

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 421 637**

51 Int. Cl.:

**H05H 7/00** (2006.01)

**H05H 11/00** (2006.01)

**H05H 13/00** (2006.01)

**H05H 13/02** (2006.01)

**H01F 6/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2010 E 10703935 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2013 EP 2394498**

54 Título: **Un sistema que comprende un acelerador de partículas giratorio y un medio de refrigeración, y un método de funcionamiento del sistema**

30 Prioridad:

**09.02.2009 GB 0902140**

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

**04.09.2013**

73 Titular/es:

**TESLA ENGINEERING LTD. (100.0%)  
Water Lane Storrington  
West Sussex RH20 3EA, GB**

72 Inventor/es:

**BEGG, MICHAEL COLIN y  
GOLDIE, FREDERICK THOMAS DAVID**

74 Agente/Representante:

**PÉREZ BARQUÍN, Eliana**

**ES 2 421 637 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

Un sistema que comprende un acelerador de partículas giratorio y un medio de refrigeración, y un método de funcionamiento del sistema

5 La presente invención se refiere a sistemas de refrigeración y métodos para aceleradores de partículas que incluyen una o más bobinas superconductoras, y más en particular a sistemas de refrigeración y métodos para aceleradores de partículas giratorios que incluyen una o más bobinas superconductoras.

10 Los aceleradores de partículas se usan en muchas aplicaciones, incluyendo, por ejemplo, aplicaciones de física de partículas, y tratamiento con iones, por ejemplo, tratamiento con protones o iones pesados. En determinadas aplicaciones, es deseable que se pueda dirigir el haz de salida para que sea incidente sobre un objetivo a partir de varias direcciones diferentes. A menudo, dichas técnicas se usan en aplicaciones de tratamiento con iones para intentar irradiar una estructura objetivo, tal como un tumor, mientras se reduce la dosis de radiación en los tejidos sanos circundantes.

15 En algunos sistemas convencionales, se puede lograr dirigir el haz de salida usando un acelerador de partículas estático para suministrar un haz de partículas, y proporcionar un sistema de dirección para dirigir el haz de partículas sobre el objetivo a partir de varias direcciones. Típicamente, dichos sistemas son relativamente grandes y caros, lo que requiere a menudo un sistema complejo de imanes de dirección y concentración para dirigir un haz desde el acelerador de partículas al objetivo, que puede estar situado a alguna distancia del acelerador.

20 Una técnica alternativa que se está volviendo cada vez más popular es el uso de un acelerador de partículas de un peso y tamaño que permita que el propio acelerador de partículas esté montado sobre un soporte, tal como un pórtico, para permitir el movimiento, por ejemplo la rotación, del acelerador y por tanto, el haz de salida de las partículas cargadas. En estas disposiciones, el soporte puede ser giratorio para permitir la rotación del acelerador de partículas y de la bobina alrededor del eje de la bobina. Un tipo de acelerador de partículas que se puede construir para que sea suficientemente ligero y compacto para permitir el montaje a un soporte para su rotación es un acelerador de partículas que incluye una o más bobinas superconductoras. Dichas bobinas pueden generar un campo magnético más intenso que el que se puede lograr usando un acelerador de partículas de tamaño comparable que no incluya una bobina superconductora, lo que permite que se logre una reducción en el tamaño y peso. Por ejemplo, un cable superconductor de sección transversal relativamente pequeña puede transportar corrientes eléctricas muy altas, del orden de cientos o miles de amperios sin disipación. Se pueden obtener sin dificultad densidades de corriente cien veces mayores de las logradas típicamente usando bobinas de resistencia.

25 Los aceleradores de partículas montados en soporte son ventajosos porque proporcionan una capacidad de dirección de haces en el contexto de una instalación más pequeña y más barata. Esto es particularmente importante, por ejemplo en el contexto de las aplicaciones de tratamiento con iones, permitiendo que las instalaciones de tratamiento sean más amplias, lo que permite potencialmente que los centros de tratamiento estén situados en un distrito en lugar de a nivel regional o nacional.

30 Cuando se usa un acelerador de partículas que incluye una bobina superconductora, es necesario refrigerar los bobinados superconductores. Se apreciará que se encuentran problemas particulares cuando se refrigera la bobina superconductora de un acelerador de partículas montado en un soporte para su rotación. El sistema de refrigeración debe permitir que el acelerador de partículas esté montado en el soporte, y esté en funcionamiento para refrigerar la bobina aún en la rotación del acelerador de partículas y su bobina.

