



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 358 011**

51 Int. Cl.:  
**H02K 3/32** (2006.01)  
**H02K 3/50** (2006.01)  
**H02K 15/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01988967 .4**  
96 Fecha de presentación : **24.10.2001**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1273086**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.01.2003**

54 Título: **Máquina eléctrica rotativa y procedimiento de fabricación.**

30 Prioridad: **25.10.2000 FR 00 13783**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**04.05.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**04.05.2011**

73 Titular/es:  
**MICHELIN RECHERCHE ET TECHNIQUE S.A.**  
**route Louis Braille 10**  
**1763 Granges-Paccot, CH**

72 Inventor/es: **Bourqui, Gérald;**  
**Linda, Jean-Louis;**  
**Meuwly, Roger y**  
**Tornare, Marcel**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 358 011 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

La presente invención se refiere a las máquinas eléctricas rotativas, motrices o generadoras, y, más precisamente, a los estatores de estas.

5 En una construcción o estructura habitual, el estator de tales máquinas comprende un circuito magnético y bobinados de hilos conductores de la electricidad, realizados, en general, de hilo de cobre aislado, a menudo de sección redonda. En cuanto al circuito magnético, este es de estructura hojosa o en hojas; está constituido por un apilamiento de hojas metálicas magnéticas. Cada hoja metálica está recortada con el propósito de incorporar unas entalladuras o muescas delimitadas por unos dientes, de tal modo que las muescas constituyen el alojamiento de los hilos conductores eléctricos. Este principio de disposición del estator se ha  
10 aplicado de forma generalizada en las máquinas sincrónicas o asincrónicas.

Existen aplicaciones para las que es deseable alcanzar, a la vez, potencias importantes y una gran compacidad del motor. Por dar solo un ejemplo concreto, cuando se pretende instalar motores eléctricos de tracción en las ruedas de vehículos automóviles, es deseable poder desarrollar potencias de una magnitud de al menos 10 kW por motor, e incluso, la mayor parte del tiempo, de al menos 25 kW o 30 kW por motor, para un peso lo más pequeño posible, a fin de no hacer demasiado pesadas las masas no suspendidas. Es igualmente deseable que el volumen sea también muy reducido, de manera que no sobrepase, o sobrepase lo menos posible, el volumen interior de la rueda para no interferir o interponerse con los elementos del vehículo durante las sacudidas de la suspensión y durante otros tipos de movimiento de la rueda con respecto a la carrocería del  
15 vehículo.

20 Estos imperativos (potencia elevada, volumen ocupado y peso pequeños) hacen que sea muy problemática la implantación de motores eléctricos de tracción en las ruedas de los vehículos de turismo, salvo que se mejore radicalmente la relación de peso / potencia de las máquinas eléctricas actualmente disponibles en el mercado.

25 Por otra parte, es necesario contener el calentamiento debido a las pérdidas de las máquina por debajo de ciertos límites, so pena de provocar degradaciones irreversibles, en particular, en el aislamiento de los conductores eléctricos. Las calorías producidas en los conductores del estator deben, por tanto, ser evacuadas de un modo tan eficaz como sea posible.

30 En las aplicaciones más exigentes, es ya una práctica bien conocida refrigerar las máquinas eléctricas rotativas por medio de un líquido. En este caso, una circulación forzada del líquido se produce en el interior mismo de la máquina eléctrica rotativa, principalmente en el estator en el que se encuentran las bobinas eléctricas, a fin de conducir las calorías al exterior por medio de un intercambiador de calor.

35 Con el fin de mantener mecánicamente los conductores eléctricos en sus muescas, reforzar el aislamiento eléctrico y también, al objeto de contribuir a un intercambio térmico por conducción, es ya conocida la práctica de impregnar los conductores eléctricos en la resina que rellena las diferentes muescas y que recubre los rodets existentes a un lado y a otro del estator.

40 Por ejemplo, el documento US 3.874.073 así como el documento US 4.128.527 proponen composiciones cuyas partículas son de tamaño comprendido entre 74  $\mu\text{m}$  y 1.400  $\mu\text{m}$ , a la vez que indican que el tamaño de las partículas no deberá ser inferior a 70  $\mu\text{m}$ , condición en cuyo defecto la composición se vuelve demasiado viscosa. En cuanto al procedimiento de impregnación, la Patente US 3.710.437 propone hacer vibrar el conjunto que se ha de impregnar.

45 Desgraciadamente, si la impregnación de los conductores por la resina se revela indispensable en los motores de altas prestaciones, las resinas utilizadas para impregnar los conductores dentro de las muescas son materiales relativamente malos conductores del calor. Se conoce también la práctica de utilizar, para impregnar los conductores de los rodets, resinas cargadas, mejoras conductoras del calor. Desgraciadamente, las resinas que se utilizan en los rodets no son apropiadas para la impregnación de los conductores situados dentro de los rodets. Las cargas no pueden penetrar en los pequeños intersticios que quedan libres dentro de las muescas, y ello tanto más cuanto que, en los motores de altas prestaciones, lo que se busca es alcanzar una proporción elevada de relleno de las muescas con cobre.

50 Además, la evacuación de las calorías generadas dentro de las muescas resulta problemática. En efecto, a menudo quedan defectos de impregnación, es decir, burbujas (aire, productos de desgasificación) que quedan aprisionadas en el interior de la masa de conductores y de resina. La consecuencia de ello es que el intercambio térmico en el lugar en que existen estos defectos de impregnación es de un rendimiento aún bastante más bajo, ya que no puede efectuarse por conducción. Resulta de ello una elevación local de la temperatura, perjudicial para una buena conservación de los aislantes eléctricos utilizados, lo que tiene como  
55 consecuencia fenómenos de chasquidos o sacudidas térmicas de las máquinas eléctricas rotativas.

La invención tiene como propósito mejorar radicalmente los comportamientos térmicos de las máquinas eléctricas rotativas. Tiene como propósito llevar a cabo una impregnación mucho más homogénea y de una calidad mucho mayor de los conductores eléctricos situados dentro de las muescas. El propósito de esta es permitir la impregnación por una resina que sea lo suficientemente buena conductora térmica. Esto es de particular importancia si lo que se pretende es elevar el par nominal de una máquina eléctrica rotativa. A este fin, se desea poder inyectar una corriente lo más elevada posible. Ello tiene como consecuencia inevitables pérdidas por efecto Joule, por el cual se producen calorías con origen en los conductores situados en las muescas y en los rodets y que es necesario evacuar tan eficazmente como sea posible.

