

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 661 613**

51 Int. Cl.:

**H02K 1/27** (2006.01)

**H01F 41/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2010 E 10251680 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2018 EP 2306620**

54 Título: **Rotor para máquina rotatoria de imanes permanentes**

30 Prioridad:

**01.10.2009 JP 2009229623**

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

**02.04.2018**

73 Titular/es:

**SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD. (100.0%)  
6-1, Ohtemachi 2-chome, Chiyoda-ku  
Tokyo, JP**

72 Inventor/es:

**DOI, YUHITO;  
MINOWA, TAKEHISA;  
NAKAMURA, HAJIME y  
HIROTA, KOICHI**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 661 613 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

Rotor para máquina rotatoria de imanes permanentes

5 Esta invención se refiere a una máquina rotatoria de imanes permanentes que comprende un rotor que comprende un núcleo de rotor y una pluralidad de segmentos de imán permanente integrados en el núcleo de rotor y un estátor que tiene una pluralidad de bobinas y dispuesto para definir un hueco con el rotor (denominada en general máquina rotatoria de imán permanente interior (IPM)), o una máquina rotatoria de imanes permanentes que comprende un rotor que comprende un núcleo de rotor y una pluralidad de segmentos de imán permanente montados en la  
10 superficie del núcleo de rotor y un estátor que tiene una pluralidad de bobinas y dispuesto para definir un hueco con el rotor (denominada en general máquina rotatoria de imanes permanentes superficial (SPM)). De manera más particular, se refiere al rotor en la máquina rotatoria de estructura de imanes permanentes, que se adapta mejor a motores de vehículos eléctricos, generadores de potencia y motores de automatización industrial (FA) capaces de alcanzar una elevada velocidad de rotación.

15 **Antecedentes**

Los imanes a base de Nd sinterizado tienen un campo de aplicación creciente debido a sus excelentes propiedades magnéticas. También en el sector de las máquinas rotatorias que incluyen motores y generadores de potencia, se desarrollaron máquinas rotatorias de imanes permanentes que utilizan imanes a base de Nd sinterizado para cumplir  
20 con la reciente demanda en cuanto a la reducción de peso, perfil y tamaño, aumento de rendimiento y ahorro de energía. Ya que las máquinas rotatorias de IPM de la estructura en la que partes de imán están integradas dentro del rotor pueden utilizar no solo el par de fuerzas mediante la magnetización del imán, sino también el par reluctancia mediante la magnetización de la culata de rotor, se han efectuado labores de investigación sobre las mismas como máquinas rotatorias de alto rendimiento. Estas máquinas rotatorias tienen un alto nivel de seguridad mecánica porque se impide la expulsión de partes de imán por la fuerza centrífuga durante la rotación debido a que las partes de imán están integradas dentro de la culata de rotor compuesta por placas de acero al silicio o similares, y son capaces de funcionar con un elevado par de fuerzas o de funcionar a velocidades que varían ampliamente controlando la fase de corriente. Estas representan motores de alta eficiencia, alto par de fuerzas y ahorro de  
25 energía. En estos años, se encuentra una rápida utilización muy extendida de las máquinas rotatorias de IPM como motores y generadores de potencia en vehículos eléctricos, automóviles híbridos, acondicionadores de aire de alto rendimiento, herramientas industriales y trenes.

30 Las máquinas rotatorias de SPM de la estructura en la que partes de imán están unidas a la superficie del rotor presentan ventajas, incluyendo la utilización eficiente del fuerte magnetismo de los imanes a base de Nd, una buena linealidad del par motor y facilidad de control. Una forma optimizada de las partes de imán da lugar a motores con un par de retención mínimo. Estas se usan como motores de control en algunos vehículos eléctricos, sistemas de dirección asistida y similares.

40 Los imanes permanentes en máquinas rotatorias están expuestos a alta temperatura debido al calor generado por los arrollamientos y los núcleos y tienen una probabilidad de desmagnetización por el campo de desmagnetización de los arrollamientos. Por tanto, existe una demanda de imanes a base de Nd sinterizado en los que la fuerza coercitiva, que es un índice de resistencia térmica y resistencia a desmagnetización, esté por encima de un nivel determinado y la remanencia (o densidad de flujo magnético residual) que es un índice de la magnitud de fuerza magnética, sea tan alto como sea posible.

Además, los imanes a base de Nd sinterizado son conductores que tienen una resistencia eléctrica de 100 a 200  $\mu\Omega$ -cm. A medida que el rotor rota, el imán experimenta una variación de densidad de flujo magnético, mediante lo cual fluyen corrientes de Foucault. Unos medios efectivos para reducir las corrientes de Foucault consisten en dividir un  
50 cuerpo de imán para interrumpir la trayectoria de las corrientes de Foucault. Aunque la división de un cuerpo de imán en piezas más pequeñas da lugar a una mayor reducción de pérdida de corrientes de Foucault, se hace necesario tener en cuenta tales problemas, como un aumento del coste de fabricación y un descenso del rendimiento debido a una reducción de volumen de imán por los intersticios aumentados.

55 La trayectoria de las corrientes de Foucault discurre en un plano perpendicular a la dirección de magnetización de un imán, prevaleciendo una densidad de corriente mayor en una parte periférica exterior. La densidad de corriente es también mayor en un lado más cercano al estátor. Es decir, la cantidad de calor generado por corrientes de Foucault es mayor cerca de la superficie de imán, de manera que la región de superficie de imán asume una mayor temperatura y se vuelve propensa a la desmagnetización. Para eliminar la desmagnetización por corrientes de Foucault, se requiere un imán a base de Nd sinterizado en el que la fuerza coercitiva, que es un índice de resistencia a la desmagnetización, es mayor en la región de la superficie de imán que en el interior del imán.

Se conocen varias medidas para mejorar la fuerza coercitiva.

65 Un aumento en la remanencia del imán a base de Nd sinterizado se logra mediante aumentos en la fracción volumétrica del compuesto de  $Nd_2Fe_{14}B$  y el grado de orientación cristalina y, por tanto, se han hecho diversas

mejoras en el proceso. Con respecto a un aumento en la fuerza coercitiva, se conocen diversos enfoques que incluyen la formación de granos cristalinos de tamaño más fino, el uso de una composición de aleación que tiene un contenido de Nd aumentado y la adición de un elemento efectivo. De estos, el enfoque más común actualmente es el uso de una composición de aleación que tiene parte de Nd sustituida por Dy o Tb. Al sustituir tales elementos por Nd del compuesto de Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B, se aumenta el compuesto en campo magnético anisotrópico, así como en fuerza coercitiva. Por otro lado, la sustitución de Dy o Tb disminuye la polarización magnética de saturación del compuesto. Por consiguiente, el intento de aumentar la fuerza coercitiva mediante el enfoque anterior falla en evitar un descenso de remanencia.

En imanes a base de Nd sinterizado, la fuerza coercitiva viene dada por la magnitud de un campo magnético externo creado por núcleos de dominios magnéticos inversos en los límites de grano. La creación de núcleos de dominios magnéticos inversos está determinada en gran medida por la estructura del límite de grano de tal manera que cualquier desorden de la estructura de grano en las proximidades del límite propicia una alteración de la estructura magnética, ayudando a la creación de dominios magnéticos inversos. Generalmente, se cree que una estructura magnética que se extiende desde el límite de grano hasta una profundidad de aproximadamente 5 nm contribuye a un aumento de fuerza coercitiva (Véase el documento "THE COERCIVE FIELD OF SINTERIZED AND MELT-SPUN NdFeB MAGNETS", de K. D. Durst y H. Kronmuller, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 68 (1987), 63-75).

Al concentrar trazas de Dy o Tb solamente en las proximidades de los límites de grano para aumentar el campo magnético anisotrópico solamente en las proximidades de los límites, la fuerza coercitiva puede aumentarse mientras se elimina cualquier disminución de remanencia (véase el documento JP-B 5-31807). Posteriormente, los inventores establecieron un método de producción que comprende la preparación de manera independiente de una aleación de composición del compuesto Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B y una aleación rica en Dy o Tb, mezclando los mismos y sinterizando la mezcla (véase el documento JP-A 5-21218). En este método, la aleación rica en Dy o Tb pasa a ser una fase líquida durante la sinterización y se distribuye para rodear el compuesto de Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B. Como consecuencia, la sustitución de Dy o Tb por Nd se produce solamente en las proximidades de los límites de grano del compuesto, de manera que la fuerza coercitiva puede aumentarse de manera efectiva mientras se elimina cualquier disminución de remanencia.

Sin embargo, ya que los dos tipos de polvos finos de aleación en un estado mezclado se sinterizan a temperaturas tan altas como de 1.000 a 1.100 °C, el método descrito anteriormente tiene una probabilidad de que se difunda Dy o Tb no solo en los límites, sino también en el interior de los granos de Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B. Una observación de la estructura de un imán producido actualmente muestra que Dy o Tb se han difundido hasta una profundidad de aproximadamente 1 a 2 µm desde el límite de una capa superficial de límite de grano, alcanzando la zona difundida el 60 % o más, calculada como fracción volumétrica. A medida que la distancia de difusión en los granos se vuelve más larga, la concentración de Dy o Tb cerca de los límites se vuelve menor. Una medida efectiva para eliminar totalmente la difusión excesiva en los granos es disminuyendo la temperatura de sinterización. Sin embargo, esta medida puede no ser aceptable en la práctica ya que compromete una densificación por sinterización. Un método alternativo de sinterización a temperaturas menores mientras se aplican tensiones por medio de una prensa en caliente o similar permite la densificación, pero plantea el problema de una productividad extremadamente reducida.

Por otro lado, se observa que puede aumentarse la fuerza coercitiva mecanizando un imán sinterizado a un tamaño pequeño, depositando Dy o Tb en la superficie de imán por pulverización, y tratando térmicamente el imán a una temperatura menor que la temperatura de sinterización, provocando de este modo, que se difunda Dy o Tb solamente a límites de grano (véase K. T. Park, K. Hiraga y M. Sagawa, "Effect of Metal-Coating and Consecutive Heat Treatment on Coercivity of Thin Nd-Fe-B Sintered Magnets", *Proceedings of the Sixteen International Workshop on Rare-Earth imanes and Their Applications*, Sendai, pág.257 (2000); y K. Machida, H. Kawasaki, T. Suzuki, M. Ito y T. Horikawa, "Grain Boundary Tailoring of Sintered Nd-Fe-B Magnets and Their Magnetic Properties", *Proceedings of the 2004 Spring Meeting of the Powder & Powder Metallurgy Society*, pág.202). Estos métodos permiten una concentración más efectiva de Dy o Tb en los límites de grano y tener éxito en aumentar la fuerza coercitiva sin una pérdida sustancial de remanencia. A medida que el imán se hace más grande en área superficial específica, es decir, el cuerpo de imán se hace más pequeño, la cantidad de Dy o Tb alimentado se hace más grande, indicando que este método puede aplicarse solo a imanes delgados o compactos. Sin embargo, aún existe el problema de una baja productividad asociada a la deposición del recubrimiento metálico por pulverización o similar.

El documento WO 2006/043348 divulga medios para mejorar de manera eficiente la fuerza coercitiva que ha solucionado los problemas anteriores y se presta a una producción a gran escala. Cuando un cuerpo de imán de R<sup>1</sup>-Fe-B sinterizado, habitualmente un cuerpo de imán a base de Nd sinterizado, se calienta en presencia de un polvo sobre su superficie, comprendiendo el polvo uno o más óxidos de R<sup>2</sup>, fluoruros de R<sup>3</sup> y oxifluoruros de R<sup>4</sup> en el que cada uno de R<sup>1</sup> a R<sup>4</sup> es uno o más elementos seleccionados de entre elementos de tierras raras, incluyendo Y y Sc, el R<sup>2</sup>, R<sup>3</sup> o R<sup>4</sup>, contenido en el polvo, se absorbe en el cuerpo de imán, de modo que se aumenta la fuerza coercitiva mientras se elimina de manera significativa una disminución de remanencia. Particularmente, cuando se usa fluoruro de R<sup>3</sup> u oxifluoruro de R<sup>4</sup>, R<sup>3</sup> o R<sup>4</sup> se absorbe de manera eficiente en el cuerpo de imán junto con flúor, dando como resultado un imán sinterizado que tiene una alta remanencia y una alta fuerza coercitiva.

**Lista de referencias**

Documento de patente 1: JP-B H05-31807  
 Documento de patente 2: JP-A H05-21218  
 Documento de patente 3: WO 2006/043348  
 Documento no de patente 1: de K. D. Durst y H. Kronmuller, "THE COERCIVE FIELD OF SINTERED AND MELT-SPUN NdFeB MAGNETS", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 68 (1987), 63-75,  
 Documento no de patente 2: de K. T. Park, K. Hiraga y M. Sagawa, "Effect of Metal-Coating and Consecutive Heat Treatment on Coercivity of Thin Nd-Fe-B Sintered Magnets", *Proceedings of the Sixteen International Workshop on Rare-Earth Magnets and Their Applications*, Sendai, pág.257 (2000)  
 Documento no de patente 3: de K. Machida, H. Kawasaki, T. Suzuki, M. Ito y T. Horikawa, "Grain Boundary Modification and Magnetic Properties of Nd-Fe-B Sintered Magnets", *Proceedings of Spring Meeting of Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, 2004, pág.202  
 Documento no de patente 4: de Yasuaki Aoyama y Koji Miyata, "Evaluation of Alternating magnetic Loss in Divided Nd-Fe-B Sintered Magnet", *The Papers of Joint Technical Meeting on Static Apparatus and Rotating Machinery*, Instituto de ingenieros eléctricos de Japón, SA-06-83 y RM-06-85, 25 de agosto de 2006, pág.41-46

5 El documento EP 2085982 A2 describe un imán sinterizado que incluye granos cristalinos de un material ferromagnético que consiste principalmente en hierro, y una capa de compuesto de oxifluoruro o compuesto de fluoruro que contiene al menos un elemento seleccionado de entre un elemento metálico alcalino, un elemento metálico alcalinotérreo y un elemento de tierra rara; y una máquina rotatoria equipada con el imán sinterizado.

10 El documento EP 1746611 A1 describe un imán permanente de tierra rara preparado a partir de un cuerpo de imán sinterizado de composición  $R^1$ -Fe-B donde  $R^1$  es un elemento de tierra rara que incluye Y y Sc, formando una pluralidad de hendiduras en una superficie del cuerpo de imán, disponiendo un polvo sobre la superficie del cuerpo de imán, comprendiendo el polvo un óxido de  $R^2$ , un fluoruro de  $R^3$ , o un oxifluoruro de  $R^4$  en el que cada uno de  $R^2$ ,  $R^3$ , y  $R^4$  es un elemento de tierra rara, y tratando térmicamente el cuerpo de imán y el polvo por debajo de la temperatura de sinterización al vacío o en un gas inerte.

15 **Sumario**

20 Un objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un rotor para su uso en una máquina rotatoria de imanes permanentes según la reivindicación 1, que tiene un rendimiento y una resistencia térmica altos.

25 En virtud de la potenciación de las propiedades de imanes, los motores que usan imán permanente se diseñan para producir mayores rendimientos. El rendimiento de un motor puede aumentarse aumentando el par de fuerzas y la revolución del motor. El aumento del par motor da lugar a una intensificación de un campo de desmagnetización que actúa sobre el imán, y el aumento de revolución da lugar a un aumento de la frecuencia de un campo magnético a través del imán. Ambos significan un aumento de las corrientes de Foucault que fluye a través del imán. Como solución a estos problemas, una mejora en la fuerza coercitiva de imán es efectiva para superar el campo de desmagnetización, y la división de un imán en piezas es efectivo para superar las corrientes de Foucault aumentadas. Sin embargo, existe la tendencia a aumentar el número de divisiones adicionalmente como contramedida frente al campo magnético de alta frecuencia debido a la revolución acelerada y la conducción inversa.

30 El imán está dividido a efectos de desconexión de la trayectoria de flujo de las corrientes de Foucault. Las superficies divididas de las piezas de imán se tratan para el aislamiento ya que son placas de acero magnético. Se muestra un ejemplo en la figura 13A. Cuando las piezas 12a de imán divididas se unen de manera adhesiva o se sujetan mecánicamente entre sí para construir un segmento 12 de imán permanente, las superficies adyacentes de las piezas 12a de imán se recubren previamente con una composición de resina aislante o una composición inorgánica aislante o se intercala una película de resina o una capa de fibra de vidrio entre las piezas 12a de imán. En el segmento 12 de imán permanente, así construido, se forman capas 12b aislantes entre las piezas 12a de imán.

40 A medida que el número de piezas de imán divididas aumenta, el volumen de la capa aislante dentro del volumen global del segmento de imán pasa a ser importante. En un ejemplo en el que la capa aislante tiene un espesor de 0,5 mm, si el número de piezas de imán divididas es 10, entonces las capas aislantes suman un espesor total de 4,5 mm. Debido a que el volumen de un espacio que está disponible para alojar el imán en el motor es limitado, aumentar el número de piezas de imán divididas da como resultado una reducción del volumen de imán neto. A medida que el imán se divide más para aumentar el número de capas aislantes, se reduce el flujo magnético por volumen disponible para el imán dentro del motor. El intento de potenciar el rendimiento de motores o generadores de potencia falla.

Los inventores han descubierto que en una máquina rotatoria de imanes permanentes, habitualmente una máquina

rotatoria de IPM o SPM que usa una pluralidad de segmentos de imán permanente, se obtienen mejores resultados cuando cada uno de los segmentos de imán permanente se construye como un ensamblaje de dos o más piezas de imán permanente divididas (denominadas simplemente piezas de imán), la fuerza coercitiva o la resistencia térmica en una región subsuperficial que se extiende hasta una profundidad de 6 mm desde la superficie de la pieza de imán es mayor que la misma en el interior de la pieza de imán, y las piezas de imán se disponen para una conducción eléctrica en el ensamblaje sin proporcionar una capa aislante capaz de un aislamiento eléctrico completo entre las piezas de imán. Con respecto a esto, los inventores asumieron que los métodos de Machida *et al.* y el documento WO 2006/043348 son adecuados para máquinas rotatorias de alto rendimiento, debido a que no hay pérdida de remanencia, y ya que puede aumentarse la fuerza coercitiva cerca de la superficie de las piezas de imán, se espera que las piezas de imán, cuando se usan en rotores de máquinas rotatorias de IPM o SPM, minimicen la desmagnetización debido a la generación de calor por las corrientes de Foucault. Los inventores han descubierto que la aplicación de un método de este tipo a piezas de imán individuales del ensamblaje de imán permanente es efectiva para alcanzar el objetivo de la invención, especialmente porque se usa un imán a base de Nd sinterizado y este se divide en piezas para minimizar la generación de calor por corrientes de Foucault, porque se usan piezas de imán como imán para un rotor de una máquina rotatoria de imanes permanentes, habitualmente, una máquina rotatoria de IPM o SPM y porque las piezas de imán en las que la fuerza coercitiva cerca de su superficie es mayor que la de su interior, y en las que se mejora la resistencia térmica cerca de su superficie, son efectivas para su uso en un rotor de una máquina rotatoria de imanes permanentes, habitualmente, una máquina rotatoria de IPM o SPM.

De manera más particular, los inventores han descubierto lo siguiente. Cuando una máquina rotatoria de imanes permanentes se carga con piezas de imán en las que se ha dividido un imán para minimizar la generación de calor por corrientes de Foucault, las piezas de imán muestran una temperatura localmente elevada cerca de su superficie debido a la generación de calor por corrientes de Foucault. Para potenciar la resistencia térmica del imán, es efectivo aumentar la fuerza coercitiva cerca de la superficie de imán cuya temperatura pasa a ser elevada. Particularmente, para potenciar la fuerza coercitiva cerca de la superficie de imán, es efectivo usar un imán a base de Nd sinterizado que tiene un perfil de fuerza coercitiva desde la superficie hacia el interior que se crea dejando que se difunda Dy o Tb desde la superficie de imán hacia el interior. La difusión de Dy o Tb desde la superficie hacia el interior del imán tiene lugar principalmente a través de límites de grano. Por ejemplo, el método de aplicación de un polvo de óxido de Dy o Tb, un polvo de fluoruro de Dy o Tb o un polvo de aleación que contiene Dy o Tb en la superficie de imán y dejar que se difunda Dy o Tb a una alta temperatura es efectivo como reacción de difusión de Dy o Tb desde la superficie hacia el interior del imán.

Cuando se usan piezas de imán que tienen una alta densidad de flujo magnético y una alta fuerza coercitiva y se ensamblan en un segmento de imán sin proporcionar una capa aislante entre las mismas, el segmento de imán resultante puede usarse incluso en un entorno en el que se aplica un campo magnético alterno a una alta frecuencia y presenta un alto rendimiento sin reducir el flujo magnético a pesar de un volumen limitado. El rotor que usa tales segmentos de imán es útil en la construcción de una máquina rotatoria de alta potencia que proporciona una revolución y un par de fuerzas elevados. La presente invención se basa en estas conclusiones.

La presente invención se refiere a una máquina rotatoria de imanes permanentes que comprende un rotor que comprende un núcleo de rotor y una pluralidad de segmentos de imán permanente integrados en el núcleo de rotor y un estátor que tiene una pluralidad de bobinas, estando dispuestos el rotor y el estátor para definir un hueco entre los mismos, o una máquina rotatoria de imanes permanentes que comprende un rotor que comprende un núcleo de rotor y una pluralidad de segmentos de imán permanente montados en la superficie del núcleo de rotor y un estátor que tiene una pluralidad de bobinas, estando dispuestos el rotor y el estátor para definir un hueco entre los mismos.

En un aspecto, la invención proporciona el rotor en el que cada uno de los segmentos de imán permanente es un ensamblaje de dos o más piezas de imán permanente divididas, cada una de las piezas de imán permanente divididas tiene una fuerza coercitiva en una superficie y un interior, la fuerza coercitiva cerca de la superficie de la pieza de imán es mayor que la del interior de la pieza de imán, y el ensamblaje permite una conducción eléctrica entre las piezas de imán en ausencia de una capa aislante capaz de un aislamiento eléctrico completo entre las piezas de imán.

En otro aspecto, la invención proporciona el rotor en el que cada uno de los segmentos de imán permanente es un ensamblaje de dos o más piezas de imán permanente divididas, cada una de las piezas de imán permanente divididas tiene resistencia térmica en una superficie y un interior, la resistencia térmica cerca de la superficie de la pieza de imán es mayor que la del interior de la pieza de imán, y el ensamblaje permite una conducción eléctrica entre las piezas de imán en ausencia de una capa aislante capaz de un aislamiento eléctrico completo entre las piezas de imán.

En una realización preferente, las piezas de imán son de un imán de tierras raras a base de Nd sinterizado. De manera más preferente, cada pieza de imán de tierras raras a base de Nd sinterizado tiene un perfil de fuerza coercitiva desde la superficie hacia el interior, que se crea dejando que se difunda Dy o Tb desde la superficie hacia el interior de la pieza de imán, habitualmente, sobre todo a través de límites de grano. De manera más preferente, la etapa de dejar que se difunda Dy o Tb desde la superficie hacia el interior de la pieza de imán de tierras raras a base de Nd sinterizado incluye aplicar un polvo de óxido de Dy o Tb, un polvo de fluoruro de Dy o Tb o un polvo de

aleación que contiene Dy o Tb en superficies de la pieza de imán, luego mantener la pieza de imán a una temperatura elevada, suficiente para la difusión del Dy o Tb.

5 En una realización preferente, cada segmento de imán permanente se construye ensamblando piezas de imán permanente divididas en un ensamblaje sin tratamiento de aislamiento.

preferentemente las piezas de imán tienen una rugosidad superficial  $R_y$  en el intervalo de 50S a 0,8S.

10 La invención tiene éxito al proporcionar una máquina rotatoria de imanes permanentes que tiene un elevado rendimiento y una alta resistencia térmica, estando cargado el rotor de la máquina con un imán permanente, habitualmente, un imán a base de Nd sinterizado, que se ha dividido en piezas de imán que tienen una alta remanencia y una alta fuerza coercitiva, especialmente en una parte periférica exterior de las mismas, adecuadas para su uso en rotores de máquinas rotatorias de IPM o SPM. El rotor que usa segmentos de imán, consistiendo cada uno en una pluralidad de piezas de imán no aisladas, no experimenta una reducción de volumen de imán neto  
15 por capas aislantes entre piezas de imán y, por consiguiente, presenta un alto rendimiento. Ya que al obviarse el tratamiento aislante de las piezas de imán divididas, se ahorran costes.

### Breve descripción de los dibujos

20 La figura 1 es una vista en sección transversal de un ejemplo de motor de IPM de 4 polos/6 ranuras de acuerdo con la invención.

Las figuras 2A, 2B y 2C son vistas en sección transversal de un ejemplo de piezas de imán que constituyen un ensamblaje de imán permanente en el motor de IPM.

25 La figura 3 ilustra un ejemplo de segmento de imán permanente para su uso en el motor de IPM de acuerdo con la invención, siendo la figura 3A una vista en perspectiva de una pieza de imán que se ha sometido a un tratamiento de difusión con Dy o Tb desde todas las superficies, siendo la figura 3B una vista en perspectiva de un ensamblaje de tales piezas de imán.

La figura 4 ilustra la distribución de fuerza coercitiva en la pieza de imán de la figura 3A, siendo en la figura 4A en una superficie lateral, y siendo en la figura 4B en una superficie de extremo.

30 La figura 5A ilustra cómo fluyen corrientes de Foucault por el ensamblaje de imán permanente de la figura 3B en un motor de IPM, y la figura 5B ilustra la distribución de temperatura dentro de las piezas de imán en el ensamblaje.

35 La figura 6 ilustra otro ejemplo de segmento de imán permanente para su uso en el motor de IPM de acuerdo con la invención, siendo la figura 6A una vista en perspectiva de una pieza de imán que se ha sometido a un tratamiento de difusión con Dy o Tb desde cuatro superficies en paralelo a la dirección de magnetización, siendo la figura 6B una vista en perspectiva de un ensamblaje de tales piezas de imán.

La figura 7 ilustra la distribución de fuerza coercitiva en la pieza de imán de la figura 6A, siendo en la figura 7A en una superficie lateral, y siendo en la figura 7B en una superficie de extremo.

40 La figura 8 es una vista en sección transversal de ejemplo de motor de SPM de 4 polos/6 ranuras de acuerdo con la invención.

Las figuras 9A, 9B y 9C son vistas en sección transversal de ejemplos de piezas de imán que constituyen un ensamblaje de imán permanente en el motor de SPM.

45 La figura 10 ilustra un ejemplo de segmento de imán permanente para su uso en el motor de SPM de acuerdo con la invención, siendo la figura 10A una vista en perspectiva de una pieza de imán que se ha sometido a un tratamiento de difusión con Dy o Tb desde todas las superficies, siendo la figura 10B una vista en perspectiva de un ensamblaje de tales piezas de imán.

La figura 11A ilustra cómo fluyen corrientes de Foucault en el ensamblaje de imán permanente de la figura 9B en un motor de SPM, y la figura 11B ilustra la distribución de temperatura dentro de las piezas de imán del ensamblaje.

50 Las figuras 12A, 12B y 12C son vistas en perspectiva de diferentes ensamblajes de imán permanente.

La figura 13A es una vista en perspectiva de un segmento de imán permanente en el que están formadas capas aislantes entre piezas de imán divididas, y la figura 13B es una vista en perspectiva de un segmento de imán permanente que permite una conducción eléctrica entre piezas de imán divididas en ausencia de una capa aislante entre las piezas de imán.

55

### Alternativas adicionales; opciones y preferencias

60 La invención se refiere a una máquina rotatoria de imanes permanentes, habitualmente, una máquina rotatoria de imanes permanentes que comprende un rotor que comprende un núcleo de rotor y una pluralidad de segmentos de imán permanente incorporados en el núcleo de rotor y un estátor que tiene bobinas, estando dispuestos el rotor y el estátor para definir un hueco entre los mismos (denominada generalmente máquina rotatoria de IPM), o una máquina rotatoria de imanes permanentes que comprende un rotor que comprende un núcleo de rotor y una pluralidad de segmentos de imán permanente montados en la superficie del núcleo de rotor y un estátor que tiene bobinas, estando dispuestos el rotor y el estátor para definir un hueco entre los mismos (denominada generalmente máquina rotatoria de SPM). La invención proporciona el rotor en el que cada uno de los segmentos de imán permanente es un ensamblaje de dos o más piezas de imán permanente divididas (denominadas simplemente

piezas de imán), cada una de las piezas de imán tiene una fuerza coercitiva o resistencia térmica en una superficie y un interior, la fuerza coercitiva o la resistencia térmica cerca de la superficie de la pieza de imán es mayor que la fuerza coercitiva o resistencia térmica en el interior de la pieza de imán, y las piezas de imán están dispuestas para una conducción eléctrica en el ensamblaje en ausencia de una capa aislante capaz de un aislamiento eléctrico completo entre las piezas de imán.

La figura 1 ilustra un ejemplo de máquina rotatoria de IPM. La máquina de la figura 1 incluye un rotor 1 y un estátor 2. El rotor 1 tiene una estructura de cuatro polos que comprende una culata 11 de rotor de placas de acero magnético laminado y segmentos 12 de imán permanente integrados en la misma. En su lugar, pueden disponerse partes de imán rectangulares simples en cuatro polos. El número de polos se selecciona de acuerdo con un fin particular de la máquina rotatoria. El estátor 2 tiene una estructura de seis ranuras de placas de acero magnético laminado, con una bobina 13 arrollada de manera concentrada sobre cada diente. La bobina 13 es de una conexión en Y de tres fases de fases U, V y W. También se muestra en la figura 1 una culata 14 de estátor. En la figura 1, los símbolos "+" y "-" unidos a U, V y W indican sentidos de arrollamiento de las bobinas, "+" indicando un sentido que sale del plano de placa y "-" indicando un sentido que entra (es decir, al interior de la placa). Cuando el rotor y el estátor se colocan como se muestra en la figura 1, una corriente alterna de onda co-senoidal fluye como fase U, una corriente alterna que tiene una fase adelantada 120° con respecto a la fase U fluye como fase V, y una corriente alterna que tiene una fase adelantada 240° con respecto a la fase U fluye como fase W. Entonces el rotor rota en el sentido contrario a las agujas del reloj por la interacción entre el flujo magnético de los imanes permanentes y el flujo magnético de las bobinas. En la figura 1, la flecha asociada con cada segmento 12 de imán permanente indica un sentido de magnetización.

De acuerdo con la invención, el segmento 12 de imán permanente es un ensamblaje de una pluralidad de piezas 12a de imán permanente divididas, como se muestra en la figura 3B, por ejemplo. En el ensamblaje, las piezas de imán se disponen de manera contigua para la conducción eléctrica ya que se omite el aislamiento eléctrico completo. Por ejemplo, no se interpone material aislante entre superficies de contacto de piezas de imán adyacentes, es decir, las piezas de imán adyacentes están dispuestas en contacto directo. El segmento de imán permanente que consiste en piezas de imán permanente separadas dispuestas para una conducción eléctrica, de acuerdo con la invención, funciona bien incluso en un entorno en el que se aplica un campo magnético alterno a una alta frecuencia, aunque el segmento carezca de capas aislantes entre piezas de imán, tal como aparece en la técnica anterior. Concretamente, como se muestra en la figura 13B, las piezas de imán permanente separadas que se han mecanizado a partir de un bloque de imán se disponen sucesivamente o se apilan en contacto entre sí con sus superficies tal y como se han mecanizado, es decir, sin formar una capa aislante entre piezas de imán (es decir, sin interponer una película aislante o recubrir con un material aislante). Las piezas de imán dispuestas de esta manera se sujetan firmemente para completar un segmento de imán permanente.

El grado de conducción eléctrica entre piezas de imán varía con la rugosidad de las superficies de contacto de las piezas de imán. Desde el punto de vista de la eliminación de cualquier capa aislante para evitar cualquier pérdida de volumen del imán, Las piezas de imán preferentemente, tienen una rugosidad superficial  $R_y$  en el intervalo de 50 ( $\mu\text{m}$ ) S a 0,8 ( $\mu\text{m}$ ) S. Si las piezas de imán tienen una rugosidad superficial que supere 50S, las superficies de las piezas de imán pueden estar en contacto por sus partes convexas mientras que sus partes cóncavas pueden definir espacios que se agrandarán por encima de un nivel insignificante. Esto significa una reducción del volumen de imán neto del segmento. Con el fin de alisar las piezas de imán hasta una rugosidad superficial de menos de 0,8S, las piezas de imán deben pulirse finamente a expensas de los gastos.

Las piezas 12a de imán son preferiblemente de imán de tierras raras a base de Nd sinterizado. El imán de tierras raras a base de Nd sinterizado usado en el presente documento puede obtenerse pulverizando de manera gruesa una aleación madre, pulverizando finamente, compactando y sinterizando de una manera convencional. Tal y como se ha mencionado anteriormente, la invención usa un imán sinterizado particular en el que una fuerza coercitiva o una resistencia térmica cerca de la superficie del mismo es mayor que una fuerza coercitiva o una resistencia térmica en el interior del mismo, lo que puede producirse dejando que se difunda Dy o Tb desde la superficie de imán hacia el interior, y principalmente a través de límites de grano. De manera más específica, se hace uso de una pieza de imán que se obtiene mediante un procedimiento que incluye depositar Dy o Tb sobre las superficies de una pieza de imán por pulverización y tratar térmicamente la pieza de imán a una temperatura menor que la temperatura de sinterización, dejando, de ese modo, que se difunda Dy o Tb solamente a los límites de grano, u otro procedimiento que incluye aplicar un polvo de óxido, fluoruro u oxifluoruro de Dy o Tb, en superficies de una pieza de imán y tratar térmicamente la pieza de imán y el polvo al vacío o con un gas inerte a una temperatura menor que la temperatura de sinterización.

De manera más preferente, la pieza de imán deseada puede obtenerse aplicando un polvo de óxido de Dy o Tb, un polvo de fluoruro de Dy o Tb o un polvo de aleación que contiene Dy o Tb en superficies de una pieza de imán y luego mantener la pieza de imán a una temperatura elevada para dejar que se difunda Dy o Tb.

El imán permanente (pieza de imán) para su uso en la máquina rotatoria de IPM se obtiene mecanizando un bloque de imán sinterizado con una forma predeterminada usando una muela abrasiva, una cuchilla de mecanizado, una sierra de cable o similares. La forma en sección transversal de la pieza de imán es a menudo una forma rectangular,

como se muestra en la figura 2A, desde el punto de vista de facilitar el trabajo, aunque la pieza de imán puede tener una forma arqueada o trapezoidal, como se muestra en la figura 2B o 2C, con el fin de mejorar el rendimiento de la máquina rotatoria. Se observa que en la figura 2, la flecha indica un sentido de magnetización M.

- 5 El tamaño de una pieza de imán no está particularmente limitado. Para el tratamiento de difusión de una pieza de imán con Dy o Tb, la proporción de difusión de Dy o Tb aumenta a medida que el área superficial específica de una pieza de imán se vuelve más grande, es decir, el tamaño de una pieza de imán se vuelve más pequeño. Se prefiere entonces, que en las figuras 3A, 6A y 10A, la más pequeña de las dimensiones W, L y T sea de hasta 50 mm, de manera más preferente, de hasta 30 mm, y lo más preferente de hasta 20 mm. El límite inferior de esta dimensión no es crítico, aunque es prácticamente al menos de 0,1 mm.

15 De acuerdo con la invención, se mecaniza un bloque de imán de partida en piezas de imán permanente que tengan las propiedades deseadas. El número de divisiones de un segmento de imán permanente es de al menos 2 piezas, preferentemente, en el intervalo de 2 a 50 piezas, y más preferentemente 4 a 25 piezas, y si es necesario, se unen las piezas de imán divididas con un adhesivo para formar un ensamblaje. El ensamblaje puede ser cualquiera de diversas realizaciones que incluyan un ensamblaje construido apilando una pluralidad de piezas 12a de imán con forma de placa curva o paralelepípeda, con su dirección W (dirección longitudinal) alineada con una dirección horizontal, como se muestra en las figuras 3B, 6B y 10B; un ensamblaje construido disponiendo piezas 12a de imán de forma paralelepípeda con su dirección longitudinal alineada con una dirección vertical, yuxtaponiendo una pluralidad de tales piezas de imán en una fila, e integrando las mismas, como se muestra en la figura 12A; un ensamblaje construido apilando una pluralidad de piezas 12a de imán de forma cúbica en una dirección perpendicular, yuxtaponiendo tales apilamientos en una fila en una dirección transversal, e integrando los mismos, como se muestra en la figura 12B; y un ensamblaje construido yuxtaponiendo dos apilamientos que consisten cada uno en piezas de imán de forma paralelepípeda apiladas como se muestra en la figura 3B, e integrando las mismas, como se muestra en la figura 12C. El ensamblaje no está limitado a las realizaciones ilustradas.

El ensamblaje de piezas de imán apiladas se inserta en un orificio del rotor, construyendo un rotor con imán integrado.

- 30 En la máquina rotatoria de IPM, el flujo magnético que pasa a través del imán permanente varía momentáneamente con la rotación del rotor y esta variación de campo magnético provoca que se generen corrientes de Foucault dentro del imán. Las corrientes de Foucault fluyen en un plano perpendicular a la dirección de magnetización del imán.

35 Incluso en la pieza 12a de imán, las corrientes de Foucault fluyen en un plano perpendicular a la dirección de magnetización. El flujo de corrientes de Foucault y la distribución de temperatura dentro de las piezas de imán se resumen en la vista esquemática de la figura 5. Tal como se observa en la figura 5, la densidad de corrientes de Foucault se hace mayor en una parte periférica exterior de cada pieza de imán en la que se eleva la temperatura. Ya que la variación del campo magnético es mayor en el lado de estátor, la distribución de temperatura en la dirección de magnetización es ligeramente mayor en el lado del estátor que en el lado del eje de rotor. Para eliminar la desmagnetización debida a las corrientes de Foucault, se requiere una pieza de imán de Nd en la que la fuerza coercitiva (que sirve como un índice de resistencia a la desmagnetización) sea mayor cerca de la superficie de la pieza de imán que corresponde a la parte periférica exterior de imán que en el interior del imán. El interior del imán en el que se genera menos calor por corrientes de Foucault no necesita más fuerza coercitiva que la necesaria.

- 45 La figura 3 ilustra una realización. Se difunde Dy o Tb desde todas las superficies de la pieza 12a de imán como se muestra en la figura 3A (las zonas sombreadas son superficies desde las que se difunde Dy o Tb). Cinco piezas 12a de imán que tienen, por tanto, una fuerza coercitiva aumentada cerca de la superficie de las mismas se integran con un adhesivo en un ensamblaje como se muestra en la figura 3B.

50 La figura 6 ilustra otra realización. El tratamiento de absorción/difusión con Dy o Tb se realiza desde cuatro superficies de la pieza 12a de imán que se extienden en paralelo a la dirección de magnetización como se muestra en la figura 6A (las zonas sombreadas son superficies desde las que se difunde Dy o Tb, y dos zonas sin sombrear en el plano X-Y están sin tratar). Cinco piezas 12a de imán se integran con un adhesivo en un ensamblaje, como se muestra en la figura 6B (las zonas sombreadas son superficies desde las que se difunde Dy o Tb). Incluso en la realización de la figura 3 o 6, Hay disponibles piezas de imán de Nd en las que la fuerza coercitiva (que sirve como un índice de resistencia a la desmagnetización) es mayor cerca de la superficie de la pieza de imán que corresponde a la parte periférica exterior de imán que en el interior del imán. Tal como se usa en el presente documento, el término "cerca de la superficie" significa una región subsuperficial que se extiende aproximadamente 6 mm (como máximo) desde la superficie.

60 Como resultado del tratamiento de difusión/absorción con un elemento que tiene un efecto extraordinario de potenciación de anisotropía magnetocristalina, Dy o Tb desde superficies de un cuerpo de imán a base de Nd sinterizado, se aumenta la fuerza coercitiva del imán a base de Nd sinterizado de manera eficiente sin una pérdida sustancial de remanencia. Por tanto, el cuerpo de imán sinterizado tiene una distribución de fuerza coercitiva. La figura 4 muestra la distribución de fuerza coercitiva de una pieza de imán que se ha sometido a un tratamiento de difusión/absorción desde todas las superficies de la misma, como se muestra en la figura 3. La fuerza coercitiva

cerca de la superficie de imán es mayor que la del interior del imán. La figura 7 muestra la distribución de fuerza coercitiva de una pieza de imán que se ha sometido a un tratamiento de difusión/absorción desde cuatro superficies de la misma en paralelo a la dirección de magnetización, como se muestra en la figura 6. La fuerza coercitiva cerca de la superficie de imán es mayor que la del interior del imán, pero las fuerzas coercitivas cerca de aquellas superficies perpendiculares a la dirección de magnetización no mejoran debido a que no hay difusión/absorción desde estas superficies. En el caso de la máquina rotatoria de IPM, ya que la generación de calor por corrientes de Foucault es especialmente alta en aquellas cuatro superficies (planos X-Z e Y-Z) en paralelo a la dirección de magnetización, incluso la distribución de fuerza coercitiva de la figura 7 puede mejorar la resistencia térmica. Cualquiera de estas realizaciones tiene éxito en aumentar la fuerza coercitiva cerca de la superficie de imán, proporcionando una distribución de fuerza coercitiva efectiva para mejorar la resistencia térmica contra la generación de calor por corrientes de Foucault.

La figura 8 ilustra un ejemplo de máquina rotatoria de SPM. La máquina incluye un rotor 1 que comprende una culata 11 de rotor y una pluralidad de segmentos 12 de imán permanente unidos a la superficie del mismo y un estátor 2 que tiene una pluralidad de ranuras, estando dispuestos el rotor y el estátor para definir un hueco entre los mismos. El estátor 2 es el mismo que el de la máquina rotatoria de IMP. Esta máquina rotatoria se utiliza como servomotores de CA y motores similares que requieren un control del par de fuerzas de alta precisión. El par de fuerzas debe minimizarse con respecto al rizado. Por consiguiente, no es preferible que varíe la distribución del flujo magnético en el hueco con la relación de posición entre la ranura de estátor y el imán permanente tras la rotación del rotor, para no producir un par de retención (par de fuerzas sin flujo de corriente a través de las bobinas) ni que este rizado de par se produzca cuando se hace circular corriente eléctrica a través de las bobinas para conducir. El rizado de par se agrava de manera controlable y provoca ruido. Se usa como medios para reducir el par de retención una pieza 12a de imán permanente dividida con una forma tal que las partes de extremo son más delgadas que una parte central, como se muestra en las figuras 9C y 10A. Entonces, la distribución de flujo magnético se suaviza en la parte de extremo de imán que es una zona de transición de polo magnético que sufre un gran cambio de distribución de flujo magnético, dando como resultado una reducción en el par de retención. Por consiguiente, una pieza de imán en forma de C, como se muestra en las figuras 9C y 10A, se usa a menudo, aunque también puede usarse una pieza de imán en forma de D, como se muestra en la figura 9B. Desde el punto de vista de facilidad de fabricación, también es aceptable una pieza de imán rectangular, como se muestra en la figura 9A.

También en la máquina rotatoria de SPM, fluyen corrientes de Foucault por el imán permanente. Una pieza 12a de imán dividida, como se muestra en la figura 10A, es efectiva para reducir las corrientes de Foucault. La figura 10B ilustra un ensamblaje de cuatro piezas 12a de imán integradas de manera adhesiva en las que se ha difundido Dy o Tb desde superficies de las mismas (las zonas sombreadas son superficies desde las que se difunde Dy o Tb). Incluso en la pieza 12a de imán, las corrientes de Foucault fluyen en un plano perpendicular a la dirección de magnetización. El flujo de corrientes de Foucault y la distribución de temperatura dentro de las piezas de imán se resumen en la vista esquemática de la figura 11. Tal como se observa en la figura 11, la densidad de corrientes de Foucault se hace mayor en una parte periférica exterior de cada pieza de imán donde se eleva la temperatura. Ya que la variación del campo magnético es mayor en el lado de estátor, la distribución de temperatura en la dirección de magnetización es mayor en el lado de estátor. La distribución de temperatura en la dirección de magnetización es mayor que en el motor de IPM. Para eliminar la desmagnetización debida a las corrientes de Foucault, la invención usa una pieza de imán de Nd en la que la fuerza coercitiva (que sirve como un índice de resistencia a la desmagnetización) es mayor cerca de la superficie de la pieza de imán que corresponde a la parte periférica exterior del imán y el lado de estátor que en el interior del imán.

Como en el caso de la máquina rotatoria de IPM, el tratamiento de difusión/absorción con un elemento que tiene un efecto de potenciador de la anisotropía magnetocristalina, como el Dy o Tb desde superficies de un imán a base de Nd sinterizado da como resultado una pieza de imán que tiene una fuerza coercitiva aumentada cerca de la superficie de la misma sin una pérdida sustancial de remanencia inherente. Por tanto, se proporciona un rotor para una máquina rotatoria de SPM que tiene resistencia térmica mejorada.

### Ejemplo

A continuación, se dan ejemplos para ilustrar algunas realizaciones de la presente invención, pero el alcance de la invención no se limita de ese modo.

#### Ejemplo 1

Se preparó una placa delgada de aleación mediante la denominada técnica de colada de bandas, específicamente, pesando cantidades predeterminadas de metales de Nd, Co, Al y Fe que tienen una pureza de al menos el 99 % en peso y ferroboro, calentando por alta frecuencia en una atmósfera de argón para la fundición, y colando la aleación fundida en un solo rodillo de cobre en una atmósfera de argón. La aleación resultante estaba compuesta por 13,5 % atómico de Nd, 1,0 % atómico de Co, 0,5 % atómico de Al, 5,8 % atómico de B, y el resto de Fe y se denomina aleación A. La aleación A se hidrató y luego se calentó a 500 °C para una deshidratación parcial mientras se evacua al vacío. Mediante esta denominada pulverización de hidratación, la aleación se pulverizó hasta obtener un polvo grueso con un tamaño de hasta 30 de tamaño de malla. Otra aleación se preparó pesando cantidades

predeterminadas de metales de Nd, Tb, Fe, Co, Al y Cu que tienen una pureza de al menos un 99 % en peso y ferroboro, calentando por alta frecuencia en una atmósfera de argón para la fundición y colando. La aleación resultante estaba compuesta por 20 % atómico de Nd, 10 % atómico de Tb, 24 % atómico de Fe, 6 % atómico de B, 1 % atómico de Al, 2 % atómico de Cu, y el resto de Co y se denomina aleación B. Al usar un molino Brown en una atmósfera de nitrógeno, la aleación B se redujo a un polvo grueso con un tamaño de hasta 30 de tamaño de malla.

Posteriormente, el polvo de aleación A y el polvo de aleación B se pesaron en unas cantidades del 90 % y el 10 % en peso, respectivamente, y se mezclaron juntos durante 30 minutos en un agitador en V que se ha purgado con nitrógeno. En un molino de chorro que usa gas de nitrógeno a alta presión, el polvo mezclado se pulverizó de manera fina a un tamaño promedio de 4  $\mu\text{m}$ . El polvo fino resultante se compactó en una atmósfera de nitrógeno a una presión de aproximadamente 98 MPa (1 ton/cm<sup>2</sup>) mientras se orienta en un campo magnético de 1,19 MA/m (15 kOe). El comprimido crudo se colocó entonces en un horno de sinterización en una atmósfera de argón en el que se sinterizó a 1.060 °C durante 2 horas, obteniendo un bloque de imán permanente. Usando una muela abrasiva de diamante, se mecanizaron todas las superficies del bloque de imán permanente hasta obtener piezas de imán paralelepípedas como se muestra en la figura 3. Estas piezas se dimensionaron a L=5 mm, W=70 mm y T=20 mm (T en la dirección anisotrópica magnética). Las piezas de imán mecanizadas se lavaron con una solución alcalina, se decaparon y se secaron. Se incluyeron etapas de enjuagar con agua desionizada antes y después de cada etapa de lavado. Estas piezas de imán paralelepípedas se denominaron M1.

A continuación, se mezcló fluoruro de disprosio que tiene un tamaño de partícula promedio de 5  $\mu\text{m}$  con etanol en una fracción del 50 % en peso, en el que las piezas de imán paralelepípedas se sumergieron durante un minuto aplicándose ondas ultrasónicas. Las piezas de imán se sacaron y se secaron inmediatamente con aire caliente. En este momento, el factor de llenado de fluoruro de disprosio en el espacio que rodea la superficie del imán fue del 45 %. Las piezas de imán se sometieron a un tratamiento de absorción en una atmósfera de argón a 900 °C durante una hora, luego a un tratamiento de envejecimiento a 500 °C durante una hora y se templó, obteniendo las piezas M2 de imán.

Dieciocho (18) piezas M2 de imán se dispusieron en la dirección L y se unieron entre sí con un adhesivo acrílico para formar un segmento de imán permanente paralelepípedo integral cuyas dimensiones eran, L=90 mm, W=70 mm y T=20 mm. Usando un aparato de prueba, se midió la resistencia eléctrica entre extremos opuestos del segmento, confirmando la conducción.

Usando estos segmentos de imán permanente, se fabricó un rotor (diámetro exterior 312 mm, longitud 90 mm) para una máquina rotatoria de IPM de cuatro polos. El rotor se incorporó en un motor de IPM. Antes y después de que el motor se hiciera funcionar a un par de carga y una revolución de dos veces las estimaciones, se determinó una fuerza electromotriz inducida. Los resultados se muestran en la tabla 1.

### Ejemplo comparativo 1

Se preparó una placa delgada de aleación mediante la denominada técnica de colada de bandas, específicamente, pesando cantidades predeterminadas de metales de Nd, Co, Al y Fe que tienen una pureza de al menos el 99 % en peso y ferroboro, calentando por alta frecuencia en una atmósfera de argón para la fundición, y colando la aleación fundida en un solo rodillo de cobre en una atmósfera de argón. La aleación resultante estaba compuesta por 13,5 % atómico de Nd, 1,0 % atómico de Co, 0,5 % atómico de Al, 5,8 % atómico de B, y el resto de Fe y se denomina aleación A. La aleación A se hidrató y luego se calentó a 500 °C para una deshidratación parcial mientras se evacua al vacío. Mediante esta denominada pulverización de hidratación, la aleación se pulverizó hasta obtener un polvo grueso con un tamaño de hasta 30 de tamaño de malla. Otra aleación se preparó pesando cantidades predeterminadas de metales de Nd, Tb, Fe, Co, Al y Cu que tienen una pureza de al menos un 99 % en peso y ferroboro, calentando por alta frecuencia en una atmósfera de argón para la fundición y colando. La aleación resultante estaba compuesta por 20 % atómico de Nd, 10 % atómico de Tb, 24 % atómico de Fe, 6 % atómico de B, 1 % atómico de Al, 2 % atómico de Cu, y el resto de Co y se denomina aleación B. Al usar un molino Brown en una atmósfera de nitrógeno, la aleación B se redujo a un polvo grueso con un tamaño de hasta 30 de tamaño de malla.

Posteriormente, el polvo de aleación A y el polvo de aleación B se pesaron en unas cantidades del 90 % y el 10 % en peso, respectivamente, y se mezclaron juntos durante 30 minutos en un agitador en V que se ha purgado con nitrógeno. En un molino de chorro que usa gas de nitrógeno a alta presión, el polvo mezclado se pulverizó de manera fina a un tamaño promedio de 4  $\mu\text{m}$ . El polvo fino resultante se compactó en una atmósfera de nitrógeno a una presión de aproximadamente 98 MPa (1 ton/cm<sup>2</sup>) mientras se orienta en un campo magnético de 1,19 MA/m (15 kOe). El comprimido crudo se colocó entonces en un horno de sinterización en una atmósfera de argón en el que se sinterizó a 1.060 °C durante 2 horas, obteniendo un bloque de imán permanente. Usando una muela abrasiva de diamante, se mecanizaron todas las superficies del bloque de imán permanente hasta obtener piezas de imán paralelepípedas como se muestra en la figura 3. Estas piezas se dimensionaron a L=4,9 mm, W=70 mm y T=20 mm (T en la dirección anisotrópica magnética). Las piezas de imán mecanizadas se lavaron con una solución alcalina, se decaparon y se secaron. Se incluyeron etapas de enjuagar con agua desionizada antes y después de cada etapa de lavado. Estas piezas de imán paralelepípedas se denominaron P1.

5 A continuación, se mezcló fluoruro de disprosio que tiene un tamaño de partícula promedio de 5  $\mu\text{m}$  con etanol en una fracción del 50 % en peso, en el que las piezas de imán paralelepípedas se sumergieron durante un minuto aplicándose ondas ultrasónicas. las piezas de imán se sacaron y se secaron inmediatamente con aire caliente. En este momento, el factor de llenado de fluoruro de disprosio en el espacio que rodea la superficie del imán fue del 45 %. Las piezas de imán se sometieron a un tratamiento de absorción en una atmósfera de argón a 900 °C durante una hora, luego a un tratamiento de envejecimiento a 500 °C durante una hora y se templó, obteniendo las piezas P2 de imán.

10 Dieciocho (18) piezas P2 de imán se dispusieron en la dirección de L mientras que placas de resina aislante de 0,1 mm de espesor se interpusieron entre las piezas de imán. Las piezas de imán se unieron entre sí con un adhesivo acrílico para formar un segmento de imán permanente paralelepípedo integral cuyas dimensiones eran, L=90 mm, W=70 mm y T=20 mm. Usando un aparato de prueba, se midió la resistencia eléctrica entre extremos opuestos del segmento, confirmando la no conducción.

15 Usando estos segmentos de imán permanente, se fabricó un rotor (diámetro exterior 312 mm, longitud 90 mm) para una máquina rotatoria de IPM de cuatro polos. El rotor se incorporó en un motor de IPM. Antes y después de que el motor se hiciera funcionar a un par de carga y una revolución de dos veces las estimaciones, se determinó una fuerza electromotriz inducida. Los resultados se muestran en la tabla 1.

## 20 Ejemplo comparativo 2

25 Se preparó una placa delgada de aleación mediante la denominada técnica de colada de bandas, específicamente, pesando cantidades predeterminadas de metales de Nd, Co, Al y Fe que tienen una pureza de al menos el 99 % en peso y ferroboro, calentando por alta frecuencia en una atmósfera de argón para la fundición, y colando la aleación fundida en un solo rodillo de cobre en una atmósfera de argón. La aleación resultante estaba compuesta por 13,5 % atómico de Nd, 1,0 % atómico de Co, 0,5 % atómico de Al, 5,8 % atómico de B, y el resto de Fe y se denomina aleación A. La aleación A se hidrató y luego se calentó a 500 °C para una deshidratación parcial mientras se evacua al vacío. Mediante esta denominada pulverización de hidratación, la aleación se pulverizó hasta obtener un polvo grueso con un tamaño de hasta 30 de tamaño de malla. Otra aleación se preparó pesando cantidades

30 predeterminadas de metales de Nd, Tb, Fe, Co, Al y Cu que tienen una pureza de al menos un 99 % en peso y ferroboro, calentando por alta frecuencia en una atmósfera de argón para la fundición y colando. La aleación resultante estaba compuesta por 20 % atómico de Nd, 10 % atómico de Tb, 24 % atómico de Fe, 6 % atómico de B, 1 % atómico de Al, 2 % atómico de Cu, y el resto de Co y se denomina aleación B. Al usar un molino Brown en una atmósfera de nitrógeno, la aleación B se redujo a un polvo grueso con un tamaño de hasta 30 de tamaño de malla.

35 Posteriormente, el polvo de aleación A y el polvo de aleación B se pesaron en unas cantidades del 90 % y el 10 % en peso, respectivamente, y se mezclaron juntos durante 30 minutos en un agitador en V que se ha purgado con nitrógeno. En un molino de chorro que usa gas de nitrógeno a alta presión, el polvo mezclado se pulverizó de manera fina a un tamaño promedio de 4  $\mu\text{m}$ . El polvo fino resultante se compactó en una atmósfera de nitrógeno a una presión de aproximadamente 98 MPa (1 ton/cm<sup>2</sup>) mientras se orienta en un campo magnético de 1,19 MA/m (15 kOe). El comprimido crudo se colocó entonces en un horno de sinterización en una atmósfera de argón en el que se sinterizó a 1.060 °C durante 2 horas, obteniendo un bloque de imán permanente. Usando una muela abrasiva de diamante, se mecanizaron todas las superficies del bloque de imán permanente hasta obtener un imán paralelepípedo cuyas dimensiones eran, L=90 mm, W=70 mm y T=20 mm (T en la dirección anisotrópica magnética). El imán térreo se lavó con una solución alcalina, se decapó y se secó. Se incluyeron etapas de enjuagar con agua desionizada antes y después de cada etapa de lavado. Este imán paralelepípedo se denomina P3.

50 A continuación, se mezcló fluoruro de disprosio que tiene un tamaño de partícula promedio de 5  $\mu\text{m}$  con etanol en una fracción del 50 % en peso, en el que el imán P3 paralelepípedo se sumergió durante un minuto aplicándose ondas ultrasónicas. el imán se sacó y se secó inmediatamente con aire caliente. En este momento, el factor de llenado de fluoruro de disprosio en el espacio que rodea la superficie del imán fue del 45 %. El imán se sometió a un tratamiento de absorción en una atmósfera de argón a 900 °C durante una hora, luego a un tratamiento de envejecimiento a 500 °C durante una hora y se templó, obteniendo el imán P4.

55 Usando estos imanes P4, se fabricó un rotor (diámetro exterior 312 mm, longitud 90 mm) para una máquina rotatoria de IPM de cuatro polos. El rotor se incorporó en un motor de IPM. Antes y después de que el motor se hiciera funcionar a un par de carga y una revolución de dos veces las estimaciones, se determinó una fuerza electromotriz inducida. Los resultados se muestran en la tabla 1.

60

Tabla 1

	Ejemplo	Ejemplo comparativo	
	1	1	2
Caída de fuerza electromotriz inducida antes y después de la prueba, %	0	0	48
Fuerza electromotriz inducida después de la prueba*	100	95	5

\* basándose en que la fuerza electromotriz inducida en el ejemplo 1 es del 100 %

Una comparación del ejemplo 1 con el ejemplo comparativo 1 revela que en el ejemplo comparativo 1, no se observó desmagnetización provocada por generación de calor por corrientes de Foucault, sino que se redujo la fuerza electromotriz inducida, ya que se redujo el volumen de imán neto por la presencia de capas aislantes. Una comparación del ejemplo 1 con el ejemplo comparativo 2 revela que en el ejemplo comparativo 2, en el que el imán no se dividió, se garantizó la conducción eléctrica por todo el imán, pero fluyen corrientes de Foucault por todo el imán y, por tanto, se produjo una desmagnetización en la región en la que no se mejoró la fuerza coercitiva. El ejemplo 1 es superior a cualquiera de los ejemplos comparativos 1 y 2.

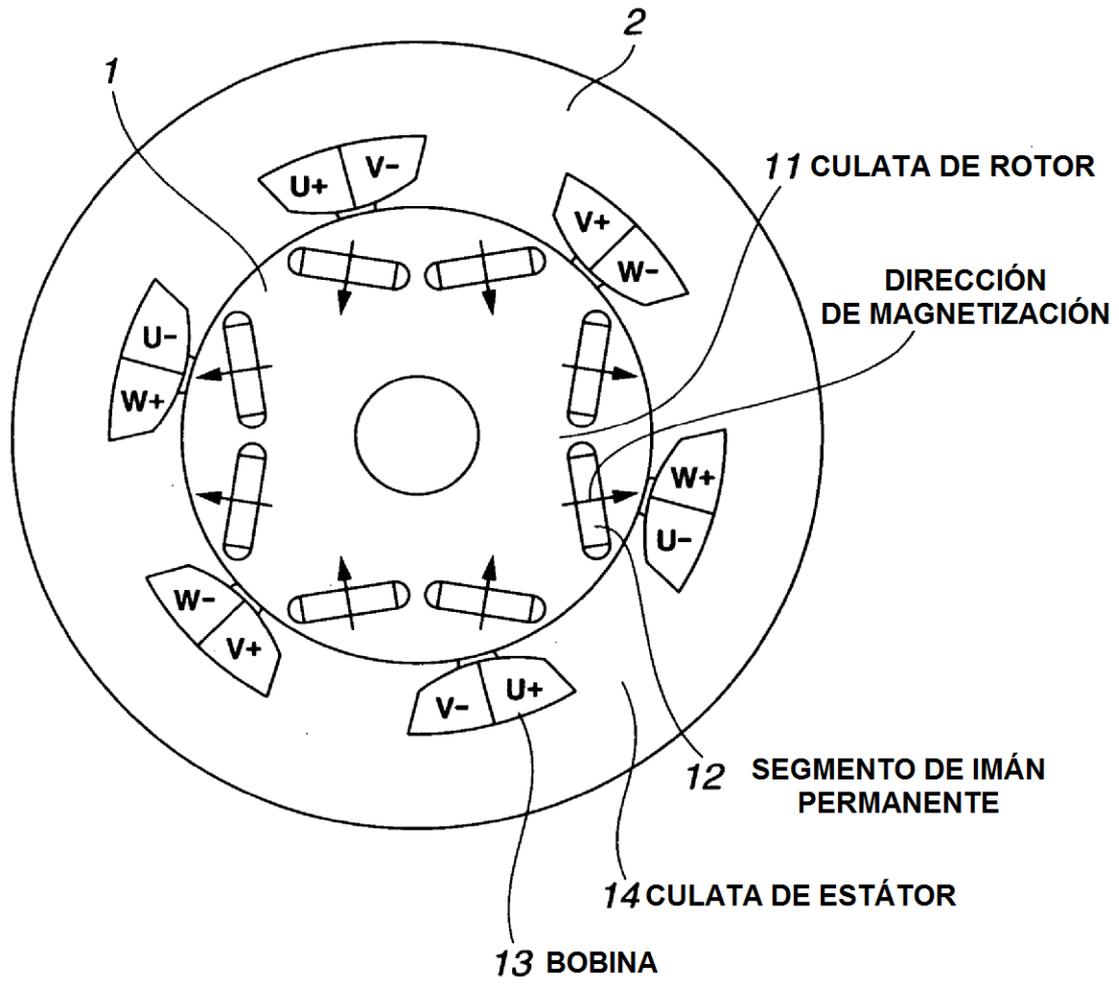
5

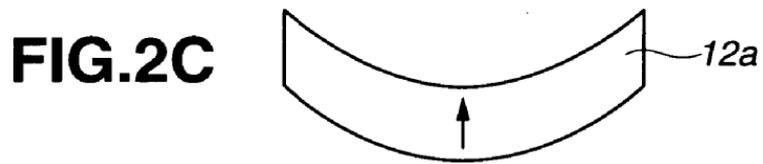
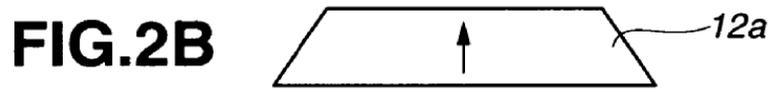
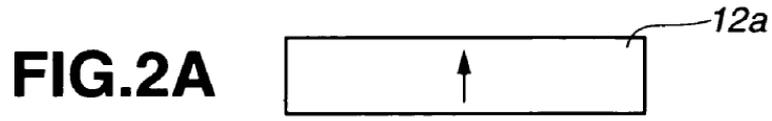
10

REIVINDICACIONES

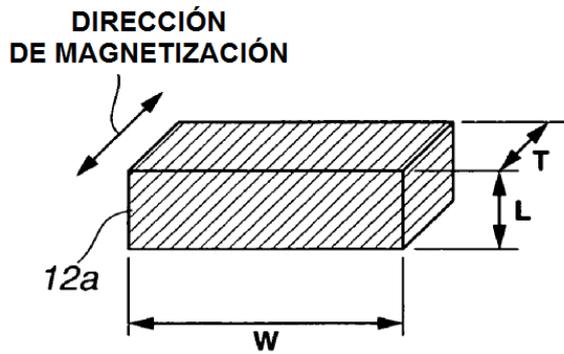
1. Rotor para una máquina rotatoria de imanes permanentes, comprendiendo la máquina un rotor que comprende un núcleo de rotor y una pluralidad de segmentos de imán permanente integrados en el núcleo de rotor y un estátor que  
 5 tiene una pluralidad de bobinas, estando dispuestos el rotor y el estátor para definir un hueco entre los mismos, o comprendiendo la máquina un rotor que comprende un núcleo de rotor y una pluralidad de segmentos de imán permanente montados en la superficie del núcleo de rotor y un estátor que tiene una pluralidad de bobinas, estando dispuestos el rotor y el estátor para definir un hueco entre ellos,  
 10 **caracterizado por que** cada uno de dichos segmentos de imán permanente es un ensamblaje de dos o más piezas de imán permanente divididas, siendo cada una de las piezas de imán divididas de un imán de tierras raras a base de Nd sinterizado y teniendo cada una de las piezas de imán permanente divididas
- i) una fuerza coercitiva en una región subsuperficial que se extiende 6 mm desde la superficie y una fuerza coercitiva en una región interior, siendo la fuerza coercitiva en la región subsuperficial de la pieza de imán mayor  
 15 que la de la región interior de la pieza de imán; o  
 ii) una resistencia térmica en una región subsuperficial que se extiende 6 mm desde la superficie y una resistencia térmica en una región interior, siendo la resistencia térmica en la región subsuperficial de la pieza de imán mayor que la de la región interior de la pieza de imán;
- 20 donde  
 las piezas de imán adyacentes están dispuestas en contacto directo, y el ensamblaje permite una conducción eléctrica entre las piezas de imán adyacentes en ausencia de una capa aislante capaz de un aislamiento eléctrico completo entre las piezas de imán.
- 25 2. El rotor según la reivindicación 1, en el que cada pieza de imán de tierras raras a base de Nd sinterizado tiene un perfil de fuerza coercitiva o un perfil de resistencia térmica desde la superficie hacia la región interior, que se crea dejando que se difunda Dy o Tb desde la superficie hacia la región interior de la pieza de imán.
- 30 3. El rotor según la reivindicación 1, en el que cada pieza de imán de tierras raras a base de Nd sinterizado tiene un perfil de fuerza coercitiva o un perfil de resistencia térmica desde la superficie hacia la región interior, que se crea dejando que se difunda Dy o Tb desde la superficie hacia la región interior de la pieza de imán, principalmente a través de límites de grano.
- 35 4. El rotor según las reivindicaciones 2 o 3, en el que la etapa de dejar que se difunda Dy o Tb desde la superficie hacia la región interior de la pieza de imán de tierras raras a base de Nd sinterizado incluye aplicar un polvo de óxido de Dy o Tb, un polvo de fluoruro de Dy o Tb o un polvo de aleación que contiene Dy o Tb en superficies de la pieza de imán, manteniendo después la pieza de imán a una temperatura elevada, suficiente para la difusión del Dy o Tb.
- 40 5. El rotor según una cualquiera de reivindicaciones 1 a 4, en el que cada uno de dichos segmentos de imán permanente se construye ensamblando piezas de imán permanente divididas en un ensamblaje sin tratamiento de aislamiento.
- 45 6. El rotor según la reivindicación 5, en el que las piezas de imán tienen una rugosidad superficial Ry en el intervalo de 50S a 0,8S.

**FIG.1**

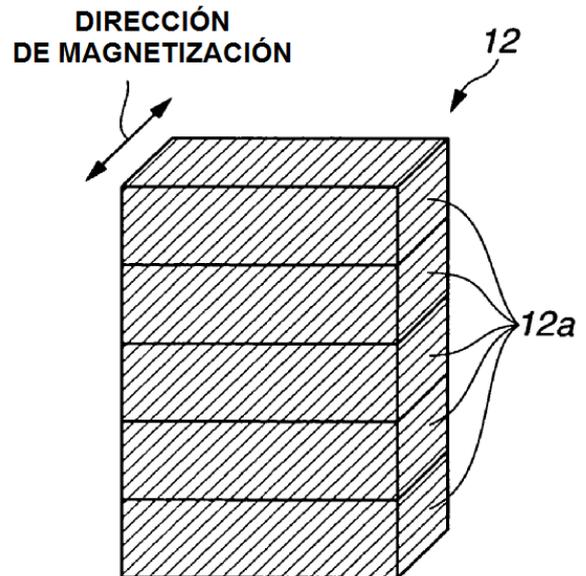




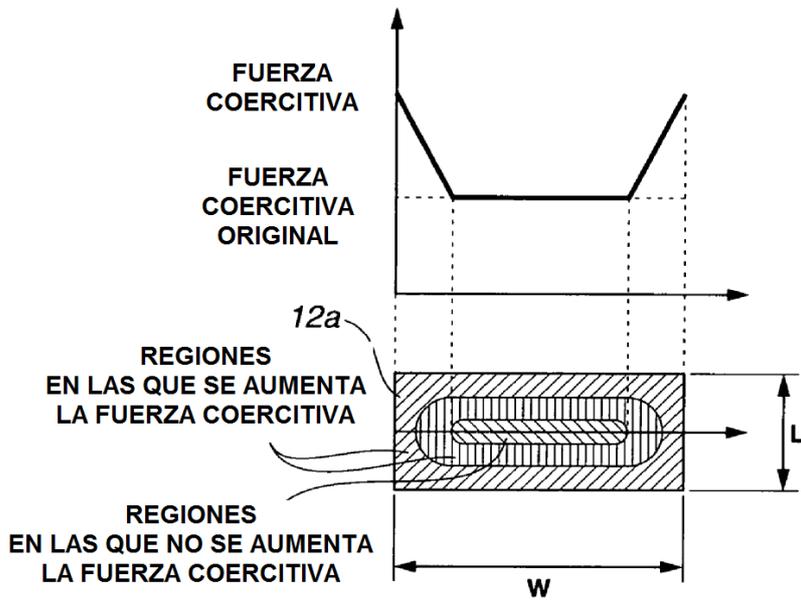
**FIG.3A**



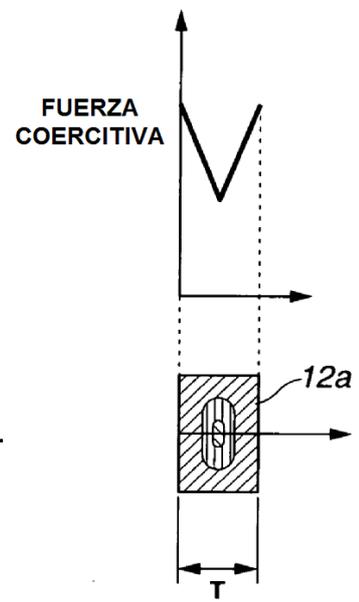
**FIG.3B**



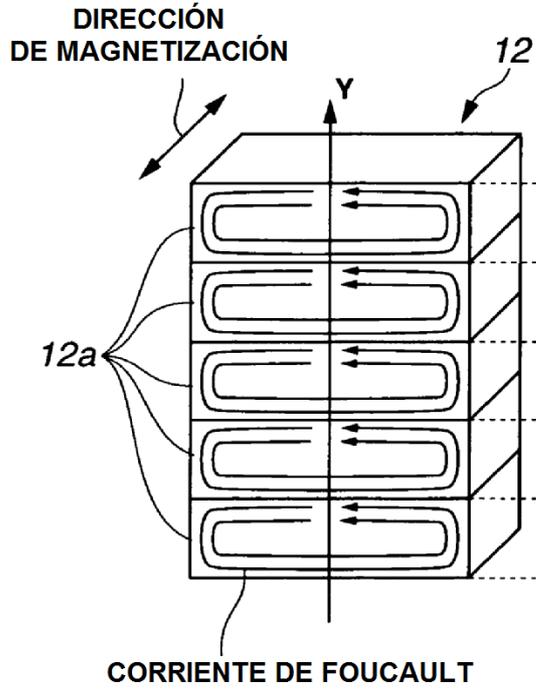
**FIG.4A**



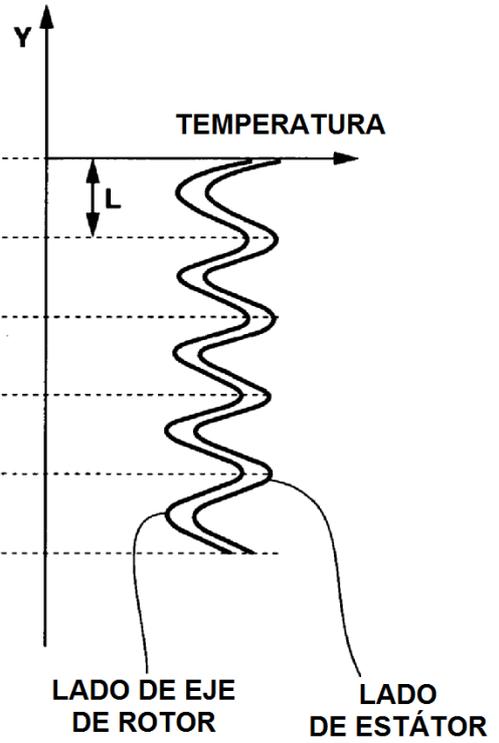
**FIG.4B**



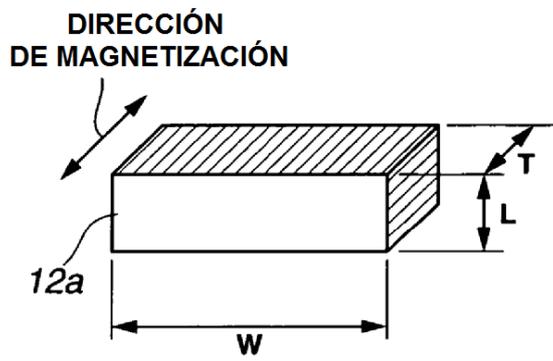
**FIG.5A**



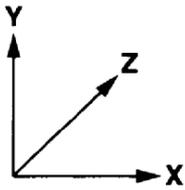
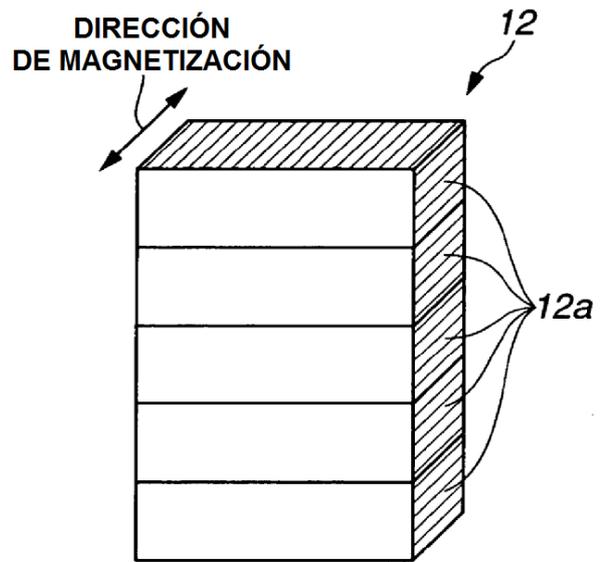
**FIG.5B**



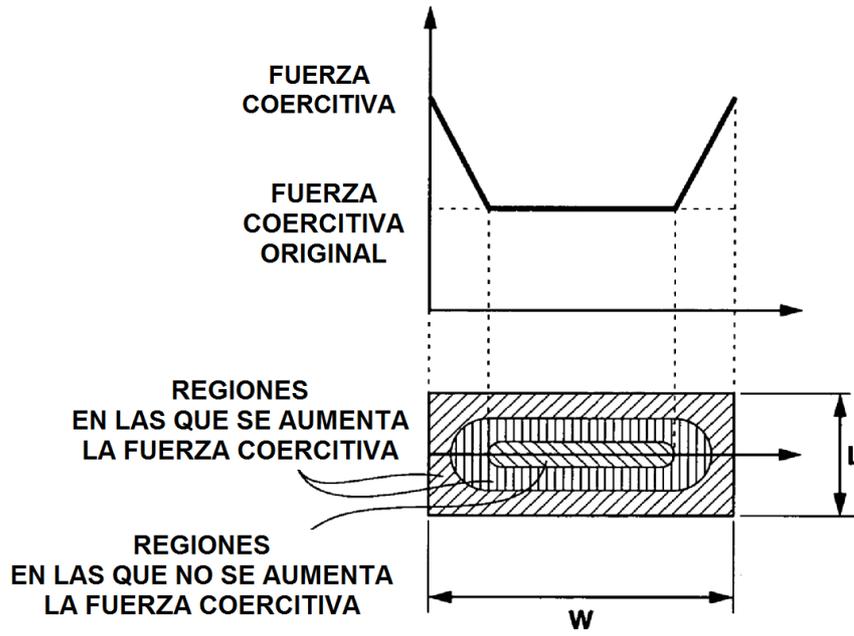
**FIG.6A**



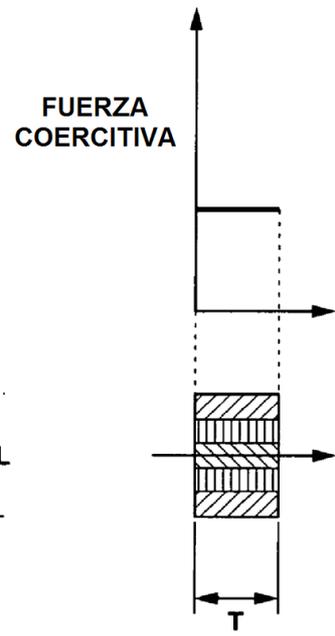
**FIG.6B**



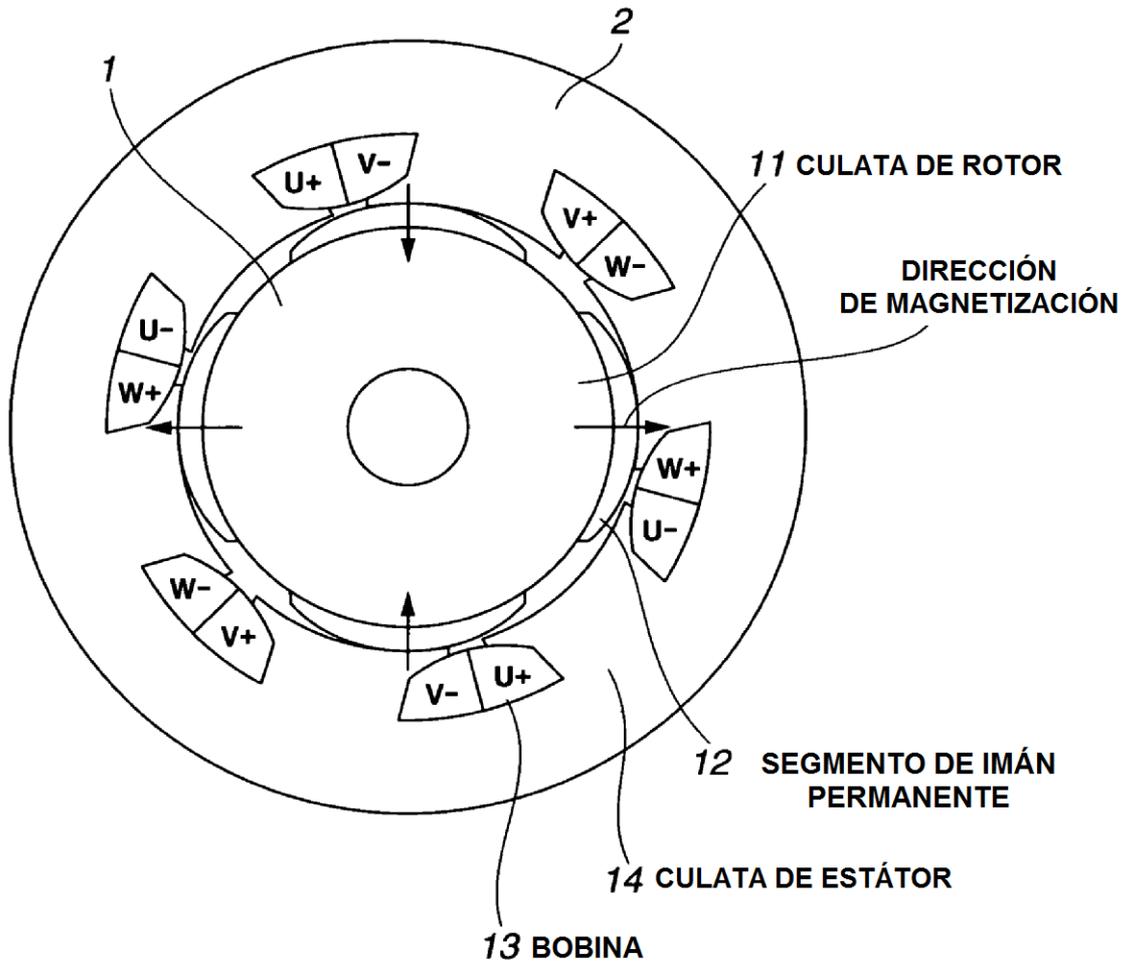
**FIG.7A**



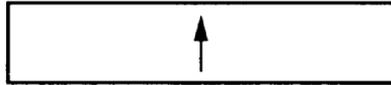
**FIG.7B**



**FIG.8**



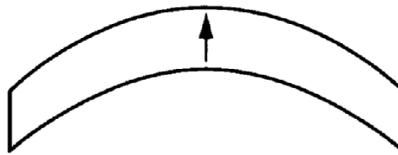
**FIG.9A**



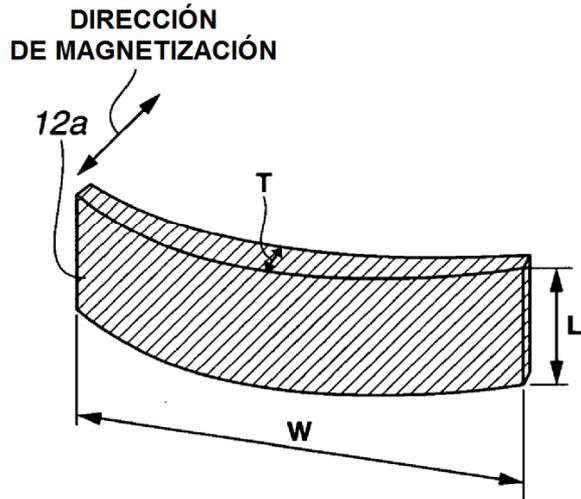
**FIG.9B**



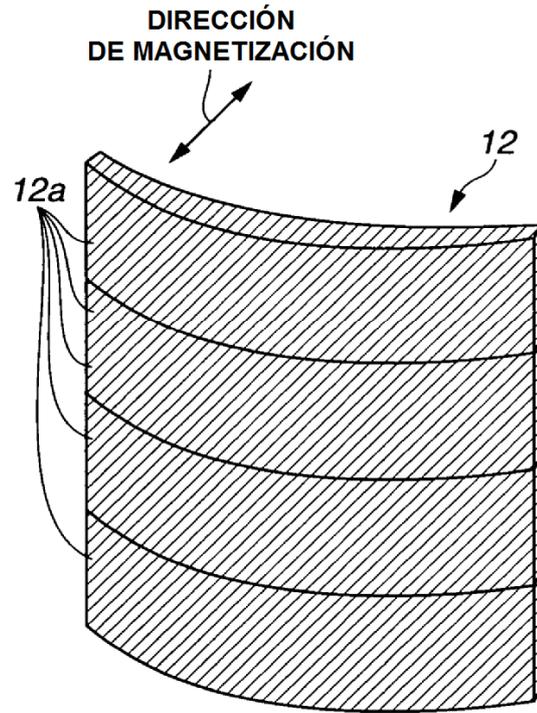
**FIG.9C**



**FIG.10A**

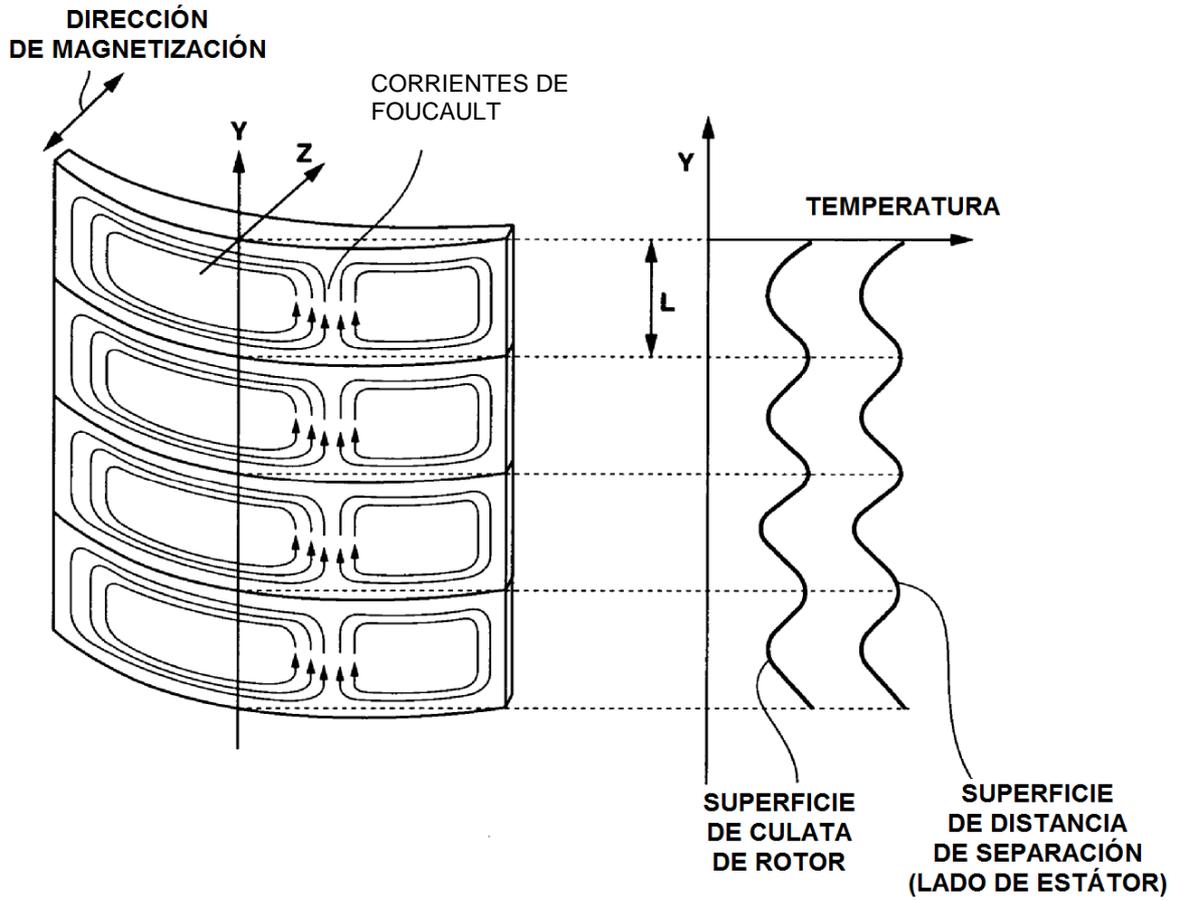


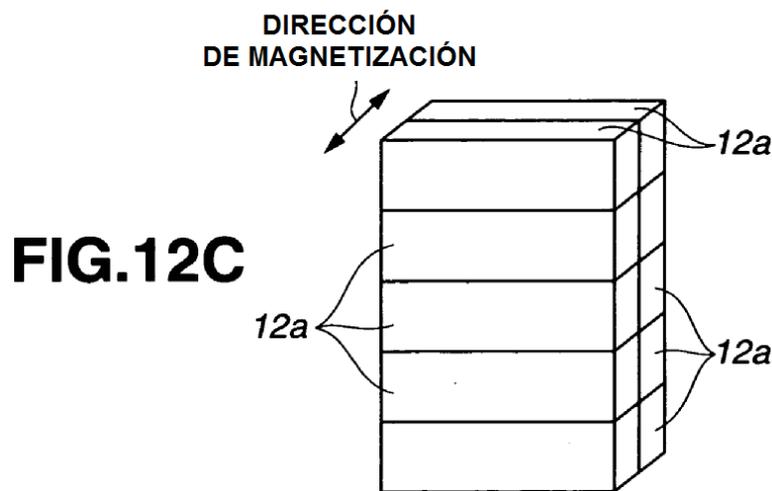
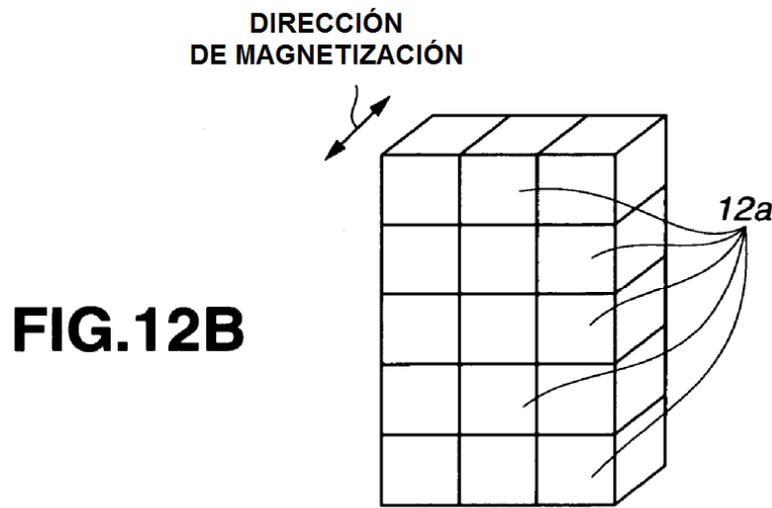
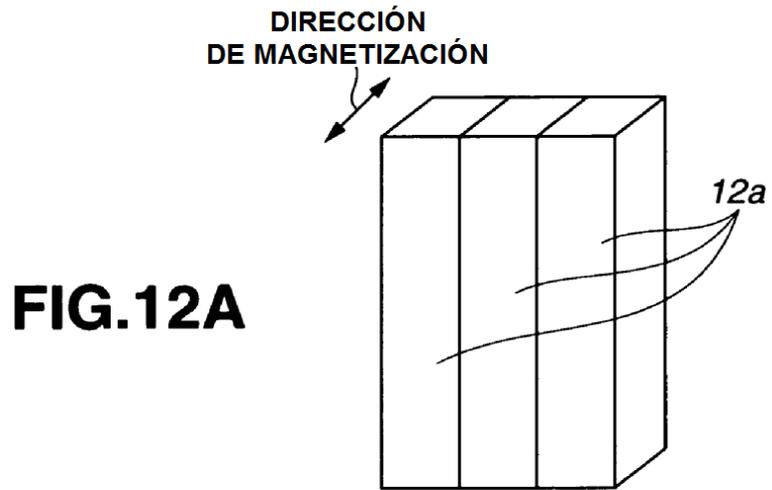
**FIG.10B**



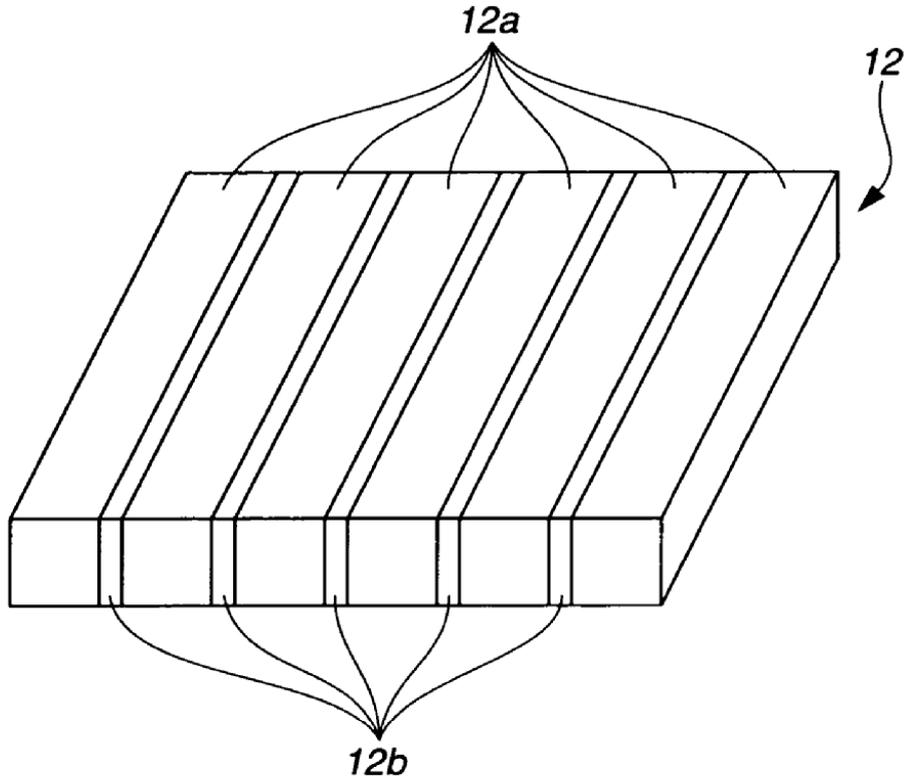
**FIG.11A**

**FIG.11B**





**FIG.13A**



**FIG.13B**

