

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 967 445**

51 Int. Cl.:

F16C 32/04 (2006.01)

F02C 7/06 (2006.01)

F03B 11/06 (2006.01)

F03D 80/70 (2006.01)

H01F 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.01.2020 PCT/CA2020/050049**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.07.2020 WO20146950**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.01.2020 E 20742070 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.11.2023 EP 3911865**

54 Título: **Cojinete magnético pasivo para máquinas giratorias, y máquinas giratorias que integran dicho cojinete, incluyendo turbinas de producción de energía**

30 Prioridad:

18.01.2019 US 201962794164 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.04.2024

73 Titular/es:

**TELESYSTEM ENERGY LTD. (100.0%)
460 McGill St, 5th Floor
Montreal QC H2Y 2H2, CA**

72 Inventor/es:

HAMAD, IMAD

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 967 445 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

Cojinete magnético pasivo para máquinas giratorias, y máquinas giratorias que integran dicho cojinete, incluyendo turbinas de producción de energía

5

SOLICITUD DE PATENTE RELACIONADA

La presente solicitud reivindica la prioridad de la Patente provisional US62/794,164, presentada el 18 de enero de 2019 y titulada "PASSIVE MAGNETIC BEARING AND ROTATING MACHINERIES INTEGRATING SAID BEARING, INCLUDING ENERGY PRODUCTION TURBINES", cuya invención se incorpora en el presente documento por referencia en su totalidad.

10

SECTOR TÉCNICO

La presente invención se refiere, en general, a un cojinete magnético pasivo para máquinas giratorias, y a las máquinas giratorias que integran el cojinete. Más concretamente, el cojinete magnético pasivo y las máquinas giratorias van a estar expuestos a la carga o las cargas causadas por un flujo de fluido o a cualquier otra fuerza o fuerzas aplicadas al cojinete y a las máquinas giratorias. Los cojinetes magnéticos pasivos y las máquinas giratorias están configurados para contrarrestar las fuerzas dimensionales de tres (3) estados aplicadas sobre ellos, que pueden incluir fuerzas en tres direcciones. Los cojinetes magnéticos pasivos y las máquinas giratorias son aplicables principalmente a turbinas de producción de energía que utilizan cualquier tipo de fluido, y más concretamente, a aquellas que pueden beneficiarse de la utilización de un cojinete magnético pasivo. El cojinete magnético pasivo incluye, entre otras características, un conjunto de elementos de anillo que tienen características multiaxiales.

15

20

25

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

El diseño de un cojinete magnético pasivo (Passive Magnetic Bearing, "PMB") dimensional de tres (3) estados está restringido por principios físicos, tal como describe el teorema de Earnshaw, que se remonta a principios del siglo XIX. El teorema afirma la imposibilidad de construir un sistema de levitación electrostático o magnetostático estable, sin contacto, utilizando únicamente cargas fijas o polos magnéticos fijos, tales como los producidos mediante PMB. Por lo tanto, un diseño de PMB simple para un (1) eje necesita cojinetes magnéticos activos (Active Magnetic Bearing, "AMB") adicionales para estabilizar los otros dos (2) ejes. Cuando el PMB simple se utiliza en máquinas giratorias, dichas máquinas siempre tienen tres (3) ejes para estabilizar: i) siendo uno el eje vertical o peso (Eje-Y); ii) siendo uno el eje axial o frecuentemente de empuje (Eje-Z) y iii) siendo el tercero el eje de lado a lado que es perpendicular al eje axial y al eje vertical, siendo (Eje-X). Por lo tanto, el teorema de Earnshaw enseña que las máquinas giratorias no pueden ser mantenidas en un equilibrio estacionario estable con el estado de la técnica o en una configuración mantenida solamente por la interacción electrostática de las cargas, tal como se conoce en la técnica:

30

35

40

Las ecuaciones de Maxwell, para campos estáticos, conducen a la ecuación de Laplace, que establece que con una fuerza eléctrica F(r) derivada de un potencial U(r) nunca habrá divergencia, por lo tanto:

$$\nabla \cdot \mathbf{F} = \nabla \cdot (-\nabla U) = -\nabla^2 U = 0.$$

45

Y en coordenadas cartesianas x, y y z, eso llevaría a que la suma de todas las fuerzas sea como sigue:

$$\frac{\partial}{\partial x} F_x + \frac{\partial}{\partial y} F_y + \frac{\partial}{\partial z} F_z = 0.$$

50

Con el fin de contener una partícula cargada en una posición determinada, la suma de todas las fuerzas en esta posición debe ser igual a cero, y cualquier desplazamiento desde la posición de equilibrio debe ser contrarrestado por una fuerza restauradora en la dirección opuesta:

$$F_x = -k x$$

55

La ecuación de Laplace muestra directamente que la constante de rigidez "k" no puede tener un signo negativo en las tres direcciones, es decir, la carga no puede estar contenida en todas las direcciones.

60

Debido a la restricción impuesta por el teorema de Earnshaw, prácticamente todos los sistemas de cojinetes magnéticos comerciales actualmente disponibles son del tipo AMB, que emplean electroimanes alimentados por amplificadores electrónicos, cuyas entradas provienen de sensores de campo y transductores integrados en el entorno del sistema de cojinete y alrededor del mismo y que monitorizan los otros dos (2) ejes de las máquinas giratorias.

Estos sensores y transductores forman un sistema de circuito cerrado de retroalimentación que funciona a frecuencias relativamente altas mediante la utilización de sistemas de PID adaptativos analógicos y/o digitales integrados en los amplificadores para mantener las partes de las máquinas giratorias levitadas del cojinete estables y centradas alrededor de sus respectivos ejes.

Debido a la complejidad de dicho sistema, los AMB son: i) costosos; ii) requieren un mantenimiento periódico; iii) consumen continuamente energía eléctrica para energizar sus amplificadores, sus electroimanes y sus sensores y transductores; iv) su integración reduce la fiabilidad y aumenta la probabilidad de fallo y los inconvenientes asociados.

Un ejemplo de una revisión del estado de la técnica y un enfoque similar que utiliza AMB para superar el teorema de Earnshaw se describe en la publicación de Patente US20110001379 A1. Esta publicación a modo de ejemplo muestra que un (1) eje está estabilizado mediante un PMB y el segundo eje utiliza AMB para controlar la posición del rotor axial.

Se presentan ejemplos de cojinetes magnéticos pasivos en los documentos de Patente DE 10 2008 021587 B3, FR 2 954 961 A1 y CN 103 939 523 B.

CARACTERÍSTICAS

Según un aspecto, se da a conocer un cojinete magnético pasivo que se ajusta a la reivindicación 1 del conjunto de reivindicaciones adjunto.

Según un aspecto, se da a conocer un cojinete magnético pasivo que se ajusta a la reivindicación 16 del conjunto de reivindicaciones adjunto.

Según otro aspecto, se da a conocer una turbina que se ajusta a la reivindicación 26 del conjunto de reivindicaciones adjunto.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para una mejor comprensión de las realizaciones descritas en el presente documento y para mostrar más claramente cómo se pueden llevar a efecto, a continuación se hará referencia, solo a modo de ejemplo, a los dibujos adjuntos, que muestran como mínimo una realización a modo de ejemplo, y en los cuales:

la figura 1A muestra una vista, en perspectiva, de un PMB mejorado, según una realización a modo de ejemplo;

la figura 1B muestra una vista, con las piezas desmontadas, del PMB mejorado, según una realización a modo de ejemplo;

la figura 2 muestra una vista, en sección transversal, a lo largo de la línea A-A, en una primera posición angular del PMB mejorado, según una realización a modo de ejemplo;

la figura 3 muestra una vista, en sección transversal, a lo largo de la línea B-B, en una segunda posición angular del PMB mejorado, según una realización a modo de ejemplo;

la figura 4 muestra un gráfico que muestra en modo único, la componente axial y la componente radial en la posición angular específica de la fuerza combinada aplicada al primer elemento de anillo magnético como una función de la posición del primer elemento de anillo magnético a lo largo de la dirección axial con respecto al segundo elemento de anillo magnético, según una realización a modo de ejemplo;

la figura 5 muestra una vista, en perspectiva, de un PMB, según una realización alternativa, a modo de ejemplo;

la figura 6 muestra un gráfico que muestra en modo único, la componente axial y la componente radial en la posición angular específica de la fuerza combinada aplicada al primer elemento de anillo magnético en función de la posición del primer elemento de anillo magnético a lo largo de la dirección axial con respecto al segundo elemento de anillo magnético dentro de la realización alternativa, a modo de ejemplo;

la figura 7A muestra un gráfico que muestra en modo múltiple las componentes axiales y las componentes radiales medidas utilizando un banco de pruebas en función de la posición a lo largo de la dirección axial de un segmento físico de un primer elemento de anillo magnético con respecto a un segmento físico de una primera matriz de Halbach del segundo elemento de anillo magnético;

la figura 7B muestra una vista, en sección transversal, que muestra una superposición parcial del primer

elemento de anillo y una primera matriz de Halbach del segundo elemento de anillo, según una realización a modo de ejemplo;

5 la figura 8A muestra un gráfico que muestra en modo múltiple, las componentes axiales y las componentes radiales medidas utilizando el banco de pruebas como una función de la posición a lo largo de la dirección axial de un segmento físico de un primer elemento de anillo magnético, con respecto a un segmento físico de una segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo magnético;

10 la figura 8B muestra una vista, en sección transversal, que muestra una superposición parcial del primer elemento de anillo y una segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo, según una realización a modo de ejemplo;

15 la figura 9 muestra una vista, en perspectiva, de un segmento del cojinete magnético pasivo mejorado, según una realización a modo de ejemplo;

la figura 10 muestra una vista, en perspectiva, del segmento del cojinete magnético pasivo mejorado, según la realización a modo de ejemplo, que muestra la carcasa en transparencia; y

20 la figura 11 muestra una máquina giratoria que integra un conjunto de cojinete magnético pasivo mejorado, según la realización a modo de ejemplo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

25 Se apreciará que, por sencillez y claridad de la ilustración, cuando se considere apropiado, se pueden repetir números de referencia entre las figuras para indicar elementos o etapas correspondientes o análogos. Además, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión profunda de las realizaciones a modo de ejemplo descritas en el presente documento. No obstante, los expertos en la materia comprenderán que las realizaciones descritas en el presente documento pueden ser puestas en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, los métodos, procedimientos y componentes bien conocidos no se han descrito en detalle para no oscurecer las realizaciones descritas en el presente documento. Además, esta descripción no debe ser considerada en modo alguno como limitativa del alcance de las realizaciones descritas en el presente documento, sino más bien como una simple descripción de la implementación de las diversas realizaciones descritas en el presente documento.

35 La palabra “un” o “una” cuando se utiliza junto con el término “que comprende” en las reivindicaciones y/o la memoria descriptiva puede significar “uno”, pero también es consistente con el significado de “uno o varios”, “como mínimo uno”, y “uno o más de uno”, a menos que el contenido dicte claramente otra cosa. De manera similar, la palabra “otro” puede significar como mínimo un segundo o más, a menos que el contenido indique claramente otra cosa.

40 Los términos “acoplado” o “acoplamiento” tal como se utilizan en el presente documento pueden tener varios significados diferentes dependiendo del contexto en el que se utilizan estos términos. Por ejemplo, los términos acoplado o acoplamiento pueden tener connotaciones mecánicas, eléctricas o magnéticas o una combinación de las anteriores. Por ejemplo, tal como se utiliza en el presente documento, los términos acoplado o acoplamiento pueden indicar que dos elementos o dispositivos están conectados directamente entre sí o conectados entre sí a través de uno o varios elementos o dispositivos intermedios, a través de un elemento eléctrico, una señal eléctrica, un campo magnético o un elemento mecánico, dependiendo del contexto concreto.

50 En términos generales, las realizaciones presentadas en el presente documento están dirigidas a un PMB mejorado. El PMB mejorado incluye elementos de anillo magnéticos sustancialmente concéntricos, cada uno de los cuales tiene como mínimo una matriz de Halbach respectiva. Uno de los elementos de anillo magnético tiene diferentes matrices de Halbach en distintos intervalos angulares del mismo. Uno de los elementos de anillo magnético está configurado para no estar fijo o levitar sustancialmente mientras está en funcionamiento a la vez que está sujeto simultáneamente a fuerzas externas. La interacción magnética entre los elementos de anillo magnéticos provoca fuerzas sobre el elemento de anillo magnético no fijo, de tal manera que este elemento de anillo magnético no fijo se mantiene dentro de un intervalo posicional durante el funcionamiento, pudiendo a la vez girar libremente. Esta propiedad se obtiene utilizando lagunas en el teorema de Earnshaw, tales como la utilización de fuerzas ambientales internas y/o externas como fuerzas que contrarrestan al elemento de anillo magnético no fijo durante el funcionamiento.

65 Según una realización a modo de ejemplo, el elemento de anillo magnético no fijo puede estar sustancialmente estacionario durante el funcionamiento. Por ejemplo, se puede definir una posición objetivo en el eje vertical (eje Y), el eje axial (eje Z) y el eje de lado a lado (eje X). Se permite una cierta desviación con respecto a la posición objetivo. Dicha desviación puede ser causada por un cambio en las fuerzas externas aplicadas sobre el PMB mejorado, tal como un cambio en el flujo de fluido en el entorno de

funcionamiento o cualquier fuerza adicional similar a las fuerzas de funcionamiento normales. La desviación puede incluir traslación a lo largo del eje Z así como movimientos a lo largo del eje Y, y del eje X. El PMB mejorado según esta realización monomodo puede ser configurado de modo que el anillo magnético no fijo vuelva a la posición objetivo cuando se produce dicha desviación posicional.

5

Según otra realización a modo de ejemplo, el elemento de anillo magnético no fijo puede ser posicionado dentro de un intervalo de funcionamiento. En concreto, el intervalo de funcionamiento puede ser definido en la dirección axial del eje Z. También se puede definir una posición objetivo a lo largo del eje Y, y del eje X. También se permite cierta desviación a lo largo del eje Y, y del eje X. En consecuencia, el elemento de anillo magnético no fijo puede ser trasladado a lo largo del eje Z dentro del intervalo de funcionamiento durante el funcionamiento. El elemento de anillo magnético no fijo puede presentar como mínimo dos modos de funcionamiento, correspondiendo cada modo a una posición de funcionamiento definida en cada caso dentro del intervalo de funcionamiento. El PMB mejorado según esta realización multimodo puede ser configurado de modo que el anillo magnético no fijo funcione en una pluralidad de posiciones dentro de las posiciones de funcionamiento definidas (por ejemplo, a lo largo del eje Z) dependiendo de los cambios en la fuerza del flujo de fluido en el entorno de funcionamiento, o de cualquier fuerza adicional similar a las fuerzas de funcionamiento normales. El PMB mejorado también puede ser configurado de modo que el anillo magnético no fijo vuelva a la posición objetivo cuando hay desviaciones con respecto a la posición objetivo definida en los ejes Y y X.

10

15

20

Haciendo referencia a continuación a la figura 1A, en ella se muestra una vista, en perspectiva, de un PMB 1 mejorado, según una realización a modo de ejemplo. El PMB 1 mejorado está representado teóricamente por sus partes "superior", "inferior", "delantera" y "posterior". Estas deben ser tomadas en el contexto de las figuras solamente, y no deben ser consideradas limitativas. Más concretamente, corresponden a la posición y orientación del PMB mejorado cuando se despliega operativamente en el mundo real. La parte inferior se refiere a la parte más cercana a un plano de tierra y la parte superior es opuesta a la parte inferior. La parte delantera se refiere a una superficie o dirección del PMB 1 mejorado orientada hacia una o varias fuerzas externas, tal como orientada hacia un flujo de fluido o hacia una o varias fuerzas externas generadas de otro modo. La parte posterior del cojinete magnético pasivo 1 mejorado es opuesta a la parte delantera del mismo.

25

30

El PMB 1 mejorado puede ser designado utilizando una notación de tres ejes (tres ejes perpendiculares entre sí), en la que la dirección axial 32 denota un primer eje (o **eje "Z"**). Un segundo eje (vertical) corresponde a un eje en la dirección vertical 80. En el funcionamiento del mundo real, este eje corresponde a la orientación de la gravedad (o **eje "Y"**). Un tercer eje (de lado a lado) 88 es perpendicular tanto a la dirección axial 32 como al eje vertical 80. Se apreciará que el tercer eje 88 (o **eje "X"**) corresponde a una dirección de lado a lado del PMB 1 mejorado.

35

El PMB 1 mejorado incluye un primer elemento de anillo magnético 8 y un segundo elemento de anillo magnético 16. La figura 1A muestra el primer anillo magnético 8 y el segundo elemento de anillo magnético 16 superpuestos a lo largo de la dirección axial del eje Z, lo que corresponde a una configuración de funcionamiento. La figura 1B es una vista, con las piezas desmontadas, del PMB 1 mejorado para mostrar mejor las características individuales de cada elemento de anillo 8 y 16. El primer elemento de anillo magnético 8 y el segundo elemento de anillo magnético 16 pueden ser sustancialmente concéntricos entre sí, lo que corresponde a una posición objetivo en el eje X y en el eje Y. No obstante, se permiten ciertas desviaciones a lo largo del eje X y/o del eje Y, lo que puede provocar que el primer elemento de anillo magnético 8 y el segundo elemento de anillo magnético 16 funcionen en una posición relativa ligeramente no concéntrica. El primer elemento de anillo magnético 8 y el segundo elemento de anillo magnético 16 están separados entre sí en dirección radial para definir un espacio 24 operativo radial entre ellos. El espacio 24 se extiende en una dirección radial 28 del PMB 1 mejorado. Se apreciará que puesto que el primer elemento de anillo magnético 8 y el segundo elemento de anillo magnético 16 pueden ser no concéntricos durante el funcionamiento debido a desviaciones de una posición objetivo, el espacio 24 puede variar durante el funcionamiento.

