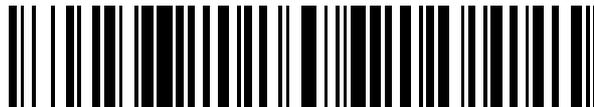


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 540 882**

51 Int. Cl.:

**H01H 33/664** (2006.01)

**H01H 33/666** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2011** **E 11728195 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2015** **EP 2715762**

54 Título: **Interruptor de vacío**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**14.07.2015**

73 Titular/es:

**ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)**  
**Brown Boveri Strasse 7**  
**5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**PARASHAR, RAMA SHANKER**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

**ES 2 540 882 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

Interruptor de vacío

5 Esta invención se refiere a un interruptor de vacío.

Los interruptores de vacío se utilizan típicamente para actuar como un interruptor de ruptura de carga o un disyuntor en aplicaciones de media y alta tensión. El funcionamiento del interruptor de vacío se basa en la separación mecánica de contactos eléctricamente conductores para abrir el circuito eléctrico asociado.

10 Un ejemplo de tal interruptor de vacío comprende una pareja de bobinas de contacto de múltiples ranuras, en forma de copa, estando soldada cada bobina de contacto a un extremo de una respectiva barra conductora de cobre, libre de oxígeno, de alta conductividad (OFHC). Las barras conductoras son movibles relativamente entre sí para o bien poner en contacto las bobinas de contacto o separar las bobinas de contacto para realizar la interrupción de corriente. La forma de las bobinas de contacto da como resultado la generación de un campo magnético que contribuye al proceso de interrupción de corriente.

15 El régimen de funcionamiento del interruptor de vacío se relaciona con su corriente continua nominal, corriente de cortocircuito nominal y tensión nominal. Como tal, es necesario aumentar los límites superiores de uno o más de estos valores nominales para que el interruptor de vacío se puede utilizar a niveles de corriente y/o tensión mayores.

20 Al aumentar la tensión nominal de un interruptor de vacío convencional, es necesario ampliar la longitud global del interruptor de vacío para satisfacer los requerimientos de aislamiento. Consecuentemente, esto da como resultado un aumento en la longitud de las barras conductoras de transporte de corriente. Esto a su vez aumenta la resistencia eléctrica global del interruptor de vacío y aumenta por lo tanto las pérdidas térmicas durante funcionamiento del interruptor de vacío. Es posible minimizar el aumento de resistencia eléctrica aumentando la sección transversal de las barras conductoras y aumentando la presión de contacto entre las bobinas de contacto para reducir la resistencia interfacial entre las bobinas de contacto. Sin embargo, esto da como resultado un aumento en la masa de las barras conductoras y por lo tanto un aumento en el peso global del interruptor de vacío. Además, el aumento de longitud de las barras conductoras aumenta el riesgo de deformación mecánica resultante de mayores cargas mecánicas.

25 Operar el interruptor de vacío a corrientes continuas nominales mayores no solo plantea el problema de una suficiente disipación de calor, sino que conduce asimismo a un incremento en la complejidad del control de arcos y la gestión térmica del interruptor de vacío. Un ejemplo de tal gestión térmica es la incorporación de sumideros de calor hacia el extremo de las barras conductoras de transporte de corriente, lo que es necesario para permitir que las corrientes continuas nominales de interruptores de vacío convencionales superen los 5 a 6 kA. Sin embargo, esto se añade al peso global y al coste de disyuntores en vacío. Además, un aumento en la corriente nominal de cortocircuito debe estar acompañado por un valor de pico uniforme y mayor del campo magnético a lo largo de toda la región del hueco de contacto.

30 Un modo de aumentar la corriente y tensión nominales es utilizar un conjunto de interruptores de vacío múltiples en serie y en paralelo. Conectar interruptores de vacío en serie da como resultado un rendimiento dieléctrico global mejorado, mientras que conectar interruptores de vacío en paralelo da como resultado un rendimiento mejorado de corriente continua y de corriente de cortocircuito. Sin embargo, la creciente complejidad de diseño e instalación de tales conjuntos, junto con el uso de múltiples interruptores de vacío aumenta los costes operacionales del proceso de interrupción de corriente.

35 El documento US 5.387.771 A divulga un interruptor de vacío de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

40 De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 1 y que comprende una pareja de electrodos de contacto montados en barras eléctricamente conductoras dentro de un recinto al vacío de modo que se definan superficies de contacto opuestas, incluyendo cada una de las barras eléctricamente conductoras una parte de pared tubular alargada que soporta respectivamente uno de los electrodos de contacto en un primer extremo y que se puede conectar en un segundo extremo a un circuito eléctrico y por lo menos una de las barras eléctricamente conductoras es movable para abrir o cerrar un hueco entre superficies de contacto opuestas.

45 Se ha encontrado que interruptor de vacío que emplea barras que tienen una parte de pared tubular alargada en el interruptor de vacío exhibe una resistencia eléctrica menor en comparación con un interruptor de vacío convencional que emplea barras macizas, de dimensiones similares en sección transversal. Esto es debido a que el flujo de corriente en una barra maciza está restringido principalmente a su diámetro externo en sección transversal, principalmente debido al efecto pelicular dependiente de la frecuencia. El efecto pelicular provoca que la mayoría de la corriente fluya a través de parte del área en sección transversal de la barra maciza dentro de los límites establecidos por la profundidad pelicular. El resto del área en sección transversal de la barra maciza juega un papel mínimo en el flujo de corriente. Como tal, un interruptor de vacío convencional que emplee barras macizas exhibe una mayor resistencia eléctrica, lo que da como resultado elevadas pérdidas térmicas. El uso de barras que tienen

una parte de pared tubular alargada minimiza el efecto pelicular y reduce así la resistencia eléctrica del interruptor de vacío en comparación con un interruptor de vacío convencional que emplee barras macizas.

5 La resistencia eléctrica reducida conduce a una disminución de las pérdidas térmicas, lo que permite que la corriente y tensión nominales del interruptor de vacío aumenten sin necesidad de un equipo de gestión térmica adicional. Esto no solo mejora la eficiencia y efectividad en costes del interruptor de vacío sino que minimiza igualmente el tamaño y peso globales del interruptor de vacío.

10 La forma en sección transversal de cada barra puede variar, dependiendo de los requerimientos de diseño del interruptor de vacío, y se elige para satisfacer los parámetros del proceso de interrupción de corriente. La sección transversal de la parte de pared de cada barra puede ser, por ejemplo, circular, oval, elíptica o de forma poliédrica.

15 De acuerdo con la invención, la parte de pared de cada barra se define mediante un conjunto de elementos alargados dispuestos de modo que las superficies externas de los elementos alargados definan una superficie externa discontinua, o incompleta de otro modo, de la parte de pared tubular alargada. En algunos modos de realización, los elementos alargados se pueden distribuir uniformemente alrededor de la circunferencia en sección transversal de la parte de pared tubular alargada.

20 El uso de una matriz de elementos alargados para definir la parte de pared tubular alargada se ha encontrado que no solo exhibe una resistencia eléctrica menor en comparación con una barra maciza que defina la misma área en sección transversal, sino que se ha encontrado asimismo que aumenta el área superficial total de la barra. Así pues, mejora la disipación de calor por medio de pérdidas de radiación. Además, el uso de elementos alargados que están separados entre sí reduce el flujo de corrientes de Foucault, y por lo tanto minimiza aumentos la temperatura de las barras durante el proceso de interrupción de corriente. A su vez esto reduce la resistencia eléctrica del interruptor de  
25 vacío. El número de elementos alargados en cada barra puede ser dos o más.

De acuerdo con la invención, cada uno de los elementos alargados está formado por dos o más sub-elementos alargados conectados extremo con extremo.

30 Los sub-elementos incluyen un primer sub-elemento que se extiende generalmente en paralelo al eje longitudinal de la respectiva barra y puede incluir además un segundo sub-elemento que se extiende desde un extremo axial del primer sub-elemento y que está conformado para curvarse alrededor del eje longitudinal de la respectiva barra, definiendo los segundos sub-elementos de los elementos alargados el primer extremo de la parte de pared tubular  
35 alargada de la respectiva barra. En tales modos de realización, cada segundo sub-elemento puede estar conformado para definir una curva helicoidal alrededor del eje longitudinal de la respectiva barra.

