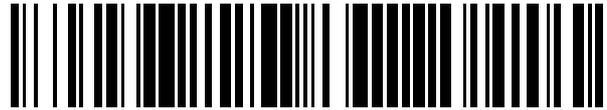


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 777 637**

51 Int. Cl.:

H02K 1/18 (2006.01)
H02K 9/22 (2006.01)
H02K 21/24 (2006.01)
H02K 1/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.07.2017 PCT/EP2017/067854**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.01.2018 WO18015293**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.07.2017 E 17737834 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2019 EP 3485558**

54 Título: **Estator para una máquina de flujo axial y método para producir el mismo**

30 Prioridad:

18.07.2016 EP 16179996

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.08.2020

73 Titular/es:

**UNIVERSITEIT GENT (50.0%)
Sint-Pietersnieuwstraat 25
9000 Gent, BE y
MAGNAX BVBA (50.0%)**

72 Inventor/es:

**VANSOMPEL, HENDRIK;
SERGEANT, PETER y
LEIJNEN, PETER**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 777 637 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

Estator para una máquina de flujo axial y método para producir el mismo

Campo de la invención

5 La invención se refiere al campo de las máquinas eléctricas de flujo axial. Más específicamente, la presente invención se refiere a un estator para una máquina eléctrica de flujo axial y a un método para producir la misma.

Antecedentes de la invención

10 Existen muchos tipos diferentes de máquinas eléctricas (motores y generadores) en la técnica anterior, por ejemplo, motores/generadores de CC sin escobillas (BLDC), motores/generadores de CA síncronos o asíncronos, motores/generadores de reluctancia conmutada (SRM), motores/generadores de flujo axial (AF), etc., y cada tipo tiene sus ventajas y desventajas específicas, por ejemplo, en términos de la máquina física misma, en términos de su circuito de activación (por ejemplo, que requiere un DSP o un microcontrolador simple), en términos de sensores requeridos (por ejemplo, sensor de corriente, sensor de posición), en términos de características (por ejemplo, ondulación de par), etc.

15 La presente invención se refiere al tipo de "máquinas de flujo axial", y más en particular, a las llamadas máquinas de flujo axial sin yugo.

Las máquinas de flujo axial per se son conocidas en la técnica, por ejemplo del documento WO2010/092400 y US2015/0364956, y por lo tanto, no es necesario explicar aquí los principios básicos de funcionamiento.

20 Un lector que no esté familiarizado con las máquinas de flujo axial puede consultar la tesis: "Diseño de máquinas de baja velocidad con imanes permanentes de flujo axial y comparación de rendimiento entre máquinas de flujo radial y máquinas de flujo axial", por A. Parvainen, 2005, PhD Lappeenranta Universidad de Tecnología. En la Figura 1.3 de dicha tesis, replicado aquí como la Figura 12, se muestran varias topologías de flujo axial: (a) máquinas de un solo lado, (b) máquinas con doble estator y rotor simple; (c) máquinas con doble rotor y estator simple; (d) máquinas de múltiples fases. La presente invención solo se refiere a las topologías (c) y (d).

25 Dentro de estas dos topologías, son posibles dos variantes, dependiendo de la orientación de los imanes en los dos discos del rotor: el tipo de toro y el tipo de armadura sin yugo y segmentada (YASA). Esto se ilustra en la Figura 13. La presente invención solo se refiere a la segunda variante: el tipo YASA. Esta variante no tiene yugo del estator, mientras que la primera variante tiene un yugo del estator. La Figura 13 demuestra claramente la necesidad de este yugo para cerrar el circuito magnético en la primera variante, mientras que el circuito magnético está cerrado sin el uso de un yugo en la segunda variante (YASA). Las líneas punteadas ilustran las líneas del campo magnético. Las máquinas anteriores tienen ranuras para los devanados en el estator.

30 La Figura 14 muestra una configuración esquemática de la máquina de tipo YASA con ranuras. Se puede encontrar más información en [J. Gieras, R. Wang, M. Kamper, Máquinas sin escobillas de imán permanente de flujo axial, Kluwer, 2004, ISBN: 1-4020-2661-7].

35 Como la presente invención está relacionada principalmente con la construcción del estator, también se hace referencia a la publicación. "Construcción mecánica y análisis de una máquina de toro de armadura segmentada de flujo axial" (B. Zhang, Y. Wang, M. Doppelbauer y M. Gregor, Conferencia internacional sobre máquinas eléctricas (ICEM), 2-5 de septiembre de 2014, Berlín, pag. 1293-1299).

40 Las ventajas de las máquinas de flujo axial sobre las máquinas de flujo radial son, por ejemplo, la mayor potencia y la densidad de par que son inherentes a este tipo de máquina y que, en el caso de máquinas YASA, se combinan con una mayor eficiencia que se debe principalmente a la ausencia del yugo del estator y sus pérdidas asociadas.

La topología de YASA, sin embargo, plantea algunos desafíos técnicos. La compacidad aumenta la importancia y las dificultades técnicas para enfriar la máquina. Asimismo, existe un desafío relacionado con la fijación mecánica de los dientes de estator discretos en la máquina con la precisión adecuada y suficiente rigidez.

45 El documento DE 100 48 492 describe un estator para una máquina eléctrica de campo axial. El estator tiene una serie de bobinas de estator contenidas dentro de un alojamiento de estator que tiene un anillo de estator con una serie de radios radiales que se proyectan hacia dentro entre los cuales se encuentran las bobinas. Cada bobina tiene un núcleo de bobina de material ferromagnético y un devanado exterior del estator. Las bobinas están dispuestas entre los radios radiales y están pegadas a estos. Las bobinas se encuentran en contacto térmico con los radios radiales adyacentes y la superficie periférica interna del anillo del estator.

50 La solicitud US2014/009009 se refiere a una máquina eléctrica rotativa de separación axial. El estator incluye varios núcleos de estator dispuestos en dirección circunferencial. Las bobinas están configuradas para enrollar las periferias de los respectivos núcleos del estator. Una resina moldea los núcleos del estator enrollados con las bobinas. Cada uno de los núcleos del estator incluye una porción sobresaliente que sobresale parcialmente de la bobina en la dirección del eje de rotación. Se proporciona un miembro conductor para entrar en contacto con las superficies

periféricas de las porciones sobresalientes de los núcleos del estator.

El documento JP 2000 295801 presenta un núcleo de estator dividido para una máquina de flujo radial. Una pluralidad de bloques de núcleo comprende láminas de acero ferromagnéticas laminadas. Cada bloque central tiene una parte en forma de peine que está hecha para sobresalir en el lado de la circunferencia exterior del bloque central adyacente y deformada plásticamente. Se forma una lengüeta doblada que sobresale o una muesca en la superficie de cada lámina de acero ferromagnética que se pone en contacto con la lámina de acero electromagnética que pertenece al bloque central adyacente.

El documento US2008/098587 describe un método para fabricar un núcleo de estator laminado de una máquina de flujo radial. Un cuerpo de yugo del núcleo del estator ferromagnético está laminado.

Compendio de la invención

Es un objeto de las realizaciones de la presente invención proporcionar un estator sin yugo para una máquina eléctrica de flujo axial, y una máquina de flujo axial que comprende dicho estator sin yugo, en donde el estator sin yugo y la máquina eléctrica de flujo axial tienen una estructura con buena o mejor estabilidad mecánica y/o una buena o mejor capacidad de enfriamiento, evitando que un líquido refrigerante se acerque o se aproxime a los dientes del estator o las bobinas del estator.

También es un objeto de las realizaciones de la presente invención proporcionar un método para producir tal estator sin yugo y un método para producir tal máquina eléctrica de flujo axial, en donde el método es relativamente fácil de realizar, en particular en términos de posicionamiento preciso de los dientes del estator de una manera que no influya negativamente en la estabilidad mecánica y/o la capacidad de enfriamiento o ambos.

Estos objetivos se logran mediante un método y un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

Según un primer aspecto, la presente invención proporciona un estator sin yugo para una máquina eléctrica de flujo axial, que comprende: un alojamiento que comprende una porción circunferencial; una pluralidad de dientes de estator discretos dispuestos dentro de la porción circunferencial, comprendiendo cada diente de estator discreto un material ferromagnético y un devanado eléctrico enrollado alrededor de dicho material ferromagnético; comprendiendo el alojamiento además una pluralidad de porciones alargadas que se extienden en una dirección radialmente hacia adentro desde dicha porción circunferencial, las porciones alargadas con un extremo proximal están conectadas mecánicamente a la porción circunferencial y están en contacto térmico con dicha porción circunferencial, y tienen una porción distal o un extremo distal que están localizados físicamente entre devanados eléctricos de dientes de estator adyacentes; un material de relleno eléctricamente aislante que llena el espacio vacío dentro de dicha porción circunferencial entre dicha pluralidad de dientes de estator y dicha pluralidad de porciones alargadas. La porción circunferencial del alojamiento está hecha de un primer material no ferromagnético y las porciones alargadas están hechas de un segundo material no ferromagnético. El alojamiento comprende una estructura laminada. Esta estructura laminada comprende al menos parte de dicha pluralidad de porciones alargadas dirigidas hacia dentro. Debido a la alta reluctancia magnética del material no ferromagnético, la estructura no ferromagnética no forma parte del circuito magnético.

La pluralidad de dientes de estator discretos está preferiblemente dispuesta en posiciones angulares equidistantes dentro de la porción circunferencial.

Es una ventaja que las porciones alargadas puedan cumplir cuatro funciones: (1) definir cavidades para recibir los dientes de estator discretos durante el montaje, (2) mantener los dientes de estator discretos en posición durante la producción del estator, (3) mantener los dientes de estator discretos en posición durante el uso real de la máquina de flujo axial, y (4) enfriar los dientes del estator durante el uso real de la máquina evacuando el calor del interior del estator a la circunferencia.

Las porciones alargadas pueden formarse integralmente con la porción circunferencial del alojamiento, pero eso no es absolutamente necesario. En algunas realizaciones, pueden formarse por separado de la porción circunferencial antes de montarse fijamente en la misma.

Una de las principales ventajas de las porciones alargadas es que sirven como medios de sujeción mecánica durante el funcionamiento de la máquina (al proporcionar resistencia estructural para resistir las fuerzas ejercidas sobre los dientes del estator, en particular fuerzas tangenciales), y al mismo tiempo disminuyen significativamente la resistencia térmica del medio a través del cual el calor puede fluir desde el lugar donde se crea el calor (los dientes del estator y los devanados) y el lugar donde se disipa el calor (la circunferencia), durante el funcionamiento normal de la máquina. En otras palabras, las porciones alargadas proporcionan una mayor capacidad de enfriamiento dentro de la estructura del estator. Esta ventaja no debe ser subestimada.

Una máquina que tiene tales porciones alargadas ofrece una densidad de potencia mejorada, lo que significa que una máquina que tiene tales porciones alargadas puede tener una potencia más alta que la misma máquina sin tales porciones alargadas.

ES 2 777 637 T3

- Es una gran ventaja de esta máquina que no requiere refrigeración interna por agua, especialmente porque el enfriamiento por agua aumenta la complejidad debido a la necesidad de equipos adicionales como bombas. Sin embargo, la máquina es compatible con las estrategias de refrigeración por agua. El alojamiento se puede enfriar desde el exterior de cualquier manera convencional, por ejemplo mediante aire forzado o enfriamiento por agua, etc.
- 5 En algunas realizaciones es posible proporcionar canales de agua en la porción circunferencial del alojamiento.
- Es ventajoso que los espacios vacíos se llenen con material de relleno, sin dejar burbujas de aire, porque la resina tiene una mejor conductancia térmica que el aire (por ejemplo: aproximadamente 0,3 W/m.K para resina y aproximadamente 0,026 W/m.K para aire).
- 10 Preferiblemente, las porciones alargadas se extienden radialmente hacia adentro hasta las posiciones radiales más internas de los dientes del estator, o incluso más allá, porque esto permite una mayor transferencia de calor y, por lo tanto, una capacidad de enfriamiento mejorada.
- En una realización, el estator comprende además un elemento central dispuesto dentro de dicho alojamiento; la pluralidad de dientes de estator discretos dispuestos en un espacio entre la porción circunferencial y el elemento central; las porciones alargadas se extienden en una dirección radialmente hacia adentro desde dicha porción circunferencial hacia el elemento central; un material de relleno eléctricamente aislante que llena el espacio vacío entre dicha porción circunferencial y el elemento central y dicha pluralidad de dientes de estator y dicha pluralidad de porciones alargadas.
- 15 En una realización, el elemento central es un elemento adaptado para sostener un cojinete.
- En una realización, el elemento central es o comprende un cojinete.
- 20 En una realización, el primer material no ferromagnético y dicho segundo material no ferromagnético son idénticos.
- En una realización, el alojamiento del estator comprende una pluralidad de laminaciones apiladas una encima de la otra, las laminaciones con una forma que comprende al menos una parte de la porción circunferencial.
- Las porciones alargadas que forman parte de la estructura laminada están aisladas eléctricamente entre sí en una realización. Se evitan las corrientes circulantes conocidas como "corrientes parásitas". En otra realización, en donde un elemento en forma de peine conecta las diversas laminaciones de las porciones alargadas a través de la parte posterior de ese elemento en forma de peine, el aislamiento eléctrico es obviamente solo parcial. Incluso en este caso, las corrientes parásitas se evitan en gran medida. En otras palabras, las diversas laminaciones de las porciones alargadas pueden estar completamente aisladas eléctricamente entre sí, o pueden estar conectadas entre sí en su punto radialmente más interno o más externo, pero no en ambos puntos juntos.
- 25 Es una ventaja proporcionar un alojamiento hecho de laminaciones aisladas eléctricamente en lugar de una pieza monolítica de material eléctricamente conductor, porque las laminaciones permiten reducir aún más las pérdidas debido a las corrientes parásitas. Una fina capa de óxido o capa de recubrimiento puede ser suficiente como aislamiento. Las laminaciones pueden tener un espesor en el intervalo de 1,0 mm a 6,0 mm, por ejemplo en el intervalo de 1,0 mm a 4,0 mm, por ejemplo en el intervalo de 1,5 mm a 2,5 mm.
- 30 En una realización, al menos algunas de las laminaciones comprenden dos o más segmentos de laminación, cada uno con la parte de la porción circunferencial abarcando un arco menor de 360°.
- En una realización, al menos algunas de las laminaciones comprenden además una pluralidad de porciones alargadas dirigidas radialmente hacia dentro formadas integralmente con la porción circunferencial.
- 40 Es una ventaja que tales laminaciones se puedan producir fácilmente utilizando técnicas de producción clásicas, como cortar, punzonar, estampar, corte por láser, corte por plasma, etc. Es una ventaja adicional que las porciones alargadas están formadas integralmente con la porción circunferencial, así, por definición, se proporciona un excelente contacto mecánico y un excelente contacto térmico y se conduce automáticamente a la correcta colocación de los dientes del estator. Es una ventaja que en este caso no se requiera soldadura o soldadura fuerte u otras técnicas de fijación para conectar, por ejemplo, elementos en forma de peine a la porción circunferencial.
- 45 En una realización, todas las laminaciones son idénticas; o las laminaciones comprenden un primer tipo de laminaciones que comprenden una pluralidad de porciones alargadas dirigidas radialmente hacia dentro formadas integralmente con la porción circunferencial, y un segundo tipo de laminaciones que comprenden solo una porción circunferencial pero no porciones alargadas dirigidas radialmente hacia adentro.
- 50 En caso de que todas las laminaciones tengan porciones alargadas, preferiblemente están recubiertas o anodizadas o provistas de una capa de aislamiento para evitar el contacto eléctrico entre porciones alargadas de laminaciones vecinas.
- En caso de que se usen dos tipos de laminaciones, puede omitirse el recubrimiento u oxidación u otras formas de aislamiento de las laminaciones, sin pérdidas crecientes debido a las corrientes parásitas, porque las corrientes parásitas son pequeñas en la circunferencia del alojamiento y se evitan en las porciones alargadas debido a una

distancia axial.