A este efecto, la invención propone una máquina eléctrica rotativa que presenta las características de las reivindicaciones independientes 1 y 2. La invención se refiere a una máquina eléctrica rotativa que comprende un estator, de tal manera que el estator comprende un circuito magnético de estructura hojosa, o en hojas, el cual comprende un apilamiento de hojas metálicas magnéticas dispuestas sensiblemente paralelas a un plano perpendicular al eje de rotación del rotor de la máquina, de tal modo que el circuito magnético comprende una pluralidad de dientes, delimitando los dientes unas entalladuras o muescas orientadas longitudinalmente, de modo que unos hilos conductores de la electricidad se disponen dentro de las muescas de forma tal, que la relación entre la suma de las secciones de los cuadrados circunscritos trazados alrededor de la sección de cada hilo conductor, y la sección útil de muesca es, para cada muesca, superior a 0,7. Los hilos eléctricos son inmovilizados dentro de las muescas por medio de una composición de impregnación de muesca que contiene una resina termoendurecible y una carga, de tal manera que dicha composición de impregnación de muesca comprende al menos el 65% en masa de dicha carga.

La relación anteriormente indicada denota una proporción de rellenado de las muescas por los hilos conductores muy elevada. Se trata de construir máquinas de gran potencia en relación con su masa.

Bajo un primer aspecto, la granulometría de la carga de la composición de impregnación de muesca es tal, que el tamaño medio de las partículas de que está constituida es inferior a aproximadamente 15  $\mu\text{m}$ , y es tal, que al menos aproximadamente el 80% en masa de las partículas tiene un tamaño inferior a 25  $\mu\text{m}$ .

De hecho, la caracterización de la carga que se ha indicado en lo anterior no es independiente del diámetro, o, más generalmente, del tamaño de la sección de los hilos conductores utilizados. Si la caracterización indicada está muy bien adaptada a hilos cuyo diámetro es del orden de 1,2 mm a 1,5 mm, estando ellos mismos bien adaptados a máquinas de gran potencia por unidad de masa a las que se refiere la invención, puede también considerarse que, bajo otro aspecto, la granulometría de la carga es tal, que el tamaño máximo de las partículas de las que está constituida es inferior a  $0,045 \cdot \phi$ , siendo  $\phi$  el diámetro de los hilos conductores de la electricidad dispuestos en las muescas.

De preferencia, la granulometría de la carga es tal, que a lo sumo el 3% en masa de las partículas tiene un tamaño superior a 50  $\mu\text{m}$ .

Esta carga es, de preferencia, de harina de sílice (óxido de silicio), de cuarzo (forma cristalizada de sílice), de nitruro de aluminio o de aluminio. Se ha descubierto que estas cargas, en particular cuando se utilizan de acuerdo con el procedimiento proporcionado más adelante, mejoran radicalmente el comportamiento de una máquina eléctrica.

Se sabe, por otra parte, que el estator comprende unos rodets en los dos extremos axiales del circuito magnético. La invención se extiende también a una máquina eléctrica rotativa en la que los conductores situados dentro de los rodets son impregnados con una composición de impregnación de rodete que contiene una resina termoendurecible y una carga de granulometría más alta que la granulometría de la carga de la composición de impregnación de muesca.

Para fijar ideas, la diferencia de granulometrías puede establecerse cualitativamente haciendo referencia al tamaño de las partículas y a la distribución entre diferentes tamaños. Por ejemplo, la carga de granulometría elevada comprende aproximadamente del 30% al 55% en masa de partículas cuyo tamaño está comprendido entre 500  $\mu\text{m}$  y 1.000  $\mu\text{m}$ ; comprende aproximadamente del 25% al 45% en masa de partículas cuyo tamaño está comprendido entre 200  $\mu\text{m}$  y 600  $\mu\text{m}$ , y el resto está constituido por al menos el 5% en masa de partículas de las que al menos el 80% en masa tienen un tamaño inferior a 25  $\mu\text{m}$  y, de preferencia, inferior a aproximadamente 20  $\mu\text{m}$ , y a lo sumo el 3% en masa tiene un tamaño superior a 50  $\mu\text{m}$  y, de preferencia, a 45  $\mu\text{m}$ , aproximadamente.

Por su parte, la carga de granulometría menos elevada se caracteriza por un tamaño medio de las partículas inferior a aproximadamente 15  $\mu\text{m}$  y, de preferencia, inferior a aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ , y comprende al menos el 80% en masa aproximadamente de partículas cuyo tamaño es inferior a 25  $\mu\text{m}$  y, de preferencia, inferior a 20  $\mu\text{m}$ , aproximadamente, y no comprende más que aproximadamente el 3% en masa de

partículas cuyo tamaño es superior a 50 µm y, de preferencia, a 45 µm, aproximadamente.

Se ha constatado que semejante carga permite mejorar la conductividad térmica de la composición de impregnación de muesca y que la mejora de las propiedades de conductividad térmica de la composición no se ve acompañada por un aumento perjudicial de la viscosidad de la composición.

5 De preferencia, para alcanzar valores de conductividad térmica verdaderamente muy importantes para un material de impregnación de muesca, dicha composición de impregnación de muesca comprende al menos el 70% en masa de dicha carga.

10 La invención propone un procedimiento de fabricación de un estator de máquina eléctrica rotativa, de tal modo que dicho estator comprende un circuito magnético de estructura hojosa, o en hojas, que comprende un apilamiento de hojas metálicas magnéticas dispuestas sensiblemente paralelas a un plano perpendicular al eje de rotación del rotor de la máquina, de tal modo que el circuito magnético comprende una pluralidad de dientes, de forma que los dientes delimitan unas entalladuras o muescas orientadas longitudinalmente, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:

15 - instalar hilos eléctricos conductores en las muescas y formar unos rodetes en los dos extremos axiales del circuito magnético;

- instalar según un eje vertical el conjunto que comprende el circuito magnético que soporta los conductores situados dentro de las muescas y los rodetes;

- impregnar en vacío los conductores situados dentro de las muescas con una composición de impregnación de muesca que comprende una resina termoendurecible y una carga;

20 - proceder a la polimerización de la composición.

