

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 815 574**

51 Int. Cl.:

H02K 9/08 (2006.01)

H02K 1/20 (2006.01)

H02K 9/10 (2006.01)

H02K 9/19 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.04.2015** **E 15162941 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020** **EP 3079239**

54 Título: **Máquina eléctrica y método**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.03.2021

73 Titular/es:

**GE ENERGY POWER CONVERSION
TECHNOLOGY LTD (100.0%)
Boughton Road, Rugby
Warwickshire CV21 1BU, GB**

72 Inventor/es:

**SALTER, BENJAMIN;
LE FLEM, GRAHAM y
EUGENE, JOSEPH**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 815 574 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

Máquina eléctrica y método

Campo técnico

5 La presente invención versa sobre estatores para máquinas eléctricas (por ejemplo, motores y generadores) y, en particular, sobre estatores que tienen pasos o conductos de refrigeración. La presente invención puede ser particularmente útil para máquinas eléctricas de gran potencia y baja velocidad.

Técnica antecedente

10 Se sabe cómo producir estatores laminados para máquinas eléctricas prensando entre sí pilas de láminas anulares. Las láminas se forman normalmente a partir de chapas de acero de calidad eléctrica que suelen estar dotadas de recubrimientos aislantes. Cada lámina anular puede estar formada de un único miembro o puede ser ella misma de construcción segmentaria, siendo los segmentos colindantes entre sí, en bordes que, generalmente, se extienden radialmente.

15 Las láminas pueden definir dientes que se extienden axialmente que definen entre los mismos ranuras que se extienden axialmente para recibir los conductores de un devanado de estátor. Los dientes están espaciados circunferencialmente alrededor de la superficie del estátor y transportan el flujo magnético que conecta el estátor con el rotor a través del entrehierro. Los conductores están aislados eléctricamente de los dientes.

20 Uno de los problemas que afrontan los diseñadores de máquinas eléctricas es el calor que se crea como consecuencia de las diversas pérdidas; por ejemplo, pérdidas resistivas en el devanado del estátor, pérdidas por corrientes parásitas en las láminas, etc. El problema del calor puede ser particularmente agudo cuando se intenta diseñar una máquina eléctrica de gran densidad de potencia. La producción máxima de potencia de una máquina eléctrica, para una cantidad dada de material conductor (por ejemplo, cobre para los conductores del devanado del estátor y hierro para el circuito magnético) está limitada por la eficacia de la refrigeración, porque, si no se elimina eficientemente el calor, la temperatura de la máquina eléctrica aumentará hasta un punto en que pueda provocar que falle el material aislante u alguna otra parte de la máquina.

25 Una de las principales fuentes de calor en una máquina eléctrica de baja velocidad es normalmente consecuencia de las pérdidas resistivas en los conductores del devanado del estátor que están recibidas en las ranuras y que tienen cabezales de devanado que se extienden hacia fuera más allá de los extremos axiales del estátor.

30 Las máquinas eléctricas pueden ser refrigeradas de diversas formas diferentes; por ejemplo, refrigeración directa por líquido o aire, refrigeración por conducción a las láminas que, a su vez, son refrigeradas por refrigeración directa o por una camisa externa de agua. Sin embargo, todas estas formas conocidas de refrigeración adolecen de algunas desventajas en términos de su densidad de potencia disponible, de su complejidad mecánica o de su ruido.

Por lo tanto, existe la necesidad de una forma mejorada de refrigeración de una máquina eléctrica que combine buena eficacia de refrigeración, simplicidad mecánica y bajo ruido.

35 El documento EP 2806537 A2 da a conocer una máquina eléctrica con pasos o conductos de refrigeración que se extienden axialmente en los dientes del estátor. El documento EP 2518868 A1 da a conocer una disposición de refrigeración para una máquina eléctrica en donde se hace circular aire de refrigeración alrededor de un estátor para refrigerar el estátor y los cabezales de devanado y en donde el calor es extraído del aire de refrigeración mediante un intercambiador separado de calor.

40 El documento DE 3031421 A1 da a conocer una máquina eléctrica con pasos o conductos de refrigeración que se extienden axialmente en el núcleo del estátor a través de los cuales, en uso, fluye un fluido refrigerante. Un devanado de estátor incluye múltiples primeros cabezales del devanado en un primer extremo axial del estátor y múltiples segundos cabezales del devanado en un segundo extremo axial del estátor. Se proporciona un circuito de refrigeración por aire para refrigerar los cabezales de devanado. La rotación del rotor hace que el aire de refrigeración fluya radialmente hacia fuera a través de pasos o conductos de refrigeración que se extienden radialmente a través del núcleo del estátor. En la superficie radialmente exterior, parte del aire de refrigeración es dirigida para que fluya axialmente hacia los primeros cabezales del devanado y parte del aire de refrigeración es dirigida para que fluya axialmente hacia los segundos cabezales del devanado. El calor se transfiere al fluido refrigerante que fluye a través del circuito interno de refrigeración.

Compendio de la invención

50 La presente invención proporciona una máquina eléctrica según la reivindicación 1. Preferiblemente, cada diente del estátor incluirá al menos un paso de refrigeración que se extiende axialmente, por lo que se proporcionan pasos de refrigeración alrededor la circunferencia del estátor.

Cada diente del estátor puede tener dos o más pasos (o conductos) de refrigeración que se extienden axialmente. Normalmente podrían usarse dos o más pasos de refrigeración con preferencia a un solo paso mayor de refrigeración

si esto da al diente del estátor propiedades mecánicas mejoradas, tales como resistencia y/o rigidez.

Cada lámina incluye preferiblemente ranuras en la misma que definen las ranuras del estátor, y dientes que definen los dientes de estátor cuando las láminas están apiladas entre sí. Cada diente de las láminas puede tener al menos una abertura en el mismo que define un vacío que se extiende axialmente cuando las láminas están apiladas entre sí.

5 En una disposición, cada vacío define un correspondiente paso de refrigeración para el fluido refrigerante. En otra disposición, se puede colocar un tubo de material no conductor de la electricidad dentro de cada vacío, de modo que cada paso de refrigeración esté definido por un tubo correspondiente. Cada abertura de la lámina puede tener cualquier forma o tamaño adecuados. Cada tubo puede tener cualquier sección transversal adecuada. Cada lámina puede tener la forma de un segmento de un anillo, o puede estar formada ella misma de múltiples miembros segmentarios, que colindan preferiblemente entre sí a lo largo de bordes que, generalmente, se extienden radialmente. Los límites de los segmentos de las láminas están alineados preferiblemente con las ranuras del estátor, no con los dientes del estátor.

El estátor incluye, además, aletas de refrigeración que se extienden axialmente. Preferiblemente, cada lámina tiene prolongaciones que definen las aletas de refrigeración. Se apreciará inmediatamente que pueden usarse otras configuraciones de aletas de refrigeración (por ejemplo, no axiales). Las aletas de refrigeración pueden ser provistas en una superficie radialmente exterior del estátor si los dientes de estátor están provistos en una superficie radialmente interior del estátor o viceversa. Las aletas de refrigeración aumentan el área del núcleo del estátor en contacto con el aire de refrigeración, que forma parte de un circuito de refrigeración por aire que se describe con mayor detalle posteriormente y, por ende, mejoran la eficacia de la refrigeración. Las aletas de refrigeración pueden tener cualquier forma adecuada para una refrigeración óptima.

Cada paso de refrigeración se extiende preferiblemente toda la longitud de las láminas apiladas (o núcleo del estátor). Pero, en algunas configuraciones, cada paso de refrigeración puede extenderse a lo largo de solo parte de las láminas apiladas.

Cuando las láminas apiladas son comprimidas y sometidas a un tratamiento apropiado que incluye impregnación por presión al vacío (VPI) y curado, haciéndose preferiblemente que cada paso de refrigeración sea estanco a los fluidos. En una disposición, la superficie de cada paso de refrigeración está definida por las aberturas de las láminas, de modo que el fluido refrigerante esté en contacto directo con las láminas apiladas. Una disposición en la que cada paso de refrigeración esté definido por un tubo colocado dentro de cada vacío podría no tener tal transferencia eficiente de calor entre las láminas apiladas y el fluido refrigerante, pero tiene la ventaja potencial de que no depende de que los propios vacíos que se extienden axialmente sean estancos a los fluidos. Con cualquiera de las dos disposiciones, no hay ningún contacto directo entre el fluido refrigerante y los conductores del devanado del estátor. Preferiblemente, se proporciona un colector en cada extremo axial de las láminas apiladas; véase posteriormente. Preferiblemente, los colectores también son sometidos al proceso de VPI y de curado y proporcionan una junta estanca a los fluidos alrededor del extremo de cada paso de refrigeración.

Posteriormente, pueden conectarse conductos externos u otras tuberías a puntos de conexión de los colectores para dejar que el fluido refrigerante circule alrededor de al menos un circuito de refrigeración de bucle cerrado. Los conductos externos u otras tuberías pueden ser parte de un conjunto externo de refrigeración. Si proporcionan una refrigeración adicional útil, los conductos externos u otras tuberías pueden ser encaminados adyacentes a uno de los cabezales del devanado del estátor.