40 El uso de un segundo sub-elemento conectado al primer sub-elemento respectivo permite la formación de una estructura de bobina en un primer extremo de la barra. Esto permite que el flujo de corriente a través de los segundos sub-elementos durante el proceso de interrupción de corriente genere un campo magnético, que mejora el rendimiento del proceso de interrupción de corriente. La conexión de cada segundo sub-elemento a un primer sub-elemento mejora el valor de pico y la uniformidad de la distribución del campo magnético generado en comparación con una bobina convencional de contacto de múltiples ranuras, en forma de copa.

45 En modos de realización de la invención que emplean segundos sub-elementos, los segundos sub-elementos de las barras eléctricamente conductoras se pueden curvar axialmente en la misma dirección o en direcciones opuestas alrededor de los ejes longitudinales de las barras.

50 La dirección de la curva axial de los segundos sub-elementos alrededor de los ejes longitudinales de las barras determina si se forma un campo magnético axial o radial entre las superficies de contacto durante el proceso de interrupción de corriente.

La sección transversal de los sub-elementos puede variar de forma. Cada sub-elemento puede tener, por ejemplo, una forma en sección transversal circular, oval, elíptica, o poliédrica.

55 La forma en sección transversal de cada sub-elemento puede variar, dependiendo de los requerimientos de diseño del interruptor de vacío, y se escoge para satisfacer los parámetros del proceso de interrupción de corriente.

60 En modos de realización en los que la parte de pared de cada barra incluye dos o más elementos alargados, cada barra puede incluir además una estructura de soporte que se extiende a lo largo de la longitud de la parte de pared tubular alargada, estando separada la estructura de soporte de los elementos alargados y soportando un primer extremo de la estructura de soporte el electrodo de contacto respectivo en el primer extremo de la barra.

65 En tales modos de realización, la estructura de soporte puede incluir un bastidor de soporte situado en la parte de pared tubular alargada, y puede incluir preferiblemente una o más proyecciones que se extienden radialmente desde una superficie externa del bastidor de soporte.

En otro de tales modos de realización, la estructura de soporte puede incluir un bastidor de soporte tubular situado en el exterior de la parte de pared tubular alargada de modo que rodee los elementos alargados.

5 En modos de realización adicionales, la estructura de soporte puede incluir tanto un bastidor de soporte situado en la parte de pared como un bastidor de soporte tubular situado en el exterior de la parte de pared.

10 El uso de una estructura de soporte en forma de uno o más bastidores de soporte proporciona soporte adicional para el electrodo de contacto respectivo montado en el primer extremo de la barra, y refuerza estructuralmente la matriz de elementos alargados. Así pues, se minimiza el riesgo de deformación mecánica de los elementos alargados durante el proceso de interrupción de corriente, y se reduce el riesgo de fallos del interruptor de vacío.

15 Preferiblemente, un primer extremo del o de cada bastidor de soporte está acampanado de modo que soporte el electrodo de contacto respectivo. Esto proporciona una mayor resistencia al o cada bastidor de soporte, durante el proceso de interrupción de corriente.

El o cada bastidor de soporte se puede construir a partir de un material eléctricamente conductor y no magnético.

20 Un ejemplo de tal material es acero inoxidable, que mejora la resistencia estructural de la estructura de soporte y mejora así la fiabilidad de la estructura de soporte.

25 Preferiblemente, el o cada bastidor de soporte tiene una conductividad eléctrica menor que la parte de pared tubular alargada. Esto reduce el tamaño de la corriente que fluye a través del bastidor de soporte y minimiza así la generación de corrientes de Foucault en el bastidor de soporte. Esto a su vez reduce el efecto que cualquier corriente de Foucault generada dentro de la estructura de soporte pueda tener en el valor de pico y la distribución uniforme del campo magnético que se genera durante el proceso de interrupción de corriente.

30 El material utilizado para formar cada barra depende de los requerimientos de diseño del interruptor de vacío, y se elige para satisfacer los parámetros del proceso de interrupción de corriente. En modos de realización de la invención, cada barra se puede construir de cobre, aluminio o acero inoxidable.

En modos de realización de la invención, la superficie de la parte de pared tubular alargada se puede recubrir con un material elegido para mejorar las propiedades eléctricas de la parte de pared. La parte de pared puede estar recubierta, por ejemplo, con un material eléctricamente conductor.

35 La superficie de la parte de pared tubular alargada se puede recubrir con un material específico que mejore sus propiedades eléctricas.

40 Modos de realización preferidos de la invención se describirán a continuación, mediante ejemplos no limitativos, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

la figura 1 muestra un interruptor de vacío de acuerdo con un primer modo de realización que no es parte de la invención;

45 la figura 2 muestra una sección transversal anular de una barra del interruptor de vacío de la figura 1;

la figura 3 ilustra el cambio de resistencia con el tamaño de perforación para la barra de la figura 2, donde el diámetro externo en sección transversal de la barra varía entre 40 y 70 mm;

50 la figura 4 muestra una sección trasversal de una matriz de seis elementos alargados separados por igual alrededor de una circunferencia circular de una barra de un interruptor de vacío de acuerdo con un segundo modo de realización de la invención;

55 la figura 5 ilustra el cambio de resistencia de diferentes configuraciones de elementos alargados de la barra de la figura 4;

las figuras 6 y 7 muestran respectivamente barras de interruptores de vacío de acuerdo con un tercer y cuarto modos de realización de la invención;

60 la figura 8 muestra una barra maciza convencional que tiene una bobina convencional de contacto de múltiples ranuras en forma de copa montada en su extremo;

la figura 9 ilustra la distribución de un campo magnético axial generado en un hueco entre electrodos de contacto montados en barras móviles y fijas basándose en las barras mostradas en las figuras 6 a 8;

65 la figura 10 muestra una barra de un interruptor de vacío de acuerdo con un quinto modo de realización de la invención, donde la barra incluye un bastidor de soporte;

la figura 11 muestra una variación del bastidor de soporte mostrado en la figura 10; y

5 la figura 12 ilustra la distribución de un campo magnético axial generado en un hueco entre electrodos de contacto montados en barras móviles y fijas basadas en las barras mostradas en las figuras 6 y 10.

Un interruptor de vacío de acuerdo con un primer modo de realización que no es parte de la invención se muestra en la figura 1.

10 El interruptor de vacío incluye una pareja de alojamientos cilíndricos 20, rebordes terminales primero y segundo 22, 24 y una estructura anular 26 montada para definir un recinto al vacío. Cada reborde terminal 22, 24 se suelda a un primer extremo de un alojamiento cilíndrico 20 respectivo para formar una junta hermética. Los dos alojamientos cilíndricos 20 se unen entre sí en sus segundos extremos por medio de la estructura anular 26. La estructura anular 26 incluye una pantalla central 28 que solapa con paredes internas de los alojamientos cilíndricos 20 para proteger  
15 las paredes internas de los alojamientos cilíndricos 20 de una deposición de vapor metálico que surge de una descarga de arco, mientras que cada reborde 22, 24 incluye una pantalla terminal 30 para mejorar la distribución de líneas de campo electrostático a lo largo de la longitud del interruptor de vacío.

20 Cada alojamiento cilíndrico 20 está metalizado y recubierto de níquel en ambos extremos. La longitud y diámetro del alojamiento cilíndrico 20 respectivo varía dependiendo de la tensión nominal de funcionamiento del interruptor de vacío, mientras que las dimensiones y forma de los rebordes terminales primero y segundo 22, 24 y la estructura anular 26 pueden variar en correspondencia al tamaño y forma de los alojamientos cilíndricos 20. Se prevé que, en otros modos de realización, se puedan añadir corrugaciones a los diámetros externos de los alojamientos cilíndricos para aumentar la longitud de frotamiento a lo largo de la longitud del interruptor de vacío para mejorar su rendimiento  
25 dieléctrico.

El interruptor de vacío incluye asimismo un fuelle tubular 32 y barras eléctricamente conductoras primera y segunda 34, 36.