De acuerdo con la reivindicación 14, la invención propone otro aspecto del procedimiento descrito en lo anterior, que comprende las siguientes etapas:

25 - después de haber instalado según un eje vertical el conjunto que comprende el circuito magnético que soporta los conductores dentro de las muescas y los rodetes, y antes de impregnar en vacío los conductores situados dentro de las muescas, impregnar el primer rodete, en posición axialmente superior, con una composición de impregnación de rodete, la cual comprende una resina termoendurecible y una carga de granulometría elevada;

- devolver o restituir dicho conjunto e instalarlo de nuevo según un eje vertical, de tal manera que el primer rodete se convierte en el rodete inferior;

30 - impregnar en vacío los conductores situados dentro de las muescas con una composición de impregnación de muesca que comprende una resina termoendurecible y otra carga de granulometría más pequeña que la granulometría de la carga de la primera composición;

- impregnar el segundo rodete con una composición de impregnación de rodete, la cual comprende una resina termoendurecible y una carga de granulometría elevada;

35 - proceder a la polimerización de dichas composiciones.

En los dibujos que se acompañan,

la Figura 1 es un corte que comprende el eje de una máquina rotativa, el cual ilustra una fase inicial del procedimiento que ilustra la invención;

la Figura 2 es un corte parcial según AA de la Figura 1;

40 la Figura 3 es un corte que comprende el eje de la máquina rotativa, el cual ilustra una fase ulterior del procedimiento de acuerdo con la invención;

la Figura 4 es un corte que comprende el eje de la máquina rotativa, el cual ilustra una fase final del procedimiento de acuerdo con la invención;

45 la Figura 5 es un corte que comprende el eje de la máquina rotativa, el cual muestra el estator así obtenido;

la Figura 6 es un corte que comprende el eje de una máquina rotativa de acuerdo con la invención, el cual muestra el estator y el rotor.

La invención propone una composición de impregnación específica para impregnar unos conductores eléctricos de cobre barnizado. En lo que sigue se describe la aplicación en la impregnación dentro de las muescas y en la impregnación dentro de los rodetes. Las composiciones propuestas comprenden una resina termoendurecibles y diversos aditivos para su puesta en práctica. Más adelante se dan algunos ejemplos no limitativos con el fin de que la exposición de la invención sea completa. Sin embargo, al no referirse la invención a la resina en sí misma, es posible adoptar numerosas variantes, y el experto en la materia está invitado a referirse también al estado de la técnica convencional en lo que se refiere a la resina.

La preparación de la composición de impregnación de muesca puede llevarse a cabo como sigue. En un primer ejemplo, se hace uso de una harina o polvo de sílice (SIKRON B800, disponible en la Quarz Werke) para llevarla a 130°C. Se prepara la formulación de resina epoxídica. Se mezclan 100 partes (en masa) de resina CY 179 con 115 partes de endurecedor HY 917. Se introducen 30 partes de agente de flexibilización DY040 y de 0,05 partes de agente acelerador DY070, según la velocidad de reticulado o cristalización deseada (todos los productos referentes a la resina que se indican se encuentran disponibles en la VANTICO). A continuación, se lleva esta composición a una temperatura de 100°C y se le añaden algunas gotas –es decir, aproximadamente entre 0,05 y 0,10 partes– de BYK A501 (BYK-CHEMIE), un aditivo antiespumante. Se introducen progresivamente 455 partes de carga en 245 partes de resina, y se mezclan hasta la obtención de un líquido homogéneo, al tiempo que permanecen a una temperatura elevada. La mezcla final se desgasifica en vacío hasta que desaparecen las burbujas. La composición obtenida comprende, de esta forma, aproximadamente el 65% en masa de carga y el 35% en masa de resina. La composición de impregnación de muesca está, así, lista para ser colada. La carga utilizada es de granulometría pequeña, de una fluidez suficiente para la aplicación en cuestión, y garantía de una conductividad térmica que sigue siendo significativa (del orden de 0,9 W/mK).

Otra composición de impregnación de resina puede ser realizada utilizando como carga aluminio u óxido de aluminio (CL 4400 FG, disponible en la ALCOA). Se parte del aluminio para llevarlo a 140°C. Para preparar la resina, se mezclan 100 partes (en masa) de resina CY 179 con 115 partes de agente endurecedor HY 917. Se introducen 30 partes de agente de flexibilización DY040 (todos los productos indicados aquí, en lo anterior, se encuentran disponibles en la VANTICO). Se añaden 6 partes de aditivo dispersante BYK 9010 (BYK-CHEMIE) y algunas gotas –es decir, aproximadamente 0,10 partes) de aditivo antiespumante (BYK A501, de la BYK-CHEMIE). A continuación, se lleva esta composición a una temperatura del orden de entre 60°C y 70°C. Se introducen rápidamente 714 partes de carga en 251 partes de resina, y se mezclan hasta que se obtiene una suspensión homogénea utilizable para la impregnación. La mezcla final se desgasifica en vacío hasta que desaparecen las burbujas. La composición obtenida comprende aproximadamente el 74% en masa de aluminio y el 26% en masa de resina. La composición de impregnación de muesca queda, así, lista para ser colada y soporta temperaturas de puesta en servicio más elevadas (es posible calentarla para facilitar su puesta en servicio, en un bobinado asimismo calentado a aproximadamente 120°C). Tras la puesta en servicio, puede endurecerse esta composición por medio de unos escalones a diferentes temperaturas superiores a 140°C y de hasta 180°C. La conductividad térmica que se obtiene es más importante (del orden de 1,6 W/mK).

La utilización del aditivo dispersante permite incorporar una parte de carga bastante importante, lo que permite, cuando se sobrepasa el 70%, elevar significativamente la conductividad de la composición obtenida. Puede incluso alcanzarse una conductividad del orden de 2,0 W/mK si se incorpora el 80% de aluminio.

