las fuerzas radiales en rodamientos pueden reducirse sustancialmente por una disposición alternativa de los rotores primero y segundo.

- 5 La Figura 4 es un diagrama esquemático, que ilustra cómo las fuerzas radiales en rodamientos pueden reducirse sustancialmente por una segunda disposición alternativa del primer y segundo rotores.

Las figuras 5a y 5b son vistas en sección transversal a través de un rotor de la máquina que se muestra en la figura 1, la figura 3 o la figura 4.

- 10 La Figura 6 muestra una primera disposición de imanes en la primera y segunda superficies de rodamientos en la máquina de la Figura 5.

La figura 7 muestra una segunda disposición alternativa de imanes en la primera y segunda superficies de rodamientos en la máquina de la figura 5.

La Figura 8 muestra una tercera disposición alternativa de imanes en la primera y segunda superficies de rodamientos en la máquina de la Figura 5.

- 15 La figura 9 muestra una primera disposición de polos e imanes salientes ferromagnéticos en la primera y segunda superficies de rodamientos en la máquina de la figura 5.

La Figura 10 muestra una segunda disposición alternativa de polos salientes ferromagnéticos e imanes en la primera y segunda superficies de rodamientos en la máquina de la Figura 5.

- 20 La Figura 11 muestra una tercera disposición alternativa de polos salientes ferromagnéticos e imanes en la primera y segunda superficies de rodamientos en la máquina de la Figura 5.

La Figura 12 muestra otro aspecto de la disposición de los imanes para el rodamiento de tipo cortante que se muestra en la Figura 5.

La figura 13 ilustra la variación de la fuerza con el desplazamiento en un rodamiento como se ilustra.

La Figura 14 es un diagrama esquemático, que ilustra un tipo de atracción convencional de rodamiento magnético.

- 25 La Figura 15 es una vista en sección transversal alternativa a través de la parte que se muestra en la Figura 1.

La Figura 16 muestra otro aspecto del rodamiento magnético tipo repulsión que se muestra en la Figura 15.

- 30 La Figura 1 muestra la estructura general de una máquina 8 eléctrica de acuerdo con las dos solicitudes de patente anteriores (EP-A-2335344 y PCT/GB2012/053143). La máquina eléctrica se describe aquí en forma de un generador, en el que se usa una rotación de un cuerpo para generar potencia eléctrica. Sin embargo, los expertos en la técnica apreciarán que se puede usar el mismo principio para construir un motor, en el que se aplica potencia eléctrica, y se usa para hacer que un cuerpo gire.

- 35 La máquina 8 de la Figura 1 tiene un primer rotor 10, que está conectado a un eje 12 mediante una estructura de soporte que se muestra aquí en forma de radios 14. La rotación del eje 12 hace que el rotor 10 gire alrededor del eje definido por el eje. La rotación del eje 12 puede ser impulsada por una fuente de potencia tal como una turbina eólica, una máquina de corriente de mareas o un convertidor de energía de olas, y aunque, por supuesto, puede ser impulsada por cualquier fuente de potencia, la máquina de la presente invención es particularmente adecuada para situaciones en las que la rotación de conducción es a una velocidad relativamente baja, por ejemplo, a aproximadamente 20 rpm en el caso de una turbina eólica típica de 1,5 MW. Además, aunque la Figura 1 muestra que el rotor 10 está siendo impulsado a través del eje 12, puede ser impulsado directamente por un cuerpo que está siendo hecho girar por la
- 40 fuente de potencia externa.

El rotor 10 es generalmente toroidal. Es decir, tiene una forma anular, que se puede generar al girar un círculo alrededor de un eje que se encuentra en el plano del círculo, pero fuera del círculo. Este eje es entonces el eje alrededor del cual se hace girar el rotor.

- 45 Sin embargo, la superficie del rotor no es un anillo completo. Específicamente, se omite la parte de la sección transversal circular que se encuentra más alejada del eje de rotación, dejando un espacio 16 anular.

Visible a través del espacio 16 en la Figura 1 hay un segundo rotor 18 cilíndrico, que tiene una sección transversal circular exterior que es ligeramente más pequeña que la sección transversal circular interior del rotor 10.

Aunque la Figura 1 muestra solo un segundo rotor 18 cilíndrico, muchos de estos segundos rotores pueden ubicarse de hecho dentro del primer rotor.

La Figura 2 es una vista esquemática de las máquinas DSM y MR.

Como se describió en la solicitud DSM anterior (EP-A-2335344), se pueden proporcionar disposiciones helicoidales de imanes en las superficies enfrentadas del rotor 10 y el segundo rotor 18 de tal manera que un torque T10 aplicado al rotor 10 dará lugar a un torque T18 resultante en rotor 18 y viceversa.

5 En la solicitud de MR anterior (PCT/GB2012/053143) se puede proporcionar una disposición helicoidal de imanes y polos salientes de material ferromagnético en las superficies enfrentadas del rotor 10 y el segundo rotor 18 de manera tal que un torque T10 aplicado al rotor 10 dará lugar a un torque T18 resultante en el rotor 18 y viceversa. Los imanes se pueden colocar en la superficie del rotor 10, mientras que los polos salientes se proporcionan en la superficie del rotor 18. Alternativamente, los polos salientes pueden disponerse en la superficie del rotor 10, mientras que los imanes se proporcionan en la superficie del rotor 18.

En los sistemas DSM y MR, así como en el torque deseado que se produce, también hay algunas fuerzas indeseables presentes en el sistema. Uno de los propósitos de la presente invención es reducir los niveles de las fuerzas indeseables.

15 La figura 2 muestra la fuerza radial en el rotor 18 etiquetado R18. Esta fuerza actúa principalmente a lo largo de una superficie normal a la superficie común de los rotores 10 y 18 y tendrá un resultado principalmente en la dirección radial del rotor 18 que se muestra como R18. Esta fuerza provoca una carga radial indeseable en los rodamientos que soportan el rotor 18. Si se considera que R18 es más grande de lo conveniente, puede volverse insignificante explotando la cancelación de las fuerzas radiales cuando se usa más de un rotor 10 toroidal. Los sistemas que utilizan dos secciones toroidales se han descrito anteriormente en (EPA-2335344 y PCT/GB2012/053143) y se ilustran de nuevo aquí para mayor comodidad en la Figura 3 y la Figura 4.

En el caso de las máquinas DSM y MR 120 ilustradas en la Figura 3, si el rotor 126 está espaciado a una distancia igual entre los dos rotores 122 y 124 de sección toroidal, las fuerzas radiales resultantes en el rotor 126 estarán en direcciones sustancialmente opuestas y se cancelarán sustancialmente.

25 En el caso de las máquinas 130 DSM y MR ilustradas en la Figura 4, si el rotor 136 está espaciado a una distancia óptima entre los dos rotores 132 y 134 de sección toroidal, las fuerzas radiales resultantes en el rotor 136 estarán sustancialmente en direcciones opuestas y se cancelarán sustancialmente.

La figura 2 muestra la fuerza axial en el rotor 18 etiquetada como A18. Esta fuerza actúa principalmente a lo largo del eje del rotor 18. Esta fuerza indeseable está directamente relacionada con el torque T18 requerido, por lo que no se puede cancelar como en el caso de R18. La fuerza axial en el rotor 18 se puede calcular aproximadamente como:

$$30 \quad A18 = T18 * revs18 / (R10 * revs10)$$

Donde revs18 y revs10 son las revoluciones por minuto del rotor 18 y el rotor 10 respectivamente y R10 es la distancia perpendicular entre los ejes de los rotores 10 y 18.

Como ejemplo, utilizando el sistema DSM para diseñar un generador compacto para una turbina eólica de 10 MW, con una multiplicidad de rotores 18, los valores típicos son los siguientes:

35 revs10 = 10 rpm

revs18 = 3000 rpm

T18 = 1000 Nm

R10 = 2 m

Entonces A18 = 150kN o 15 toneladas

40 Se apreciará que la fuerza A18 puede reducirse fácilmente, pero solo a expensas de un generador menos compacto.

Convencionalmente, la fuerza A18 sería transportada por rodamientos mecánicos, que podrían consistir en rodamientos combinados de empuje y fuerza axial, o por un conjunto de rodamientos, algunos de los cuales llevan las fuerzas radiales y otros transportan las fuerzas de empuje, o por una mezcla de varios tipos de rodamientos.

45 Esta invención se refiere a un sistema de imanes dispuestos para contrarrestar alguna o toda la fuerza A18 axial. Solo con fines ilustrativos, las Figuras 5a y 5b muestran una sección transversal a través del rotor 18 (o el rotor 126 en la realización de la Figura 3 o el rotor 136 en la realización de la Figura 4). Sin embargo, la invención permite otras disposiciones similares. El árbol 501 proporciona el eje de rotación del rotor 18, y está restringido a estar estacionario por una estructura de soporte que no se muestra aquí. Una pestaña fija 502 está unida al árbol 501.

La estructura 503 de soporte del imán gira sobre el árbol 501 transportado en los rodamientos 505. Los imanes helicoidales (en el caso de la estructura DSM descrita anteriormente) o los polos salientes helicoidales (en el caso de la estructura MR) están provistos en la superficie 504, dispuestos en el diámetro exterior del cuerpo 503 giratorio.

5 Montados en la pestaña 502 están los rodamientos de empuje magnéticos, que se describen con más detalle a continuación. Los rodamientos 505, que pueden ser los rodamientos descritos anteriormente, como los rodamientos de elementos rodantes mecánicos, los rodamientos deslizantes mecánicos, los rodamientos magnéticos activos o los rodamientos de fluido, están dispuestos para permitir una pequeña cantidad de movimiento en la dirección axial del rotor 18, pero para restringir la estructura 503 dentro de tolerancias industrialmente aceptables en otras direcciones. La fuerza A18 axial actúa sobre la estructura 503 de soporte como resultado de las interacciones electromagnéticas entre la estructura 504 magnética y la disposición magnética correspondiente en el toroide 10, como se describió anteriormente en las solicitudes de patente (EP-A-2335344 y PCT/GB2012/053143).

