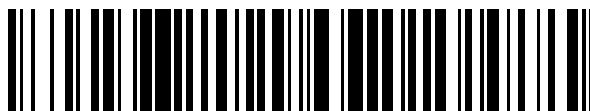


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 622 929**

51 Int. Cl.:

**H02K 7/18** (2006.01)

**H02K 1/32** (2006.01)

**H02K 9/19** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.03.2014 E 14157756 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.02.2017 EP 2916438**

54 Título: **Una turbomáquina eléctrica y una central eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.07.2017**

73 Titular/es:

**LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
(100.0%)  
PI 20  
53851 Lappeenranta, FI**

72 Inventor/es:

**LARJOLA, JAAKKO;  
PYRHÖNEN, JUHA y  
BACKMAN, JARI**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 622 929 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

Una turbomáquina eléctrica y una central eléctrica

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere en general a máquinas eléctricas rotatorias. De manera más particular, la invención se refiere a una turbomáquina eléctrica adecuada para operar como turbogenerador de una central eléctrica. Además, la invención se refiere a una central eléctrica para generar energía eléctrica.

10

**Antecedentes**

Las centrales eléctricas típicas de ciclo de Rankine son centrales termoeléctricas donde se usa agua como fluido de trabajo o centrales eléctricas de Ciclo Orgánico de Rankine "OCR", donde se usa un material vaporizable orgánico adecuado, como por ejemplo, uno de los siloxanos como fluido de trabajo. En muchos casos, puede haber cuestiones técnicas y/o económicas que determinan el tamaño más ventajoso de una central eléctrica de Ciclo de Rankine. A efectos ilustrativos, a continuación, se habla de las centrales termoeléctricas con más detalle. En muchas centrales termoeléctricas tradicionales, un árbol de una turbina de vapor se sella con sellos laberínticos sin contacto y el vapor fluye a través de los sellos laberínticos al aire ambiente y evita que el aire ambiente pase al sistema de vapor de la central termoeléctrica. Por lo tanto, hay un flujo de vapor continuo hacia fuera de la central termoeléctrica. Como consecuencia, existe la necesidad de un equipo de alimentación de agua que produzca agua de alimentación suficientemente purificada como para sustituir el agua que se pierde por el flujo de vapor mencionado anteriormente. Además, cuando la central termoeléctrica se para y el flujo de vapor anteriormente mencionado a través de los sellos laberínticos también se detiene, el aire ambiente fluye al interior del sistema de vapor de la central termoeléctrica. Por tanto, se necesita un mecanismo suficientemente eficiente para retirar el aire del sistema de vapor cuando se arranca de nuevo la central termoeléctrica. Además, en muchas centrales termoeléctricas tradicionales, los árboles de la turbina de vapor y el generador están soportados en cojinetes lubricados con aceite que necesitan juntas de aceite rotatorias y un mecanismo de circulación de aceite. Además, especialmente en centrales termoeléctricas pequeñas, puede haber engranajes lubricados con aceite entre la turbina de vapor y el generador directamente conectado a la red. Debido a los hechos anteriormente mencionados, un límite inferior práctico para la potencia nominal de una central termoeléctrica tradicional es de aproximadamente 3-5 MW debido a que las centrales termoeléctricas tradicionales con un valor nominal inferior típicamente no son rentables.

Una central termoeléctrica hermética comprende una turbomáquina eléctrica donde un impulsor o impulsores de una turbina de vapor está/n directamente conectado/s a un rotor de una sección de generador de la turbomáquina eléctrica. Además, los cojinetes de la turbomáquina eléctrica se lubrican con agua, un impulsor de una bomba de suministro está conectado directamente al rotor de la sección de generador y unos espacios de gas de la sección del generador se llenan de vapor. En una central termoeléctrica hermética del tipo descrito anteriormente, no son necesarios flujos de vapor a través de los sellos laberínticos al aire ambiente, ni hay necesidad de un mecanismo de circulación de aceite para los cojinetes de la turbomáquina eléctrica, ni de una caja de engranajes. Además, la bomba de vacío de un condensador de la central termoeléctrica puede ser muy pequeña en comparación con la de las centrales termoeléctricas tradicionales. En la central termoeléctrica hermética, el objetivo de la bomba de vacío consiste tan solo en eliminar una posible fuga de aire a través de las juntas embridadas. Por ende, no son necesarios mecanismos tan complejos como con las centrales termoeléctricas tradicionales. Por tanto, una central termoeléctrica hermética puede ser rentable también en los casos en los que la potencia nominal sea pequeña. Cabe destacar que el ciclo operativo de una central eléctrica hermética del tipo descrito anteriormente también puede basarse en material vaporizable distinto al agua. Por ejemplo, se puede usar un material vaporizable orgánico adecuado tal como, por ejemplo, uno de los siloxanos en lugar de agua.

Una central eléctrica hermética del tipo descrito anteriormente no está, sin embargo, libre de desafíos. Uno de los desafíos está relacionado con la refrigeración del generador. La publicación W02008046957 describe una central termoeléctrica donde se hace circular el vapor que sale de la turbina en el espacio de gas del generador para refrigerar el generador con el vapor mencionado anteriormente. El vapor que sale de la turbina puede estar, sin embargo, demasiado caliente para refrigerar el generador, sobre todo en los casos en los que la central termoeléctrica es una central eléctrica de contrapresión usada para producir, por ejemplo, calefacción urbana. El uso de vapor caliente para la refrigeración del generador puede suponer todo un desafío dado que el vapor caliente puede provocar reacciones de hidrólisis no deseadas que tienden a dañar los materiales eléctricamente aislantes típicos. El efecto dañino provocado por la hidrólisis empeora cuando sube la temperatura.

La publicación US2009261667 presenta un rotor de una máquina eléctrica de imanes permanentes. El rotor comprende canales refrigerantes en las proximidades de los imanes permanentes para mejorar la refrigeración de los imanes permanentes.

La publicación US2008246281 presenta un generador accionado por una turbina para convertir la energía contenida por un gas de proceso en energía eléctrica. La refrigeración del generador es similar a la descrita en el documento W02008046957 en el sentido de que el generador se refrigera con la ayuda del gas de proceso que se conduce al

espacio de gas del generador.