El hecho de aumentar en la composición el porcentaje de carga favorece normalmente el aumento de la conductividad térmica, principalmente si se sobrepasa un cierto umbral. Pero esto aumenta también la viscosidad y puede dificultar su puesta en práctica. La viscosidad es un parámetro importante, ya que es la viscosidad, combinada con la temperatura de puesta en práctica, la que contribuye sobre todo al hecho de que la composición de impregnación sea utilizable o no. Es de destacar que el grado de conductividad depende también de la regularidad de la distribución de la carga en la composición final. Efectivamente, el hecho de aumentar (por ejemplo, mediante el uso de un agente dispersante) la regularidad de la distribución de las partículas de carga implica una disminución de la viscosidad pero, igualmente, de la conductividad térmica. Desde este punto de vista, se tiene interés en que, a igualdad, por lo demás, de todas las otras cosas, la viscosidad de la composición lista para ser colada se encuentre en una magnitud suficientemente elevado, que sigue siendo compatible con la fase de impregnación ulterior que se va a describir.

En el ejemplo que sigue, referente todavía a la impregnación de muesca, se ha propuesto preparar dos mezclas intermedias denominadas mezclas A y B, ambas cargadas con aluminio (CL 4400 FG) previamente caldeado.

La mezcla A, preparada de acuerdo con el modo operativo que se ha indicado en el segundo ejemplo anterior, comprende los siguientes componentes: resina CY 179 (100 partes), agente de flexibilización

DY 040 (30 partes), agente dispersante BYK 9010 (2,4 partes), aditivo antiespumante BYK A501 (0,1 partes), carga CL 4400 FG (286 partes). La suspensión se almacena en un recipiente apropiado y se deja enfriar.

5 La mezcla B, preparada según el modo operativo que se ha indicado en el segundo ejemplo anterior, comprende los siguientes componentes: agente endurecedor HY 917 (115 partes), agente dispersante BYK 9010 (3,6 partes), aditivo antiespumante BYK A501 (0,1 partes), y carga CL 4400 FG (429 partes). La suspensión es almacenada en un recipiente apropiado y se deja enfriar.

Al no haber sido mezclados el agente endurecedor y la resina, las mezclas A y B pueden ser almacenadas varios días y, probablemente, un tiempo mucho más largo sin degradación perjudicial. A fin de preparar la composición de impregnación, se procede de la forma siguiente:

- 10
1. Poner a caldear las mezclas A y B entre 70°C y 80°C;
  2. Homogeneizar las suspensiones;
  3. Pesar las mezclas A (100 partes) y B (131 partes), mezclarlas y, después, desgasificar en vacío;

15 La resina de impregnación se aplica a continuación a una temperatura comprendida entre 80°C y 100°C.

20 Se proporciona en lo que sigue un ejemplo de composición de impregnación de rodete. Se utilizan 308 partes de aluminio o de óxido de aluminio (CL 4400 FG, disponible en la ALCOA), del que al menos el 80% en masa de las partículas tiene un tamaño inferior a 20 µm, y al menos el 3% en masa tiene un tamaño superior a 45 µm, 617 partes de aluminio, cuyas partículas tienen un tamaño comprendido entre 200 µm y 600 µm. Para preparar la resina, se mezclan 100 partes (en masa) de resina CY 179 con 115 partes de agente endurecedor HY 917. Se introducen 30 partes de agente de flexibilización DY040 (todos los productos indicados anteriormente se encuentran disponibles en la VANTICO). Se añaden aproximadamente 0,10 partes de aditivo antiespumante (BYK A501, de la BYK-CHEMIE). A continuación, se lleva esta composición a una temperatura del orden de 60°C a 70°C, se introduce la carga, previamente calentada a 140°C aproximadamente, en la resina, y se mezclan hasta obtener una suspensión homogénea utilizable. Se desgasifica en vacío la mezcla final hasta que desaparecen las burbujas. La composición obtenida comprende, de esta forma, aproximadamente el 85% en masa de carga y el 15% en masa de resina. Tras su aplicación, puede endurecerse esta composición por medio de escalones de diferentes temperaturas superiores a 140°C y de hasta 180°C. La conductividad térmica que se obtiene es muy elevada (del orden de 4,0 W/mK).

30 En resumen, la composición de impregnación de muesca comprende, ventajosamente, al menos el 65% de carga y, si se utiliza una composición optimizada para la impregnación de los rodetes, esta comprende, ventajosamente, al menos el 85% de carga.

Las composiciones indicadas se prestan particularmente bien a una perfecta impregnación de los conductores, en particular por la puesta en práctica de los procedimientos que se describen en lo que sigue.

35 Se observa, en particular, en la Figura 1 un estator que comprende un circuito magnético 1 de estructura hojosa, o en hojas, el cual comprende un apilamiento de hojas metálicas magnéticas dispuestas sensiblemente paralelas a un plano perpendicular al eje. El circuito magnético comprende una pluralidad de dientes, de tal modo que los dientes delimitan unas entalladuras o muescas orientadas longitudinalmente, de manera que se disponen unos hilos conductores eléctricos 2 en las muescas. Se observan, igualmente, unos rodetes 3 en los extremos del estator, así como las salidas 30 de los hilos del devanado o bobinado existente en uno de los rodetes. Es de destacar que la Figura 2 es tan solo un esquema sobre el que únicamente se han representado algunos hilos conductores eléctricos 2. El número de hilos conductores eléctricos 2 que se observa en ella no es representativo de la muy elevada proporción de rellenado de muesca característica de la invención. A este fin, es de apreciar, aún, que la sección útil de la muesca destinada a insertar hilos de cobre es la sección geométrica del espacio de dicha muesca, de la que se ha sustraído la sección ocupada por otros elementos eventualmente instalados en la muesca, tales como una hoja o lámina aislante 11 que recubre las paredes interiores de las muescas. La sección útil corresponde a la superficie de la sección limitada por la lámina aislante 11, de tal manera que la sección de esta no está comprendida dentro de la sección útil.

50 En el caso, muy habitual, en que los hilos conductores eléctricos 2 tienen una sección circular, el cuadrado circunscrito trazado en torno a la sección de cada hilo conductor es un cuadrado cuyo lado tiene el mismo valor que el diámetro del hilo conductor eléctrico. Sea S2 la sección útil. La relación S1/S2 permite cuantificar la proporción de rellenado de las muescas por los hilos conductores. Ya se ha indicado anteriormente que esta es muy elevada.