35 Se han propuesto varios métodos para refrigerar bobinas de sistemas superconductores. Algunos métodos de refrigeración convencionales para bobinas superconductoras implican sumergir la bobina en un refrigerante criogénico líquido o "fluido criogénico". El fluido criogénico usado más comúnmente es helio líquido. El fluido criogénico absorbe calor del superconductor, y se vaporiza, refrigerando de este modo el superconductor. Sin embargo, la necesidad de sumergir el superconductor en el fluido criogénico tiene ciertas desventajas, en particular en el contexto de un sistema de acelerador de partículas giratorio montado en soporte. Uno de los problemas más significativos asociado con la inmersión de la bobina superconductora en un baño de fluido criogénico es que esto da como resultado un relativamente voluminoso, no muy adecuado para montar en un soporte, o para su rotación. Debido a las cantidades de fluido criogénico relativamente grandes requeridas, en general, es necesario que el baño que contiene el fluido criogénico sea un recipiente a presión, que pueda soportar las presiones potencialmente altas que pueden resultar de la vaporización del fluido criogénico en la desactivación del imán superconductor. La desactivación es un fenómeno que se puede producir si el imán superconductor sale de su estado superconductor y entra en un estado de resistencia. Esto puede dar como resultado la liberación de energía desde la bobina en forma de calor, lo que provoca que el fluido criogénico que rodea la bobina se vaporice. Además, es probable que los fluidos criogénicos, tales como el helio líquido, se vuelvan cada vez más escasos en el futuro, lo que hace que los sistemas de inmersión que usan grandes cantidades de fluido criogénico sean menos deseables. Los documentos FR 2560421 y US 4.507.616 divulgan disposiciones para codificar bobinados superconductores del tipo anterior.

40 Otros métodos de refrigeración conocidos usan conductores térmicos, tales como enlaces térmicos de cobre, para

transferir calor desde bobina superconductora al fluido de trabajo de un refrigerador criogénico, sin usar un fluido criogénico como medio de transferencia de calor. Sin embargo, estos sistemas también tienen ciertas desventajas. Por ejemplo, pueden surgir gradientes de temperatura significativos a lo largo de la longitud de los conductores, degradando el rendimiento de bobina superconductora. Surge un problema adicional, puesto que los refrigeradores criogénicos generan vibración, lo que puede interferir con el funcionamiento de un acelerador de partículas. A la inversa, los campos magnéticos fuertes producidos por un acelerador de partículas pueden interferir con el funcionamiento del refrigerador criogénico. Para evitar las interferencias entre el refrigerador criogénico y el acelerador de partículas, es necesario situar los refrigeradores criogénicos a una distancia de las bobinas superconductoras del acelerador de partículas. Sin embargo, en la práctica, existen dificultades prácticas asociadas con la conducción de calor a lo largo de distancias significativas. Por tanto, el solicitante se ha dado cuenta de que estos sistemas tampoco son muy adecuados para mantener la temperatura de la bobina superconductora baja y estable, como es deseable para mantener un funcionamiento eficaz de un acelerador de partículas.

Por lo tanto, el solicitante se ha dado cuenta de que existe una necesidad de obtener una mejora en el método y sistema de refrigeración para el sistema superconductor de un acelerador de partículas montado en un soporte para permitir el cambio, por ejemplo la rotación, de la dirección del haz de salida.

De acuerdo con la invención, se proporciona un sistema de acuerdo con reivindicación 1.

De acuerdo con la invención, por lo tanto, una cámara criogénica está dispuesta próxima a la bobina superconductora del acelerador de partículas. Un fluido criogénico líquido situado en la cámara en uso puede absorber y vaporizarse por el calor que se le transmite desde la bobina superconductora para, de este modo, refrigerar la bobina. El medio conductor altamente térmico se proporciona específicamente para facilitar la transferencia de calor desde la bobina superconductora a la cámara criogénica para vaporizar el fluido criogénico situado en ella en uso. La presente invención, por tanto, usa un trayecto de conducción térmica para transferir calor desde la bobina superconductora al fluido criogénico situado en una cámara criogénica en la proximidad de la bobina en uso. La cámara criogénica está en comunicación fluida con, por ejemplo conectada a, una unidad de recondensación de fluido criogénico, por lo que, en uso, el fluido criogénico situado en la cámara y vaporizado por calor desde la bobina superconductora puede fluir a la unidad de fluido criogénico de recondensación para recondensarse antes de volver a la cámara. A continuación, el fluido criogénico recondensado se puede vaporizar una vez más para iniciar un nuevo ciclo.