El espacio 508 definido por la estructura 503 de soporte del imán contiene el motor o generador eléctrico interno como se describió anteriormente (EP-A-2335344 y PCT/GB2012 / 053143).

Parte o toda la fuerza A18 axial aparece a través de los rodamientos de empuje magnéticos.

15 La figura 5a muestra una realización en la que los rodamientos 506 de empuje magnéticos comprenden una primera superficie 26 magnética dispuesta en una superficie orientada hacia el interior de manera radial de la estructura 503 de soporte del imán y una segunda superficie 28 magnética dispuesta en una superficie orientada hacia el exterior de manera radial de un saliente 502a desde la pestaña 502. Los rodamientos 506 de empuje magnéticos en la Figura 5a están, por lo tanto, provistos en una región radialmente externa del espacio 508.

20 La figura 5b muestra una realización en la que los rodamientos 507 de empuje magnéticos comprenden una primera superficie 26 magnética dispuesta en una superficie orientada hacia el interior radialmente de un saliente 502b desde la pestaña 502 y una segunda superficie 28 magnética dispuesta en una superficie orientada hacia el exterior de manera radial de la estructura 503 de soporte magnético. Los rodamientos 507 de empuje magnéticos en la Figura 5b se proporcionan, por lo tanto, en una región radialmente interior del espacio 508.

25 En otras realizaciones, pueden proporcionarse rodamientos de empuje magnéticos en ambas posiciones mostradas en las Figuras 5a y 5b, y/o en una o más posiciones intermedias entre las mostradas en las Figuras 5a y 5b.

El efecto de los rodamientos de empuje magnéticos es reducir o eliminar sustancialmente toda la fuerza axial en los rodamientos 505.

30 En muchas aplicaciones del sistema DSM o MR, la fuerza A18 podría alinearse a lo largo de ambas direcciones posibles y podría ser de una magnitud desconocida. Por ejemplo, en una turbina eólica, la dirección y la fuerza del viento varían. La magnitud de A18, sin embargo, en condiciones normales de funcionamiento, siempre estará entre ciertos límites. Estos límites están determinados por la fuerza de corte máxima alcanzable entre la estructura 504 magnética y la disposición magnética correspondiente en el toroide 10. Esto significa que es posible calcular exactamente cuánto empuje se requiere de los rodamientos 506 o 507 de empuje magnéticos. Si se dispone que la capacidad de fuerza de corte máxima de los rodamientos 506 o 507 de empuje es mayor que la resultante de la fuerza de corte máxima alcanzable entre la estructura 504 magnética y la disposición magnética correspondiente en el toroide 10, entonces los rodamientos 506 o 507 siempre podrán soportar todas las fuerzas resultantes de cualquier condición de operación. Esto es ventajoso porque, en el caso de un evento que causa un torque T10 que exceda la capacidad de torque de la máquina, la superficie 504 magnética se deslizará más allá de la superficie del rotor 10 sin daño antes de que cualquier desplazamiento fuera de rango del rodamiento 506 o 507 pueda ocurrir.

35 En el caso de los rodamientos 506 posicionados como se muestra en la Figura 5a, el rodamiento de empuje magnético comprende una superficie 26 interior unida a la estructura 503 de soporte giratoria y una superficie 28 exterior unida a la parte 502 estacionaria. En el caso de los rodamientos 507 colocados como se muestra en la Figura 5b, el rodamiento de empuje magnético comprende una superficie 26 interior unida a la parte 502 estacionaria y una superficie 28 exterior unida a la estructura 503 de soporte giratoria. En cualquier caso, en las superficies 26 y 28 hay disposiciones de imanes y/o polos salientes configurados de modo que la estructura 503 de soporte giratorio pueda girar alrededor del árbol 501 estacionario fácilmente, pero puede moverse en la dirección axial del rotor 18 solo dentro de límites pequeños determinados por el diseño.

40 La figura 6 muestra una primera disposición posible de imanes en las superficies 26, 28 de la primera y segunda superficies de rodamientos. Será evidente que las disposiciones son las mismas, pero están desplazadas unas de otras. Además, se observará que las disposiciones se muestran aquí esquemáticamente como si las dos superficies fueran planas, en lugar de circulares. La sección ilustrada de la superficie 26 tiene un primer imán 34, hecho de material de imán permanente magnetizado en una primera dirección, luego una pieza 36 de hierro, luego un segundo imán 38, hecho de material de imán permanente magnetizado en una segunda dirección opuesta a la primera dirección, luego una segunda pieza 40 de hierro, luego un tercer imán 42, hecho de material de imán permanente magnetizado en la primera dirección.

ES 2 701 052 T3

La sección ilustrada de la superficie 28 tiene un primer imán 44, hecho de material de imán permanente magnetizado en la segunda dirección, luego una pieza 46 de hierro, luego un segundo imán 48, hecho de material de imán permanente magnetizado en la primera dirección, luego una segunda pieza 50 de hierro, luego un tercer imán 52, hecho de material de imán permanente magnetizado en la segunda dirección.

- 5 En este caso, la disposición de los imanes en las superficies 26, 28 tiene un paso P igual al ancho de dos de los imanes más dos de las piezas de hierro, como se muestra en la Figura 6.

La figura 7 muestra una segunda disposición posible de imanes en las superficies 26, 28 de la primera y segunda superficies de rodamientos. Nuevamente, será evidente que las disposiciones son las mismas, pero se desplazan unas de otras, y se observará que las disposiciones se muestran aquí de forma esquemática como si las dos superficies fueran planas, en lugar de circulares.

En la Figura 7, la sección ilustrada de la superficie 26 tiene un primer imán 54, hecho de material de imán permanente magnetizado en una primera dirección, luego un segundo imán 56, hecho de material de imán permanente magnetizado en una segunda dirección opuesta a la primera dirección, luego un tercer imán 58, hecho de material de imán permanente magnetizado en la primera dirección, luego un cuarto imán 60, hecho de material de imán permanente magnetizado en la segunda dirección, y así sucesivamente. Una pieza de material ferromagnético, por ejemplo, hierro, 62 está conectada a un extremo de cada uno de estos imanes 54, 56, 58, 60.

La sección ilustrada de la superficie 28 tiene un primer imán 64, hecho de material de imán permanente magnetizado en la segunda dirección, luego un segundo imán 66, hecho de material de imán permanente magnetizado en la primera dirección, luego un tercer imán 68, hecho de material magnético permanente magnetizado en la segunda dirección, luego un cuarto imán 70, hecho de material de imán permanente magnetizado en la primera dirección, y así sucesivamente. Una pieza de material ferromagnético, por ejemplo, hierro, 72 está conectada a un extremo de cada uno de estos imanes 64, 66, 68, 70.

En este caso, la disposición de los imanes en las superficies 26, 28 tiene un paso P igual al ancho de dos de los imanes, como se muestra en la Figura 7.

La figura 8 muestra una tercera disposición posible de imanes en las superficies 26, 28 de la primera y segunda superficies de rodamientos. Nuevamente, será evidente que las disposiciones son las mismas, pero se desplazan unas de otras, y se observará que las disposiciones se muestran aquí de forma esquemática como si las dos superficies fueran planas, en lugar de circulares.

En la Figura 8, la sección ilustrada de la superficie 26 tiene un material 82 de imán permanente magnetizado de tal manera que produce una sucesión de polos Norte y Sur en la superficie 26 como se muestra y muy poco campo magnético en la superficie 83 opuesta, en una disposición conocida como una matriz de Halbach para un experto en la técnica.

La sección ilustrada de la superficie 28 tiene un material 92 magnético permanente magnetizado de tal manera que produce una sucesión de polos magnéticos Norte y Sur en la superficie 28 como se muestra y muy poco campo magnético en la superficie 93, formando nuevamente una matriz de Halbach.

De nuevo, la disposición de los imanes en las superficies 26, 28 tiene un paso P igual a la distancia entre dos polos Norte sucesivos, o entre dos polos Sur sucesivos, como se muestra en la Figura 8.

Si los imanes son como se muestra en la Figura 6, o como se muestra en la Figura 7, o como se muestra en la Figura 8, producen un grado de acoplamiento entre las superficies 26 y 28. También es posible utilizar una disposición de imanes que se basa en una combinación de los esquemas descritos en las Figuras 6, 7 y 8. Por ejemplo, una máquina podría diseñarse basándose en los imanes en la superficie 28 de la Figura 8 cooperando con los imanes mostrados en la superficie 26 de la Figura 7.

También es posible producir el campo magnético en las superficies 26 o 28 utilizando devanados de máquinas eléctricas convencionales.

Si se utilizan devanados de máquinas eléctricas convencionales, es fácil para un experto en la técnica crear un rodamiento controlado activamente en el cual las fuerzas entre las partes varían al variar la corriente en los devanados según se requiera.

La figura 9 muestra una primera disposición posible de polos e imanes salientes ferromagnéticos en las superficies 26, 28 de la primera y segunda superficies de rodamientos. Será evidente que las disposiciones se muestran aquí de forma esquemática como si las dos superficies fueran planas, en lugar de circulares. La sección ilustrada de la superficie 26 tiene polos 236, 240 salientes ferromagnéticos como se muestra. Entre los polos hay ranuras 234, 238, 242 no ferromagnéticas.

La sección ilustrada de la superficie 28 tiene un primer imán 244, hecho de material de imán permanente magnetizado en la segunda dirección, luego una pieza 246 de hierro, luego un segundo imán 248, hecho de material de imán

permanente magnetizado en la primera dirección, luego una segunda pieza 250 de hierro, luego un tercer imán 252, hecho de material de imán permanente magnetizado en la segunda dirección.

En este caso, la disposición de los polos e imanes salientes ferromagnéticos en las superficies 26, 28 tiene un paso P igual al ancho de dos de los imanes más dos de las piezas 246 de hierro, como se muestra en la Figura 9.