El conjunto que comprende el circuito magnético 1 que soporta los conductores 2 y los rodetes 3 es aprisionado, antes de la primera etapa de impregnación, entre una vaina o funda exterior 4 que forma parte del motor final, y un núcleo interior amovible 5, aquí en tres partes 51, 52, 53, que ocupa sensiblemente el volumen reservado para el rotor. Por supuesto, en núcleo 5 está revestido por una composición de desmoldeo, ya que deberá ser desmontado.

Como se observa en la Figura 1, antes de impregnar el rodete superior, se instala según un eje vertical el conjunto que comprende el circuito magnético que soporta los conductores y los rodetes. Las salidas 30 de los hilos se encuentran en el lado inferior. Se procede a la impregnación del primer rodete, en posición axialmente superior, con una composición de impregnación 6 de rodete cuya carga 61 es de granulometría elevada. La composición tiene una conductividad térmica muy elevada, de preferencia, superior a 3 W/mK y, ventajosamente, superior a 4 W/mK. Puede utilizarse como composición de impregnación de rodete una composición de impregnación propuesta aquí anteriormente. Otro ejemplo de composición utilizable, disponible esta vez en el mercado, es la composición comercializada bajo la denominación de «STYCAST 2850 KT» (disponible en la EMERSON & CUMING).

A continuación, se obtura el extremo axial del lado del rodete 3 ya impregnado por medio de un obturador 7 que comprende unos orificios de aireación o respiraderos 71. De preferencia, se habrá introducido una cantidad de composición de impregnación de rodete tal, que la composición asciende ligeramente en el interior de los respiraderos. A continuación, se obturan los respiraderos.

Seguidamente, se restituye dicho conjunto y se le instala de nuevo según un eje vertical, de manera que el primer rodete pasa a ser el rodete inferior (véase la Figura 3).

La colada de la composición de impregnación 8 de muesca que contiene una carga 81, se efectúa en vacío, sobre unos devanados o bobinados previamente calentados a una temperatura de aproximadamente 100°C, a fin de favorecer la impregnación gracias a una viscosidad reducida. Preferiblemente, en el curso de la impregnación de los conductores dentro de las muescas, se introduce la cantidad total de composición de impregnación de muesca sucesivamente por fracciones, por ejemplo, en dos o tres veces, de tal modo que, después de cada fracción, se realiza una fase de retorno progresivo a la presión atmosférica, e incluso de un incremento hasta una presión superior a la presión atmosférica, y de retorno al vacío. Una alternancia de fases de elevación de presión y de retorno al vacío para introducir cada fracción, favorece una gran homogeneidad de la impregnación. De esta forma, la máquina eléctrica rotativa se ve mucho menos sujeta a chasquidos o sacudidas térmicas cuando es solicitada de forma importante. De preferencia, se habrá introducido una cantidad total de composición de impregnación de muesca tal, que la composición rebosa ligeramente dentro del rodete superior.

Antes de proseguir con la impregnación, se retira gradualmente el exceso de composición de impregnación de muesca presente en el segundo rodete y se procede, eventualmente, a una polimerización, al menos parcial, de la composición de impregnación de muesca con el fin de evitar que esta, de densidad más pequeña que la que se utilizará para impregnar el segundo rodete, se mezcle con la composición de impregnación del segundo rodete.

A continuación se procede a la impregnación del segundo rodete (véase la Figura 4) con una composición de impregnación de rodete, de preferencia, por medio de la misma composición de impregnación 6 de rodete que se utilizó para el primer rodete. Se desmonta, seguidamente, el núcleo 5 y se obtiene lo que se ha representado en la Figura 5, a saber, un estator listo para recibir un rotor, unos discos en los extremos axiales, unos conectadores y, eventualmente, otros elementos auxiliares como un circuito de refrigeración.

En la Figura 6, se observa una máquina eléctrica rotativa que comprende un estator S y un rotor R montado en el interior del estator S. Esta es la disposición constructiva más habitual para las máquinas eléctricas, si bien esta disposición, por supuesto, no es limitativa por lo que respecta a la invención. El estator S comprende un circuito magnético 1 de estructura ahogada, o en hojas. El estator 1 comprende unos rodetes 3 en los dos extremos axiales del circuito magnético. La funda 4 está hecha de un material metálico y constituye, al menos en parte, la carcasa exterior 45 que protege los órganos eléctricos, asegurando la solidez mecánica del motor. En el seno de la carcasa 4 se ha dispuesto un circuito 40 destinado a hacer circular un líquido de refrigeración. A este fin, la carcasa 4 comprende en su superficie exterior un filete 42. Una camisa exterior 43 está montada en torno a la carcasa 4. El circuito 40 forma un serpentín. Se observa que uno de los orificios 44 permite conectar el motor a una fuente de fluido de refrigeración.

Para ciertas aplicaciones, es posible utilizar la composición de impregnación de muesca para la impregnación total de un estator, incluidos los rodetes. En este caso, la etapa de impregnación en vacío de los conductores situados dentro de las muescas, descrita con referencia a la Figura 3, permite la impregnación total, comenzando esta etapa por impregnar el rodete inferior, siguiendo por las muescas y, finalmente, por el rodete

superior, con la misma composición de impregnación. Ciertas composiciones de muescas propuestas por la presente invención tienen una conductividad térmica suficientemente elevada para ello, incluso aunque composiciones específicas para una impregnación de rodete pueden tener una conductividad térmica superior. La invención permite alcanzar tales grados de conductividad para una composición compatible con una impregnación de los hilos conductores situados dentro de las muescas, que es posible utilizar una sola composición cargada para el conjunto del estator, lo que simplifica la fabricación.

Se han comparado las prestaciones de un estator realizado por medio de la composición de impregnación de muesca descrita y según el procedimiento de impregnación que se acaba de describir, con las prestaciones de un motor que utiliza para las muescas una resina no cargada idéntica a la de la composición de impregnación de muesca descrita en lo anterior, y la misma composición de impregnación de rodete. Para un régimen de funcionamiento idéntico, próximo a una carga máxima del motor, se observa que las disminuciones en la temperatura máxima alcanzada son del orden de 20°C a 25°C en los rodets, prueba de un aumento muy significativo de la conducción por parte de las muescas, puesto que la composición de impregnación de rodete es idéntica y del orden de 25°C a 30°C en las muescas. Se obtiene de esta forma una ganancia indirecta debida al hecho de que la temperatura de funcionamiento ha sido reducida de forma sustancial y la resistencia eléctrica de los bobinados se ha reducido ligeramente, lo que provoca una ligera mejora del rendimiento de la máquina eléctrica rotativa.