En una realización, al menos algunas de las laminaciones comprenden una pluralidad de muescas o ranuras para montar una o más de dicha pluralidad de porciones alargadas. Las porciones alargadas están opcionalmente comprendidas en una pluralidad de elementos en forma de peine.

- 5 En una realización, una pared interior de la porción circunferencial del alojamiento comprende una pluralidad de muescas o ranuras.

En una realización, el alojamiento del estator comprende un cuerpo anular monolítico como la porción circunferencial.

- 10 Es una ventaja de esta realización que el cuerpo anular se pueda producir como una sola pieza, lo que puede proporcionar ventajas de producción. Otra ventaja de esta realización es que un cuerpo monolítico, hecho de una sola pieza, puede mejorar aún más la estabilidad mecánica. Se cree que las pérdidas debidas a las corrientes parásitas que fluyen en esta estructura anular son relativamente pequeñas, es más, cualquier calor generado en la misma puede transferirse directamente al ambiente exterior.

- 15 Es una ventaja que tales materiales ofrezcan una permeabilidad magnética relativamente baja y una conductividad térmica relativamente alta. Preferiblemente se usa aluminio o cobre o aleaciones de aluminio o aleaciones de cobre. Otra ventaja del aluminio (o aleaciones de aluminio) es su baja densidad de masa (solo alrededor de 2700 kg/m³, en comparación con el cobre: aproximadamente 8900 kg/m³ o acero: 7800 kg/m³). El primer material no ferromagnético puede ser el mismo que el segundo material no ferromagnético, o puede ser diferente. Una ventaja de usar el mismo material no ferromagnético es que puede ser más fácil de conectar mediante soldadura, soldadura fuerte o cobresoldadura. Otra ventaja es que la estructura experimentará la misma expansión térmica (mismo coeficiente de expansión térmica), lo que reduce el estrés térmico.
- 20

En una realización, el material de relleno es una resina o comprende una resina y material fibroso.

Preferiblemente una resina con una conductividad térmica relativamente alta (por ejemplo, al menos 0,2 W/m.K), y una conductividad eléctrica relativamente baja (por ejemplo, inferior a 1x10¹⁶ Ohm.cm), y se elige una permeabilidad magnética relativamente baja.

- 25 Es una ventaja usar una resina con una viscosidad relativamente baja (por ejemplo, inferior a 500 mPa.s a una temperatura en el intervalo de 50°C a 250°C), en que fluye fácilmente y llena todos los huecos, para no dejar sustancialmente burbujas de aire.

Preferiblemente, se elige una resina que tenga suficiente resistencia mecánica y no se debilite incluso a una temperatura de trabajo de hasta 200°C o incluso hasta 225°C o incluso hasta 250°C (clase de temperatura IEC60085).

- 30 En una realización particular, la resina es una resina termoestable como el epoxi, resina de BMI, resina de benzoxazina, resina fenólica o una resina termoplástica como PA, PPS, PPSU, PAI, PEEK.

- 35 Es una ventaja si la resina comprende además fibras seleccionadas del grupo de materiales no conductores de la electricidad, tales como fibras de vidrio o fibras de aramida, con una longitud de 3 mm a 15 mm o un polvo seleccionado del grupo que consiste en cargas inorgánicas tales como alúmina, sílice, wollastonita, nitruro de boro o nitruro de aluminio o aditivos orgánicos como los modificadores de impacto CSR (caucho Core-Shell) u otros agentes endurecedores de polímeros para mejorar aún más las propiedades mecánicas y/o térmicas.

Según un segundo aspecto, la presente invención proporciona una máquina eléctrica de flujo axial que comprende: un estator sin yugo según el primer aspecto y al menos un rotor montado de forma giratoria en dicho estator.

- 40 Según un tercer aspecto, la presente invención proporciona un método para producir un estator sin yugo para una máquina eléctrica de flujo axial. El método comprende: a) proporcionar un alojamiento que comprende una porción circunferencial hecha de un primer material no ferromagnético y una pluralidad de porciones alargadas hechas de un segundo material no ferromagnético y que se extiende desde dicha porción circunferencial en una dirección radialmente hacia adentro, las porciones alargadas con un extremo proximal que está conectado mecánicamente a la porción circunferencial y está en contacto térmico con dicha porción circunferencial, las porciones alargadas adaptadas para definir una pluralidad de cavidades para recibir una pluralidad de dientes de estator discretos; al menos algunas de dichas porciones alargadas están comprendidas en una estructura laminada de dicho alojamiento del estator: b) disponer la pluralidad de dientes de estator discretos en dicha pluralidad de cavidades, comprendiendo cada diente de estator discreto un material ferromagnético o núcleo ferromagnético y un devanado eléctrico enrollado alrededor de dicho material ferromagnético o núcleo ferromagnético; c) aumentar una temperatura de la disposición a una temperatura en el intervalo de 50°C a 250°C, y mientras se mantiene esta temperatura, llenar el espacio vacío dentro de dicha porción circunferencial con un material de relleno eléctricamente aislante; d) permitir que el material de relleno se endurezca y/o cure.
- 45
- 50

En una realización, el método comprende además una etapa x) entre la etapa a) y la etapa b) o entre la etapa b) y la etapa c) de disponer un elemento central o un cojinete dentro de dicho alojamiento.

En una realización, el método comprende además una etapa e), tras la etapa d), de enfriamiento activo o pasivo del estator.

5 En una realización, la etapa a) comprende una de las siguientes alternativas: i) apilar una pluralidad de laminaciones una encima de la otra, al menos algunas de dichas laminaciones con una forma que comprende una porción
 10 circunferencial y una pluralidad de porciones alargadas que se extienden desde dicha porción circunferencial en una dirección radialmente hacia adentro; ii) apilar una pluralidad de laminaciones una encima de la otra, un primer grupo de dichas laminaciones con una primera forma que comprende una porción circunferencial y una pluralidad de porciones alargadas que se extienden desde dicha porción circunferencial en una dirección radialmente hacia adentro, un segundo grupo de dichas laminaciones con una forma que comprende solo una porción circunferencial externa sin
 15 porciones alargadas que se extienden desde dicha porción circunferencial en una dirección radialmente hacia adentro; iii) apilar una pluralidad de laminaciones una encima de la otra, al menos algunas de dichas laminaciones con una forma que comprende una porción circunferencial y una pluralidad de muescas para montar una o más de dicha pluralidad de porciones alargadas comprendidas en un elemento en forma de peine; iv) proporcionar un cuerpo anular integral que comprende una pluralidad de muescas o ranuras para montar una o más de dicha pluralidad de porciones
 20 alargadas comprendidas en un elemento en forma de peine.

En el caso de la alternativa iii) o iv), el método puede comprender además: montar dichos elementos en forma de peine en la porción circunferencial del alojamiento del estator por medio de soldadura, soldadura fuerte, cobresoldadura, ajuste a presión o pegado.

20 Según un cuarto aspecto, la presente invención también proporciona un método para producir una máquina eléctrica de flujo axial, que comprende las etapas de: producir un estator sin yugo según el tercer aspecto; montaje giratorio de uno o más rotores al estator sin yugo.

Los aspectos particulares y preferidos de la invención se exponen en las reivindicaciones independientes y dependientes adjuntas. Las características de las reivindicaciones dependientes pueden combinarse con las características de las reivindicaciones independientes y con las características de otras reivindicaciones dependientes,
 25 según corresponda, y no simplemente como se establece explícitamente en las reivindicaciones.

Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes a partir de y se aclararán con referencia a las realizaciones descritas a continuación.

Breve descripción de los dibujos

30 La Figura 1 muestra una vista despiezada de una máquina eléctrica ejemplar de flujo axial de acuerdo con una realización de la presente invención, comprendiendo la máquina de flujo axial un estator sin yugo (que se muestra en el centro) y dos rotores.

La Figura 2 muestra el estator ejemplar de la Figura 1 en más detalle, como una realización de la presente invención.

35 La Figura 3 es una máquina eléctrica de flujo axial conocida en la técnica, con un estator con refrigeración por agua incorporada. La Figura 3 es una réplica de la Figura 8 de la publicación de Bo Zhang mencionada en la sección de antecedentes.

La Figura 4 muestra un ejemplo de un llamado "diente de estator discreto" con un "devanado concentrado", conocido per se en la técnica, como se puede usar en realizaciones de la presente invención.

40 La Figura 5 muestra un ejemplo de laminación que se puede usar en realizaciones de la presente invención. La laminación tiene una porción circunferencial y una pluralidad de porciones alargadas que se extienden radialmente hacia adentro.

La Figura 6 es un ejemplo que muestra cómo el estator de la Figura 2 se puede construir como una pila laminada. La Figura 6(a) muestra una laminación única de la Figura 5. La Figura 6(b) muestra una pila parcial que comprende una pluralidad de laminaciones apiladas una encima de la otra. La Figura 6(c) muestra una pila laminada completa que forma un alojamiento del estator que se muestra en la Figura 2.

45 La Figura 7 es una vista en sección transversal del estator de la Figura 2, en un plano perpendicular al eje del rotor. Esta ilustra un ejemplo de la posición relativa y el tamaño de una laminación y una pluralidad de dientes de estator discretos.

50 La Figura 8(a) y la Figura 8(b) muestran un ejemplo de dos laminaciones diferentes que se pueden usar juntas en realizaciones de un estator según la presente invención. La laminación de la Figura 8(a) es una laminación integral que tiene una porción circunferencial y una pluralidad de porciones alargadas que se extienden radialmente hacia adentro. La laminación de la Figura 8(b) tiene una porción circunferencial, pero no porciones alargadas.

La Figura 8(c) muestra un ejemplo de un tipo de laminación que puede usarse en una realización de un estator según la presente invención, en combinación con elementos en forma de peine como se muestra, por ejemplo, en la Figura 9, y opcionalmente en combinación con laminaciones de la Figura 8(b).

La Figura 10 muestra un ejemplo de otra realización de un alojamiento de estator para formar un estator sin yugo según la presente invención. El alojamiento del estator comprende un solo cuerpo monolítico que tiene una forma anular y que tiene una pluralidad de ranuras en una superficie interior del mismo, adaptado para recibir una pluralidad de elementos en forma de peine, cada uno de los cuales comprende una pluralidad de porciones alargadas.

5 La Figura 9 muestra el cuerpo anular monolítico y los elementos en forma de peine por separado, en vista despiezada, antes del montaje. La Figura 10 muestra el alojamiento del estator que comprende el cuerpo anular monolítico que forma una porción circunferencial del alojamiento, y que comprende una pluralidad de porciones alargadas que se extienden radialmente hacia dentro desde el cuerpo anular, después del montaje.

10 La Figura 11 muestra un ejemplo de un método de fabricación de un estator sin yugo para una máquina de flujo axial de acuerdo con una realización de la presente invención. Las etapas opcionales muestran etapas adicionales para fabricar una máquina eléctrica de flujo axial que comprende un estator sin yugo.

La Figura 12 es una réplica de la Figura 1.3 de la tesis de A. Parvainen, conocida en la técnica.

15 La Figura 13(a) muestra una máquina de toro con el polo norte en el primer rotor hacia el polo norte en el segundo rotor. La Figura 13(b) muestra una máquina YASA con el polo norte en el primer rotor hacia el polo sur en el segundo rotor, conocida en la técnica.

La Figura 14 muestra una configuración esquemática de la máquina de tipo YASA con ranuras según lo descrito por J. Gieras et al, conocida en la técnica.

20 Los dibujos son solo esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede estar exagerado y no estar dibujado a escala con fines ilustrativos. Ningún signo de referencia en las reivindicaciones se interpretará como una limitación del alcance. En los diferentes dibujos, los mismos signos de referencia se refieren a elementos iguales o análogos.

Descripción detallada de realizaciones ilustrativas

25 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a determinados dibujos, pero la invención no está limitada a los mismos, sino solamente por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solo esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede estar exagerado y no estar dibujado a escala con fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden a reducciones reales a la hora de efectuar la invención.

30 Asimismo, los términos primero, segundo y similares en la descripción y en las reivindicaciones, se usan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir una secuencia, ya sea temporalmente, espacialmente, en clasificación o de cualquier otra manera. Debe entenderse que los términos así utilizados son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en el presente documento pueden funcionar en otras secuencias distintas a las descritas o ilustradas en el presente documento.

35 Es más, los términos arriba, debajo y similares en la descripción y las reivindicaciones se usan con fines descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Debe entenderse que los términos así utilizados son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en el presente documento pueden funcionar en otras orientaciones distintas a las descritas o ilustradas en el presente documento.

40 Debe notarse que el término "que comprende", utilizado en las reivindicaciones, no debe interpretarse como restringido a los medios enumerados a continuación; no excluye otros elementos o etapas. Por lo tanto, debe interpretarse como que especifica la presencia de las características indicadas, elementos integrantes, etapas o componentes a los que se hace referencia, pero no excluye la presencia o adición de una o más características adicionales, elementos integrantes, etapas o componentes, o grupos de los mismos. Así pues, el alcance de la expresión "un dispositivo que comprende los medios A y B" no debe limitarse a los dispositivos que consisten únicamente en los componentes A y B. Significa que con respecto a la presente invención, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

45 La referencia a lo largo de esta memoria descriptiva a "una realización" o "la realización" significa que una característica particular, estructura o elemento descrito en relación con la realización se incluye en al menos una realización de la presente invención. Así pues, las apariciones de las frases "en una realización" o "en la realización" en varios lugares a lo largo de esta memoria descriptiva no se refieren necesariamente a la misma realización, pero pueden. Asimismo, las características particulares, estructuras o elementos pueden combinarse de cualquier manera adecuada, como sería evidente para un experto en la técnica a partir de esta descripción, en una o más realizaciones.