5 La Figura 10 muestra una segunda disposición posible de polos e imanes salientes ferromagnéticos en las superficies 26, 28 de la primera y segunda superficies de rodamientos. De nuevo, será evidente que las disposiciones se muestran aquí de forma esquemática como si las dos superficies fueran planas, en lugar de circulares.

10 En la Figura 10, la sección ilustrada de la superficie 26 tiene polos salientes ferromagnéticos como se muestra en 254 y 258. Entre los polos hay ranuras 256 y 260 no ferromagnéticas. La sección ilustrada de la superficie 28 tiene un primer imán 264, hecho de material de imán permanente magnetizado en la segunda dirección, luego un segundo imán 266, hecho de material de imán permanente magnetizado en la primera dirección, luego un tercer imán 268, hecho de material de imán permanente magnetizado en la segunda dirección, luego un cuarto imán 270, hecho de material de imán permanente magnetizado en la primera dirección, y así sucesivamente. Una pieza de material ferromagnético, por ejemplo, hierro, 272 está conectada a un extremo de cada uno de estos imanes 264, 266, 268, 270.

15 En este caso, la disposición de los polos e imanes salientes ferromagnéticos en las superficies 26, 28 tienen un paso P igual al ancho de dos de los imanes como se muestra en la Figura 10.

20 La figura 11 muestra una tercera disposición posible de polos e imanes salientes ferromagnéticos en las superficies 26, 28 de la primera y segunda superficies de rodamientos. Nuevamente, se observará que las disposiciones se muestran aquí esquemáticamente como si las dos superficies fueran planas, en lugar de circulares.

En la Figura 11, la sección ilustrada de la superficie 26 tiene polos salientes ferromagnéticos como se muestra en 282 y 284. Entre los polos hay ranuras 283 y 285 no ferromagnéticas.

25 La sección ilustrada de la superficie 28 tiene un material 292 magnético permanente magnetizado de tal manera que produce una sucesión de polos magnéticos Norte y Sur en la superficie 28 como se muestra y muy poco campo magnético en la superficie 293, formando una estructura conocida por una persona experta en la técnica como una matriz de Halbach.

De nuevo, la disposición de los polos salientes e imanes ferromagnéticos en las superficies 26, 28 tiene un paso P igual a la distancia entre dos polos norte sucesivos, o entre dos polos sur sucesivos, como se muestra en la Figura 11.

30 Si los polos e imanes salientes ferromagnéticos son como se muestra en la Figura 9, o como se muestra en la Figura 10, o como se muestra en la Figura 11, producen un grado de acoplamiento entre las superficies 26 y 28.

En cualquier caso, aunque aquí se describe una realización en la que los polos salientes ferromagnéticos están en la superficie 26, mientras que los imanes están en la superficie 28, la disposición opuesta también sería posible, con los polos salientes ferromagnéticos en la superficie 28 y Los imanes en la superficie 26.

35 También es posible producir el campo magnético en las superficies 26 o 28 utilizando devanados de máquinas eléctricas convencionales en lugar de imanes. El acoplamiento con los polos salientes ferromagnéticos se puede mejorar utilizando un devanado de máquina eléctrica convencional rodeando cada polo saliente ferromagnético.

40 Si se utilizan devanados de máquinas eléctricas convencionales, es fácil para un experto en la técnica crear un rodamiento controlado activamente en el que las fuerzas entre las partes varían al variar la corriente en los devanados según se requiera.

La Figura 12 muestra con más detalle las disposiciones de los imanes o polos salientes en las superficies 26, 28. Específicamente, los imanes o polos están dispuestos en patrones cilíndricos. Los desplazamientos axiales de la estructura de soporte giratoria darán lugar a una fuerza de restauración producida por las disposiciones magnéticas en las superficies 26 y 28.

45 La forma de la fuerza de restauración frente al desplazamiento depende del detalle exacto del diseño, pero a menudo es aproximadamente sinusoidal, como se muestra en la Figura 13.

50 La distancia S, como se muestra en la Figura 13, depende de los detalles exactos del diseño. Sin embargo, en el caso de las disposiciones mostradas en la Figura 6, Figura 7 y Figura 8, S es aproximadamente igual a P/2, donde P está etiquetada en la Figura 6, Figura 7 y Figura 8, mientras que, en el caso de las disposiciones mostradas en la Figura 9, Figura 10 y Figura 11, S es aproximadamente igual a P/4, donde P está etiquetada en la Figura 9, Figura 10 y Figura 11.

La característica de fuerza de recuperación frente al desplazamiento ilustrada en la Figura 13 es ventajosa ya que está claro que las superficies 26 y 28 exhiben un equilibrio estable con respecto al desplazamiento dentro del rango

etiquetado S en la Figura 13. Esto significa que un sistema pasivo se realiza fácilmente, aunque, por supuesto, los expertos en la técnica pueden idear fácilmente rodamientos magnéticos activos más costosos basados en los principios de fuerza de corte descritos aquí. El sistema de rodamiento magnético más común ilustrado esquemáticamente en la Figura 14, basado en fuerzas magnéticas atractivas, es menos ventajoso como sistema pasivo.

La figura 14 ilustra el principio utilizado en un rodamiento magnético de fuerza atractiva típica del estado de la técnica. Un yugo 601 ferromagnético rodea un devanado 602 que lleva una corriente eléctrica, de manera que la fuerza magnética atrae al yugo 601 y una segunda superficie 603 ferromagnética una hacia la otra. La fuerza producida es generalmente normal a la superficie 603, en lugar de en una dirección tangencial (corte) como en los sistemas ilustrados en las Figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11. En un sistema pasivo, el campo magnético es proporcionado por una corriente eléctrica constante en el devanado 602 o por un sistema de imanes permanentes. La fuerza normal aumenta a medida que se cierra la brecha entre 601 y 603, de modo que no existe una condición de equilibrio estable pasivo. En un sistema de rodamiento activo, la corriente en el devanado 602 se controla para producir una fuerza normal variable según se requiera.

La Figura 15 es un diagrama esquemático que muestra cómo se puede usar un sistema de rodamiento magnético de fuerza de repulsión para compensar la fuerza axial en el rotor 18.

El sistema DSM descrito en la Figura 6, la Figura 7 y la Figura 8 también se puede utilizar para proporcionar un sistema de rodamiento magnético de fuerza de repulsión.

Solo con fines ilustrativos, la Figura 15 muestra una sección transversal a través del rotor 18. Sin embargo, la invención permite otras disposiciones similares. El árbol 501 está restringido a ser estacionario por una estructura de soporte que no se muestra aquí. Las pestañas 502 estacionarias están unidas al árbol 501. La estructura 503 de soporte del imán gira sobre el árbol 501 transportado en los rodamientos 505. Los imanes (DSM) helicoidales o los polos, (MR), salientes helicoidales, en la superficie 504 están dispuestos en el diámetro exterior de 503. Montados en la pestaña 502 en la posición 601 y 602 están los rodamientos de empuje magnéticos, los cuales se encuentran más abajo. Los rodamientos 505, que pueden ser los rodamientos descritos anteriormente, como los rodamientos de elementos rodantes mecánicos, los rodamientos deslizantes mecánicos, los rodamientos magnéticos activos o los rodamientos de fluido, están dispuestos para permitir una pequeña cantidad de movimiento en la dirección axial del rotor 18, pero para restringir la estructura 503 dentro de tolerancias industrialmente aceptables en otras direcciones. El espacio que se muestra como 508 contiene el motor o generador eléctrico interno como se describió anteriormente (EP-A-2335344 y PCT/GB20 12/053143).

La fuerza A18 axial actúa sobre la estructura 503 de soporte como resultado de las interacciones electromagnéticas entre la estructura 504 magnética y la disposición magnética correspondiente en el toroide 10, como se describió anteriormente en las solicitudes de patente (EP-A-2335344 y PCT/GB2012/053143). Los rodamientos magnéticos en las posiciones 601 y 602 están dispuestos de manera que aparezca una fuerza de repulsión magnética entre las superficies 26 y 28.

La fuerza de repulsión entre las superficies 26 y 28 se hace más grande a medida que el espacio entre las superficies 26 y 28 se hace más pequeño. En ausencia de cualquier fuerza A18 axial, los espacios entre las superficies 26 y 28 en los rodamientos 601 y 602 serán sustancialmente similares. Cuando se aplica una fuerza A18 axial, el espacio entre las superficies 26 y 28 del rodamiento 601 o 602 se cierra y la fuerza de repulsión aumenta, en oposición a la fuerza A18 axial, de modo que se puede alcanzar una posición de equilibrio pasiva estable. Parte o toda la fuerza A18 axial aparece a través de los rodamientos de empuje magnéticos en posiciones tales como 601 o 602, para reducir o eliminar sustancialmente toda la fuerza axial en los rodamientos 505.

Los rodamientos de empuje magnéticos mostrados en las posiciones 601 y 602 comprenden una primera superficie 26 anular unida a la estructura 503 de soporte de giratorio y una segunda superficie 28 anular unida la parte 502 estacionaria. Proporcionados en las superficies 26 y 28 hay disposiciones de imanes configurados para que 503 pueda girar alrededor de 501 fácilmente, pero pueda moverse en la dirección axial del rotor 18 solo dentro de pequeños límites determinados por el diseño.

Las disposiciones de los imanes en las superficies 26 y 28 son exactamente iguales a las disposiciones ya descritas en la Figura 6, la Figura 7 y la Figura 8. Para obtener un sistema magnético que produce repulsión entre las superficies 26 y 28, solo es necesario asegurar que los polos similares se opongan entre sí en las superficies 26 y 28, un polo norte que mira hacia el polo norte y un polo sur que mira hacia el polo sur, por ejemplo, la Figura 7 y la Figura 8 ilustran la posición para la repulsión máxima. En la Figura 6, la Figura 7 y la Figura 8 se observará que las disposiciones se muestran aquí de forma esquemática como si las dos superficies fueran planas, en lugar de circulares.

También es posible producir el campo magnético en las superficies 26 o 28 utilizando devanados de máquinas eléctricas convencionales o superconductoras.