Si se admite una temperatura máxima de funcionamiento inalterada, se tiene como resultado que puede aumentarse la intensidad de la corriente que pasa por los bobinados y, por tanto, puede aumentarse la potencia de la máquina.

La invención puede ser utilizada indistintamente para fabricar motores eléctricos o alternadores. Con el fin de mejorar aún más la compacidad del motor, puede contemplarse que el estator comprenda una canalización para la circulación de un fluido de refrigeración, por ejemplo, un líquido de refrigeración del tipo de los utilizados para la refrigeración de los motores térmicos de los vehículos automóviles.

## REIVINDICACIONES

1. Una máquina eléctrica rotativa que comprende un estator, de tal modo que el estator comprende un circuito magnético (1) de estructura hojosa, o en hojas, que comprende un apilamiento de hojas metálicas magnéticas dispuestas sensiblemente paralelas a un plano perpendicular al eje de rotación del rotor de la máquina, de manera que el circuito magnético comprende una pluralidad de dientes, de forma que los dientes delimitan unas entalladuras o muescas orientadas longitudinalmente, habiéndose dispuesto unos hilos conductores de la electricidad dentro de las muescas, de manera que la relación entre la suma de las secciones de los cuadrados circunscritos trazados en torno a la sección de cada hilo conductor, y la sección útil de muesca es, para cada muesca, superior a 0,7, de tal modo que los hilos de muesca están inmovilizados por una composición de impregnación (8) de muesca que contiene una resina termoendurecible y una carga (81) de granulometría tal, que el tamaño medio de las partículas de que está constituida es inferior a aproximadamente 15  $\mu\text{m}$ , y tal, que al menos aproximadamente el 80% en masa de las partículas tienen un tamaño inferior a 25  $\mu\text{m}$ , comprendiendo dicha composición de impregnación de muesca al menos el 65% en masa de dicha carga.
2. Una máquina eléctrica rotativa que comprende un estator, de tal modo que el estator comprende un circuito magnético (1) de estructura hojosa, o en hojas, que comprende un apilamiento de hojas metálicas magnéticas dispuestas sensiblemente paralelas a un plano perpendicular al eje de rotación del rotor de la máquina, de manera que el circuito magnético comprende una pluralidad de dientes, de forma que los dientes delimitan unas entalladuras o muescas orientadas longitudinalmente, habiéndose dispuesto unos hilos conductores de la electricidad dentro de las muescas, de manera que la relación entre la suma de las secciones de los cuadrados circunscritos trazados en torno a la sección de cada hilo conductor, y la sección útil de muesca es, para cada muesca, superior a 0,7, de tal modo que los hilos de muesca están inmovilizados por una composición de impregnación (8) de muesca que contiene una resina termoendurecible y una carga (81) de granulometría tal, que el tamaño máximo de las partículas de que está constituida es inferior a  $0,045 \cdot \phi$ , siendo  $\phi$  el diámetro de los hilos conductores eléctricos (2) dispuestos en las muescas, comprendiendo dicha composición de impregnación de muesca al menos el 65% en masa de dicha carga.
3. Una máquina de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 y 2, en la cual la granulometría de la carga (81) es tal, que a lo sumo el 3% en masa de las partículas tienen un tamaño superior a 50  $\mu\text{m}$ .
4. Una máquina de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en la cual dicha composición de impregnación de muesca comprende al menos el 70% en masa de dicha carga.
5. Una máquina de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en la cual la carga de la composición de impregnación de muesca se ha escogido de entre el grupo constituido por harina o polvo de sílice, cuarzo, nitruro de aluminio y aluminio.
6. Una máquina de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en la cual la granulometría de la carga de la composición de impregnación (8) de muesca es tal, que el tamaño medio de las partículas es inferior a aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ , y tal, que al menos aproximadamente el 80% en masa de las partículas tienen un tamaño inferior a 20  $\mu\text{m}$ .
7. Una máquina de acuerdo con la reivindicación 6, en la cual la granulometría de la carga de la composición de impregnación (8) de muesca es tal, que no más de aproximadamente el 3% en masa de las partículas tienen un tamaño superior a 45  $\mu\text{m}$ .
8. Una máquina de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende unos rodetes (3) en los dos extremos axiales del circuito magnético, de tal modo que los conductores situados dentro de los rodetes están impregnados por una composición de impregnación (6) de rodete que contiene una resina termoendurecible y una carga (61) de granulometría más elevada que la granulometría de la carga de la composición de impregnación de muesca.
9. Una máquina de acuerdo con la reivindicación 8, en la cual la granulometría de la carga de la composición de impregnación de rodete es tal, que comprende aproximadamente del 30% al 55% en masa de partículas cuyo tamaño está comprendido entre 500  $\mu\text{m}$  y 1.000  $\mu\text{m}$ , comprende aproximadamente del 25% al 45% en masa de partículas cuyo tamaño está comprendido entre 200  $\mu\text{m}$  y 600  $\mu\text{m}$ , de manera que el resto está constituido por al menos el 5% en masa de partículas de las cuales al menos el 80% en masa tiene un tamaño inferior a 25  $\mu\text{m}$  y a lo sumo el 3% en masa tiene un tamaño superior a 50  $\mu\text{m}$ .
10. Una máquina de acuerdo con la reivindicación 9, en la cual la granulometría de la carga de la

composición de impregnación de rodete es tal, que comprende una parte restante constituida por al menos el 5% en masa de partículas de las cuales al menos el 80% en masa tienen un tamaño inferior a 20  $\mu\text{m}$  y a lo sumo el 3% en masa tienen un tamaño superior a 45  $\mu\text{m}$ .

5 11. Una máquina de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, en la cual el circuito magnético (1) de estructura en hojas está montado en el interior de una carcasa (4) hecha de material metálico.