50 De manera similar, debe apreciarse que en la descripción de realizaciones ejemplares de la invención, a veces se agrupan varias características de la invención en una sola realización, figura o descripción de la misma con el fin de racionalizar la descripción y ayudar a comprender uno o más de los diversos aspectos inventivos. Este método de descripción, sin embargo, no debe interpretarse como un reflejo de la intención de que la invención reivindicada requiera más características de las expresamente mencionadas en cada reivindicación. Más bien, como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos se encuentran en menos de todas las características de una sola

55

realización descrita anteriormente. Así pues, las reivindicaciones que siguen a la descripción detallada se incorporan expresamente en esta descripción detallada, con cada reivindicación por sí misma como una realización separada de esta invención.

5 Asimismo, mientras que algunas realizaciones descritas en el presente documento incluyen algunas pero no otras características incluidas en otras realizaciones, las combinaciones de características de diferentes realizaciones están destinadas a estar dentro del alcance de la invención, y forman diferentes realizaciones, como se entendería por los expertos en la técnica. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, cualquiera de las realizaciones reivindicadas puede usarse en cualquier combinación.

10 En la descripción proporcionada aquí, se exponen numerosos detalles específicos. Sin embargo, se entiende que las realizaciones de la invención se pueden practicar sin estos detalles específicos. En otros casos, unos métodos bien conocidos, estructuras y técnicas no se han mostrado en detalle para no oscurecer la comprensión de esta descripción.

En este documento, los términos "laminación" y "lámina" se usan como sinónimos.

En este documento, el término "pila laminada" se usa para indicar una pluralidad de laminaciones (o láminas) apiladas una encima de la otra. Las laminaciones de la pila pueden ser idénticas o diferentes.

15 En este documento, los términos "monolítico" o "integral" se usan como sinónimos y significan que una determinada pieza de material se forma como una sola parte contigua (como se puede producir, por ejemplo, por moldeo, extrusión, punzonado, corte o similar).

20 En este documento el término "diente de estator discreto" se usa para indicar un diente de estator (típicamente hecho de material ferromagnético) alrededor del cual se enrolla un cable conductor (por ejemplo, un cable de cobre), referido aquí como "devanado" o "devanado concentrado". La palabra "discreto" a veces se omite en este documento.

25 La presente invención está relacionada con máquinas eléctricas, en particular motores eléctricos y generadores eléctricos, que contiene una parte fija (llamada estator) y una parte móvil (llamada rotor), y más particularmente a máquinas del tipo que tiene un estator sin yugo. Si bien retirar el yugo agrega ventajas en términos de, por ejemplo, reducir el peso o aumentar la eficiencia de la máquina, crea serios desafíos/problemas relacionados con la colocación correcta de los dientes del estator, estabilidad mecánica (también denominada "integridad estructural") y capacidad de enfriamiento.

30 Los motores convierten la energía eléctrica en energía mecánica (movimiento), mientras que los generadores convierten la energía mecánica (movimiento) en energía eléctrica, pero en la práctica, dicha conversión no ocurre con una eficiencia del 100,00%, y ocurren pérdidas, debido a "pérdidas eléctricas", por ejemplo, causadas por la resistencia eléctrica de los devanados de cobre, "pérdidas magnéticas", por ejemplo, en los dientes del estator, y "pérdidas mecánicas", por ejemplo, por fricción en los cojinetes. Estas pérdidas crean calor que necesita ser transferido.

35 Un primer problema específico al que se enfrentaron los inventores, es el enfriamiento adecuado que es particularmente relevante para máquinas que tienen una densidad de potencia relativamente alta. Los inventores estaban particularmente interesados en encontrar una solución que no utilice un líquido refrigerante que se acerque a los dientes del estator o los devanados, ya que eso complicaría la máquina.

40 Un segundo problema específico al que se enfrentaron los inventores, es colocar con precisión los dientes del estator en el alojamiento del estator. En efecto, la ausencia de un yugo en tales máquinas deja los dientes del estator esencialmente en una posición física no determinada, mientras que una posición precisa de estos dientes entre sí y con el rotor es beneficiosa para obtener una alta eficiencia y un buen funcionamiento de la máquina. La posición axial influye en el entrehierro axial entre el estator y los rotores, que tiene un impacto en el rendimiento.

Un tercer problema específico al que se enfrentaron los inventores es mantener los dientes del estator en una posición rígidamente fija durante el funcionamiento de la máquina, a pesar de las enormes fuerzas mecánicas ejercidas al respecto, en particular fuerzas axiales debido a los imanes y fuerzas tangenciales debido al par que se transmite, y a pesar de las altas temperaturas a las que está sometido el estator.

45 La presente invención aborda al menos uno, preferiblemente dos y lo más preferiblemente todos estos problemas.

50 Los inventores tuvieron la idea de proporcionar un estator 4 sin yugo para una máquina eléctrica de flujo axial 1, que comprende: un alojamiento 41 que comprende una porción circunferencial 82, 87; una pluralidad de dientes de estator discretos 5 dispuestos dentro de la porción circunferencial 82, 87, comprendiendo cada diente de estator discreto un material ferromagnético o un núcleo magnético y un devanado eléctrico enrollado alrededor de dicho material ferromagnético o alrededor de dicho núcleo magnético. El alojamiento 41 comprende además una pluralidad de porciones alargadas 45, 72 que se extienden en una dirección radialmente hacia adentro desde dicha porción circunferencial 82, 87. Las porciones alargadas 45, 72 tienen un extremo proximal que está conectado mecánicamente, por ejemplo, mecánicamente fijado a la porción circunferencial 82, 87 y está en buen contacto térmico con dicha porción circunferencial (por ejemplo, al estar formado integralmente con dicha porción circunferencial, o al estar soldado o con soldadura fuerte o cobresoldado o encajado a presión), y tener una porción distal o extremo distal que

se encuentra físicamente entre los devanados eléctricos de los dientes del estator 5 adyacentes. El estator comprende además un material de relleno eléctricamente aislante 6 que llena el espacio vacío dentro de dicha porción circunferencial 82, 87, en particular entre dicha pluralidad de dientes de estator 5 y dicha pluralidad de porciones alargadas 45, 72.

- 5 La pluralidad de dientes de estator discretos está preferiblemente dispuesta en posiciones angulares equidistantes. La pluralidad de dientes de estator discretos está preferiblemente dispuesta de manera que cada diente de estator esté ubicado entre una primera y una segunda superficie cilíndrica imaginaria coaxial, y de manera que los dientes estén ubicados entre dos planos imaginarios perpendiculares a un eje de dichas superficies cilíndricas, tangencial a los lados opuestos de los dientes del estator.
- 10 La porción circunferencial puede ser una porción sustancialmente cilíndrica o una porción anular, que tiene, por ejemplo, una sección transversal circular o una sección transversal poligonal.

- 15 Las porciones alargadas 45, 72 pueden ser una parte integral de, o pueden estar mecánicamente firmemente conectadas a la porción circunferencial del alojamiento 41, para ser capaz de resistir fuerzas axiales y tangenciales de una magnitud predefinida (cuyo valor depende de la potencia nominal de la máquina). Las porciones alargadas 45, 72 también están en "buen contacto térmico" con la porción circunferencial del alojamiento 41, que el experto en la técnica entiende que proporciona una resistencia térmica relativamente baja, del orden de magnitud que normalmente se obtiene cuando dos piezas de metal se sueldan o cobresueldan o se sueldan fuerte o se ajustan a presión.

- 20 Como se explicará más adelante, las porciones alargadas 45, 72 tienen cuatro funciones: (1) definir cavidades para recibir los dientes de estator discretos 5 durante el montaje, (2) mantener los dientes de estator discretos 5 en posiciones angulares predefinidas durante la producción del estator 4, (3) mantener los dientes de estator discretos 5 en posición durante el uso real de la máquina de flujo axial, y (4) enfriar los dientes de estator 5 durante el uso real de la máquina transportando calor desde el interior del estator 4 a la porción circunferencial 82, 87 del alojamiento 41.

Volviendo ahora a las figuras.

- 25 La Figura 1 muestra una vista despiezada de una máquina eléctrica de flujo axial 1 según una realización de la presente invención, que comprende un estator 4 (mostrado en el medio) y dos rotores 2a, 2b dispuestos en lados opuestos del estator 4, pero la invención no se limita a esta realización específica. Los rotores 2a, 2b se pueden montar en el cojinete o conjunto de cojinete 3 de maneras conocidas, por ejemplo directa o indirectamente a través de un eje (no mostrado). En el ejemplo particular mostrado en la Figura 1, los rotores tienen la forma de un disco y tienen una pluralidad de imanes permanentes 21 montados fijamente en dicho disco, pero también se pueden usar otros tipos de rotor. Por ejemplo, en lugar de imanes permanentes, los discos pueden contener electroimanes, o pueden no contener imanes.
- 30

- El foco principal de la presente invención, sin embargo, está en la estructura del estator sin yugo 4, que se explicará con más detalle más adelante. Tal y como se ha descrito anteriormente, el estator 4 de la presente invención también comprende un material de relleno aislante eléctricamente 6, que llena preferiblemente todo el espacio vacío entre el alojamiento 41 y el cojinete 3 que no está ocupado por los dientes de estator discretos 5 o por las porciones alargadas 45, pero el material de relleno 6 no se muestra en los dibujos con fines ilustrativos.
- 35

- De hecho, no se requiere que un cojinete 3 esté ubicado dentro del estator, porque, por ejemplo, los cojinetes también podrían ubicarse fuera del estator. Se contemplan tres variantes a este respecto: (1) un estator con un cojinete dentro del estator, (2) un estator con un elemento central adaptado para sostener o montar un cojinete, (3) un estator sin un elemento central discreto. Solo la primera variante se describirá con más detalle aquí, pero la invención no se limita a los mismos.
- 40

- La Figura 2 muestra el estator 4 de la Figura 1 en más detalle. El estator 4 comprende un alojamiento 41. El alojamiento 41 de la Figura 2 está formado como una pila laminada que forma un cuerpo tubular. El cuerpo tubular comprende una porción circunferencial que tiene una forma sustancialmente cilíndrica y que tiene una pluralidad de elementos alargados que se extienden desde dicha porción circunferencial radialmente hacia adentro. El alojamiento 41 comprende además una pluralidad de dientes de estator discretos 5 dispuestos dentro de dicho alojamiento 41.
- 45

- Los términos "cuerpo tubular" y "forma cilíndrica" y "forma anular" no deben entenderse en el sentido o sugerir que la dimensión en la dirección axial es mayor que una dimensión en sección transversal. Solo pretende significar que la estructura está abierta en la dimensión axial. La relación de la dimensión axial H y una dimensión en sección transversal D de la porción circunferencial del alojamiento de un estator según la presente invención puede ser mayor que 1,0, o, como suele ser el caso, puede ser menor que 1,0, por ejemplo, menor que 0,5.
- 50

- Los dientes de estator discretos 5 están dispuestos a una distancia angular entre sí, preferiblemente equidistante. El alojamiento 41 forma un alojamiento alrededor de la pluralidad de dientes de estator discretos 5, y además comprende medios para mantener la pluralidad de dientes de estator discretos 5 en su lugar, ambos durante la producción del estator 4, pero también durante el funcionamiento normal de la máquina. Estos medios son las porciones alargadas 45 que se extienden radialmente hacia dentro desde la porción circunferencial. Las porciones alargadas 45 pueden estar formadas integralmente como parte de las laminaciones 43 (o láminas) que están apiladas para formar el
- 55

alojamiento tubular 41 (como se describirá con más detalle en la Figura 5 a la Figura 8) o puede proporcionarse en forma de dedos 72 como parte de elementos en forma de peine 7, formarse por separado de la porción circunferencial 87 del alojamiento 41, y conectarse de forma fija a la misma (como se describirá con más detalle en la Figura 9 y la Figura 10), por ejemplo por soldadura, soldadura fuerte, cobresoldadura, ajuste a presión, o cualquier otra técnica adecuada que proporcione un buen contacto mecánico y térmico entre la porción circunferencial y las porciones alargadas.

En el ejemplo específico que se muestra en la Figura 2, el estator 4 comprende un alojamiento 41 que tiene una forma tubular. La forma tubular tiene una porción circunferencial y una pluralidad de porciones alargadas que se extienden radialmente hacia dentro desde dicha porción circunferencial. La porción circunferencial puede tener una sección transversal circular, pero también sería posible una sección transversal poligonal.

En el ejemplo mostrado, el estator 4 comprende quince dientes de estator discretos 5 dispuestos circunferencialmente entre la porción circunferencial de la pila laminada y el cojinete 3, pero la invención no está limitada a esto, y el número de dientes del estator 5 también puede ser menor que quince o mayor que quince. El número de dientes de estator discretos 5 puede ser par o impar.

El cojinete 3 puede ser cualquier tipo adecuado de cojinete conocido en la técnica.

En el ejemplo mostrado en la Figura 2, la relación de la dimensión axial H y la dimensión radial D (diámetro exterior) del estator es aproximadamente 30 %, pero la invención no se limita a las mismas y también se pueden usar otras relaciones.

La Figura 3 muestra una máquina eléctrica de flujo axial conocida en la técnica. Lo que se muestra es un estator 200 sin yugo con refrigeración por agua incorporada. Si bien el enfriamiento por agua tiene ventajas para algunas solicitudes, puede no ser deseado en otras solicitudes. La estructura de la Figura 2 se describe más detalladamente en la publicación de Bo Zhang, mencionada en la sección de antecedentes, en particular la Figura 8 de la misma, y por lo tanto no se describirá con más detalle en este documento. Baste decir que esta estructura no tiene porciones alargadas que se extienden entre los devanados de los dientes del estator.

La Figura 4 muestra un diente de estator discreto 5 como puede usarse en realizaciones de la presente invención. Los dientes de estator discretos son conocidos per se en la técnica y, por lo tanto, solo se analizan brevemente aquí.

