

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 788 714**

51 Int. Cl.:

<b>H02K 1/24</b>	(2006.01)
<b>F16C 32/04</b>	(2006.01)
<b>H02K 1/14</b>	(2006.01)
<b>H02K 7/09</b>	(2006.01)
<b>H01F 3/02</b>	(2006.01)
<b>H01F 3/14</b>	(2006.01)
<b>H01F 27/245</b>	(2006.01)
<b>H01F 41/02</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.11.2010 PCT/BE2010/000075**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **12.05.2011 WO11054065**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.11.2010 E 10807315 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2020 EP 2497182**

54 Título: **Núcleo laminado para un cojinete magnético radial-axial combinado y método de fabricación correspondiente**

30 Prioridad:

**06.11.2009 US 272821 P**  
**23.12.2009 BE 200900817**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.10.2020**

73 Titular/es:

**ATLAS COPCO AIRPOWER, NAAMLOZE  
VENNOOTSCHAP (100.0%)**  
**Boomsesteenweg 957**  
**2610 Wilrijk, BE**

72 Inventor/es:

**VANDE SANDE, HANS;**  
**PHILIPPI, CORNELIS, THEODORUS;**  
**PAHNER, UWE y**  
**DEMEULENAERE, BRAM, EUGENE, G.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 788 714 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**

Núcleo laminado para un cojinete magnético radial-axial combinado y método de fabricación correspondiente

**Campo de la invención**

5 La invención se refiere a cojinetes magnéticos para máquinas rotativas, en el que el cojinete tiene un diseño radial-axial integrado y en el que el flujo de control axial fluye a través de la abertura central de un núcleo magnético blando.

**Antecedentes de la invención**

10 Con los cojinetes magnéticos se puede obtener una suspensión sin contacto. Sus pérdidas por fricción limitadas los hacen atractivos para aplicaciones de alta velocidad. El diseño de máquinas rotativas de alta velocidad a menudo es complicado debido a las limitaciones dinámicas del rotor. En ese sentido, cualquier reducción de la longitud axial de un eje contribuye al margen dinámico del rotor. Esta propiedad se aprovecha al máximo en los denominados cojinetes combinados. Estos son cojinetes en donde el diseño integra canales axiales y radiales en una disposición compacta en la que se comparten varias partes funcionales.

15 Se pueden encontrar varios ejemplos de cojinetes combinados en patentes y bibliografía. A menudo, la trayectoria del flujo de control axial cruza el orificio central de una pila laminada de material ferromagnético. Los ejemplos de esto se pueden encontrar en las patentes o solicitudes de patente US 5514924, US 6268674, US 6727617, WO 2008074045, CN 1737388. Otros ejemplos se encuentran en la bibliografía, como, por ejemplo, en los documentos de Imoberdorf et al., Pichot et al. y Buckner et al. En cojinetes combinados del tipo representado en la patente US 6359357 B1 de Blumenstock, el flujo de control axial no cruza el orificio central de una pila laminada de material ferromagnético.

20 Otros ejemplos de núcleos apilados laminados se pueden encontrar en otros campos técnicos distintos de los cojinetes magnéticos, como por ejemplo en el documento GB 2108772 que divulga un núcleo laminado para una máquina dinamoeléctrica, el documento GB 1173447 que divulga un núcleo para un transformador, o el documento US 2009026851 que divulga una armadura de motor.

25 El rendimiento del canal axial de un cojinete combinado puede verse afectado negativamente si la trayectoria del flujo de control axial cruza el orificio central de una pila laminada o, de manera más general, si un cojinete combinado contiene un área donde una trayectoria eléctricamente conductora rodea el flujo de control. En ese caso, los flujos de control variables pueden inducir tensiones en el material circundante. Estas tensiones inducidas causan corrientes circulantes, y así también pérdidas de julios, si la trayectoria circundante está cerrada y es eléctricamente conductora. En realidad, dicha pila laminada puede considerarse como una bobina secundaria en cortocircuito de un transformador, siendo la bobina de control axial la bobina primaria. El efecto depende de la frecuencia: la pérdida crece con la frecuencia. Dada una corriente y frecuencia de control axial particular, las pérdidas de julios reducen la fuerza que se puede realizar. Por consiguiente, el rendimiento del canal axial se ve afectado.

35 Unos fenómenos similares pueden ocurrir en la pila de laminación sobre la que actúa el accionador axial. En ese caso, el flujo de control ingresa a la pila en sí, pero la explicación física es la misma. En la patente US 6268674, Takahashi propone cortar una serie de hendiduras radiales distribuidas uniformemente dentro de una pila de laminación objetivo. Obviamente, para mantener una resistencia suficiente mientras gira, las laminaciones no se cortan en todo su espesor. Al hacer eso, las corrientes inducidas permanecen locales, siempre que el flujo de control entre exclusivamente en la región de la hendidura. Esta técnica solo proporciona una solución para reducir las pérdidas en la pila de laminación objetivo. El flujo de control global todavía está rodeado por la pila de estator.

40 A nuestro entender, no se ha informado de otras técnicas para reducir este tipo de pérdidas. En esta patente, se presenta una técnica diferente para la reducción de pérdidas. Se puede aplicar a las pilas de rotor y estator de un cojinete magnético combinado.

**Sumario de la invención**

45 La presente invención se refiere a un núcleo laminado de un estator o un rotor de un cojinete magnético radial-axial combinado con polarización de imán permanente o polarizado con corriente. El núcleo laminado comprende una pila sólida de laminaciones individuales planas magnéticas blandas. Las laminaciones individuales tienen la propiedad topológica de ser homotópicamente equivalentes a una bola para crear al menos una interrupción física completa para las corrientes circulantes en el plano de las laminaciones. La pila sólida muestra la propiedad topológica de ser homotópicamente equivalente a un anillo para crear simetría magnética. Al menos una interrupción física se llena con un material eléctricamente aislante y:

- 50 - dicha al menos una interrupción física como un corte radial, en laminaciones adyacentes, pivotan entre sí; o  
- dicha pila sólida comprende una pluralidad de subpilas en las que dicha al menos una interrupción física en todas

las laminaciones adyacentes coinciden y en donde dicha al menos una interrupción física de dichas subpilas pivotan entre sí, y por lo que

- todo el conjunto de interrupciones físicas se distribuye uniformemente sobre la circunferencia de la pila completa para salvaguardar la simetría magnética.

5 En este contexto, una corriente circulante se define como una corriente que fluye a través del material magnético blando, siguiendo un camino cerrado que rodea el núcleo laminado.

La equivalencia homotópica entre una laminación plana y una bola indica que la laminación plana se puede conformar virtualmente para convertirse en una bola utilizando solo operaciones de flexión, estiramiento y/o contracción. En esto, no se permiten operaciones de corte o pegado. De manera similar, la equivalencia homotópica entre una pila sólida y un anillo indica que la pila puede formarse virtualmente para convertirse en un anillo, aplicando solo operaciones de flexión, estiramiento y/o contracción.

10

La expresión "crear al menos una interrupción física completa para las corrientes circulantes en el plano de las laminaciones" aquí significa, en otras palabras, que en el plano de las laminaciones surge una trayectoria magnética blanda casi completamente cerrada, encerrando el rotor, con al menos una interrupción física por corrientes circulantes.

15

Una "trayectoria magnética blanda casi completamente cerrada que encierra el rotor" significa una trayectoria que encierra el rotor, y preferiblemente consiste en al menos 75 % de material magnético blando. O incluso más preferiblemente, consiste en al menos 95 % de material magnético blando.

La presente invención también se refiere a un método para construir un núcleo laminado para un estator o un rotor de un cojinete magnético radial-axial combinado, comprendiendo el método las siguientes etapas:

20

- proporcionar un conjunto de laminaciones magnéticas blandas cuya forma topológica es homotópicamente equivalente a la de una esfera;
- disponer una primera capa magnética blanda de tal manera que se obtenga al menos una interrupción física para las corrientes circulantes;
- 25 - pivotar y/o girar todas las capas de laminación magnética blanda posteriores con respecto a sus capas magnéticas blandas anteriores;
- proporcionar un material eléctricamente aislante dentro de dicha al menos una interrupción física;
- distribuir uniformemente las interrupciones físicas sobre la circunferencia de la pila del estator para salvaguardar la simetría magnética;
- 30 - solidificar el conjunto resultante de capas magnéticas blandas.