30 El primer reborde terminal 22 incluye una perforación hueca dimensionada para alojar el fuelle tubular 32, mientras que el segundo reborde terminal 24 incluye una perforación hueca dimensionada para alojar la segunda barra 36 dentro de su perforación hueca. El fuelle tubular 32 incluye asimismo una perforación hueca para retener la primera barra 34.

35 Cada barra 34, 36 incluye una parte de pared tubular alargada 38. La parte de pared tubular alargada 38 tiene una sección transversal anular 40 que rodea una perforación 42 que se extiende axialmente, y presenta una superficie externa continua ininterrumpida para definir un tubo cilíndrico, como se muestra en la figura 2.

El interruptor de vacío incluye además una pareja de electrodos de contacto 44.

40 La parte de pared tubular alargada 38 de cada barra 34, 36 soporta respectivamente uno de los electrodos de contacto 44 de modo que cada electrodo de contacto 44 se monta en un primer extremo de la barra 34, 36 respectiva.

45 Las barras primera y segunda 34, 36 están retenidas respectivamente dentro de las perforaciones huecas del fuelle tubular 32 y el segundo reborde terminal 24 de modo que los primeros extremos de las barras 34, 36 se sitúan dentro del recinto al vacío y los segundos extremos de las barras 34, 36 se sitúan fuera del recinto. Como tal, los electrodos de contacto 44 montados en los primeros extremos de las barras 34, 36 se sitúan dentro del recinto al vacío. Los ejes longitudinales de las barras 34, 36 se alinean de modo que los electrodos de contacto 44 definan  
50 superficies de contacto opuestas.

Paredes corrugadas del fuelle tubular 32 permiten que el fuelle tubular 32 sufra una expansión o contracción de modo que aumente o disminuya la longitud tubular del fuelle tubular 32. Esto permite que la primera barra 34 se mueva con relación a la segunda barra 36 entre una primera posición en la que las superficies de contacto opuestas se mantienen en contacto y una segunda posición en la que las superficies de contacto opuestas están separadas  
55 por un hueco. La segunda barra 36 se mantiene en una posición fija.

60 En uso, un segundo extremo de la primera barra 34 se conecta a un terminal de un circuito eléctrico de CA 45, mientras que un segundo extremo de la segunda barra 36 se conecta al otro terminal de un circuito eléctrico de CA 45. Los segundos extremos de las barras primera y segunda 34, 36 están sellados para estar al vacío.

Las barras primera y segunda 34, 36 se puede fabricar, por ejemplo, de cobre de alta conductividad libre de oxígeno (OFHC) mientras que los electrodos de contacto 44 se puede fabricar, por ejemplo, de cobre-cromo para mejorar la corriente nominal de cortocircuito del interruptor de vacío.

65 En el caso de un fallo que dé como resultado una corriente de fallo alta que fluye en la red de CA conectada, la

corriente debe ser interrumpida con el fin de evitar que la corriente de fallo alta dañe componentes de la red de CA. La interrupción de la corriente de fallo permite aislar y reparar subsiguientemente el fallo con el fin de restaurar la red a las condiciones de funcionamiento normales.

5 El proceso de interrupción de corriente se inicia controlando el fuelle tubular 32 para que aleje la primera barra 34 de la segunda barra 36 de modo que separe las superficies de contacto opuestas de los electrodos de contacto 44. La separación de las superficies de contacto opuestas da como resultado la formación de un hueco entre los electrodos de contacto 44, lo que conduce a la formación de un arco en este hueco. El arco consiste en un plasma de vapor metálico, que continúa conduciendo el flujo de corriente de CA entre los electrodos de contacto 44.

10 Cuando la corriente de CA de circuito eléctrico de CA 45 alcanza el cero, el arco entre los electrodos de contacto 44 se extingue, lo que permite la recuperación dieléctrica completa y tiene lugar una interrupción exitosa de la corriente.

15 Se llevó a cabo un cálculo de modelo de elementos finitos magneto-dinámico SLIM 2D para comparar la resistencia eléctrica de la parte de pared 38 en la figura 2 y la resistencia eléctrica de una barra maciza convencional, donde el diámetro externo en sección transversal de la parte de pared 38 es igual al diámetro en sección transversal de la barra maciza convencional. Se utilizaron los siguientes supuestos en los cálculos:

20 (i) La resistividad del cobre se asume que es  $0,177 \times 10^{-7}$  (cm).

(ii) La profundidad pelicular a una frecuencia de funcionamiento de 50 Hz es igual a 9 mm.

(iii) La frontera de aire (o el área superficial) es tres veces el diámetro del conductor.

25 (iv) La longitud de cada barra es igual a 50 mm.

(v) Los cálculos se llevaron a cabo a una frecuencia de funcionamiento de CA de 50 Hz.

30 (vi) Se aplicó una tensión de CA con una tensión de pico de 1 V a través de los extremos del conductor.

Los resultados del cálculo del modelo de elementos finitos magneto-dinámico SLIM 2D se ven en la figura 3, que ilustra la variación de la resistencia eléctrica de la parte de pared 38 de diferentes diámetros externos en sección transversal como función del diámetro variable de la perforación que se extiende axialmente.

35 Cuando la parte de pared 38 tiene un diámetro externo en sección transversal de 70 mm, la resistencia eléctrica mínima conseguida es  $0,457 \mu\Omega$ , que es aproximadamente un 6,4% menor que la resistencia eléctrica de la barra maciza de  $0,488 \mu\Omega$  y se consigue con un diámetro de perforación de 40 mm.

40 Cuando la parte de pared 38 tiene un diámetro externo en sección transversal de 60 mm, la resistencia eléctrica mínima conseguida es  $0,549 \mu\Omega$ , que es aproximadamente un 5,5% menor que la resistencia eléctrica de la barra maciza de  $0,581 \mu\Omega$  y se consigue con un diámetro de perforación de 30 mm.

45 Cuando la parte de pared 38 tiene un diámetro externo en sección transversal de 50 mm, la resistencia eléctrica mínima conseguida es  $0,687 \mu\Omega$ , que es aproximadamente un 3,4% menor que la resistencia eléctrica de la barra maciza de  $0,711 \mu\Omega$  y se consigue con un diámetro de perforación de 30 mm.

50 Cuando la parte de pared 38 tiene un diámetro externo en sección transversal de 40 mm, la resistencia eléctrica mínima conseguida es  $0,92 \mu\Omega$ , que es aproximadamente un 0,5% menor que la resistencia eléctrica de la barra maciza de  $0,925 \mu\Omega$  y se consigue con un diámetro de perforación de 10 mm.

55 En general, se ha encontrado que la resistencia eléctrica de la parte de pared 38 generalmente es menor que la de la barra maciza que tiene el mismo diámetro en sección transversal. El diámetro de la perforación que se extiende axialmente de la parte de pared 38 se ha encontrado que es un factor a la hora de determinar la resistencia eléctrica de la parte de pared 38. Se encontró que con el fin de mejorar la resistencia eléctrica de la parte de pared 38, el radio efectivo necesita ser por lo menos 12,5 mm que es aproximadamente 3,5 mm mayor que la profundidad pelicular del material de cobre, donde el radio efectivo es igual a la diferencia entre el diámetro externo en sección transversal de la parte de pared 38 y el diámetro en sección transversal de la perforación que se extiende axialmente del tubo. La resistencia eléctrica de la parte de pared 38 comienza a aumentar cuando el radio efectivo es menor de 12,5 mm.

60 Basándose en los resultados mostrados en la figura 3, un aumento en el diámetro externo en sección transversal de la parte de pared 38 de la figura 2 permite una mayor disminución de la resistencia eléctrica a un tamaño óptimo de la perforación 42 que se extiende axialmente.

65 El interruptor de vacío de la figura 1 exhibe por lo tanto una resistencia eléctrica disminuida en comparación con un

interruptor de vacío convencional que emplee barras macizas con un diámetro en sección transversal igual al diámetro externo en sección trasversal de la parte de pared 38 mostrada en la figura 2.

5 Se prevé que, en otros modos de realización, el diámetro externo en sección transversal de la parte de pared 38 de la figura 2 pueda estar en el intervalo de 40 a 150 mm y el diámetro en sección transversal de la perforación 42 que se extiende axialmente del tubo de la figura 2 pueda estar en el intervalo de 10 a 100 mm.