El diente de estator discreto 5 tiene un núcleo de material ferromagnético, preferiblemente rodeado por una primera capa de aislamiento, rodeado por al menos un devanado o bobina conductora (típicamente un devanado de cobre), preferiblemente rodeado por una segunda capa de aislamiento. El núcleo está hecho preferiblemente como una pila laminada que comprende una pluralidad de láminas de material ferromagnético, por ejemplo, que comprende aleaciones de Fe o Ni o FeNi. En el ejemplo de la Figura 4, un diente de estator con solo ocho laminaciones se muestra con fines ilustrativos, pero en la práctica, el número de laminaciones de dientes del estator puede ser mucho mayor. El uso de un núcleo laminado reduce las pérdidas causadas por las llamadas "corrientes parásitas". La forma de las laminaciones se elige preferiblemente para optimizar el rendimiento de la máquina de maneras conocidas en la técnica. A pesar de estas medidas, todavía hay pérdidas eléctricas en los devanados de cobre (debido a la resistencia eléctrica) y todavía hay pérdidas magnéticas en el material ferromagnético, resultando en calor (cuando la máquina está en funcionamiento), calor que debe transportarse lejos de la fuente (dentro del estator 4) hacia el exterior del estator, al medio ambiente.

Según un aspecto importante de la presente invención, este transporte de calor puede lograrse o mejorarse ventajosamente por medio de una pluralidad de porciones alargadas 45, 72, que se encuentran preferiblemente en las proximidades de donde se produce el calor. Las porciones alargadas pueden tener, por ejemplo, una porción distal o un extremo distal ubicado entre o más allá de los dientes de estator discretos 5, y tener un extremo proximal formado integralmente o conectado de manera fija a la porción circunferencial del alojamiento 41 de manera que proporcione un buen contacto mecánico y buen contacto térmico con la porción circunferencial del alojamiento tubular 41, por ejemplo, mediante soldadura, cobresoldadura, soldadura fuerte o ajuste a presión. Las porciones alargadas 45, 72 están hechas preferiblemente de un material no ferromagnético que tiene una conductividad térmica relativamente alta, tales como cobre o aluminio o una aleación de cobre o una aleación de aluminio. Preferiblemente, están conformadas y orientadas de una manera que reduce las pérdidas debidas a las "corrientes parásitas". Aunque las porciones alargadas individuales 45, 72 pueden no proporcionar una gran resistencia mecánica o un gran flujo de calor, como grupo sí lo hacen. La rigidez mecánica de la estructura se mejora aún más por el material de relleno 6.

Los inventores encontraron dos realizaciones particularmente interesantes de tal estator 4, que puede ser convenientemente producido. La primera se basa en una pila laminada 82, donde cada laminación 43 comprende una porción circunferencial 44 y una pluralidad de porciones alargadas 45, formando la pila de porciones circunferenciales 44 un cuerpo circunferencial, como se describirá en la Figura 5 a la Figura 8. La segunda se basa en un cuerpo monolítico 87 que tiene una forma anular que forma la porción circunferencial del alojamiento 41, que tiene una pluralidad de muescas o ranuras 49 o similares, en las cuales una pluralidad de elementos en forma de peine 7, cada uno con una pluralidad de porciones alargadas 72, están montados. Estas realizaciones se describirán con más detalle a continuación.

Con respecto a la orientación de las laminaciones, se debe tener en cuenta lo siguiente. Se considera un sistema de coordenadas con r la dirección radial, ϕ la dirección circunferencial y z la dirección axial. Desde un punto de vista térmico, las laminaciones se pueden colocar a lo largo de un plano 2D con la ecuación $\phi = \text{constante}$ o $z = \text{constante}$. En ambos casos se logra un transporte de calor apropiado. Desde un punto de vista electromagnético, las laminaciones se pueden colocar en un plano $r = \text{constante}$ o en un plano $z = \text{constante}$. En ambos casos se evitan corrientes parásitas sustanciales. En consecuencia, para lograr ambos efectos simultáneamente, la solución con $z = \text{constante}$ es preferible.

Primera realización preferida:

La Figura 5 muestra un ejemplo de una laminación 43 o lámina como se puede usar en realizaciones según la presente invención, y la Figura 6 ilustra cómo tales laminaciones 43 pueden apilarse una encima de la otra para formar una pila laminada 82 que forma el alojamiento del estator 41 que tiene una porción circunferencial y elementos alargados 45 que se extienden radialmente hacia dentro de la misma. Las laminaciones 43 tienen una forma que comprende una porción circunferencial 44 y una pluralidad de porciones alargadas 45 que se extienden radialmente hacia dentro desde dicha porción circunferencial 44.

Preferiblemente, las laminaciones 43 están hechas de un metal no ferromagnético o una aleación metálica, como cobre o aluminio o una aleación de cobre o una aleación de aluminio, porque el metal o las aleaciones no ferromagnéticas son materiales que tienen una permeabilidad magnética relativamente baja y una conductancia térmica relativamente alta. Esto proporciona bajas pérdidas magnéticas y alto transporte de calor.

Tales laminaciones 43 se pueden producir, por ejemplo, cortando o estampando o perforando láminas de metal, por ejemplo, mediante corte por láser o corte por plasma, pero también se pueden usar otras técnicas adecuadas. Las láminas de metal tienen típicamente un espesor de aproximadamente 1,5 mm o 2,0 mm o 2,5 mm, pero la invención no se limita a esto, y también se pueden usar láminas de metal que tienen un espesor menor de 1,5 mm o mayor de 2,5 mm, por ejemplo cualquier espesor en el intervalo de 1,0 mm a 6,0 mm.

Las porciones alargadas 45 mostradas en el ejemplo de la Figura 5 tienen una forma rectangular con una longitud predefinida "Lx" (véase la Figura 7) y un ancho constante predefinido "W", pero la presente invención no está limitada a esto, y también se pueden usar otras formas, por ejemplo, una forma triangular o una forma trapezoidal o incluso una forma en zigzag, o cualquier otra forma adecuada. Para evitar concentraciones de tensión mecánica, y para seguir de cerca el contorno de los devanados 52 en los dientes de estator discretos 5 a fin de mantener la resistencia térmica entre los devanados 52 y las porciones alargadas 45 lo más baja posible, el extremo proximal de las porciones alargadas (es decir, el extremo cerca de la porción circunferencial 44) preferiblemente no tiene bordes afilados de 90°, pero preferiblemente es redondeado o ahusado o cónico, como se muestra por ejemplo en la Figura 5. Entre su extremo proximal y su extremo distal, las porciones alargadas 45 tienen preferiblemente una forma que es sustancialmente complementaria a la de los devanados 52. Se puede proporcionar un pequeño espacio libre entre los devanados 52 de los dientes de estator 5 y las porciones alargadas 45. Este espacio libre es preferiblemente menor que 3,0 mm, por ejemplo, más pequeño que 2,0 mm, por ejemplo, aproximadamente 1,0 mm, dependiendo de las dimensiones de los dientes de estator 5 con bobinados concentrados 52. Elegir un espacio libre más pequeño reduce la resistencia térmica y, por lo tanto, mejora el transporte térmico, pero hace que el montaje del estator 4 sea un poco más difícil.

Todavía en referencia a la Figura 5, la porción circunferencial 44 de las laminaciones 43 puede tener la forma de un círculo cerrado o un polígono cerrado y opcionalmente puede tener una o más aberturas o espacios 83. Este espacio opcional 83 puede estar presente en algunas de las laminaciones 43 de la pila laminada 41, pero preferiblemente no en todas las laminaciones. Cuando está presente, la abertura o espacio 83 puede usarse, por ejemplo, para facilitar la conexión eléctrica a los devanados del estator 52, pero, por supuesto, la presente invención no se limita a esta forma de conexión, y también se puede usar cualquier otra forma adecuada para conectar estos devanados.

La porción circunferencial 44 puede comprender además una pluralidad de orificios pasantes 47, que puede usarse durante la producción para alinear las laminaciones 43 (por ejemplo, en el plano XY) y/o para sujetar la pila 41 (por ejemplo, en la dirección Z) cuando se llena con material de relleno 6 y/o durante el uso real del estator 4 para ejercer una fuerza de sujeción axial sobre las laminaciones 43. Es posible, por ejemplo, insertar una varilla de acero roscada en estos orificios 47 y sujetarlos juntos mediante tuercas (no mostradas) o de cualquier otra manera adecuada conocida en la técnica.

Mientras que la Figura 5 muestra una laminación hecha de una sola pieza, también es posible proporcionar dos o más "segmentos de laminación" que pueden disponerse para formar sustancialmente el mismo objeto que se muestra en la Figura 5 y cada uno comprende una porción circunferencial (por ejemplo, dos porciones que abarcan un arco de aproximadamente 180° o tres porciones que abarcan un arco de aproximadamente 120° o cuatro porciones que abarcan un arco de aproximadamente 90°) y que tienen al menos una porción alargada 45 dirigida radialmente hacia adentro. Cada una de estas porciones puede tener al menos dos orificios pasantes 47, aunque eso no es absolutamente necesario. Como se entenderá de la Figura 6, estos segmentos de laminación pueden apilarse uno encima del otro y mantenerse unidos por medios adecuados. Es una ventaja proporcionar la laminación 43 como una "pieza única", ya que proporciona una mayor resistencia mecánica y requiere menos manipulación durante la

fabricación. Es una ventaja proporcionar la laminación 43 en "dos o más piezas complementarias", ya que permite producir la laminación con menos desperdicio de material. Esto es especialmente importante para máquinas de flujo axial que tienen diámetros relativamente grandes.

5 La porción circunferencial 44 de las laminaciones 43 puede comprender orificios adicionales (no mostrados) para formar canales en la pila, o para recibir tuberías o conductos (orientados en la dirección axial), que pueden usarse para permitir el enfriamiento con un fluido como, por ejemplo, una camisa de agua. Además, las porciones circunferenciales 44 podrían tener extensiones radialmente hacia afuera (no mostradas) para actuar como aletas de enfriamiento al ambiente.

10 La Figura 6(a) muestra una sola laminación 43 de la Figura 5 en vista en perspectiva. La Figura 6(b) muestra cómo se puede apilar una pluralidad de laminaciones idénticas 43 una encima de la otra, para formar una pila parcial 81. La Figura 6(c) muestra un ejemplo de una pila laminada 82 que consiste en una pluralidad de laminaciones 43 apiladas una encima de la otra para formar el alojamiento 41 del estator 4.

15 En el ejemplo de la Figura 6 todas las laminaciones 43 son del mismo tipo y todas tienen una abertura 83, con todas las aberturas ubicadas una encima de la otra, pero la presente invención no está limitada a esto, y se pueden proporcionar aberturas 83 de diferentes laminaciones en diferentes ubicaciones angulares (no mostradas), que se pueden obtener fácilmente durante el montaje simplemente girando las laminaciones antes o mientras se apilan.

20 Como puede verse, las porciones alargadas apiladas 45 forman una especie de "pared interna" o "rejilla interna" o "celosía interna", dependiendo de si las porciones alargadas 45 están separadas o no, en conjunto referido aquí como "paredes internas". Estas paredes internas, rejillas o celosías 84 facilitan la colocación fácil y precisa de los dientes de estator 5 durante la producción del estator 4. Debido a que están hechas de una pila de laminaciones, estas "paredes internas" 84 solo causan pérdidas mínimas (previniendo o reduciendo grandes corrientes parásitas). Dado que las porciones alargadas 45 están formadas integralmente con las porciones circunferenciales 44, también proporcionan una excelente conexión mecánica y excelente conexión térmica a las porciones circunferenciales 44, permitiendo que el alojamiento 41 resista fuerzas axiales y tangenciales relativamente grandes y permitiendo una transferencia de calor eficiente desde el interior del alojamiento 41 donde se produce el calor, a las porciones circunferenciales 44, y al exterior del alojamiento 41, donde se retira el calor.

30 En la práctica, las laminaciones 43 no tienen todas una abertura 83, pero algunas de ellos pueden tenerla. Preferiblemente, al menos dos laminaciones 43 en la parte inferior de la pila 82 y preferiblemente al menos dos laminaciones 43 en la parte superior de la pila están cerradas, es decir, no tienen una abertura 83. En el ejemplo de la Figura 1, cinco laminaciones en la parte inferior (izquierda de la Figura 1) y cinco laminaciones en la parte superior (derecha de la Figura 1) están cerradas.

35 La Figura 7 muestra un ejemplo de la posición relativa de los dientes de estator discretos 5 (véase la Figura 4) y la laminación 43 de la Figura 5 y la Figura 6, cuando se produce un estator 4. Tal y como se ha descrito anteriormente, los dientes de estator 5 pueden insertarse simplemente en las cavidades 88 (véase la Figura 6c) formadas entre dos "paredes internas" 84a, 84b y entre la superficie interior 42 de la porción circunferencial del alojamiento, y una superficie externa del cojinete 3 (no mostrada en la Figura 6c). Alternativamente, el cojinete o conjunto de cojinete 3 puede agregarse después de la inserción de los dientes de estator discretos 5 en dichas cavidades 88.

40 En general, cuanto mayor es el área de superficie de las "paredes internas" 84 que se encuentran cerca o en las inmediaciones de los devanados concentrados 52 en los dientes del estator, y por lo tanto en buen contacto térmico con ellos, más eficiente es la transferencia de calor (es decir, más calor se transporta para una diferencia de temperatura dada) y, por lo tanto, menor es la temperatura dentro del estator 4.

No solo la longitud L_x de la porción alargada 45, sino también su forma y dimensiones (por ejemplo, el ancho W en la Figura 5 y su espesor) influyen en la transferencia de calor. Como una regla de oro, cuanto mayor sea el ancho W para un espesor dado de las porciones alargadas 45, mayor es la capacidad de transferencia de calor.

45 Otro aspecto importante es la distancia entre las porciones alargadas 45 y los devanados eléctricos 52, donde el calor tiene que pasar a través del material de relleno 6. Esta distancia es preferiblemente lo más pequeña posible. Preferiblemente, la forma de las porciones alargadas 45 se elige complementariamente a la forma externa del devanado concentrado 52 de los dientes de estator 5.

50 Tal y como se ha descrito anteriormente, todo el espacio vacío restante dentro del estator 4 entre la superficie interior 42 (véase la Figura 6c) de la porción circunferencial del alojamiento 41 y la superficie externa del cojinete (o conjunto de cojinete) 3, que no está ocupado, por ejemplo, por las porciones alargadas 45 y los dientes de estator 5, se llenará con un material aislante eléctrico, pero preferiblemente material de relleno térmicamente altamente conductor 6, como por ejemplo un epoxi. Es ventajoso que no queden burbujas de aire dentro del material de relleno 6 ya que tales burbujas aumentarían la resistencia térmica y, por lo tanto, reducirían la efectividad del enfriamiento.