40

45

50

Uno de los elementos de anillo magnéticos puede girar libremente alrededor de un eje común 32 de los elementos de anillo con respecto al otro de los elementos de anillo magnéticos. Se apreciará que mantener un espacio 24 adecuado (espacio sustancialmente fijo, pero con cierta variación) entre los elementos de anillo 8, 16 concéntricos permite que la rotación del elemento de anillo que gira libremente (no fijo) sea sustancialmente sin fricción con respecto al otro elemento de anillo de PMB. Es decir, el elemento de anillo magnético que puede girar libremente puede girar alrededor del eje común 32 sin entrar en contacto por fricción con el otro elemento de anillo. En el ejemplo mostrado, el primer elemento de anillo magnético 8 es un anillo exterior y puede girar libremente alrededor del segundo elemento de anillo magnético 16, que es un elemento de anillo interior.

55

60

Cuando el PMB 1 mejorado se aplica a un dispositivo operativo tal como una máquina giratoria que utiliza fluido, agua, viento, aire, gas o vapor o cualquier fuente de generación de par de torsión, el elemento de anillo que gira libremente se integra con el dispositivo operativo de la parte giratoria. Esta parte giratoria puede ser

65

un rotor. El otro elemento de anillo está integrado en la parte no giratoria del dispositivo operativo. Esta parte no giratoria puede ser un estátor. Más concretamente, el dispositivo operativo tiene un conjunto de elementos (tales como el estátor y el elemento de anillo integrado en el mismo) que están fijados a un cuerpo externo, tal como, por ejemplo, el suelo, a través de la estructura del dispositivo operativo. El dispositivo operativo también tiene otro conjunto de elementos (tal como el rotor y el elemento de anillo que gira libremente) que no están fijados al cuerpo externo.

Se comprenderá que, en otros ejemplos, el dispositivo operativo puede ser un cojinete simple (no genera electricidad) que integra el primer y segundo elementos de anillo del PMB 1 mejorado.

Cada uno del primer elemento de anillo magnético 8 y el segundo elemento de anillo magnético 16 tiene una profundidad axial (es decir, una profundidad (o longitud/dimensión) en la dirección axial 32). Cada uno del primer elemento de anillo magnético 8 y el segundo elemento de anillo magnético 16 tiene, además, como mínimo, una matriz de Halbach respectiva. La matriz de Halbach del primer y segundo elementos de anillo magnéticos 8 y 16, respectivamente, varían debido a que la disposición de los imanes permanentes que forman las matrices y los campos magnéticos creados por ellos varían en las direcciones de las coordenadas de tres estados de los tres ejes, incluido el eje 32 del PMB 1 mejorado.

La matriz de Halbach variable del primer elemento de anillo magnético 8 y la matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 en una primera posición angular tienen una interacción magnética mutua. La primera posición angular puede estar en una parte superior del PMB 1 mejorado. La interacción específica de las matrices de Halbach variables de los elementos de anillo magnéticos 8 y 16 crea una fuerza de repulsión en la primera posición angular entre los elementos de anillo magnéticos 8 y 16. La fuerza de repulsión la experimenta el primer elemento de anillo magnético 8, que puede girar libremente.

La interacción magnética específica en la primera posición angular causada por las matrices de Halbach variables de los elementos de anillo magnéticos 8 y 16 se puede caracterizar como una primera fuerza F 60 (figura 2) que se aplica sobre el primer elemento de anillo magnético 8. Esta fuerza contribuye a un modelo de rigidez del primer elemento de anillo magnético 8. Se observó que la interacción magnética específica en la primera posición angular de los patrones magnéticos de las matrices de Halbach variables de los elementos de anillo magnéticos 8 y 16 provoca una fuerza F 60 sobre el primer elemento de anillo magnético 8 que tiene una primera componente 61 de la fuerza en la dirección axial 32 y una segunda componente 62 de la fuerza en una dirección radial 28 del PMB 1 mejorado. La primera componente 61 está orientada hacia la parte delantera teórica del PMB 1 mejorado. La componente radial 62 está orientada opuesta al segundo elemento de anillo 16, lo que muestra que el primer elemento de anillo 8 está siendo repelido por el segundo elemento de anillo 16 en la primera posición angular. La componente radial 62 está orientada en la dirección de la parte superior teórica del PMB 1 mejorado. La componente radial 62 puede estar alineada con el eje Y vertical del PMB 1 mejorado.

Según algunas realizaciones a modo de ejemplo, la primera componente 61 de la fuerza en la dirección axial 32 puede ser variable. Esta componente 61 de la fuerza puede variar dependiendo de la posición relativa del primer elemento de anillo 8 con respecto al segundo elemento de anillo 16 a lo largo de la dirección axial (eje Z). Un cambio en las posiciones relativas del primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 puede afectar a la interacción magnética entre ellos, variando de este modo también la componente 61 de la fuerza a lo largo del eje Z 32. La variación de la componente 61 de la fuerza puede ser útil para ajustar el funcionamiento debido al cambio de la fuerza del flujo de fluido.

Según algunas realizaciones a modo de ejemplo, la segunda componente 62 de la fuerza en la dirección radial 28 puede ser variable. En consecuencia, la fuerza de repulsión experimentada por el primer elemento de anillo magnético 8 que gira libremente puede ser variable. Esta componente 62 de la fuerza también puede variar dependiendo de la posición relativa del primer elemento de anillo 8 con respecto al segundo elemento de anillo 16 a lo largo de la dirección axial (eje Z). Un cambio en las posiciones relativas del primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 puede afectar a la interacción magnética entre ellos, variando de este modo también la componente 62 de la fuerza a lo largo del eje Y 80. La variación de la componente 62 de la fuerza puede ser útil para ajustar el funcionamiento debido a cambios en las fuerzas externas aplicadas al elemento de anillo no fijo, tales como fuerzas hidrostáticas variables.

Por supuesto, si el primer elemento de anillo 8 y el segundo elemento de anillo 16 se mantienen en una posición relativa sustancialmente constante a lo largo de la dirección axial del eje Z, entonces la fuerza F 60 y su componente axial 61 y componente radial 62 también serán sustancialmente constantes, debido a que la interacción magnética entre los elementos de anillo 8 y 16 permanecerá constante.

Volviendo a las figuras 1A y 1B, la matriz de Halbach del primer elemento de anillo magnético 8 puede ser constante en toda la circunferencia del primer elemento de anillo magnético 8. Esto se muestra en la figura 1 teniendo el primer elemento de anillo magnético 8 el mismo sombreado alrededor de su circunferencia (sin patrón de sombreado para el primer elemento de anillo magnético en las figuras 1A y 1B). Se comprenderá

que la matriz de Halbach del primer elemento de anillo magnético es constante alrededor de toda la circunferencia, debido a que tomando una sección transversal en cualquier posición angular alrededor del eje 32 puede mostrar las mismas características de la matriz de Halbach, tal como la misma matriz de Halbach de elementos magnéticos permanentes del primer elemento de anillo magnético 8.

5

En otras realizaciones, la matriz de Halbach del primer elemento de anillo magnético 8 puede ser variable de una aplicación a otra en las tres direcciones, pero constante alrededor de su circunferencia.

10

La matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 no es constante alrededor de la circunferencia del segundo elemento de anillo magnético 16. El segundo elemento de anillo magnético 16 tiene una primera matriz de Halbach variable que se extiende sobre un primer conjunto de como mínimo una región angular (como se muestra por un primer patrón de sombreado en el borde del elemento de anillo 16) y una segunda matriz de Halbach variable que se extiende sobre un segundo conjunto de como mínimo una región angular (tal como se muestra mediante un segundo patrón de sombreado en el borde del elemento de anillo 16). El patrón magnético variable de la primera matriz de Halbach variable es diferente del patrón magnético variable de la segunda matriz de Halbach variable. Esto se muestra en las figuras 1A y 1B teniendo el segundo elemento de anillo magnético 16 regiones angulares sombreadas de manera diferente, correspondiendo cada región a una de las matrices de Halbach variables.

15

20

La matriz de Halbach variable del primer elemento de anillo magnético 8 y la segunda matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 en la segunda posición angular tienen una interacción magnética mutua. La segunda posición angular puede ser una parte inferior del PMB 1 mejorado. Debido a que la segunda matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 es diferente en la segunda posición angular, la interacción específica entre el primer y segundo elementos de anillo magnéticos 8 y 16 también es diferente en la segunda posición angular. La interacción de matrices de Halbach variables de los elementos de anillo 8 y 16 en la segunda posición angular es una fuerza de atracción entre los elementos de anillo 8 y 16.

25

30

La interacción magnética específica en la segunda posición angular causada por las matrices de Halbach variables de los elementos de anillo 8 y 16 se puede caracterizar como una segunda fuerza F_{72} (figura 3) que se aplica sobre el primer elemento de anillo magnético 8. Esta fuerza contribuye a un modelo de rigidez del primer elemento de anillo magnético 8. Se observó que la interacción magnética específica en la segunda posición angular de los patrones magnéticos de las matrices de Halbach variables de los elementos de anillo 8 y 16 provoca la segunda fuerza F_{72} sobre el primer elemento de anillo magnético 8 que tiene una primera componente 73 de la fuerza en la dirección axial 32 y una segunda componente 74 de la fuerza en una dirección radial 28 del PMB 1 mejorado. La primera componente 73 de la fuerza está orientada hacia la parte delantera teórica del PMB 1 mejorado. La componente radial 74 de la fuerza está orientada hacia el segundo elemento de anillo 16, mostrando que el primer elemento de anillo 8 está siendo atraído por el segundo elemento de anillo 16 en la segunda posición angular dentro de la segunda región angular 64. Debido a la fuerza de atracción variable que ocurre en una parte inferior del primer elemento de anillo 8, la componente radial 74 está orientada en la dirección de la parte superior teórica del PMB 1 mejorado. La componente radial 74 puede estar alineada con el eje Y vertical del PMB 1 mejorado.

35

40

45

Según algunas realizaciones a modo de ejemplo, la primera componente 73 de la fuerza en la dirección axial 32 puede ser variable. Esta componente 73 de la fuerza puede variar dependiendo de la posición relativa del primer elemento de anillo 8 con respecto al segundo elemento de anillo 16 a lo largo de la dirección axial (eje Z). Un cambio en las posiciones relativas del primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 puede afectar a la interacción magnética entre ellos, variando de este modo también la componente 73 de la fuerza a lo largo del eje Z 32. La variación de la componente 73 de la fuerza puede ser útil para ajustar la operación debido al cambio de la fuerza del flujo de fluido o a cualquier fuerza adicional similar a las fuerzas de funcionamiento normales.

50

55

Según algunas realizaciones a modo de ejemplo, la segunda componente 74 de la fuerza en la dirección radial 28 puede ser variable. En consecuencia, la fuerza de atracción experimentada por el primer elemento de anillo magnético 8 que gira libremente puede ser variable. Esta componente 74 de la fuerza también puede variar dependiendo de la posición relativa del primer elemento de anillo 8 con respecto al segundo elemento de anillo 16 a lo largo de la dirección axial (eje Z). Un cambio en las posiciones relativas del primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 puede afectar a la interacción magnética entre ellos, variando por lo tanto también la componente 74 de la fuerza a lo largo del eje Y 80. La variación de la componente 74 de la fuerza puede ser útil para ajustar el funcionamiento debido a cambios en las fuerzas externas aplicadas al elemento de anillo no fijo, tales como fuerzas hidrostáticas variables.

60

65

Por supuesto, si el primer elemento de anillo 8 y el segundo elemento de anillo 16 se mantienen en una posición relativa sustancialmente constante a lo largo de la dirección axial del eje Z, entonces la fuerza F_{72} y su componente axial 73 y componente radial 74 también serán sustancialmente constantes porque la interacción magnética entre los elementos de anillo 8 y 16 permanecerá constante.

En la realización a modo de ejemplo mostrada de la figura 1A, la primera matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 se extiende sobre una sola región axial correspondiente a una parte superior del segundo elemento de anillo magnético 16. En el ejemplo mostrado, la primera matriz de Halbach variable se extiende sobre una región angular superior 82. Esta región angular superior 82 incluye la primera región angular 40. En este ejemplo mostrado, esta región superior 82 se extiende sobre un arco de aproximadamente 280 grados del segundo elemento de anillo magnético 16. Dentro de esta región angular superior 82, el primer elemento de anillo magnético 8 puede tener una interacción magnética de repulsión con el segundo elemento de anillo magnético 16, tal como a partir de la combinación de los patrones magnéticos de las matrices de Halbach variables de los elementos de anillo magnéticos 8 y 16 mostrados en la figura 2. Sin perjuicio de lo anterior, la región superior 82 puede tener una región que es diferente del arco de 280 grados.

Continuando con la figura 1A, la segunda matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 se extiende sobre una sola región axial correspondiente a una parte inferior del segundo elemento de anillo magnético 16. En el ejemplo mostrado, la segunda matriz de Halbach variable del segundo conjunto se extiende sobre una región angular inferior 84. La segunda matriz de Halbach variable en esta región angular inferior 84 es diferente de la primera matriz de Halbach variable en la región angular superior 82. La región angular inferior incluye la segunda posición angular 64. En este ejemplo mostrado, esta región inferior se extiende sobre un arco de aproximadamente 80 grados del segundo elemento de anillo magnético 16. Dentro de esta región angular inferior 84, el primer elemento de anillo magnético 8 puede tener una interacción magnética de atracción con el segundo elemento de anillo magnético 16, tal como a partir de la combinación de patrones magnéticos de las matrices de Halbach variables de los elementos de anillo magnéticos 8 y 16 mostrados en la figura 3. Sin perjuicio de lo anterior, la región inferior 84 puede tener una región que es diferente del arco de 80 grados.

El PMB 1 mejorado puede ser simétrico con respecto al eje en la dirección vertical 80 de modo que su lado "izquierdo" pueda ser congruente con su lado "derecho". El PMB 1 mejorado, al ser simétrico, crea una fuerza cero en cualquier dirección del eje X de lado a lado.

En otras realizaciones a modo de ejemplo, el PMB 1 mejorado puede ser asimétrico alrededor del eje en la dirección vertical 80, de modo que su lado "izquierdo" no sea congruente con su lado "derecho". El PMB 1 mejorado, al ser asimétrico, crea fuerzas distintas de cero sobre el eje X de lado a lado, lo que puede ser útil para contrarrestar fuerzas externas (tal como cuando hay una componente lateral en una fuerza de flujo de fluido externo).

Tal como se describe en otra parte del presente documento, en una posición relativa determinada del primer elemento de anillo 8 con el segundo elemento de anillo 16 a lo largo del eje Z 32, la primera fuerza F 60 (figura 2) tiene una primera componente 61 en la dirección axial 32 orientada hacia una parte delantera teórica del PMB 1 mejorado, y una segunda componente 62 de la fuerza a lo largo del eje en la dirección vertical 80 en una dirección de la parte superior teórica del PMB 1 mejorado (de la fuerza de repulsión). Se comprenderá que en la posición relativa determinada a lo largo del eje Z 32, esta primera fuerza F 60 está presente en cualquier punto a lo largo de la primera región angular 82, aunque la orientación exacta variará dependiendo de la posición angular exacta.

Asimismo, en la posición relativa determinada del primer elemento de anillo 8 con el segundo elemento de anillo 16 a lo largo del eje Z, la segunda fuerza variable F 72 (figura 3) tiene una primera componente 73 de la fuerza en la dirección axial 32 también orientada hacia una parte delantera teórica del PMB 1 mejorado y una segunda componente 74 de la fuerza a lo largo del eje en la dirección vertical 80 también en la dirección de la parte superior teórica del PMB 1 mejorado (de la fuerza de atracción). Se comprenderá que en la posición relativa determinada a lo largo del eje Z 32, esta segunda fuerza F 72 está presente en cualquier punto a lo largo de la segunda región angular 84, aunque la orientación exacta variará dependiendo de la posición angular exacta.

Además, en la posición relativa determinada del primer elemento de anillo 8 con el segundo elemento de anillo 16 a lo largo del eje Z, la suma de las fuerzas F 60 a lo largo de la región angular superior 82 del primer elemento de anillo magnético 8 combinada con la suma de las fuerzas F 72 a lo largo de la región angular inferior 82 del segundo elemento de anillo magnético 16 definen una fuerza combinada sobre el primer elemento de anillo magnético 8 a partir de la interacción magnética de la totalidad del primer elemento de anillo magnético 8 y la totalidad del segundo elemento de anillo magnético 16. Se observó y midió que cuando la matriz de Halbach angularmente constante del primer elemento de anillo magnético 8, y la primera y segunda matrices de Halbach del segundo elemento de anillo magnético 16 se diseñan apropiadamente, la interacción magnética del primer elemento de anillo magnético 8 y el segundo elemento de anillo magnético 16 se puede definir como una fuerza combinada que tiene una componente axial definida a lo largo del eje 32 del PMB 1 mejorado, y una componente radial definida a lo largo del eje en la dirección vertical 80 del PMB 1 mejorado. Esta componente radial está definida en una posición angular específica correspondiente al eje Y

en la dirección vertical 80. Estas componentes de las fuerzas combinadas son representativas de la fuerza sobre el primer elemento de anillo magnético 8 a lo largo del eje 32 y de la fuerza sobre el primer elemento de anillo magnético 8 a lo largo del eje en la dirección vertical 80.