La invención también se refiere a un método para construir un núcleo laminado para un estator o un rotor de un cojinete magnético radial combinado, en el que el método comprende las etapas de:

- proporcionar un conjunto de laminaciones planas magnéticas blandas cuya forma topológica es homotópicamente equivalente a la de una esfera;
- 35 - ensamblar una primera subpila disponiendo una primera pluralidad de capas magnéticas blandas de tal manera que se obtenga al menos una interrupción física para las corrientes circulantes inducidas por capa de laminación, y que al menos una interrupción física en todas las capas adyacentes coincida;
- ensamblar subpilas subsiguientes disponiendo pluralidades subsiguientes de capas magnéticas blandas de la misma manera que la primera subpila con la primera pluralidad de capas magnéticas blandas, pero de tal manera que todas las subpilas posteriores con su pluralidad de capas magnéticas blandas pivotan y/o giran con respecto a su subpila anterior con una pluralidad de capas magnéticas blandas;
- 40 - proporcionar un material eléctricamente aislante dentro de dicha al menos una interrupción física;
- distribuir uniformemente todo el conjunto de interrupciones físicas sobre la circunferencia de la pila completa para salvaguardar la simetría magnética;
- 45 - solidificar el conjunto resultante de capas magnéticas blandas.

Al construir este núcleo de estator o núcleo de rotor de un cojinete combinado de esta manera, no se pueden desarrollar corrientes de Foucault circulantes debido al flujo de control variable. Por consiguiente, las pérdidas en el cojinete disminuyen y el rendimiento del accionador axial aumenta.

### Breve descripción de los dibujos

50 Con la intención de mostrar mejor las características de la invención, en lo sucesivo, a modo de ejemplo sin ser limitativo de ninguna manera, se da una descripción de algunas realizaciones preferidas de un núcleo laminado para un estator o un rotor de un cojinete magnético radial-axial combinado según la invención, haciéndose referencia a los dibujos adjuntos, en donde:

- la figura 1      representa una sección transversal medio longitudinal de un primer tipo de cojinete combinado con polarización de imán permanente, según la técnica anterior;
- la figura 2      representa una sección transversal longitudinal de un segundo tipo de cojinete combinado con polarización de imán permanente, según la técnica anterior;
- 5    la figura 3      representa una sección transversal longitudinal de un tercer tipo de cojinete combinado con polarización de corriente, según la técnica anterior;
- la figura 4      representa una sección transversal de la parte del accionador radial de cuatro polos de un primer tipo de cojinete combinado, según la técnica anterior;
- la figura 5      representa una sección transversal de la parte del accionador radial de tres polos de un segundo tipo de cojinete combinado, según la técnica anterior;
- 10   la figura 6      representa una sección transversal de una laminación de  $360^\circ$  de una parte del accionador radial de cuatro polos de un cojinete combinado, dividido en un eje de simetría;
- la figura 7      representa todas las posiciones posibles a las que se puede girar la laminación de la figura 6, con preservación de la posición de los polos;
- 15   la figura 8      representa la distribución de líneas de campo magnético en la vecindad de una división que tiene una dimensión tangencial de 0,5 mm, para una pila compuesta de cuatro láminas de laminación recubiertas de  $10\mu\text{m}$  de doble cara de 0,35 mm de espesor;
- la figura 9      representa la distribución de la densidad de flujo magnético en la vecindad de una división que tiene una dimensión tangencial de 0,5 mm, para una pila compuesta de cuatro láminas de laminación recubiertas de  $10\mu\text{m}$  de doble cara de 0,35 mm de espesor;
- 20   la figura 10     representa una sección transversal de una laminación de  $360^\circ$  de una parte del accionador radial de cuatro polos de un cojinete combinado, no dividido en un eje de simetría;
- la figura 11     representa todas las posiciones posibles a las que la laminación de la figura 10 puede pivotar y/o voltearse, con preservación de la posición de los polos;
- 25   la figura 12     representa una sección transversal de una laminación de  $360^\circ$  de una parte del accionador radial de tres polos de un cojinete combinado, dividido en un eje de simetría;
- la figura 13     representa todas las posiciones posibles a las que se puede girar la laminación de la figura 12, con preservación de la posición de los polos;
- la figura 14     representa una sección transversal de una laminación de  $360^\circ$  de una parte del accionador radial de tres polos de un cojinete combinado, no dividido en un eje de simetría;
- 30   la figura 15     representa todas las posiciones posibles a las que la laminación de la figura 14 puede pivotar y/o voltearse, con preservación de la posición de los polos;
- la figura 16     representa una sección transversal de un segmento de laminación de  $180^\circ$  de una parte del accionador radial de cuatro polos de un cojinete combinado;
- 35   la figura 17     representa todas las posiciones posibles a las que el segmento de laminación de la figura 16 se puede girar y/o voltear, con preservación de la posición de los polos;
- la figura 18     representa una sección transversal de un segmento de laminación de  $120^\circ$  de una parte del accionador radial de tres polos de un cojinete combinado;
- la figura 19     representa todas las posiciones posibles a las que el segmento de laminación de la figura 18 se puede girar y/o voltear, con preservación de la posición de los polos;
- 40   la figura 20     representa una sección transversal de una laminación dividida de  $360^\circ$  para una pila objetivo del accionador;
- la figura 21     representa una sección transversal de una laminación de  $360^\circ$  con un corte no recto y un separador aislante.

45    **Descripción detallada de los dibujos**

Algunas secciones transversales longitudinales de los tipos de cojinetes combinados existentes se muestran en las figuras 1, 2 y 3. En las figuras 4 y 5 se muestran dos posibles secciones transversales radiales de los tipos de cojinetes combinados existentes. Los diseños alternativos, representados, están todos compuestos por una pila de rotor laminado 1 con un eje de rotación geométrico X-X', una pila de estator laminada 2, un yugo de estator 3, dos polos axiales 4a y 4b y al menos tres polos radiales 5. Las fuerzas axiales son controladas por una bobina de control axial 6, cuya construcción es rotacionalmente simétrica. Las fuerzas radiales son controladas por bobinas de control radiales 7. Estas se enrollan alrededor de los polos radiales 5. Si el campo de polarización no es generado por imanes permanentes 8, puede generarse agregando una corriente de polarización de alguna manera particular a la corriente de control axial o suministrando una corriente de polarización a una bobina de polarización separada, que también tiene una forma rotacionalmente simétrica y que se encuentra cerca de la bobina de control axial 6.

Si se suministra una corriente a una bobina de control radial 7, el flujo comienza a fluir en el plano de las laminaciones de la pila de estator 2. El flujo generado por una corriente suministrada a la bobina de control axial 6 fluye a través del yugo de estator 3, posteriormente pasa a un polo axial 4a, cruza el espacio hacia la pila de rotor 1, cruza el espacio hacia el polo axial opuesto 4b y finalmente regresa al yugo de estator 3. Por consiguiente, dado que la corriente de control axial varía en el tiempo, un flujo variable en el tiempo cruza el orificio central de la pila de estator 2. De acuerdo con las leyes de Faraday-Lenz y Ohm, las corrientes circulares se inducen en las laminaciones de la pila de estator 2. Por lo tanto, es el objeto de la presente invención interrumpir físicamente la trayectoria para estas corrientes circulantes

inducidas.

Una posibilidad para darse cuenta de esta interrupción física es proporcionar un solo corte 9 en cada laminación  $360^\circ$  10 de la pila de estator 2, como se muestra en la figura 6 para el caso de una pila de estator de cuatro polos 2. La notación  $360^\circ$  indica que la laminación cubre un ángulo justo por debajo de  $360^\circ$ , por el actual corte 9. Obviamente, tal corte 9 introduce una considerable reticencia tangencial en la práctica, ya que los anchos de corte inferiores a 0,25 mm son difíciles de obtener. Por lo tanto, la laminación 10 pierde parte de su simetría magnética para el campo de control radial. Una pila de estator hipotética que tiene una sola laminación 10 exhibiría una pérdida significativa de rendimiento del canal radial debido al corte. Sin embargo, el apilamiento de laminaciones 10 proporciona una forma de evitar esta pérdida de rendimiento.

La figura 7 muestra todas las posiciones posibles a las que se puede girar la laminación  $360^\circ$  10 con un solo corte 9 de la figura 6, sin afectar a la posición de los cuatro polos 5. Por ende, si el estator está apilado de tal manera que los cortes 9 de las laminaciones adyacentes  $360^\circ$  10 siempre estén separados entre sí, una línea de campo magnético puede atravesar un corte cambiando de laminación  $360^\circ$  10. Por lo tanto, debe atravesar dos veces los recubrimientos de las laminaciones 10 adyacentes. La cuestión clave aquí es que los recubrimientos de laminación pueden hacerse mucho más delgados que el ancho de un corte, por ejemplo, 1  $\mu\text{m}$  en comparación con al menos 250  $\mu\text{m}$ .