55 En la realización de la Figura 6(c) todas las laminaciones 43 son idénticas y tienen un número "Nep" de porciones alargadas que es igual al número "Nst" de dientes de estator, así $Nep = Nst$, lo que permite proporcionar una porción alargada 45 entre cada par de dientes de estator adyacentes 5 para cada capa de la pila. En este caso, las

laminaciones 43, o al menos las porciones alargadas 45 de las mismas, de dos laminaciones 43 apiladas una encima de otra deben aislarse eléctricamente entre sí, por ejemplo, mediante un recubrimiento aislante y/o un epoxi aislante y/o un pegamento aislante entre ellos, para reducir las "corrientes parásitas". Se observa a este respecto que la laminación de la porción circunferencial del alojamiento 41 en sí no es absolutamente necesaria, porque las "corrientes parásitas" son relativamente pequeñas en la circunferencia del alojamiento, pero es muy importante entre los dientes del estator.

A continuación, se hace referencia a la Figura 8. En otra realización de un estator según la presente invención, el estator 4 puede comprender al menos dos tipos diferentes de laminaciones, por ejemplo un primer tipo 43a, mostrado en la Figura 8(a), y un segundo tipo de laminación 43b, mostrado en la Figura 8(b). El primer tipo de laminación tiene porciones alargadas 45, mientras que el segundo tipo de laminación 43b no tiene. El primer tipo 43a puede, por ejemplo, ocupar capas numeradas pares de la pila laminada y el segundo tipo puede ocupar, por ejemplo, capas numeradas impares de la pila, o viceversa. Esta es otra forma de evitar el contacto eléctrico entre las porciones alargadas 45 de las laminaciones adyacentes para reducir las corrientes parásitas, a saber, proporcionando un espacio axial entre ellas.

La Figura 8(c) muestra un ejemplo de un tipo de laminación 43c que comprende una pluralidad de muescas 46, donde las muescas correspondientes de diferentes laminaciones 43c apiladas una encima de otra están adaptadas para recibir elementos en forma de peine 7 como los mostrados, por ejemplo, en la Figura 9. Los elementos en forma de peine 7 pueden, por ejemplo, pegarse o soldarse o cobresoldarse o soldarse fuerte o encajar a presión en las muescas o ranuras 46. En un ejemplo particular, las muescas 46 pueden tener una forma cónica o la forma de una cola de milano y los elementos en forma de peine 7 pueden deslizarse en dirección axial dentro de la pila y luego montarse de manera fija a la misma. El alojamiento tubular 41 puede comprender principalmente laminaciones 43c del tipo mostrado en la Figura 8(c) o una combinación de laminaciones 43c (véase la Figura 8c) alternadas con laminaciones 43b (véase la Figura 8b). De modo similar a lo descrito anteriormente, las laminaciones 43c pueden comprender una abertura 83, pero preferiblemente al menos un número predefinido de laminaciones (por ejemplo, al menos dos en la parte inferior de la pila y al menos dos en la parte superior de la pila) no comprenden dicho espacio 83, pero tienen una porción circunferencial cerrada 44.

En otra realización (no mostrada), al menos algunas de las laminaciones 43 tienen un número "Nep" de porciones alargadas 45 igual a solo la mitad del número "Nst" de dientes de estator 5, así $Nep = Nst/2$. Esta configuración puede ser interesante si el número de dientes de estator es un entero múltiplo de dos. En este caso, las laminaciones 43 están dispuestas preferiblemente de modo que las porciones alargadas 45 de las laminaciones pares y las laminaciones impares no estén situadas directamente una encima de la otra. Esta es otra forma de proporcionar espacio axial entre las porciones alargadas 45 para evitar el contacto directo.

Por supuesto, en principio también sería posible proporcionar laminaciones 43 donde el número de porciones alargadas "Nep" es solo 1/3 del número "Nst" de dientes de estator, así $Nep = Nst/3$, lo que permite crear una distancia axial aún mayor entre las porciones alargadas 45 de diferentes capas. Esta configuración puede ser interesante si el número de dientes de estator es un entero múltiplo de tres y puede ser adecuado para máquinas de menor densidad de potencia, pero dicho estator tiene una menor estabilidad mecánica y proporciona una transferencia de calor menos eficiente en comparación con el ejemplo descrito anteriormente, porque el número total de porciones alargadas 45 se reduce en un factor tres.

Segunda realización preferida:

La Figura 9 y la Figura 10 muestran otra realización de un estator 4 según la presente invención en vista despiezada (Figura 9) y en forma ensamblada (Figura 10). La principal diferencia entre la realización de la Figura 9 y la Figura 10 por un lado, y las realizaciones de la Figura 5 a la Figura 8 por otro lado, es que en la realización de la Figura 9 y la Figura 10, el estator 4 comprende un cuerpo monolítico 87 que tiene una forma anular que forma una porción circunferencial del alojamiento 41. La porción circunferencial tiene una pluralidad de ranuras 49 o hendiduras o similares en una superficie interior de la misma para montar una pluralidad de elementos en forma de peine 7, que se forman por separado, pero montados en la porción circunferencial, por ejemplo mediante soldadura, prensado, soldadura fuerte o cobresoldadura.

En esta realización, la porción circunferencial del alojamiento 41 no está laminada, pero, tal y como se ha mencionado anteriormente, eso no es una preocupación, porque las corrientes parásitas son pequeñas en la ubicación circunferencial. Por el contrario, los elementos en forma de peine 7 tienen una forma que comprende una primera parte 71 adaptada para ser recibida en las ranuras o hendiduras 49, y una pluralidad de dedos 72 que se extienden ortogonalmente a la primera parte 71. Estos dedos 72 tienen la misma función que las porciones alargadas 45 descritas anteriormente. La forma de peine asegura que los dedos 72 no entren en contacto en su extremo distal, por lo tanto, se evita la formación de un circuito eléctricamente conductor y se reducen las pérdidas debidas a las corrientes parásitas.

También en esta realización, los elementos en forma de peine tienen cuatro funciones: (1) definir cavidades 89 para recibir los dientes de estator discretos 5 durante el montaje, (2) mantener los dientes de estator discretos 5 en posición durante la producción del estator 4, (3) mantener los dientes de estator discretos 5 en posición durante el uso real de

la máquina de flujo axial, y (4) enfriar los dientes de estator 5 durante el uso real de la máquina transportando calor desde el interior del estator 4 a la circunferencia.

5 Los elementos en forma de peine 7 están montados fijamente en la porción circunferencial 87 de cualquier manera conocida. Por ejemplo, los elementos en forma de peine 7 pueden tener al menos dos protuberancias cilíndricas para ser insertadas en las aberturas correspondientes hechas en la porción circunferencial (no mostrada), protuberancias que se deforman luego como remaches. En otra realización, los elementos en forma de peine 7 se ajustan a presión. Los elementos en forma de peine 7 y las ranuras 49 pueden tener forma de cola de milano, en cuyo caso los elementos en forma de peine 7 pueden insertarse en las ranuras 49 por inserción axial. En otra realización, los elementos en forma de peine 7 son elementos planos, en cuyo caso los elementos en forma de peine 7 pueden insertarse radialmente en las ranuras 49. Preferiblemente, los elementos en forma de peine 7 tienen una forma complementaria a la forma de las ranuras 49, para permitir buen contacto mecánico y buen contacto térmico. La soldadura o cobresoldadura o soldadura fuerte mejora aún más dicho contacto mecánico y térmico entre la porción circunferencial 87 y los elementos en forma de peine 7 y permite un transporte de calor eficiente. Los elementos en forma de peine 7 están hechos preferiblemente de un material o aleación no ferromagnética, por ejemplo, aluminio o cobre o una aleación de aluminio o una aleación de cobre.

10 El cuerpo anular monolítico 87 mostrado en la Figura 9 tiene una abertura relativamente grande 83, pero, tal y como se ha descrito anteriormente, eso no es obligatorio y esta abertura 83 puede omitirse por los mismos motivos descritos anteriormente.

20 Aunque no es absolutamente obligatorio, el cuerpo anular monolítico 87 puede comprender además una pluralidad de canales 86 para permitir que el cuerpo anular 87 se enfríe con un líquido refrigerante, por ejemplo, agua. Las entradas y salidas de estos canales se pueden proporcionar en la parte superior e inferior del cuerpo anular (véase a la izquierda de la Figura 10) o en una superficie externa 85 del cuerpo anular (como se muestra en el centro de la Figura 10).

La Figura 11 muestra un ejemplo de un método de fabricación de un estator 4 para una máquina de flujo axial 1 según la presente invención. El método 1100 comprende:

- 25 - proporcionar 1101 un alojamiento 41, 48 que comprende una porción circunferencial y una pluralidad de porciones alargadas 45, 72 que se extienden desde dicha porción circunferencial en una dirección radialmente hacia adentro; (véase el ejemplo de la Figura 6(c) y la Figura 10),
- 30 - proporcionar 1103 una pluralidad de dientes de estator discretos 5 y disponerlos en dicha pluralidad de cavidades 88, 89, comprendiendo cada diente de estator discreto 5 un material ferromagnético 51 o núcleo magnético y un devanado conductor 52 enrollado alrededor de dicho material ferromagnético o núcleo ferromagnético;
- 35 - aumentar 1104 la temperatura de la disposición a una temperatura en el intervalo de 50°C a 250°C, o por ejemplo de 100°C a 250°C para expandir térmicamente la estructura, y mientras se mantiene esta temperatura, llenar cualquier espacio vacío restante dentro de dicha porción circunferencial 82, 87 en particular entre dicha pluralidad de dientes de estator discretos 5 y dichas porciones alargadas 45, 72 con un material de relleno eléctricamente aislante tal como, por ejemplo, epoxi;
- permitir 1105 que el material de relleno 6 se endurezca y/o cure.

El método puede comprender además una etapa 1102 entre la etapa 1101 y la etapa 1103 o entre la etapa 1103 y la etapa 1104 de disponer 1102 un elemento central o un cojinete dentro de dicho alojamiento.

40 El método puede comprender además la etapa 1106 que sigue a la etapa 1105 de enfriamiento activo o pasivo del estator 4, contrayendo así el estator (4) y pretensando el alojamiento 41, 48. Este pretensado es causado por la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la porción circunferencial del alojamiento 41, 48 (por ejemplo, Al o aleación de Al) y el coeficiente de expansión térmica de los núcleos magnéticos (por ejemplo, que contiene Fe o Ni), los devanados (por ejemplo, cobre) y la resina.

45 La Figura 11 también muestra una etapa adicional para producir una máquina eléctrica de flujo axial 1 (un ejemplo de la cual se muestra en la Figura 1 en vista despiezada), a saber, la etapa 1107 de montar al menos uno, por ejemplo dos rotores 2a, 2b en dicho estator 4.

50 También son posibles otras realizaciones, por ejemplo realizaciones (no mostradas) que comprenden una pluralidad de laminaciones 43 como la mostrada en la Figura 8(b), pero con una pluralidad de muescas en el interior de la porción circunferencial 44, están apiladas una encima de otra, formando las muescas ranuras en dirección axial en la superficie interior de la porción circunferencial, ranuras en las que los elementos en forma de peine 7 como los mostrados en la Figura 9 están montados, por ejemplo por soldadura, soldadura fuerte, cobresoldadura o encaje a presión, dando como resultado un ensamblaje como el que se muestra en la Figura 10, pero que comprende una porción circunferencial en forma de una pila laminada en lugar de un cuerpo anular monolítico 87.

55 Para completar, se menciona que, una vez que el estator 4 se produce y se llena con un material de relleno aislante eléctricamente 6, por supuesto, puede enfriarse en su superficie exterior 85 de cualquier manera conocida, por

ejemplo, por enfriamiento pasivo con aire (por ejemplo, al estar expuesto al aire libre), o por enfriamiento activo con aire (por ejemplo, soplando aire sobre el estator), o por enfriamiento activo con agua. Se observa que enfriar el estator 4 en su superficie exterior es fundamentalmente diferente de la solución proporcionada en la Figura 3, donde la máquina se enfría por dentro con líquido.