10 12. Un procedimiento de fabricación de un estator de máquina eléctrica rotativa, de tal modo que dicho estator comprende un circuito magnético de estructura hojosa, o en hojas, que comprende un apilamiento de hojas metálicas dispuestas sensiblemente paralelas a un plano perpendicular al eje de rotación del rotor de la máquina, de manera que el circuito magnético comprende una pluralidad de dientes, de forma que los dientes delimitan unas entalladuras o muescas orientadas longitudinalmente, el cual comprende las siguientes etapas:

- instalar hilos eléctricos conductores en las muescas y formar unos rodetes en los dos extremos axiales del circuito magnético;

- instalar según un eje vertical el conjunto que comprende el circuito magnético que soporta los conductores situados dentro de las muescas y los rodetes;

15 - impregnar en vacío los conductores situados dentro de las muescas con una composición de impregnación de muesca que comprende una resina termoendurecible y una carga;

- proceder a la polimerización de la composición.

20 13. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, en el cual la etapa de impregnar en vacío los conductores situados dentro de las muescas permite efectuar la impregnación de los conductores situados dentro de los rodetes con la misma composición de impregnación.

14. Un procedimiento de fabricación de un estator de máquina eléctrica rotativa de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 y 13, que comprende las siguientes etapas:

25 - después de haber instalado según un eje vertical el conjunto que comprende el circuito magnético que soporta los conductores dentro de las muescas y los rodetes, y antes de impregnar en vacío los conductores situados dentro de las muescas, impregnar el primer rodete, en posición axialmente superior, con una composición de impregnación de rodete, la cual comprende una resina termoendurecible y una carga de granulometría elevada;

- devolver o restituir dicho conjunto e instalarlo de nuevo según un eje vertical, de tal manera que el primer rodete pasa a ser el rodete inferior;

30 - impregnar en vacío los conductores situados dentro de las muescas con una composición de impregnación de muesca que comprende una resina termoendurecible y otra carga de granulometría más pequeña que la granulometría de la carga de la primera composición;

- impregnar el segundo rodete con una composición de impregnación de rodete, la cual comprende una resina termoendurecible y una carga de granulometría elevada;

35 - proceder a la polimerización de dichas composiciones.

15. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14, en la cual, antes de la impregnación del segundo rodete, se lleva a cabo una etapa de polimerización, al menos parcial, de al menos la composición de impregnación de muesca.

40 16. Un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 15, para un estator de máquina cuyo rotor está montado en el interior del estator, en el cual el conjunto que comprende el circuito magnético que soporta los conductores dentro de las muescas y los rodetes, es aprisionado, antes de la primera etapa de impregnación, entre una carcasa exterior que forma parte del motor final y un núcleo interior amovible que ocupa sensiblemente el volumen reservado para el motor.

45 17. Un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 16, en el cual, durante la impregnación de los conductores situados dentro de las muescas, se introduce en vacío la cantidad total de composición de impregnación de muesca sucesivamente por fracciones, y, tras cada fracción, se vuelve a llevar el estator a la presión atmosférica.

18. Un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 16, en el cual, durante la impregnación de los conductores situados dentro de las muescas, se introduce en vacío la cantidad total de composición de impregnación de muesca sucesivamente por fracciones y, tras cada fracción, el estator es sometido a una presión superior a la presión atmosférica.