El estátor puede incluir, además, un primer colector en un primer extremo axial del estátor y un segundo colector en un segundo extremo axial del estátor. El primer colector puede tener al menos una entrada en comunicación de fluido con una fuente de fluido refrigerante y salidas en comunicación de fluido con un primer extremo axial de los pasos de refrigeración. El segundo colector puede tener al menos una salida y entradas en comunicación de fluido con un segundo extremo axial de los pasos de refrigeración. El primer colector distribuye fluido refrigerante procedente de la(s) entrada(s) a los pasos de refrigeración y el segundo colector recoge fluido refrigerante procedente de los pasos de refrigeración y lo suministra a la(s) salida(s). Los colectores primero y segundo pueden tener cualquier construcción adecuada, incluyendo una construcción segmentada en la que cada colector está formado por múltiples segmentos de colector. Los segmentos de colector pueden estar dispuestos para definir colectores sustancialmente anulares. En estátors de mayor diámetro, el uso de segmentos de colector puede garantizar que los colectores primero y segundo no crucen los límites de los segmentos de las láminas. La dinámica de fluidos de cada segmento de colector también puede ser determinada con precisión, lo que evita la necesidad de un modelado extenso para estátors de tamaños diferentes si los colectores se construyen usando un número apropiado de secciones individuales de colector.

Cada segmento de colector del primer colector puede incluir su propia entrada y cada segmento de colector del segundo colector puede incluir su propia salida.

Cada colector o segmento de colector incluirá normalmente una cámara interna que está en comunicación de fluido con una entrada o una salida y que incluye partes que se extienden radialmente que están alineadas con los dientes del estátor y que distribuyen el fluido refrigerante a los pasos de refrigeración o recogen fluido refrigerante de los pasos de refrigeración. En una disposición, normalmente para estátors de menor diámetro con láminas no segmentadas, los colectores primero y segundo son no segmentados y la cámara interna puede ser sustancialmente anular. La

entrada del primer colector y la salida del segundo colector pueden tener una conexión de fluido con un conjunto externo de refrigeración para definir, con los pasos de refrigeración, un circuito de refrigeración de bucle cerrado. El conjunto externo de refrigeración puede incluir opcionalmente dos o más circuitos externos de refrigeración con conexión de fluido a la entrada y la salida en paralelo para proporcionar redundancia, por ejemplo.

5 En otra disposición, cuando los colectores primero y segundo están segmentados, se apreciará inmediatamente que hay disponible una amplia variedad de opciones de circuito externo de refrigeración. Por ejemplo, las entradas de los segmentos de colector del primer colector pueden tener una conexión de fluido con una entrada común, ya sea en serie o en paralelo, y las salidas de los segmentos de colector del segundo colector pueden tener una conexión de fluido con una salida común, ya sea en serie o en paralelo. La entrada común y la salida común pueden tener entonces
10 una conexión de fluido con un conjunto externo de refrigeración para definir, con los pasos internos de refrigeración, un circuito de refrigeración de bucle cerrado. El conjunto externo de refrigeración puede incluir opcionalmente dos o más circuitos externos de refrigeración con conexión de fluido a la entrada común y a la salida común en paralelo para proporcionar redundancia, por ejemplo.

15 Alternativamente, las entradas de un primer grupo de los segmentos de colector del primer colector pueden tener una conexión de fluido con una primera entrada común, ya sea en serie o en paralelo; las entradas de un segundo grupo de los segmentos de colector del primer colector pueden tener una conexión de fluido con una segunda entrada común, ya sea en serie o en paralelo, etcétera. De modo similar, las salidas de un primer grupo de los segmentos de colector del segundo colector pueden tener una conexión de fluido con una primera salida común, ya sea en serie o en paralelo; las salidas de un segundo grupo de los segmentos de colector del segundo colector pueden tener una conexión de fluido con una segunda salida común, ya sea en serie o en paralelo, etcétera. La primera entrada común y la primera salida común pueden tener entonces una conexión de fluido con un primer circuito externo de refrigeración para definir, con los pasos de refrigeración asociados con el primer grupo de segmentos de colector, un primer circuito de refrigeración de bucle cerrado; la segunda entrada común y la segunda salida común pueden tener entonces una
20 conexión de fluido con un segundo circuito externo de refrigeración para definir, con los pasos de refrigeración asociados con el segundo grupo de segmentos de colector, un segundo circuito de refrigeración de bucle cerrado, etcétera. Los segmentos de colector pueden dividirse en cualquier número adecuado de grupos y el conjunto externo de refrigeración puede incluir cualquier número adecuado de circuitos externos de refrigeración. Opcionalmente, dos o más circuitos externos de refrigeración pueden tener una conexión de fluido con cada entrada común y con cada salida común para proporcionar redundancia, por ejemplo. Los segmentos de colector que componen cada grupo no tendrían que estar adyacentes físicamente, sino que pueden estar ventajosamente distribuidos alrededor de la circunferencia del estátor. Por ejemplo, si el primer colector incluye dieciséis segmentos de colector y el segundo colector incluye dieciséis segmentos de colector, estos podrían tener una conexión de fluido entre sí en dos circuitos de refrigeración de bucle cerrado completamente separados, teniendo las ocho entradas de los segmentos de colector de numeración par del primer colector (es decir, numerados consecutivamente alrededor de la circunferencia del estátor) conexión de fluido con una primera entrada común, teniendo las ocho entradas de los segmentos de colector de numeración impar del primer colector conexión de fluido con una segunda entrada común, teniendo las ocho salidas de los segmentos de colector de numeración par del segundo colector conexión de fluido con una primera salida común, y teniendo las ocho salidas de los segmentos de colector de numeración impar del segundo colector conexión de fluido con una segunda salida común. La primera entrada común y la primera salida común pueden tener una
30 conexión de fluido con un primer circuito externo de refrigeración y la segunda entrada común y la segunda salida común pueden tener una conexión de fluido con un segundo circuito externo de refrigeración. El primer circuito externo de refrigeración define un primer circuito de refrigeración de bucle cerrado con los pasos de refrigeración asociados con los segmentos de colector de numeración par, y el segundo circuito externo de refrigeración define un segundo circuito de refrigeración de bucle cerrado con los pasos de refrigeración asociados con los segmentos de colector de numeración impar. Se comprenderá inmediatamente que, en caso de un fallo del primer circuito externo de refrigeración, podría seguir circulando fluido refrigerante a través de los pasos de refrigeración asociados con los segmentos de colector de numeración impar, se modo que la refrigeración se distribuya alrededor de la circunferencia del estátor. Los dieciséis segmentos de los colectores también podrían dividirse uniformemente, por ejemplo, en cuatro grupos, según sea apropiado. No es preciso que los grupos tengan el mismo número de segmentos de colector. Así,
35 los dieciséis segmentos de colector también podrían dividirse en tres grupos, por ejemplo, teniendo los grupos primero y segundo cinco segmentos de colector y teniendo un tercer grupo seis segmentos de colector.

40 Alternativamente, la entrada de un segmento de primer colector del primer colector y la salida de un segmento de primer colector del segundo colector pueden tener una conexión de fluido con un primer circuito externo de refrigeración para definir, con los pasos de refrigeración asociados con los segmentos del primer colector, un primer
45 circuito de refrigeración de bucle cerrado; la entrada de un segmento de segundo colector del primer colector y la salida de un segmento de segundo colector del segundo colector pueden tener una conexión de fluido con un segundo circuito externo de refrigeración para definir, con los pasos de refrigeración asociados con los segmentos del segundo colector, un segundo circuito de refrigeración de bucle cerrado; la entrada de un tercer segmento de colector del primer colector y la salida de un tercer segmento de colector del segundo colector pueden tener una conexión de fluido con un tercer circuito externo de refrigeración para definir, con los pasos de refrigeración asociados con los terceros
50 segmentos de colector, un tercer circuito de refrigeración de bucle cerrado; etcétera. En otras palabras, cada segmento de colector del primer colector puede tener una conexión de fluido con un correspondiente segmento de colector del segundo colector mediante uno o más circuitos externos de refrigeración del conjunto externo de refrigeración.

5 Cada circuito externo de refrigeración puede incluir al menos una bomba para proporcionar presión de circulación y al menos un intercambiador de calor o un dispositivo similar para enfriar el fluido refrigerante. Cada bomba puede ser de cualquier tipo adecuado, y puede depender del tipo de fluido refrigerante que se esté usando. De forma similar, cada intercambiador de calor puede ser de cualquier tipo adecuado. Debería interpretarse que la expresión "intercambiador de calor" incluye cualquier dispositivo que extraiga calor del fluido refrigerante que pasa a través del circuito externo de refrigeración. Cada circuito externo de refrigeración puede incluir otros componentes; por ejemplo, para tratar, purificar o acondicionar el fluido refrigerante, para monitorizar o controlar, etc.

10 Se puede hacer que circule fluido refrigerante a través de los pasos de refrigeración en la misma dirección. Alternativamente, se puede hacer que circule fluido refrigerante a través de algunos pasos de refrigeración en una dirección y se puede hacer que circule fluido refrigerante a través de otros pasos de refrigeración en una dirección opuesta.