5 Según una realización a modo de ejemplo, y tal como se describe en otra parte del presente documento, el PMB 1 mejorado está diseñado para que su primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 funcionen en una posición objetivo, que incluye una posición objetivo a lo largo de la dirección axial del eje Z del primer elemento de anillo 8 con respecto al segundo elemento de anillo 16. La posición objetivo también puede ser
10 definida para que los elementos de anillo 8 y 16 sean sustancialmente concéntricos. Se apreciará que al definir una posición objetivo, se pretende que el primer elemento de anillo 8 y el segundo elemento de anillo 16 estén sustancialmente alineados en la dirección axial, correspondiendo la alineación a la posición objetivo a lo largo de la dirección axial del eje Z. Esta alineación también corresponde a la posición relativa determinada a lo largo del eje Z mencionada en los párrafos anteriores. Tal como se describe con mayor
15 detalle en otra parte del presente documento, se permite cierta desviación de la posición objetivo, tal como cierta traslación relativa a lo largo de la dirección axial del eje Z.

Se observó y midió, además, que los parámetros del primer elemento de anillo magnético 8 y del segundo elemento de anillo magnético 16 se pueden seleccionar apropiadamente (por ejemplo: durante el diseño del PMB 1 mejorado) de modo que cuando el primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 se mantienen en la
20 posición objetivo (incluyendo estar sustancialmente alineados en la dirección axial), la componente axial definida de la fuerza combinada coincide sustancialmente con una fuerza axial objetivo predeterminada, y la componente radial definida en la posición angular específica coincide con una fuerza radial objetivo predeterminada.

25 Según otra realización a modo de ejemplo, y tal como se describe en otra parte del presente documento, el PMB 1 mejorado está diseñado para que su primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 funcionen dentro de un intervalo de funcionamiento. En concreto, el intervalo de funcionamiento se puede definir en la dirección axial del eje Z. El intervalo de funcionamiento también puede definir una posición objetivo en el eje X y el eje Y, tal como, por ejemplo, que el primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 sean sustancialmente
30 concéntricos. Se apreciará que al definir un intervalo de funcionamiento, el primer elemento de anillo 8 y el segundo elemento de anillo 16 pueden tener una pluralidad de posiciones relativas (tal como se menciona en los párrafos anteriores) a lo largo de la dirección axial del eje Z. Es decir, se permite la traslación del primer elemento de anillo 8 con respecto al segundo elemento de anillo 16 a lo largo del eje Z dentro del intervalo de
35 funcionamiento.

En consecuencia, en cada una de la pluralidad de las posiciones relativas determinadas del primer elemento de anillo 8 y del segundo elemento de anillo 16 a lo largo del eje Z dentro del intervalo de funcionamiento, la primera fuerza F 60 tiene una primera componente 61 respectiva en la dirección axial 32 y una segunda
40 componente 62 de la fuerza respectiva a lo largo del eje en la dirección vertical 80. De manera similar, en cada una de la pluralidad de posiciones relativas determinadas del primer elemento de anillo 8 y del segundo elemento de anillo 16 a lo largo del eje Z dentro del intervalo de funcionamiento, la segunda fuerza F 72 tiene una primera componente 73 de la fuerza respectiva en la dirección axial 32 y una segunda componente 74 de la fuerza respectiva a lo largo del eje en la dirección vertical 80. Debido a que la interacción magnética entre el primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 será diferente para diferentes posiciones relativas a lo largo
45 del eje Z, la primera fuerza F 60 (y sus componentes 61 y 62) y la segunda fuerza F 72 (y sus componentes 73 y 74) variarán según la posición relativa real. En consecuencia, dentro del intervalo de funcionamiento definido a lo largo de la dirección del eje Z, la fuerza combinada de la primera fuerza F 60 y la segunda fuerza F 72 define una curva de fuerza combinada.

50 Se observó y midió, además, que los parámetros del primer elemento de anillo magnético 8 y del segundo elemento de anillo magnético 16 pueden ser seleccionados apropiadamente (por ejemplo, durante el diseño del PMB 1 mejorado) de modo que cuando el primer elemento de anillo 8 y el segundo elemento de anillo 16 son posicionados entre sí dentro del intervalo de funcionamiento definido en la dirección axial del eje Z, la curva de fuerza combinada tiene una componente axial en la dirección axial que coincide sustancialmente
55 con una curva de fuerza axial objetivo predeterminada, y una componente radial que coincide sustancialmente con una curva radial objetivo predeterminada.

En una realización a modo de ejemplo, la curva de fuerza axial objetivo predeterminada puede ser variable para las posiciones relativas del primer y segundo elementos de anillo 8 y 16. La curva de fuerza axial objetivo predeterminada se puede establecer de acuerdo con un intervalo esperado de fuerzas externas aplicadas sobre el PMB 1 mejorado durante el funcionamiento.
60

En una realización a modo de ejemplo, la curva de fuerza radial objetivo predeterminada puede ser sustancialmente constante (es decir, una curva plana) para las posiciones relativas del primer y segundo
65 elementos de anillo 8 y 16.

Dentro del intervalo de funcionamiento definido de las posiciones relativas del primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 a lo largo del eje Z, puede haber, además, como mínimo dos posiciones relativas estables. En otras realizaciones, puede haber más de dos posiciones relativas estables. En una primera posición relativa estable del primer elemento de anillo y del segundo elemento de anillo en dirección axial, el primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 tienen una interacción magnética sustancialmente estable. La interacción magnética estable corresponde a que la fuerza combinada causada por dicha interacción sea sustancialmente constante. De manera similar, en una segunda posición relativa estable del primer elemento de anillo y del segundo elemento de anillo en dirección axial, el primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 tienen otra interacción magnética sustancialmente estable, que corresponde a otra fuerza combinada.

Según diversas realizaciones a modo de ejemplo descritas en el presente documento, las características del campo magnético de la matriz de Halbach del primer elemento de anillo 8 son variables en la dirección axial 32 del eje Z. Por ejemplo, la matriz de Halbach del primer elemento de anillo está formada por una pluralidad de imanes discretos, que están posicionados en la dirección axial, y los imanes discretos tienen diferentes características magnéticas. Dichas características magnéticas de la pluralidad de imanes discretos pueden incluir material magnético, orientación del campo magnético, intensidad del campo magnético, altura del imán, ancho del imán y profundidad del imán.

Las características del campo magnético de la primera matriz de Halbach y las características del campo magnético de la segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo 16 también pueden ser variables en la dirección axial 32 del eje Z. Por ejemplo, la primera matriz de Halbach del segundo elemento de anillo está formada de una pluralidad de imanes discretos que están posicionados en la dirección axial, y la segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo está formada por otra pluralidad de imanes discretos que están posicionados en la dirección axial. Cada conjunto de imanes discretos puede tener diferentes características de imán, tales como uno o varios de material magnético, orientación del campo magnético, intensidad del campo magnético, altura del imán, ancho del imán y profundidad del imán.

Haciendo referencia a continuación a la figura 2, en ella se muestra una vista, en sección transversal, a lo largo de la línea A-A (40 de la figura 1) en una primera posición angular del PMB 1 mejorado, según una realización a modo de ejemplo. La primera posición angular corresponde a una región angular superior 82 del PMB 1 mejorado. La matriz de Halbach variable del primer elemento de anillo magnético 8 en la primera posición angular y la matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 en la primera posición angular, según ambas realizaciones a modo de ejemplo se muestran en la figura 2, solo para la vista en sección transversal A-A.

Cada matriz de Halbach variable está modelizada y mostrada como un grupo de imanes permanentes dispuestos de manera adyacente, cada uno de los cuales tiene una orientación magnética definida que representa su campo magnético. Los imanes permanentes están alineados en la dirección axial del eje Z. En el ejemplo mostrado de la figura 2, la matriz de Halbach variable del primer elemento de anillo magnético 8 tiene el siguiente patrón de orientación magnética de 9 elementos magnéticos permanentes (de izquierda a derecha de la figura 2): $\rightarrow\downarrow\leftarrow\uparrow\rightarrow\downarrow\leftarrow\uparrow\rightarrow$. La matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 tiene el siguiente patrón de orientación magnética de 8 elementos magnéticos permanentes (de izquierda a derecha de la figura 2): $\rightarrow\uparrow\leftarrow\downarrow\rightarrow\uparrow\leftarrow\downarrow$. En las matrices de Halbach a modo de ejemplo mostradas en la figura 2, debido a que el primer elemento de anillo magnético 8 tiene elementos magnéticos más permanentes en la dirección axial, puede tener una profundidad axial 48 que es mayor que la profundidad axial 56 del segundo elemento de anillo magnético 16. Sin perjuicio de lo anterior, en el ejemplo mostrado de la figura 2, la matriz de Halbach variable del primer elemento de anillo magnético 8 puede tener un patrón de cualquier número de elementos magnéticos permanentes distinto de nueve (9). De manera similar, la matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 puede tener un patrón de cualquier número de elementos magnéticos permanentes distinto de ocho (8).

La figura 2 muestra una posición relativa determinada del primer elemento de anillo 8 con respecto al segundo elemento de anillo 16. Esto puede corresponder a una posición objetivo a lo largo de la dirección axial del eje Z. Alternativamente, esta posición relativa puede corresponder a una posición relativa estable dentro del intervalo de funcionamiento de posiciones relativas del primer y segundo elementos de anillo 8 y 16.

Dentro de esta posición relativa del primer y segundo elementos de anillo, la interacción magnética de los mismos en la primera posición angular 40 puede estar caracterizada por que la primera fuerza F 60 tiene su componente axial 61 de la fuerza y su segunda componente radial 62 de la fuerza.

Haciendo referencia a continuación a la figura 3, en ella se muestra una vista, en sección transversal, a lo largo de la línea B-B (64 de la figura 1) en una segunda posición angular del PMB 1 mejorado, según una realización a modo de ejemplo. La segunda posición angular corresponde a una región inferior 84 del PMB 1. La matriz de Halbach variable del primer elemento de anillo magnético 8 en la segunda posición angular y la matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 en la segunda posición angular se

muestran ambas en la figura 3.

Como en la figura 2, cada matriz de Halbach variable en la segunda posición angular está modelizada y mostrada como un grupo de imanes permanentes dispuestos de manera adyacente, cada uno de los cuales tiene una orientación magnética definida que representa su campo magnético. En el ejemplo mostrado de la figura 3, la matriz de Halbach variable del primer elemento de anillo magnético 8 tiene el siguiente patrón de orientación magnética de 9 elementos magnéticos permanentes (de izquierda a derecha de la figura 3): $\rightarrow\uparrow\leftarrow\downarrow\rightarrow\uparrow\leftarrow\downarrow\rightarrow$. Se apreciará que este es sustancialmente el mismo patrón que el de la primera posición angular (mostrado en la figura 2) pero se ha invertido (es decir, reflejado alrededor del eje 32) puesto que el primer elemento de anillo magnético 8 está más cerca de la parte inferior en la región inferior 64.

La matriz de Halbach variable en la segunda posición angular del segundo elemento de anillo magnético 16 tiene el siguiente patrón de orientación magnética de 8 elementos magnéticos permanentes (de izquierda a derecha de la figura 3): $\uparrow\rightarrow\downarrow\leftarrow\uparrow\rightarrow\downarrow\leftarrow$. Se apreciará que este patrón es diferente del patrón magnético de la matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 en la primera posición angular. Sin perjuicio de lo anterior, en el ejemplo mostrado de la figura 3, la matriz de Halbach variable del primer elemento de anillo magnético 8 puede tener un patrón de cualquier número de elementos magnéticos permanentes distinto de nueve (9). De manera similar, la matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 puede tener un patrón de cualquier número de elementos magnéticos permanentes distinto de ocho (8).

Se apreciará que la segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo magnético 16 también tiene características de campo magnético variables a lo largo de la dirección 32 del eje Z.

La figura 3 muestra una misma posición relativa del primer elemento de anillo 8 con respecto al segundo elemento de anillo 16 tal como se muestra en la figura 2. Esto puede corresponder a una posición objetivo a lo largo de la dirección axial del eje Z. Alternativamente, esta posición relativa puede corresponder a una posición relativa estable dentro del intervalo de funcionamiento de las posiciones relativas del primer y segundo elementos de anillo 8 y 16.

Dentro de esta posición relativa del primer y segundo elementos de anillo, la interacción magnética de los mismos en la segunda posición angular 64 puede estar caracterizada por que la primera fuerza F_{72} tiene su componente F_{74} radial de la fuerza y su segunda componente F_{73} axial de la fuerza.

Se comprenderá que los siguientes parámetros pueden ser seleccionados de manera variable y ponderados/valorados de manera variable para influir sobre la fuerza combinada o la curva de fuerza combinada:

- el patrón de elementos magnéticos dentro de la matriz de Halbach variable angularmente constante del primer elemento de anillo magnético 8;
- el patrón de elementos magnéticos de la primera matriz de Halbach variable dentro del primer conjunto de como mínimo una región angular del segundo elemento de anillo magnético 16;
- la posición y el tamaño (por ejemplo, en grados) del primer conjunto de como mínimo una región angular que tiene la primera matriz de Halbach variable dentro del segundo elemento de anillo magnético 16;
- el patrón de elementos magnéticos de la segunda matriz de Halbach variable dentro del segundo conjunto de como mínimo una región angular del segundo elemento de anillo magnético 16;
- la posición y el tamaño (por ejemplo, en grados) del segundo conjunto de como mínimo una región angular que tiene la segunda matriz de Halbach variable dentro del segundo elemento de anillo magnético 16;
- y/o
- el material o los materiales magnéticos que forman el primer y segundo elementos de anillo magnético 8 y 16;
- la posición de funcionamiento del elemento 8 con respecto al elemento 16 en todos los ejes también puede ser variable y/o fijada por diseño.

Otros factores que pueden influir sobre las fuerzas combinadas variables incluyen:

- dimensiones de los imanes individuales que forman las matrices de Halbach;
- material dúplex utilizado para alojar los imanes, aleación y dimensiones;
- el procedimiento utilizado para separar y aislar los imanes del fluido o cualquier agente externo que pueda afectar a su rendimiento en el tiempo dentro del primer y segundo elementos de anillo magnéticos 8 y 16;
- el material utilizado para aislar los imanes de la carcasa del primer y segundo elementos de anillo magnéticos 8 y 16, y geometría.

En consecuencia, se comprenderá que las figuras 1A, 2 y 3 y la descripción asociada presentan el PMB 1 mejorado, según una posible configuración a modo de ejemplo. Se contemplan otras configuraciones del

PMB 1 mejorado que pueden hacer que el PMB 1 tenga las tres fuerzas axiales o curvas de fuerza predeterminadas dentro de la posición objetivo o el intervalo de funcionamiento de posiciones axiales relativas del primer y segundo elementos de anillo magnéticos 8 y 16. Más concretamente, las figuras 2 y 3 y la descripción asociada proporcionan una configuración específica del patrón magnético de las matrices de Halbach variables de los elementos de anillo magnéticos 8 y 16 y se comprenderá que se pueden implementar otros patrones magnéticos de las matrices. Por ejemplo, el patrón magnético se puede duplicar o multiplicar en cualquier dirección (es decir, repetir o repetir fraccionalmente los 9 elementos magnéticos del primer elemento de anillo 8 y los 8 elementos magnéticos del segundo elemento de anillo 16). Alternativamente, se pueden utilizar diferentes patrones magnéticos.

De manera similar, la figura 1A y la descripción asociada dan a conocer una configuración específica del primer conjunto de como mínimo una región angular del segundo elemento de anillo magnético 16 que tiene la primera matriz de Halbach variable y el segundo conjunto de como mínimo una región angular del segundo elemento de anillo magnético 16 que tiene la segunda matriz de Halbach variable y se comprenderá que se pueden implementar otras disposiciones angulares de las matrices de Halbach (por ejemplo: la figura 5 presenta otra configuración posible). Más concretamente, se puede variar el número de regiones angulares que tienen la primera matriz de Halbach dentro del primer conjunto y el número de regiones angulares que tienen la segunda matriz de Halbach dentro del segundo conjunto. También se pueden variar la posición angular y el ancho angular de cada región angular. En otras configuraciones, el segundo elemento de anillo magnético puede tener más de dos patrones de matriz de Halbach variable.