De este modo, la presente invención proporciona un sistema de refrigeración para la bobina o bobinas superconductoras del sistema, en el que se extrae calor desde la bobina o bobinas en un método de dos etapas. En primer lugar, se transmite calor por conducción térmica sobre la distancia relativamente corta a una cámara criogénica próxima para vaporizar el fluido criogénico presente en la cámara en uso. En la segunda etapa, el fluido criogénico vaporizado actúa como un medio de transferencia de calor para retirar calor de la proximidad de la bobina superconductora, que se desplaza desde la cámara criogénica a una unidad de recondensación.

Se ha descubierto que la combinación de los dos mecanismos de transferencia de calor diferentes, es decir, el uso del fluido criogénico en su estado vaporizado como un medio de transporte de calor sólo en las últimas etapas del método de refrigeración para transportar calor a la unidad de recondensación, por ejemplo sobre el mayor intervalo, con el uso de conducción térmica por medio de un medio conductor altamente térmico específico para transmitir inicialmente calor desde la bobina al fluido criogénico, es decir, sobre el menor intervalo, es particularmente ventajoso en el contexto de la bobina superconductora de un acelerador de partículas montado en soporte, lo que permite que la presente invención trate problemas asociados tanto con las disposiciones de la técnica anterior, que se basan en la inmersión de la bobina en un baño de fluido criogénico para retirar calor de la bobina, como las que se basan en el uso de conductores térmicos para transmitir calor a lo largo de una distancia significativa directamente al fluido de trabajo de una bomba de calor, tal como un refrigerador criogénico, sin el uso de un fluido criogénico.

En contraste con disposiciones de tipo inmersión, la presente invención permite que se use una cantidad de fluido criogénico significativamente más pequeña, y que se obtengan las correspondientes reducciones en el tamaño de la cámara criogénica en comparación con los baños de fluido criogénico de la técnica anterior. Esto puede dar como resultado un sistema más ligero y más compacto, lo que es adecuado para montar sobre un soporte.

La capacidad de usar una cantidad de fluido criogénico más pequeña en comparación con las disposiciones de tipo inmersión, es un resultado de la presencia de un medio térmicamente conductor dedicado a facilitar la transmisión de calor desde la bobina al interior de la cámara criogénica para vaporizar fluido criogénico, y una unidad de recondensación para recondensar el fluido criogénico vaporizado. La presencia del medio conductor altamente térmico permite que la temperatura de la bobina se mantenga próxima a la temperatura del fluido criogénico líquido sin la necesidad de proporcionar una cantidad de fluido criogénico sustancial adyacente a la bobina en un baño de fluido criogénico para actuar como un depósito frío. De acuerdo con la invención, la inmersión de la bobina en fluido criogénico se reemplaza por el contacto térmico de la bobina con el medio conductor altamente térmico dispuesto para transmitir calor a la cámara criogénica. Puesto que las disposiciones de la presente invención ya no requieren que la bobina esté directamente en contacto con el fluido criogénico, se pueden reducir las presiones potenciales

que pueden surgir durante la desactivación de la bobina, ya que se incrementa el tiempo que tarda el calor generado en una desactivación en alcanzar el fluido criogénico, lo que da como resultado que se transfiere calor durante un periodo mayor. Esto puede permitir una mayor flexibilidad en la construcción de la cámara criogénica, que no necesita estar diseñada para soportar dichas altas presiones como un baño de fluido criogénico convencional.

5 Además, al reducir el tamaño de la cámara criogénica con relación a un baño de fluido criogénico convencional, y proporcionar un medio conductor altamente térmico para transportar calor a la cámara, se proporciona una mayor flexibilidad en la construcción de todo sistema, por ejemplo su tamaño y configuración, ya que el fluido criogénico no necesita estar en contacto directo con las bobinas.