La figura 8. muestra una sección transversal de una pila de estator 2, compuesta de cuatro laminaciones 10. La figura es una sección transversal ortogonal al plano de las laminaciones 10, tangencial con respecto al centro de la pila, realizada en la posición de un corte 9 en una de las laminaciones 10. La distribución de las líneas de campo magnético de los campos de control radial en la vecindad del corte 9 se muestra en la figura 8. En este ejemplo particular, las laminaciones 10 tienen un espesor de 0,35 mm; el ancho B del corte 9 es de 0,5 mm; el espesor D del recubrimiento es de 10  $\mu\text{m}$ , implicando 20  $\mu\text{m}$  entre las partes magnéticas blandas (recubrimiento de doble cara). Al acercarse al corte 9, las líneas de campo se dividen en dos mitades. Dentro del corte 9 apenas hay líneas de campo. Una vez más allá del corte 9, las líneas de campo se vuelven a unir en la laminación 10 original.

Obviamente, esto influye en la densidad de flujo magnético local en la vecindad del corte 9, como se muestra en la figura 9 para una pila de estator 2 idéntica a la representada en la figura 8. Dentro del corte 9, casi no hay líneas de campo magnético, haciendo que la densidad de flujo sea casi cero allí. Esto se expresa mediante el sombreado azul oscuro (DB) en la figura 9. Al abandonar el área del corte a lo largo del plano de laminación, la densidad de flujo aumenta gradualmente hasta su valor nominal, según lo expresado por el cambio de color de azul oscuro (DB) a través de azul más claro (LB) y cian (CN) y más allá de verde (GR) a amarillo (GL). En laminaciones adyacentes, la densidad de flujo aumenta al acercarse al corte, según lo expresado por el cambio de color de amarillo (GL) a través de naranja (OR) a rojo (RD).

En este ejemplo particular, en el que el recubrimiento es bastante grueso, la densidad de flujo se ve afectada predominantemente en las laminaciones 10 adyacentes solamente. Las otras laminaciones solo se ven ligeramente afectadas. En teoría, la densidad de flujo en una laminación 10 puede aumentar localmente hasta 1,5 veces su valor normal. Sin embargo, cuanto más delgados son los recubrimientos, más extensión de las líneas de campo puede esperarse, causando una mayor reducción de la densidad de flujo máxima local.

De las figuras 8 y 9, también se puede concluir que el tamaño de la región en la que el corte 9 influye en la densidad de flujo no es mayor que unos pocos milímetros. Por consiguiente, cuando se deben suministrar grandes corrientes de control radial, puede haber alguna saturación local, pero su impacto en el rendimiento global del cojinete seguirá siendo pequeño.

Para restaurar globalmente la simetría magnética original, se recomienda distribuir uniformemente los cortes 9 sobre la circunferencia de la pila de estator 2. Dadas las posiciones alternativas de las laminaciones  $360^\circ$  10 en la figura 7, por ejemplo, es posible crear una pila de estator 2 con un patrón repetitivo de cuatro laminaciones  $360^\circ$ . La distancia axial más corta entre los cortes 9 es igual a aproximadamente 4 veces el espesor de las laminaciones 10.

La laminación  $360^\circ$  10 representada en la figura 6 está provista de un corte 9 que coincide con un eje de simetría. Sin embargo, esto no es imprescindible. Por el contrario, se puede considerar un corte que no coincida con el eje de simetría para aumentar aún más la distancia axial mínima entre los cortes 9. Por ejemplo, la laminación  $360^\circ$  10 representada en la figura 10, con cuatro polos 5, está equipada con un corte 9 que no coincide con un eje de simetría. Al girar y/o voltear esta laminación 10, se pueden encontrar ocho posiciones diferentes en las que se preserva la posición de los polos 5, como lo demuestra la figura 11. Su apilamiento produce una pila de estator 2 magnéticamente simétrica con un patrón repetitivo de ocho laminaciones 10 y la distancia axial más corta entre los cortes es también de ocho laminaciones 10.

La figura 12 muestra una laminación  $360^\circ$  10 con solo tres polos 5, donde se proporciona un solo corte 9 en un eje de simetría. La figura 13 muestra que al girar la laminación 10 de la figura 12 solo se obtienen tres posiciones diferentes en las que se preserva la posición de los polos 5. Después de su apilamiento de tal manera que toda la pila sea

magnéticamente simétrica, la distancia axial mínima entre los cortes 9 es igual a tres laminaciones 10. En esta configuración particular, las líneas de campo magnético solo pueden extenderse en una distancia de una laminación 10, por lo tanto, el aumento de la densidad de flujo cerca del corte 9 es probable que sea cercano al 50 %.

5 Para aumentar la distancia axial mínima entre los cortes 9 en el caso de una pila de estator 2 que tiene tres polos 5, se requiere hacer un corte 9 que no coincida con un eje de simetría, como se muestra en la figura 14. En ese caso, al girar y/o voltear la laminación 10 de la figura 14 se obtienen seis posiciones alternativas para el corte 9, con preservaciones de la posición de los polos 5, como se representa en la figura 15. La distancia axial más corta entre los cortes 9 es igual a aproximadamente seis veces el espesor de las laminaciones 10.

10 Hasta ahora, solo se dieron ejemplos con un solo corte 9. Sin embargo, esto no es una restricción. Por ejemplo, se puede construir una pila de estator 2 con cuatro polos 5 utilizando laminaciones  $180^\circ$  11 como las que se muestran en la figura 16. Cuando se disponen adecuadamente, dos de tales laminaciones  $180^\circ$  11 forman una construcción de laminación compuesta 13 que tiene un equivalente de dos cortes 9. Al girar y/o voltear la laminación  $180^\circ$  11 de la figura 16, se pueden encontrar cuatro disposiciones para las cuales los cortes 9 están en diferentes posiciones, con preservación de la posición de los polos 5, como se muestra en la figura 17. Con su apilamiento se obtiene una pila de estator 2 con un patrón axial repetitivo de cuatro laminaciones  $180^\circ$  11 y una distancia axial mínima entre los cortes 9 de cuatro laminaciones  $180^\circ$  11 también. Una razón para elegir una disposición de este tipo con laminaciones  $180^\circ$  11 en lugar de laminaciones  $360^\circ$  10 con un solo corte 9 es la reducción potencial de residuos con, por ejemplo, perforación.

20 Se observa que la construcción de laminación compuesta 13 en la figura 17 tiene dos cortes que no coinciden con un eje de simetría. Si hubieran coincidido, solo se podrían haber encontrado dos disposiciones alternativas. Esto es menos atractivo ya que implica una duplicación de la densidad de flujo cerca de los cortes 9. Una situación similar ocurre con laminaciones  $120^\circ$  12 para un diseño con tres polos 5 y tres cortes 9, como se muestra en la figura 18. En este caso, solo se pueden encontrar dos posibles disposiciones, siempre que los tres cortes 9 no coincidan con un eje de simetría, como lo demuestra la figura 19. Aquí no se puede utilizar una laminación simétrica  $120^\circ$  12, ya que todos los cortes coincidirían.

25 La discusión previa se centró en algunas alternativas para diseños de tres y cuatro polos. Sin embargo, sin ninguna pérdida de generalidad, las mismas ideas pueden extenderse a diseños con mayor número de polos 5 o incluso a diseños sin polos 5. Un ejemplo de laminación 10 sin polos 5 se da en la figura 20. Tal diseño podría usarse, por ejemplo, para ensamblar la pila objetivo de accionador 1 en la parte giratoria.

30 La inclusión de un solo corte 9 en una laminación  $360^\circ$  10 reduce drásticamente su rigidez mecánica. Sin embargo, con su apilamiento de acuerdo con los principios de esta invención, la rigidez y la integridad mecánica de la pila resultante apenas se reduce en comparación con el caso sin cortes 9. Si se utilizan laminaciones  $180^\circ$  11 o laminaciones  $120^\circ$  12 u otras construcciones de laminación compuestas 13, es más difícil pero no imposible obtener propiedades mecánicas similares.