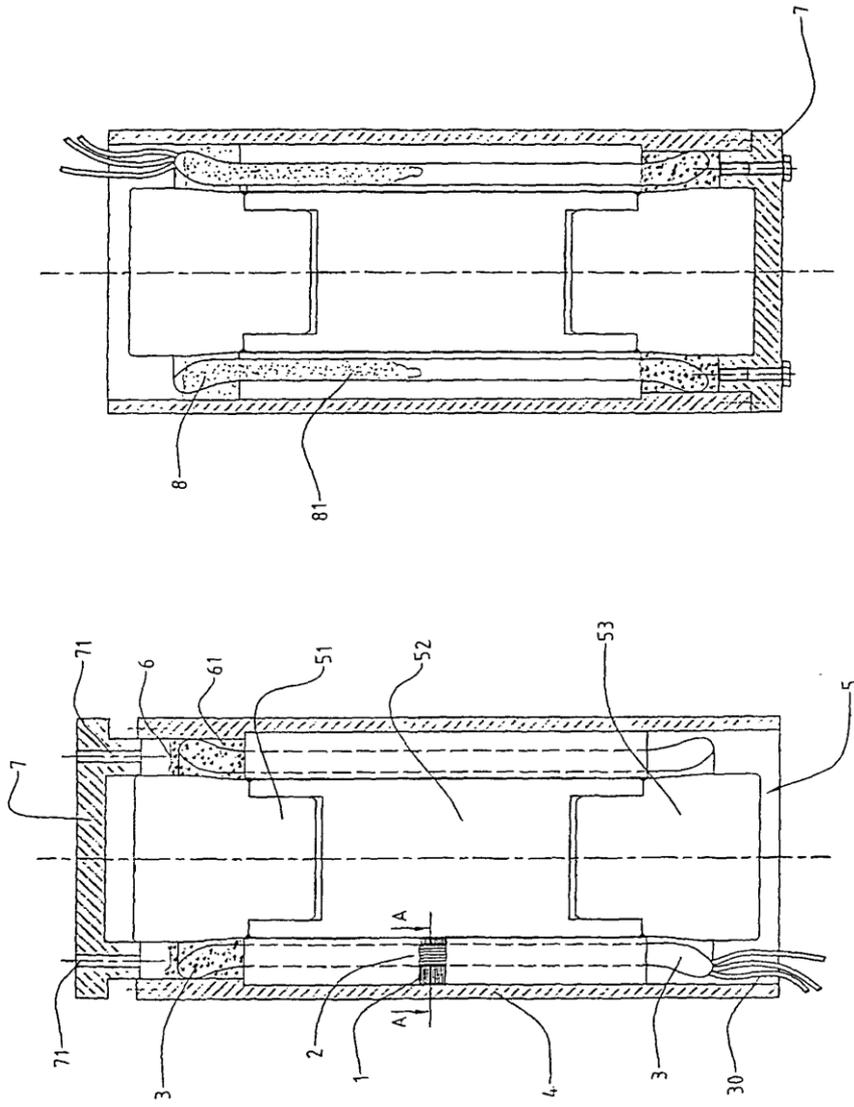


Fig 3

Fig 1

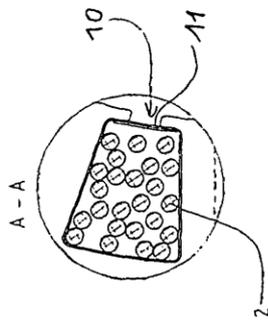


Fig 2

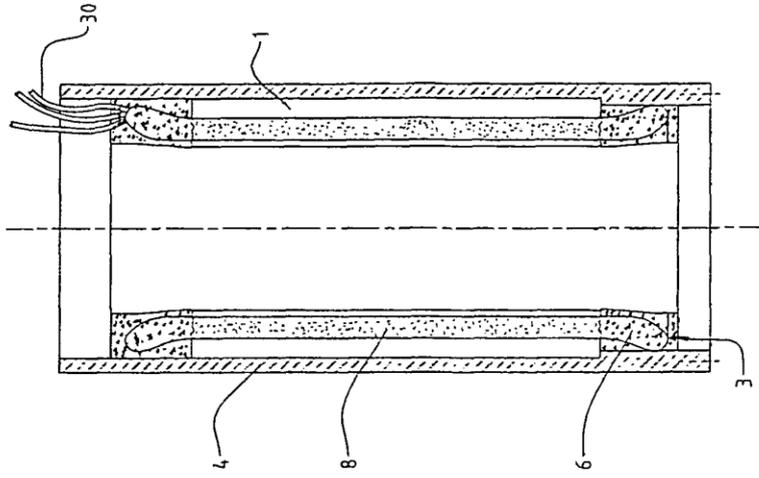


Fig 5

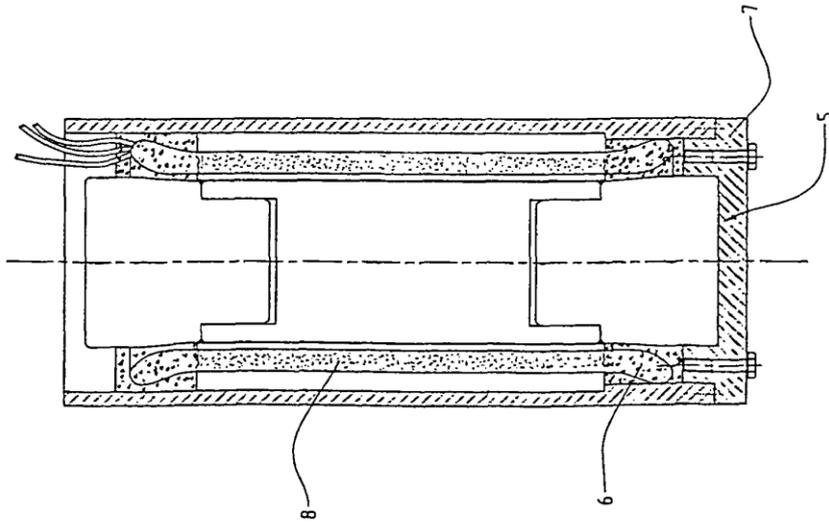


Fig 4

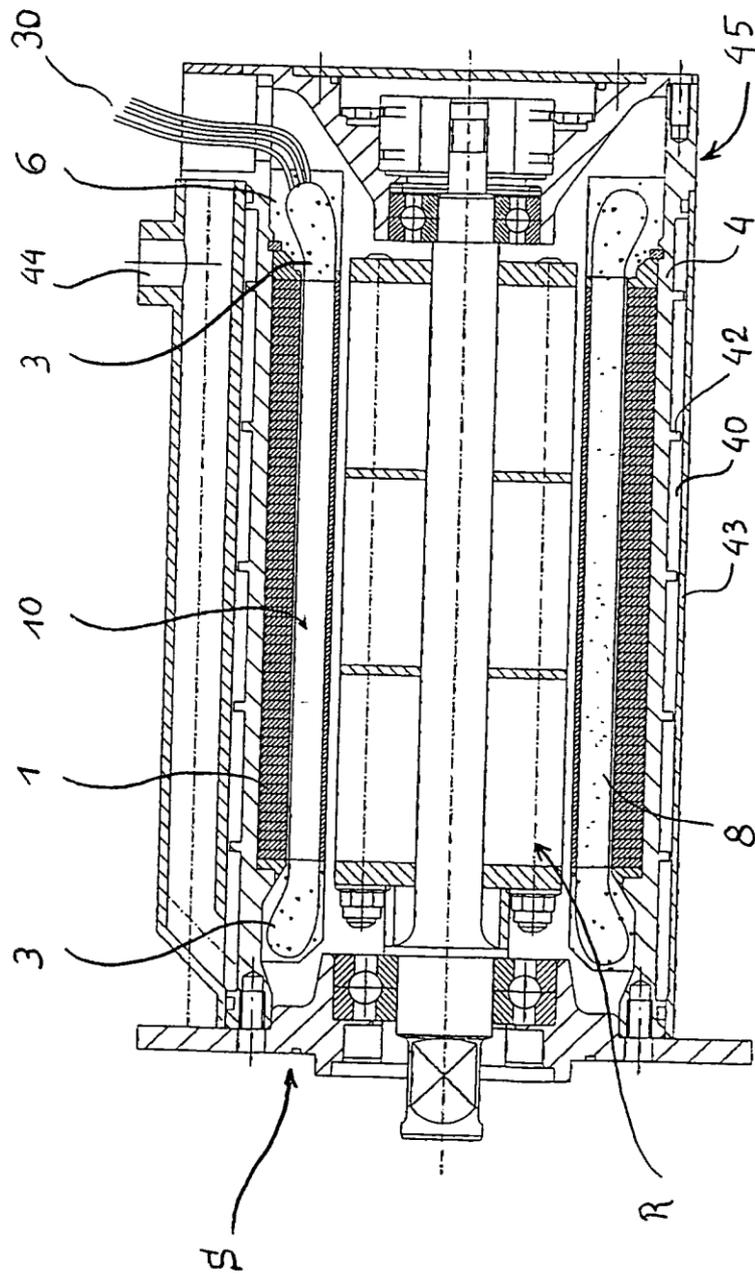


Fig 6