Si se utilizan devanados de máquinas eléctricas convencionales, es fácilmente posible para un experto en la técnica crear un rodamiento controlado activamente en el que las fuerzas entre las partes varían al variar la corriente en los devanados según sea necesario.

La Figura 16 muestra con más detalle las disposiciones de los imanes en las superficies 26, 28 para un sistema de rodamiento repulsivo. Específicamente, los imanes están dispuestos en patrones anulares. Los desplazamientos axiales de la estructura de soporte giratorio darán lugar a una fuerza de restauración producida por las disposiciones magnéticas en las posiciones 601 y 602.

- 5 Por lo tanto, se describe un sistema de accionamiento magnético en el que se proporciona un rodamiento magnético para reducir las fuerzas axiales que actúan sobre los componentes.

REIVINDICACIONES

1. Un accionamiento magnético, que comprende:
una fuerza motriz (10) primaria, que tiene una primera superficie; un rotor (18, 126, 136), que tiene una superficie (504) exterior,
5 la primera superficie de la fuerza motriz primaria y la superficie exterior del rotor están provistas de una primera matriz helicoidal de imanes y una segunda matriz helicoidal de imanes, o de una primera matriz helicoidal de imanes y una primera matriz helicoidal de polos salientes ferromagnéticos, y
la superficie exterior del rotor está ubicada adyacente a la primera superficie de la fuerza motriz primaria, de modo que el movimiento de la fuerza motriz primaria causa la rotación del rotor alrededor de un eje de rotación;
- 10 un miembro de soporte, que tiene un árbol (501) estacionario para definir el eje de rotación del rotor, y que tiene una pestaña estacionaria unida al árbol, en el que el rotor gira sobre el árbol;
caracterizado porque el rotor y la pestaña estacionaria están provistos de una tercera matriz (28) de imanes y una cuarta matriz (26) de imanes, ambas se extienden paralelas al eje de rotación del rotor, o con una tercera matriz de imanes y una segunda matriz de polos salientes ferromagnéticos, ambas se extienden paralelas al eje de rotación del
15 rotor, y porque la tercera matriz (28) de imanes coopera con la cuarta matriz (26) de imanes o con la segunda matriz de polos salientes ferromagnéticos para formar un rodamiento (506) de empuje magnético para resistir fuerzas sobre el rotor que actúan a lo largo de su eje de rotación
2. Un accionamiento magnético como se reivindica en la reivindicación 1, en el que el rotor es un rotor de una máquina eléctrica, que comprende además un estator de la máquina eléctrica.
- 20 3. Un accionamiento magnético como se reivindica en la reivindicación 2, en el que la máquina eléctrica es un motor.
4. Un accionamiento magnético como se reivindica en la reivindicación 2, en el que la máquina eléctrica es un generador.
5. Un accionamiento magnético como se reivindica en la reivindicación 2, 3 o 4, en el que el estator está montado dentro del rotor.
- 25 6. Un accionamiento magnético como se reivindica en cualquier reivindicación precedente, donde el rotor está soportado en el árbol por rodamientos (505) además del rodamiento magnético.
7. Un accionamiento magnético como se reivindica en la reivindicación 6, en el que los rodamientos adicionales comprenden rodamientos mecánicos.
8. Un accionamiento magnético como se reivindica en la reivindicación 6, en el que los rodamientos adicionales
30 comprenden rodamientos de fluido.
9. Un accionamiento magnético como se reivindica en la reivindicación 6, en el que los rodamientos adicionales comprenden rodamientos magnéticos activos.
10. Un accionamiento magnético como se reivindica en cualquier reivindicación precedente, en el que la tercera matriz de imanes coopera con la cuarta matriz de imanes en el rotor para formar un rodamiento magnético pasivo.
- 35 11. Un accionamiento magnético como se reivindica en una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la tercera matriz de imanes coopera con la cuarta matriz de imanes en el rotor para formar un rodamiento magnético activo.
12. Un accionamiento magnético como se reivindica en cualquier reivindicación precedente, en el que la cuarta matriz de imanes está dispuesta en una superficie interna del rotor.
13. Un accionamiento magnético como se reivindica en la reivindicación 12, en el que la cuarta matriz de imanes está
40 dispuesta en una superficie interna radialmente hacia fuera del rotor.
14. Un accionamiento magnético como se reivindica en la reivindicación 12, en el que la cuarta matriz de imanes está dispuesta en una superficie interna radialmente hacia dentro del rotor.

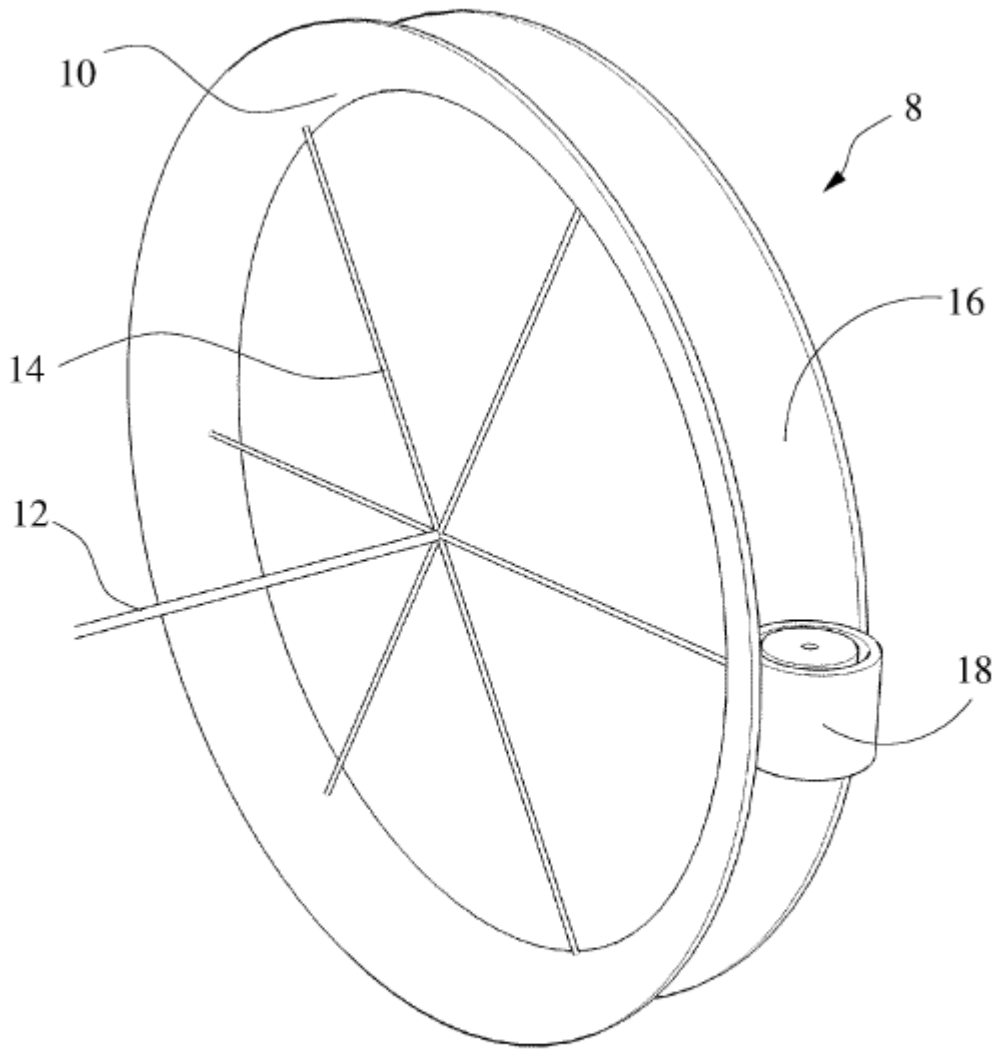


Figura 1:

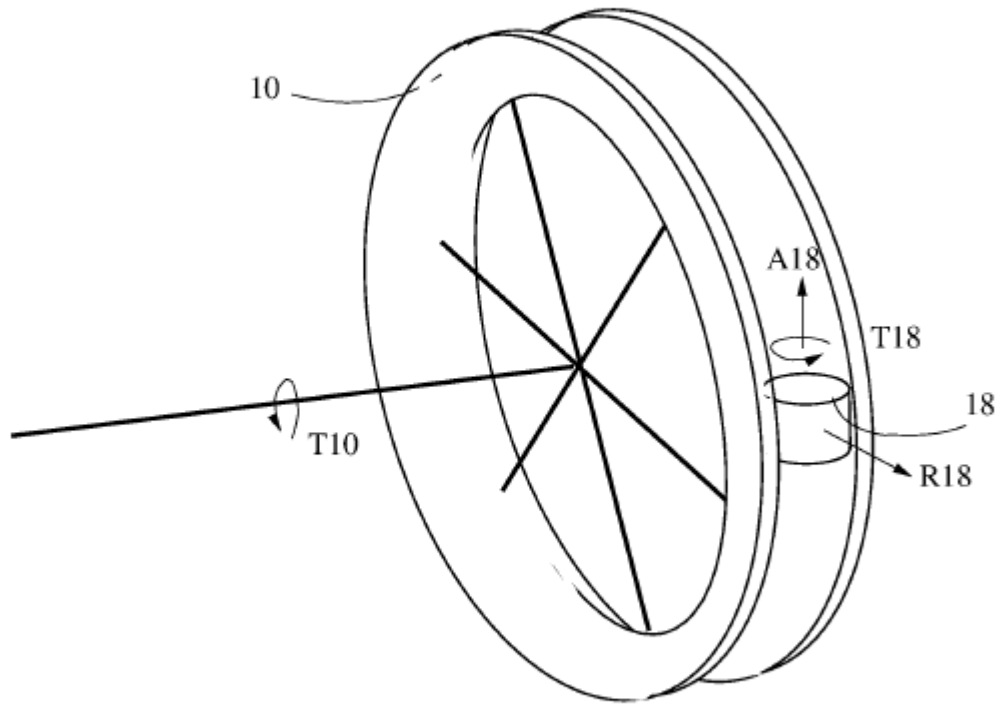


Figura 2:

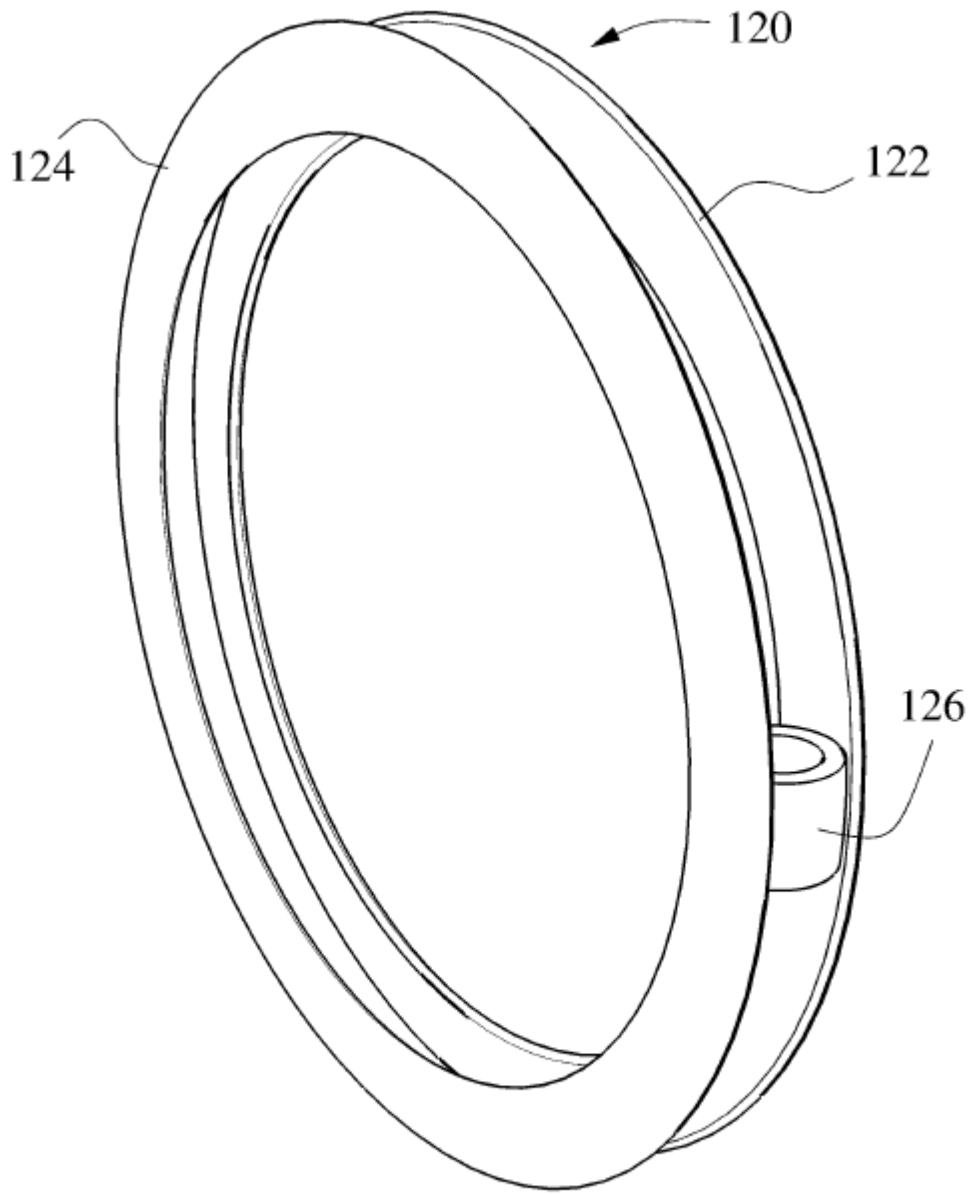


Figura 3:

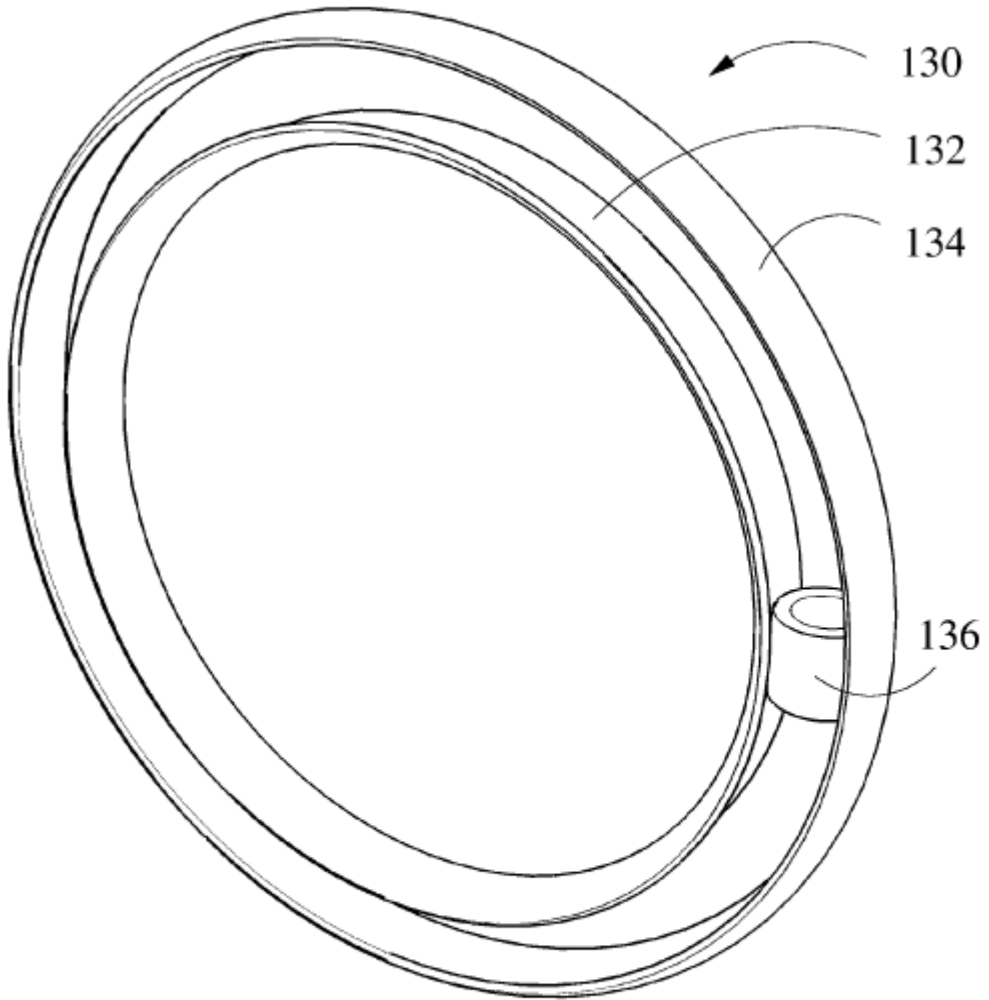


Figura 4:

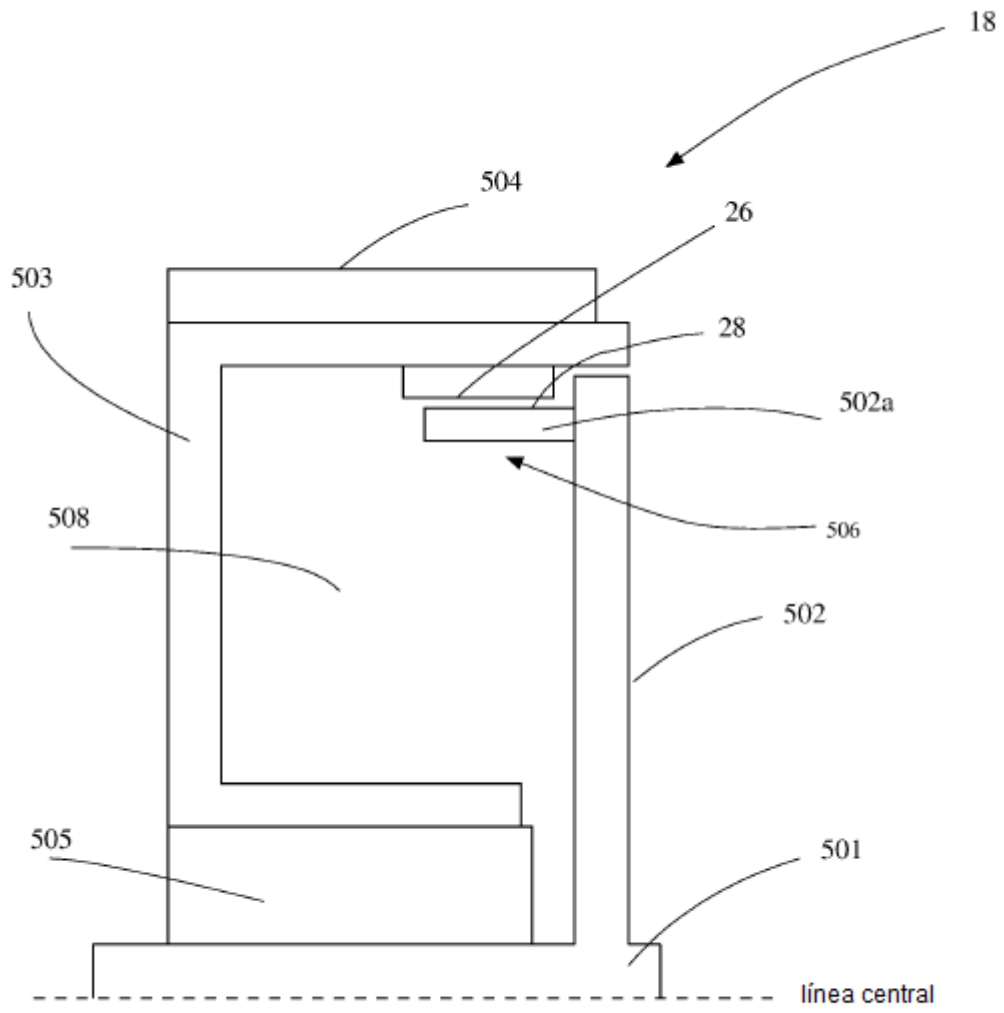


Figura 5 (a):