35 En todos los ejemplos anteriores, el corte 9 se dibujó radialmente y, en caso de que hubiera polos 5, a través de la parte más delgada de la pila. Las ideas de la presente invención no se limitan a estos casos particulares. Por ejemplo, puede pensarse que tiene un corte a través de los polos 5. De la misma manera, se puede considerar que se da cuenta de la interrupción física por cortes rectos no radiales 9 o incluso cortes no rectos 9. Una razón para aplicar cortes no radiales puede ser reducir aún más el aumento de la densidad de flujo en la vecindad del corte. Una razón para aplicar cortes no rectos puede ser mejorar las propiedades estructurales de la pila cuando la pila está girando en funcionamiento o cuando la pila se ensambla con laminaciones  $180^\circ$  11 o laminaciones  $120^\circ$  12. En tales casos, se podría, por ejemplo, considerar un corte 9 que tiene la forma de una conexión de cola de milano, y preferiblemente con un material separador aislante 14 entre medias, para evitar cualquier posible contacto eléctrico. Esta idea se ilustra en la figura 21.

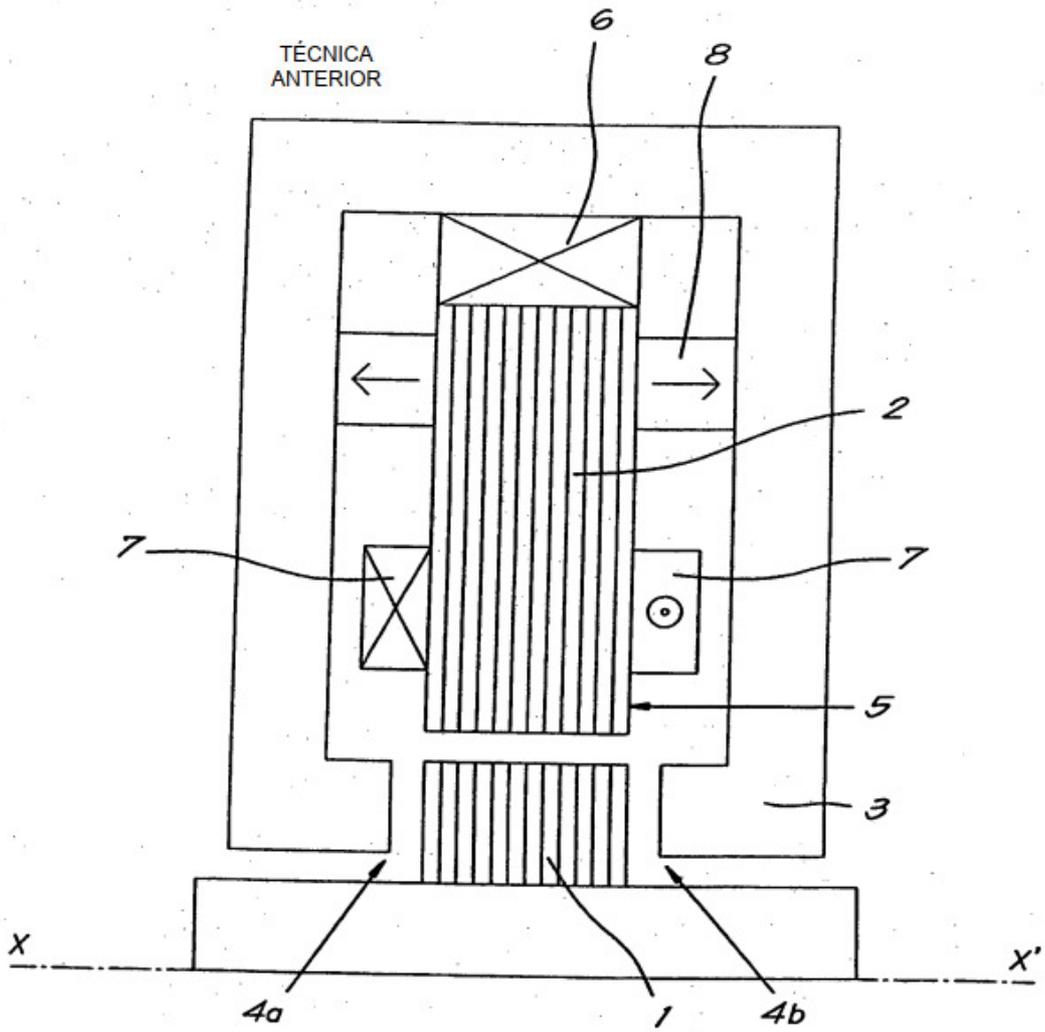
45 En todas las formas de realización posibles cubiertas por las descripciones anteriores, los cortes 9 en capas de laminación adyacentes nunca coincidieron. Esta condición puede estar un poco relajada. También se puede ensamblar una pila objetivo de accionador 1 o una pila de estator 2 como una serie de subpilas pivotadas y/o volteadas, en el que cada subpila es una pila de al menos dos capas de laminación adyacentes, con la propiedad de que coinciden algunos o todos los cortes 9 en capas de laminación adyacentes. En este caso, la simetría magnética se puede proteger distribuyendo uniformemente todo el conjunto de cortes 9 sobre la circunferencia de la pila completa. Al hacerlo, se obtiene una configuración en la que el campo magnético siempre puede encontrar una trayectoria de baja reticencia en la vecindad de un corte, a través de una subpila adyacente. Sin embargo, dado que las líneas de campo magnético deben cruzar más capas de recubrimiento en esta configuración, puede considerarse una disposición menos favorable. Por otro lado, los problemas de construcción pueden hacer de este concepto una alternativa factible.

55 La invención no se limita de ninguna manera a las formas de realización de un núcleo laminado como se describe anteriormente o se muestra en los dibujos, sin embargo, dicho núcleo laminado puede hacerse en todas las formas y dimensiones del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