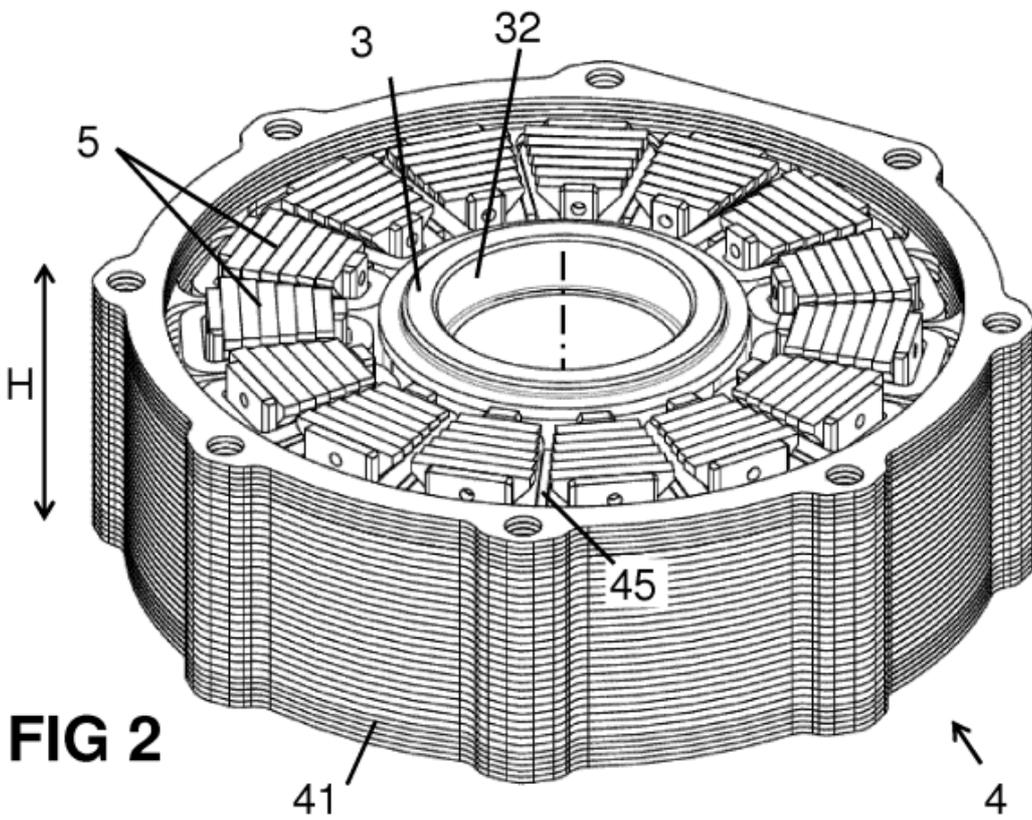
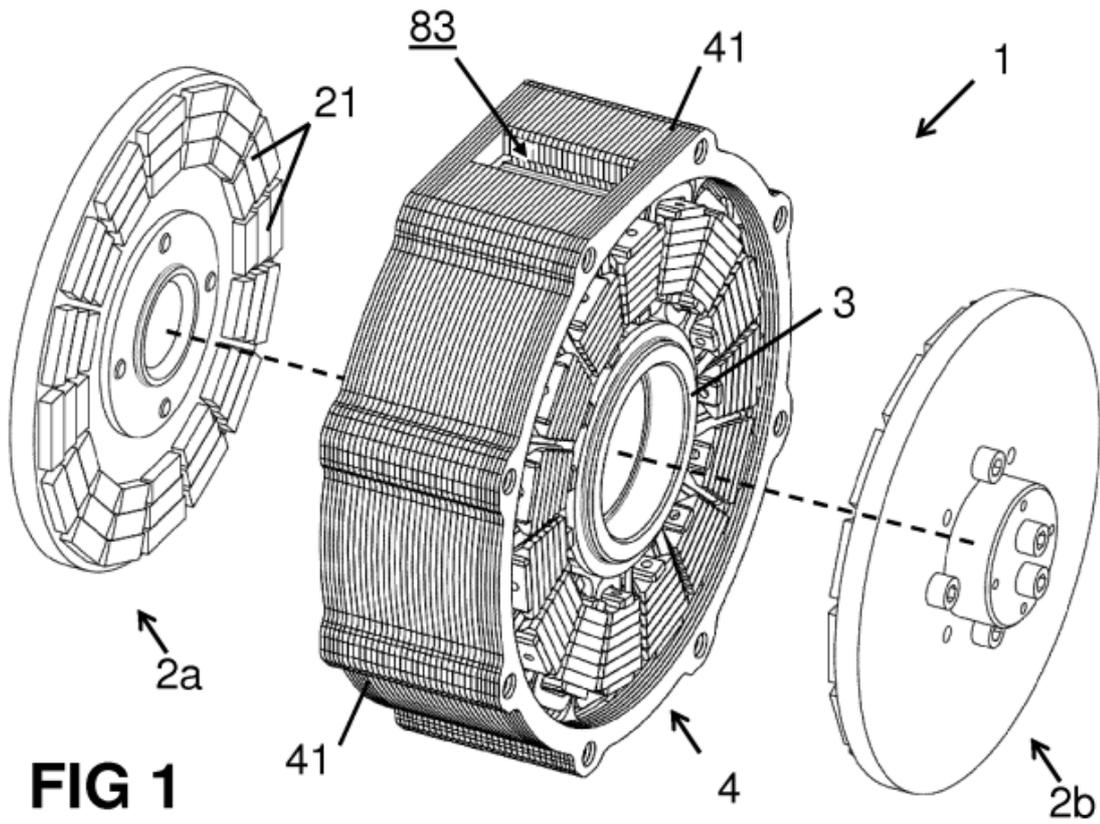
5 Números de referencia:

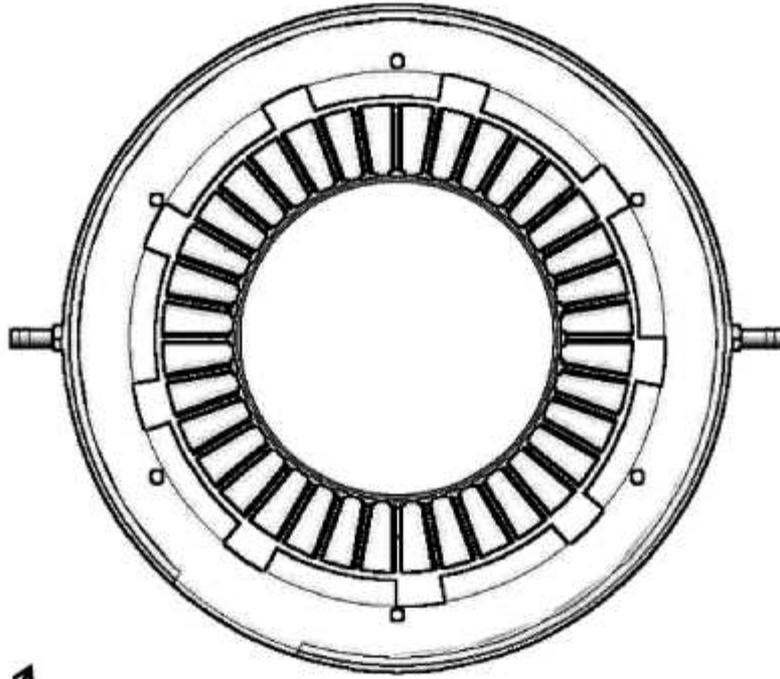
- 1: máquina eléctrica de flujo axial, 2: rotor, 21: imanes permanentes, 3: cojinete, 31: superficie exterior del cojinete, 32: superficie interior del cojinete, 4: estator, 41: alojamiento del estator que comprende una porción circunferencial y porciones alargadas, 42: superficie interior, 43: laminación, 44: porción circunferencial de la laminación, 45: porción alargada dirigida radialmente hacia adentro, 46: muesca (o cavidad o ranura o similar) en laminación, 47: orificio, 49: muesca (o cavidad o ranura o similar) en el cuerpo anular monolítico, 5: diente de estator discreto, 51: material ferromagnético o núcleo ferromagnético, 52: devanado, 53: aislamiento eléctrico, 6: material de relleno, 7: elementos en forma de peine, 71: primera parte, 72: dedos, 81: pila laminada parcial, 82: pila laminada que forma un cuerpo tubular que comprende una porción circunferencial y una pluralidad de porciones alargadas que se extienden desde allí, 83: abertura (opcional) en la porción circunferencial, 84: pila de porciones alargadas que forman una "pared", 85: superficie exterior del alojamiento, 86: canal, 87: cuerpo integral con forma anular, 88: cavidad, 89: cavidad,

REIVINDICACIONES

1. Un estator sin yugo (4) para una máquina eléctrica de flujo axial (1), que comprende:
 - un alojamiento (41) que comprende una porción circunferencial (44; 48);
 - una pluralidad de dientes de estator discretos (5) dispuestos dentro de la porción circunferencial, comprendiendo cada diente de estator discreto un material ferromagnético y un devanado eléctrico (52) enrollado alrededor de dicho material ferromagnético;
 - comprendiendo el alojamiento (41) además una pluralidad de porciones alargadas (45; 72) que se extienden en una dirección radialmente hacia adentro desde dicha porción circunferencial,
- 5 las porciones alargadas (45; 72) con un extremo proximal conectado mecánicamente a la porción circunferencial y que está en contacto térmico con dicha porción circunferencial, y que tiene una porción distal o un extremo distal que está físicamente ubicado entre los devanados eléctricos (52) de los dientes de estator (5) adyacentes;
- 10 - un material de relleno eléctricamente aislante (6) que llena el espacio vacío dentro de dicha porción circunferencial (44; 48) entre dicha pluralidad de dientes de estator (5) y dicha pluralidad de porciones alargadas (45; 72),
- 15 en donde dicha porción circunferencial de dicho alojamiento está hecha de un primer material no ferromagnético y dichas porciones alargadas están hechas de un segundo material no ferromagnético, y se caracteriza por que dicho alojamiento comprende una estructura laminada, comprendiendo dicha estructura laminada al menos parte de dicha pluralidad de porciones alargadas dirigidas hacia dentro.
2. Estator (4) según la reivindicación 1, que comprende además un elemento central dispuesto dentro de dicho alojamiento (41);
- 20 - la pluralidad de dientes de estator discretos (5) dispuestos en un espacio entre la porción circunferencial y el elemento central;
- extendiéndose las porciones alargadas (45; 72) en una dirección radialmente hacia dentro desde dicha porción circunferencial hacia el elemento central;
- 25 - un material de relleno eléctricamente aislante (6) que llena el espacio vacío entre dicha porción circunferencial (44; 48) y el elemento central y dicha pluralidad de dientes de estator (5) y dicha pluralidad de porciones alargadas (45; 72).
3. Estator (4) según la reivindicación 1 o 2, en donde dicho primer material no ferromagnético y dicho segundo material no ferromagnético son idénticos.
4. Estator (4) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha estructura laminada comprende una pluralidad de laminaciones (43) apiladas una encima de la otra, teniendo dichas laminaciones (43) una forma que comprende al menos una parte de dicha porción circunferencial (44).
- 30 5. Estator (4) según la reivindicación 4, en donde dichas al menos algunas de dichas laminaciones (43) comprenden dos o más segmentos de laminación, cada uno de los cuales tiene dicha parte de dicha porción circunferencial (44) que abarca un arco menor de 360°.
- 35 6. Estator (4) según la reivindicación 4 o 5, en donde dichas al menos algunas de dichas laminaciones (43) comprenden además dicha parte de dicha pluralidad de porciones alargadas dirigidas radialmente hacia dentro (45) formadas integralmente con dicha porción circunferencial (44).
7. Estator (4) según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en donde todas las laminaciones son idénticas, o en donde dichas laminaciones (43) comprenden un primer tipo de laminaciones que comprenden una pluralidad de porciones alargadas dirigidas radialmente hacia adentro (45) formadas integralmente con la porción circunferencial (44), y un segundo tipo de laminaciones que comprenden solo una porción circunferencial (44) pero ninguna porción alargada dirigida radialmente hacia adentro (45).
- 40 8. Estator (4) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde dicho alojamiento del estator (41) comprende un cuerpo anular monolítico (48) como la porción circunferencial.
- 45 9. Estator (4) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde una pared interna de dicha porción circunferencial de dicho alojamiento comprende una pluralidad de muescas o ranuras (49) para montar dicha pluralidad de porciones alargadas (72).
10. Estator (4) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha estructura laminada comprende una pluralidad de placas alargadas apiladas una encima de la otra formando al menos parte de dicha pluralidad de porciones alargadas dirigidas hacia dentro.
- 50

11. Estator (4) según la reivindicación 9 o 10, en donde dicha estructura laminada comprende una pluralidad de elementos en forma de peine que forman al menos parte de dicha pluralidad de porciones alargadas dirigidas hacia dentro.
- 5 12. Estator (4) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho material de relleno (6) es una resina o comprende una resina y material fibroso.
13. Máquina eléctrica de flujo axial (1) que comprende un estator sin yugo (4) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores y al menos un rotor (2a, 2b) montado giratoriamente en dicho estator (4).
14. Un método para producir un estator sin yugo (4) para una máquina eléctrica de flujo axial (1), que comprende las etapas de:
- 10 a) proporcionar (1101) un alojamiento del estator (41, 48) que comprende una porción circunferencial (82; 87) hecha de un primer material no ferromagnético y una pluralidad de porciones alargadas (45; 72) hechas de un segundo material no ferromagnético y que se extienden desde dicha porción circunferencial en una dirección radialmente hacia adentro,
- 15 las porciones alargadas (45; 72) con un extremo proximal que está conectado mecánicamente a la porción circunferencial y está en contacto térmico con dicha porción circunferencial,
- las porciones alargadas adaptadas para definir una pluralidad de cavidades (88, 89) para recibir una pluralidad de dientes de estator discretos (5);
- al menos algunas de dichas porciones alargadas comprendidas en una estructura laminada de dicho alojamiento del estator,
- 20 b) disponer (1103) una pluralidad de dientes de estator discretos (5) en dicha pluralidad de cavidades (88, 89), comprendiendo cada diente de estator discreto (5) un material ferromagnético o núcleo ferromagnético y un devanado eléctrico (52) enrollado alrededor de dicho material ferromagnético o núcleo ferromagnético;
- c) aumentar (1104) una temperatura de la disposición a una temperatura en el intervalo de 50°C a 250°C, y mientras se mantiene esta temperatura, llenar el espacio vacío dentro de dicha porción circunferencial (82, 87) con un material de relleno eléctricamente aislante (6);
- 25 d) permitir (1105) que el material de relleno (6) se endurezca y/o cure.
15. Un método para producir un estator sin yugo (4) según la reivindicación 14, en donde la etapa (1101) de proporcionar el alojamiento comprende una de las siguientes alternativas:
- 30 i) apilar una pluralidad de laminaciones (43) una encima de la otra, al menos algunas de dichas laminaciones (43) con una forma que comprende una porción circunferencial (44) y una pluralidad de porciones alargadas (45) que se extienden desde dicha porción circunferencial (44) en una dirección radialmente hacia adentro;
- ii) apilar una pluralidad de laminaciones (43) una encima de la otra, teniendo un primer grupo de dichas laminaciones (43a) una primera forma que comprende una porción circunferencial (44) y una pluralidad de porciones alargadas (45) que se extienden desde dicha porción circunferencial en una dirección radialmente hacia adentro, teniendo un segundo grupo de dichas laminaciones (43b) una forma que comprende solo una porción circunferencial externa (44) sin porciones alargadas que se extienden desde dicha porción circunferencial (44) en una dirección radialmente hacia adentro;
- 35 iii) apilar una pluralidad de laminaciones (43c) una encima de la otra, teniendo al menos algunas de dichas laminaciones una forma que comprende una porción circunferencial (44) y una pluralidad de muescas (46) para montar una o más de dicha pluralidad de porciones alargadas (72) comprendidas en un elemento en forma de peine (7);
- 40 iv) proporcionar un cuerpo anular integral (48) que comprende una pluralidad de muescas o ranuras (49) para montar una o más de dicha pluralidad de porciones alargadas (72) comprendidas en un elemento en forma de peine (7).
16. Método según la reivindicación 15 en el caso de la alternativa iii) o iv), que comprende además la etapa de montar dichos elementos en forma de peine (7) en la porción circunferencial (82, 87) de dicho alojamiento del estator por medio de soldadura, soldadura fuerte, cobresoldadura, ajuste a presión o pegado.
- 45 17. Un método para producir una máquina eléctrica de flujo axial (1), que comprende las etapas de:
- producir un estator sin yugo (4) según cualquiera de los métodos de las reivindicaciones 14 a 16;
 - montar de modo giratorio (1107) uno o más rotores (2a, 2b) al estator sin yugo (4).