15 Puede usarse cualquier fluido refrigerante adecuado, incluyendo aire u otro gas adecuado, una mezcla de gas/líquido (por ejemplo, un vapor), o un líquido adecuado, tal como agua, agua purificada, sustancia líquida dieléctrica o aceite. Normalmente, la elección del fluido refrigerante tendrá en cuenta inquietudes tales como la corrosión, pérdidas eléctricas, etc. Si es necesario, el circuito externo de refrigeración podría incluir una unidad de tratamiento (por ejemplo, para purificar o tratar el fluido refrigerante) o podría añadirse al fluido refrigerante un aditivo adecuado.

El estátor puede incluir, además, placas primera y segunda de compresión.

20 El primer colector puede estar situado entre la primera placa de compresión y un primer extremo axial de las láminas apiladas, y el segundo colector puede estar situado entre la segunda placa de compresión y un segundo extremo axial de las láminas apiladas. En otra disposición, los colectores y las placas de compresión pueden estar formados integralmente o combinados en un solo componente que cumpla ambas funciones técnicas.

25 El primer colector puede incluir uno o más soportes para transferir las fuerzas de compresión entre la primera placa de compresión y el primer extremo axial de las láminas apiladas. De modo similar, el segundo colector puede incluir uno o más soportes para transferir las fuerzas de compresión entre la segunda placa de compresión y el segundo extremo axial de las láminas apiladas. Los colectores primero y segundo pueden extenderse entre los dientes de estátor y la placa adyacente de compresión. En este caso, se apreciará de inmediato que los colectores primero y segundo sustituyen los soportes convencionales de dientes que normalmente están situados entre las placas de compresión y los extremos axiales de las láminas apiladas. Los soportes pueden estar situados en la cámara interna de cada colector o segmento de colector, y opcionalmente en las partes de la cámara interna que se extienden radialmente hacia dentro.

30 Los colectores primero y segundo pueden estar soldados o fijados de otra manera a los extremos axiales de las láminas apiladas; por ejemplo, las láminas terminales adyacentes. Además o alternativamente, pueden proporcionarse medios de estanqueidad entre los colectores primero y segundo y las láminas terminales adyacentes para impedir la fuga de fluido refrigerante. Los medios de estanqueidad pueden incluir sellos, juntas o elementos de estanqueidad proporcionados, por ejemplo, en uno de los colectores primero y segundo, o en ambos, y en las láminas terminales.

35 Los colectores primero y segundo se pueden formar de cualquier manera adecuada; por ejemplo, mediante fabricación, mediante fundición o mecanizando la cámara interna para convertirla en un bloque de material.

40 El medio para hacer circular el fluido refrigerante puede ser un conjunto externo de refrigeración que tiene uno o más circuitos externos de refrigeración con conexión de fluido entre los colectores primero y segundo. El conjunto externo de refrigeración puede incluir al menos una bomba y al menos un intercambiador de calor.

La presente invención puede proporcionar, además, un método de refrigeración de una máquina eléctrica según la reivindicación 11.

45 Si cada uno de los dientes de estátor incluye un paso de refrigeración que se extiende axialmente, el método puede incluir, además, la etapa de hacer que el fluido refrigerante fluya a través de cada paso de refrigeración para refrigerar el estátor.

El aire que circula alrededor del estátor es enfriado por las láminas apiladas. Esto puede evitar la necesidad de un intercambiador separado de calor que enfríe el aire de refrigeración. El estátor incluye aletas de refrigeración en la otra de las superficies radiales interior y exterior del estátor, de modo que el aire que circula alrededor del circuito de refrigeración por aire sea enfriado por las aletas de refrigeración.

50 El fluido refrigerante que fluye a través de los pasos de refrigeración se encuentra en proximidad física estrecha a los conductores del devanado del estátor, que son la principal fuente de calor dentro de la máquina eléctrica. Por lo tanto, la presente invención proporciona una refrigeración muy eficiente, a la vez que evita la complejidad mecánica asociada con los métodos convencionales de refrigeración. La refrigeración también puede realizarse se manera silenciosa (es decir, con baja firma acústica), porque el fluido refrigerante puede fluir a través de los pasos de refrigeración en los dientes de estátor a velocidad relativamente baja (por ejemplo, entre aproximadamente 0,1 m/s y aproximadamente 0,5 m/s, siendo el fluido refrigerante agua, pero se entenderá que pueden necesitarse velocidades mayores si el fluido

refrigerante es un gas o una mezcla de gas/líquido). Esto evita problemas como la turbulencia que son comunes, por ejemplo, en máquinas eléctricas refrigeradas por aire. El fluido refrigerante mantiene los conductores del devanado del estátor refrigerados y una proporción significativa de calor en los cabezales de devanado que sobresalen de los extremos axiales del estátor puede ser devuelta por conducción al interior de las ranuras del estátor. Esto, a su vez, quiere decir que se precisa un flujo de aire relativamente bajo (por ejemplo, aproximadamente 5 m/s) para que el circuito de refrigeración por aire refrigere los cabezales de devanado. En una realización particular, el aire de refrigeración puede fluir sobre un conjunto de cabezales de devanado para refrigerarlos, por delante de los dientes de estátor a través del entrehierro que se proporciona entre el estátor y el rotor, enfriando con ello el rotor, y sobre el otro conjunto de cabezales de devanado para refrigerarlos. El aire puede volver entonces, para completar el circuito de refrigeración por aire, fluyendo a lo largo del otro lado del estátor, donde puede ser enfriado por las aletas de refrigeración. Por lo tanto, se apreciará de inmediato que el aire es enfriado por las láminas apiladas, las cuales, a su vez, son refrigeradas por el fluido refrigerante que fluye a través de los pasos de refrigeración en los dientes de estátor.

Puede hacerse que el aire de refrigeración circule alrededor del circuito de refrigeración por aire mediante uno o más impulsores (opcionalmente montados en el eje del rotor de la máquina eléctrica) o ventiladores motorizados, por ejemplo.

El circuito de refrigeración por aire puede ser un circuito de bucle cerrado, en donde el aire circula alrededor del estátor en un alojamiento exterior de la máquina eléctrica. Pueden usarse deflectores para controlar y dirigir la circulación del aire alrededor del circuito de refrigeración por aire.

La presente invención es particularmente ventajosa para máquinas eléctricas que deben tener una gran densidad de potencia y/o una baja firma acústica; por ejemplo, para aplicaciones marinas o cuando el espacio de instalación para la máquina eléctrica sea restringido. La simplicidad mecánica del paso o de los pasos de refrigeración propuestos y del circuito de refrigeración por aire de bucle cerrado proporciona beneficios en términos de costes de fabricación y de mantenimiento. También es un diseño inherentemente robusto que es capaz de soportar una vibración externa y cargas de impacto significativas.

Dibujos

La Figura 1 es un segmento de lámina de un estátor según la presente invención;

la Figura 2 es una sección transversal axial a través de una máquina eléctrica según la presente invención;

la Figura 3 es una sección transversal radial parcial a través de la máquina eléctrica de la Figura 2;

la Figura 4 es una sección transversal axial a través de una máquina eléctrica alternativa según la presente invención;

la Figura 5 es una sección transversal radial parcial a través de la máquina eléctrica de la Figura 4;

la Figura 6 es una vista radial de la máquina eléctrica de la Figura 2 que muestra el primer colector y con la placa de compresión omitida;

la Figura 7 es un dibujo esquemático que muestra cómo los colectores primero y segundo tienen conexión de fluido con un circuito externo de refrigeración;

la Figura 8 es un dibujo esquemático que muestra un primer circuito externo de refrigeración en el que los colectores primero y segundo no están segmentados;

la Figura 9 es un dibujo esquemático que muestra un segundo circuito externo de refrigeración en el que los colectores primero y segundo están segmentados;

la Figura 10 es un dibujo esquemático que muestra un tercer circuito externo de refrigeración en el que los colectores primero y segundo están segmentados; y

la Figura 11 es una sección transversal axial a través de una máquina eléctrica según la presente invención que muestra el circuito de refrigeración por aire.

La Figura 1 muestra un segmento 1 de lámina que está formado a partir de una chapa de acero de calidad eléctrica con recubrimientos aislantes. Múltiples segmentos 1 de lámina colindarán entre sí a lo largo de los bordes 2A, 2B que se extienden radialmente para formar una lámina anular, y, a continuación, se pensarán entre sí pilas de láminas anulares para formar un núcleo de estátor. Los segmentos 1 de lámina están alternados para dar rigidez tangencial. El segmento de lámina incluye ranuras 4 y dientes 6 en un borde radialmente interior 2C y prolongaciones 8 en un borde radialmente exterior 2D. Hay una abertura 10 formada en cada diente 6. Para estátors de menor diámetro, pueden pensarse entre sí láminas anulares no segmentadas (no mostradas) para formar el núcleo del estátor. Cada lámina anular incluye correspondientes ranuras y dientes en el borde radialmente interior y correspondientes

prolongaciones en un borde radialmente exterior.

Con referencia a la Figura 2, una máquina eléctrica incluye un estátor 12 y un rotor 14 separados por un entrehierro 16. El rotor 14 está montado en un árbol 18.

5 El estátor 12 incluye un núcleo 20 de estátor, un primer colector 22A, un segundo colector 22B, una primera placa 24A de compresión y una segunda placa 24B de compresión.

10 El núcleo 20 del estátor se forma a partir de las láminas apiladas anulares 1. Con referencia a las Figuras 2 y 3, la superficie radialmente interior del núcleo 20 del estátor incluye múltiples ranuras 26 de estátor que se extienden axialmente que están definidas por las ranuras 4 de las láminas y múltiples dientes 28 de estátor que se extienden axialmente que están definidos por los dientes 6 de las láminas. Los conductores 30 de un devanado de estátor se reciben en las ranuras 26 del estátor. (Obsérvese que en las Figuras 2 y 4 los cabezales de devanado del devanado del estátor han sido omitidos en aras de la claridad). La superficie radialmente exterior del núcleo 20 del estátor incluye múltiples aletas 32 de refrigeración que se extienden axialmente.

15 El núcleo 20 del estátor incluye múltiples vacíos 34 que se extienden axialmente que están definidos por las aberturas 10 de las láminas. Cada vacío 34 se extiende a través de un diente 28 de estátor y define un paso 36 de refrigeración a través del cual fluye un líquido refrigerante (por ejemplo, agua) durante el funcionamiento de la máquina eléctrica. Por lo tanto, el líquido refrigerante que fluye a través de los pasos 36 de refrigeración está en contacto directo con las láminas apiladas 1 del núcleo 20 del estátor. Cuando las láminas apiladas 1 son comprimidas y sometidas a un tratamiento apropiado, incluyendo la impregnación por presión al vacío (VPI) y el curado, preferiblemente se hace que la superficie de cada paso 36 de refrigeración sea estanca a los líquidos.

20 En la máquina eléctrica alternativa mostrada en las Figuras 4 y 5, un tubo 38 de material no conductor de la electricidad está colocado en cada vacío 34 y define el paso 40 de refrigeración. La máquina eléctrica alternativa es, en líneas generales, similar a la máquina eléctrica mostrada en las Figuras 2 y 3 y a los mismos componentes se les han dado los mismos números de referencia. En la máquina eléctrica alternativa, el líquido refrigerante no está en contacto directo con las láminas apiladas 1 del núcleo 20 del estátor, sino que el tubo 38 proporciona un paso 40 estanco a los líquidos.

25 Con referencia a la Figura 6, el primer colector 22A está formado de múltiples segmentos 40₁-40₄ de colector. En esta disposición, el primer colector 22A está formado de cuatro segmentos de colector, pero solo se muestran tres segmentos. Cada segmento 40 de colector distribuye líquido refrigerante a dos pasos 36 de refrigeración circunferencialmente adyacentes. Pero se apreciará inmediatamente que son posibles otras construcciones. Cada segmento 40 de colector incluye una entrada 42 que tiene comunicación de líquido con una cámara interna 44. La cámara interna 44 incluye partes 46 que se extienden radialmente hacia dentro que tienen comunicación de líquido con los pasos 36 de refrigeración y definen salidas del segmento 40 de colector. El líquido refrigerante introducido en la cámara interna 44 a través de la entrada 42 es distribuido a los pasos 36 de refrigeración a través de las partes 46 que se extienden radialmente. Se proporciona una junta anular 48 alrededor de cada paso 36 de refrigeración entre el segmento 40 de colector y la lámina terminal adyacente, es decir, la lámina en el extremo axial del núcleo 20 del estátor. El primer colector 22A transfiere la carga de compresión de la primera placa 24A de compresión al núcleo 20 del estátor. Los segmentos 40 de colector tienen partes 50 que se extienden radialmente (por ejemplo, partes de partes de alojamiento, en las que están formadas las partes 46 de la cámara interna que se extienden radialmente) que están alineadas con los dientes 28 de estátor y pueden omitirse los soportes convencionales de dientes que normalmente se instalan entre las placas de compresión y el núcleo del estátor. Los soportes 52 pueden estar situados dentro de la cámara interna 44 para proporcionar resistencia y rigidez adicionales a las secciones 40 de colector.

30 El segundo colector 22B está formado de manera similar para recoger el líquido refrigerante de los pasos de refrigeración y suministrar el líquido refrigerante recogido a una salida que tiene comunicación de líquido con la cámara interna. Aunque no se muestra, los colectores primero y segundo también pueden tener construcciones no segmentadas con una cámara interna anular.

35 La máquina eléctrica incluye un conjunto externo de refrigeración para hacer circular líquido refrigerante a través de los pasos 36 de refrigeración.

40 El conjunto externo 54 de refrigeración se muestra esquemáticamente en la Figura 7 e incluye un circuito externo 58 de refrigeración que tiene conexión de fluido con los colectores primero y segundo 22A, 22B. El conjunto externo 54 de refrigeración incluye una bomba 60 para hacer circular el líquido refrigerante y un intercambiador 62 de calor para enfriar el líquido refrigerante. El circuito externo 58 de refrigeración y los pasos internos 36 de refrigeración definen conjuntamente un circuito de refrigeración de bucle cerrado para el líquido refrigerante. El circuito externo 58 de refrigeración puede incluir opcionalmente una segunda bomba 60A y un segundo intercambiador 62A de calor con fines de redundancia. Puede haber un segundo circuito externo 58A de refrigeración con conexión de fluido con los colectores primero y segundo 22A, 22B en paralelo con el circuito externo 58 de refrigeración.

45 En las Figuras 8 a 10 se muestran esquemáticamente algunas opciones diferentes para el conjunto externo de refrigeración. En las Figuras 9 y 10 los conductos externos u otras tuberías del conjunto externo de refrigeración están representados por líneas en negra.

La Figura 8 muestra una disposición con colectores no segmentados primero y segundo, teniendo cada colector una cámara interna anular 64A, 64B. El primer colector tiene una entrada 66 y el segundo colector tiene una salida 68. El conjunto externo de refrigeración incluye un primer circuito externo 70 de refrigeración que tiene conexión de fluido con la entrada y la salida 66, 68. El primer circuito externo 70 de refrigeración incluye al menos una bomba 72 y al menos un intercambiador 74 de calor. Opcionalmente, puede haber un segundo circuito externo 70A de refrigeración que tiene conexión de fluido con la entrada y la salida 66, 68 en paralelo con el primer circuito externo 70 de refrigeración con fines de redundancia.

La Figura 9 muestra una disposición con colectores segmentados primero y segundo (por ejemplo, los colectores primero y segundo 22A, 22B descritos anteriormente), teniendo cada segmento 40₁-40₄ de colector una cámara interna 44. Cada segmento 40₁-40₄ de colector del primer colector incluye una entrada 76₁-76₄ y cada segmento de colector del segundo colector incluye una salida 78₁-78₄. Las entradas 76₁-76₄ tienen conjuntamente conexión de fluido en paralelo con una entrada común 80 y las salidas 78₁-78₄ tienen conjuntamente conexión de fluido en paralelo con una salida común 82. El conjunto externo de refrigeración incluye un primer circuito externo 84 de refrigeración que tiene conexión de fluido con la entrada y la salida 80, 82 comunes. El primer circuito externo 84 de refrigeración incluye al menos una bomba 86 y al menos un intercambiador 88 de calor. Opcionalmente, un segundo circuito externo 84A de refrigeración puede tener conexión de fluido con la entrada y la salida 80, 82 comunes en paralelo con el primer circuito externo 84 de refrigeración con fines de redundancia.

La Figura 10 muestra una disposición con colectores segmentados primero y segundo (por ejemplo, los colectores primero y segundo 22A, 22B descritos anteriormente), teniendo cada segmento 40₁-40₄ de colector una cámara interna 44. La disposición de la Figura 10 es similar a la disposición de la Figura 9 y a las partes comunes se les han dado los mismos números de referencia. Las entradas 76₁ y 76₃ tienen conexión de fluido en paralelo con una primera entrada común 90, y las entradas 76₂ y 76₄ tienen conexión de fluido con una segunda entrada común 92. Las salidas 78₁ y 78₃ tienen conexión de fluido en paralelo con una primera salida común 94 y las salidas 78₂ y 78₄ tienen conexión de fluido con una segunda salida común 96. El conjunto externo de refrigeración incluye un primer circuito externo 98 de refrigeración que tiene conexión de fluido con la primera entrada y la primera salida 90, 94 comunes. El primer circuito externo 98 de refrigeración incluye al menos una bomba 100 y al menos un intercambiador 102 de calor. El conjunto externo de refrigeración también incluye un segundo circuito externo 104 de refrigeración que tiene conexión de fluido con la segunda entrada y la segunda salida 92, 96 comunes. El segundo conjunto externo 104 de refrigeración incluye al menos una bomba 106 y al menos un intercambiador 108 de calor. Opcionalmente, un tercer circuito externo de refrigeración (no mostrado) puede tener conexión de fluido con la primera entrada y la primera salida 90, 94 comunes en paralelo con el primer circuito externo 98 de refrigeración con fines de redundancia. De modo similar, opcionalmente, un cuarto circuito externo de refrigeración (no mostrado) puede tener conexión de fluido con la segunda entrada y la segunda salida 92, 96 comunes en paralelo con el segundo circuito externo 104 de refrigeración con fines de redundancia. Se apreciará de inmediato que puede hacerse circular líquido refrigerante a través de los pasos 36₂ y 36₄ aunque haya un fallo en el primer circuito externo 98 de refrigeración. En otra disposición (no mostrada), cada entrada puede tener conexión de fluido con una respectiva salida mediante al menos un circuito externo de refrigeración, de modo que el conjunto externo de refrigeración incluya al menos cuatro circuitos externos de refrigeración.

La máquina eléctrica también incluye un circuito de refrigeración por aire. Con referencia a la Figura 11, se puede hacer circular aire de refrigeración (identificado por las flechas discontinuas) alrededor del exterior del estátor 12. El aire de refrigeración puede fluir sobre los primeros cabezales 110 del devanado, a través del entrehierro 16 entre el núcleo 20 del estátor y el rotor 14, sobre los segundos cabezales 112 del devanado, y sobre la superficie radialmente exterior del núcleo del estátor, en la que el aire es enfriado por las aletas 32 de refrigeración. En otras palabras, se hace circular al líquido refrigerante a través de los pasos 36 de refrigeración para refrigerar las láminas 1 del estátor, las cuales, a su vez, pueden enfriarse el aire que circula. Puede hacerse que el aire de refrigeración circule por medio de las palas 114 del impulsor montadas en el eje del rotor y que sea dirigido por deflectores (no mostrados).

REIVINDICACIONES

1. Una máquina eléctrica que comprende:

un estátor (12) que comprende múltiples láminas (1) generalmente anulares axialmente adyacentes, teniendo el estátor (12) una superficie radialmente interior y una superficie radialmente exterior e incluyendo:

5 dientes (28) de estátor que se extienden axialmente en una de las superficies radialmente interior y exterior del estátor (12), entre pares adyacentes de los cuales hay formadas ranuras (26) de estátor que se extienden axialmente, incluyendo al menos uno de los dientes (28) de estátor un paso (36) de refrigeración que se extiende axialmente a través del cual, en uso, fluye un fluido refrigerante, y aletas (32) de refrigeración en la otra de las superficies radialmente interior y exterior del estátor (12);

10 un devanado de estátor con múltiples primeros cabezales (110) del devanado en un primer extremo axial del estátor (12) y múltiples segundos cabezales (112) del devanado en un segundo extremo axial del estátor (12), siendo recibidos los conductores (30) del devanado del estátor en las ranuras (26) del estátor; un medio (54) para hacer circular un fluido refrigerante a través del paso (36) de refrigeración para enfriar el estátor (12); y

15 un medio para hacer circular aire alrededor del exterior del estátor (12), alrededor de un circuito de refrigeración por aire que se extiende:

 por delante de los primeros cabezales (110) del devanado,
 desde el primer extremo axial del estátor (12) hasta el segundo extremo axial del estátor (12) por delante axialmente de los dientes (28) del estátor en una de las superficies radialmente interior y exterior del
20 estátor (12),
 por delante de los segundos cabezales (112) del devanado, y
 desde el segundo extremo axial del estátor (12) hasta el primer extremo axial del estátor (12) por delante axialmente de las aletas (32) de refrigeración en la otra de las superficies radialmente interior y exterior del estátor (12); y

25 en donde el aire al que se hace circular es enfriado por las aletas (32) de refrigeración en la otra de las superficies radialmente interior y exterior del estátor (12).

2. Una máquina eléctrica según la reivindicación 1 en donde cada diente del estátor incluye (28) uno o más pasos (36) de refrigeración que se extienden axialmente, a través de los cuales, en uso, fluye un fluido refrigerante.

30 **3.** Una máquina eléctrica según la reivindicación 1 o 2 en donde el al menos uno de los dientes (28) de estátor incluye un vacío (34) que se extiende axialmente que define el paso (36) de refrigeración.

4. Una máquina eléctrica según la reivindicación 1 o 2 en donde el al menos uno de los dientes (28) de estátor incluye un vacío (34) que se extiende axialmente en el cual se coloca un tubo (40) de material no conductor de la electricidad, y en donde el tubo (40) define el paso de refrigeración.

35 **5.** Una máquina eléctrica según cualquier reivindicación precedente en donde el estátor (12) comprende, además, un primer colector (22A) en un primer extremo axial del estátor y un segundo colector (22B) en un segundo extremo axial del estátor, en donde el primer colector (22A) tiene al menos una entrada (42) en comunicación de fluido con una fuente de fluido refrigerante (54) y salidas en comunicación de fluido con un primer extremo axial del paso o de los pasos (36) de refrigeración y el segundo colector (22B) tiene al menos una salida y entradas en comunicación de fluido con un segundo extremo axial del paso o de los pasos (36) de refrigeración.

40 **6.** Una máquina eléctrica según la reivindicación 5 en donde el primer colector (20A) incluye múltiples segmentos (40₁-40₄) de colector y/o el segundo colector incluye múltiples segmentos de colector.

7. Una máquina eléctrica según la reivindicación 5 o 6 en donde el estátor (12) comprende, además, placas primera y segunda (24A, 24B) de compresión.

45 **8.** Una máquina eléctrica según la reivindicación 7 en donde el primer colector (22A) está situado entre la primera placa (24A) de compresión y un primer extremo axial de las láminas apiladas (20) y/o el segundo colector (22B) está situado entre la segunda placa (24B) de compresión y un segundo extremo axial de las láminas apiladas (20).

50 **9.** Una máquina eléctrica según la reivindicación 8 en donde el primer colector (22A) incluye uno o más soportes (52) para transferir las fuerzas de compresión entre la primera placa (24A) de compresión y el primer extremo axial de las láminas apiladas (20) y/o en donde el segundo colector incluye uno o más soportes para transferir las fuerzas de compresión entre la segunda placa de compresión y el segundo extremo axial de las láminas apiladas.

10. Una máquina eléctrica según la reivindicación 5 en donde el medio para hacer circular el fluido refrigerante es un conjunto externo (54) de refrigeración que tiene uno o más circuitos externos (58, 58A) de refrigeración con conexión de fluido entre los colectores primero y segundo (22A, 22B), incluyendo opcionalmente el conjunto externo (54) de refrigeración al menos una bomba (60, 60A) y al menos un intercambiador (62; 62A) de calor.

11. Un método de refrigeración de una máquina eléctrica que comprende:

un estátor (12) que tiene múltiples láminas (1) generalmente anulares axialmente adyacentes, teniendo el estátor (12) una superficie radialmente interior y una superficie radialmente exterior e incluyendo:

5 dientes (28) de estátor que se extienden axialmente en una de las superficies radialmente interior y exterior del estátor (12), entre pares adyacentes de los cuales hay formadas ranuras (26) de estátor que se extienden axialmente, incluyendo al menos uno de los dientes (28) de estátor un paso (36) de refrigeración que se extiende axialmente, y aletas (32) de refrigeración en la otra de las superficies radialmente interior y exterior del estátor (12); y

10 un devanado de estátor con múltiples primeros cabezales (110) del devanado en un primer extremo axial del estátor (12) y múltiples segundos cabezales (112) del devanado en un segundo extremo axial del estátor (12), siendo recibidos los conductores (30) del devanado del estátor en las ranuras (26) del estátor;

comprendiendo el método las etapas de:

15 hacer que fluya un fluido refrigerante a través del paso (36) de refrigeración para enfriar el estátor (12); y hacer circular aire alrededor del exterior del estátor (12), alrededor de un circuito de refrigeración por aire que se extiende:

20 por delante de los primeros cabezales (110) del devanado, desde el primer extremo axial del estátor (12) hasta el segundo extremo axial del estátor (12) por delante axialmente de los dientes (28) del estátor en una de las superficies radialmente interior y exterior del estátor (12), por delante de los segundos cabezales (112) del devanado, y desde el segundo extremo axial del estátor (12) hasta el primer extremo axial del estátor (12) por delante axialmente de las aletas (32) de refrigeración en la otra de las superficies radialmente interior y exterior del estátor (12); y

25 en donde el aire al que se hace circular es enfriado por la otra de las superficies radialmente interior y exterior del estátor (12).

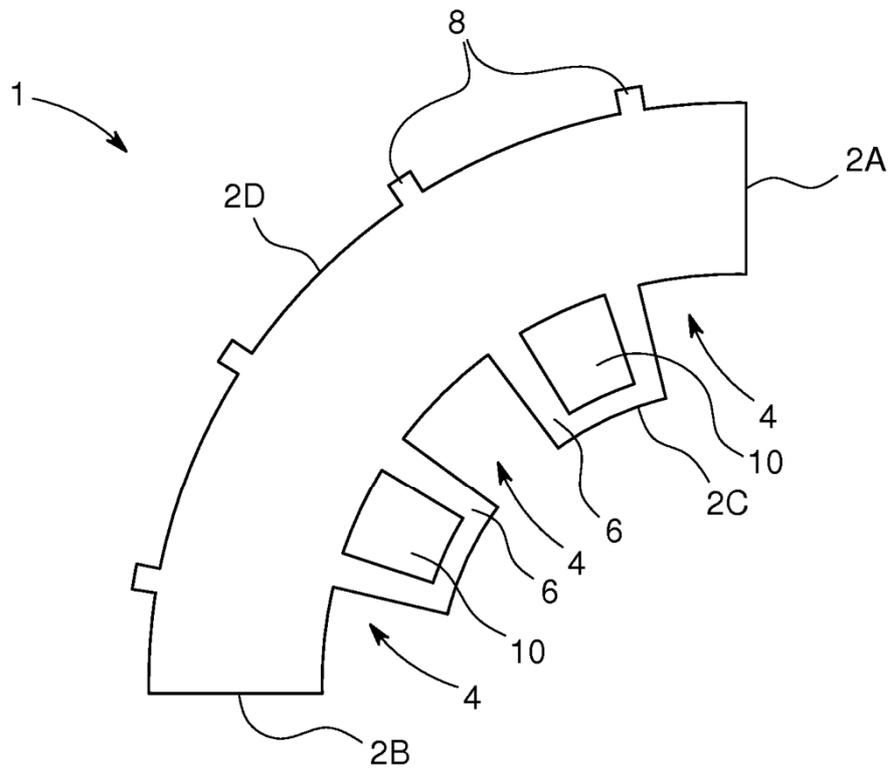


FIG. 1

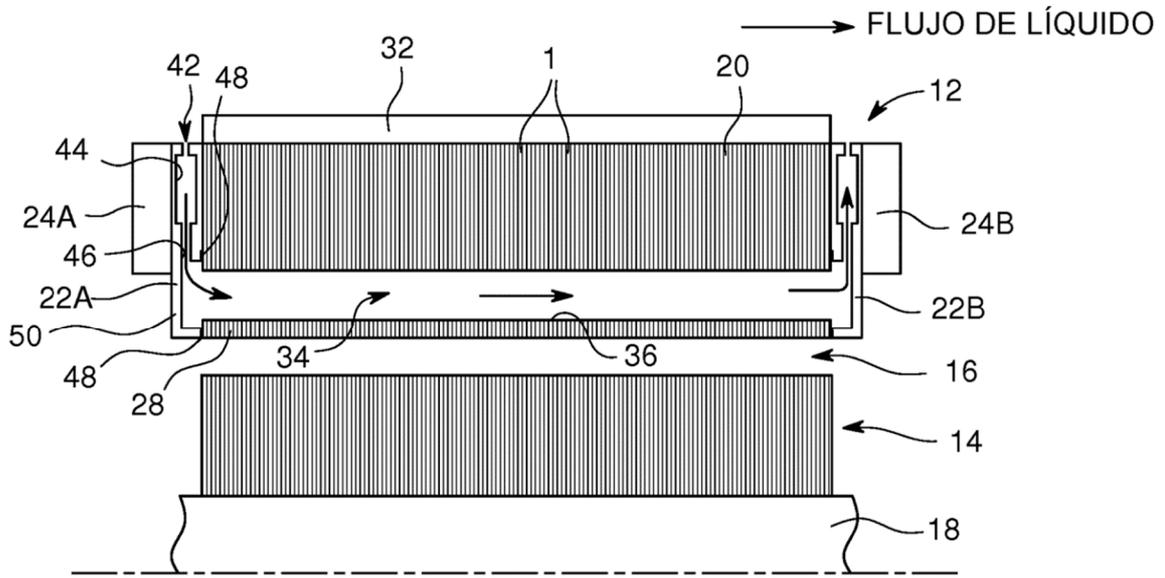


FIG. 2

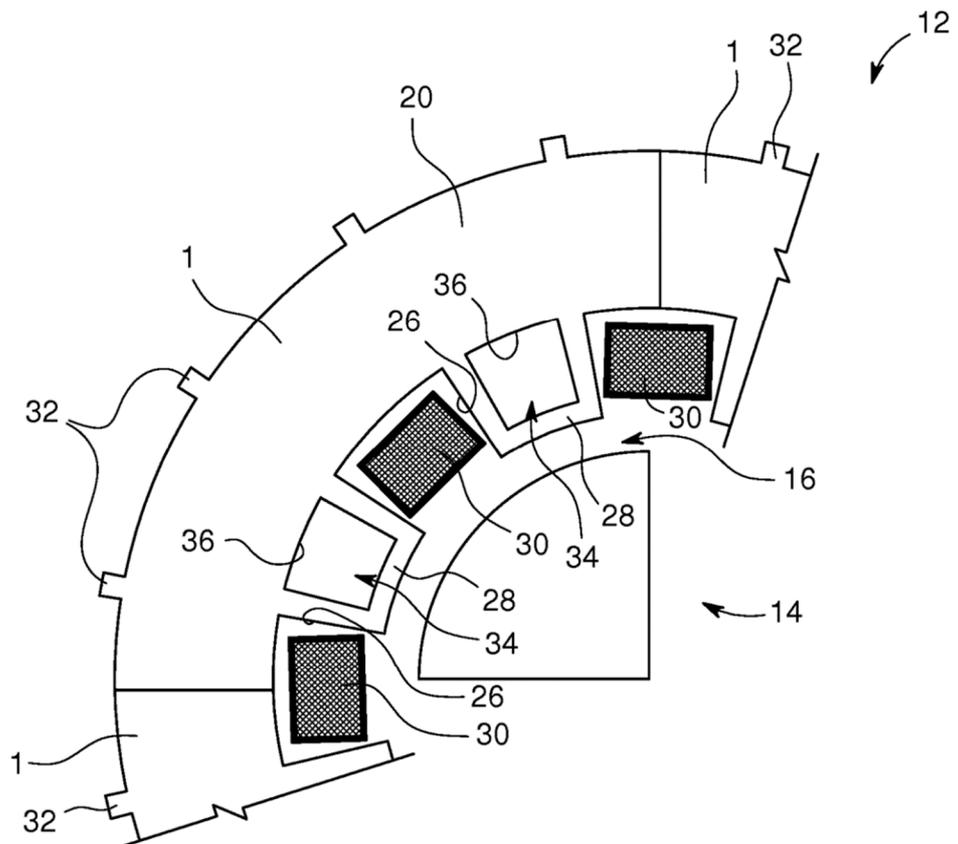


FIG. 3