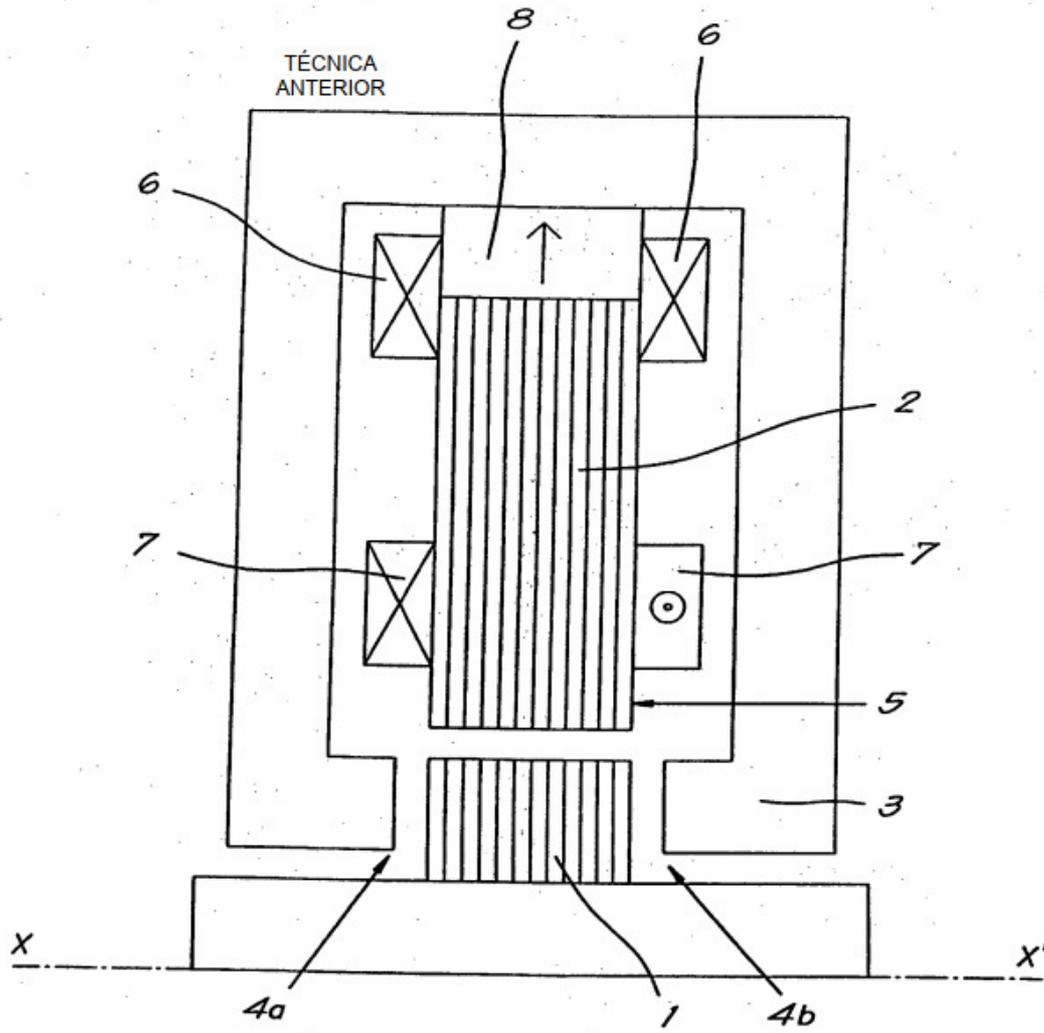
**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Núcleo laminado (1-2) de un estator o un rotor de un cojinete magnético radial-axial combinado con polarización de imán permanente o polarizado con corriente, comprendiendo dicho núcleo laminado (1-2) una pila sólida de laminaciones individuales planas, magnéticas, blandas (10-11-12), mediante lo cual dicha pila sólida muestra la propiedad topológica de ser homotópicamente equivalente a un anillo para crear simetría magnética **caracterizado por que** dichas laminaciones individuales (10-11-12) tienen la propiedad topológica de ser homotópicamente equivalentes a una bola para crear al menos una interrupción física (9) para las corrientes circulantes en el plano de las laminaciones; **por que** dicha al menos una interrupción física (9) está llena de un material eléctricamente aislante (14), por lo que:
- 10 - dicha al menos una interrupción física (9) en laminaciones (10-11-12) adyacentes pivotan entre sí; o  
 - dicha pila sólida comprende una pluralidad de subpilas en las que dicha al menos una interrupción física (9) en todas las laminaciones (10-11-12) adyacentes coinciden y en donde dicha al menos una interrupción física (9) de dichas subpilas pivotan con respecto a otra, y por lo cual  
 15 - el conjunto completo de interrupciones físicas (9) se distribuye uniformemente sobre la circunferencia de la pila completa.
2. Núcleo laminado (1-2) de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** ninguna de dichas laminaciones individuales (10-11-12) está en contacto eléctrico entre sí.
3. Núcleo laminado (1-2) de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha al menos una interrupción física (9) es recta y radialmente orientada.
- 20 4. Núcleo laminado (1-2) de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha al menos una interrupción física (9) es recta y no está radialmente orientada.
5. Núcleo laminado (1-2) de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha al menos una interrupción física (9) tiene la forma de una conexión de cola de milano.
- 25 6. Núcleo laminado (1-2) de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** una sección transversal de dicha pila sólida no muestra polos magnéticos (5).
7. Núcleo laminado (1-2) de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** una sección transversal de dicha pila sólida muestra más de una laminación (11-12).
8. Método para construir un núcleo laminado para un estator o un rotor de un cojinete magnético radial-axial combinado, **caracterizado por que** el método comprende las etapas de
- 30 - proporcionar un conjunto de laminaciones planas, magnéticas, blandas (10-11-12) cuya forma topológica es homotópicamente equivalente a la de una bola;  
 - disponer una primera capa magnética blanda de tal manera que se obtenga al menos una interrupción física (9) para las corrientes circulantes inducidas;  
 35 - pivotar y/o girar todas las capas magnéticas blandas posteriores con respecto a sus capas magnéticas blandas anteriores;  
 - proporcionar un material eléctricamente aislante (14) dentro de dicha al menos una interrupción física (9);  
 - distribuir uniformemente las interrupciones físicas (9) sobre la circunferencia de la pila de estator; y  
 - solidificar el conjunto resultante de capas magnéticas blandas.
- 40 9. Método para construir un núcleo laminado para un estator o un rotor de un cojinete magnético radial-axial combinado, **caracterizado por que** el método comprende las etapas de:
- 45 - proporcionar un conjunto de laminaciones planas, magnéticas, blandas (10-11-12) cuya forma topológica es homotópicamente equivalente a la de una bola;  
 - ensamblar una primera subpila disponiendo una primera pluralidad de capas magnéticas blandas de tal manera que se obtenga al menos una interrupción física (9) para las corrientes circulantes inducidas por capa de laminación, y que al menos una interrupción física en todas las capas de laminación adyacentes coincida;  
 - ensamblar subpilas subsiguientes disponiendo pluralidades subsiguientes de capas magnéticas blandas de la misma manera que la primera subpila con la primera pluralidad de capas magnéticas blandas, pero de tal manera que todas las subpilas posteriores con su pluralidad de capas magnéticas blandas pivotan y/o giran con respecto a su subpila anterior con una pluralidad de capas magnéticas blandas;  
 50 - proporcionar un material eléctricamente aislante (14) dentro de dicha al menos una interrupción física (9);  
 - distribuir uniformemente todo el conjunto de interrupciones físicas (9) sobre la circunferencia de la pila completa;  
 y

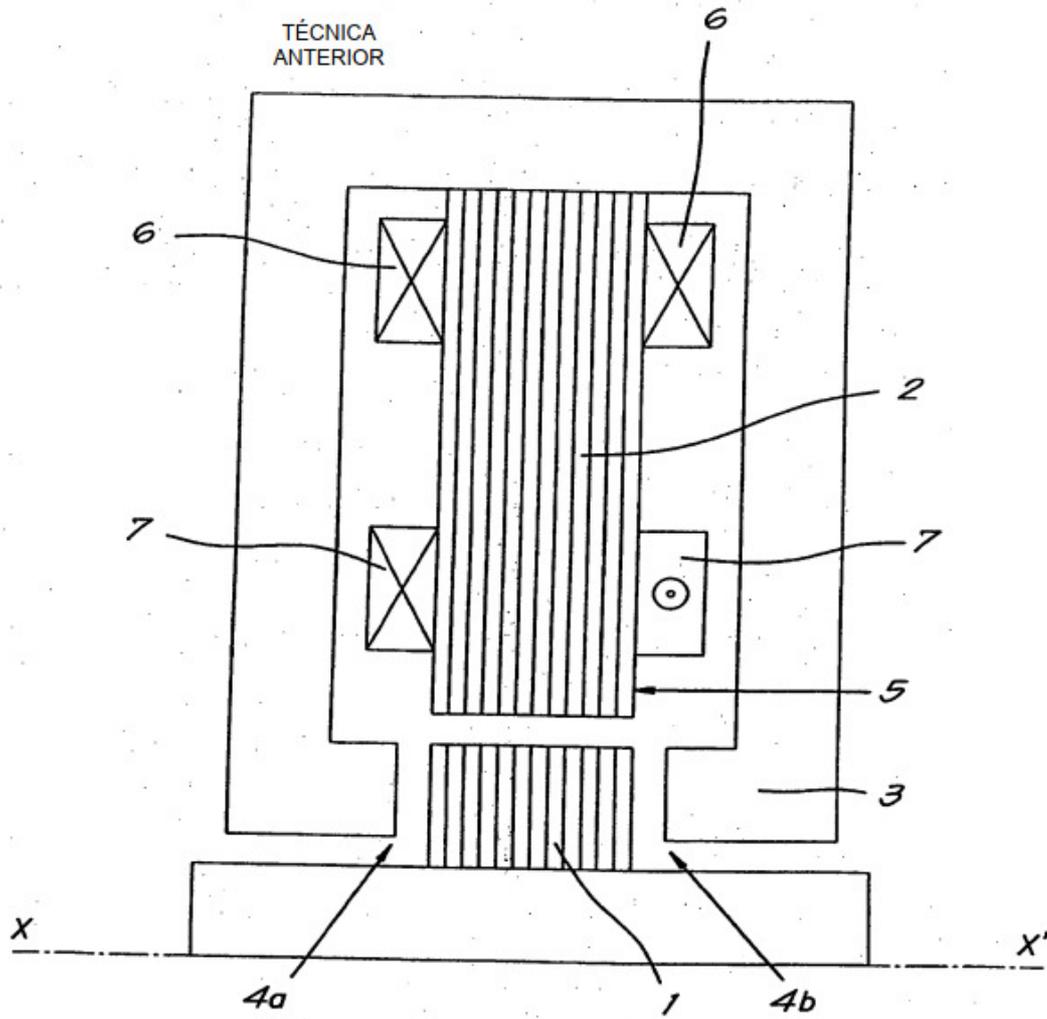
- solidificar el conjunto resultante de capas magnéticas blandas.



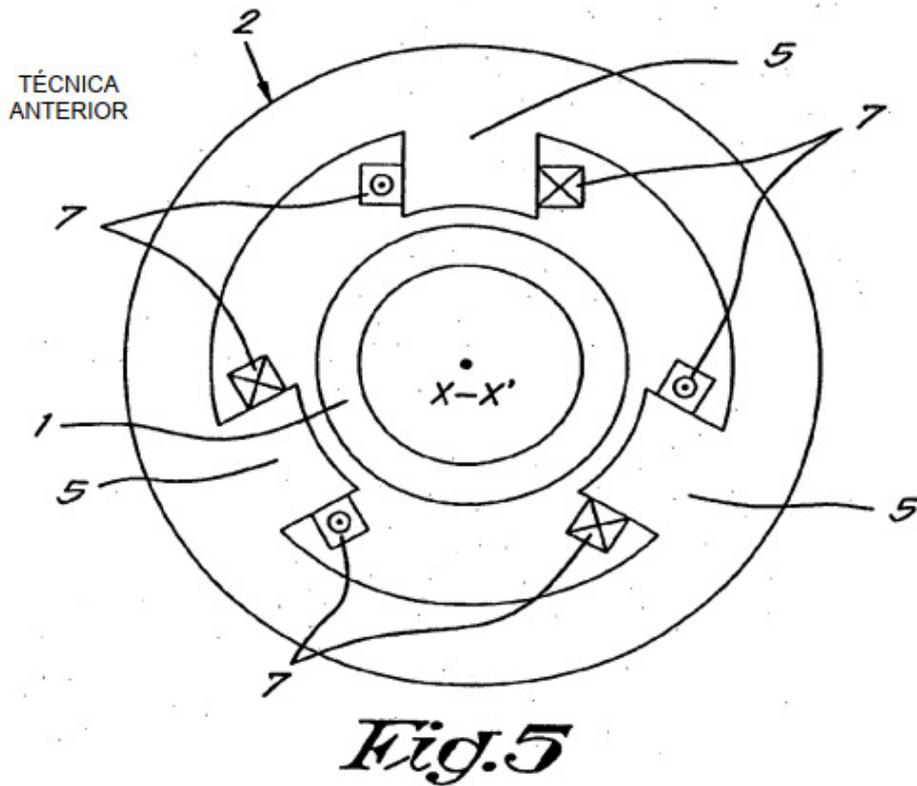
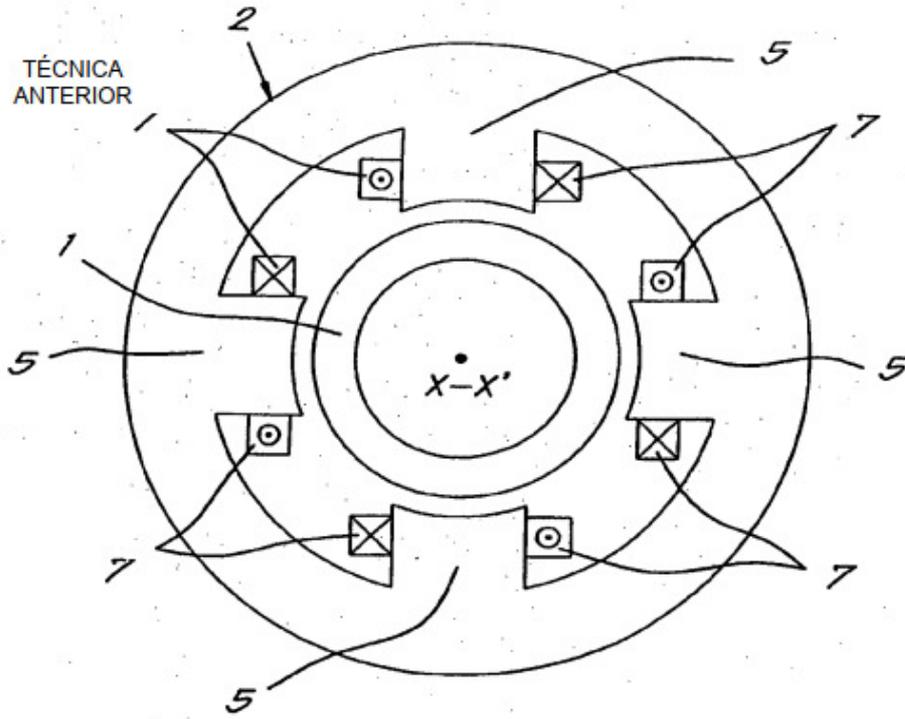
*Fig. 1*

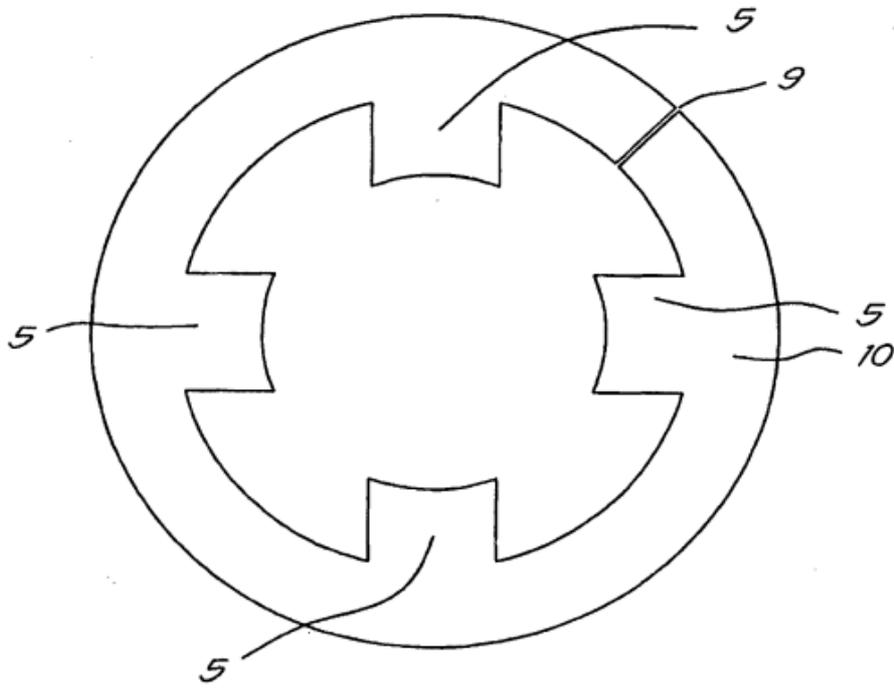


*Fig. 2*

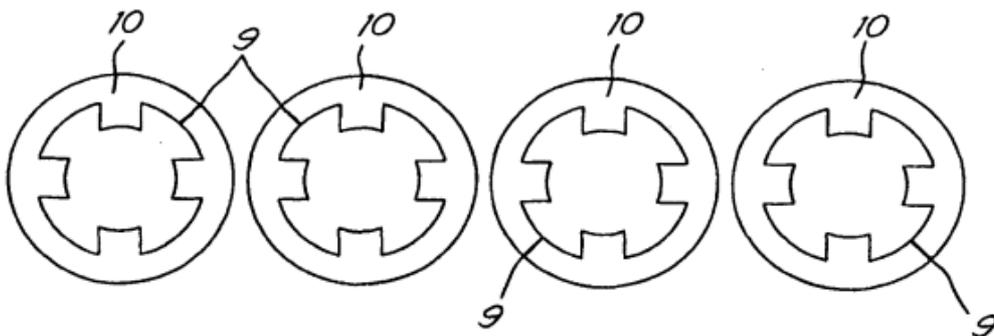


*Fig. 3*

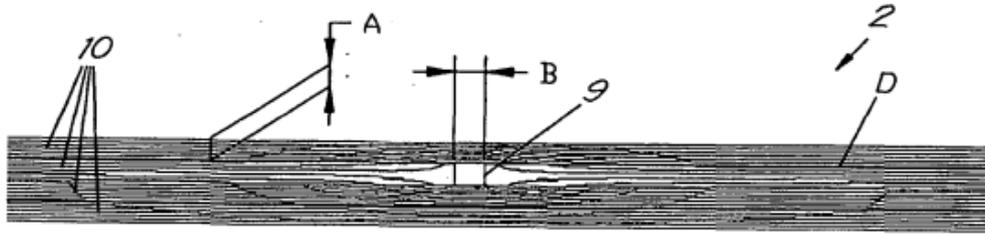




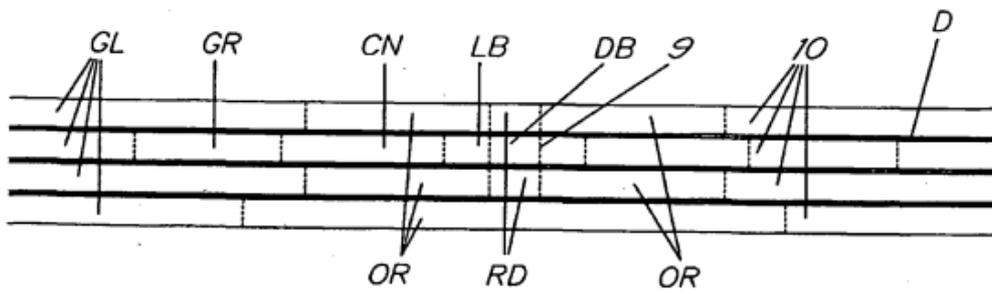
*Fig. 6*



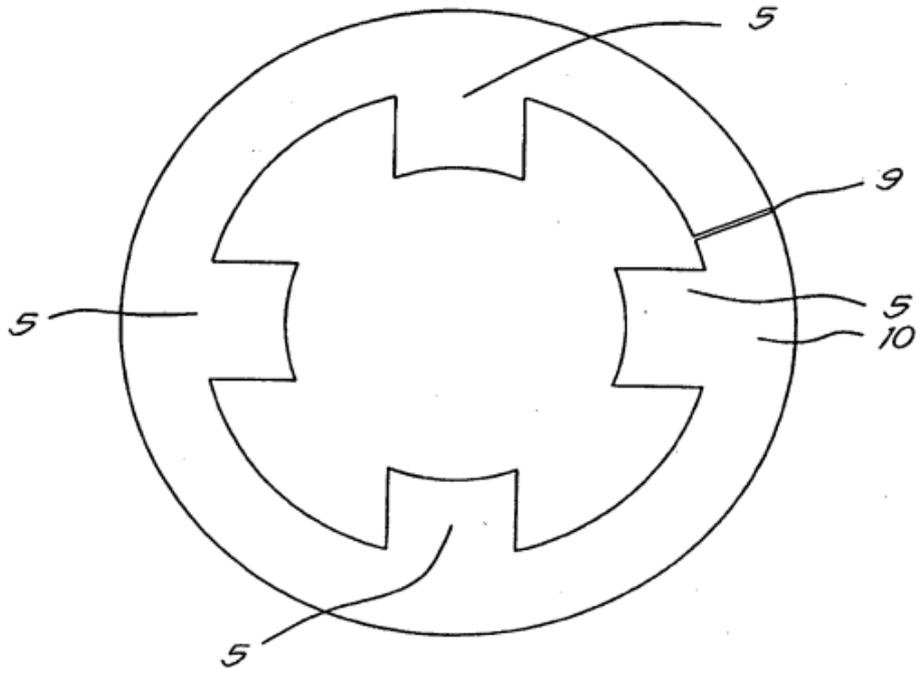
*Fig. 7*



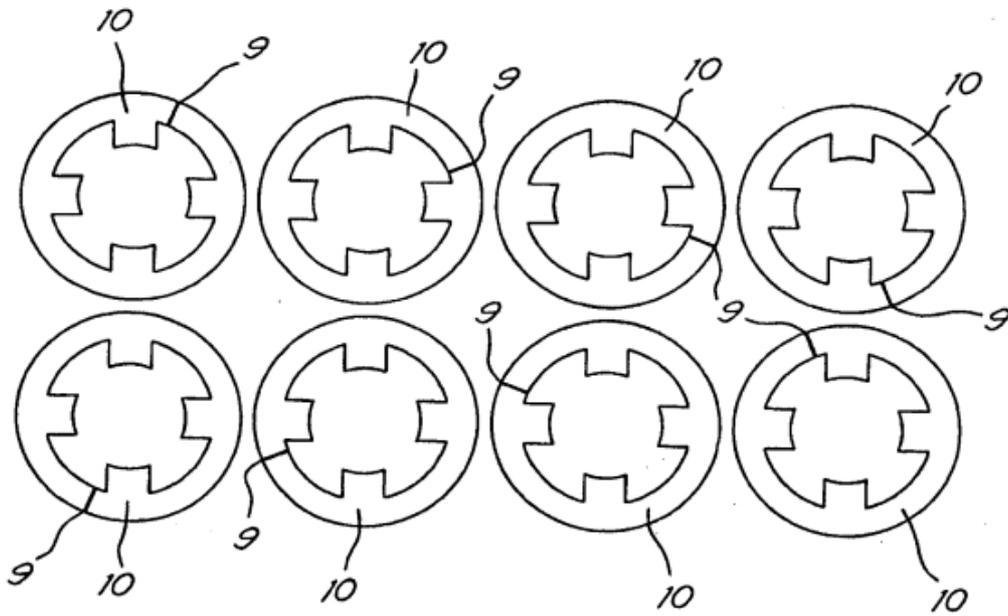
*Fig. 8*



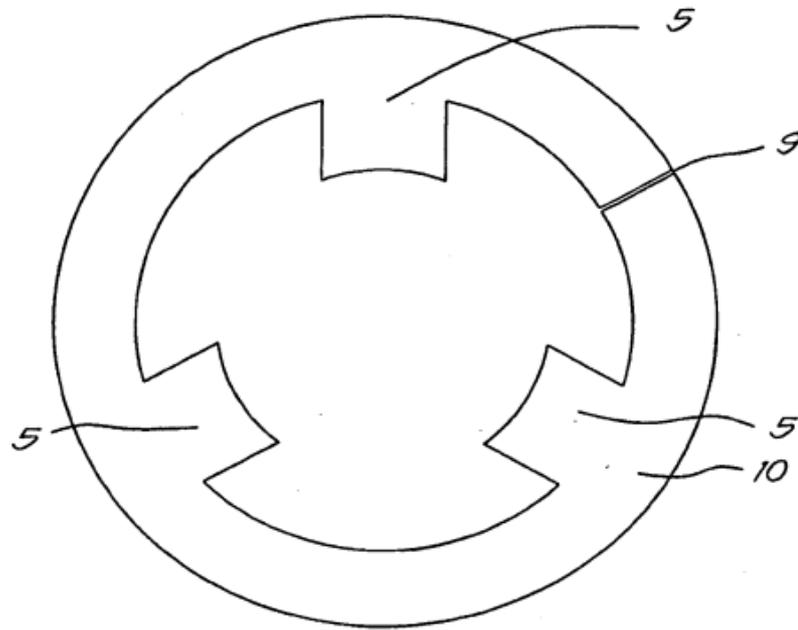
*Fig. 9*



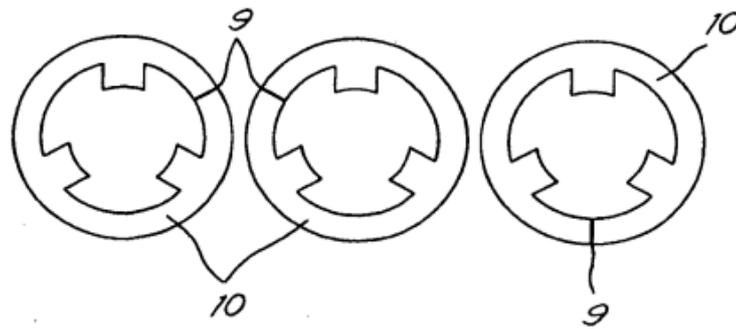
*Fig. 10*