↗
200

FIG 3 (técnica anterior)

FIG 4

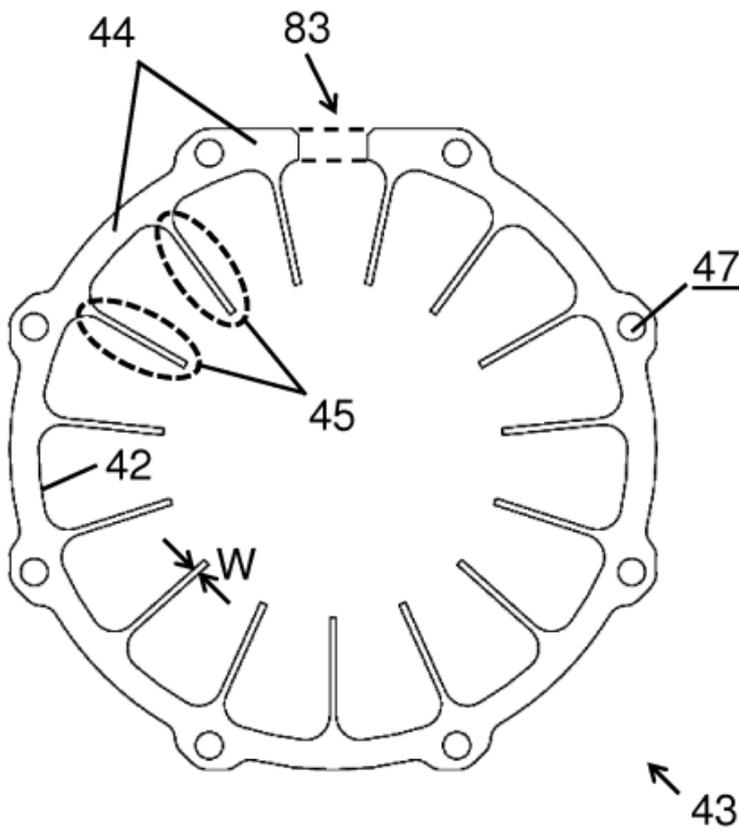
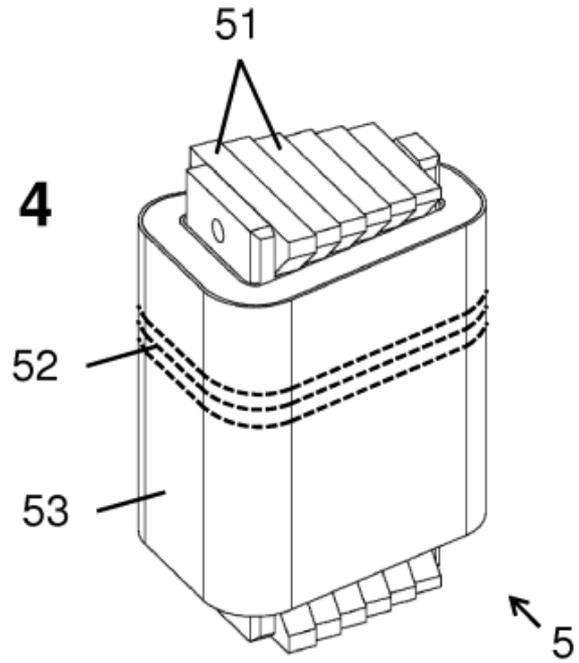
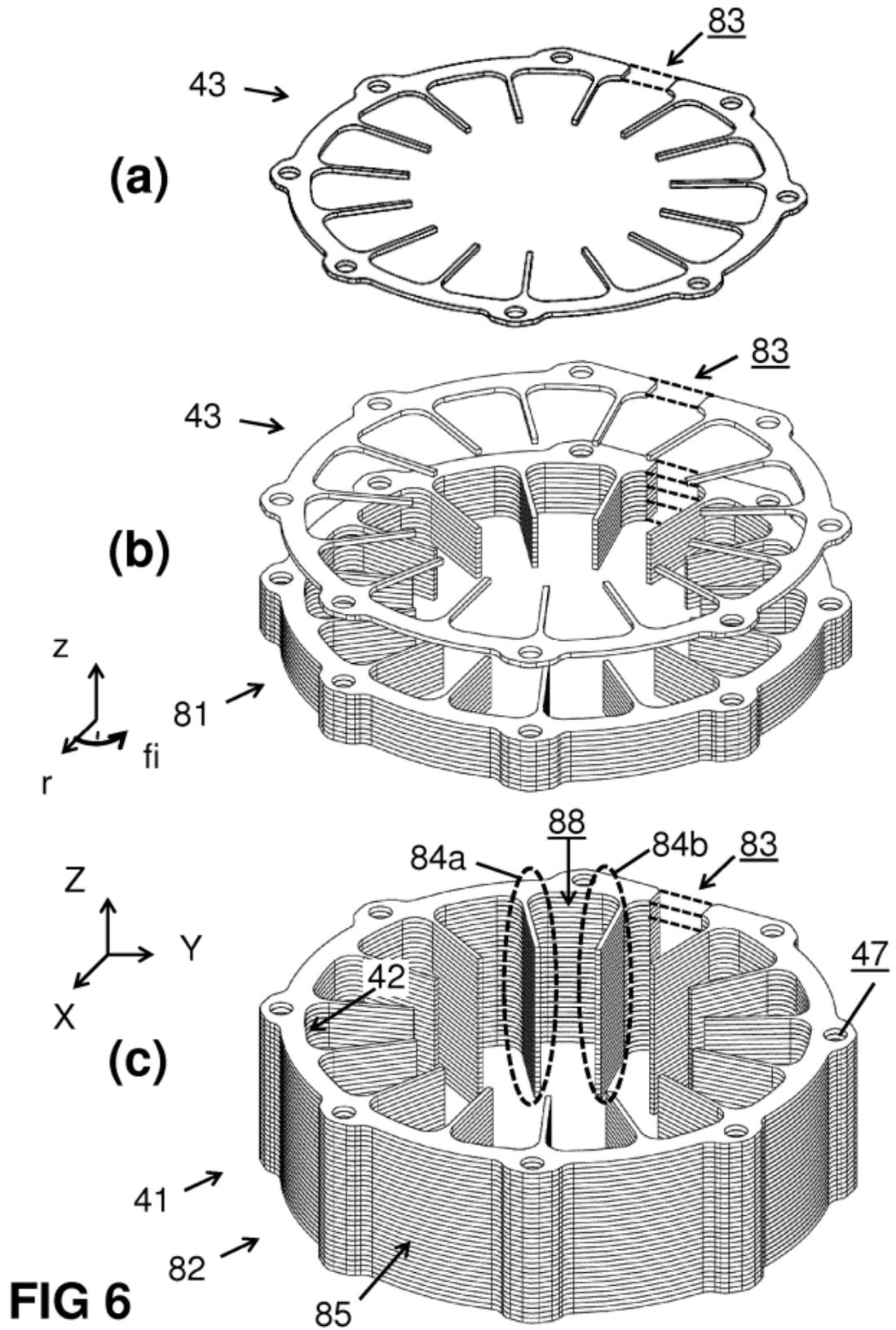


FIG 5



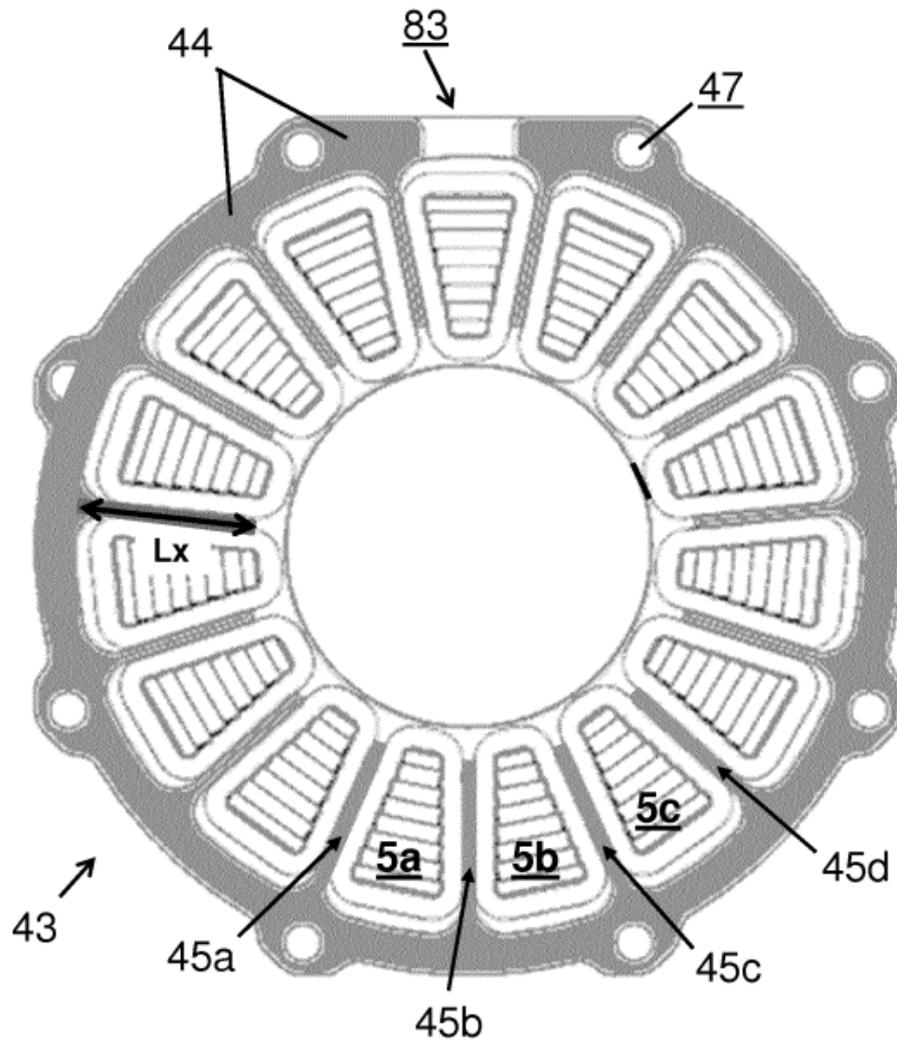


FIG 7

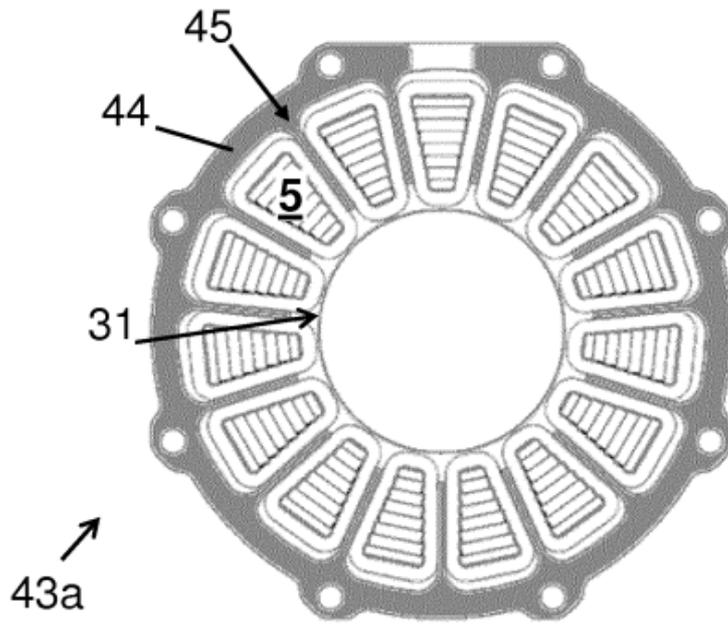


FIG 8(a)

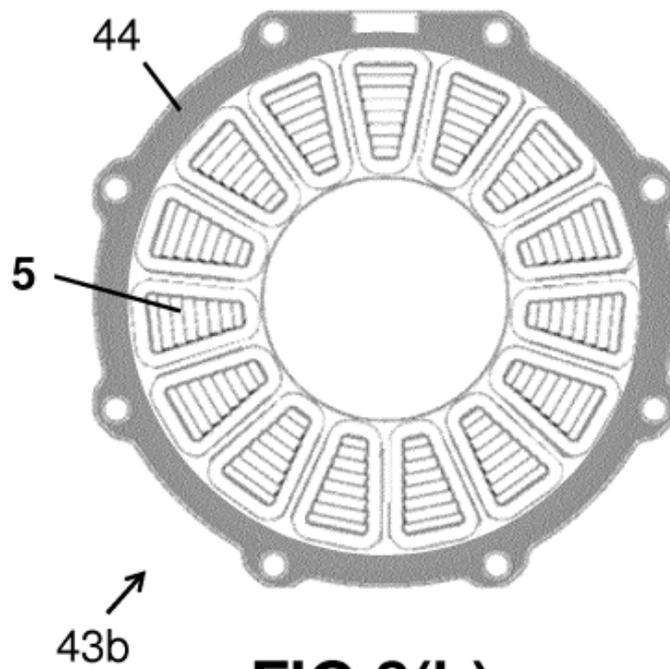


FIG 8(b)