Haciendo referencia a continuación a la figura 4, en ella se muestra un gráfico que muestra la componente axial y la componente radial variables en la posición angular específica de la fuerza combinada variable aplicada al primer elemento de anillo magnético 8 en función de la posición del primer elemento de anillo magnético 8 a lo largo la dirección axial 32 con respecto al segundo elemento de anillo magnético 16, según una realización a modo de ejemplo. El gráfico se generó modelizando el PMB 1 mejorado mostrado en la figura 1 y teniendo las matrices variables de Halbach de las figuras 2 y 3. En el ejemplo mostrado, una fuerza axial objetivo 96 predeterminada se establece en 50000 N (F_z objetivo). Una fuerza radial objetivo 104 en la posición angular específica se establece en 22500 N (F_y objetivo). Una primera curva 112 muestra la componente axial variable de la fuerza combinada variable procedente de la interacción magnética de los elementos de anillo magnéticos 8 y 16 en función de la posición del primer elemento de anillo magnético a lo largo de la dirección axial 32 (es decir, con respecto al segundo elemento de anillo magnético 16). Una segunda curva 116 muestra la componente radial variable en la parte angular específica de la fuerza combinada variable procedente de la interacción magnética de los elementos de anillo magnéticos 8 y 16 también en función de la posición del primer elemento de anillo magnético 8 a lo largo de la dirección axial 32. En concreto, en una posición de trabajo 120 ($z = 0$), la componente axial 112 de la fuerza combinada coincide sustancialmente con la fuerza axial objetivo 96 predeterminada, y la componente radial 116 de la fuerza combinada coincide sustancialmente con la fuerza radial objetivo 104 predeterminada.

Mientras que el gráfico de rendimiento de la figura 4 muestra la fuerza axial objetivo 96 y la fuerza radial objetivo 104 siendo alcanzadas en la posición objetivo 120 ($z = 0$), la figura 4 también muestra una curva de fuerza combinada variable para un intervalo de funcionamiento que se extiende a ambos lados de la posición de trabajo 120 ($z = 0$). Se apreciará fácilmente que tanto la primera curva 112 como la segunda curva 116 varían significativamente con respecto a la posición z . No obstante, en las proximidades de la posición $z = 0$ (por ejemplo: $z = \pm 2$ mm), las curvas 112 y 116 tienen características favorables. En consecuencia, el intervalo de funcionamiento se puede definir como $z = \pm 2$ mm según la realización a modo de ejemplo mostrada. Dentro de este intervalo de funcionamiento, la curva de fuerza 112 que representa la componente axial variable está aumentando. En funcionamiento, a medida que disminuyen las fuerzas externas en la dirección axial, el primer elemento de anillo 8 se desplazará hacia el intervalo negativo y también tendrá una componente axial de la fuerza, según la curva de fuerza para contrarrestar la fuerza axial externa decreciente. De manera similar, a medida que aumentan las fuerzas externas en la dirección axial, el primer elemento de anillo 16 se desplazará hacia el intervalo positivo y también tendrá una componente axial de la fuerza, según la curva de fuerza para contrarrestar la fuerza axial externa creciente.

Se comprenderá que seleccionar adecuadamente los parámetros y los valores de los parámetros del PMB 1 mejorado de modo que las componentes axial y radial de la fuerza variable de las fuerzas combinadas de la interacción magnética de sus elementos de anillo 8, 16 coincidan sustancialmente con la fuerza axial objetivo 96 y la fuerza axial objetivo 116 permite aprovechar las lagunas del teorema de Earnshaw. Más concretamente, el PMB 1 mejorado se puede implementar en un entorno de funcionamiento en el que estará sujeto a fuerzas externas que se pueden caracterizar por tener una componente axial que contrarresta la fuerza axial objetivo 96 o la curva de fuerza axial objetivo y una componente radial que contrarresta la fuerza radial objetivo 104, y que, además, tiene una fuerza relativamente pequeña en la dirección de lado a lado del tercer eje 88. Se comprenderá, además, que cuando se despliega en este entorno de funcionamiento, el primer elemento de anillo magnético 8 será sustancialmente estacionario con respecto al segundo elemento de anillo magnético 16 de la componente axial de la fuerza externa que anula la componente axial 112 de la fuerza combinada variable de la interacción magnética dentro del PMB 1 mejorado y de la componente radial

de las fuerzas externas que anula la componente radial variable 116 de la fuerza combinada de la interacción magnética dentro del PMB 1. Alternativamente, el primer elemento de anillo magnético 8 se moverá dentro de su intervalo de funcionamiento con respecto al segundo anillo magnético 16 en la dirección axial, por lo que a medida que varía la componente axial de la fuerza externa, el primer elemento de anillo magnético 8 se traslada en el eje Z para conseguir una fuerza combinada según la curva de fuerza para contrarrestar las fuerzas externas.

Haciendo referencia a continuación a la figura 5, en ella se muestra una vista, en perspectiva, de un PMB 1' según una realización a modo de ejemplo alternativa. El PMB 1' mejorado alternativo tiene un segundo elemento de anillo magnético 16' que tiene una primera matriz de Halbach variable que se extiende sobre un primer conjunto de regiones angulares del mismo y una segunda matriz de Halbach variable que se extiende sobre un segundo conjunto de regiones angulares del mismo. El primer conjunto de regiones angulares y el segundo conjunto de regiones angulares pueden tener una disposición alterna, siendo simétricos o asimétricos con respecto al eje en la dirección vertical 80. La primera matriz de Halbach variable es diferente de la segunda matriz de Halbach variable. La primera matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 puede tener el patrón magnético tal como se muestra en la figura 2 y la segunda matriz de Halbach variable del segundo elemento de anillo magnético 16 puede tener el patrón magnético tal como se muestra en la figura 3. El primer elemento de anillo magnético 8 del PMB 1' alternativo puede tener una matriz de Halbach variable que sea constante en toda su circunferencia. Esta matriz de Halbach variable del primer elemento de anillo magnético 8 puede tener el patrón magnético mostrado en las figuras 2 y 3. En consecuencia, el primer conjunto de regiones angulares del PMB 1' alternativo tiene una interacción magnética de repulsión y el segundo conjunto de regiones angulares tiene una interacción magnética de atracción.

Continuando con la figura 5, el primer conjunto de regiones angulares del segundo elemento de anillo magnético 16' que tiene la primera matriz de Halbach variable se extiende sobre una parte superior 82a (por ejemplo: arco de 130 grados o cualquier ángulo de diferentes grados), y dos partes inferiores 82b, 82c (por ejemplo: arcos de 25 grados cada uno o cualquier ángulo de diferentes grados). El segundo conjunto de regiones angulares del segundo elemento de anillo magnético 16' que tiene la segunda matriz de Halbach variable se extiende sobre la parte inferior 84a (por ejemplo: arco de 80 grados o cualquier ángulo de diferentes grados) y dos partes laterales 84b, 84c (arcos de 50 grados cada uno o cualquier ángulo de diferentes grados).

Haciendo referencia a continuación a la figura 6, en ella se muestra un gráfico que muestra la componente axial de la fuerza variable y la componente radial de la fuerza variable en la posición angular específica de la fuerza combinada variable aplicada al primer elemento de anillo magnético 8 en función de la posición del primer elemento de anillo magnético 8 a lo largo de la dirección axial 32 con respecto al segundo elemento de anillo magnético 16' dentro del PMB alternativo 1'. El gráfico se generó modelizando el PMB 1' mostrado en la figura 5 y teniendo las matrices de Halbach variables de las figuras 2 y 3. Se definen la misma fuerza axial objetivo 96 (F_z objetivo = 50000 N) y la fuerza radial objetivo 104 en la posición angular específica (F_y objetivo = 22500 N) según el gráfico de la figura 4. Una primera curva 112' muestra la componente axial variable de la fuerza combinada variable procedente de la interacción magnética de los elementos de anillo magnéticos 8 y 16' en función de la posición del primer elemento de anillo magnético 8 a lo largo de la dirección axial 32 (es decir, con respecto al segundo elemento de anillo magnético 16'). Una segunda curva 116' muestra la componente radial variable en la parte angular específica de la fuerza combinada variable procedente de la interacción magnética de los elementos de anillo magnéticos 8 y 16' también como una función de la posición del primer elemento de anillo magnético 8 a lo largo de la dirección axial 32. En concreto, en una posición de trabajo 120 ($z = 0$), la componente axial variable 112' de la fuerza combinada variable dentro del PMB 1' mejorado alternativo coincide sustancialmente con la fuerza axial objetivo 96 predeterminada, y la componente radial variable 116' de la fuerza combinada variable coincide sustancialmente con la fuerza radial objetivo 104 predeterminada. En consecuencia, las características del PMB 1' mejorado alternativo le permiten aprovechar las lagunas en el teorema de Earnshaw de una manera similar a la del PMB 1 mejorado a modo de ejemplo mostrado en la figura 1. Esto también permite que el PMB 1' alternativo sea implementado en el mismo entorno de funcionamiento tal como se ha descrito anteriormente en el presente documento, en el que, en esta implementación, el primer elemento de anillo magnético 8 también será sustancialmente estacionario con respecto al segundo elemento de anillo magnético 16', mientras que también podrá girar libremente alrededor del segundo elemento de anillo magnético 16' y mantener un espacio radial operativo 24 entre ellos.

Con el fin de validar y optimizar aún más que se puedan implementar uno o varios PMB mientras se permite que el rotor esté sustancialmente estacionario dentro del entorno de funcionamiento, proporcionando así la levitación de las coordenadas de tres (3) estados entre el rotor y el estátor y una rotación sustancialmente sin fricción del rotor, se realizaron muchas iteraciones en un superordenador (ordenador CRAY con una gran cantidad de celdas en cada iteración). Las iteraciones de la modelización informática consideraron una combinación de 1) la interacción magnética proporcionada por diferentes diseños del PMB (diferentes matrices de Halbach variables y diferentes regiones angulares en los elementos del anillo), 2) la dinámica de

fluidos informatizada del estátor/rotor y el entorno de funcionamiento, 3) los efectos hidrostáticos del tratamiento superficial. Las figuras 4 y 6 muestran el resultado de dichas simulaciones.

5 Además, se preparó una prueba de cojinete magnético calibrado ("MBTB-1") para validar dichas simulaciones. El banco de pruebas incluye un segmento físico de 25 grados del primer elemento de anillo 8 y segmentos físicos de 25 grados del segundo elemento de anillo 16 (un segmento correspondiente a la primera matriz de Halbach tal como se encuentra en la primera región angular 40 y otro segmento correspondiente a la segunda matriz de Halbach tal como se encuentra en la segunda región angular 64). Se utilizaron tres (3) células de carga con tres (3) componentes de fuerza cada una, cinco (5) instrumentos
10 LÁSER, un dispositivo lineal magnetostriectivo, un sistema de control numérico multieje de movimiento de ejes, un servomotor con un resolutor y una mesa de traslación de alta precisión para medir las fuerzas variables.

15 En una primera prueba utilizando el MBTB-1, el segmento físico del primer elemento de anillo 8 es desplazado en la dirección del eje Z con respecto al primer segmento del segundo elemento de anillo 16 (el segmento correspondiente a la primera matriz de Halbach tal como se encuentra en la primera región angular 40/sección transversal A-A). Las mediciones de las fuerzas causadas por la interacción del campo magnético de los dos segmentos se miden a medida que se desplaza el segmento. Los segmentos son desplazados desde una posición inicialmente no superpuesta hasta una posición completamente superpuesta y más allá.

20 La figura 7A muestra un gráfico de las fuerzas medidas sobre el segmento del primer elemento de anillo en la dirección del eje Y, y en la dirección del eje Z, a medida que se desplaza en la dirección del eje Z con respecto al primer segmento del segundo elemento de anillo. El gráfico medido muestra múltiples picos y valles durante el desplazamiento del segmento. El ciclo 132 que tiene un pico/valle menos profundo indica la presencia de un primer modo de funcionamiento estable. Se apreciará que este modo puede ser útil para
25 contrarrestar una primera serie de fuerzas externas más débiles. Este ciclo que tiene el pico/valle menos profundo es causado por la superposición parcial de los segmentos en la dirección axial del eje Z, donde una parte de las matrices de Halbach del primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 están en interacción magnética. Esta superposición parcial se representa en la vista, en sección transversal, de la figura 7B. Otro ciclo que tiene un pico y un valle más pronunciados indica la presencia de otro modo de funcionamiento
30 estable.

35 En una segunda prueba utilizando el MBTB-1, el segmento físico del primer elemento de anillo 8 es desplazado en la dirección del eje Z con respecto al segundo segmento del segundo elemento de anillo 16 (el segmento correspondiente a la segunda matriz de Halbach tal como se encuentra en la primera región angular 64/sección transversal B-B). Las mediciones de las fuerzas causadas por la interacción del campo magnético de los dos segmentos se miden a medida que se desplaza el segmento. Los segmentos se desplazan desde una posición inicialmente no superpuesta hasta una posición completamente superpuesta y más allá.

40 La figura 8A muestra un gráfico de las fuerzas medidas sobre el segmento del primer elemento de anillo en la dirección del eje Y, y en la dirección del eje Z a medida que se desplaza en la dirección axial del eje Z con respecto al segundo segmento físico del segundo elemento de anillo. El gráfico medido muestra múltiples picos y valles durante el desplazamiento del segmento. El ciclo 140 que tiene un pico/valle menos profundo indica la presencia de un primer modo de funcionamiento estable. Se apreciará que este modo puede ser útil
45 para contrarrestar una primera serie de fuerzas externas más débiles. Este ciclo que tiene el pico/valle menos profundo es causado por la superposición parcial de los segmentos en la dirección axial del eje Z, donde una parte de las matrices de Halbach del primer y segundo elementos de anillo 8 y 16 interactúan magnéticamente. Esta superposición parcial se representa en la vista, en sección transversal, de la figura 8B. Otro ciclo que tiene un pico y un valle más pronunciados indica la presencia de otro modo de funcionamiento
50 estable.

55 Se apreciará que los ciclos 132 y 140 están desplazados a lo largo de la dirección axial del eje Z de tal manera que la fuerza combinada resultante de la suma de las interacciones magnéticas en toda la circunferencia del PMB produce una curva de fuerza suave tal como se muestra en las figuras 4 y 6.

60 Haciendo referencia a continuación a las figuras 9 y 10, en ellas se muestran vistas tridimensionales, en perspectiva, de un segmento del PMB 1 mejorado, según una realización a modo de ejemplo. Se muestran los imanes permanentes que forman las matrices de Halbach del primer y segundo elementos de anillo 8 y 16. Cada uno de los imanes permanentes de cada elemento de anillo está soportado por medios aislantes 148, 156 respectivos. Los medios aislantes pueden ser medios de acero inoxidable. Los medios aíslan los imanes permanentes de los fluidos externos cuando se colocan en un entorno de funcionamiento. Los medios cubren como mínimo una superficie circunferencial de cada uno de los elementos de anillo. En el ejemplo
65 mostrado, se cubre una superficie circunferencial interior del primer elemento de anillo 8 y una superficie circunferencial exterior del segundo elemento de anillo 16.

Tal como se muestra en la figura 10, los medios aislantes pueden incluir, además, una carcasa (mostrada en

transparencia) que aloja, además, cada uno del primer y segundo elementos de anillo. La carcasa puede envolver cada una de las superficies expuestas de los imanes permanentes que forman el primer y segundo elementos de anillo.

5 Según una aplicación a modo de ejemplo del PMB mejorado descrito en el presente documento, según diversas realizaciones a modo de ejemplo, como mínimo un PMB mejorado puede estar integrado dentro de cualquier máquina giratoria que tenga un elemento giratorio y, por ejemplo, en una turbina dotada de un fluido que genere energía tal como agua, vapor, gas o viento. La turbina está dotada de un estátor y un rotor, que puede girar alrededor del estátor. El primer elemento de anillo 8 de como mínimo un PMB está integrado
10 dentro del rotor y el segundo elemento de anillo 16 de como mínimo un PMB está integrado dentro del estátor. Se comprenderá que el primer elemento de anillo 8 y el segundo elemento de anillo 16 de uno o varios PMB integrados dentro de la turbina hidráulica o eólica proporcionan la interfaz de levitación magnética entre el rotor y el estátor a lo largo de los ejes 32, 80 y 88. Más concretamente, la interacción entre el primer y segundo elemento de anillo del uno o varios PMB proporciona la relación rotacional sin fricción entre el rotor y
15 el estátor.