10 Una barra de un interruptor de vacío de acuerdo con un segundo modo de realización de la invención se muestra en la figura 4. El interruptor de vacío del segundo modo de realización de la invención es idéntico al interruptor de vacío de la figura 1 excepto en que, en el interruptor de vacío del segundo modo de realización de la invención, cada barra está definida por una matriz de elementos alargados 46 dispuestos de modo que las superficies externas de los elementos alargados 46 definan una superficie externa discontinua de la parte de pared tubular alargada de la respectiva barra.

15 Cada elemento alargado 46 está formado por un primer sub-elemento que tiene una sección transversal circular y se extiende generalmente en paralelo al eje longitudinal de la respectiva barra.

20 Los elementos alargados 46 se distribuyen uniformemente a intervalos de 60° alrededor de una órbita circular que tiene un radio R, donde R es la distancia entre el centro de la órbita circular y el centro de la sección transversal de cada elemento alargado. Los elementos alargados 46 están separados entre sí por igual mediante un espaciado D.

Los extremos de los elementos alargados 46 soportan respectivamente uno de los electrodos de contacto de modo que cada electrodo de contacto está montado en el primer extremo de la respectiva barra.

25 Se llevó a cabo un cálculo de modelo de elementos finitos magneto-dinámico SLIM 2D para comparar la resistencia eléctrica de la barra de la figura 4 y la resistencia eléctrica de una barra maciza convencional, donde el área total en sección transversal de los elementos alargados 46 es igual al área en sección transversal de la barra maciza convencional. Se utilizaron los siguientes supuestos en los cálculos:

30 (i) La resistividad del cobre se asume que es  $0,177 \times 10^{-7}$  ( $\Omega\text{m}$ ).

(ii) La profundidad pelicular a una frecuencia de funcionamiento de 50 Hz es igual a 9 mm.

35 (iii) La frontera de aire (o el área superficial) es tres veces el diámetro del conductor.

(iv) La longitud de cada barra es igual a 50 mm.

(v) Los cálculos se llevaron a cabo a una frecuencia de funcionamiento de CA de 50 Hz.

40 (vi) Se aplicó una tensión de CA con una tensión de pico de 1 V a través de los extremos del conductor.

Los resultados del cálculo del modelo de elementos finitos magneto-dinámico SLIM 2D se ven en la figura 5, que ilustra la variación de la resistencia eléctrica de diferentes disposiciones de elementos alargados de la barra de la figura 4 como función de  $R_n/R_o$ .

45  $R_o$  es el radio de la órbita circular de la matriz de elementos alargados cuando el espaciado, D, se fija en 0,2 mm.  $R_n$  es el radio de la órbita circular de la matriz de elementos alargados para cada cálculo del modelo finito donde el espaciado, D, aumenta con el radio de la órbita circular. El cociente  $R_n/R_o$  varía de 1 a 4.

50 El diámetro en sección transversal de cada elemento alargado se estableció en 20,42 mm, 24,496 mm, 28,58 mm y 32,66 mm de modo que el área en sección transversal total correspondiente del elemento alargado sea idéntica respectivamente al área en sección transversal de una barra maciza convencional que tiene un diámetro en sección transversal de 50 mm, 60 mm, 70 mm y 80 mm.

55 En la figura 5, se encontró que la resistencia eléctrica de la matriz de elementos alargados disminuye con el aumento de  $R_n/R_o$  hasta una caída de aproximadamente un 35%. Se encontró asimismo que la resistencia eléctrica de cada matriz de elementos alargados es menor que la resistencia eléctrica de la barra maciza convencional correspondiente que tiene la misma área en sección transversal.

60 El flujo de corriente en una barra maciza se restringe principalmente a su diámetro externo en sección transversal principalmente debido al efecto pelicular dependiente de la frecuencia. El efecto pelicular provoca que la mayoría de la corriente continua fluya a través de parte del área en sección transversal de la barra maciza dentro de los límites establecidos por la profundidad pelicular. El resto del área en sección transversal de la barra maciza juega un papel mínimo en el flujo de corriente. Como tal, un interruptor de vacío que emplee barras macizas exhibe una resistencia eléctrica comparativamente elevada, lo que conduce a elevadas pérdidas térmicas.

65

Sin embargo, el uso de las barras en las figuras 2 y 4 minimiza el efecto pelicular y reduce así la resistencia eléctrica de interruptor de vacío en comparación con un interruptor de vacío convencional que emplee barras macizas con dimensiones totales en sección transversal similares. La resistencia eléctrica reducida conduce a pérdidas térmicas decrecientes, lo que permite que la corriente y tensión nominales del interruptor de vacío aumenten sin necesidad de un equipo de gestión térmica adicional. Esto no solo mejora la eficiencia y efectividad en costes del interruptor de vacío sino que minimiza igualmente el tamaño y peso globales del interruptor de vacío.

La reducción de la resistencia eléctrica y la disminución de las pérdidas térmicas hace también que tal interruptor de vacío sea compatible con niveles de funcionamiento de corriente y tensión mayores.

Se ha encontrado igualmente que el uso de una matriz de elementos alargados 46 en la barra de la figura 4 aumenta el área superficial total de la barra. Así pues, mejora la disipación térmica por medio de pérdidas de radiación. Además, el uso de elementos alargados 46 separados entre sí reduce el flujo de corrientes de Foucault y minimiza así aumentos en la temperatura de la barra durante el proceso de interrupción de corriente. Esto a su vez reduce la resistencia eléctrica del interruptor de vacío.

Se prevé que, en otros modos de realización, la barra mostrada en la figura 4 pueda ser empleada en otros tipos de aplicaciones de conmutación para mejorar la corriente continua nominal o reducir las pérdidas térmicas.

La figura 6 muestra una barra de un interruptor de vacío de acuerdo con un tercer modo de realización de la invención. El interruptor de vacío del tercer modo de realización de la invención es idéntico al interruptor de vacío del segundo modo de realización de la invención excepto en que, en el interruptor de vacío del tercer modo de realización de la invención, cada elemento alargado 46 está formado por sub-elementos primero y segundo 48, 50 conectados extremo con extremo.

Cada primer sub-elemento 48 tiene una sección transversal rectangular y se extiende generalmente en paralelo al eje longitudinal de la respectiva barra.

Los primeros sub-elementos 48 están distribuidos uniformemente a intervalos de 60° alrededor de una órbita circular. Los elementos alargados 46 están separados entre sí por igual.

Cada segundo sub-elemento 50 se extiende desde un extremo axial del primer sub-elemento 48 respectivo. Cada segundo sub-elemento 50 tiene una sección transversal circular y está conformado para definir una curva helicoidal alrededor del eje longitudinal de la respectiva barra, definiendo los segundos sub-elementos 50 una bobina circular 52 en el primer extremo de la respectiva barra.

Los segundos sub-elementos 50 soportan respectivamente uno de los electrodos de contacto de modo que cada electrodo de contacto está montado en el primer extremo de la respectiva barra.

La figura 7 muestra una barra de un interruptor de vacío de acuerdo con un cuarto modo de realización de la invención. El interruptor de vacío del cuarto modo de realización de la invención es idéntico al interruptor de vacío del segundo modo de realización de la invención excepto en que, en el interruptor de vacío del cuarto modo de realización de la invención, cada barra está definida por una matriz de diez elementos alargados 46.

Cada primer sub-elemento 48 tiene una sección transversal rectangular y se extiende generalmente en paralelo al eje longitudinal de la respectiva barra.

Los primeros sub-elementos 48 se distribuyen uniformemente a intervalos de 36° alrededor de una órbita circular. Los elementos alargados 46 están espaciados entre sí por igual.

Cada segundo sub-elemento 50 se extiende desde un extremo axial del primer sub-elemento 48 respectivo. Cada segundo sub-elemento 50 tiene una sección transversal cuadrangular y se conforma para definir una curva helicoidal alrededor del eje longitudinal de la respectiva barra, definiendo el segundo sub-elemento 50 una bobina circular 52 en el primer extremo de la respectiva barra.

Los segundos sub-elementos 50 soportan respectivamente uno de los electrodos de contacto de modo que cada electrodo de contacto está montado en el primer extremo de la respectiva barra.

En las barras de las figuras 6 y 7, el número de segundos sub-elementos 50 es igual al número de primeros sub-elementos 48.

En los modos de realización tercero y cuarto del interruptor de vacío, los segundos sub-elementos 50 de las barras eléctricamente conductoras primera y segunda están curvados axialmente en la misma dirección alrededor de los ejes longitudinales de las barras, de modo que la corriente fluye en la misma dirección en ambas bobinas circulares 52 y creando así un campo magnético predominantemente axial en el hueco entre los electrodos de contacto situados en el primer extremo de la respectiva barra.

5 En otros modos de realización, se prevé que los segundos sub-elementos en las barras eléctricamente conductoras primera y segunda se puedan curvar axialmente en direcciones opuestas alrededor de los ejes longitudinales de las barras de modo que la corriente fluya en direcciones opuestas en ambas bobinas circulares creando así un campo magnético predominantemente radial en el hueco entre los electrodos de contacto.

La generación de un campo magnético entre los electrodos de contacto mejora la capacidad interrupción de corriente del interruptor de vacío.

10 La eficiencia de las bobinas circulares 52 se define por el valor de pico y la uniformidad del campo magnético axial generado en las superficies de contacto opuestas o en un hueco entre los electrodos de contacto. Es deseable tener una elevada magnitud del campo magnético axial generado distribuido a lo largo de un elevado porcentaje del área en sección transversal de la bobina circular 52.

15 Las barras en las figuras 6 y 7 se analizaron para determinar la distribución del campo magnético axial generado en el hueco entre los electrodos de contacto a lo largo del área en sección transversal de la bobina circular 52 respectiva. Los resultados del análisis se compararon en la figura 9 con los resultados del análisis de una bobina convencional de contacto 54 de múltiples ranuras, en forma de copa, montada en un extremo de una barra maciza 56 convencional, como se muestra en la figura 8.

20 En la figura 9, los campos magnéticos axiales generados por las bobinas circulares 52 en las barras de las figuras 6 y 7 tienen una magnitud de pico mayor y una distribución aumentada de la magnitud de pico del campo magnético axial a lo largo de la anchura del área en sección transversal de la bobina circular 52 en comparación con la bobina convencional de contacto 54 de múltiples ranuras, en forma de copa de la figura 8.

25 La conexión de cada segundo sub-elemento 50 a respectivamente uno de los primeros sub-elementos 48 mejora así el valor de pico y la uniformidad de la distribución del campo magnético generado en comparación con una bobina convencional de contacto de múltiples ranuras, en forma de copa. Un aumento en una longitud axial de los segundos sub-elementos 50 da como resultado un aumento en el campo magnético axial generado, pero asimismo da como resultado un aumento en la resistencia eléctrica global de la respectiva barra. La longitud axial óptima de cada segundo sub-elemento 50 depende así del rendimiento de interrupción de corriente de cortocircuito requerido del interruptor de vacío respectivo.

30 Se prevé que en otros modos de realización, los sub-elementos primero y segundo se puedan dimensionar para generar un campo magnético axial con un valor de pico de entre 3 y 10 mT/kA y una distribución sustancialmente uniforme a lo largo del área de la bobina circular.

35 Una barra de un interruptor de vacío de acuerdo con un quinto modo de realización de la invención se muestra en la figura 10. El interruptor de vacío del quinto modo de realización de la invención es idéntico al interruptor de vacío del tercer modo de realización de la invención, excepto en que, en el interruptor de vacío del quinto modo de realización de la invención, cada barra incluye además un bastidor de soporte 58 que se extiende a lo largo de la longitud de la parte de pared.

40 El bastidor de soporte 58 incluye un elemento alargado 60 y un reborde 62 en un primer extremo del elemento alargado, extendiéndose el reborde 62 radialmente desde el elemento alargado 60. Se prevé que, en otros modos de realización, el bastidor de soporte 58 puede incluir además una o más proyecciones 64 adicionales que se extienden radialmente desde la superficie externa del elemento alargado 60 y situadas a lo largo de diversas posiciones a lo largo de la longitud del elemento alargado 60 como se muestra en la figura 11.

45 El eje longitudinal del elemento alargado 60 está alineado coaxialmente con el eje longitudinal de la barra de modo que el bastidor de soporte 58 está rodeado por, y separado radialmente de, la matriz de elementos alargados 46. El reborde 62 del bastidor de soporte 58 está acampanado y dimensionado para soportar el electrodo de contacto montado en el primer extremo de la barra. Como tal, el bastidor de soporte 58 proporciona soporte adicional al electrodo de contacto respectivo montado en el primer extremo de la barra y refuerza estructuralmente la matriz de elementos alargados 46. Por lo tanto, minimiza el riesgo de deformación mecánica de los elementos alargados 46 durante el proceso de interrupción de corriente y minimiza así el riesgo de fallos del interruptor de vacío.

50 El bastidor de soporte 56 está fabricado de acero inoxidable para mejorar la resistencia estructural del bastidor de soporte 58 y mejorar así la fiabilidad del bastidor de soporte 58.

55 Proporcionar un bastidor de soporte 58 permite así que el régimen de corriente del interruptor de vacío se extienda sin comprometer la resistencia mecánica de las barras empleadas en el interruptor de vacío.

60 Durante el funcionamiento del interruptor de vacío, una parte de la corriente del interruptor fluye a través del bastidor de soporte 58. La menor conductividad eléctrica del acero inoxidable minimiza el tamaño de la corriente que fluye a través del bastidor de soporte 58 y minimiza así la generación de corrientes de Foucault en el bastidor de soporte

58. Esto a su vez reduce el efecto que cualquier corriente de Foucault generada en el bastidor de soporte 58 pueda tener en el valor de pico y la distribución uniforme del campo magnético generado durante el proceso de interrupción de corriente.

5 La figura 12 ilustra la distribución de un campo magnético axial generado en un hueco entre electrodos de contacto montados en barras móviles y fijas basándose en la barra sin un bastidor de soporte mostrada en la figura 6 y la barra con un bastidor de soporte 58 mostrada en la figura 10.

10 En la figura 12 se muestra que el valor de pico y la distribución del campo magnético axial generado en la barra de la figura 6 permanecen en mayor medida sin cambios con respecto al valor de pico y la distribución del campo magnético axial generado en la barra de la figura 10. Esto significa que añadir un bastidor de soporte 58 tiene un efecto mínimo en el valor de pico y la distribución del campo magnético axial generado.

## REIVINDICACIONES

1. Un interruptor de vacío que comprende una pareja de electrodos de contacto montados en barras eléctricamente conductoras dentro de un recinto al vacío de modo que definen superficies de contacto opuestas, incluyendo cada una de las barras eléctricamente conductoras una parte de pared tubular alargada que soporta un respectivo electrodo de contacto en un primer extremo y que se puede conectar en un segundo extremo a un circuito eléctrico y siendo por lo menos una de las barras eléctricamente conductoras movable para abrir o cerrar un hueco entre las superficies de contacto opuestas; en el que la parte de pared de cada barra está definida por una matriz de elementos alargados (46) dispuestos de modo que las superficies externas de los elementos alargados definen una superficie externa discontinua de la parte de pared tubular alargada; caracterizado porque cada uno de los elementos alargados está formado por dos o más sub-elementos conectados extremo con extremo, incluyendo un primer sub-elemento (48) que se extiende generalmente en paralelo al eje longitudinal de la respectiva barra e incluyendo además un segundo sub-elemento (50) que se extiende desde un extremo axial del primer sub-elemento y que está conformado para curvarse alrededor del eje longitudinal de la respectiva barra, definiendo los segundos sub-elementos de los elementos alargados el primer extremo de la parte de pared tubular alargada de la respectiva barra.
2. Un interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la sección transversal de la parte de pared de cada barra es circular, oval, elíptica o de forma poliédrica.
3. Un interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que los elementos alargados se distribuyen uniformemente alrededor de la circunferencia en sección transversal de la parte de pared.
4. Un interruptor de vacío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que cada segundo sub-elemento está conformado para definir una curva helicoidal alrededor del eje longitudinal de la respectiva barra.
5. Un interruptor de vacío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que los segundos sub-elementos de las barras eléctricamente conductoras se curvan axialmente en la misma dirección o en direcciones opuestas alrededor de los ejes longitudinales de las barras.
6. Un interruptor de vacío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que cada sub-elemento tiene una forma en sección transversal circular, oval, elíptica o de forma poliédrica.
7. Un interruptor de vacío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que cada barra incluye además una estructura de soporte que se extiende a lo largo de la longitud de la parte de pared tubular alargada, estando separada la estructura de soporte de los elementos alargados y soportando un primer extremo de la estructura de soporte el electrodo de contacto respectivo en el primer extremo de la barra.
8. Un interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la estructura de soporte incluye un bastidor de soporte (58) situado en la parte de pared tubular alargada.
9. Un interruptor de vacío de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el bastidor de soporte incluye una o más proyecciones (64) que se extienden radialmente desde una superficie externa del bastidor de soporte.
10. Un interruptor de vacío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 9, en el que la estructura de soporte incluye un bastidor de soporte tubular situado en el exterior de una parte de pared tubular alargada de modo que rodee la matriz de elementos alargados.
11. Un interruptor de vacío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que un primer extremo del o de cada bastidor de soporte está acampanado de modo que soporte el electrodo de contacto respectivo.
12. Un interruptor de vacío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que el o cada bastidor de soporte está construido a partir de un material no magnético y eléctricamente conductor.
13. Un interruptor de vacío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que el o cada bastidor de soporte tiene una conductividad eléctrica menor que la parte de pared tubular alargada.
14. Un interruptor de vacío de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que cada barra se construye de cobre, aluminio o acero inoxidable.
15. Un interruptor de vacío de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la superficie de la parte de pared tubular alargada de cada barra está recubierta con un material elegido para mejorar las propiedades eléctricas de la parte de pared.

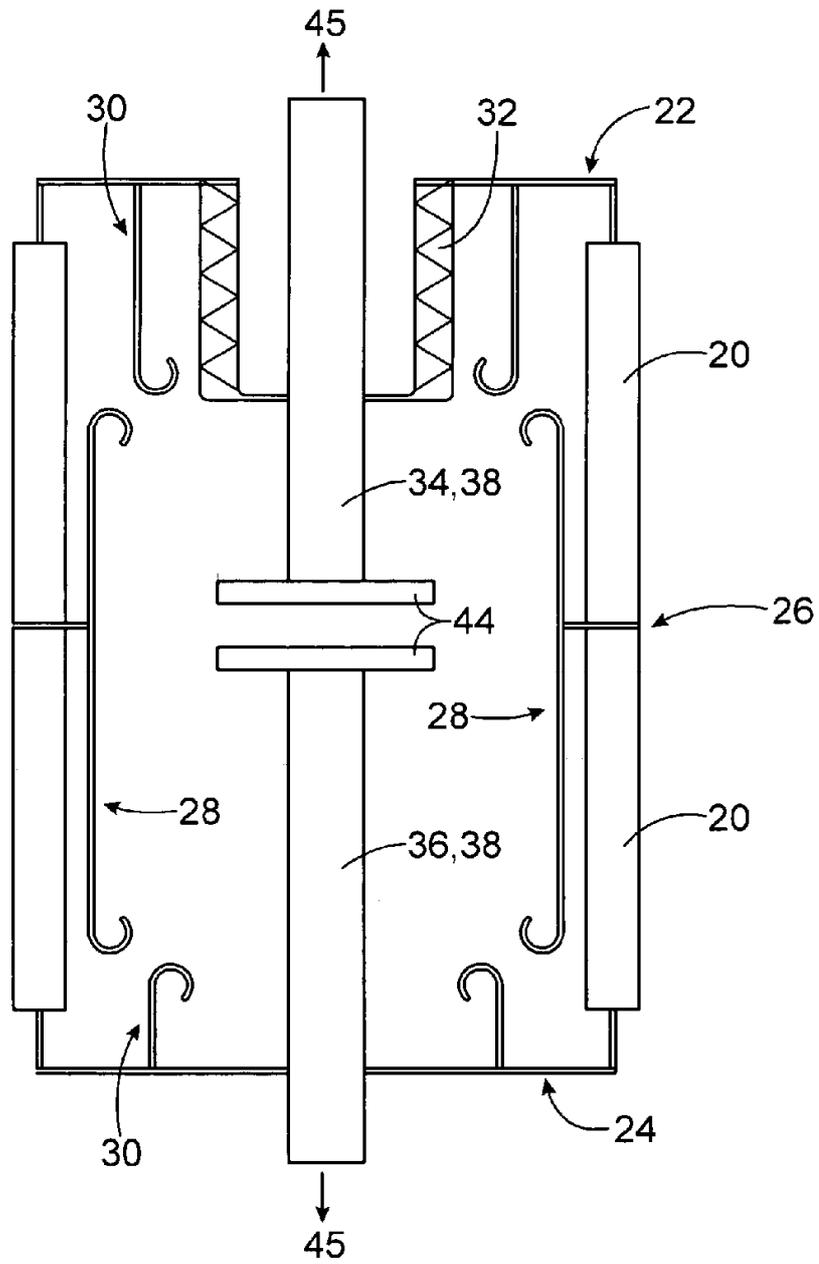


FIG. 1

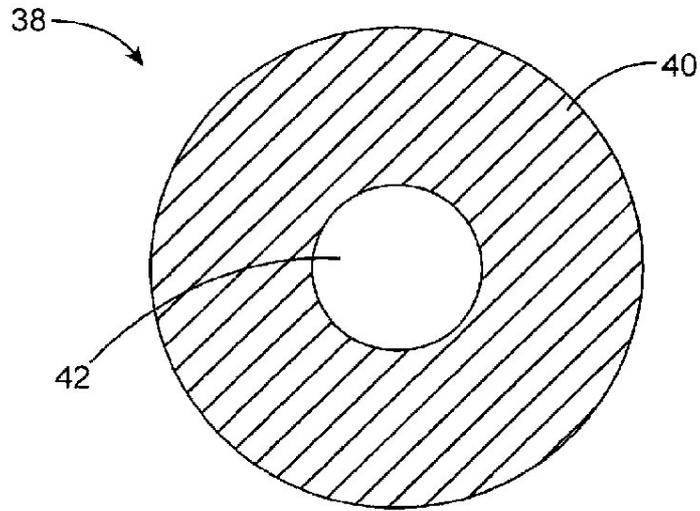


FIG.2

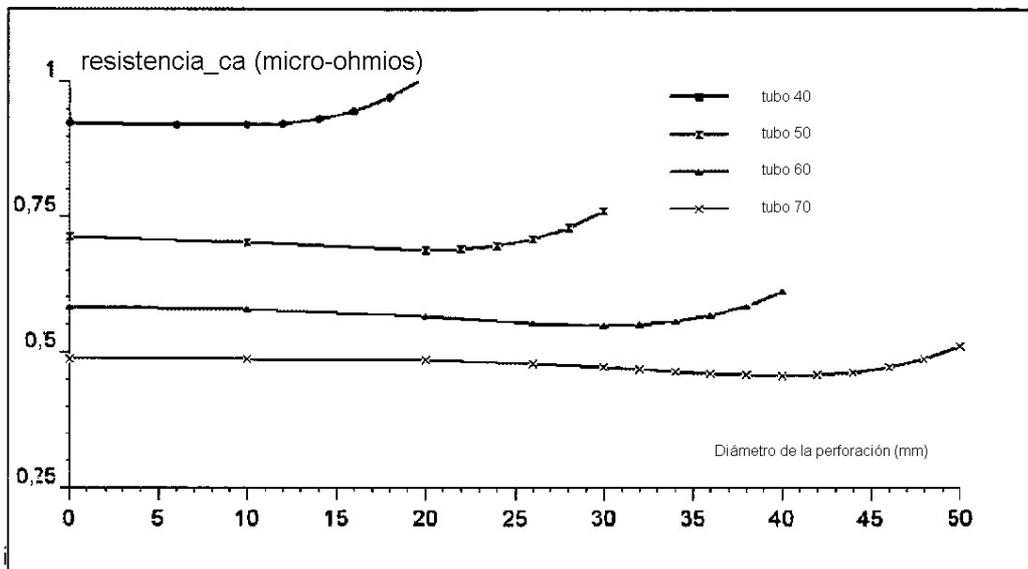


FIG.3

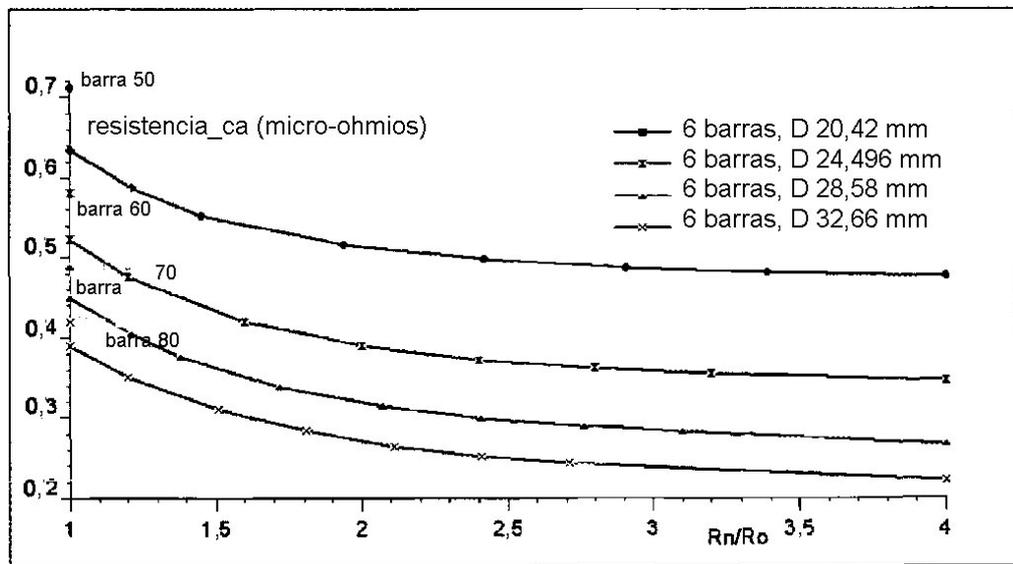
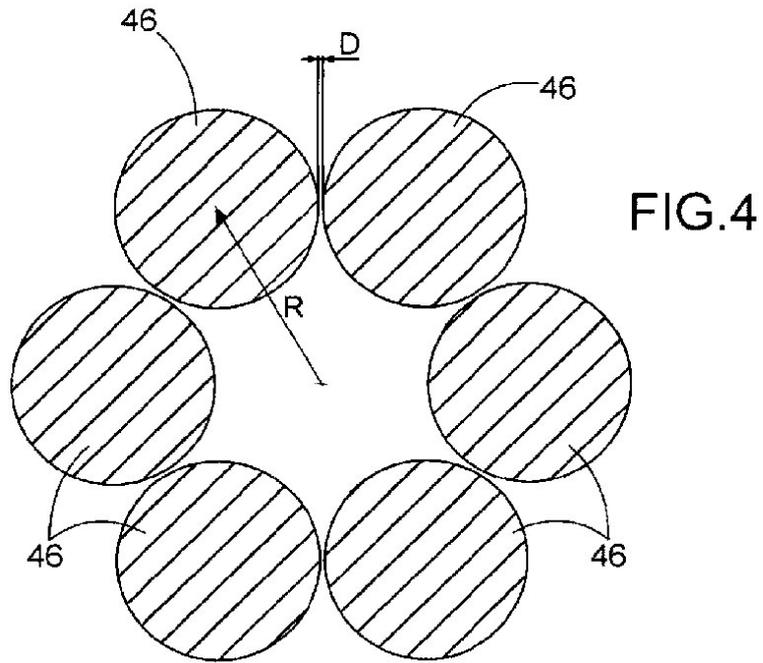