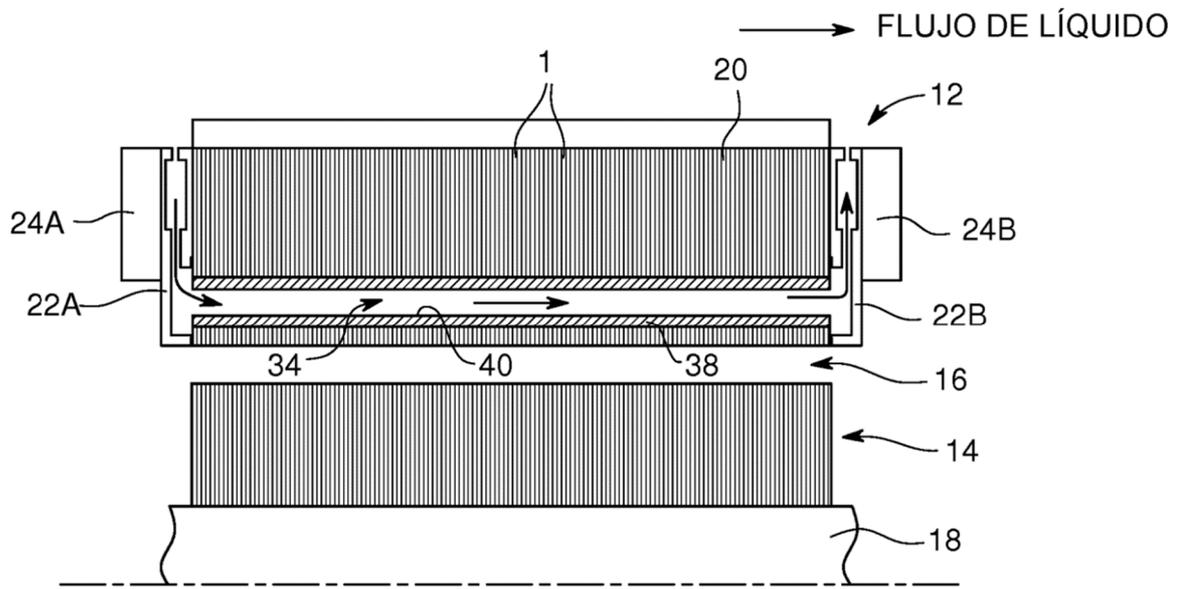


FIG. 4

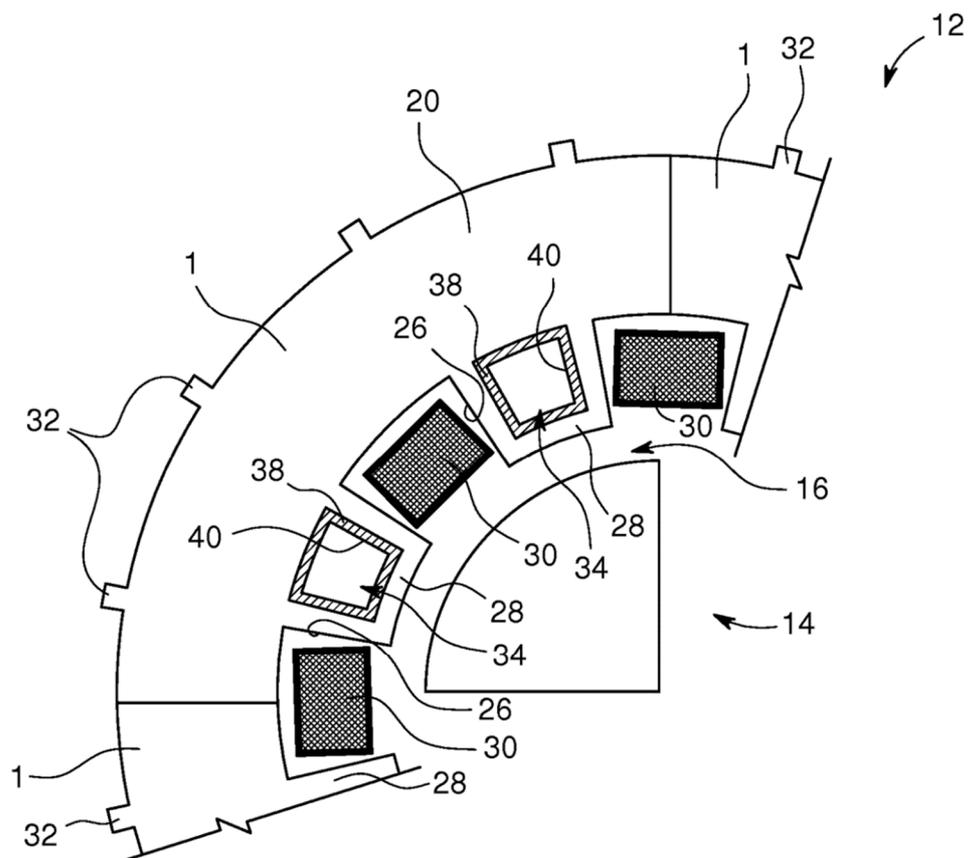


FIG. 5

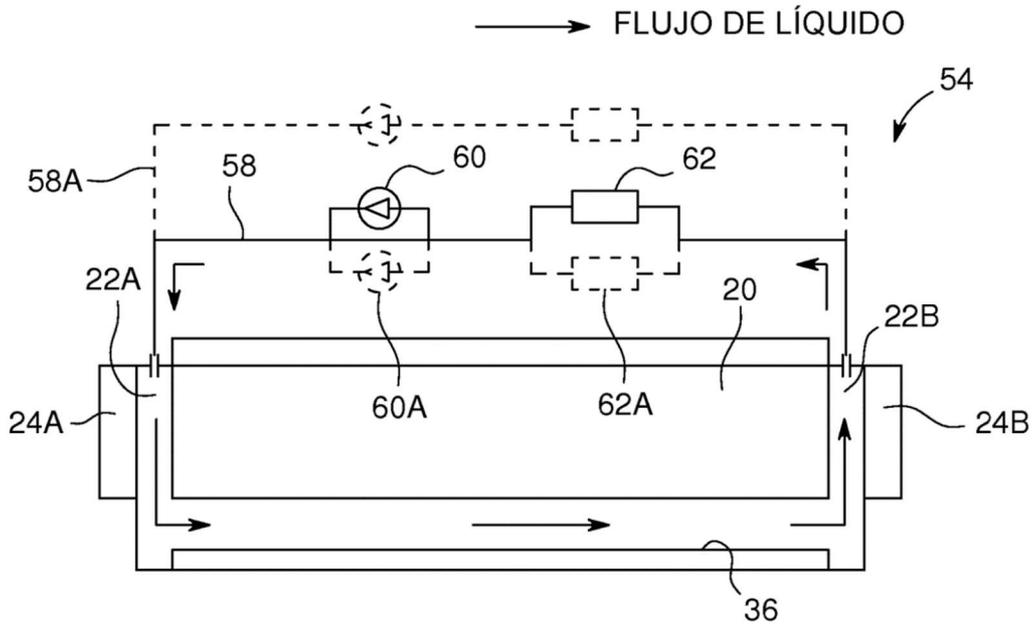


FIG. 7

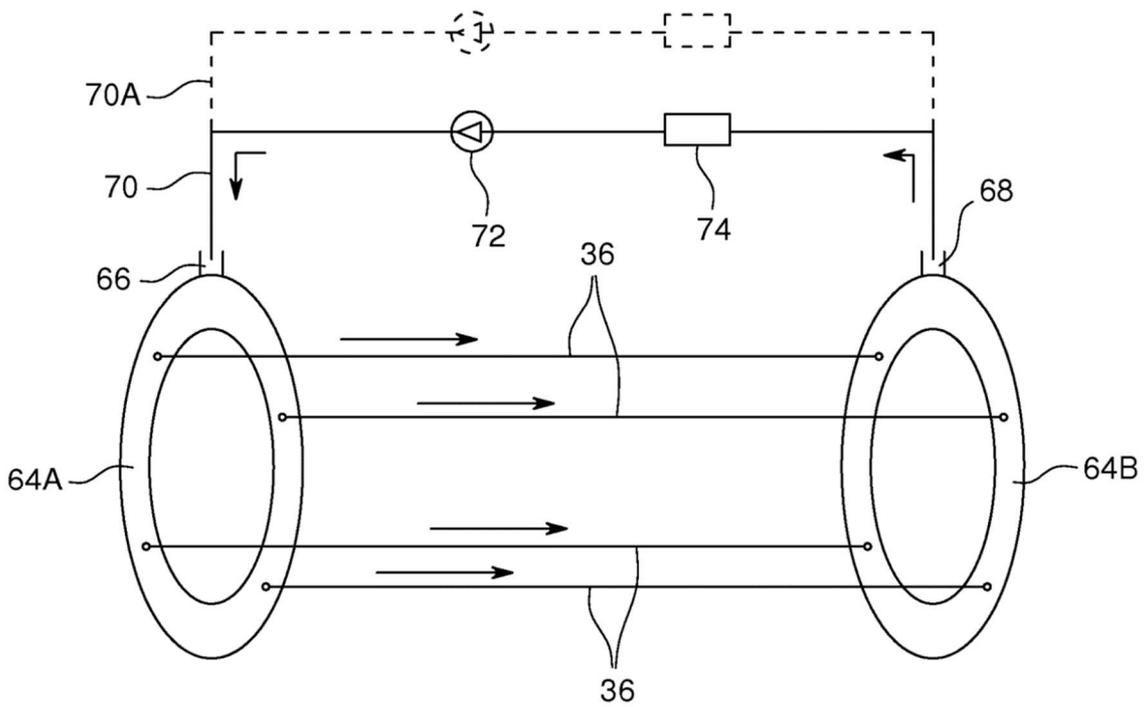