La turbina hidráulica, eólica o de gas está configurada para ser desplegada dentro de un entorno de funcionamiento, tal como una masa de agua o viento que tiene un flujo de agua, viento o gas. La masa de agua o viento puede ser un río o aire, el interior de una tubería de agua o viento o cualquier canal abierto,
20 que puede ser natural o artificial. Se comprenderá que el entorno de funcionamiento ejercerá diversas fuerzas externas sobre la turbina hidráulica, eólica o de gas y sobre el uno o varios PMB 1 integrados en la misma. La turbina hidráulica, eólica o de gas está diseñada apropiadamente de acuerdo con el entorno de funcionamiento, de modo que la componente axial de la suma de las fuerzas combinadas variables de la interacción magnética de los elementos de anillo magnéticos 8, 16 del uno o varios PMB 1 mejorados
25 coincida sustancialmente con las fuerzas externas en la dirección axial dentro del entorno de funcionamiento. Cuando está integrado un solo PMB mejorado, la componente axial de la fuerza combinada o las curvas de fuerza combinada a partir de la interacción magnética dentro del PMB 1 mejorado deben coincidir con las fuerzas externas en la dirección axial 32. Cuando están integrados una pluralidad de PMB, las componentes axiales de las fuerzas combinadas de todos los PMB 1 juntos (es decir, la suma de la fuerza combinada o las curvas de fuerza combinada) deben coincidir con las fuerzas externas en la dirección axial 32.
30

Cuando está desplegado en un entorno de funcionamiento que tiene un flujo de agua, viento o gas, el rotor (que tiene el primer elemento de anillo magnético) está orientado para estar alineado axialmente con la dirección de generación de par de torsión del flujo de viento, agua o gas. Las fuerzas externas en la dirección
35 axial 32 incluyen (por ejemplo, consisten esencialmente en) la fuerza del flujo en la dirección de generación del par de torsión. La fuerza del flujo de fluido que actúa sobre las palas del rotor genera un par de torsión en el rotor. Este flujo de fluido aplica una fuerza en la dirección axial sobre los primeros elementos de anillo 8 que contrarresta la componente axial de la fuerza de la suma de la fuerza combinada del uno o varios PMB 1 mejorados.
40

Cuando la fuerza del flujo de fluido es variable, es contrarrestada de manera variable por la componente axial de la fuerza de la suma de la fuerza combinada del uno o varios PMB 1 mejorados, según su curva de fuerza combinada. Por ejemplo, dentro de un entorno de funcionamiento específico, tal como una masa de agua específica (por ejemplo, un río), que tiene características de flujo conocidas, el uno o varios PMB 1 se
45 configuran y/o seleccionan para proporcionar una curva de fuerza combinada específica en la dirección axial para contrarrestar las características de flujo conocidas. Por ejemplo, se pueden definir un límite inferior de la fuerza del flujo y un límite superior de la fuerza del flujo para el flujo de fluido en la dirección de generación de par de torsión, y el uno o varios PMB 1 mejorados de la turbina determinada están diseñados específicamente para tener una curva de fuerza combinada en la dirección axial capaz de absorber la fuerza del flujo en el límite inferior, en el límite superior y cualquier fuerza del flujo entre ellos, mientras el primer y segundo elementos de anillo del uno o varios PMB mejorados están dentro de su intervalo de funcionamiento de posiciones relativas en la dirección axial.
50

La turbina hidráulica, de vapor, de aire, eólica o de gas también está diseñada apropiadamente de acuerdo con el entorno de funcionamiento, de modo que la componente radial en la posición angular específica de la interacción magnética de los elementos de anillo magnéticos 8, 16 del uno o varios PMB 1 mejorados coincida sustancialmente con las fuerzas externas en la dirección radial dentro del entorno de funcionamiento. Cuando está integrado un solo PMB 1 mejorado, la componente radial variable de la fuerza combinada variable de la interacción magnética dentro del PMB 1 debe coincidir con las fuerzas externas en
60 la dirección radial. Cuando están integrados una pluralidad de PMB 1 mejorados, las componentes radiales de las fuerzas variables combinadas de todos los PMB 1 mejorados juntos (es decir, la suma de las fuerzas variables combinadas) deben coincidir con las fuerzas externas en la dirección radial.

Cuando está desplegado en el entorno de funcionamiento en el mundo real, el rotor tiene un peso definido dentro del entorno de funcionamiento debido a la fuerza de gravedad. Este peso actúa como una fuerza en la
65 dirección radial en la posición angular específica, correspondiente al eje en la dirección vertical 80, que

contrarresta la componente radial de la suma de la fuerza combinada del uno o varios PMB 1 mejorados.

La figura 11 muestra una vista, en perspectiva, de una turbina a modo de ejemplo que integra dos PMB mejorados a lo largo de su longitud de rotor/estátor.

5

Otras fuerzas externas, incluyen el efecto dinámico de la película de fluido (por ejemplo, agua o cualquier fluido) desarrollada dentro de la rotación del rotor y crean fuerzas hidrostáticas que trabajan en conjunto con el uno o varios PMB 1 mejorados. Las fuerzas hidrostáticas son especialmente frecuentes en las superficies de interfaz del rotor y el estátor. Las fuerzas hidrostáticas dependerán, además, del tratamiento superficial de las superficies de la interfaz. Según un ejemplo, estas superficies pueden ser mejoradas con partículas depositadas con combustible y oxígeno de alta velocidad (High Velocity Oxygen Fuel, HVOF) y poliéter-éter-cetona termoplástica semicristalina de alto rendimiento o un material similar con función integrada en las interfaces de las superficies de las máquinas giratorias.

10

15

También se tienen en cuenta otras fuerzas de la interacción electromagnética del generador eléctrico, en el diseño del uno o varios PMB mejorados para proporcionar estabilidad dentro de los intervalos de funcionamiento objetivo.

20

En resumen, los factores ambientales que pueden ejercer fuerzas externas sobre el rotor y, por lo tanto, sobre el primer o primeros elementos de anillo 8 que giran libremente, incluyen:

25

- fuerzas gravitacionales sobre el primer elemento de anillo magnético 8 - fuerza variable externa en la dirección radial en la posición angular específica (eje en la dirección vertical 80);
- agua, vapor, aire, viento, gas que fluye contra las palas del rotor u otros medios para generar un par de torsión mecánico para provocar la rotación de las mismas - fuerza externa en la dirección axial 32;
- fuerzas hidrostáticas que actúan sobre las superficies de interfaz entre el elemento giratorio y el elemento no giratorio, tales como el rotor y el estátor;
- fuerzas electromagnéticas del generador eléctrico.

30

Estas fuerzas externas deben ser anuladas por las componentes de las fuerzas axiales, radiales y de lado a lado de la fuerza combinada o la fuerza combinada curvada causada por la interacción magnética de los elementos de anillo magnéticos 8, 16 del uno o varios PMB 1 mejorados integrados en la turbina hidráulica, eólica, de gas u otra turbina generadora de par de torsión, para mantener el primer o los primeros elementos de anillo magnético 8 en una posición estacionaria o dentro de un intervalo de funcionamiento predefinido con respecto al segundo o a los segundos elementos de anillo 16 y, por lo tanto, permiten la levitación de las coordenadas de tres (3) estados para garantizar un funcionamiento estable en los diferentes regímenes de diseño de funcionamiento del rotor. Es decir, el rotor estará en una especie de levitación en su entorno de funcionamiento. En consecuencia, la fuerza o curva de fuerza axial objetivo fuerza, la fuerza o curva de fuerza radial objetivo y la fuerza o curva de fuerza de lado a lado objetivo o curva de fuerza del uno o varios PMB mejorados están predeterminadas de acuerdo con las fuerzas externas esperadas dentro del entorno de funcionamiento.

35

40

45

Lo que se ha descrito anteriormente ha tenido la intención de ser ilustrativo y no limitativo y los expertos en la materia comprenderán que se pueden realizar otras variantes y modificaciones sin apartarse del alcance de la invención tal como está definida en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Cojinete magnético pasivo (1), que comprende:

5 un primer elemento de anillo (8), que tiene una profundidad axial y está formado de material magnético, teniendo, además, el primer elemento de anillo (8) una matriz de Halbach, siendo la matriz de Halbach constante alrededor de una circunferencia del primer elemento de anillo (8);
 un segundo elemento de anillo (16), que tiene una profundidad axial y está formado de material magnético,
 10 siendo el segundo elemento de anillo (16) sustancialmente concéntrico con el primer elemento de anillo (8) y estando posicionado con respecto al primer elemento de anillo (8) dentro de un intervalo de funcionamiento definido en una dirección axial (32), y
 en el que el primer elemento de anillo (8) puede girar alrededor del segundo elemento de anillo (16);
caracterizado por que el segundo elemento de anillo (16) tiene:

15 una primera matriz de Halbach que se extiende angularmente sobre un primer conjunto de como mínimo una región angular del segundo elemento de anillo (8); y
 una segunda matriz de Halbach que se extiende angularmente sobre un segundo conjunto de como mínimo una región angular del segundo elemento de anillo (16);
 20 siendo un patrón magnético variable de la primera matriz de Halbach diferente de un patrón magnético variable de la segunda matriz de Halbach variable;

en el que la interacción magnética a partir de la matriz de Halbach del primer elemento de anillo (8) con la primera y segunda matrices de Halbach del segundo elemento de anillo (16), cuando se colocan entre sí dentro del intervalo de funcionamiento definido en la dirección axial (32), define una curva de fuerza
 25 combinada que tiene:

una componente axial en la dirección axial (32) que coincide sustancialmente con una curva de fuerza axial objetivo predeterminada; y
 una componente radial en la dirección radial (28) en una posición angular predeterminada que coincide
 30 sustancialmente con una curva de fuerza radial objetivo predeterminada.

2. Cojinete magnético pasivo, según la reivindicación 1, en el que la componente axial de la curva de fuerza combinada varía según las posiciones relativas del primer elemento de anillo (8) y el segundo elemento de anillo (16) a lo largo de la dirección axial (32), dentro del intervalo de funcionamiento.
 35

3. Cojinete magnético pasivo, según las reivindicaciones 1 o 2, en el que la componente axial de la curva de fuerza combinada es sustancialmente constante para las posiciones relativas del primer elemento de anillo (8) y el segundo elemento de anillo (16) a lo largo de la dirección axial (32), dentro del intervalo de funcionamiento.
 40

4. Cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que las características del campo magnético de la matriz de Halbach del primer elemento de anillo (8) son variables en la dirección axial (32).
 45

5. Cojinete magnético pasivo, según la reivindicación 4, en el que la matriz de Halbach del primer elemento de anillo (8) está formada por una pluralidad de imanes discretos posicionados en la dirección axial (32), teniendo los imanes discretos diferentes características magnéticas.
 50

6. Cojinete magnético pasivo, según la reivindicación 5, en el que las diferentes características magnéticas de la pluralidad de imanes discretos que forman la matriz de Halbach del primer elemento de anillo (8) comprenden uno o varios de material magnético, orientación del campo magnético, intensidad del campo magnético, altura del imán, ancho del imán y profundidad del imán.
 55

7. Cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que las características del campo magnético de la primera matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) son variables en la dirección axial (32); y
 en el que las características del campo magnético de la segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) son variables en la dirección axial (32).
 60

8. Cojinete magnético pasivo, según la reivindicación 7, en el que la primera matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) está formada por una pluralidad de imanes discretos posicionados en la dirección axial (32), teniendo los imanes discretos diferentes características magnéticas; y
 en el que la segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) está formada por una pluralidad de imanes discretos posicionados en la dirección axial (32), teniendo los imanes discretos diferentes
 65 características magnéticas.

9. Cojinete magnético pasivo, según la reivindicación 8, en el que las diferentes características magnéticas de la primera matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) comprenden uno o varios de material magnético, orientación del campo magnético, intensidad del campo magnético, altura del imán, ancho del imán y profundidad del imán; y
- 5 en el que las diferentes características magnéticas de la segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) comprenden uno o varios de material magnético, orientación del campo magnético, intensidad del campo magnético, altura del imán, ancho del imán y profundidad del imán.
10. Cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el primer elemento de anillo (8) y el segundo elemento de anillo (16) tienen una primera interacción magnética sustancialmente estable correspondiente a una primera posición relativa del primer elemento de anillo (8) y el segundo elemento de anillo (16) en la dirección axial (32); y
- 15 en el que el primer elemento de anillo (8) y el segundo elemento de anillo (16) tienen una segunda interacción magnética sustancialmente estable correspondiente a una segunda posición relativa del primer elemento de anillo (8) y el segundo elemento de anillo (16) en la dirección axial (32).
11. Cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el primer elemento de anillo (8) puede girar alrededor del segundo elemento de anillo (16) manteniendo al mismo tiempo un espacio radial operativo entre ellos.
- 20 12. Cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el primer elemento de anillo (8) puede girar estando libre de contacto mecánico con el segundo elemento de anillo (16).
- 25 13. Cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el primer elemento de anillo (8) es un anillo exterior y el segundo elemento de anillo (16) es un anillo interior.
- 30 14. Cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que la interacción magnética entre la matriz de Halbach del primer elemento de anillo (8) y la primera matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) produce una fuerza de repulsión sobre el primer elemento de anillo (8).
- 35 15. Cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en el que la interacción magnética entre la matriz de Halbach del primer elemento de anillo (8) y la segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) produce una fuerza de atracción sobre el primer elemento de anillo (8).
- 40 16. Cojinete magnético pasivo (1), que comprende:
- un primer elemento de anillo (8), que tiene una profundidad axial y está formado de material magnético, teniendo, además, el primer elemento de anillo (8) una matriz de Halbach, siendo constante la disposición de la matriz de Halbach alrededor de una circunferencia del primer elemento de anillo (8);
- 45 un segundo elemento de anillo, que tiene una profundidad axial y está formado de material magnético, siendo el segundo elemento de anillo (16) sustancialmente concéntrico con el primer elemento de anillo (8) y estando sustancialmente alineado en una dirección axial (32) con el primer elemento de anillo (8), y en el que el primer elemento de anillo (8) puede girar alrededor del segundo elemento de anillo (16);
- caracterizado por que** el segundo elemento de anillo (16) tiene:
- 50 una primera matriz de Halbach, que se extiende angularmente sobre un primer conjunto de como mínimo una región angular del segundo elemento de anillo (16); y
- una segunda matriz de Halbach, que se extiende angularmente sobre un segundo conjunto de como mínimo una región angular del segundo elemento de anillo (16);
- 55 siendo un patrón magnético variable de la primera matriz de Halbach diferente de un patrón magnético variable de la segunda matriz de Halbach;
- en el que la interacción magnética de la matriz de Halbach variable del primer elemento de anillo (8) con la primera y segunda matrices de Halbach variables del segundo elemento de anillo (16) cuando el primer elemento de anillo (8) y el segundo elemento de anillo (16) están sustancialmente alineados define una fuerza combinada que tiene:
- 60 una componente axial en la dirección axial (32), que coincide sustancialmente con una fuerza axial objetivo predeterminada; y
- una componente radial en la dirección radial (28), en una posición angular predeterminada que coincide sustancialmente con una fuerza radial objetivo predeterminada.
- 65 17. Cojinete magnético pasivo, según la reivindicación 16, en el que el primer elemento de anillo (8) puede girar alrededor del segundo elemento de anillo (16) manteniendo al mismo tiempo un espacio operativo radial (24) entre ellos.

18. Cojinete magnético pasivo, según las reivindicaciones 16 o 17, en el que el primer elemento de anillo (8) puede girar estando libre de contacto mecánico con el segundo elemento de anillo (16).
- 5 19. Cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 18, en el que el primer elemento de anillo (8) es un anillo exterior y el segundo elemento de anillo (16) es un anillo interior.
20. Cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 19, en el que las características del campo magnético de la matriz de Halbach del primer elemento de anillo (8) son variables en la dirección axial (32).
- 10 21. Cojinete magnético pasivo, según la reivindicación 20, en el que la matriz de Halbach del primer elemento de anillo (8) está formada por una pluralidad de imanes discretos posicionados en la dirección axial (32), teniendo los imanes discretos diferentes características magnéticas.
- 15 22. Cojinete magnético pasivo, según la reivindicación 21, en el que las diferentes características magnéticas de la pluralidad de imanes discretos que forman la matriz de Halbach del primer elemento de anillo (8) comprenden uno o varios de material magnético, orientación del campo magnético, intensidad del campo magnético, altura del imán, ancho del imán y profundidad del imán.
- 20 23. Cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 22, en el que las características del campo magnético de la primera matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) son variables en la dirección axial (32); y
en el que las características del campo magnético de la segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) son variables en la dirección axial (32).
- 25 24. Cojinete magnético pasivo, según la reivindicación 23, en el que la primera matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) está formada por una pluralidad de imanes discretos posicionados en la dirección axial (32), teniendo los imanes discretos diferentes características magnéticas; y
en el que la segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) está formada por una pluralidad de imanes discretos posicionados en la dirección axial (32), teniendo los imanes discretos diferentes características magnéticas.
- 30 25. Cojinete magnético pasivo, según la reivindicación 24, en el que las diferentes características magnéticas de la primera matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) comprenden uno o varios de material magnético, orientación del campo magnético, intensidad del campo magnético, altura del imán, ancho del imán y profundidad del imán; y
en el que las diferentes características magnéticas de la segunda matriz de Halbach del segundo elemento de anillo (16) comprenden uno o varios de orientación del campo magnético, intensidad del campo magnético, altura del imán, ancho del imán y profundidad del imán.
- 35 40 26. Turbina, preferentemente una turbina hidráulica, una turbina eólica o una turbina de gas, para su implementación dentro de un entorno de funcionamiento que tiene un flujo de fluido para generar par de torsión, comprendiendo la turbina:
45 un estátor;
un rotor que puede girar alrededor del estátor; y
un conjunto de como mínimo un cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, estando integrado el primer elemento de anillo (8) del cojinete magnético pasivo del conjunto, dentro del rotor,
50 y estando integrado el segundo elemento de anillo (16) del cojinete magnético pasivo del conjunto, dentro del estátor.
27. Turbina, según la reivindicación 26, en la que la componente axial de la suma de la curva de fuerza combinada del conjunto de como mínimo un cojinete magnético pasivo coincide sustancialmente con las fuerzas externas en la dirección axial (32) dentro del entorno de funcionamiento.
- 55 28. Turbina, según las reivindicaciones 26 o 27, en la que el flujo de fluido tiene una fuerza de flujo definida en una dirección de generación de par de torsión;
en la que el rotor está alineado axialmente con la dirección de generación de par de torsión;
60 en la que las fuerzas externas en la dirección axial (32) dentro del entorno de funcionamiento incluyen la fuerza del flujo en la dirección de generación del par de torsión.
- 65 29. Turbina, según la reivindicación 28, en la que la fuerza de flujo definida en la dirección de generación de par de torsión está definida entre un límite inferior de la fuerza del flujo y un límite superior de la fuerza del flujo; y
en el que durante el funcionamiento de la turbina, la posición relativa del primer elemento de anillo (8) y el

segundo elemento de anillo (16) dentro del intervalo de funcionamiento definido en la dirección axial (32) varía de acuerdo con la variación de la fuerza del flujo en la dirección de generación del par de torsión entre su límite inferior de la fuerza del flujo y un límite superior de la fuerza del flujo.