**Sumario**

- 5 A continuación, se presenta un sumario simplificado con el fin de facilitar una comprensión básica de algunas realizaciones de la invención. El sumario no es un resumen exhaustivo de la invención. Este tampoco pretende identificar elementos clave o críticos de la invención ni delinear el alcance de la invención. El siguiente sumario meramente presenta algunos conceptos de la invención en forma simplificada como un prelude de una descripción más detallada de realizaciones ilustrativas de la invención.
- 10 De acuerdo con la invención, se proporciona una nueva turbomáquina eléctrica que es adecuada para su uso, por ejemplo, pero no necesariamente, como turbogenerador de una central eléctrica. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con la invención comprende un estátor, un rotor y una sección de turbina que comprende uno o más impulsores de turbina y es capaz de ser accionada con un fluido de trabajo que contiene material vaporizable, por
- 15 ejemplo, agua, en forma vaporizada. El rotor de la turbomáquina eléctrica comprende:
- primeras y segundas secciones de árbol de modo que uno o más impulsores de turbina estén directamente conectados a la segunda sección de árbol,
  - una sección activa electromagnéticamente entre las primeras y segundas secciones de árbol en la dirección axial

20 del rotor y para generar un par de torsión cuando interactúan magnéticamente con el estátor, y

  - canales de refrigeración para recibir un flujo refrigerante en la primera sección de árbol, para conducir el flujo refrigerante a la segunda sección de árbol y para conducir el flujo refrigerante fuera de la segunda sección de árbol.
- 25 La segunda sección de árbol se dispone para conducir el flujo refrigerante a través de un área donde el uno o más impulsores de turbina están conectados directamente a la segunda sección de árbol y para conducir el flujo refrigerante a una misma sala hasta la que se ha dispuesto que el fluido de trabajo salga desde la sección de turbina. Los canales de refrigeración son adecuados para operar donde el flujo refrigerante recibido en la primera sección de árbol es del mismo material vaporizable que el fluido de trabajo, pero no en forma líquida.
- 30 El sistema de refrigeración presentado anteriormente facilita la construcción de la turbomáquina eléctrica como una estructura hermética en una central eléctrica donde los cojinetes de la turbomáquina eléctrica están lubricados por el material vaporizable, una bomba de suministro está conectada directamente al rotor y el material vaporizable en forma vaporizada llena los espacios de gas de la máquina eléctrica constituida por el estátor y el rotor. El flujo refrigerante que contiene el material vaporizable en forma líquida puede tomarse, por ejemplo, de un tanque de condensación u otro elemento que contenga el material vaporizable en forma líquida. Además, puede haber un refrigerador para refrigerar el líquido tomado del tanque de condensación u otro elemento antes de usar el líquido para refrigerar la turbomáquina eléctrica. El refrigerador puede ser, por ejemplo, un intercambiador de calor de líquido a aire o un intercambiador de calor de líquido a líquido cuando, por ejemplo, hay disponible agua marina u
- 35 otro líquido suficientemente frío.
- Cabe destacar que junto con algunas realizaciones ilustrativas y no limitantes de la invención, las anteriormente mencionadas primeras y segundas secciones de árbol del rotor pueden ser una misma pieza de material con al menos una parte de la sección electromagnéticamente activa del rotor. Por otra parte, junto con algunas otras
- 45 realizaciones ilustrativas y no limitantes de la invención, una o ambas de las primeras y segundas secciones de árbol del rotor pueden ser una pieza separada de material con respecto a la sección activa electromagnéticamente del rotor.
- De acuerdo con la invención, también se proporciona una nueva central eléctrica que es, ventajosamente pero no necesariamente, una central termoeléctrica que usa agua como fluido de trabajo. Una central eléctrica de acuerdo con la invención comprende:
- 50
- una caldera para vaporizar el fluido de trabajo,
  - una turbomáquina eléctrica de acuerdo con la invención para convertir la energía contenida en el fluido de trabajo vaporizado en energía eléctrica,

55

  - un condensador para condensar el fluido de trabajo vaporizado que sale de la turbomáquina eléctrica, y
  - un sistema de bombeo para bombear una primera parte del fluido de trabajo condensado a la caldera y una segunda parte del fluido de trabajo condensado a la turbomáquina eléctrica para refrigerar la turbomáquina eléctrica con el fluido de trabajo condensado.

60
- En las centrales eléctricas, de acuerdo con algunas realizaciones ilustrativas y no limitantes de la invención, la caldera anteriormente mencionada comprende un supercalentador para supercalentar el fluido de trabajo. En estos casos, la expresión "fluido de trabajo vaporizado" significa en realidad, fluido de trabajo vaporizado que se ha supercalentado. Típicamente, el supercalentador es ventajoso en los casos en los que el fluido de trabajo es agua, mientras que el vapor saturado es típicamente más ventajoso en los casos en los que se usa un fluido de trabajo orgánico.
- 65

Se describe una serie de realizaciones ilustrativas y no limitantes de la invención en las reivindicaciones dependientes adjuntas.

5 Diversas realizaciones ilustrativas y no limitantes de la invención, tanto en cuanto a construcciones como a métodos operativos, así como objetivos y ventajas adicionales de la misma, se entenderán mejor a partir de la siguiente descripción de realizaciones ilustrativas específicas, cuando se lean en relación con los dibujos adjuntos.

10 Los verbos “comprender” e “incluir” se usan en este documento como limitaciones abiertas que ni excluyen ni requieren la existencia de características no enumeradas. Las características enumeradas en reivindicaciones dependientes son mutuamente combinables libremente a no ser que se indique lo contrario. Además, se debe entender que el uso de “un” o “una”, es decir, una forma en singular, por todo este documento no excluye una pluralidad.

### 15 Breve descripción de las figuras

Las realizaciones ilustrativas y no limitantes de la invención, así como sus ventajas se explican con más detalle a continuación, a modo de ejemplos y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

20 la figura 1 muestra una vista en sección de una turbomáquina eléctrica de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención,  
 las figuras 2a y 2b muestran vistas en sección de un rotor de una turbomáquina eléctrica de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención,  
 las figuras 3a y 3b muestran vistas en sección de un rotor de una turbomáquina eléctrica de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención,  
 25 las figuras 4a y 4b muestran vistas en sección de un rotor de una turbomáquina eléctrica de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención, y  
 la figura 5 muestra una ilustración esquemática de una central eléctrica de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención.

### 30 Descripción de realizaciones ilustrativas y no limitantes

La figura 1 muestra una vista en sección de una turbomáquina eléctrica 100 de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención. La sección se ha tomado a lo largo del plano yz de un sistema de  
 35 coordenadas 199. La turbomáquina eléctrica comprende un estátor 101 y un rotor 102 para interactuar magnéticamente con el estátor. El rotor 102 se soporta rotatoriamente en los cojinetes 141 y 142. En un caso ilustrativo donde la turbomáquina eléctrica 100 se usa como turbogenerador de una central termoeléctrica, los cojinetes 141 y 142 ventajosamente son cojinetes lubricados con agua. En otro caso ilustrativo donde la turbomáquina eléctrica 100 se usa como turbogenerador de una central eléctrica que usa algún otro fluido de trabajo distinto al agua, por ejemplo, una central eléctrica de Ciclo Orgánico de Rankine “OCR”, los cojinetes 141 y 142 ventajosamente están lubricados por el fluido de trabajo en consideración. La turbomáquina eléctrica además comprende una sección de turbina 110 que, en este caso ilustrativo, comprende impulsores de turbina 111, 112, 113 y 114. La sección de turbina 110 es capaz de ser accionada con un flujo de trabajo que contiene material vaporizable, por ejemplo, agua, en forma vaporizada. En la figura 1, el flujo de trabajo se representa con flechas de líneas discontinuas. La construcción detallada de la sección de turbina, por ejemplo, el número de impulsores, etc.,  
 45 depende del material vaporizable que se esté usando y/o de las condiciones operativas deseadas, tales como la temperatura, caída de presión, etc.

El estátor 101 de la turbomáquina eléctrica comprende una estructura de núcleo ferromagnético 121 que comprende, en este caso ilustrativo, una pluralidad de dientes de estátor y ranuras de estátor. El estátor comprende bobinados que comprenden una pluralidad de bobinas de estátor dispuestas en las ranuras de estátor. También es posible que el estátor comprenda bobinados en el entrehierro y una estructura de núcleo ferromagnético sin dientes. La estructura de núcleo ferromagnético 121 preferentemente está hecha de láminas de acero que están aisladas eléctricamente entre sí y que están apiladas en dirección paralela a la dirección axial del rotor 102. La dirección axial es paralela a la dirección z del sistema de coordenadas 199. El rotor 102 de la turbomáquina eléctrica comprende una primera sección de árbol 103, una segunda sección de árbol 104 y una sección activa electromagnéticamente 105 entre las primeras y segundas secciones de árbol en la dirección axial del rotor. La sección activa electromagnéticamente 105 es capaz de generar un par de torsión cuando interactúa magnéticamente con el estátor 101. La sección activa electromagnéticamente 105 puede comprender imanes permanentes para producir un flujo magnético que penetra en el entrehierro entre el rotor y el estátor. En este caso, la turbomáquina eléctrica es capaz de operar como un generador síncrono de imán permanente “PMSG”. También es posible que la sección activa electromagnéticamente 105 comprenda estructuras eléctricamente conductoras de modo que la turbomáquina eléctrica sea capaz de operar como una máquina eléctrica asíncrona. Como se ilustra en la figura 1, los impulsores de turbina 111-114 están o en algunos casos un único impulsor de turbina está, conectado directamente a la segunda sección de árbol 104 del rotor.  
 65

El rotor 102 comprende canales de refrigeración para recibir un flujo refrigerante en la primera sección de árbol 103,

para conducir el flujo refrigerante a la segunda sección de árbol y para conducir el flujo refrigerante fuera de la segunda sección de árbol 104. Los canales de refrigeración que se ilustran en la figura 1 están designados con números de referencia 106, 107, 108 y 109. En la figura 1, el flujo refrigerante se representa con flechas de trazos continuos. El flujo refrigerante ventajosamente es del mismo material vaporizable que el flujo de trabajo, pero en forma líquida. Como se ilustra en la figura 1, la segunda sección de árbol 104 se dispone para conducir el flujo refrigerante a través de un área donde los impulsores de turbina 111-114 están conectados directamente a la segunda sección de árbol y para conducir el flujo refrigerante a una misma sala 115 hasta la que se ha dispuesto que el fluido de trabajo salga desde la sección de turbina 110. Como se ilustra en la figura 1, estas partes de los canales de refrigeración que están situados en la sección activa electromagnéticamente 105 están más alejados del eje de rotación del rotor que la parte de los canales de refrigeración para recibir el flujo refrigerante en la primera sección de árbol 103. Resulta ventajoso que los canales de refrigeración 107 y 108 estén cerca de la superficie del entrehierro del rotor por que la mayoría de las pérdidas que se producen en el rotor se generan en áreas cerca de la superficie del entrehierro. En el ejemplo del caso ilustrado en la figura 1, el canal de refrigeración de la primera sección de árbol 103 es un orificio, que es coaxial al eje de rotación del rotor y adecuado para recibir el flujo refrigerante. La turbomáquina eléctrica comprende un tubo de suministro 116 para suministrar el flujo refrigerante al orificio de la primera sección de árbol 103. El tubo de suministro puede estar fijo con respecto al estátor, es decir, el rotor puede rotar con respecto al tubo de suministro. En este caso, resulta obvio disponer una junta hermética entre una superficie externa del tubo de suministro y una carcasa de la turbomáquina eléctrica. Por ejemplo, puede haber un sello laberíntico sin contacto 117 para proporcionar un sellado entre el orificio de la primera sección de árbol y un extremo del tubo de suministro 116.

Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención, además comprende un impulsor de bomba 118 que está conectado directamente a la primera sección de árbol 103. El impulsor de bomba es adecuado para bombear líquido y puede usarse como una bomba de alimentación cuando la turbomáquina eléctrica se usa como un turbogenerador de una central eléctrica. El impulsor de bomba 118 puede ser, por ejemplo, un impulsor radial de pala recta de una bomba de emisión parcial de tipo "Barske". En el ejemplo del caso ilustrado en la figura 1, el tubo de suministro 116 y la primera sección de árbol 103 del rotor se disponen para conducir el flujo refrigerante a través de un área donde el impulsor de bomba 118 está conectado directamente a la primera sección de árbol. El flujo refrigerante se dispone para entrar axialmente en el rotor y para fluir a través del impulsor de bomba. También es posible suministrar el flujo refrigerante radialmente mediante orificios radiales del rotor. Por ejemplo, la primera sección de árbol puede comprender orificios radiales adecuados para recibir el flujo refrigerante del cojinete 141 que soporta la primera sección de árbol y lubricado con material del flujo refrigerante. Esto requiere, sin embargo, actuar contra la fuerza centrífuga cuando se suministra flujo refrigerante al rotor. Sin embargo, esto puede compensarse teniendo orificios radiales también en la salida de flujo refrigerante o algún otro diseño, por ejemplo, palas, que fuercen el flujo refrigerante en un movimiento rotatorio alrededor del eje de rotación del rotor para proporcionar un efecto de succión basado en una fuerza centrífuga en la salida de flujo refrigerante.

En una turbomáquina eléctrica, de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención, los bobinados del estátor están provistos de canales tubulares 119 para conducir un flujo refrigerante. Los canales tubulares pueden ser, por ejemplo, tubos hechos de plástico u otro material adecuado y colocados entre los hilos eléctricos de los bobinados. También es posible que los hilos eléctricos de los bobinados tengan una estructura donde se han tejido hebras eléctricamente conductoras alrededor de un núcleo tubular. En tal caso, los tubos de refrigeración pueden hacerse de material eléctricamente conductor, por ejemplo, de acero inoxidable que tolere bien el fenómeno erosivo provocado por el flujo de agua caliente y también tolere de manera fiable la atmósfera de vapor. En este caso, una separación galvánica del sistema de refrigeración tiene que disponerse fuera de la turbomáquina eléctrica.

En una turbomáquina eléctrica, de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención, una estructura de bastidor del estátor comprende una sala 120 que rodea una estructura de núcleo ferromagnético 121 del estátor y es adecuada para contener una envoltura de líquido para refrigerar el estátor. El estátor puede comprender un material sólido 122, por ejemplo, una resina especial que conduzca bien el calor y tolere bien el vapor, dispuesto para proporcionar una relación de conducción de calor entre los bobinados de extremo del estátor y la estructura de bastidor del estátor.

Cuando se usa una turbomáquina eléctrica del tipo descrito anteriormente como un turbogenerador de una central termoeléctrica, el espacio de gas 144 típicamente está lleno de vapor. La temperatura del vapor que llena el espacio de gas puede mantenerse lo suficientemente baja por que el rotor 102 se refrigera desde el interior con agua y además la estructura de bastidor y/o los bobinados del estátor pueden refrigerarse con agua. Además, la estructura de bastidor del estátor puede estar provista de una sala 157 para contener una envoltura de líquido para refrigerar una parte del vapor u otro fluido de trabajo que se derrama desde una cámara de impulsor de la sección de turbina al espacio de gas 144.

Las figuras 2a y 2b muestran vistas en sección de un rotor 202 de una turbomáquina eléctrica de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención. La sección mostrada en la figura 2a se toma a lo largo de una línea B-B mostrada en la figura 2b y el plano de la sección es paralelo al plano yz de un sistema de coordenadas 299. La sección mostrada en la figura 2b se toma a lo largo de una línea A-A mostrada en la figura 2a y el plano de

la sección es paralelo al plano xy del sistema de coordenadas 299. El rotor 202 comprende una primera sección de árbol 203, una segunda sección de árbol 204 y una sección activa electromagnéticamente 205 entre las primeras y segundas secciones de árbol en la dirección axial del rotor, donde la dirección axial es la dirección z del sistema de coordenadas 299. El rotor comprende canales de refrigeración para conducir líquido refrigerante a través del rotor.

5 Algunos de los canales de refrigeración se indican con los números de referencia 206, 207, 208 y 209 en las figuras 2a y 2b. La sección activa electromagnéticamente 205 comprende imanes permanentes y una sección de yugo ferromagnético 234 que constituyen una parte del circuito magnético para el flujo magnético entre el rotor y el estátor de una máquina eléctrica. Uno de los imanes permanentes está indicado con el número de referencia 230 en las figuras 2a y 2b. La sección de yugo ferromagnético 234 comprende orificios axiales para constituir los canales de refrigeración dentro de la sección de yugo ferromagnético. Dos de los orificios axiales se indican con los números de referencia 207 y 208 en las figuras 2a y 2b. Los orificios axiales de la sección de yugo ferromagnético pueden estar revestidos, por ejemplo, con acero inoxidable o algún otro material inoxidable para proteger la sección de yugo ferromagnético contra la corrosión. Los elementos que constituyen las primeras y segundas secciones de árbol 203 y 204 pueden estar hechos, por ejemplo, de acero inoxidable. La sección de yugo ferromagnético 234 y los elementos que constituyen las primeras y segundas secciones de árbol 203 y 204 pueden estar unidos entre sí, por ejemplo, por soldadura. El rotor puede además comprender juntas tóricas u otros medios de sellado adecuados para evitar que el fluido refrigerante acceda a los imanes permanentes. Una de las juntas tóricas está indicada con el número de referencia 245 en la figura 2a. El rotor ventajosamente comprende una estructura de banda tubular 233 que rodea la sección activa electromagnéticamente 205 y soporta la sección activa electromagnéticamente en direcciones radiales del rotor. La estructura de banda tubular 233 puede estar hecha, por ejemplo, de acero inoxidable o compuestos de fibra de carbono. También es posible que la estructura de banda tubular 233 comprenda dos bandas alojadas, de modo que la banda interna esté hecha de un compuesto de fibras de carbono y la banda externa esté hecha de acero inoxidable. La banda interna proporciona el soporte en direcciones radiales y la banda externa protege la banda interna contra sustancias que pueden estar presentes en el entrehierro de una máquina eléctrica y que pueden dañar el compuesto de fibras de carbono. Además, el rotor comprende anillos de extremo 231 y 232. Los anillos de extremo 231 y 232 pueden estar hechos, por ejemplo, de acero inoxidable. En el caso de que la banda tubular esté hecha de acero inoxidable, dicha banda tubular puede estar soldada a los anillos de extremo para obtener una construcción rígida. Los anillos de extremo pueden usarse para evitar que el fluido refrigerante acceda a los imanes permanentes, de modo que los anillos de extremo están dispuestos para cubrir las juntas entre los elementos que constituyen las primeras y segundas secciones de árbol 203 y 204 y la sección de yugo ferromagnético 234. Como puede observarse a partir de la sección mostrada en la figura 2b, los imanes permanentes están posicionados, en este caso ilustrativo, de modo que el rotor ventajosamente sea un rotor con un par de polos. El material 235 entre los imanes permanentes puede ser, por ejemplo, aluminio.

35 Las figuras 3a y 3b muestran vistas en sección de un rotor 302 de una turbomáquina eléctrica de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención. La sección mostrada en la figura 3a se toma a lo largo de una línea B-B mostrada en la figura 3b y el plano de la sección es paralelo al plano yz de un sistema de coordenadas 399. La sección mostrada en la figura 3b se toma a lo largo de una línea A-A mostrada en la figura 3a y el plano de la sección es paralelo al plano xy del sistema de coordenadas 399. El rotor 302 comprende una primera sección de árbol 303, una segunda sección de árbol 304 y una sección activa electromagnéticamente 305 entre las primeras y segundas secciones de árbol en la dirección axial del rotor, donde la dirección axial es la dirección z del sistema de coordenadas 399. El rotor comprende canales de refrigeración para conducir líquido refrigerante a través del rotor. Algunos de los canales de refrigeración se indican con los números de referencia 306, 307, 308 y 309 en las figuras 3a y 3b. La sección activa electromagnéticamente 305 comprende imanes permanentes y una sección de yugo ferromagnético 334 que constituyen una parte del circuito magnético para el flujo magnético entre el rotor y el estátor de una máquina eléctrica. Uno de los imanes permanentes está indicado con el número de referencia 330 en las figuras 3a y 3b. La sección de yugo ferromagnético 334 comprende orificios axiales para constituir los canales de refrigeración dentro de la sección de yugo ferromagnético. Dos de los orificios axiales se indican con los números de referencia 307 y 308 en las figuras 3a y 3b. Los orificios axiales de la sección de yugo ferromagnético pueden estar revestidos, por ejemplo, con acero inoxidable o algún otro material inoxidable para proteger la sección de yugo ferromagnético contra la corrosión. Los elementos 336 y 337 del rotor pueden estar hechos, por ejemplo, de acero inoxidable. La sección de yugo ferromagnético 334 y los elementos 336 y 337 pueden unirse entre sí, por ejemplo, por retractilado y/o soldadura. El rotor ventajosamente comprende una estructura de banda tubular que rodea la sección activa electromagnéticamente 305 y soporta la sección activa electromagnéticamente en direcciones radiales del rotor. En este caso ilustrativo, la estructura de banda tubular comprende dos bandas alojadas 333a y 333b de modo que la banda interna 333a está hecha de un compuesto de fibras de carbono y la banda externa 333b está hecha de acero inoxidable. La banda interna proporciona el soporte en direcciones radiales y la banda externa protege la banda interna contra sustancias que pueden estar presentes en el entrehierro de una máquina eléctrica y que pueden dañar el compuesto de fibras de carbono. Como puede observarse a partir de la sección mostrada en la figura 2b, los imanes permanentes están posicionados en este caso ilustrativo de modo que el rotor ventajosamente sea un rotor con dos pares de polos.

65 Las figuras 4a y 4b muestran vistas en sección de un rotor 402 de una turbomáquina eléctrica de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención. La sección mostrada en la figura 4a se toma a lo largo de una línea B-B mostrada en la figura 4b y el plano de la sección es paralelo al plano yz de un sistema de coordenadas 499. La sección mostrada en la figura 4b se toma a lo largo de una línea A-A mostrada en la figura 4a y el plano de

la sección es paralelo al plano xy del sistema de coordenadas 499. El rotor 402 comprende una primera sección de árbol 403, una segunda sección de árbol 404 y una sección activa electromagnéticamente 405 entre las primeras y segundas secciones de árbol en la dirección axial del rotor, donde la dirección axial es la dirección z del sistema de coordenadas 499. El rotor comprende canales de refrigeración para conducir líquido refrigerante a través del rotor.

5 Algunos de los canales de refrigeración se indican con los números de referencia 406, 407, 408 y 409 en las figuras 4a y 4b. La sección activa electromagnéticamente 405 comprende un bobinado de jaula para soportar corriente y una sección ferromagnética 434 que constituye una parte del circuito magnético para el flujo magnético entre el rotor y el estátor de una máquina eléctrica. Por lo tanto, el rotor es adecuado para una máquina asíncrona. El bobinado de jaula comprende anillos de extremo y barras entre los anillos de extremo. Una de las barras se indica con el número

10 de referencia 438 en las figuras 4a y 4b. Las barras del bobinado de jaula son tubulares para constituir los canales de refrigeración dentro de la sección activa electromagnéticamente 405. Las superficies internas de las barras tubulares del bobinado de jaula pueden estar revestidas, por ejemplo, con acero inoxidable u otro material inoxidable para proteger las barras contra la corrosión y/o erosión. Los elementos que constituyen las primeras y segundas secciones de árbol 403 y 404 pueden estar hechos, por ejemplo, de acero inoxidable. La sección ferromagnética 434

15 y los elementos que constituyen las primeras y segundas secciones de árbol 403 y 404 pueden estar unidos entre sí, por ejemplo, por soldadura. El rotor ventajosamente comprende una estructura de banda tubular 433 que rodea la sección activa electromagnéticamente 405 y soporta la sección activa electromagnéticamente en direcciones radiales del rotor. La estructura de banda tubular 433 puede estar hecha, por ejemplo, de acero inoxidable o compuestos de fibra de carbono. También es posible que la estructura de banda tubular 433 comprenda dos bandas alojadas, de modo que la banda interna esté hecha de un compuesto de fibras de carbono y la banda externa esté hecha de acero inoxidable. La banda interna proporciona el soporte en direcciones radiales y la banda externa protege la banda interna contra sustancias que pueden estar presentes en el entrehierro de una máquina eléctrica y que pueden dañar el compuesto de fibras de carbono.

25 La figura 5 muestra una ilustración esquemática de una central eléctrica de acuerdo con una realización ilustrativa y no limitante de la invención. La central eléctrica es ventajosamente una central termoelectrónica que usa agua como fluido de trabajo. En algunos casos también es posible que la central eléctrica sea, por ejemplo, un convertidor de energía de Ciclo Orgánico de Rankine "OCR" que usa un fluido orgánico adecuado como fluido de trabajo. El fluido orgánico puede ser, por ejemplo, pero no necesariamente, un siloxano. La central eléctrica comprende una caldera

30 551 para vaporizar el fluido de trabajo y una turbomáquina eléctrica 500 para convertir la energía contenida en el fluido de trabajo vaporizado en energía eléctrica. La energía eléctrica se suministra a una red eléctrica 559 con la ayuda de un convertidor de frecuencia 558. La turbomáquina eléctrica 500 comprende una sección de turbina para convertir la energía contenida en el fluido de trabajo vaporizado en energía mecánica y una sección de generador para convertir la energía mecánica en energía eléctrica. La sección de generador comprende un estátor y un rotor para interactuar magnéticamente con el estátor. La sección de turbina comprende uno o más impulsores que están directamente conectados al rotor de la sección de generador. La turbomáquina eléctrica 500 puede ser tal y como se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 1 y el rotor de la sección de generador puede ser tal y como se ha descrito anteriormente con referencia a las figuras 2a y 2b o a las figuras 3a y 3b o a las figuras 4a y 4b. El rotor de la sección de generador comprende canales de refrigeración de modo que el fluido de trabajo en forma líquida

40 puede disponerse para fluir a través del rotor y salir del rotor a la misma sala 515 hasta la que se ha dispuesto que el fluido de trabajo salga desde la sección de turbina de la turbomáquina eléctrica.

La central eléctrica comprende un condensador 552 para condensar el fluido de trabajo vaporizado que sale de la turbomáquina eléctrica y un sistema de bombeo para bombear una primera parte del fluido de trabajo condensado a la caldera 551 y una segunda parte del fluido de trabajo condensado a la turbomáquina eléctrica 500 para refrigerar la turbomáquina eléctrica con el fluido de trabajo condensado. En el ejemplo del caso ilustrado en la figura 5, el sistema de bombeo comprende una bomba de alimentación 553 cuyo impulsor está conectado directamente al rotor de la sección de generador de la turbomáquina eléctrica. El sistema de bombeo además comprende una bomba de pre-alimentación 554 que está dispuesta para suministrar el fluido de trabajo condensado desde un tanque de condensación 557 a la bomba de alimentación 553 y a la turbomáquina eléctrica 500. La central eléctrica ventajosamente comprende un refrigerador 555 para refrigerar el fluido de trabajo condensado usado para refrigerar la turbomáquina eléctrica antes de suministrar el fluido de trabajo condensado a la turbomáquina eléctrica. El refrigerador 555 y el condensador 552 pueden ser, por ejemplo, intercambiadores de calor de líquido a aire o intercambiadores de calor de líquido a líquido cuando, por ejemplo, hay disponible agua marina u otro líquido

55 suficientemente frío.

En el ejemplo del caso ilustrado en la figura 5, la central eléctrica comprende canales 556 para conducir el fluido de trabajo condensado a los cojinetes de la turbomáquina eléctrica 500 para lubricar los cojinetes con el fluido de trabajo condensado. Ventajosamente, la turbomáquina eléctrica 500 comprende una carcasa hermética para evitar que el fluido de trabajo pase al aire ambiente y para evitar que el aire ambiente acceda al fluido de trabajo. Además, la central eléctrica puede comprender un recuperador 560 para aumentar la eficiencia de la conversión energética.

60

Los ejemplos específicos provistos en la descripción aportada anteriormente no deben interpretarse como una limitación. Por lo tanto, la invención no está limitada únicamente a las realizaciones descritas anteriormente.

65

**REIVINDICACIONES**

1. Una turbomáquina eléctrica (100) que comprende un estátor (101) y un rotor (102, 202, 302, 402), comprendiendo el rotor:

- 5
- una primera sección de árbol (103, 203, 303, 403) y una segunda sección de árbol (104, 204, 304, 404),
  - una sección activa electromagnéticamente (105, 205, 305, 405) entre la primera y la segunda sección de árbol en una dirección axial del rotor y para generar un par de torsión cuando interactúa magnéticamente con el estátor, y
  - canales de refrigeración (106-109, 206-209, 306-309, 406, 409) para recibir un flujo refrigerante constituido por
- 10 una primera parte de material vaporizable en forma líquida en la primera sección de árbol, para conducir el flujo refrigerante a la segunda sección de árbol y para conducir el flujo refrigerante fuera de la segunda sección de árbol,

15 en la que la turbomáquina eléctrica además comprende una sección de turbina (110) capaz de ser accionada con un flujo de trabajo constituido por una segunda parte del material vaporizable en forma vaporizada y que comprende uno o más impulsores de turbina (111-114) conectados directamente a la segunda sección de árbol, en la que la segunda sección de árbol se dispone para conducir el flujo refrigerante a través de un área donde el uno de más impulsores de turbina están conectados directamente a la segunda sección de árbol y para conducir el flujo refrigerante a una misma sala (115) hasta la que se ha dispuesto que el fluido de trabajo salga desde la sección de

20 turbina.

2. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que partes de los canales de refrigeración situados en la sección activa electromagnéticamente (105, 205, 305, 405) están más alejados de un eje de rotación del rotor que una parte de los canales de refrigeración para recibir el flujo refrigerante en la primera sección de árbol.

3. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que la sección activa electromagnéticamente comprende imanes permanentes (230, 330) y una sección de yugo ferromagnético (234, 334) que constituye una parte de un circuito magnético para un flujo magnético entre el rotor y el estátor, y, la sección de yugo ferromagnético comprende orificios axiales para constituir los canales de refrigeración dentro de la

30 sección de yugo ferromagnético.

4. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con la reivindicación 3, en la que los orificios axiales de la sección de yugo ferromagnético están revestidos con material inoxidable para evitar corrosión de la sección de yugo ferromagnético.

5. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en la que el rotor comprende una estructura de banda tubular (233, 333a, 333b, 433) que rodea la sección electromagnéticamente activa y para soportar la sección activa electromagnéticamente en direcciones radiales del rotor.

6. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en la que la primera sección de árbol comprende un agujero coaxial con el eje de rotación del rotor y adecuado para recibir el flujo refrigerante y, y la turbomáquina eléctrica comprende un tubo de suministro (116) para suministrar el flujo refrigerante al agujero de la primera sección de árbol.

7. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con la reivindicación 6, en la que el rotor es rotatorio con respecto al tubo de suministro y hay un sello laberíntico sin contacto (117) para proporcionar un sellado entre el agujero de la primera sección de árbol y un extremo del tubo de suministro.

8. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en la que la segunda sección de árbol está dispuesta para forzar el flujo refrigerante en un movimiento rotatorio alrededor de un eje de rotación del rotor cuando el rotor está rotando y cuando el flujo refrigerante sale de la segunda sección de árbol para proporcionar un efecto de succión basado en una fuerza centrífuga.

9. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en la que la turbomáquina eléctrica además comprende un impulsor de bomba (118) conectado directamente a la primera sección de árbol, siendo el impulsor de bomba adecuado para bombear líquido.

10. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con la reivindicación 9, en la que la primera sección de árbol se dispone para conducir el flujo refrigerante a través de un área donde el impulsor de bomba está conectado directamente a la primera sección de árbol.

11. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en la que una estructura de bastidor del estátor comprende una sala (120) que rodea una estructura de núcleo ferromagnético (121) del estátor y es adecuada para contener una envoltura de líquido para refrigerar el estátor.

12. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en la que una estructura de



bastidor del estátor comprende una sala (157) para contener una envoltura de líquido para refrigerar una parte del flujo de trabajo que pasa desde una cámara del impulsor de la sección de turbina a un espacio de gas de una máquina eléctrica que comprende el rotor y el estátor.

5 13. Una turbomáquina eléctrica de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, en la que el estátor comprende material sólido (122) dispuesto para proporcionar una relación de conducción de calor entre bobinados de extremo del estátor y la estructura de bastidor del estátor.

14. Una central eléctrica que comprende:

- 10
- una caldera (551) para vaporizar fluido de trabajo,
  - una turbomáquina eléctrica (500) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-14 y para convertir energía contenida en el fluido de trabajo vaporizado en energía eléctrica,
- 15
- un condensador (552) para condensar el fluido de trabajo vaporizado que sale de la turbomáquina eléctrica, y
  - un sistema de bombeo (553, 554) para bombear una primera parte del fluido de trabajo condensado a la caldera y una segunda parte del fluido de trabajo condensado a la turbomáquina eléctrica para refrigerar la turbomáquina eléctrica con el fluido de trabajo condensado.

20 15. Una central eléctrica de acuerdo con la reivindicación 14, en la que la central eléctrica comprende un refrigerador (555) para refrigerar la segunda parte del fluido de trabajo condensado antes de suministrar la segunda parte del fluido de trabajo condensado a la turbomáquina eléctrica.



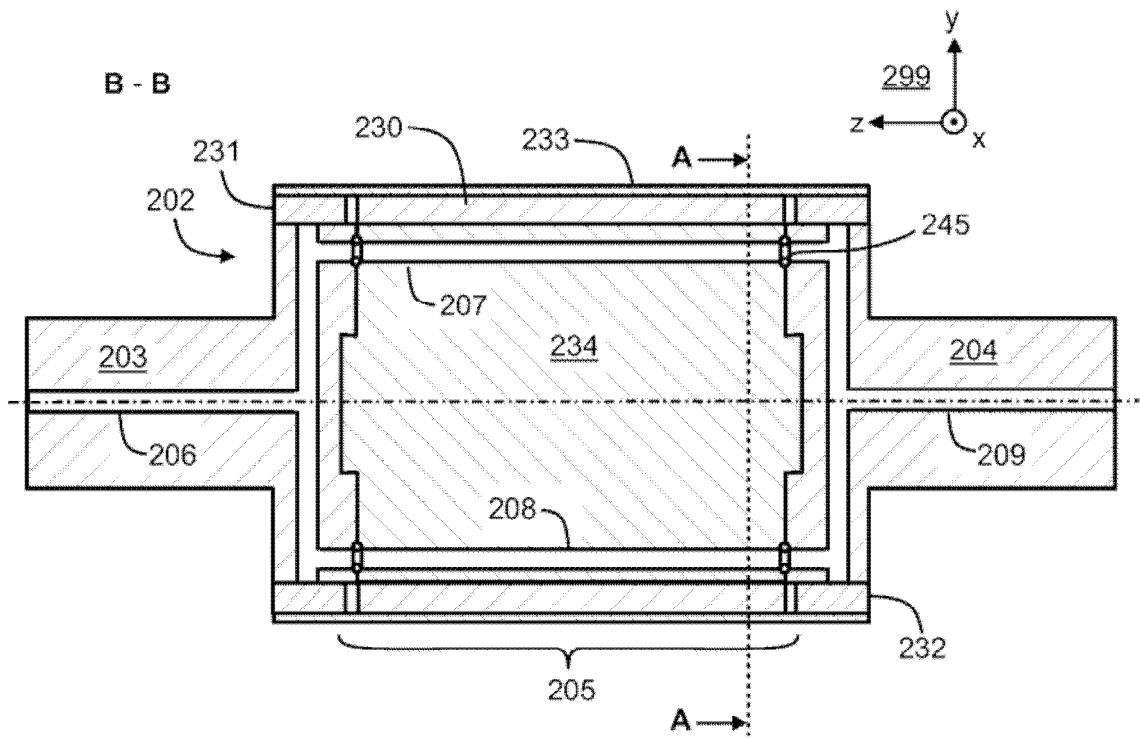


Figura 2a

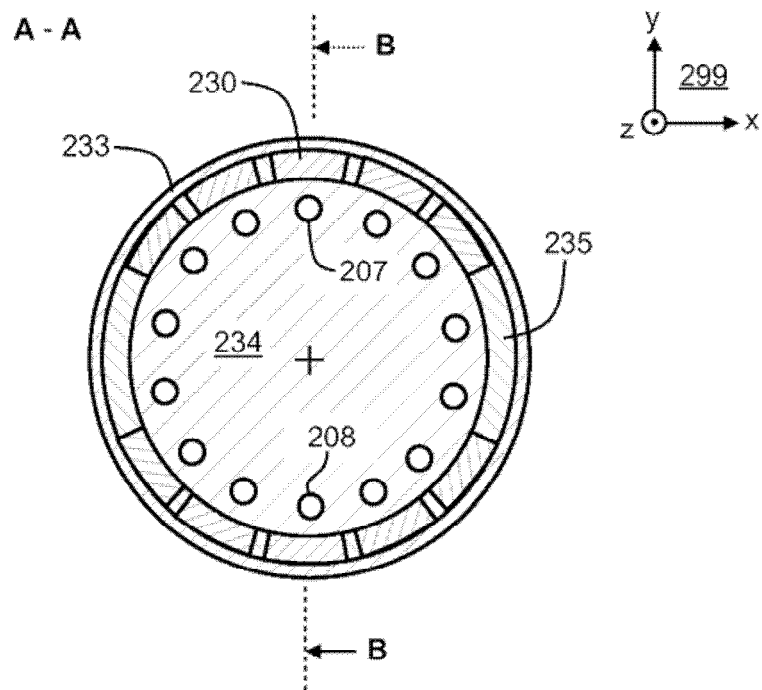
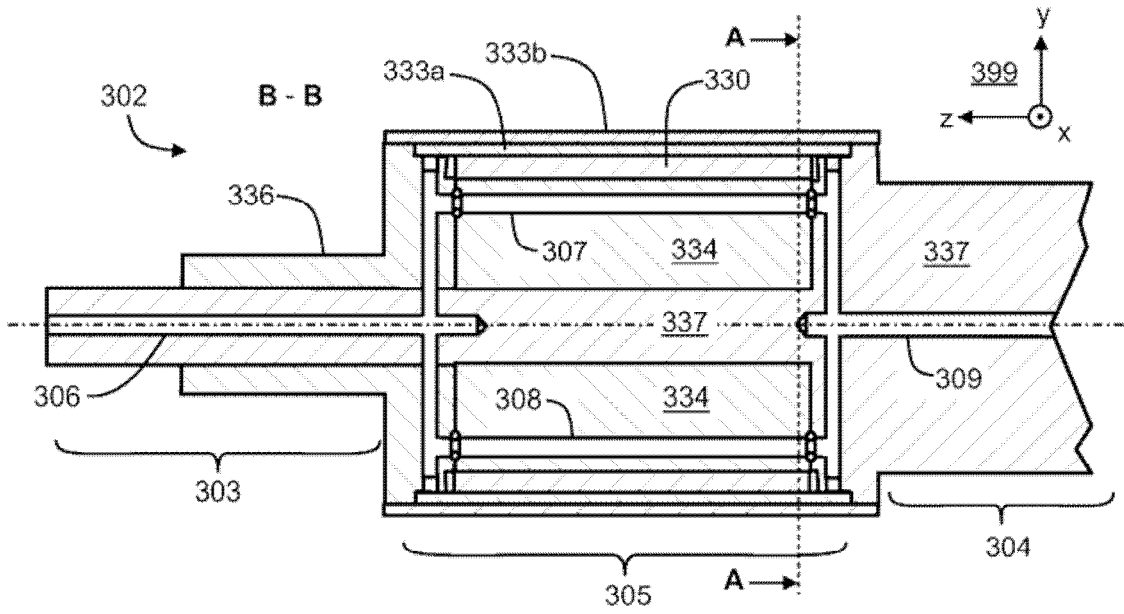
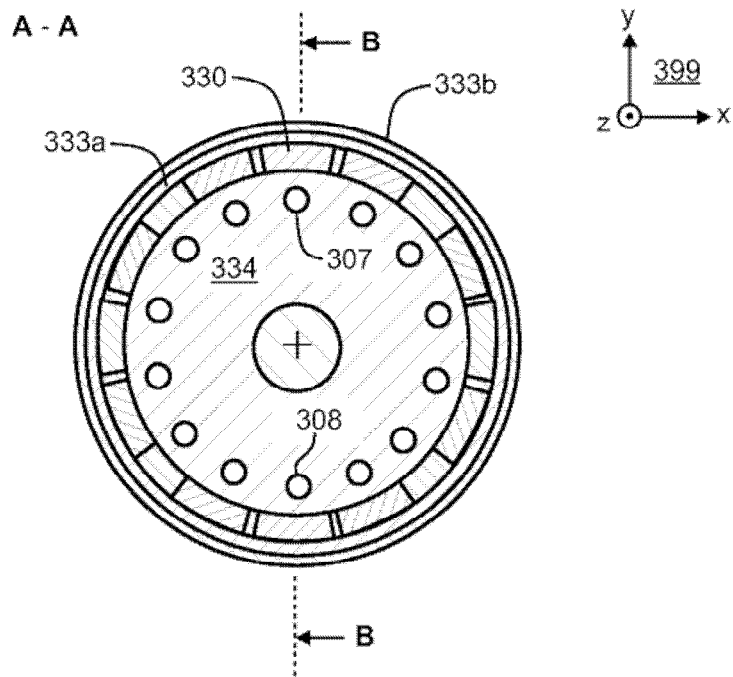


Figura 2b



**Figura 3a**



**Figura 3b**

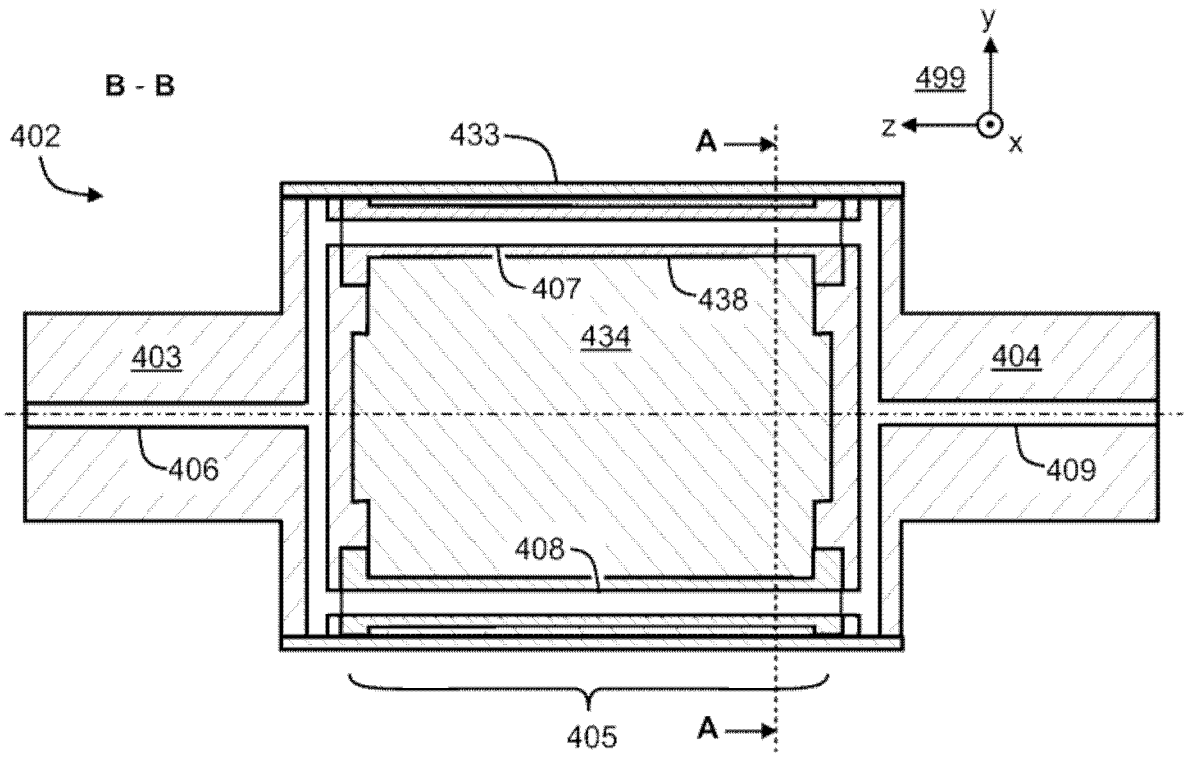


Figura 4a

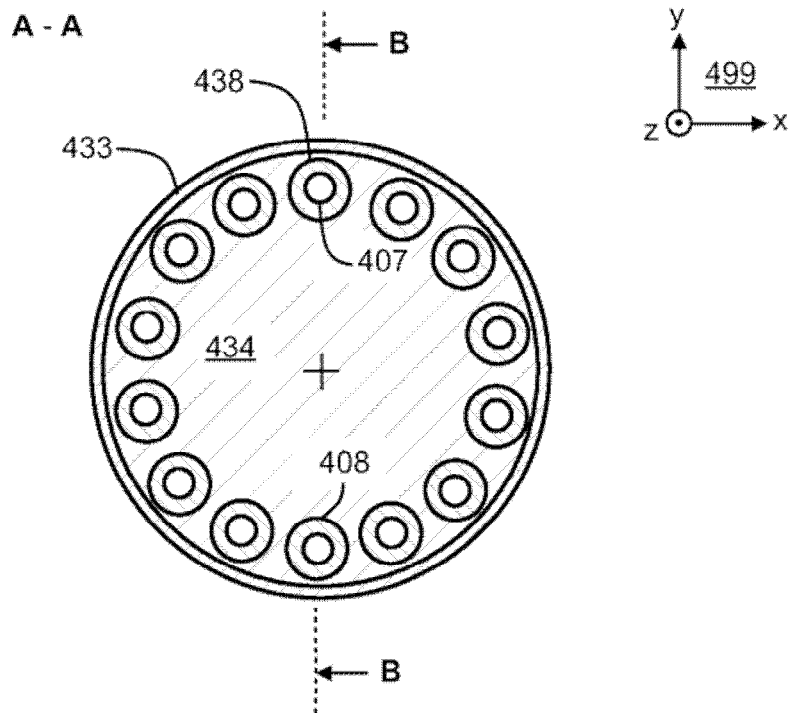


Figura 4b

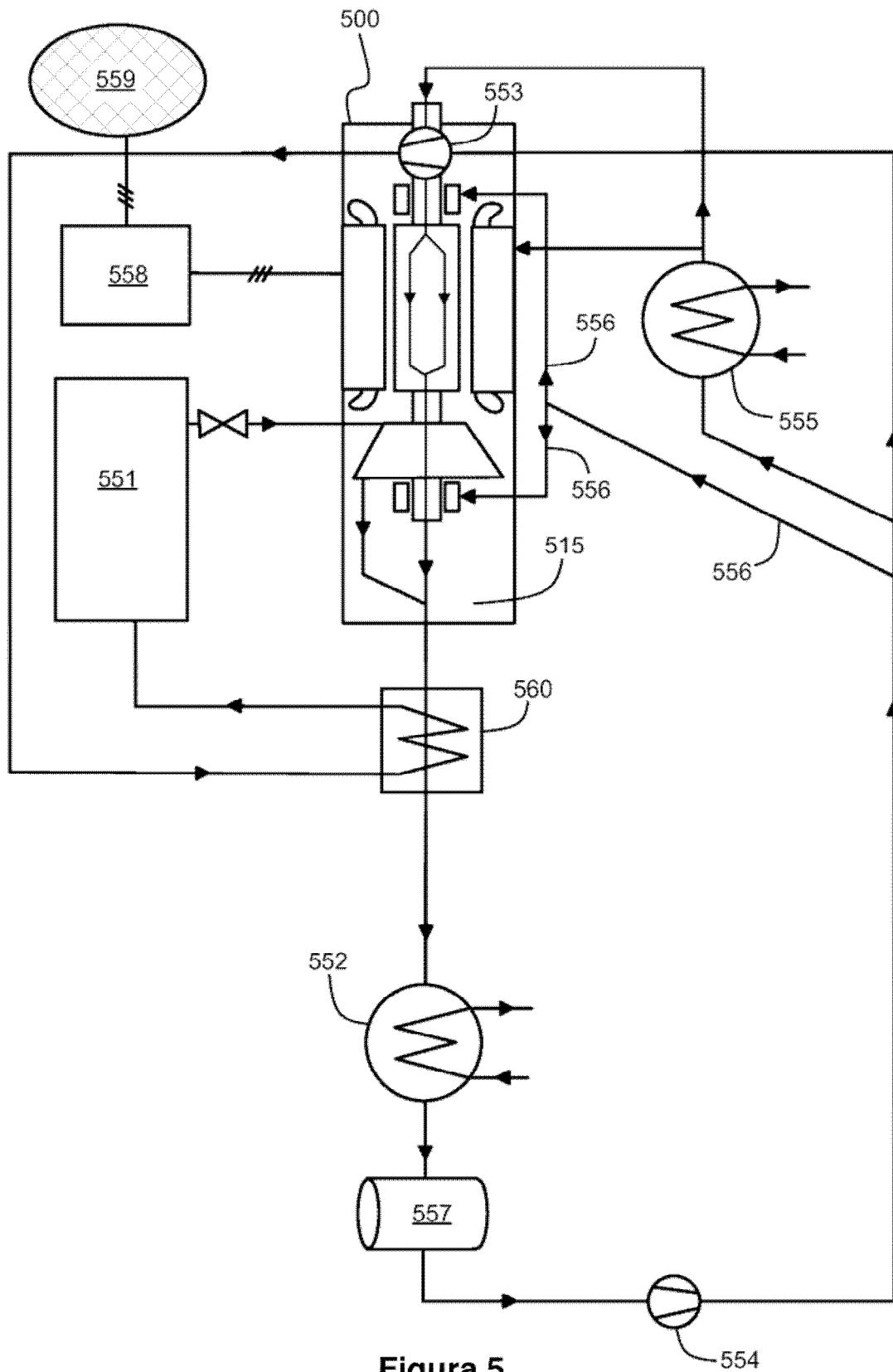


Figura 5