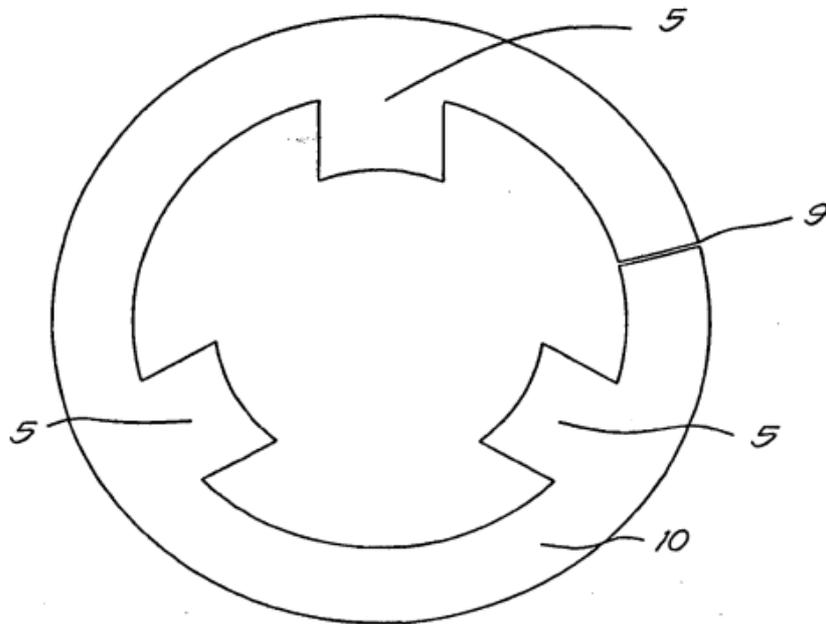
*Fig. 11*



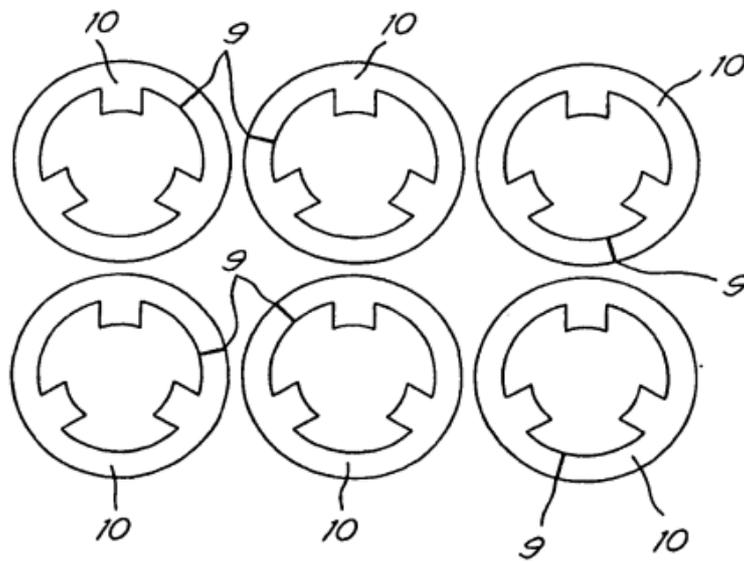
*Fig. 12*



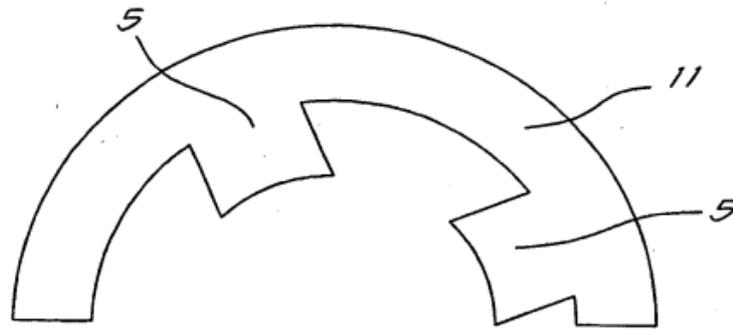
*Fig. 13*



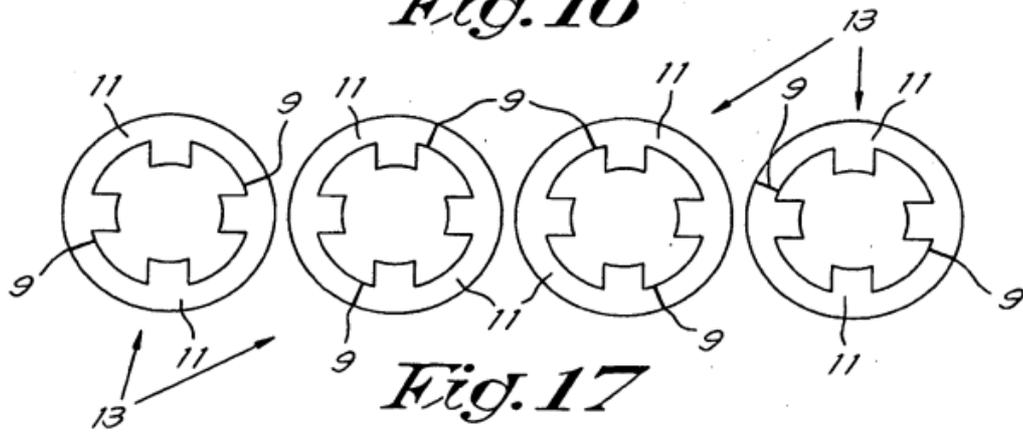
*Fig. 14*



*Fig. 15*



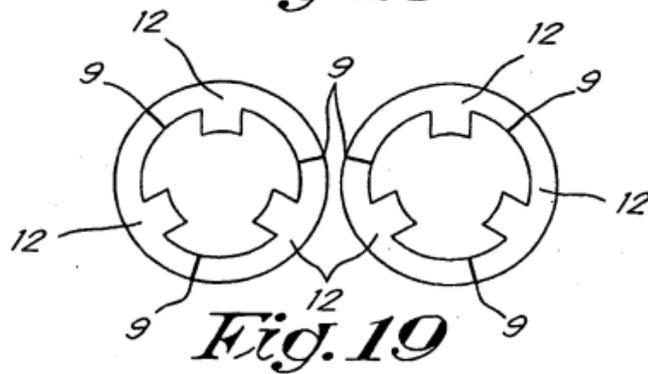
*Fig. 16*



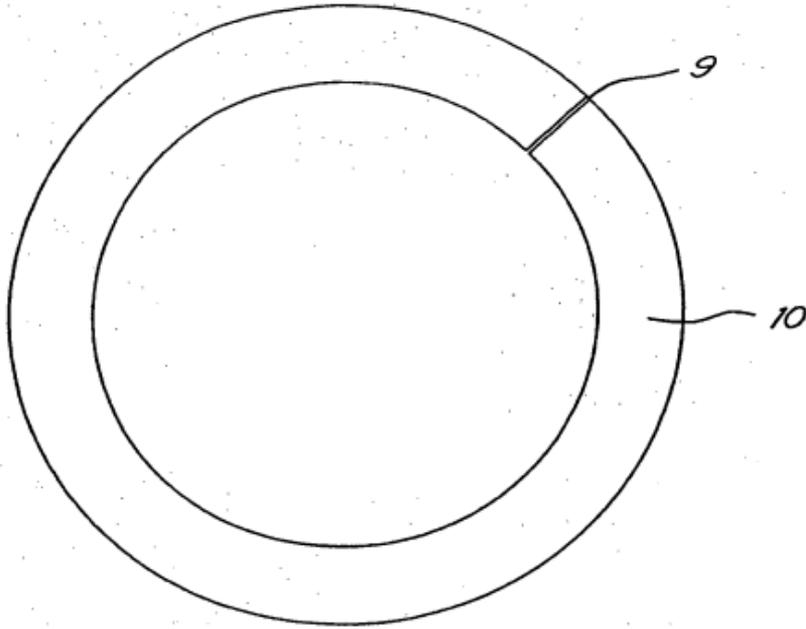
*Fig. 17*



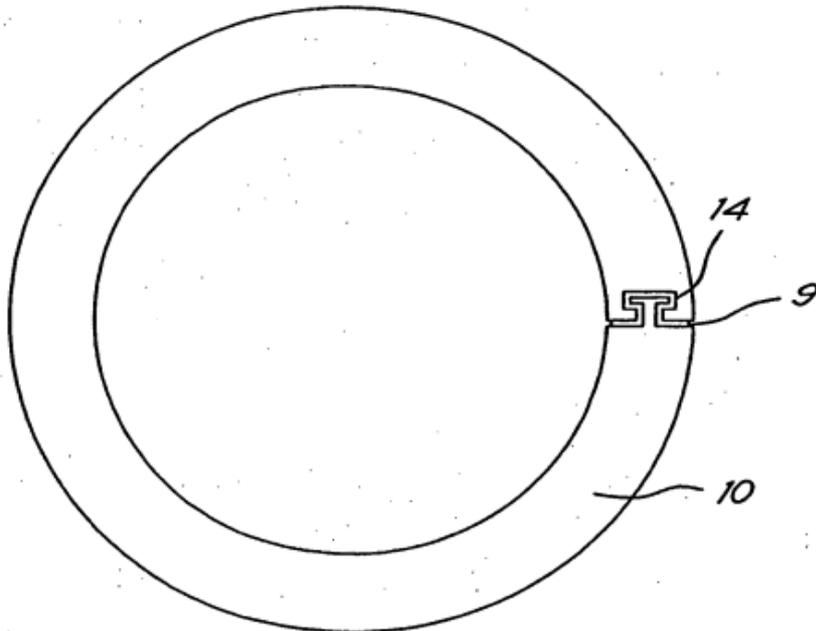
*Fig. 18*



*Fig. 19*



*Fig. 20*



*Fig. 21*

FIG. 21