- 5 30. Turbina, según cualquiera de las reivindicaciones 26 a 29, en la que la componente radial de la suma de la fuerza combinada del conjunto de como mínimo un cojinete magnético pasivo coincide sustancialmente con las fuerzas externas en la dirección radial (28) en la posición angular predeterminada dentro del entorno de funcionamiento.
- 10 31. Turbina, según la reivindicación 30, en la que el rotor tiene un peso definido dentro del entorno de funcionamiento y en la que las fuerzas externas en la dirección radial (28) dentro del entorno de funcionamiento incluyen un peso gravitacional del rotor cuando se coloca dentro del entorno de funcionamiento.
- 15 32. Turbina, preferentemente una turbina hidráulica, una turbina eólica o una turbina de gas, para su implementación dentro de un entorno de funcionamiento, que tiene un flujo de fluido para generar un par de torsión, comprendiendo la turbina:
- 20 un estátor;
un rotor que puede girar alrededor del estátor; y
un conjunto de como mínimo un cojinete magnético pasivo, según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 25, estando integrado el primer elemento de anillo (8) del cojinete magnético pasivo del conjunto, dentro del rotor, y estando integrado el segundo elemento de anillo (16) del cojinete magnético pasivo del conjunto, dentro del estátor.
- 25 33. Turbina, según la reivindicación 32, en la que la componente axial de la suma de la fuerza combinada del conjunto de como mínimo un cojinete magnético pasivo coincide sustancialmente con las fuerzas externas en la dirección axial (32) dentro del entorno de funcionamiento.
- 30 34. Turbina, según las reivindicaciones 32 o 33, en la que el flujo de fluido tiene una fuerza de flujo definida en una dirección de generación de par de torsión;
- 35 en la que el rotor está alineado axialmente con la dirección de generación de par de torsión;
en la que las fuerzas externas en la dirección axial (32) dentro del entorno de funcionamiento incluyen la fuerza del flujo en la dirección de generación del par de torsión.
- 40 35. Turbina, según la reivindicación 34, en la que la fuerza del flujo definida en la dirección de generación de par de torsión está definida entre un límite inferior de la fuerza del flujo y un límite superior de la fuerza del flujo; y
en el que durante el funcionamiento de la turbina, la alineación sustancial en la dirección axial (32) del primer elemento de anillo (8) y el segundo elemento de anillo (16) se mantiene mientras la fuerza de flujo en la dirección de generación de par de torsión varía entre su límite inferior de la fuerza del flujo y un límite superior de la fuerza del flujo.
- 45 36. Turbina, según cualquiera de las reivindicaciones 32 a 35, en la que la componente radial de la suma de la fuerza combinada del conjunto de como mínimo un cojinete magnético pasivo coincide sustancialmente con las fuerzas externas en la dirección radial (28) en la posición angular predeterminada dentro del entorno de funcionamiento.
- 50 37. Turbina, según la reivindicación 36, en la que el rotor tiene un peso definido dentro del entorno de funcionamiento, y en la que las fuerzas externas en la dirección radial (28) dentro del entorno de funcionamiento incluyen un peso gravitacional del rotor cuando está posicionado dentro del entorno de funcionamiento.

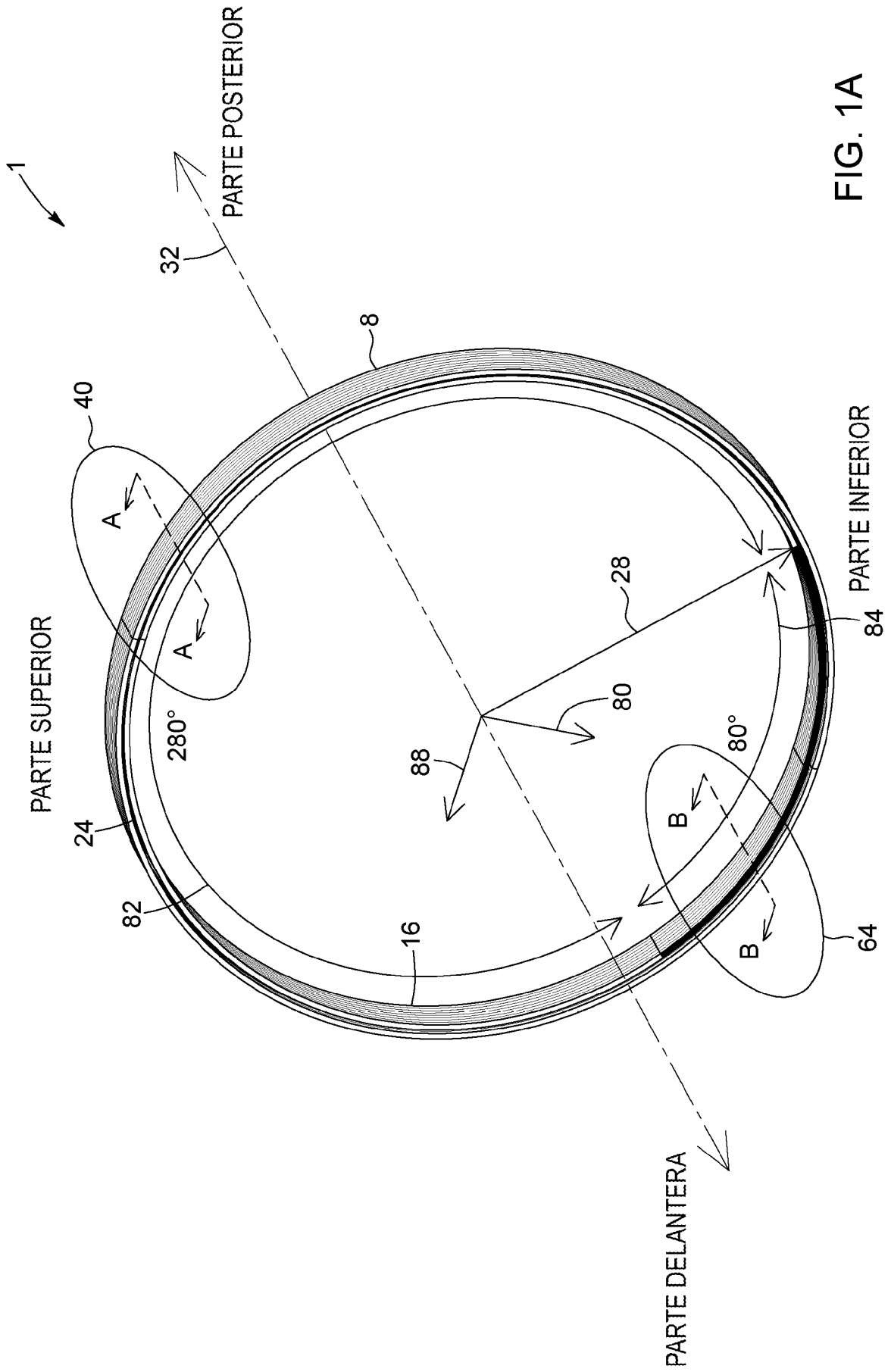


FIG. 1A

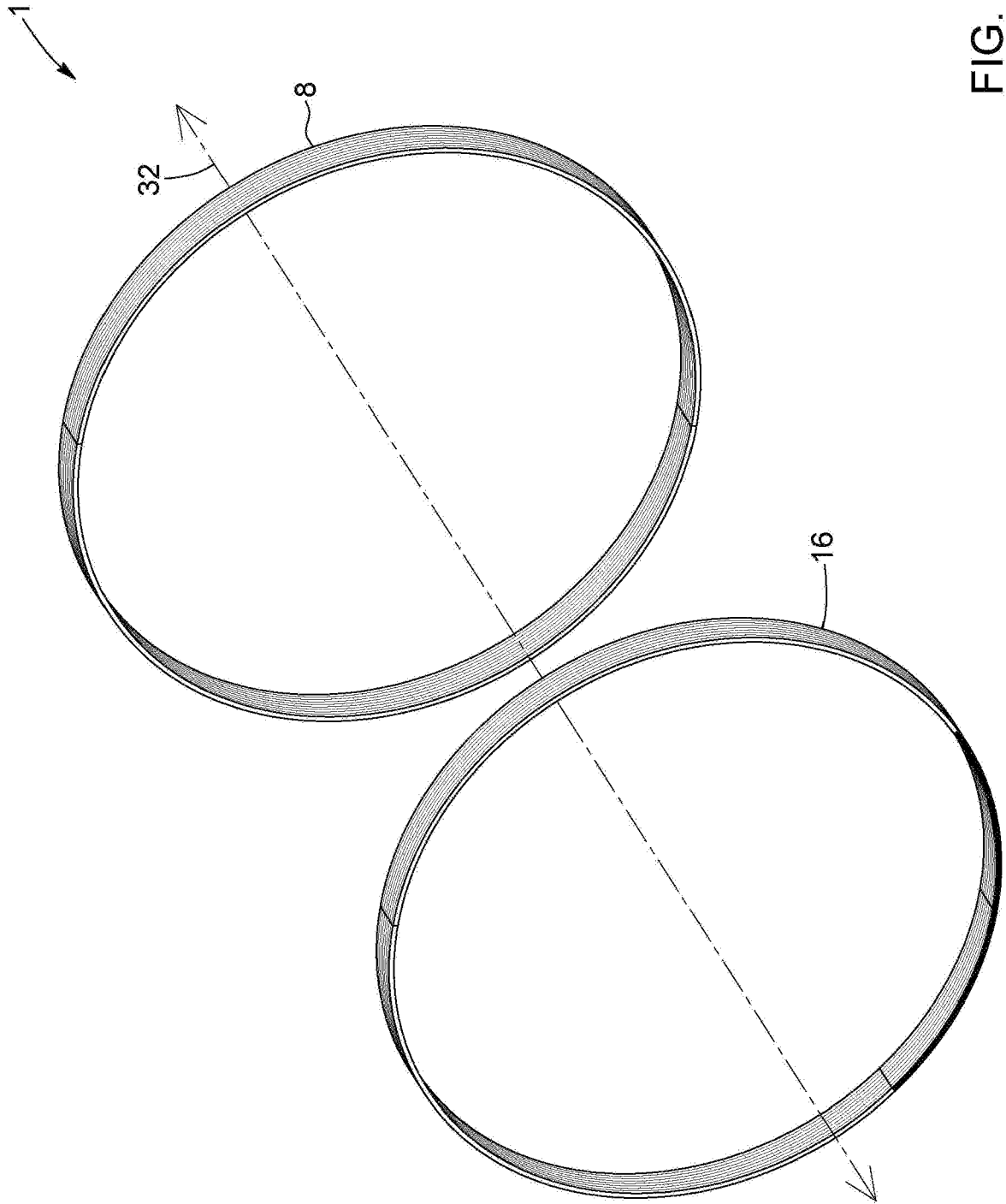


FIG. 1B

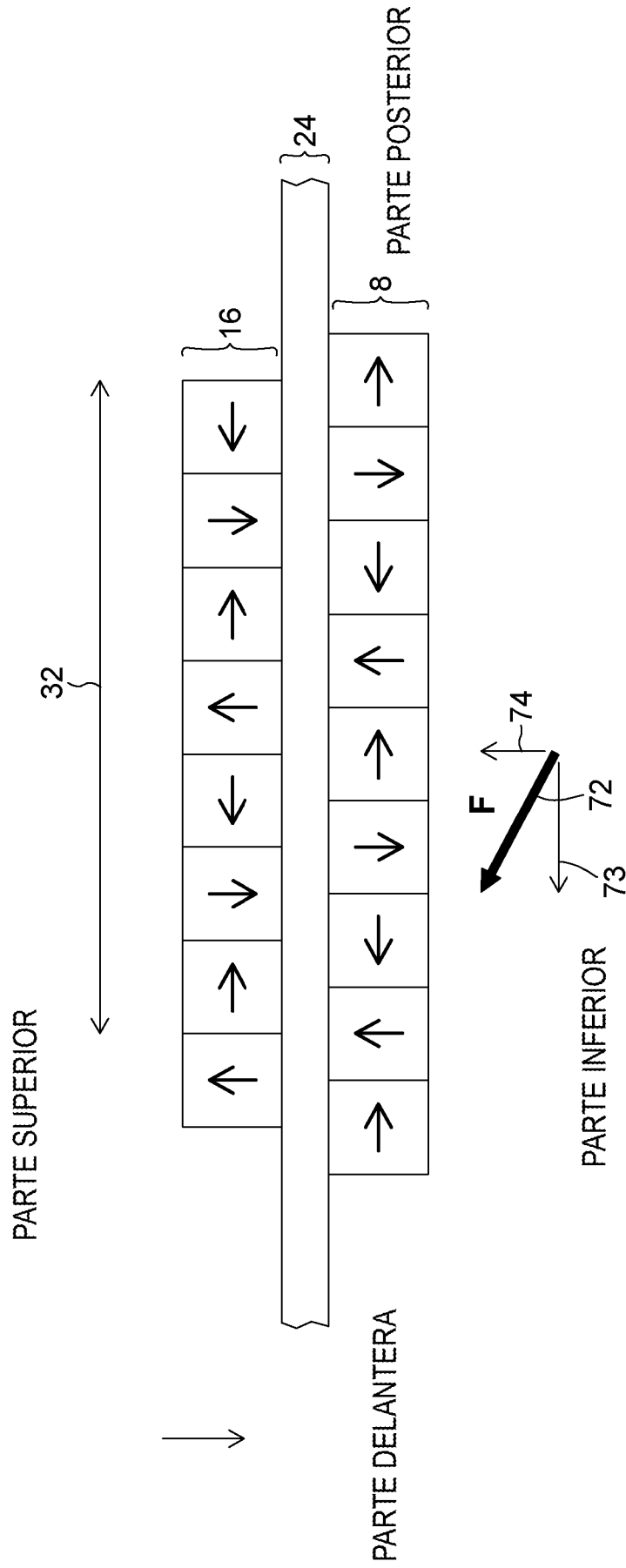


FIG. 3

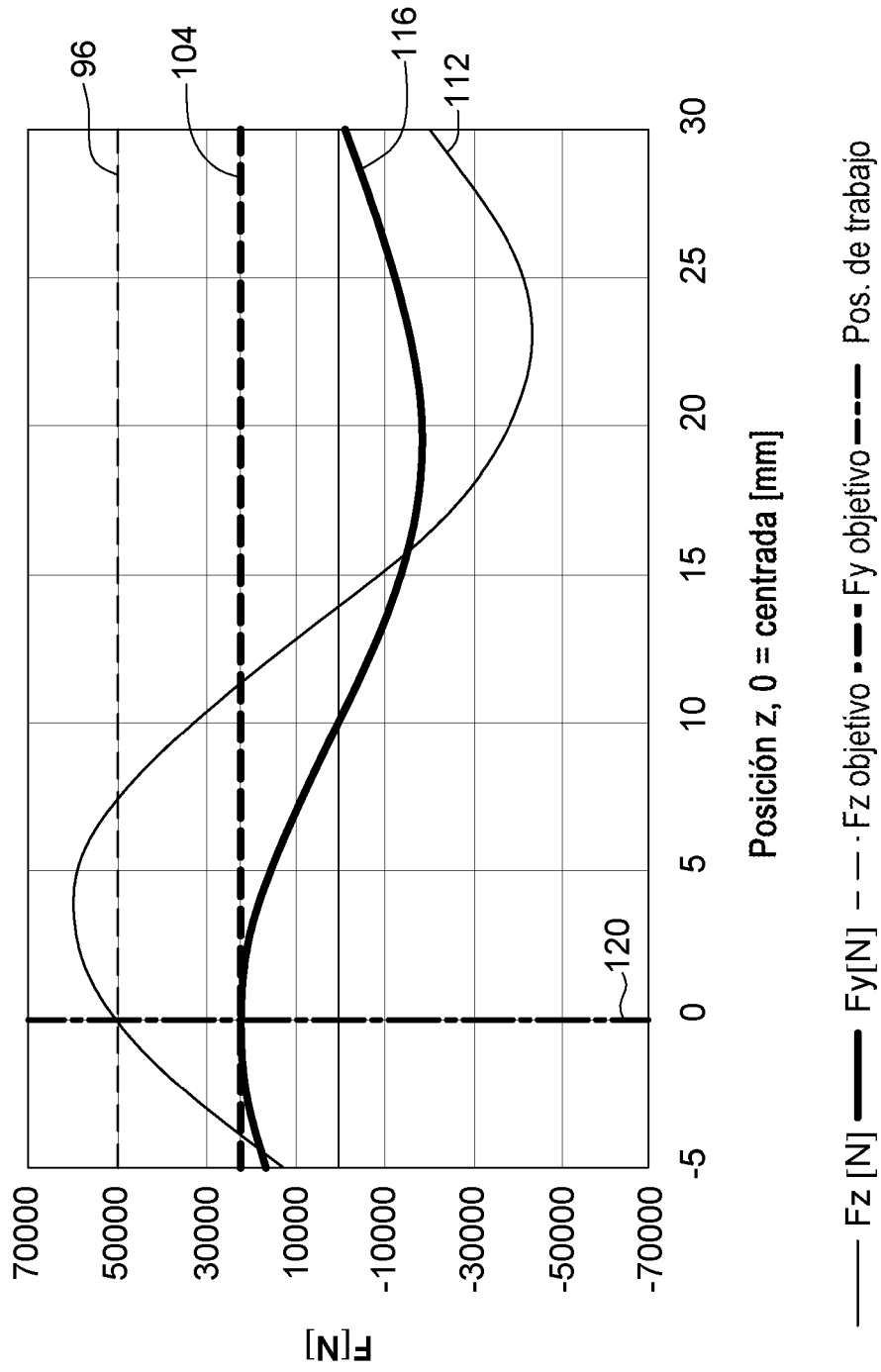


FIG. 4

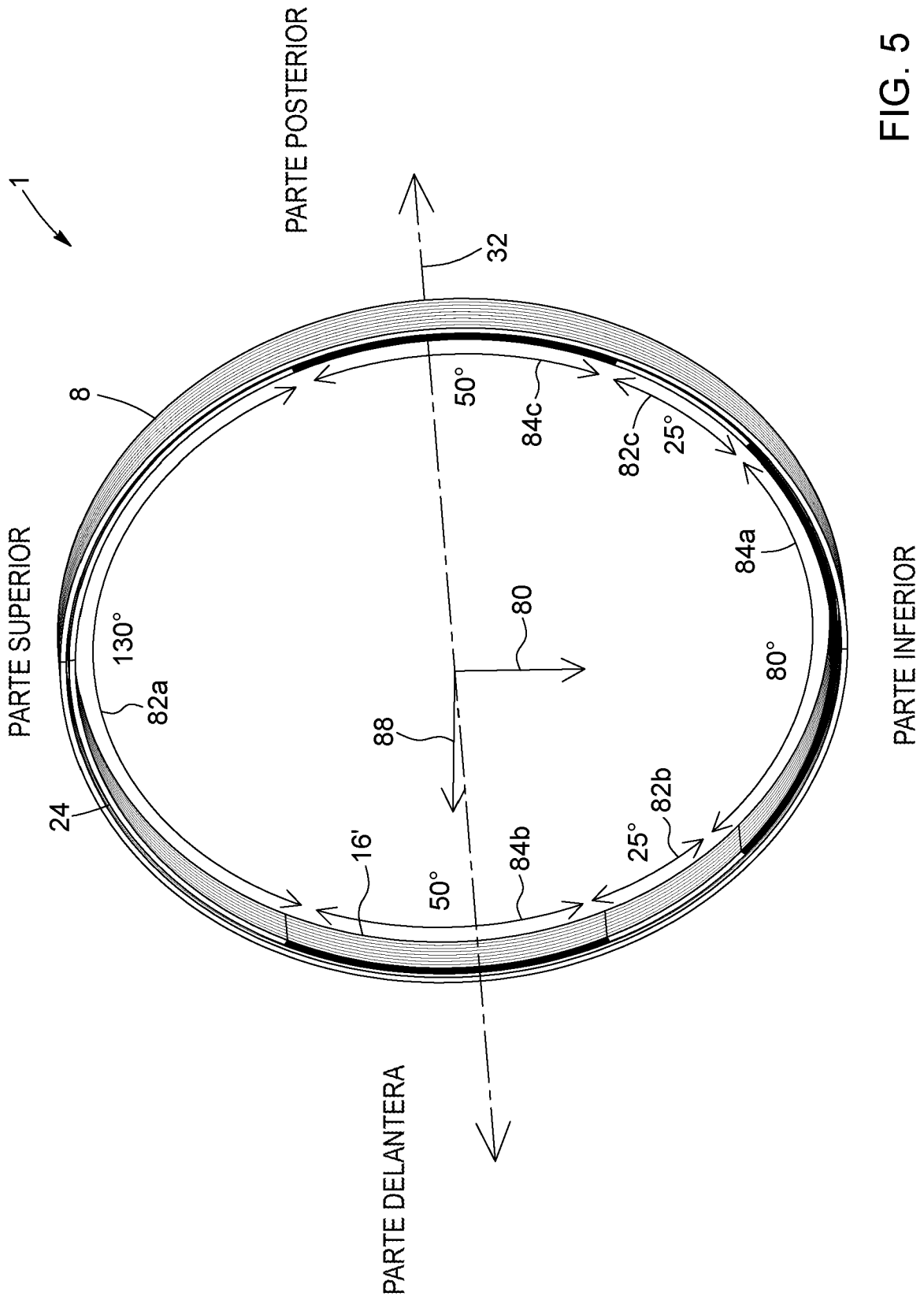


FIG. 5

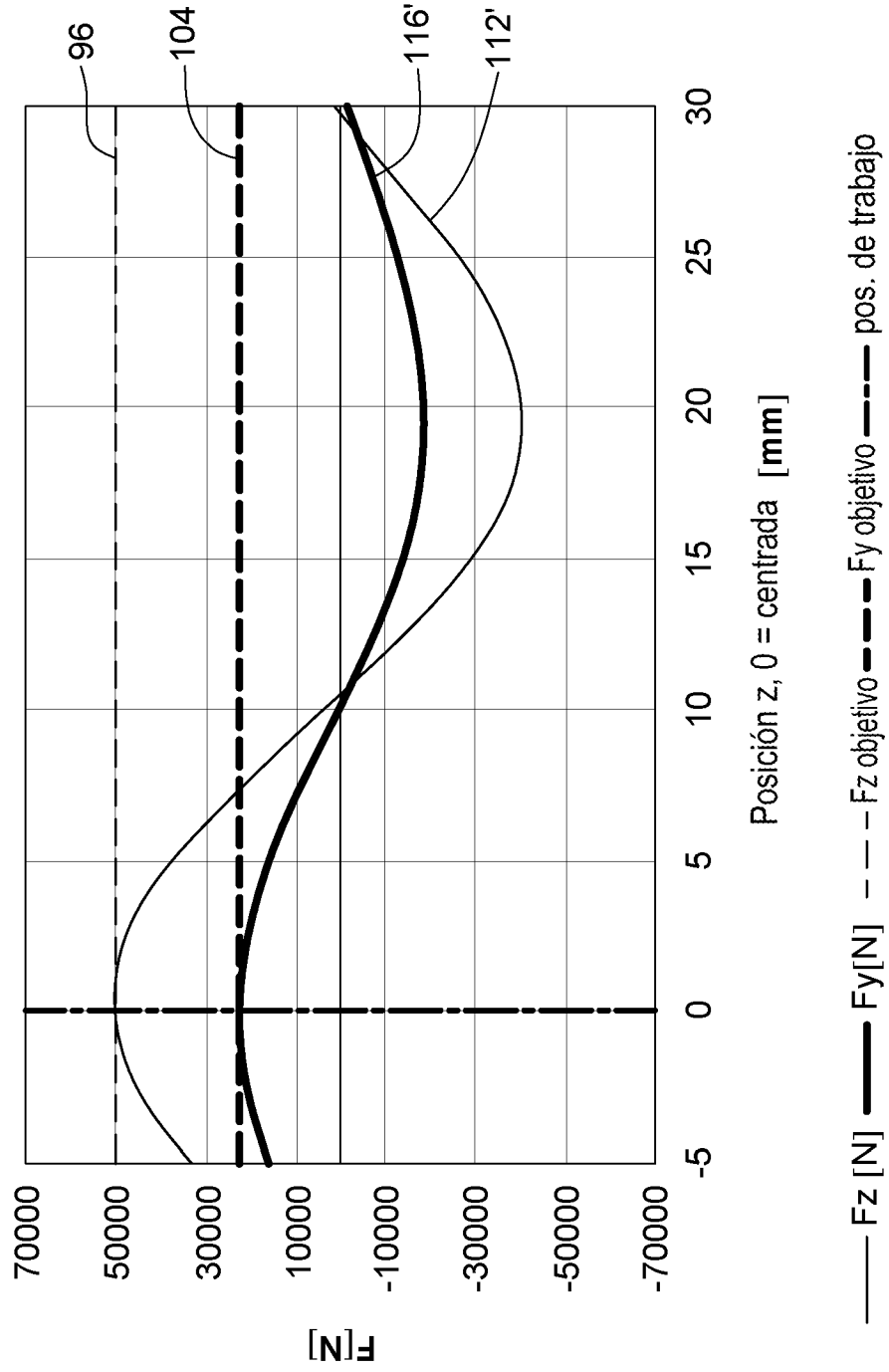


FIG. 6

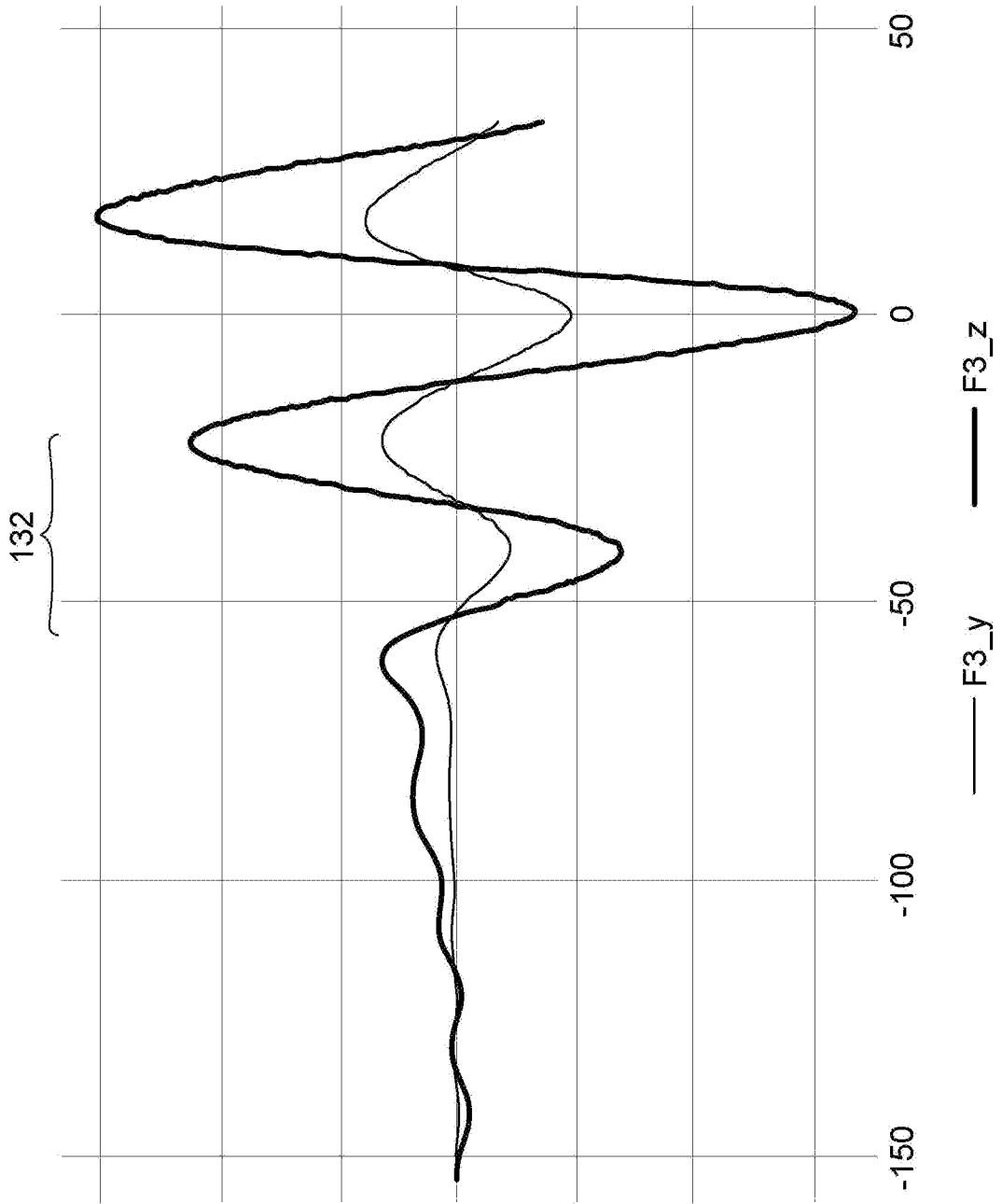


FIG. 7A

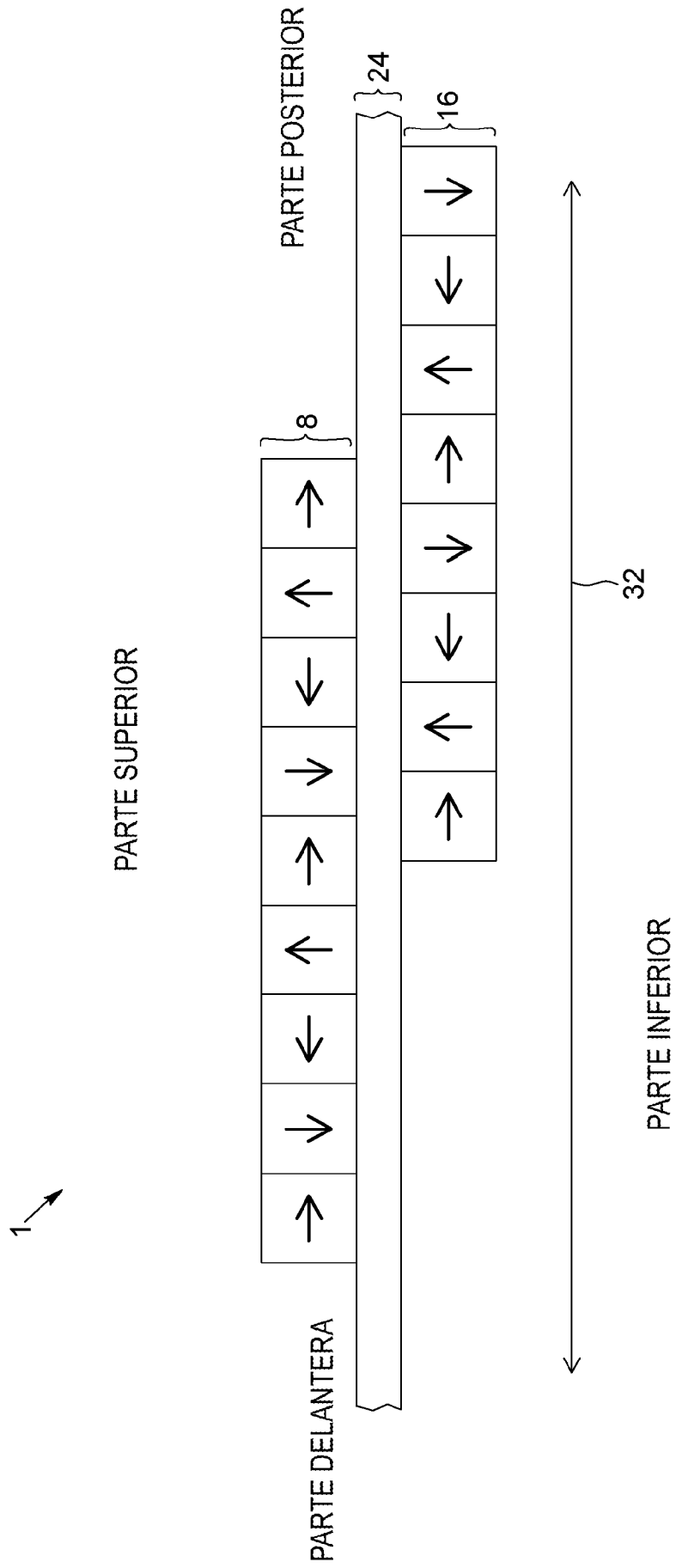


FIG. 7B