FIG. 8

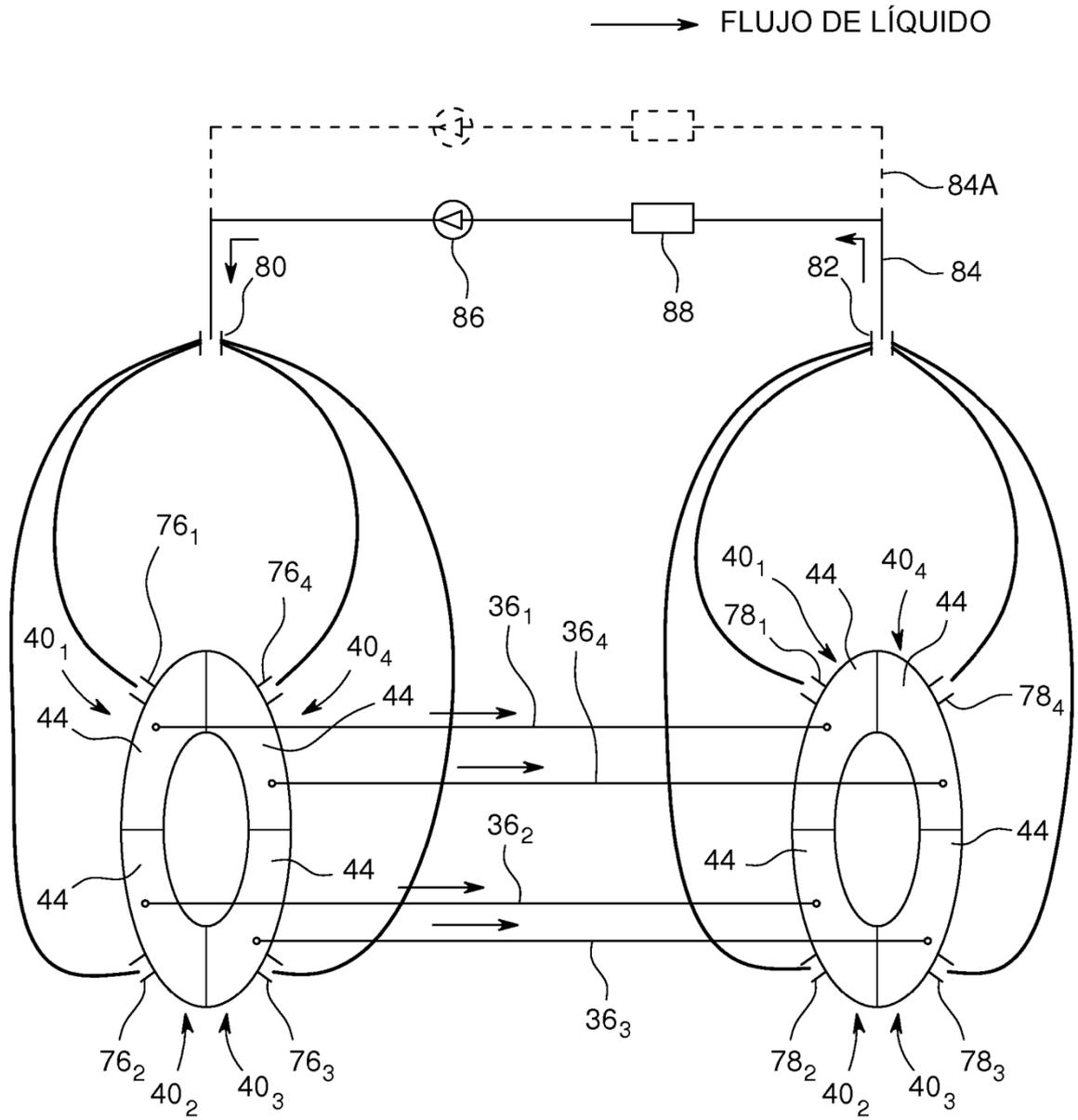


FIG. 9

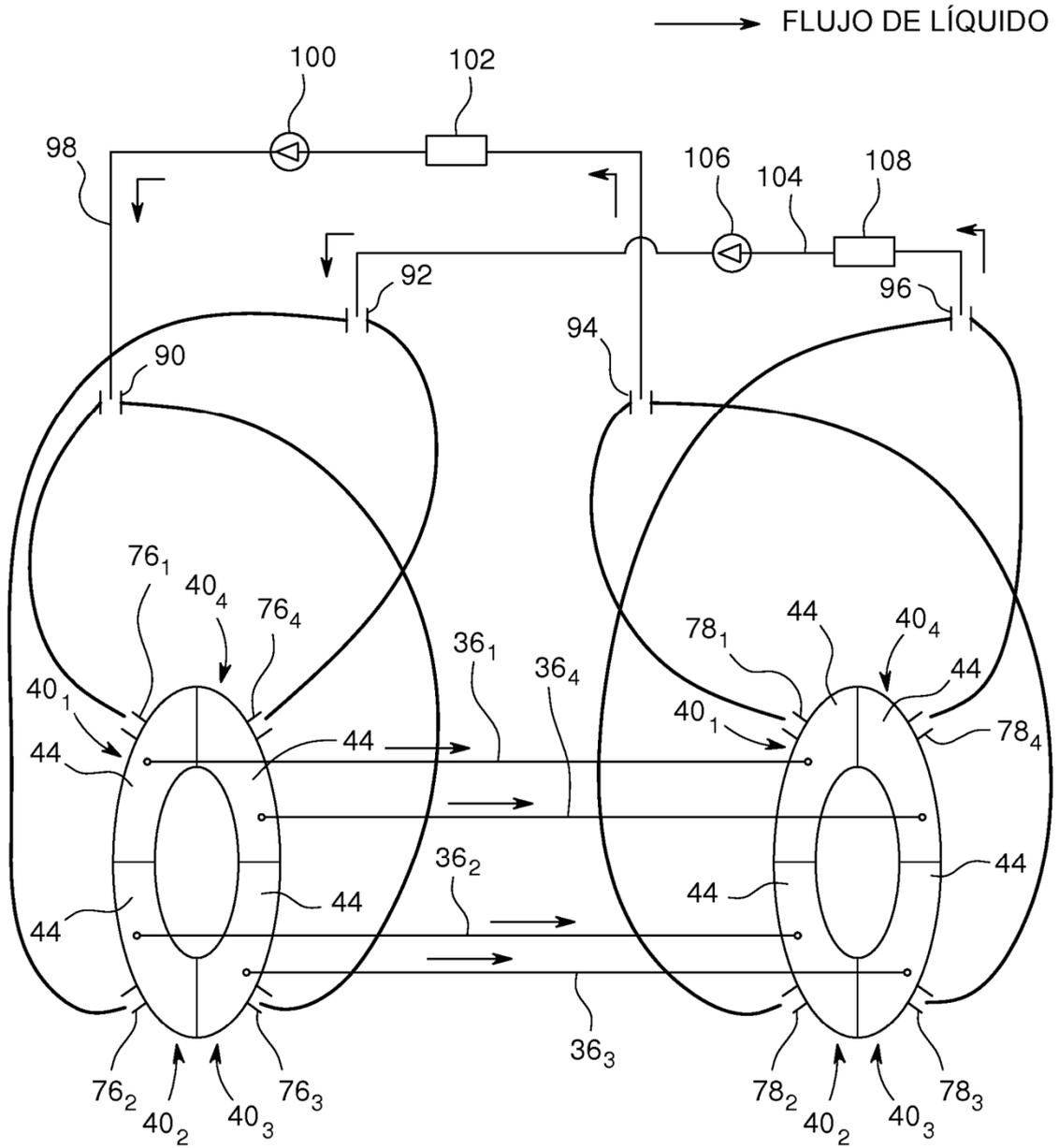


FIG. 10

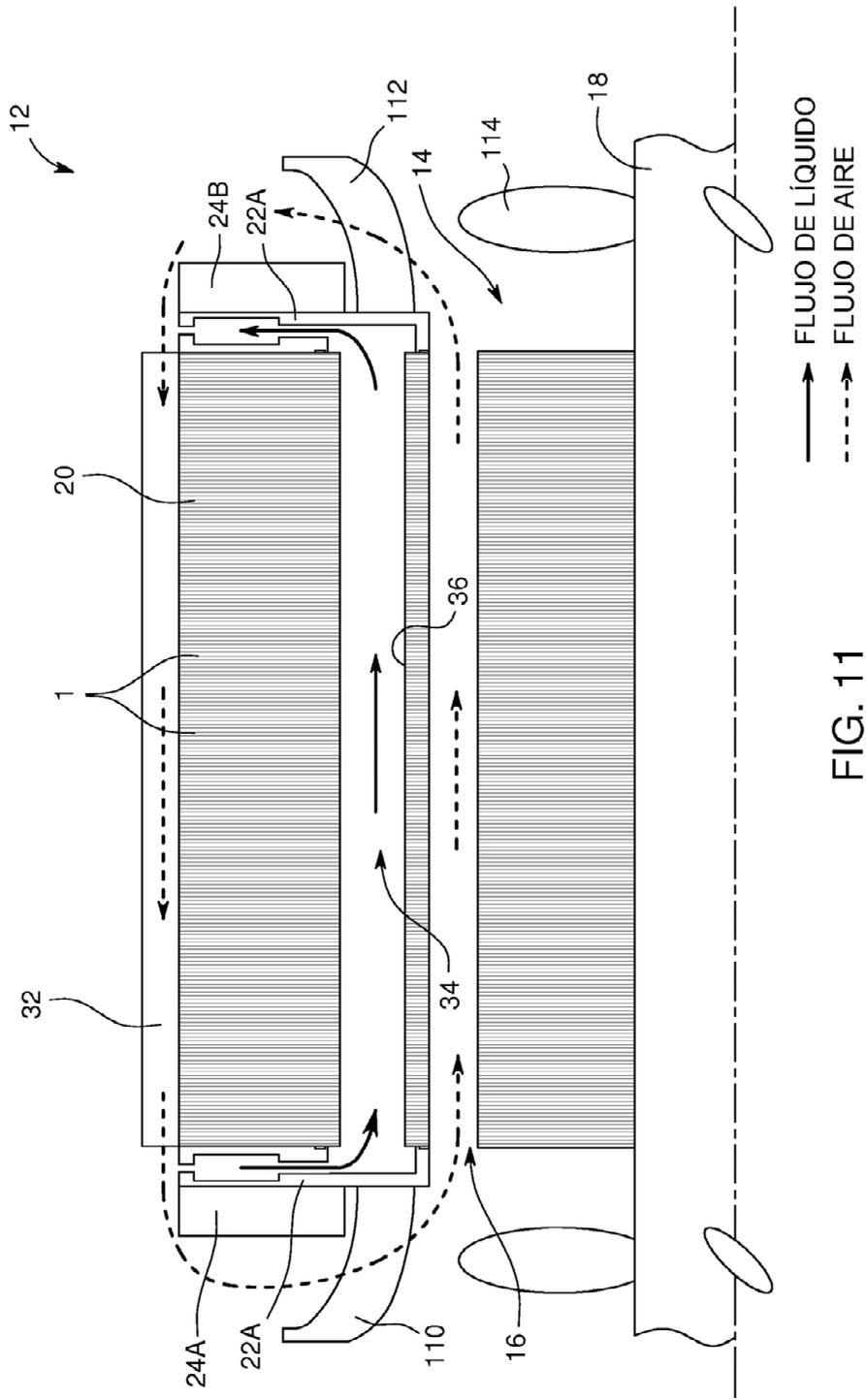


FIG. 11