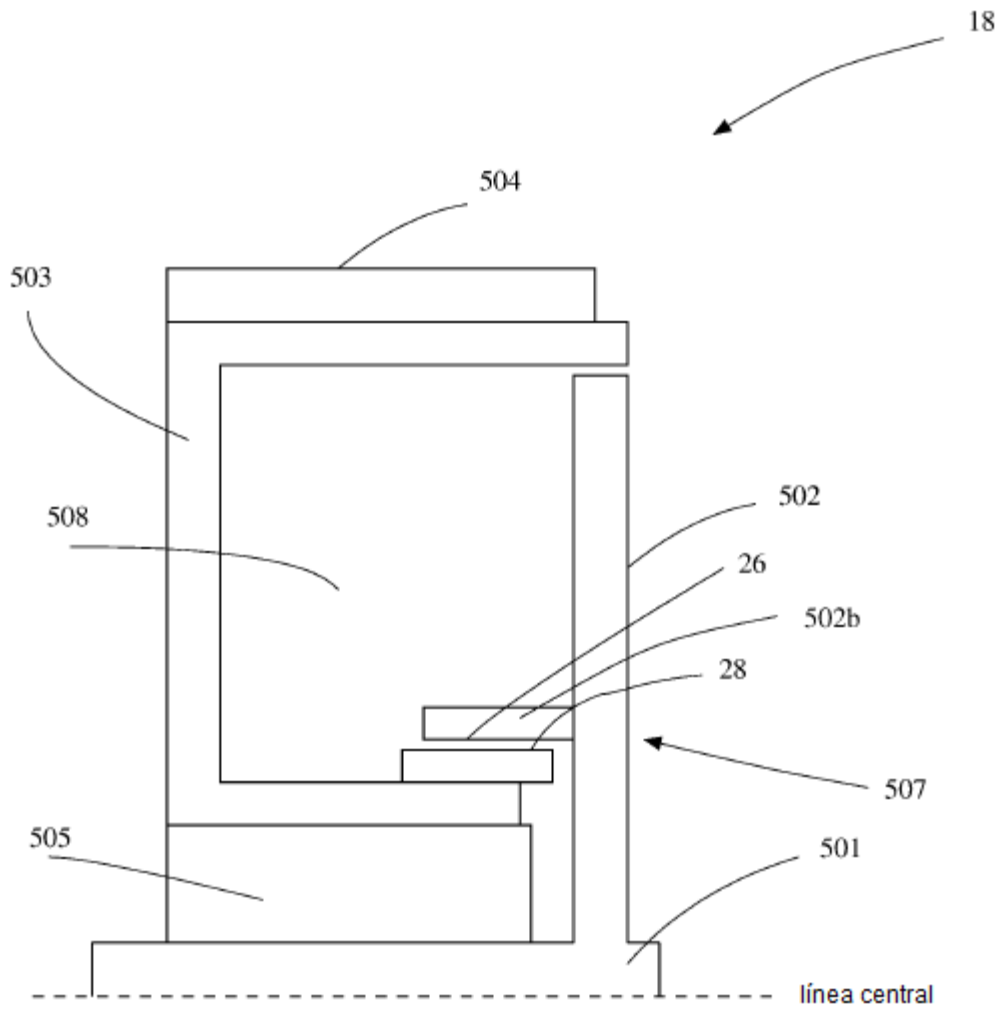


Figura 5 (b):

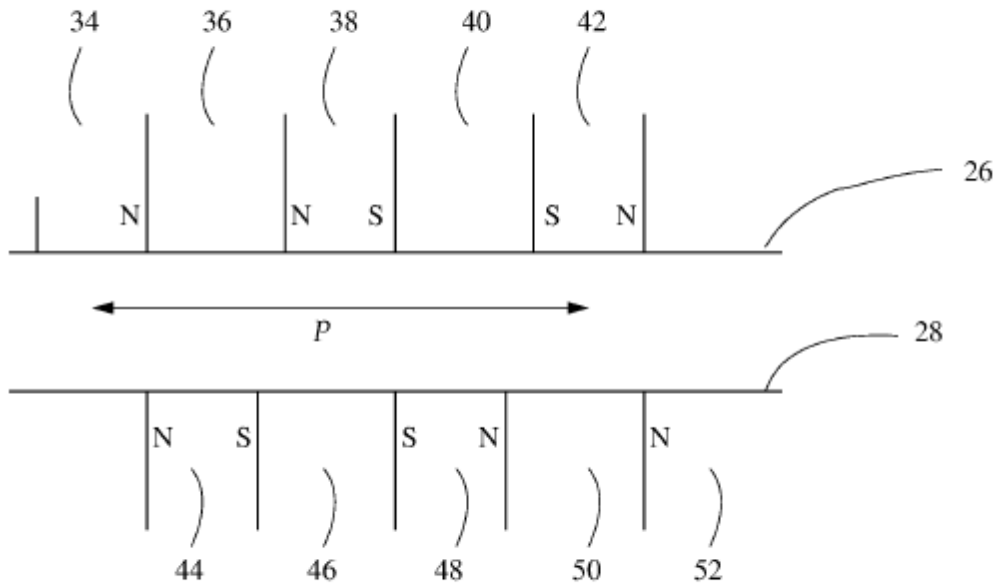


Figura 6

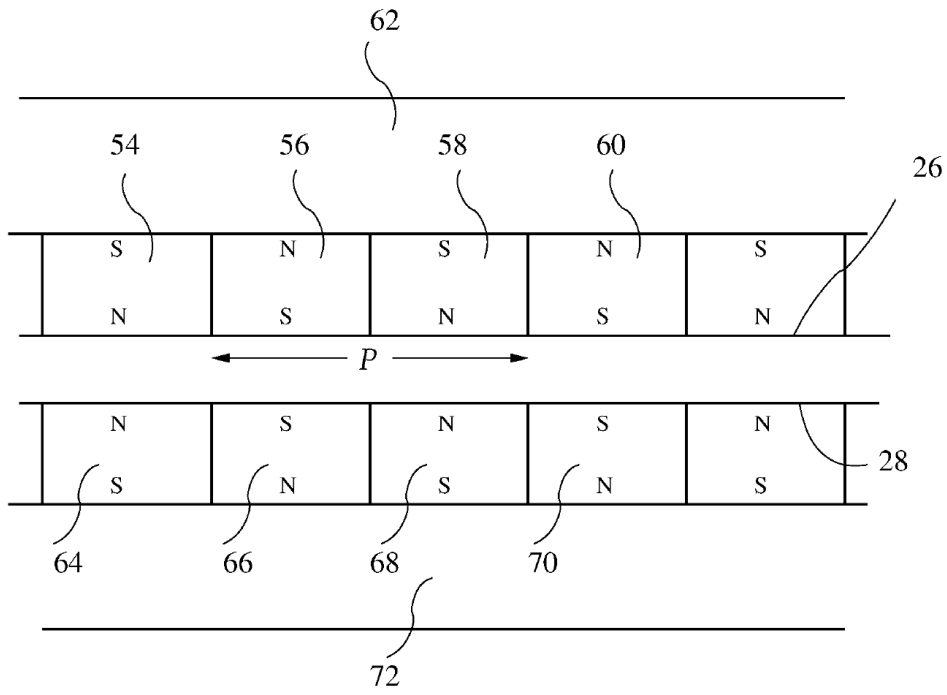


Figura 7:

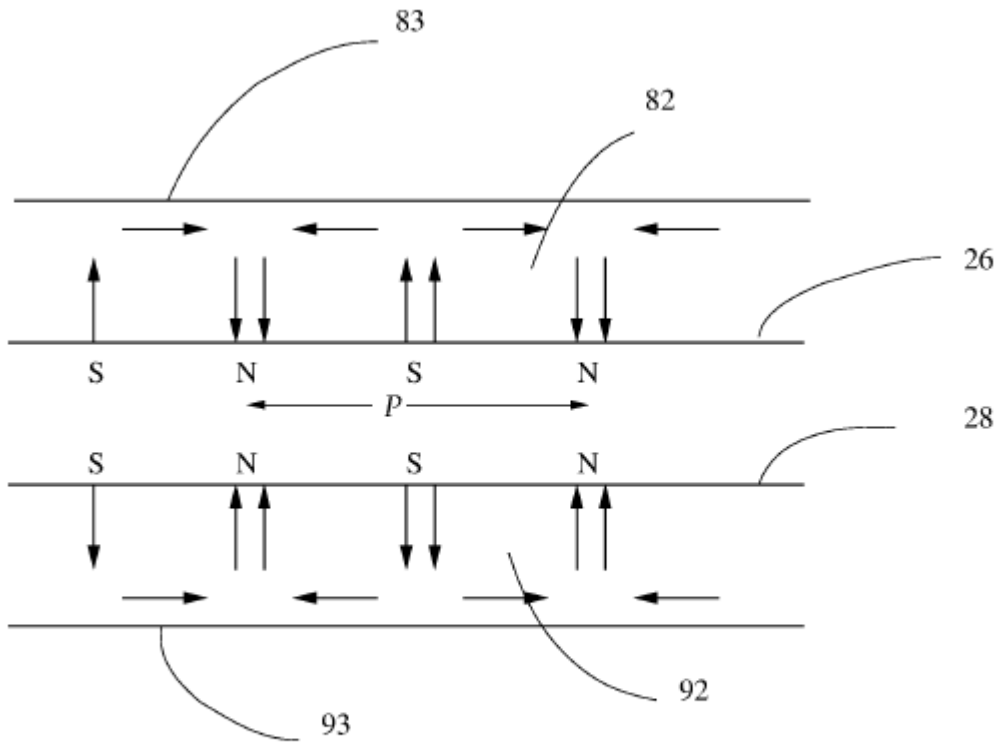


Figura 8:

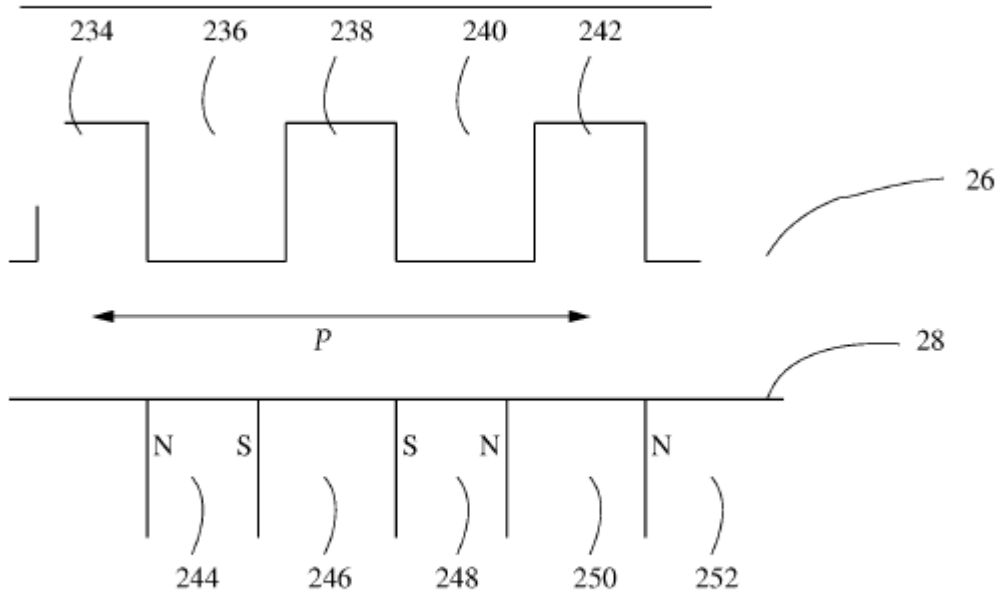


Figura 9:

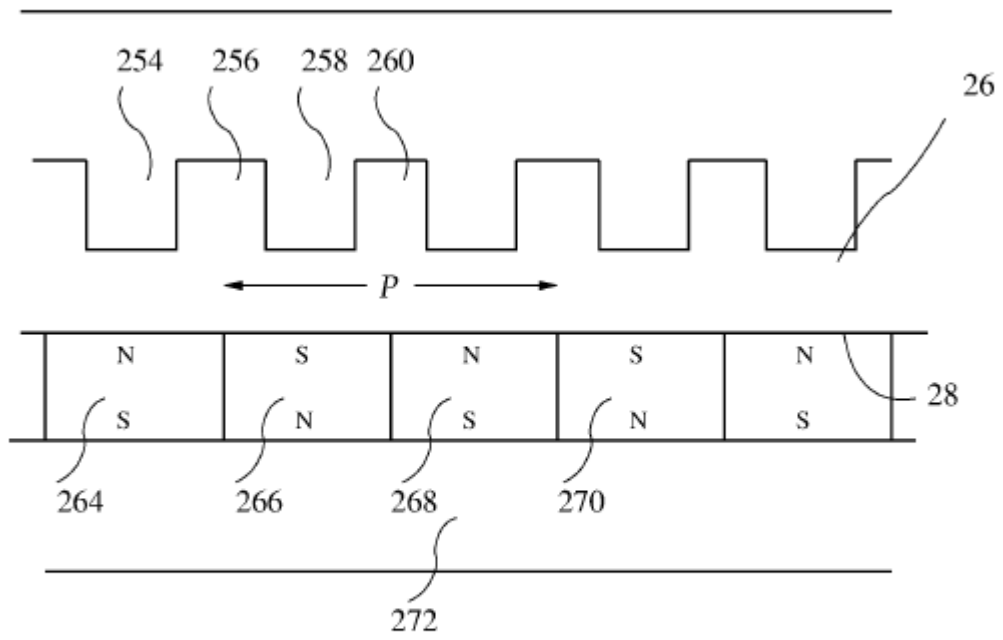


Figura 10:

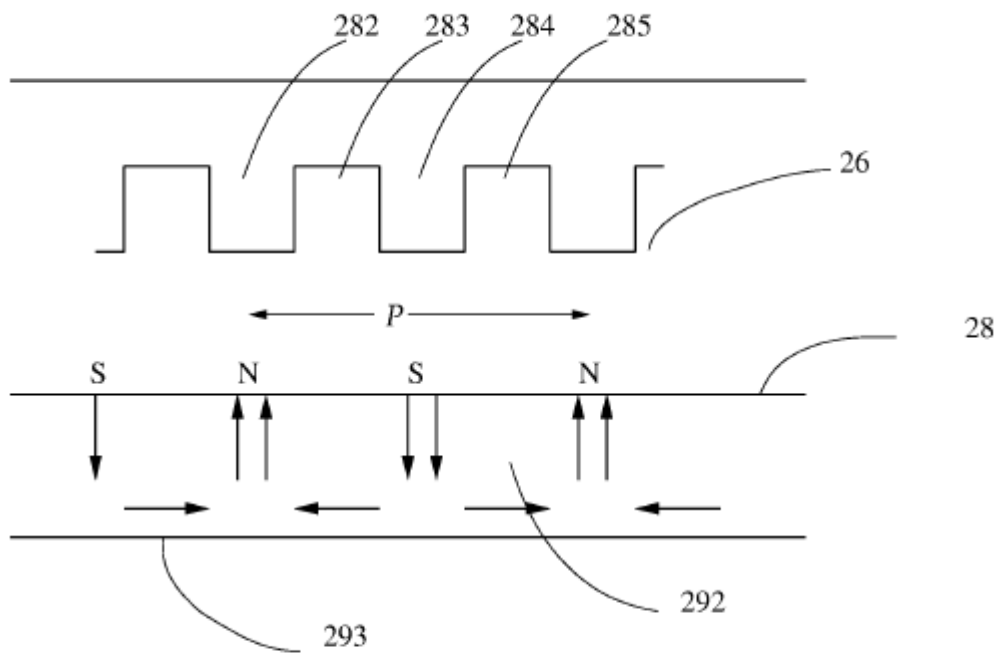


Figura 11:

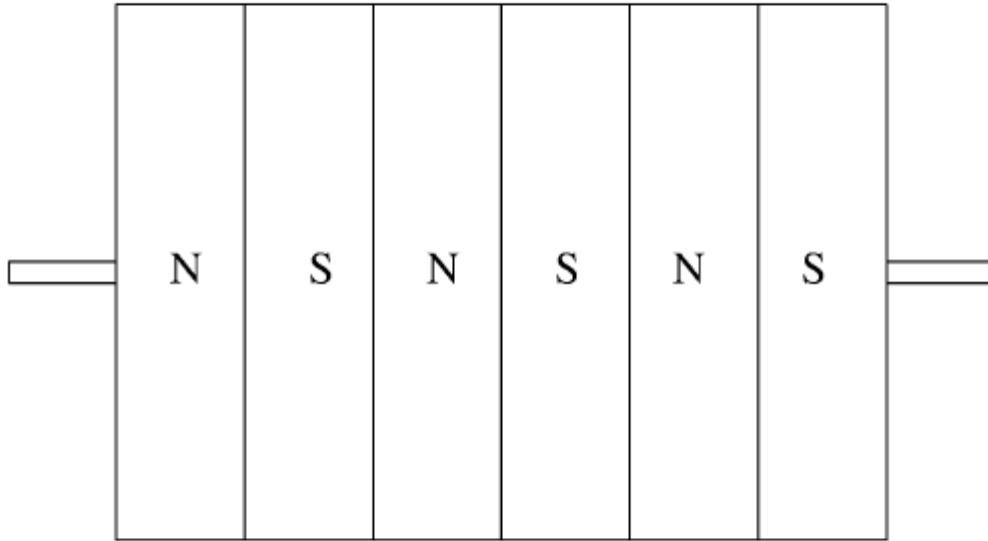


Figura 12:

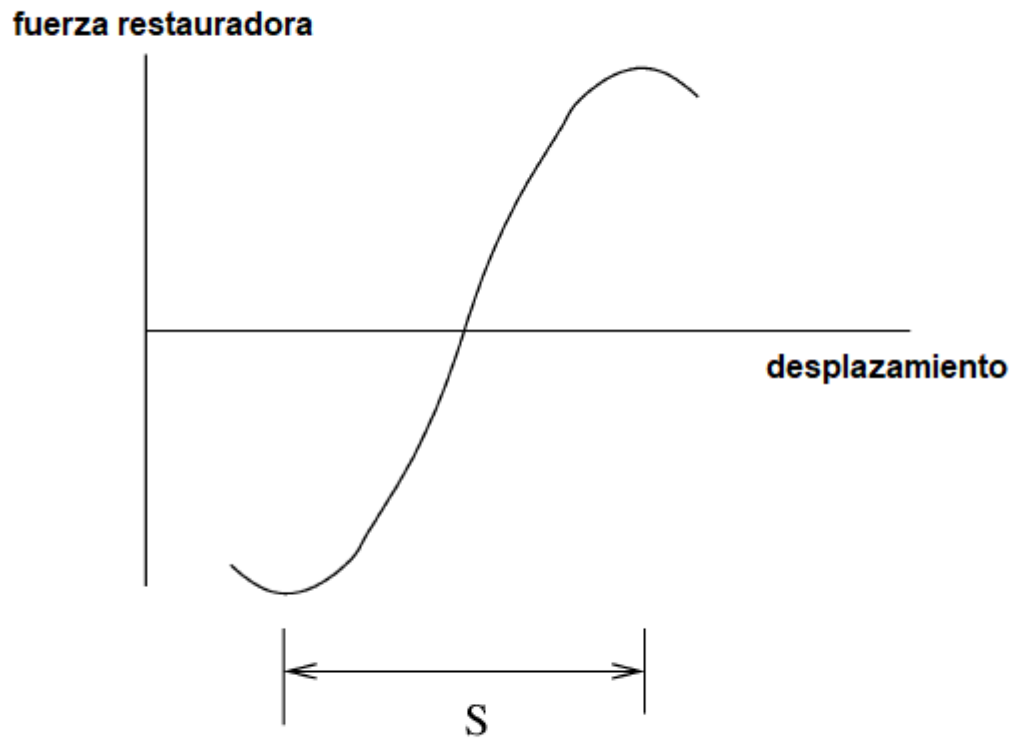


Figura 13:

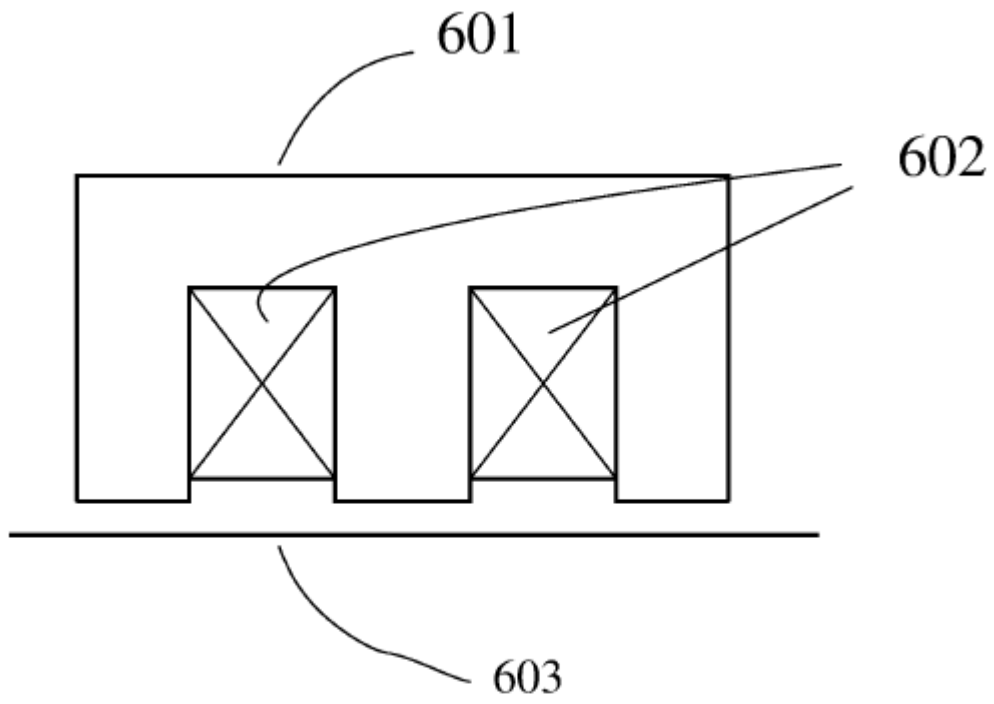


Figura 14:

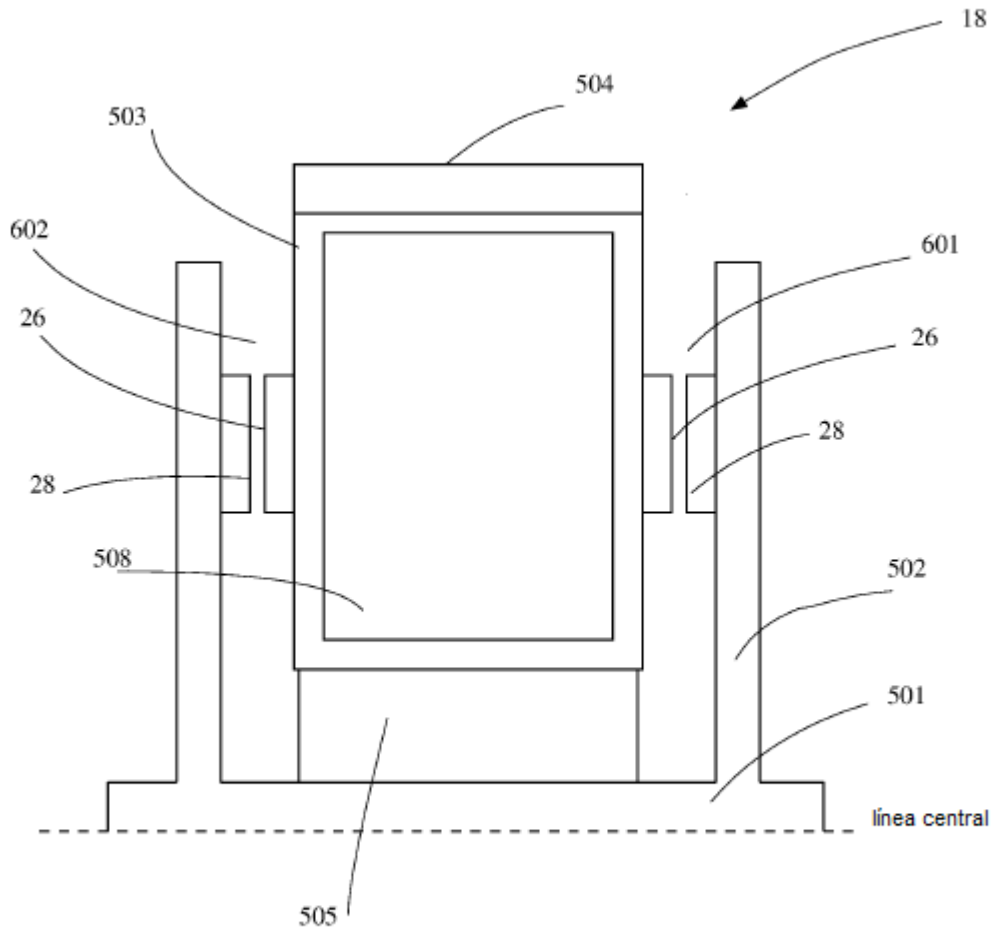


Figura 15:

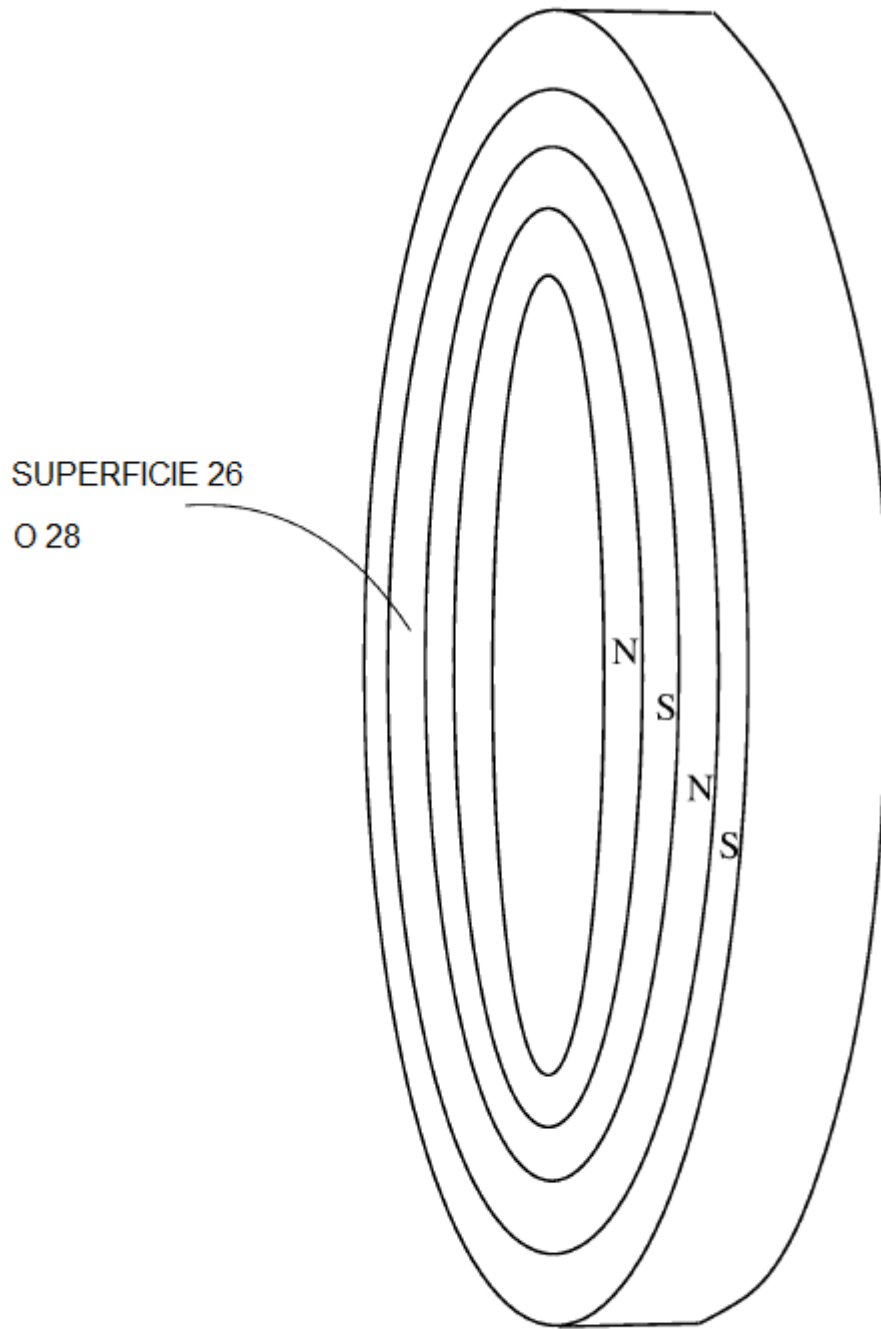


Figura 16: