

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 523 975**

51 Int. Cl.:

**F03D 9/00** (2006.01)

**H02K 7/18** (2006.01)

**H02K 55/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.12.2009 E 09812438 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.08.2014 EP 2521252**

54 Título: **Generador síncrono superconductor de accionamiento directo para una turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.12.2014**

73 Titular/es:

**FUNDACIÓN TECNALIA RESEARCH &  
INNOVATION (100.0%)  
Parque Tecnológico de San Sebastián, Mikeletigi  
Pasalekua, 2  
20009 San Sebastián (Gipuzkoa), ES**

72 Inventor/es:

**SARMIENTO MUÑOZ, GUSTAVO;  
MERINO AZCÁRRAGA, JOSÉ MARÍA;  
GARCÍA-TEJEDOR PÉREZ, JAVIER;  
IBÁÑEZ EREÑO, PEDRO;  
APIÑANIZ APIÑANIZ, SUSANA y  
SCUOTTO, MATTIA**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 523 975 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

Generador síncrono superconductor de accionamiento directo para una turbina eólica

**Campo técnico de la invención**

5 La presente invención se encuentra dentro del campo técnico de los generadores eléctricos que comprenden un rotor y un estator para la producción de energía eléctrica y, particularmente, a generadores síncronos de accionamiento directo de baja velocidad que comprenden devanados inductores superconductores para su uso en turbinas eólicas.

**Antecedentes de la invención**

10 Las turbinas eólicas se consideran hoy en día una fuente de energía "verde" y, de hecho, pertenecen a una de las tecnologías renovables más desarrolladas. La mayoría de las turbinas eólicas son turbinas eólicas de eje horizontal que tienen un rotor dotado de tres palas conectadas a un árbol de rotor principal y un generador eléctrico montado dentro de una góndola en la parte superior de una torre. Muchos tipos convencionales de turbinas eólicas comprenden una caja multiplicadora que convierte la rotación relativamente lenta del rotor de la turbina eólica en una rotación más rápida para accionar el rotor del generador eléctrico. Los generadores eléctricos y las máquinas eléctricas en general, presentan poca eficacia cuando se accionan a velocidad muy baja. Además, las máquinas eléctricas lentas tienen que presentar un mayor par de torsión con el fin de compensar la velocidad de rotación reducida del rotor de la máquina, puesto que el rendimiento energético de la máquina siempre viene dado por el par de torsión multiplicado por la velocidad de rotación. Las cajas multiplicadoras reducen la eficacia de la conversión de la energía eólica en energía mecánica usada para accionar el rotor del generador eléctrico y además son bastante costosas, necesitan un mantenimiento intensivo y programado y están sujetas al desgaste y por tanto a fallos relacionados. Los generadores de accionamiento directo basados en tecnologías de máquinas eléctricas convencionales no comprenden cajas multiplicadoras y por tanto carecen de las desventajas de éstas, pero son intrínsecamente más grandes y pesados. Este es notablemente el caso de generadores eléctricos lentos para turbinas eólicas cuyas góndolas, equipadas con tales generadores, son más difíciles de elevar, colocar y equilibrar sobre torres de modo que son bastante inadecuados para generadores de producción de alta potencia como las turbinas eólicas.

Para superar los inconvenientes de los generadores de accionamiento directo convencionales, se han descrito los generadores síncronos de accionamiento directo que comprenden devanados inductores superconductores que proporcionan una densidad de par de torsión aumentada para su uso en turbinas eólicas.

30 La superconductividad es inherente a determinados materiales generalmente a temperaturas muy bajas, lo que conduce a una resistencia eléctrica de CC cero y a la exclusión del campo magnético interior (a una temperatura y densidad de corriente dadas, el superconductor puede producir un campo magnético máximo; a medida que el campo supera este valor el superconductor se convierte en un conductor normal y presenta resistencia óhmica). La superconductividad se produce en una amplia variedad de materiales, incluyendo elementos simples como estaño y aluminio, aunque también en otros materiales tales como diversas aleaciones metálicas y algunos semiconductores fuertemente dopados, en algunos materiales de tipo perovskita de cuprato basados en lantano e itrio, materiales cerámicos que consisten en talio, mercurio, cobre, bario, calcio y oxígeno, arseniuro de hierro con óxido de lantano y flúor. Un superconductor especialmente interesante desde un punto de vista práctico es el diboruro de magnesio, un superconductor convencional, que es relativamente fácil de sintetizar y fabricar en hilos largos y que tiene una temperatura de transición crítica de 39 °K a granel o en forma de polvo.

45 Habitualmente, los devanados inductores de cobre de una máquina síncrona convencional se encuentran enterrados en las ranuras del rotor o devanados alrededor de polos de hierro salientes del rotor, mientras que los devanados del inducido se alojan dentro de ranuras y están separados por dientes de hierro en el estator. Estos elementos de hierro refuerzan y guían eficazmente el flujo magnético a través del entrehierro de la máquina, es decir, la separación radial existente entre la superficie del rotor o polos del rotor y los dientes del estator. Los devanados inductores superconductores pueden transportar mucha más corriente (amperios·vuelta) que los convencionales, produciendo así mayores campos magnéticos. Por tanto, pueden suministrarse algunos elementos de hierro. En máquinas superconductoras, el circuito magnético de la máquina eléctrica comprende dos elementos de hierro conformados de manera anular, el contrahierro del rotor y el yugo trasero del estator. Para establecer una alta densidad de flujo en el gran entrehierro, se necesita una fuerza magnetomotriz muy alta. Con una configuración de este tipo, con las bobinas inductoras superconductoras ubicadas por encima del contrahierro anular del rotor, los mayores campos magnéticos se encuentran habitualmente justo sobre los superconductores. Los prototipos más recientes de máquinas superconductoras implementan superconductores de alta temperatura (HTS) con una temperatura de transición superior a los 77 °K (punto de ebullición del nitrógeno) tales como YBCO y BSSCO. Estos superconductores pueden adoptar campos altos (2,5-3,5T) a una temperatura razonablemente baja (20-40 °K). Sin embargo, esta clase de superconductores es muy costosa puesto que BSSCO tiene una matriz de plata y YBCO es muy difícil de fabricar en piezas largas tales como las que se requieren para las bobinas, y la producción requiere procesos que llevan tiempo y tecnologías complicadas. Por consiguiente, las máquinas eléctricas que implementan HTS son demasiado costosas.

Otros materiales, tales como NbTi ( $T_c$  de 9 °K) o Ni3Sn ( $T_c$  de 18 °K), se han considerado en el pasado para esta aplicación. Sin embargo el rendimiento de estos superconductores es interesante a temperaturas de 4,2 °K (punto de ebullición del helio) o inferiores. Las plantas para licuar helio también son muy costosas. Además, cuanto menor sea la temperatura, más inestable es el sistema criogénico. Estas son desventajas graves de las máquinas LTS (superconductor a baja temperatura).

El diboruro de magnesio ofrece un equilibrio interesante: por una parte, es mucho más barato y se opera a temperaturas en el orden de 15-25 °K. Por otra parte, para transportar altas corrientes a estas temperaturas, los hilos existentes basados en diboruro de magnesio no pueden adoptar campos magnéticos muy altos, habitualmente muy por debajo de 2 T. Por tanto para conseguir un rendimiento adecuado, el circuito magnético de las máquinas eléctricas síncronas superconductoras basadas en hilos de diboruro de magnesio y materiales baratos con características similares deben comprender polos de hierro salientes que sobresalen del contrahierro del rotor. Los polos de hierro desvían el flujo magnético procedente de las bobinas superconductoras y reducen la reluctancia del circuito.

Habitualmente, los superconductores se mantienen a la temperatura criogénica operativa apropiada en recipientes especiales denominados criostatos. Los prototipos conocidos de máquinas superconductoras a menudo presentan un diseño de "rotor frío", en el que un criostato encierra

- las bobinas superconductoras
- el contrahierro del rotor
- la armadura del rotor.

El diseño de "rotor frío" como el dado a conocer en el documento WO-A 2007/033858 no es adecuado para un rotor de polos salientes, debido a que las camisas externas del criostato por encima de los polos requerirían espacio adicional, haciendo así el entrehierro más largo y teniendo un efecto negativo en la distribución del campo magnético. Esta característica reduciría la eficacia del circuito magnético.

En el sistema "frío húmedo" como el dado a conocer en la patente EP-A-1959548, la pieza superconductora se sumerge en un refrigerante, en estado gaseoso o líquido, y se aísla del exterior en el criostato. El calor generado por las fuentes externas o internas se intercambia con el refrigerante y se extrae fuera del criostato con el fin de mantener la máquina a la temperatura de operación apropiada. En caso de refrigerante líquido, el procedimiento de refrigeración puede implicar un cambio de fase al estado gaseoso. Tanto el He gaseoso como el He líquido (temperatura de ebullición de 4,2 °K) se han usado ampliamente como refrigerante. Como el He es un elemento muy costoso, se han desarrollado varios sistemas de ciclo cerrado para recuperar este costoso gas, e, incluso, licuarlo de nuevo. Asimismo, se han desarrollado algunos prototipos de máquina con sistemas de refrigeración basados en Ne líquido (temperatura de ebullición de 27 °K) y nitrógeno líquido (temperatura de ebullición de 77 °K), dependiendo del material SC. Todos necesitan un relleno continuo del criostato o sistemas de recuperación costosos basados en plantas líquidas.

El documento US2009/0229291 A1 describe un rotor superconductor en el que las bobinas están alojadas en un recipiente de vacío anular hueco. Las bobinas son refrigeradas en su interior por un fluido de refrigeración.

El documento WO 95/08211 describe una máquina superconductora en la que el rotor es refrigerado por conducción térmica y por lo tanto está libre de fluido de refrigeración. La totalidad del rotor está alojada en un criostato.

### Descripción de la invención

La presente invención pretende superar los inconvenientes mencionados anteriormente de la técnica anterior proporcionando un generador eléctrico de accionamiento directo tal como se reivindica en la reivindicación 1.

El rotor de polos calientes, es decir, el "rotor caliente" contiene un criostato de geometría adecuada. Se hará referencia al criostato de geometría mencionada anteriormente como de tipo de "rueda para hámster". Dentro del criostato, los devanados inductores superconductores preferiblemente basados en hilo de diboruro de magnesio, se mantienen a la temperatura criogénica apropiada. Este diseño tiene una serie de ventajas con respecto a los diseños de "rotor frío" convencionales:

- los materiales del rotor son convencionales;
- la superficie exterior del criostato es reducida de modo que se minimiza el flujo térmico por radiación que entra en el criostato;
- el volumen y la masa en el interior son reducidos de modo que se reduce el tiempo para, respectivamente, crear el vacío y refrigerar las bobinas;
- el criostato puede hacerse modular; cada bobina viene con su propia carcasa de elemento de criostato de modo que una vez que todos los elementos están colocados sobre el rotor, las superficies entre carcasas coplanarias de la camisa externa pueden recibir un sellado apropiado, tal como soldaduras a prueba de vacío u otros;
- la extensión radial del criostato por encima de los devanados inductores superconductores puede reducirse,

y por tanto, reducir el espacio entre los polos del rotor y el devanado del inducido del estator y mejorar el flujo magnético en el entrehierro;

5 Además, el sistema criogénico se basa en refrigeradores criogénicos en un sistema "sin criógeno", por tanto un diseño de sistema criogénico "frío-seco", puesto que ningún refrigerante entra en el criostato. Los refrigeradores criogénicos extraen el calor que entra en el criostato a través de circuitos térmicos diseñados de manera apropiada ubicados dentro del criostato.

En un refrigerador criogénico de Gifford-McMahon (GM), por ejemplo, el gas helio experimenta un ciclo termodinámico cerrado, que comprende habitualmente una expansión gaseosa de una o dos fases. Los refrigeradores GM se conocen ampliamente en la industria.

10 Los componentes principales de un refrigerador GM son: la cabeza refrigeradora (en la que se expande el gas He), el compresor y las dos líneas flexibles para suministrar el refrigerante.

15 La cabeza refrigeradora tiene dos fases, relacionadas con los dos subciclos termodinámicos que se realizan en su interior, a dos temperaturas diferentes, a las que se hará referencia en lo sucesivo como "alta temperatura" y "baja temperatura". En la superficie de cada fase, habitualmente compuesta por un material altamente conductor como cobre libre de oxígeno, se extrae el calor. Dependiendo de las cargas de calor, una "alta temperatura" típica es de aproximadamente 80 °K y una "baja temperatura" es de aproximadamente 15 °K.

20 En una realización preferida de los medios de refrigeración criogénica, el compresor del refrigerador criogénico está dispuesto de manera estacionaria. El suministro de refrigerante a y la recuperación desde la cabeza refrigeradora, anclada al criostato del rotor del generador, se producen a través de una alimentación directa rotatoria de doble cámara. Cada cámara está conectada a al menos una salida de refrigerante y una entrada de refrigerante. El número de conexiones depende del número de cabezas refrigeradoras y compresores que pueda comprender el sistema de refrigeración criogénica. Las líneas que conectan el compresor con la alimentación directa rotatoria y la alimentación directa a la cabeza refrigeradora pueden ser flexibles.

25 Según otra realización, el criostato comprende una única unidad de múltiples módulos. Cada módulo comprende una parte de dos circuitos térmicos parcialmente interconectados, un elemento de conductividad térmica muy alta que encierra la bobina superconductora que desempeña las funciones de anclaje térmico, conformación y armadura de la bobina, una pantalla contra la radiación, una camisa externa del criostato y varios apoyos de baja conductividad térmica. La pantalla contra la radiación está alojada en la camisa externa del criostato. La pluralidad interconectada de pantallas modulares contra la radiación constituye el circuito térmico de alta temperatura del criostato que suministra parte del calor que entra desde el exterior y/o que se genera dentro del criostato a la fase de alta temperatura de las cabezas refrigeradoras. Los elementos de anclaje térmico y de conformación se alojan dentro de la pantalla contra la radiación. Los elementos de anclaje térmico de la bobina superconductora y de transmisión de calor constituyen el circuito térmico de baja temperatura del criostato que suministra parte del calor que entra desde el exterior y/o se genera dentro de las pantallas contra la radiación a la fase de baja temperatura de las cabezas refrigeradoras. En esta realización el criostato comprende secciones transversales interpolares situadas entre los polos de hierro adyacentes, comprendiendo cada sección interpolar:

40 una parte transversal de la camisa externa del criostato que comprende un canal en forma de U transversal exterior dotado de un primer aislamiento y cerrado por una parte transversal de una placa de cubierta exterior;

una parte transversal de la pantalla contra la radiación que comprende un canal en forma de U transversal interior dotado de un segundo aislamiento y cerrado por una parte transversal de una placa de cubierta interior;

45 dos partes transversales de dos elementos de anclaje térmico y de conformación adyacentes, respectivamente, separados entre sí por un espacio transversal;

la parte transversal de la pantalla contra la radiación está situada dentro del segundo aislamiento en la parte transversal de la camisa externa del criostato;

las dos partes transversales de los elementos de anclaje térmico y de conformación adyacentes están situadas dentro del primer aislamiento en la parte transversal de la pantalla contra la radiación.

50 Por otra parte, puesto que el calor se acumula a lo largo de las ramas circunferenciales de los circuitos térmicos, los elementos de transmisión térmica de cada uno de los circuitos térmicos se hacen más gruesos cuanto más próximos estén a una cabeza refrigeradora de modo que pueden conducir el flujo de calor creciente.

Según una realización de la invención, la alimentación directa rotatoria puede estar constituida por:

55 una cámara de baja presión conectada a un circuito de baja presión y con conexión de fluidos a una primera fase de al menos una cabeza refrigeradora, estando acoplada térmicamente dicha primera fase al circuito de baja temperatura en el criostato;

una cámara de alta presión alojada dentro de la cámara de baja presión y con conexión de fluidos a un circuito de alta presión acoplado térmicamente a una segunda fase de al menos una cabeza refrigeradora, estando acoplada

térmicamente dicha segunda fase al circuito de alta temperatura en el criostato;

una estructura de sellado de baja presión que divide la cámara de baja presión en una parte de baja presión estacionaria y una parte de baja presión rotatoria, siendo rotatoria la parte de baja presión rotatoria, en la estructura de sellado de baja presión;

5 una estructura de sellado de alta presión que divide la cámara de alta presión en una parte de alta presión estacionaria y una parte de alta presión rotatoria, siendo rotatoria la parte de alta presión rotatoria, en la estructura de sellado de alta presión, estando montada la estructura de sellado de alta presión en la estructura de sellado de baja presión.

10 En esta realización de la alimentación directa rotatoria la parte de baja presión estacionaria puede fijarse a un soporte que comprende una parte de soporte anular en la que la parte de baja presión rotatoria está soportada de manera rotatoria. Para este fin, la parte de baja presión rotatoria tiene un engrosamiento anular periférico u otro elemento sobresaliente y/u otro elemento de refuerzo anular y cojinetes ubicados entre la parte de soporte anular y el engrosamiento anular. Por otra parte, la parte de baja presión rotatoria puede comprender una entrada de baja presión conectada a una tubería de entrada de baja presión que está conectada a una línea flexible de recuperación, y la parte de baja presión estacionaria puede comprender una salida de baja presión conectada a una tubería de salida de baja presión, de manera que el refrigerante que fluye desde las cabezas refrigeradoras a través de la línea flexible de recuperación entra en la cámara de baja presión a través de la entrada de baja presión, sale de la cámara de baja presión a través de la salida de baja presión en la parte de baja presión estacionaria y se conduce al compresor del refrigerador criogénico a través de la tubería de salida de baja presión. Dentro de la cámara de baja presión hay una cámara de alta presión comprendida dentro de una parte de cámara de alta presión estacionaria y una parte de cámara de alta presión rotatoria. La parte de alta presión estacionaria puede comprender una entrada de alta presión conectada a una tubería de entrada de alta presión que se extiende a través de la cámara de baja presión, penetra en la pared vertical de la parte de baja presión estacionaria y conecta así la cámara de alta presión con el compresor del refrigerador criogénico. La parte rotatoria puede comprender una salida de alta presión conectada a una tubería de salida de alta presión que se extiende a través de la cámara de baja presión en un sentido opuesto, penetra a través de la pared vertical de la parte de baja presión rotatoria y se conecta con una línea flexible de suministro. De ese modo, se suministra refrigerante a alta presión desde el compresor a las cabezas refrigeradoras. Las partes de cámara de alta presión están acopladas entre sí mediante una estructura de sellado de alta presión de manera que la parte de alta presión rotatoria rota con respecto a la parte de alta presión estacionaria. La estructura de sellado de alta presión está conectada a la estructura de sellado de baja presión. La parte de alta presión rotatoria y la parte de baja presión rotatoria rotan así simultáneamente con el rotor de la turbina eólica.

15 La periferia de la estructura de sellado de baja presión puede estar encerrada por una carcasa de recuperación de fuga anular que comprende una cámara de recuperación de fuga interior y una salida de recuperación. Las fugas de refrigerante a través del sellado de baja presión se retienen dentro de la cámara de recuperación desde la que pueden extraerse a través de la salida de recuperación.

20 En la estructura de sellado de alta presión descrita anteriormente de la alimentación directa rotatoria, la parte de sellado está compuesta por un material que proporciona baja fricción para permitir la rotación de la parte de alta presión rotatoria y buenas propiedades de sellado para minimizar las fugas del refrigerante a alta presión. Las fugas de refrigerante desde la cámara de alta presión entran en la cámara de baja presión y se transportan al compresor. La parte de sellado de baja presión de la estructura de sellado de baja presión puede lubricarse con un lubricante adecuado tal como aceite.

25 Como resulta evidente a partir de lo anterior, la presente invención supera los inconvenientes descritos anteriormente de los generadores de accionamiento directo de baja velocidad del estado de la técnica y los generadores síncronos superconductores para grandes turbinas eólicas de manera eficaz por medio de una estructura que es bastante barata y de fabricación convencional.

### Breve descripción de los dibujos

En lo sucesivo en la presente memoria, se describirán aspectos y realizaciones de la invención basándose en los dibujos en los que:

30 la figura 1 es una vista en perspectiva esquemática parcial lateral que deja ver el interior de una turbina eólica que usa un generador de accionamiento directo según a la presente invención;

la figura 2 es una vista en perspectiva esquemática frontal que deja ver parcialmente el interior de una realización de un generador según la presente invención según se incluye en la turbina eólica mostrada en la figura 1;

35 la figura 3 es una vista en perspectiva esquemática frontal del sistema criogénico global del generador mostrado en la figura 2;

la figura 4 es una vista parcial esquemática del criostato y el sistema de refrigeración del generador mostrado en la figura 2;

la figura 5 es una vista en despiece ordenado de un elemento polar de criostato según una realización de la presente invención para el generador mostrado en la figura 2;

40 la figura 6 es una vista parcialmente en despiece ordenado de una unidad interpolador de criostato para el

generador mostrado en la figura 2;

la figura 7 es una vista en sección de una realización de la alimentación directa rotatoria

la figura 8 es una vista en sección a lo largo de la línea A-A de la alimentación directa rotatoria mostrada en la figura 7;

5 la figura 9 es una vista esquemática de una realización del circuito térmico de baja temperatura y el circuito de alta temperatura del sistema criogénico.

En estas figuras, hay números de referencia que identifican los siguientes elementos

	1	buje / palas del rotor de la turbina eólica
	2	árbol de rotor
10	3	generador
	4	góndola
	5	sistema de integración de la góndola / armadura del generador
	6	polos de hierro del rotor
	7	contrahierro del rotor
15	8	yugo trasero del estator
	9	armadura del estator
	10	criostato
	11	devanados del entrehierro
	12	armadura de los devanados del entrehierro
20	13	pantalla electromagnética del rotor
	14	armadura del rotor
	15	compresor del refrigerador criogénico
	16	alimentación directa rotatoria
	16a	parte de baja presión estacionaria
25	16b	parte de baja presión rotatoria
	16c	parte de alta presión estacionaria
	16d	parte de alta presión rotatoria
	16e	cámara de baja presión
	16f	cámara de alta presión
30	16g	tubería de entrada de alta presión
	16h	tubería de salida de baja presión
	16i	salida de alta presión
	16j	entrada de baja presión
	16k	entrada de alta presión
35	16l	salida de baja presión
	16m	engrosamiento anular
	16n	tubería de entrada de baja presión
	16o	tubería de entrada de alta presión
	17	líneas flexibles
40	17a	línea flexible de suministro
	17b	línea flexible de recuperación
	18	cabeza refrigeradora del refrigerador criogénico
	18a	primera fase de cabeza refrigeradora
	18b	segunda fase de cabeza refrigeradora
45	19	camisa externa del criostato
	20	pantalla contra la radiación del criostato
	21	anclaje térmico, de conformación y armadura de la bobina superconductora
	22	elemento de circuito térmico de baja temperatura
	23	elemento de circuito térmico de alta temperatura
50	24	bobina superconductora
	25	parte lateral interior del anclaje térmico, de conformación y armadura de la bobina superconductora
	26	parte lateral interior del módulo de pantalla contra la radiación
	27	perfil en forma de U lateral
	28	perfil en forma de U transversal
55	29	apoyo interior
	30	apoyo exterior
	31	perfil en forma de L lateral
	32	parte hueca transversal (elemento de anclaje de baja temperatura)
	33	placa de cubierta interior
60	34	placa de cubierta exterior
	35	aislamiento multicapa exterior
	36	aislamiento multicapa interior
	37	ala en forma de L transversal
	39	pieza de esquina

	40	carcasa interior
	41	soporte para la alimentación directa rotatoria
	41a	parte de soporte anular
	41b	cojinete
5	42	estructura de sellado de baja presión rotatoria (o estacionaria)
	43	carcasa anular de recuperación de fugas
	43a	cámara de recuperación de fugas
	43b	salida de recuperación
	44	estructura de sellado rotatoria de alta presión
10	45	circuito térmico de baja temperatura
	45a	conexión de baja temperatura a la cabeza refrigeradora
	46	circuito térmico de alta temperatura
	46a	conexión de alta temperatura a la cabeza refrigeradora

**Realizaciones de la invención**

15 La figura 1 muestra una turbina eólica de eje horizontal para generar 5-10 MW que comprende un buje de rotor -1- dotado de palas (sólo se muestran dos palas en la figura 1) unido a un árbol de rotor -2- que está conectado a un generador eléctrico superconductor síncrono de accionamiento directo -3-. El generador eléctrico está montado sobre una armadura de generador -5-. El buje de rotor -1-, el árbol de rotor -2- y el generador -3- están ubicados en una góndola -4- que está montada de manera pivotante sobre una parte superior de una torre de una manera conocida *per se*.

20 Como se muestra en las figuras 2 y 3, el generador eléctrico -3- comprende un rotor con armadura del rotor -14- que está conectado al árbol de rotor -2- y a un contrahierro de rotor laminado anular -7- con polos de hierro laminado rectangulares exteriores del rotor -6- que sobresalen de la superficie periférica del contrahierro.

25 La armadura del rotor -14- rota dentro de un estator que comprende una armadura anular del estator -9- con un yugo trasero de estator interior -8-. La armadura del estator -9- está conectada a la armadura del generador -5-. Mediante esta disposición, la rotación accionada por el viento del buje de rotor -1- hace que la armadura del rotor -14- rote dentro de la armadura del estator -9-.

30 Cada polo de hierro del rotor -6- está encuadrado por el criostato -10- y puede estar cubierto por una pantalla electromagnética anular delgada externa -13- que está montada alrededor de toda la superficie de entrehierro del rotor. Cada módulo del criostato -10- encierra una bobina superconductora (no mostrada en las figuras 1 y 2) fabricadas a partir de, por ejemplo, hilo de diboruro de magnesio, devanado en bobinas como devanados inductores en el rotor. Las bobinas superconductoras se operan a una temperatura criogénica en el intervalo normalmente de 10-25 °K. El criostato -10- aísla las bobinas superconductoras de las partes calientes del generador, por ejemplo, los polos de hierro -6-, y la atmósfera exterior. Dentro del criostato -10-, se genera baja presión y se mantiene a través de bombas de vacío (no mostradas en los dibujos).

35 Una armadura de devanados del entrehierro de estator anular -12- que comprende una pluralidad de devanados del entrehierro -11- enfrentadas con el criostato -10- y pantallas electromagnéticas -13- está montada en la superficie interior del yugo trasero del estator -8-. Los devanados del estator, también denominados devanados del inducido, transportan CA trifásica y pueden controlarse mediante un convertidor CA/CC-CC/CA de electrónica de potencia. Los devanados del inducido pueden requerir un sistema de refrigeración dedicado, basado en agua, aceite o circulación de aire forzado, según las necesidades. El generador comprende además un sistema de refrigeración criogénico que comprende un compresor del refrigerador criogénico -15- conectado por medio de una alimentación directa rotatoria -16- a pares de líneas flexibles -17- respectivamente conectadas a cabezas refrigeradoras del refrigerador criogénico -18- que, a su vez, están conectadas al criostato -10-. El compresor -15- está situado de manera estacionaria dentro del rotor. La alimentación directa rotatoria -16- se usa cuando se usa un compresor -15- que no puede rotar. Los pares de líneas flexibles -17- se usan para hacer circular el refrigerante, helio gaseoso en la realización mostrada en las figuras, a través de las cabezas refrigeradoras -18-. El sellado de la junta rotatoria de la alimentación directa -16- puede minimizar las fugas mediante la implementación, por ejemplo, de tecnología de ferrofluidos. Un refrigerador criogénico de tipo Gifford-McMahon que comprende la cabeza refrigeradora -18- y el compresor -15- conectado por los pares de líneas flexibles -17- mediante la alimentación directa rotatoria de alta presión -16- es adecuado como sistema de refrigeración. Como alternativa, el compresor puede diseñarse para rotar de modo que la alimentación directa rotatoria no sería necesaria.

55 Las figuras 4 a 6 muestran más detalles del sistema criogénico usado para refrigerar y mantener las bobinas superconductoras -24- que están situadas dentro del criostato -10- a la temperatura de operación apropiada. El criostato -10- comprende una única unidad de múltiples módulos. Cada módulo que comprende una parte de dos elementos de circuitos térmicos parcialmente interconectados -22, 23-, un elemento de conductividad térmica muy alta -21- que encierra la bobina superconductora -24- que desempeña las funciones de anclaje térmico, de conformación y armadura de la bobina, una pantalla contra la radiación -20-, una camisa externa del criostato -19- y varios apoyos de baja conductividad térmica -29, 30-.

- Según la figura 4, las bobinas superconductoras -24- están en forma de de armaduras rectangulares con secciones de esquina arqueadas y están encerradas por y en contacto térmico con elementos de anclaje térmico similares a una armadura y de conformación -21-. Los elementos de anclaje térmico, de conformación y armadura de la bobina superconductora, -21- están alojados en pantallas contra la radiación similares a una carcasa-20-, y cada uno de los conjuntos así formados se aloja en una camisa externa -19-. Cada módulo de la pantalla contra la radiación -20- constituye el elemento de circuito térmico de alta temperatura del criostato -23- que suministra parte del calor que entra desde el exterior y/o se genera dentro del módulo de criostato. Los elementos de anclaje térmico de la bobina superconductora -21- constituyen el elemento de circuito térmico de baja temperatura del criostato -22- que suministra parte del calor que entra desde el exterior y/o se genera dentro del módulo de radiación -20-.
- Como resulta evidente a partir de las figuras 5 y 6, los elementos de conformación y de anclaje térmico -21- que encierran cada bobina superconductora -24- se componen de dos partes laterales huecas opuestas -25- y dos partes transversales huecas opuestas -32-, que forman una armadura rectangular cuyas partes de esquina están cerradas por piezas de esquina laterales -39-.
- La pantalla contra la radiación del criostato -20- comprende una pluralidad de unidades de pantalla contra la radiación que comprenden una carcasa rectangular -40- que tiene dos paredes laterales y dos paredes transversales que rodean una abertura, y dos alas en forma de L transversales -37- que sobresalen hacia fuera en la parte inferior de las paredes transversales interiores de la carcasa -40-, de manera que se forma un canal en forma de U interior mediante una de las paredes transversales y una de las alas en forma de L -37-. Cada uno de los canales en forma de U interiores comprende tres apoyos de baja conductividad térmica en forma de U interiores -29- para soportar aislamientos multicapa en forma de U interiores -36- que forman un canal de aislamiento en forma de U interno transversal para el calor de la radiación. La unidad de pantalla contra la radiación del criostato comprende además dos perfiles en forma de L laterales -26- situados, respectivamente, enfrentados con las paredes laterales de la carcasa interior -40- de manera que cada uno de los perfiles en forma de L laterales -26- forma un canal en forma de U interior lateral con una de las paredes laterales del alojamiento interior -40-. Los perfiles en forma de L laterales -26- son más cortos que la extensión lateral global de la pantalla contra la radiación -20- y por tanto, sólo están enfrentados con la mitad de las partes de extremo abiertas de cada una de las alas en forma de L transversales -37-.
- Cada uno de los canales de aislamiento en forma de U interiores transversales formados por el aislamiento multicapa interior -36- está dimensionado de manera que existe espacio para alojar una parte transversal -32- de un elemento de conformación y de anclaje térmico -21- y una parte transversal -32- de un elemento de armazón y de anclaje térmico -21- adyacente separados entre sí por un espacio transversal, hueco que evita un contacto térmico directo entre los elementos de conformación -21-. Por otra parte, cada uno de los canales en forma de U laterales interiores entre los perfiles en forma de L -26- y las paredes laterales de la carcasa interna -40- está dimensionado de manera que una de las partes laterales del elemento de conformación y de anclaje térmico -21- encaja en el mismo.
- Cada unidad de la pantalla contra la radiación del criostato -20- también comprende una placa de cubierta interior -33- con una abertura central. La placa de cubierta interior -33- cierra la mitad de cada uno de los canales en forma de U transversales interiores en las alas transversales -37- y los canales en forma de U laterales interiores.
- La camisa externa del criostato -19- comprende una pluralidad de unidades de camisa que comprende cada una dos perfiles en forma de U transversales -28- y dos perfiles en forma de U laterales -27- dispuestos de manera que los bordes verticales de las partes verticales interiores de los perfiles en forma de U -27-, -28- hacen tope entre sí y delimitan así un paso interior. Los bordes verticales de las paredes exteriores de cada uno de los perfiles en forma de U laterales -27- hacen tope contra los bordes verticales de respectivos perfiles en forma de L exteriores -31-, y los bordes de la sección central de los perfiles en forma de U laterales hacen tope contra la parte horizontal de los perfiles en forma de L exteriores -31-. Las partes horizontales de cada uno de los perfiles en forma de L exteriores -31- están, por tanto, alineadas con las respectivas secciones centrales de los perfiles en forma de U -27- mientras que las partes verticales de los perfiles en forma de L exteriores están alineadas con las respectivas partes de pared de los perfiles en forma de L exteriores -31-. Así se forma un canal lateral exterior por cada uno de perfiles en forma de U laterales -27- y los respectivos perfiles en forma de L exteriores -31-.
- Cada uno de los perfiles en forma de U transversales -28- forma un canal en forma de U transversal exterior en el que hay tres apoyos de baja conductividad térmica exteriores -30- para soportar un aislamiento multicapa en forma de U exterior -35- que forma un canal de aislamiento transversal exterior. Cada uno de los canales de aislamiento transversales exteriores está dimensionado de manera que una de las paredes transversales de la carcasa interna -40- y una de las alas en forma de L -37- encaja en el mismo. Por otra parte, cada uno de los canales laterales exteriores está dimensionado para alojar uno de los perfiles en forma de L laterales -26- de una unidad de la pantalla contra la radiación del criostato -20- de manera que las partes verticales interiores del perfil en forma de U lateral -27- pueden insertarse en la abertura en la unidad de pantalla contra la radiación del criostato -20- y la parte vertical exterior de cada uno de los perfiles en forma de L laterales -26- se sitúa en una parte media del canal en forma de U exterior.
- Cada unidad de la camisa externa del criostato -19- comprende además una placa de cubierta exterior -34- que cubre los canales transversales exteriores y los canales laterales exteriores de la misma. La placa de cubierta

exterior -34- tiene una abertura central que está conformada de manera complementaria a la forma del paso interior de la unidad de la camisa de criostato -19- de modo que, la unidad de la camisa de criostato -19- puede insertarse sobre uno de los polos de hierro -6- del contrahierro del rotor -7-.

5 Cada una de las partes transversales de los elementos de conformación y de anclaje térmico -21-, de las unidades de la pantalla contra la radiación -20- y de las unidades de la camisa externa del criostato -19- mostradas en las figuras 5 y 6 está situada entre dos polos de hierro -6- adyacentes cuando la unidad del criostato -10- está montada sobre un polo de hierro -6-. La parte transversal de cada una de las unidades del criostato -10- que comprende estos elementos -19-, -20-, -21- pueden definirse, por tanto, como una parte o elemento intercalar del criostato -10-.

10 Como resulta evidente a partir de los dibujos, el criostato -10- que encierra las bobinas superconductoras -24- es un recipiente de vacío de doble camisa cuya geometría a modo de "rueda para hámster" está diseñada para acoplarse con la estructura del rotor. Presenta una pérdida térmica mínima (de radiación y conducción) y potencia la capacidad de desvío del flujo de los polos de hierro reduciendo la longitud del entrehierro, reforzando de este modo el flujo magnético del entrehierro (para un valor de amperios-vuelta dado de las bobinas superconductoras) al tiempo que debilita el flujo de fuga que salta a través de las bobinas superconductoras -24-.

15 La alimentación directa rotatoria -16- mostrada en las figuras 7 y 8 comprende una parte de baja presión estacionaria -16a- y una parte de baja presión rotatoria -16b- que encierra una cámara de baja presión -16e-. Las partes de baja presión -16a-, -16b- están ensambladas de manera que pueden rotar una respecto a la otra por medio de una estructura de sellado rotatoria de baja presión -42-. La parte de baja presión estacionaria -16a- está fijada a un soporte -41- que comprende una parte de soporte anular -41a- en la que la parte de baja presión rotatoria -16b- está soportada de manera que puede rotar. Para este fin, la parte de baja presión rotatoria -16b- tiene un engrosamiento anular periférico -16m- que sobresale de su superficie exterior y cojinetes -41b- ubicados entre la parte de soporte anular -41a- y el engrosamiento anular -16m-.

20 La parte de baja presión rotatoria -16b- comprende una entrada de baja presión -16j- conectada a una tubería de entrada de baja presión que está conectada a una línea flexible de recuperación -17b-, y la parte de baja presión estacionaria -16a- comprende una salida de baja presión -16l- conectada a una tubería de salida de baja presión -16h-, de manera que el refrigerante que fluye desde las cabezas refrigeradoras -18- a través de la línea flexible de recuperación -17b- entra en la cámara de baja presión -16e- a través de la entrada de baja presión -16j-, sale de la cámara de baja presión -16e- a través de la salida de baja presión -16l- en la parte de baja presión estacionaria -16a- y se conduce al compresor del refrigerador criogénico -15- a través de la tubería de salida de baja presión -16h-.

25 En el interior de la cámara de baja presión -16e- hay una cámara de alta presión -16f- comprendida dentro de una parte de cámara de alta presión estacionaria -16c- y una parte de cámara de alta presión rotatoria -16d-. La parte de alta presión estacionaria -16c- comprende una entrada de alta presión -16k- conectada a una tubería de entrada de alta presión -16g- que se extiende a través de la cámara de baja presión -16e-, penetra en la pared vertical de la parte de baja presión estacionaria -16a- y conecta así la cámara de alta presión -16f- con el compresor del refrigerador criogénico -15-. La parte de alta presión rotatoria -16d- comprende una salida de alta presión -16i- conectada a una tubería de salida de alta presión -16o- que se extiende a través de la cámara de baja presión -16e- en un sentido opuesto, penetra a través de la pared vertical de la parte de baja presión rotatoria -16b- y se conecta con una línea flexible de suministro. De ese modo, se suministra refrigerante a alta presión desde el compresor a las cabezas refrigeradoras.

30 Las partes de cámara de alta presión -16c-, -16d- están acopladas entre sí mediante una estructura de sellado de alta presión -44- de manera que la parte de alta presión rotatoria -16d- rota con respecto a la parte de alta presión estacionaria -16c-. La estructura de sellado de alta presión -44- está conectada a la estructura de sellado de baja presión -42-. La parte de alta presión rotatoria -16d- y la parte de baja presión rotatoria -16b- rotan, por tanto, simultáneamente con el rotor de la turbina eólica.

35 La periferia de la estructura de sellado de baja presión -42- está cerrada de manera hermética por una carcasa de recuperación de fugas anular -43- que comprende una cámara de recuperación de fugas interior -43a- y una salida de recuperación -43b-. Las fugas de refrigerante a través del sellado de baja presión -42- se retienen justo dentro de la cámara de recuperación -43a- desde la que pueden extraerse a través de la salida de recuperación -43-.

40 En la estructura de sellado de alta presión -44- descrita anteriormente de la alimentación directa rotatoria -16-, la parte de sellado es de un material que proporciona baja fricción para permitir la rotación de la parte de alta presión rotatoria -16d- y buenas propiedades de sellado para minimizar la fuga del refrigerante a alta presión. Las fugas de refrigerante desde la cámara de alta presión -16f- entran en la cámara de baja presión -16e- y se transportan al compresor -15-. La parte de sellado de baja presión de la estructura de sellado de baja presión -41- puede lubricarse con un lubricante adecuado tal como aceite.

45 La figura 9 muestra que el criostato -10- aloja dos circuitos térmicos, en paralelo aunque no independientes entre sí, es decir un circuito térmico de baja temperatura -45- que opera a una temperatura de, por ejemplo, 15 °K, y un circuito térmico de alta temperatura -46- que opera a una temperatura de, por ejemplo, 80 °K. El circuito térmico de

baja temperatura -45- comprende elementos de circuito térmico de baja temperatura -22- y el circuito térmico de alta temperatura -46- comprende elementos de circuito térmico de alta temperatura -23-. El calor entra en el criostato -10- y por tanto en los circuitos térmicos -45-, -46- desde el exterior por radiación y conducción (a través de los elementos de apoyo que soportan las bobinas superconductoras), siendo los disipadores de calor las dos fases -18a-, -18b- de las cabezas refrigeradoras -18- de los refrigeradores criogénicos -15- que operan a diferentes temperaturas.

Como se muestra en la figura 9, la invención garantiza que no entra refrigerante en el criostato -10- ni en las bobinas superconductoras -24-. El refrigerante, es decir, helio a una presión de 10-25 bares, sale del compresor estacionario -15- y se conduce a cada una de las cabezas refrigeradoras -18- a través de la alimentación directa rotatoria -16- y una de las líneas flexibles de suministro -17a-. En cada una de las fases tiene lugar un ciclo termodinámico de Gifford-McMahon de manera que cada cabeza de refrigeración -18- alcanza diferentes temperaturas, por ejemplo 80-100 °K en la primera fase -18a- y 15-20 °K en la segunda fase -18b-. Puesto que la eliminación de calor a temperaturas criogénicas es bastante ineficaz, se usan bombas de vacío para lograr una presión muy baja en el criostato -10- de modo que se minimice el flujo térmico transportado por las moléculas de gas en el interior del recipiente y en contacto con las paredes del criostato -10-. En el interior del criostato, hay dos circuitos térmicos, es decir, el circuito de baja temperatura -45- y el circuito térmico de alta temperatura -46-, que conducen el calor que entra en el criostato -10- hasta las cabezas refrigeradoras -18-. El helio presente en las cabezas refrigeradoras -18- vuelve entonces al compresor -15- a una presión de 10-15 bares.

El circuito de baja temperatura del criostato -45- comprende los elementos de transmisión de calor de baja temperatura -22- mencionados anteriormente y está conectado térmicamente a la segunda fase -18b- de la cabeza refrigeradora -18- por medio de una conexión de baja temperatura -45a-. La segunda fase de cabeza refrigeradora -18b- actúa así como disipador de calor para el circuito de baja temperatura -45-. Por otra parte, el circuito de alta temperatura del criostato -46- comprende los elementos de transmisión de calor de alta temperatura -23- mencionados anteriormente y está conectado térmicamente a la primera fase -18a- de la cabeza refrigeradora -18- por medio de una conexión de alta temperatura -46a-. La primera fase de cabeza refrigeradora -18a- actúa por tanto como disipador de calor para el circuito de alta temperatura -46-. Cada uno de los elementos de transmisión -22-, -23- recibe un flujo de calor por radiación entre camisas de los diversos elementos que componen el criostato -10- y a través de los elementos de apoyo interiores -29- que soportan las bobinas superconductoras -24-. Puesto que se acumula calor a lo largo de las ramas circunferenciales de los circuitos térmicos -45-, -46-, los elementos de transmisión térmica -22-, -23- de cada uno de los circuitos térmicos -45-, -46- se hacen más gruesos cuanto más cerca se encuentren de una cabeza refrigeradora -18-. Los elementos de transmisión térmica -22-, 23- y las conexiones -45a-, 46a- de los circuitos térmicos -45-, 46- a las cabezas refrigeradoras -18- se fabrican de materiales que presentan una conductividad muy buena a temperaturas criogénicas. Un material adecuado es, por ejemplo, cobre libre de oxígeno.

Como resulta evidente a partir de la descripción anterior, las bobinas superconductoras -24- se mantienen en su temperatura de operación mediante un sistema denominado "sin criógeno", ya que el refrigerante sólo circula dentro del sistema de refrigeración compuesto por el compresor -15-, la alimentación directa -16-, los pares de líneas flexibles -17- y las cabezas refrigeradoras -18-, pero no en los circuitos térmicos del criostato que eliminan el calor. De hecho, no entra ni gas ni líquido en el criostato.

La magnetita del rotor, es decir, los polos de hierro laminado -6- y el contrahierro -7-, se mantienen calientes. Los polos de hierro -6- se usan como desviadores del flujo magnético y se conforman apropiadamente para reducir el contenido de armónicos de la onda de densidad de flujo magnético del entrehierro generada por las bobinas superconductoras -24-, puesto que los convertidores para potencias nominales en el intervalo mencionado anteriormente pueden tener problemas al tratar con ondas de tensión que presentan un alto contenido de armónicos. Debido a la gran corriente transportada por las bobinas superconductoras -24-, pueden establecerse altas densidades de flujo magnético a través de entrehierros largos. La parte magnética del estator consiste en el yugo trasero anular -8- compuesto por magnetita laminada sin dientes de hierro aloja los devanados de entrehierro -11- fijados al mismo a través de una armadura de devanados de entrehierro no magnética -14-. Un sistema de refrigeración (no mostrado en los dibujos) se prevé para el estator dependiendo del valor de la densidad de corriente del inducido. El sistema de refrigeración puede consistir en un grupo de ventiladores de aire o refrigerante(s) (por ejemplo agua o aceite) que circula(n) en tuberías que rodean el estator o directamente en el interior de conductos huecos en el interior del estator.

Como resulta evidente a partir de lo anterior, en vista de que no hay refrigerante en contacto directo con las bobinas superconductoras, la presente invención ofrece, entre otras cosas, las ventajas de que sólo requiere cantidades relativamente pequeñas de refrigerante y de que simplifica la estructura del criostato. Adicionalmente, pueden usarse refrigeradores criogénicos comerciales bastante fiables, convencionales, en el sistema de refrigeración criogénica.

## REIVINDICACIONES

1.- Un generador eléctrico de accionamiento directo con bobinas superconductoras para una turbina eólica, comprendiendo el generador:

5 un conjunto de estator (5, 8, 9, 11, 12) que comprende devanados de estator de entrehierro (11), una armadura de devanados de entrehierro (12), un yugo trasero de estator anular (8) y una armadura de estator (9);  
 un conjunto de rotor (2, 6, 7, 14) que puede rotar dentro del conjunto de estator (5, 8, 9, 11, 12);  
 una pluralidad de bobinas superconductoras (24) situadas sobre el conjunto de rotor (2, 6, 7, 14);  
 un sistema de refrigeración (15, 16, 17, 18) que comprende un compresor (15), una alimentación directa (16), líneas de transmisión (17) y cabezas refrigeradoras (18) de refrigerador criogénico para refrigerar las bobinas  
 10 superconductoras (24) hasta una temperatura criogénica adecuada; estando conectadas las cabezas refrigeradoras (18) a través de las líneas (17) al compresor de manera que el refrigerante puede ser suministrado y recuperado de las cabezas refrigeradoras (18);  
 un criostato (10) sujeto sobre el conjunto de rotor, que aloja las bobinas superconductoras (24) para un aislamiento térmico óptimo de las bobinas superconductoras (24) y adaptado para rotar de manera síncrona con el rotor; el  
 15 criostato (10) no tiene fluido de refrigeración y está adaptado para mantener las temperaturas criogénicas por medio de conexiones a la pluralidad de cabezas de refrigeración (18) a través de circuitos de transmisión de calor (45, 46);  
**caracterizado porque**  
 el conjunto de rotor comprende un contrahierro (7) con polos de hierro (6) que sobresalen del mismo,  
 el criostato (10) tiene una geometría de tipo escalera redonda, está situado sobre la superficie externa del  
 20 contrahierro del rotor (7) y comprende una pluralidad de aberturas centrales adaptadas para alojar los polos de hierro que sobresalen del rotor.

2.- Un generador eléctrico según la reivindicación 1, que comprende además medios para generar una baja presión en el interior del criostato y en el que cada cabeza de refrigeración (18) tiene dos fases, una de baja temperatura  
 25 (18b) y una de alta temperatura (18a), estando conectado uno de los elementos de transmisión del criostato a la fase de baja temperatura y estando el otro conectado a la fase de alta temperatura, de manera que cada cabeza de refrigeración (18) actúa como un disipador de calor que absorbe calor del interior del criostato (10).

3.- Un generador eléctrico según la reivindicación 2, en el que el criostato (10) comprende una pluralidad de unidades de criostato, comprendiendo cada unidad de criostato un elemento de conformación y de anclaje térmico  
 30 (21) que encierra una bobina superconductora, una pantalla contra la radiación (20) y una camisa externa del criostato (19), estando anclada térmicamente la pantalla contra la radiación (20) a la fase de alta temperatura del refrigerador criogénico (18a) a través de un elemento de circuito térmico (23) y estando alojada en la camisa externa del criostato (19) y estando alojado el elemento de conformación y de anclaje térmico (21) en la pantalla contra la radiación (20) y en contacto térmico con la fase de baja temperatura del refrigerador criogénico (18b), a través de un  
 35 elemento de circuito térmico de baja temperatura (22).

4.- Un generador eléctrico según la reivindicación 3, en el que el criostato (10) comprende secciones transversales interpolares situadas entre los polos de hierro (6) adyacentes, comprendiendo cada sección interpolar

una parte transversal (28) de la camisa externa del criostato (19) que comprende un canal en forma de U transversal exterior dotado de un aislamiento multicapa exterior (35) y cerrado por una parte transversal de una placa de  
 40 cubierta exterior (34);

una parte transversal (37) de la pantalla contra la radiación (20) que comprende un canal en forma de U transversal interior dotado de un aislamiento multicapa interior (36) y cerrado por una parte transversal de una placa de cubierta interior (33);

dos partes transversales (32) de dos elementos de conformación y de anclaje térmicos (21) adyacentes, respectivamente, separados entre sí por un espacio transversal;

la parte transversal (37) de la pantalla contra la radiación (20) está situada dentro del aislamiento multicapa exterior (35) en la parte transversal (28) de la camisa externa del criostato (19);

las dos partes transversales (32) de los elementos de conformación y de anclaje térmicos (21) adyacentes están situadas dentro del aislamiento multicapa interior (36) en la parte transversal (37) de la pantalla contra la radiación  
 50 (20).

5.- Un generador eléctrico según las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además una alimentación directa rotatoria (16) conectada a una salida de refrigerante y a una entrada de refrigerante del compresor del refrigerador criogénico (15) de manera que las líneas (17) están en conexión con la salida de refrigerante y una línea de recuperación está en conexión de fluidos con la entrada de refrigerante.

6.- Un generador eléctrico según la reivindicación 5, en el que la alimentación directa rotatoria (16) comprende

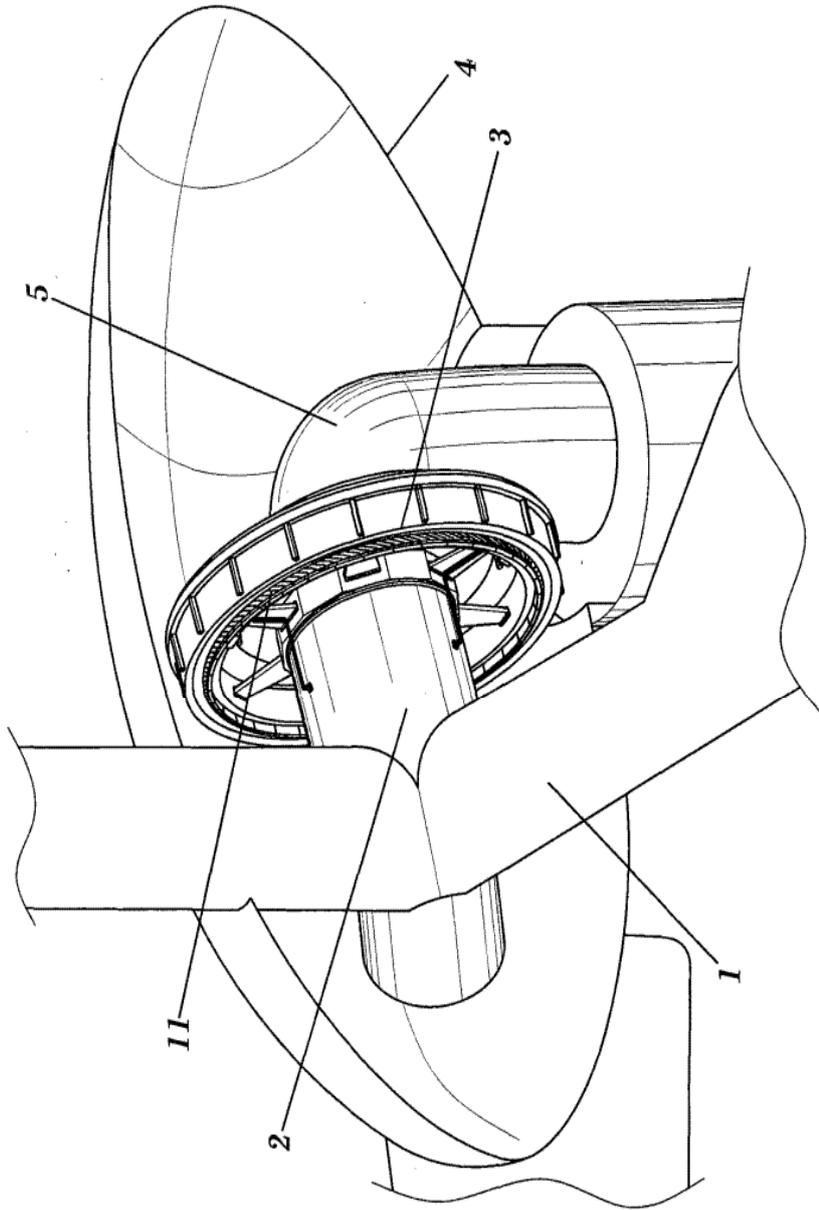
una cámara de baja presión (16e) conectada a un circuito de baja presión y con conexión de fluidos a una primera fase (18a) de al menos una cabeza refrigeradora (18), estando acoplada térmicamente dicha primera fase (18a) al circuito de baja temperatura (46) en el criostato (10);

una cámara de alta presión (16h) alojada dentro de la cámara de baja presión (16e) y con conexión de fluidos a un

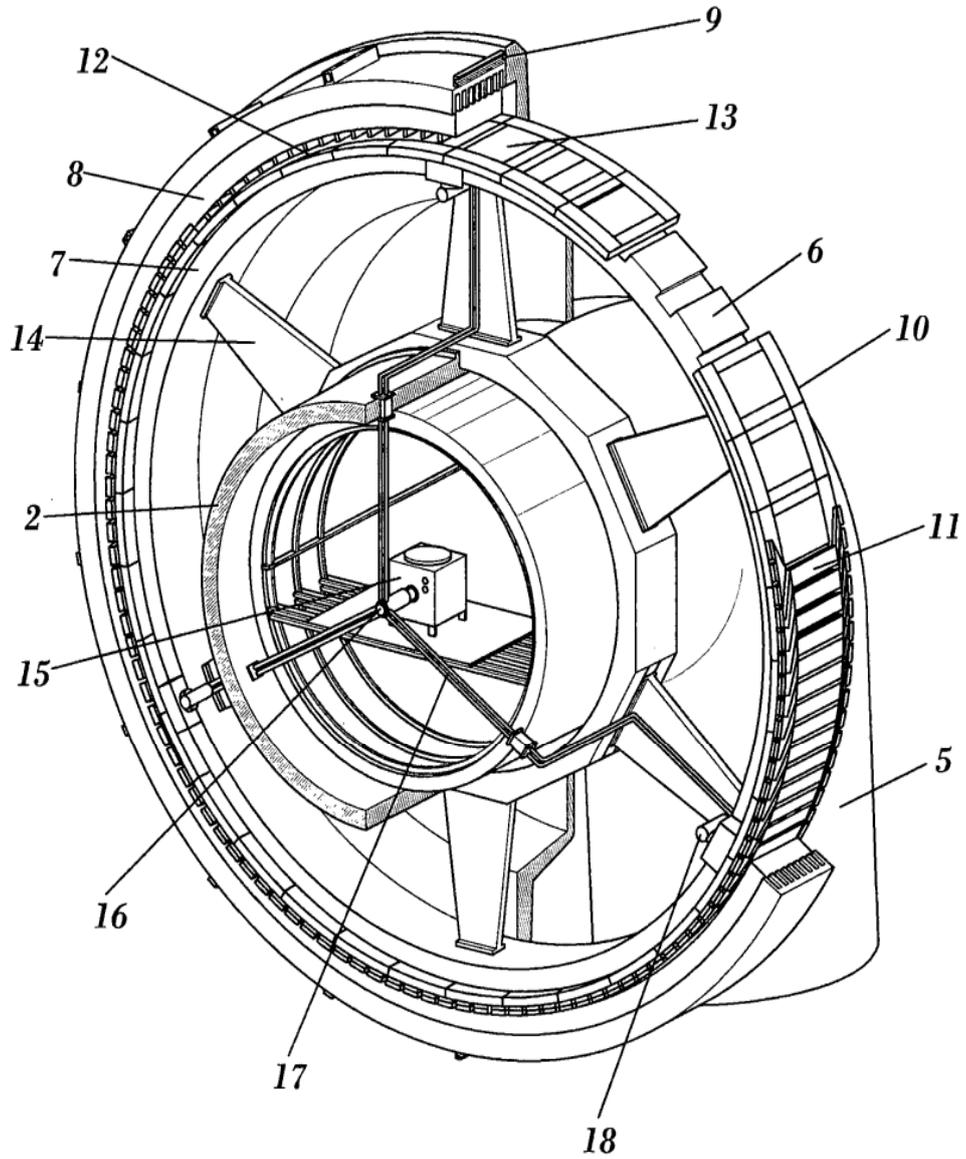
circuito de alta presión acoplado térmicamente a una segunda fase (18b) de dicha al menos una cabeza refrigeradora (18), estando acoplada térmicamente dicha segunda fase (18b) al circuito de alta temperatura (45) en el criostato (10);

5 una estructura de sellado de baja presión (41) que divide la cámara de baja presión (16e) en una parte de baja presión estacionaria (16a) y una parte de baja presión rotatoria (16b), siendo rotatoria la parte de baja presión rotatoria (16b) en la estructura de sellado de baja presión (41);

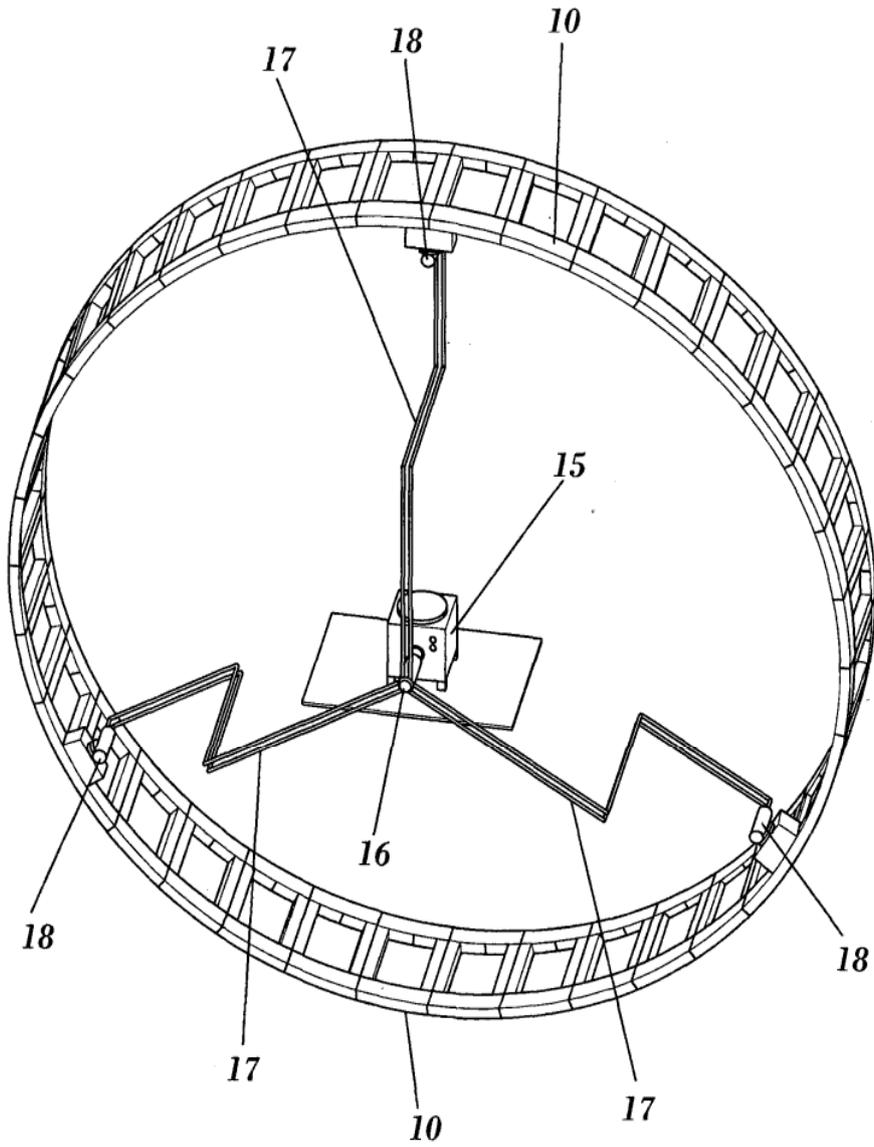
10 una estructura de sellado de alta presión (44) que divide la cámara de alta presión (16f) en una parte de alta presión estacionaria (16c) y una parte de alta presión rotatoria (16d), siendo rotatoria la parte de alta presión rotatoria (16d) en la estructura de sellado de alta presión (44), estando montada la estructura de sellado de alta presión (44) en la estructura de sellado de baja presión (41).



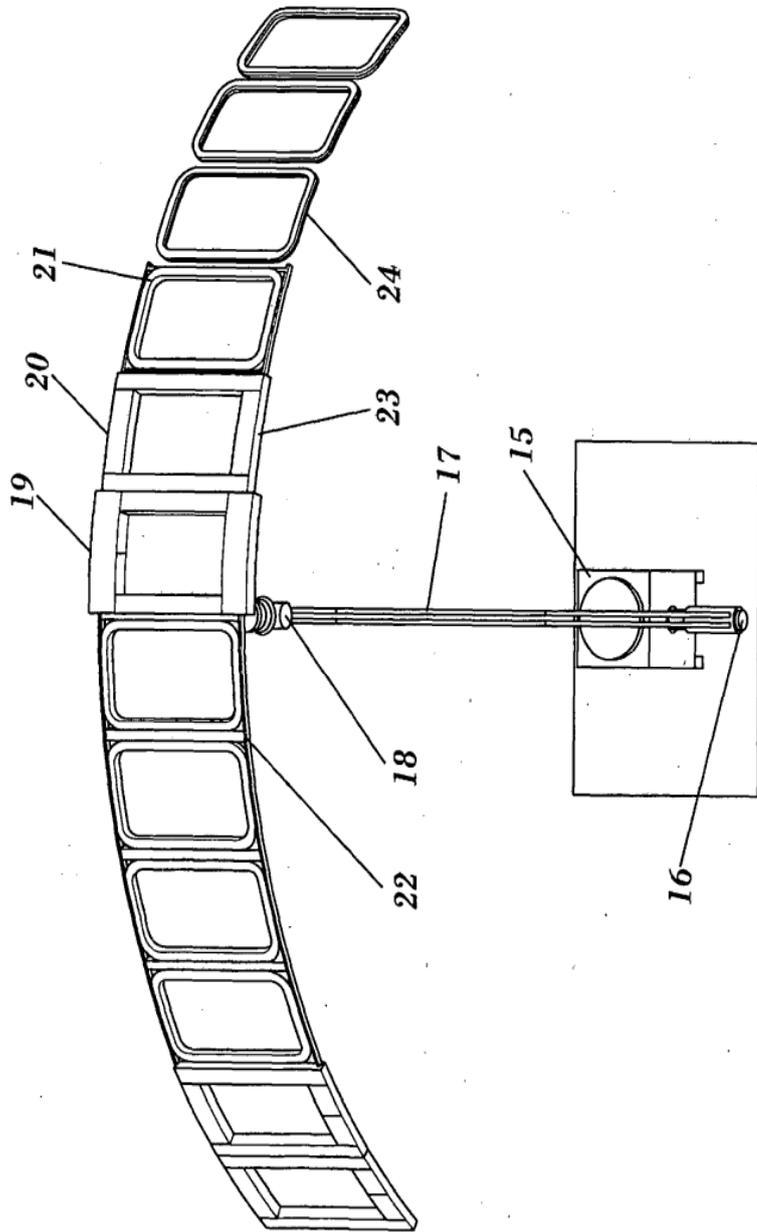
**FIG. 1**



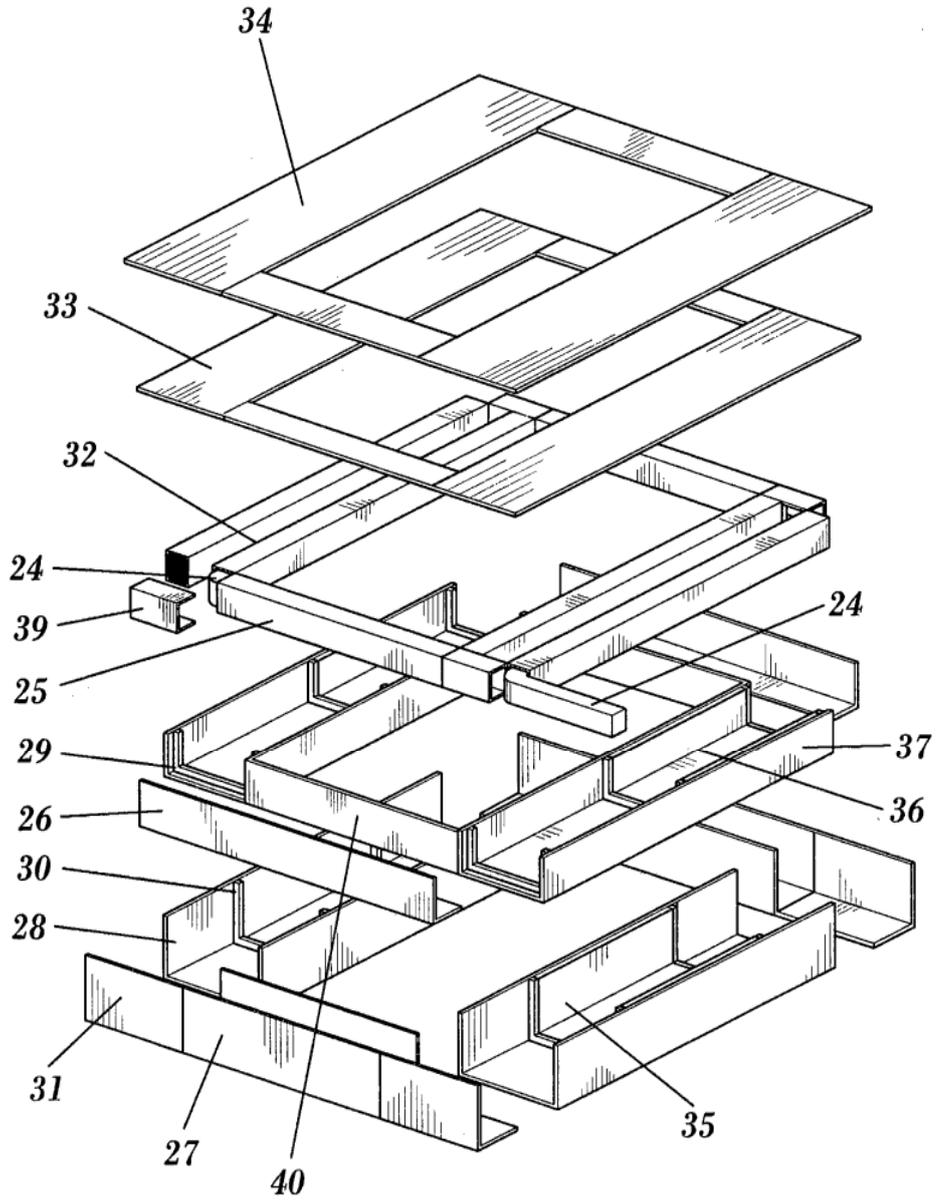
**FIG. 2**



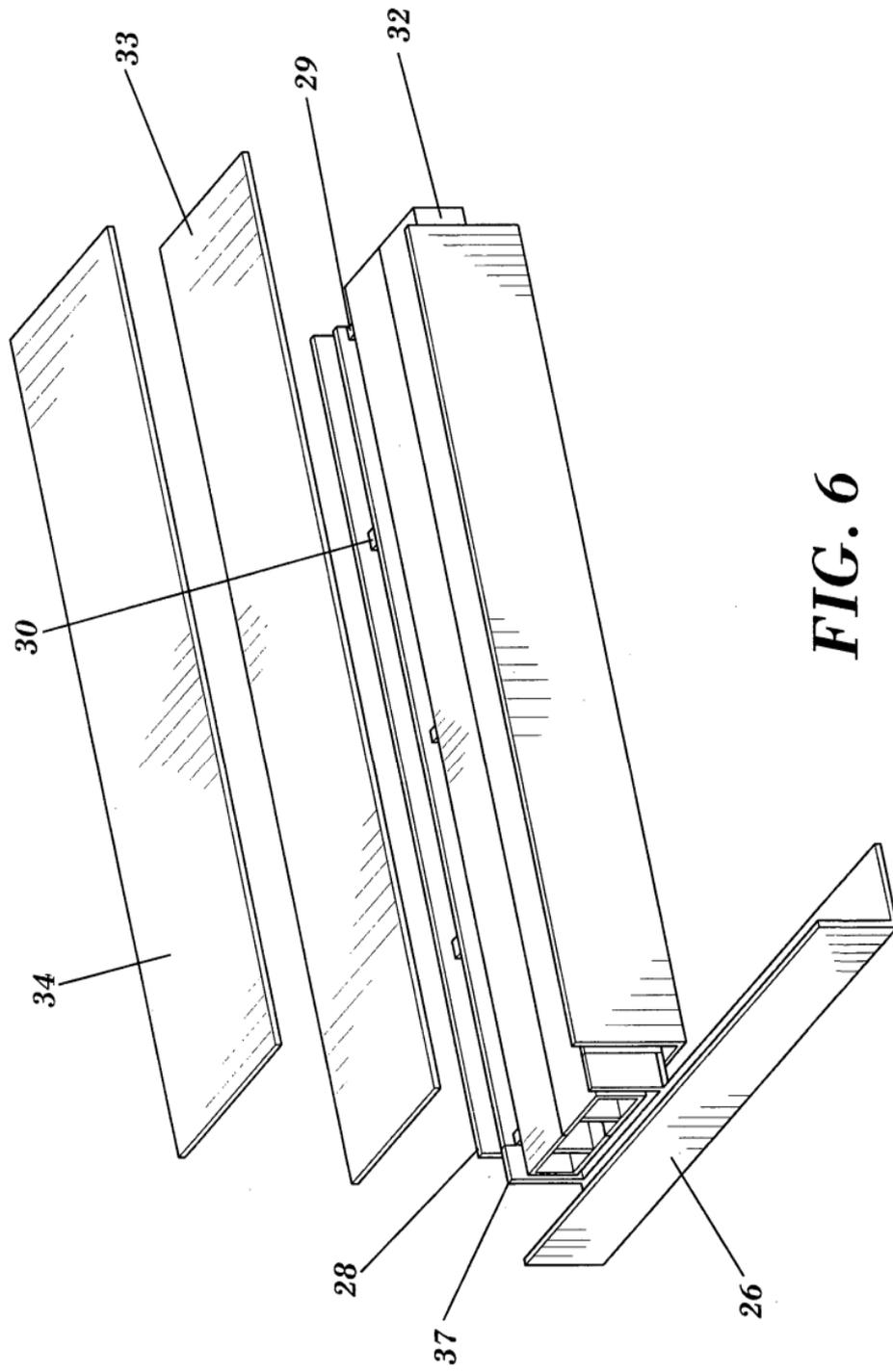
**FIG. 3**



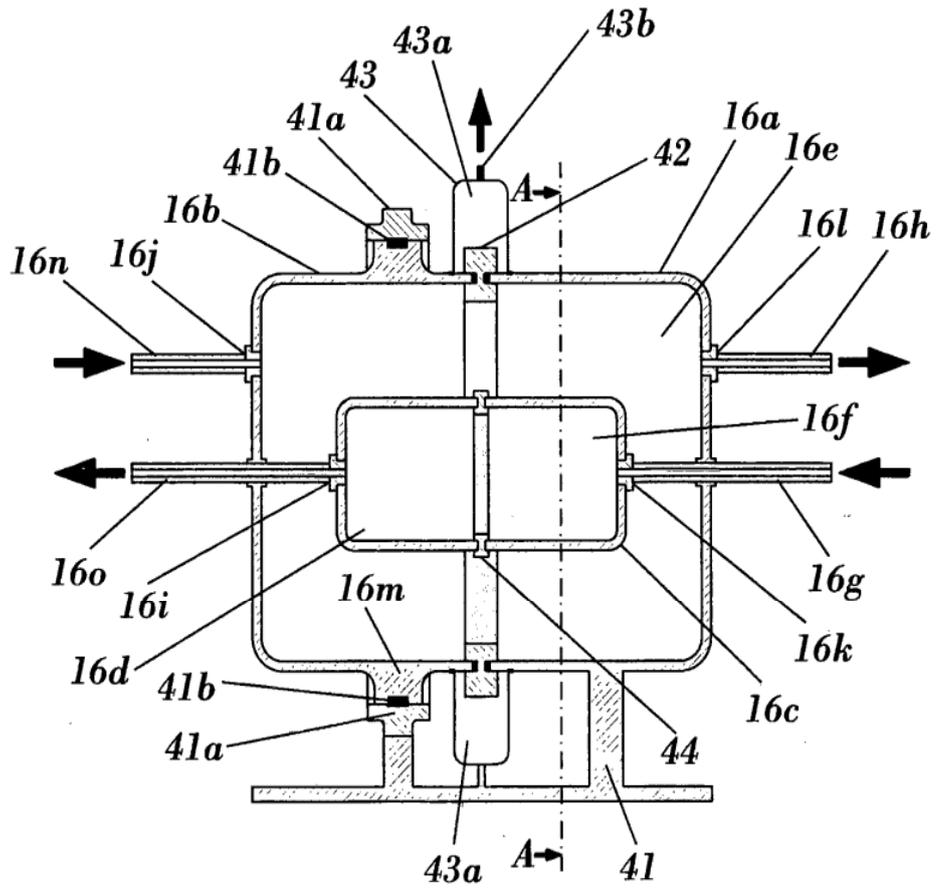
**FIG. 4**



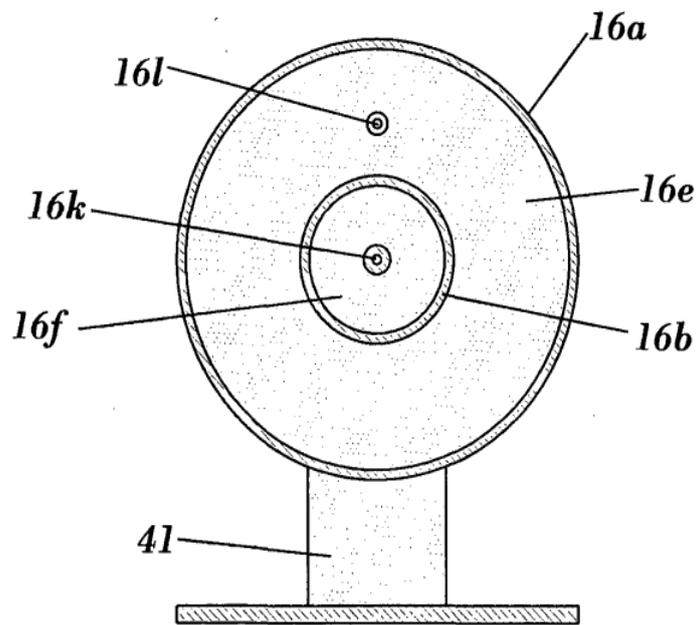
**FIG. 5**



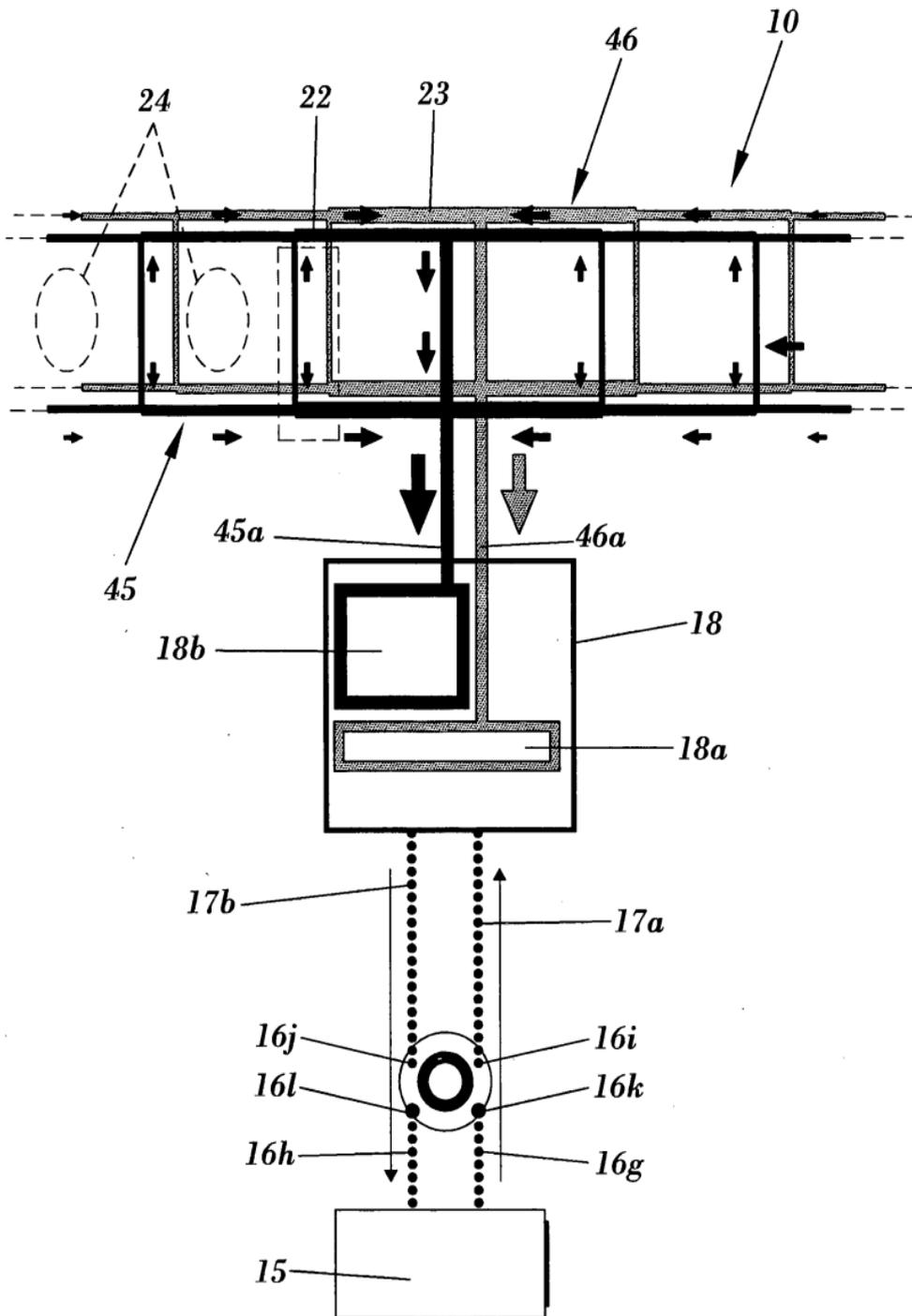
**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**  
(A-A)



**FIG. 9**