FIG. 5

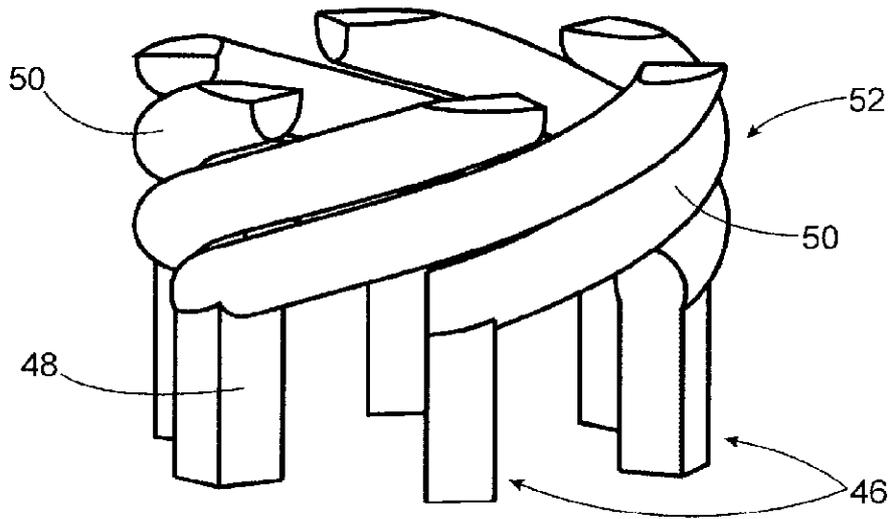


FIG. 6

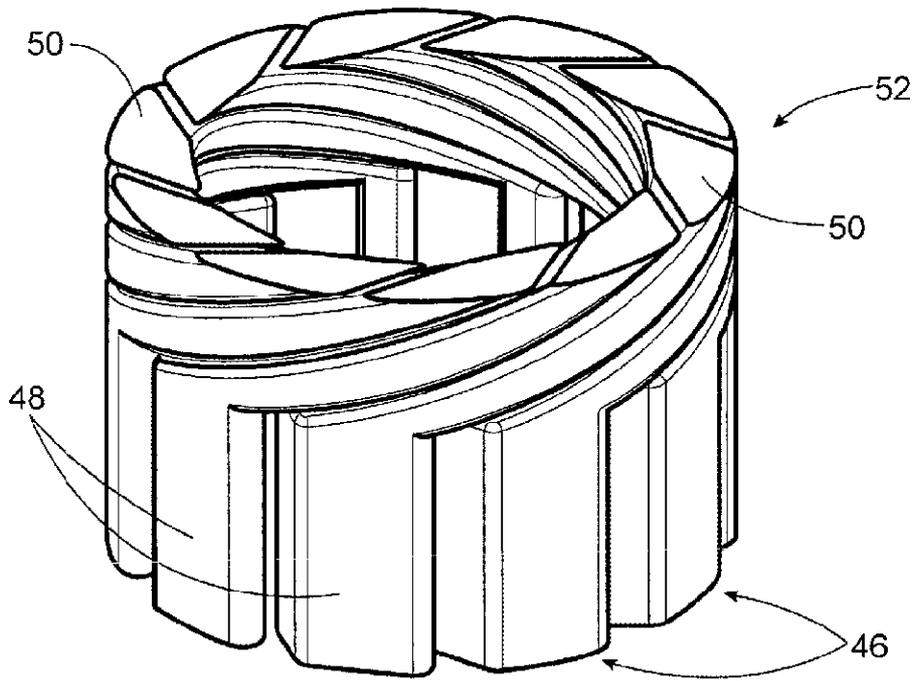


FIG. 7

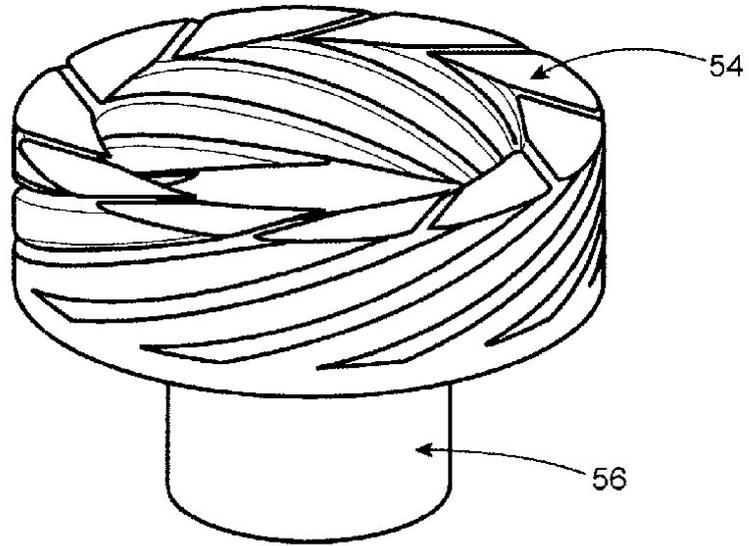


FIG. 8

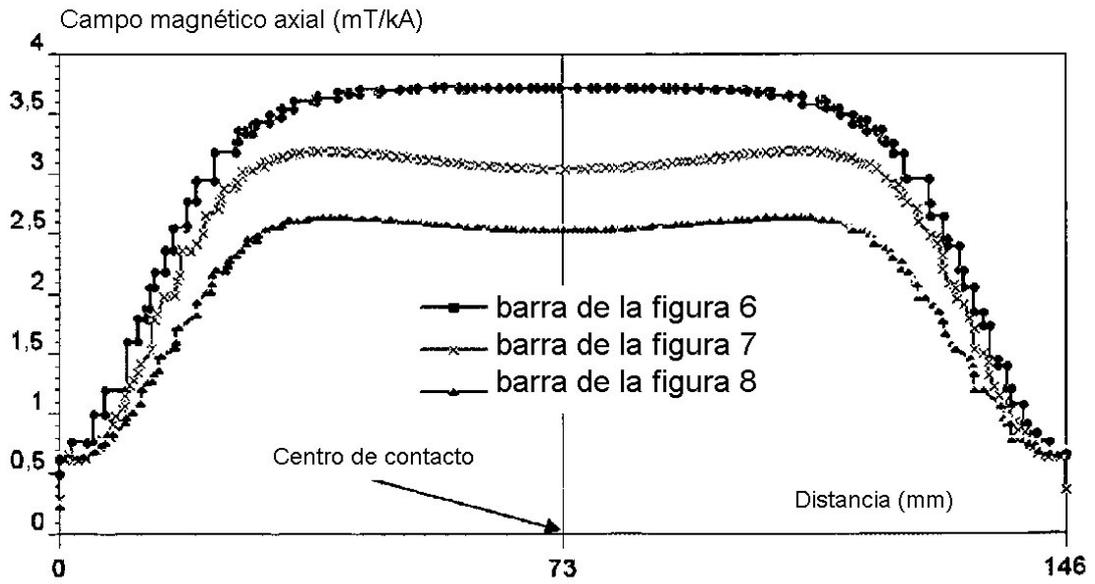


FIG. 9

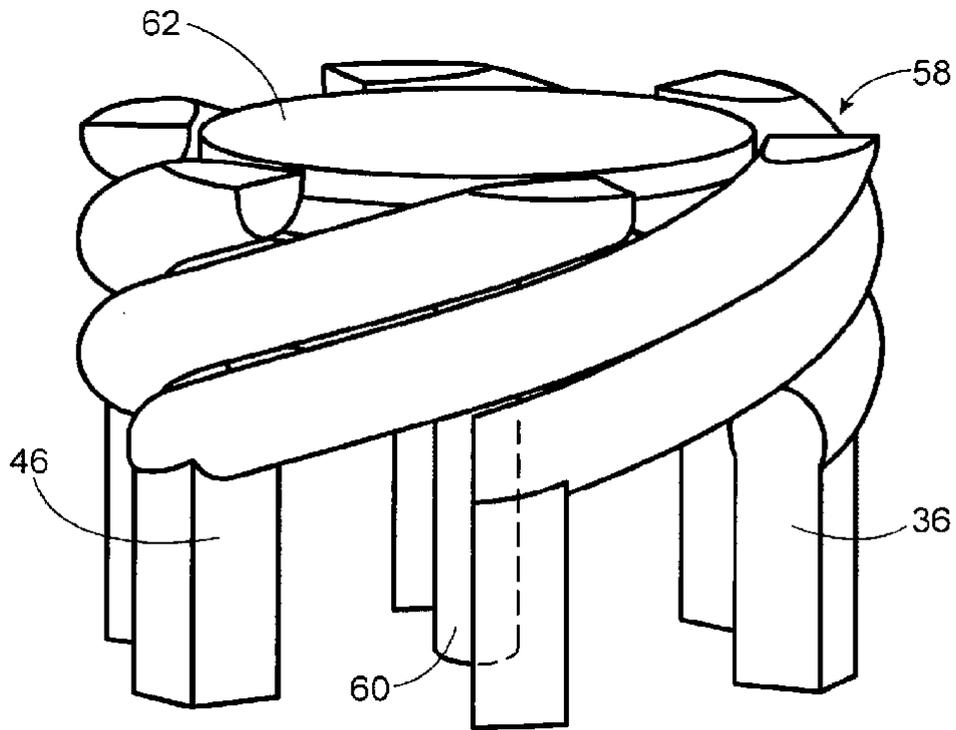


FIG. 10

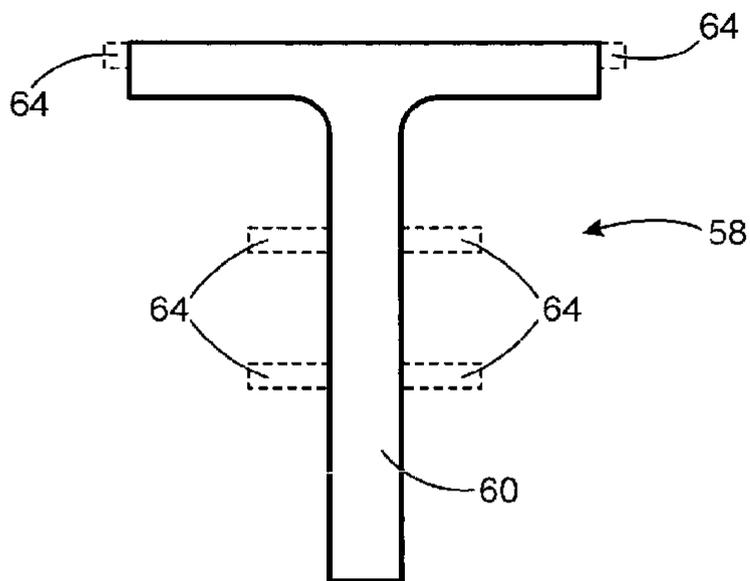


FIG. 11

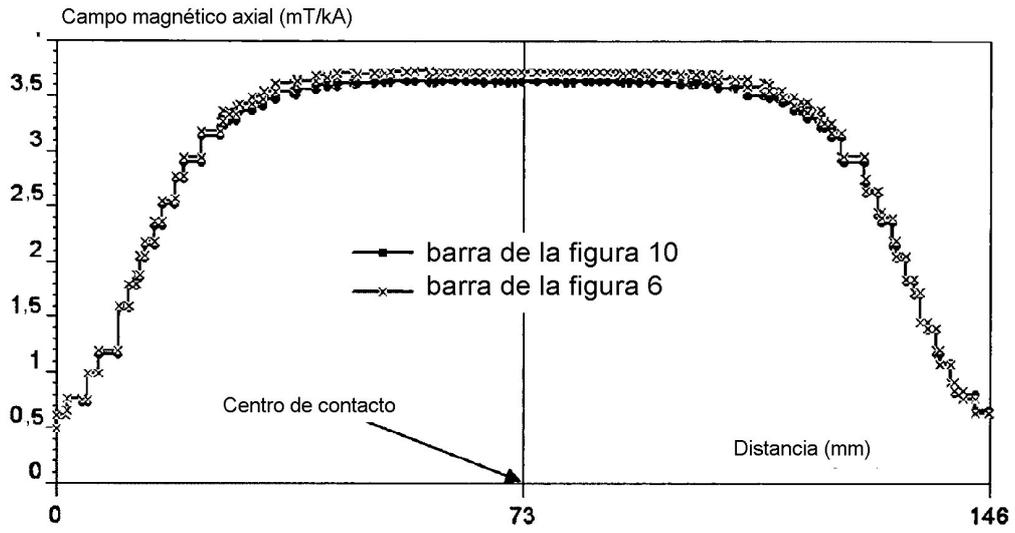


FIG.12