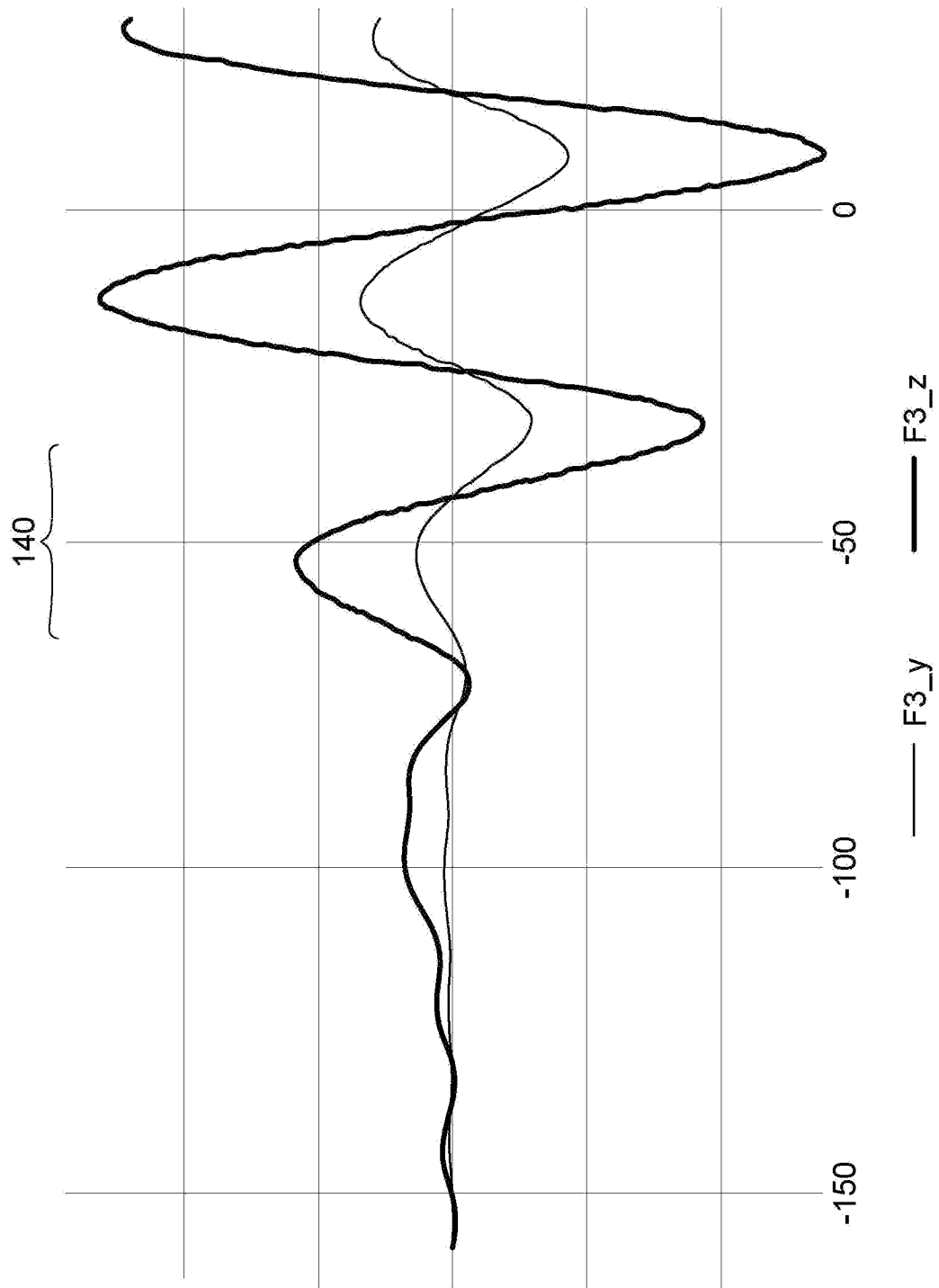


FIG. 8A

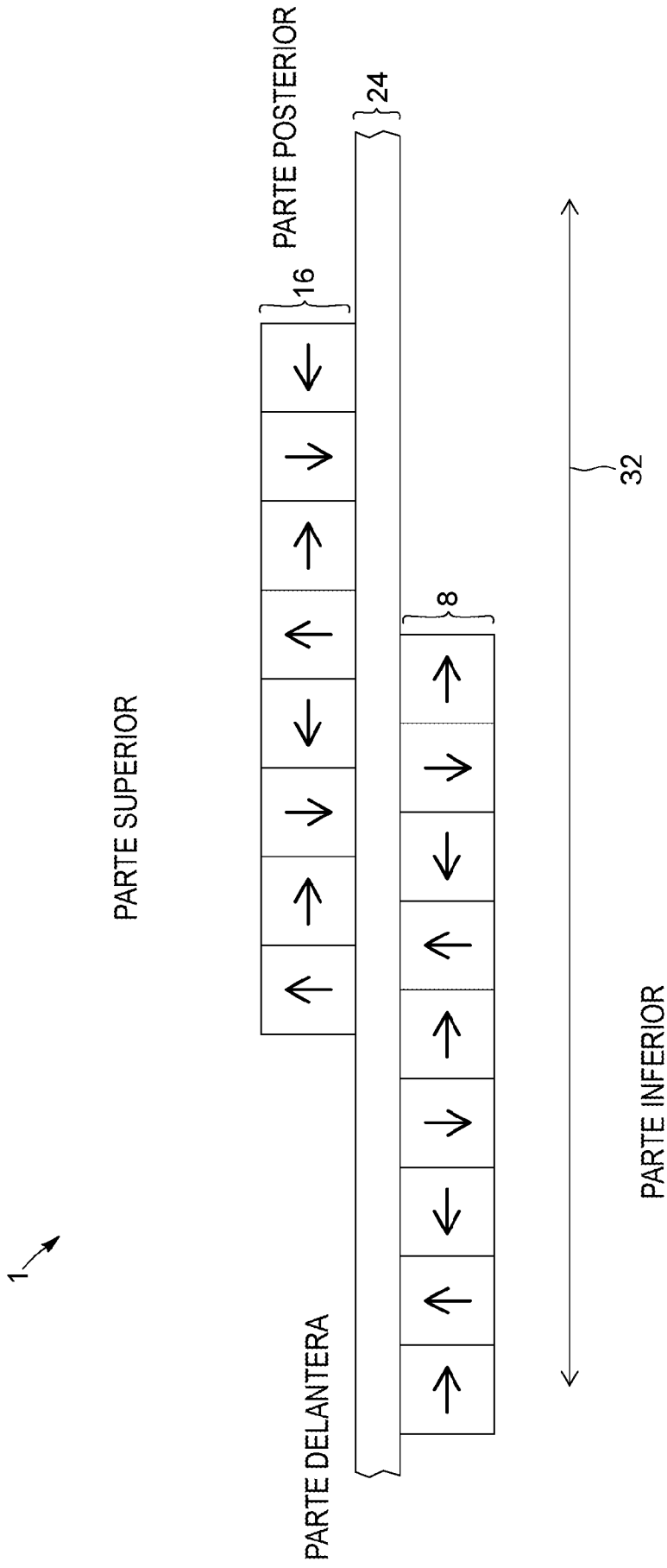


FIG. 8B

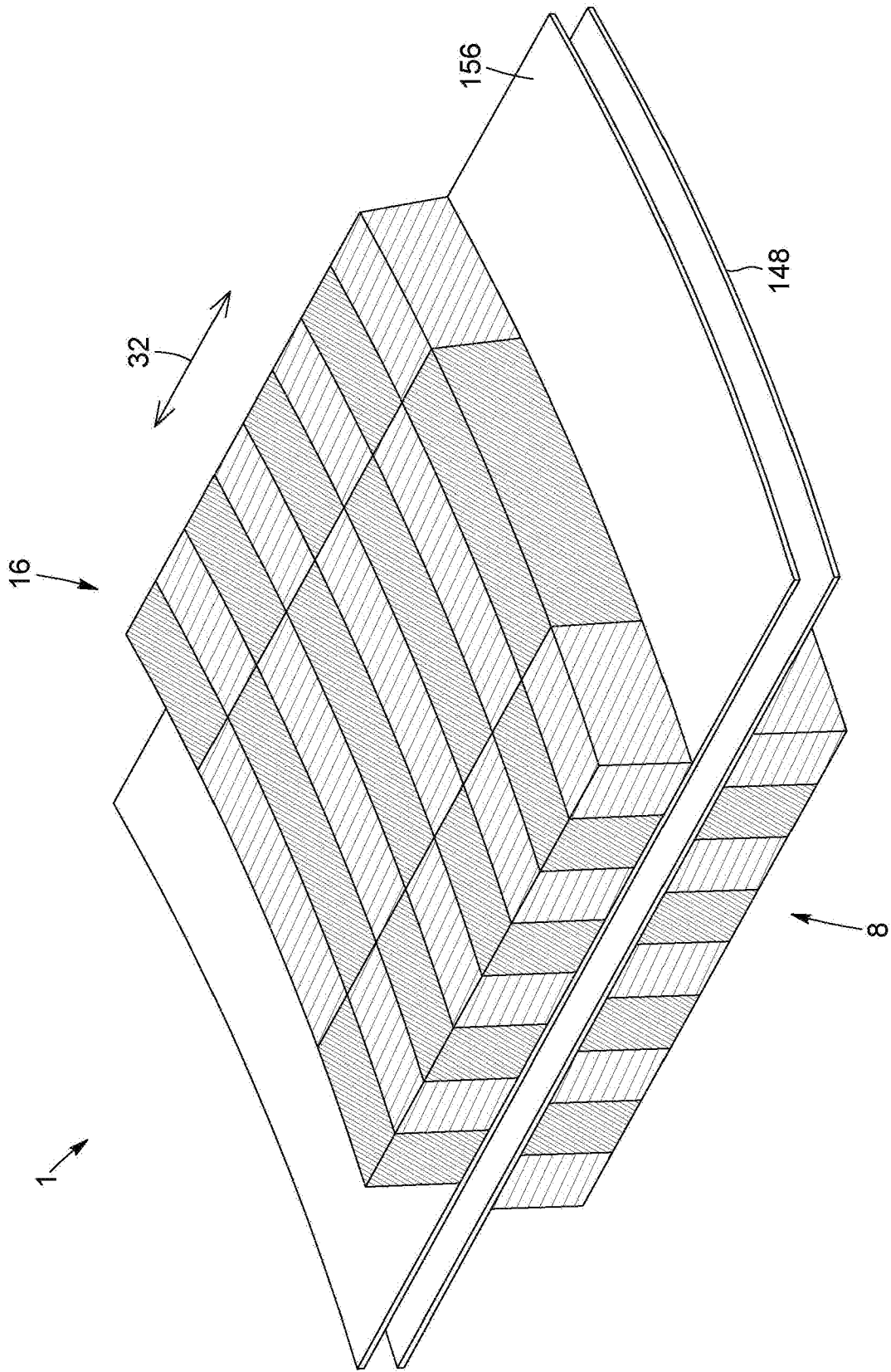


FIG. 9

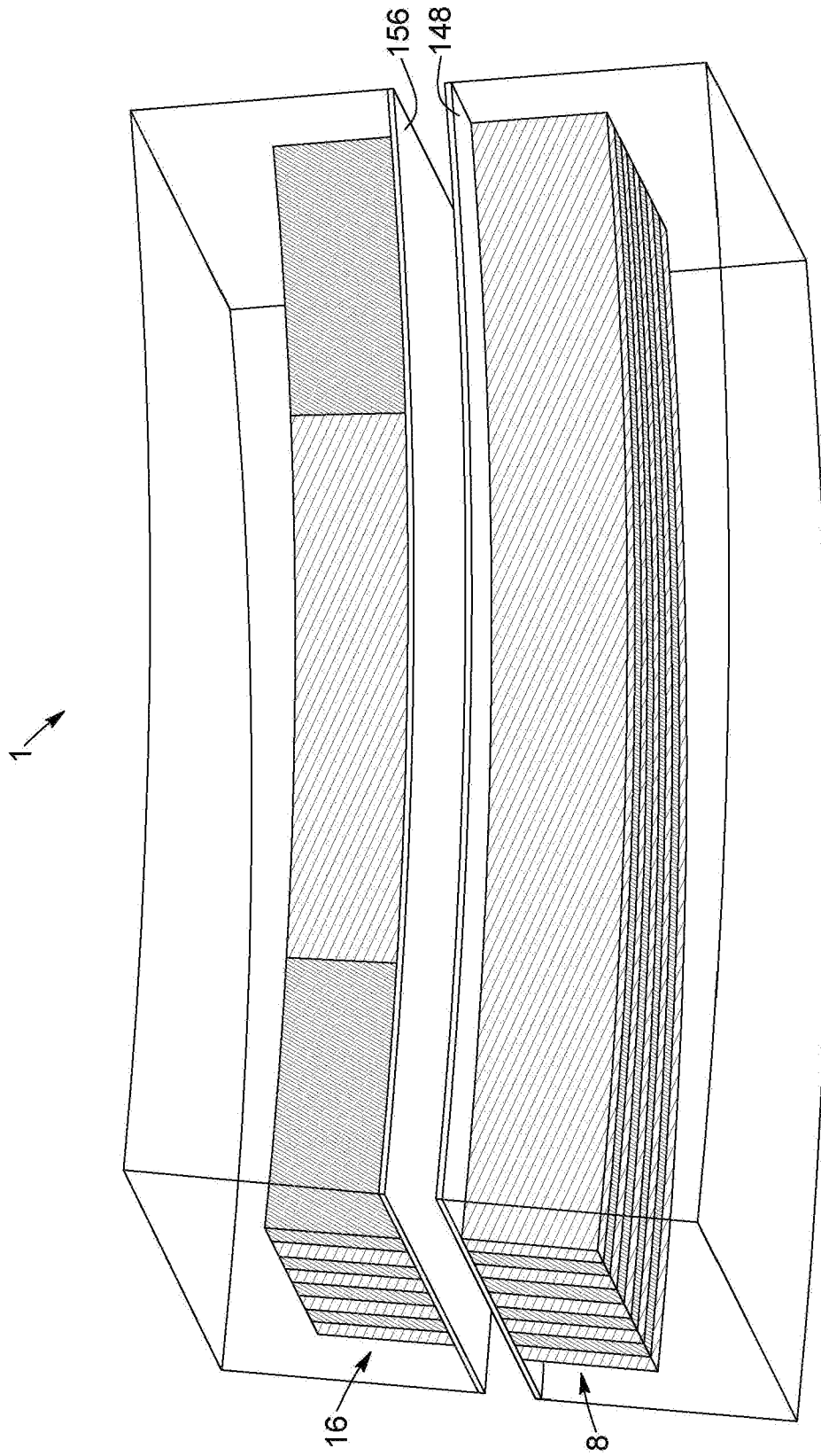


FIG. 10

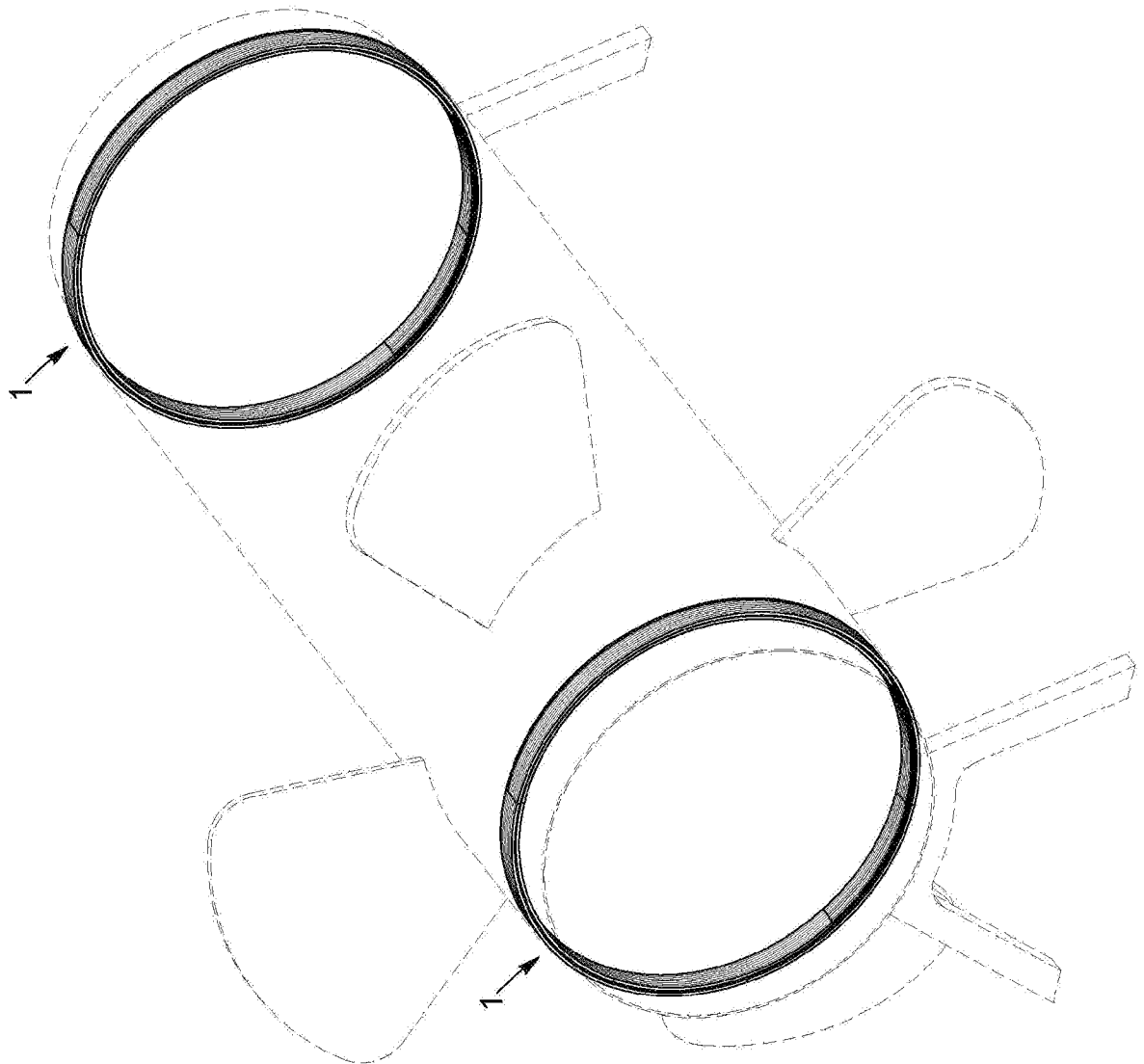


FIG. 11

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.

Documentos de patentes citados en la descripción

- US 62794164
- US 20110001379 A1
- DE 102008021587 B3
- FR 2954961 A1
- CN 103939523 B