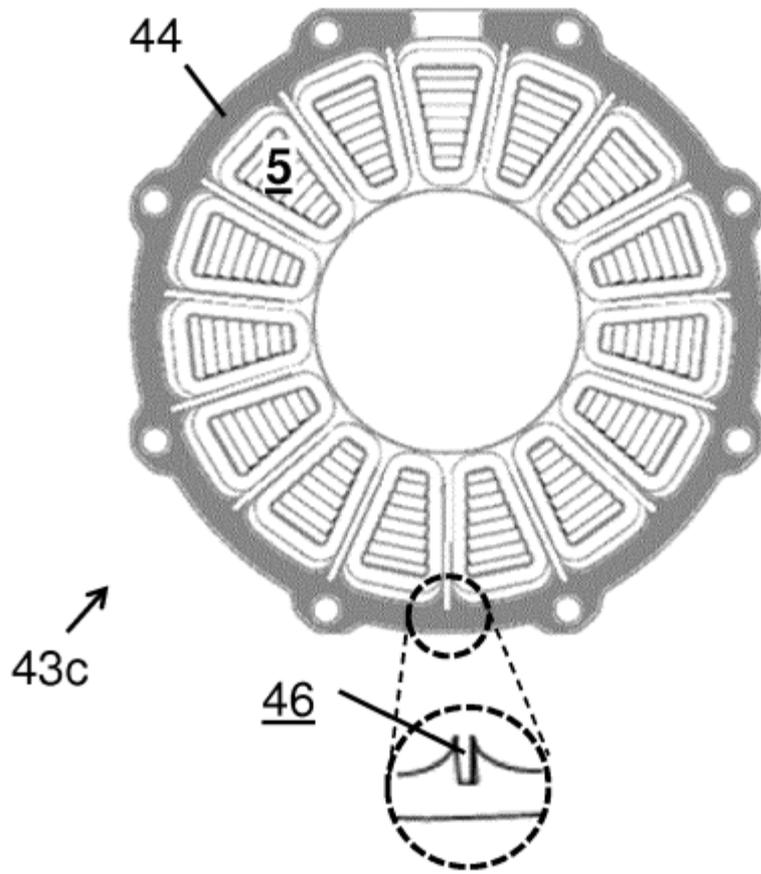
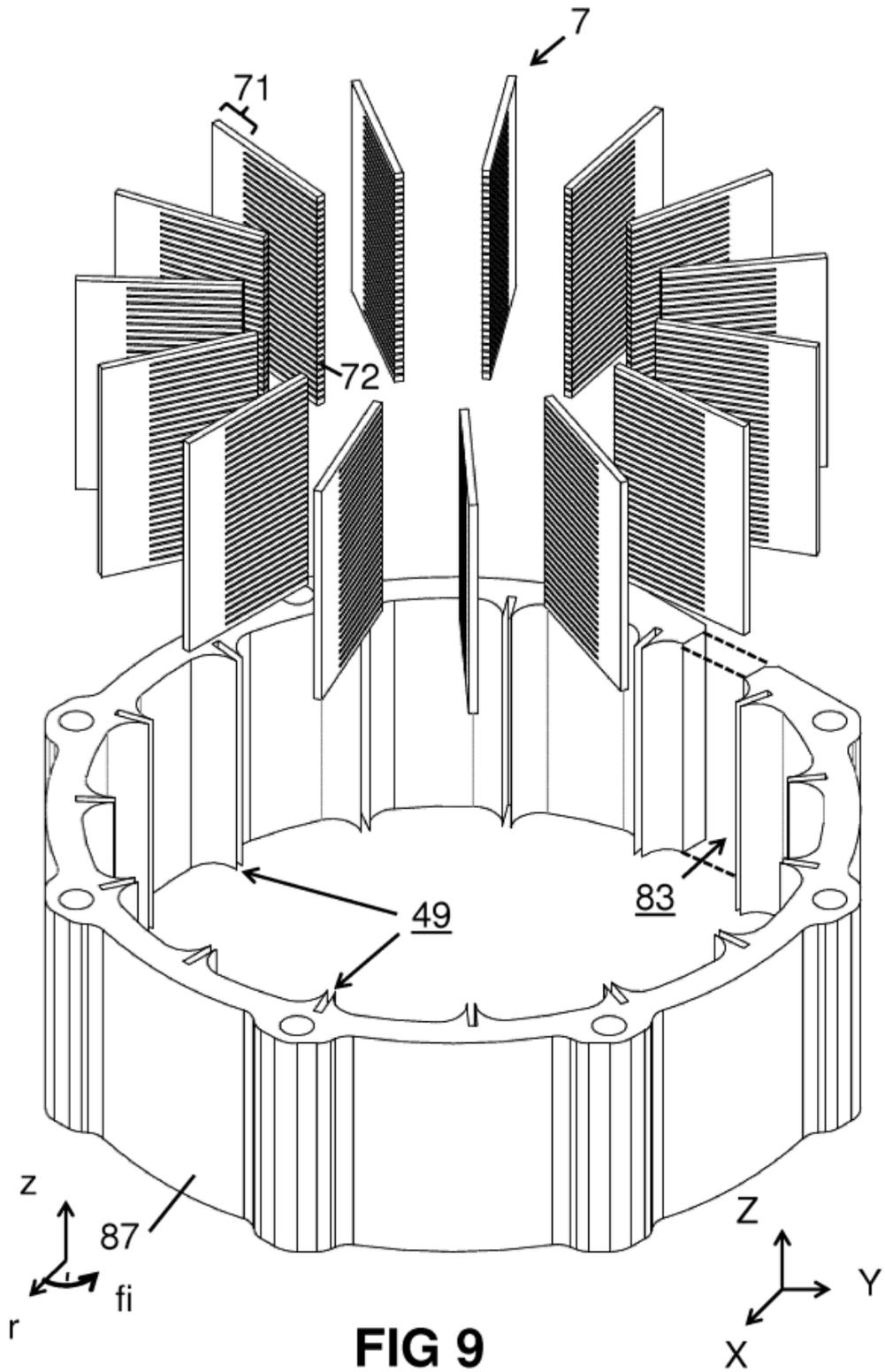
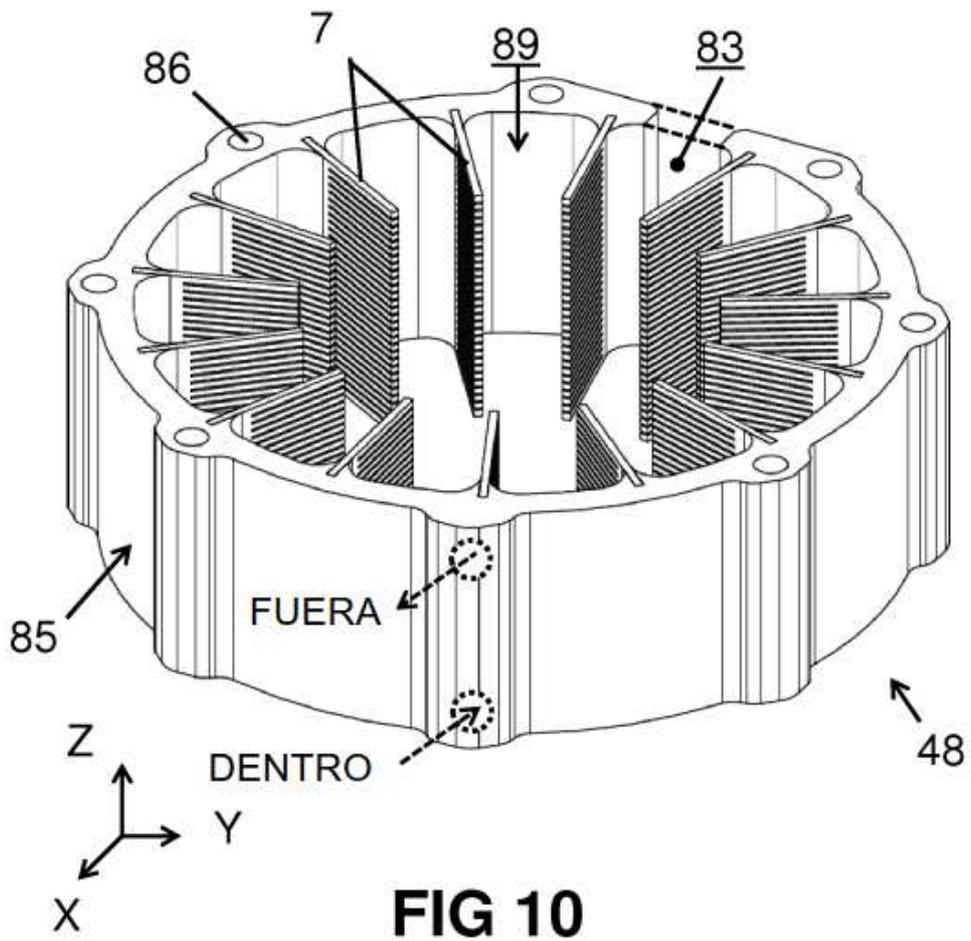


FIG 8(c)





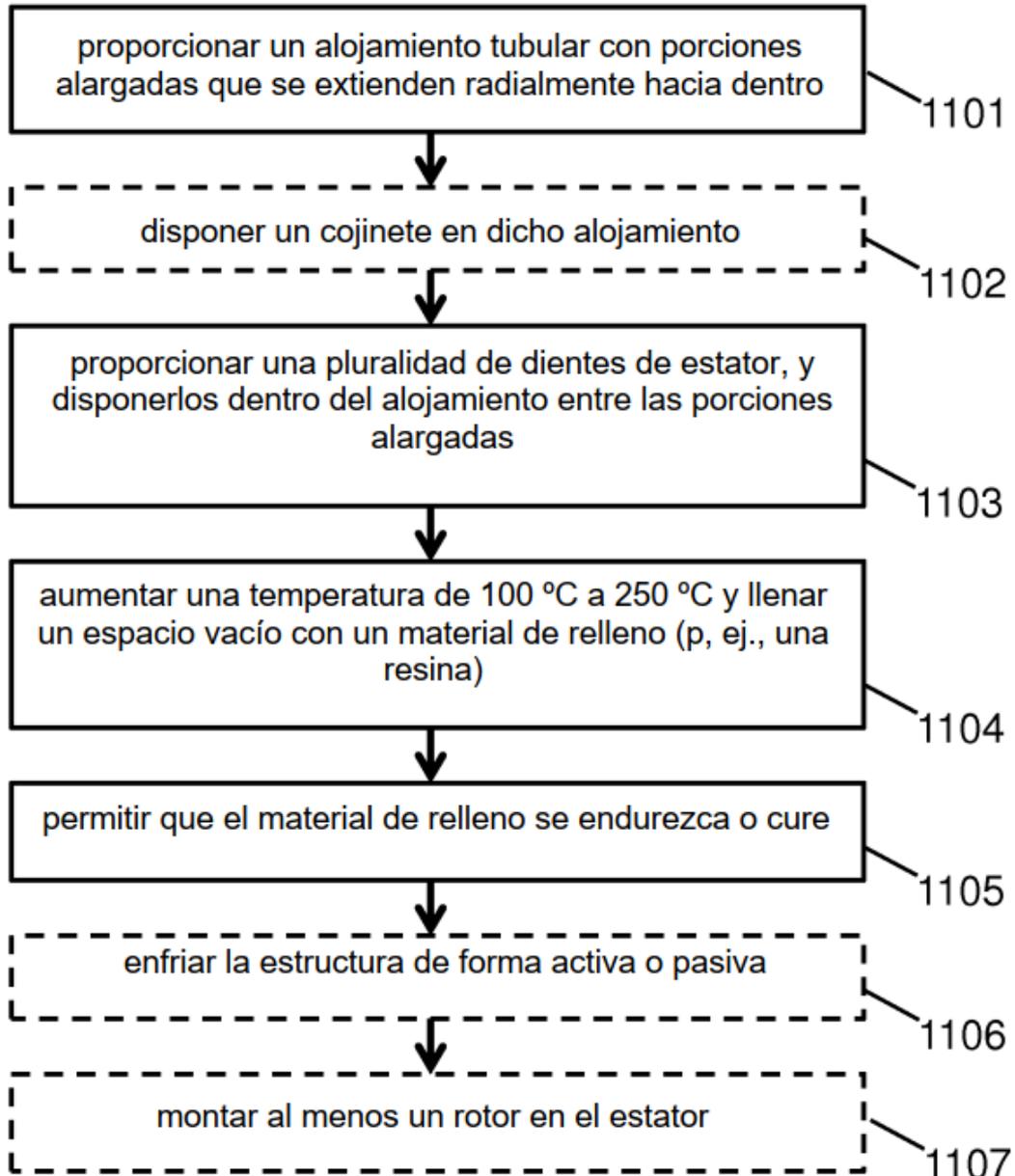


FIG 11



FIG 12 (técnica anterior)

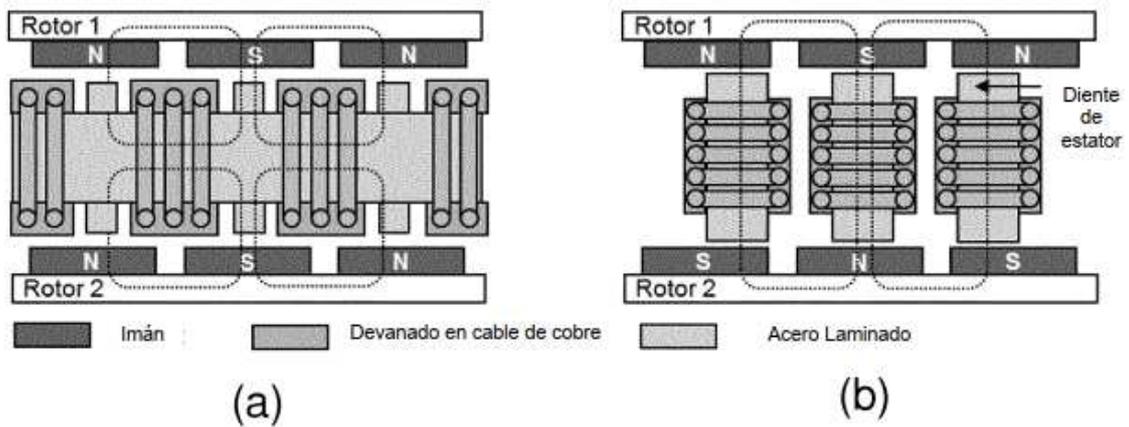


FIG 13 (técnica anterior)

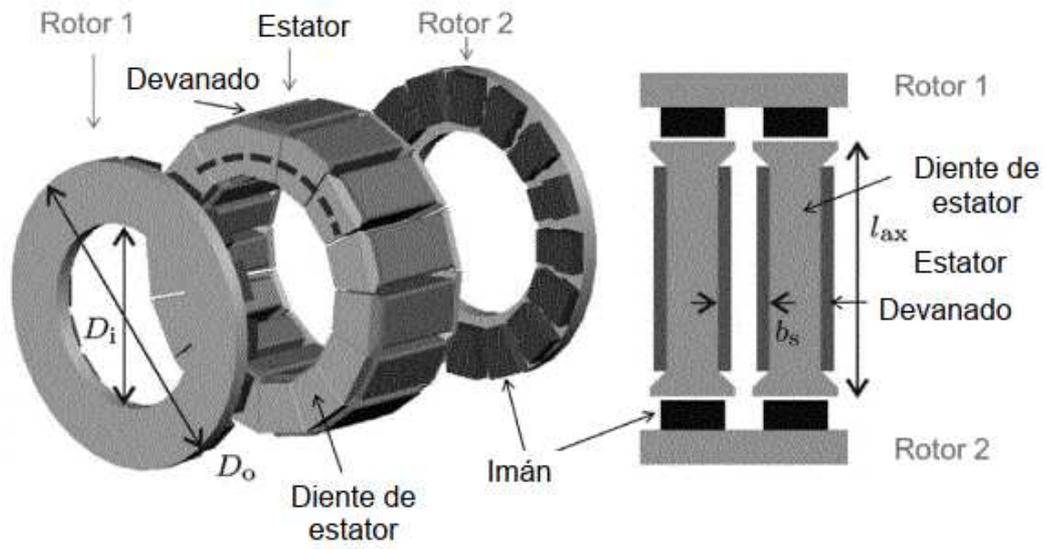


FIG 14 (técnica anterior)