10 Como la cámara criogénica está próxima a la bobina superconductora, las distancias sobre las que debe transmitirse el calor por conducción térmica son relativamente pequeñas en uso, lo que reduce la cantidad de material térmicamente conductor requerido, y evita problemas asociados con pérdidas térmicas y gradientes de temperatura que se pueden producir cuando se transmite calor a lo largo de un mayor intervalo, por ejemplo directamente a un refrigerador criogénico de una unidad de recondensación usando enlaces térmicos. Esto puede permitir que la  
15 bobina superconductora se mantenga más fácilmente a una temperatura adecuada para garantizar un funcionamiento fiable del acelerador de partículas. De acuerdo con la invención, sólo es necesario transmitir calor hasta la cámara criogénica próxima por conducción para permitir que se vaporice el fluido criogénico en uso, usándose el fluido criogénico vaporizado a continuación para transportar calor lejos de la proximidad de la bobina, por ejemplo a un refrigerador criogénico si se desea. El uso de fluido criogénico vaporizado as el medio de  
20 transporte de calor sobre el mayor intervalo a una unidad de recondensación, puede permitir que se transfiera convenientemente calor sobre distancias relativamente grandes, ya que la masa y el tamaño del aparato requerido para transportar calor sobre una distancia dada usando fluido criogénico vaporizado es mucho más pequeño de lo que se requeriría para transportar una cantidad de calor correspondiente usando un enlace térmico sólido de, por ejemplo, cobre. Esto permite que la unidad de recondensación esté situada a distancias mayores de la cámara  
25 criogénica de lo que permiten las disposiciones de la técnica anterior, sin comprometer la eficacia del sistema de refrigeración hasta un grado perjudicial.

Al eliminar las restricciones sobre la distancia a la que puede estar situada la bobina con relación a la unidad de recondensación, la presente invención puede permitir que se usen bobinas superconductoras que proporcionen  
30 campos magnéticos mas fuertes, ya que la unidad de recondensación puede estar situada a una distancia suficientemente grande de la bobina para evitar interferencias inaceptables con su funcionamiento por la bobina u otras partes del acelerador de partículas. Es deseable que se puedan usar imanes superconductores imanes que proporcionen campos magnéticos fuertes, ya que estos permiten que el tamaño total del imán, y por tanto el acelerador de partículas se reduzca, lo que da como resultado un aparato más compacto para el montaje en el  
35 soporte. En realizaciones de la invención, la unidad de recondensación puede estar situada en una región de campo magnético relativamente bajo. Además, se ha descubierto que el uso del fluido criogénico para transportar calor a la unidad de recondensación permite que se obtenga un mejor aislamiento de la vibración entre la bobina y la unidad de recondensación, lo que puede incluir un motor y otras partes móviles, reduciendo la probabilidad de que el sistema de refrigeración pueda interferir con el funcionamiento del acelerador de partículas.

40 Se debe apreciar que todas las referencias a la conductividad térmica en el presente documento, a menos que se establezca de otro modo, se refieren a la conductividad térmica a temperaturas criogénicas. Se puede tomar que las temperaturas criogénicas son temperaturas de menos de 100 K, y por tanto, el medio conductor altamente térmico es conductor altamente térmico a temperaturas criogénicas en el intervalo de menos de 100 K. Como se analiza a  
45 continuación, el medio conductor altamente térmico es conductor altamente térmico por encima de al menos algunas temperaturas dentro del intervalo de temperaturas criogénicas, y no necesita ser conductor altamente térmico por encima de todo el intervalo de menos de 100 K dependiendo de factores tales como la temperatura de funcionamiento de un sistema dado, el fluido criogénico usado, etc. En realizaciones típicas, las temperaturas criogénicas a las que se hace funcionar el sistema pueden ser menores de 40 K, o menores de 10 K.

50 En consecuencia, se apreciará que la presente invención puede tratar alguno de los problemas conflictivos encontrados cuando se diseña un sistema de refrigeración para la bobina superconductora de un acelerador de partículas montado sobre un soporte, y que está dispuesto para que sea movable con la rotación de la bobina sobre su eje en uso para el movimiento de un haz de salida del acelerador. La presente invención elimina la necesidad de  
55 proporcionar un baño de fluido criogénico convencional para sumergir la bobina, pero aún proporciona una cámara que contiene fluido criogénico que está situada próxima a la bobina, proporcionando la capacidad para refrigerar la bobina de manera que garantice un funcionamiento fiable del acelerador de partículas. La presente invención puede permitir que se logre una refrigeración a temperaturas bajas, estables, lo que es deseable, en particular en el contexto de determinados materiales de bobinas superconductoras que están asociados con fuerzas de campos  
60 magnéticos mayores.

Se apreciará que, en uso, el acelerador de partículas es movable para permitir el movimiento del haz de salida por medio de un arco en uso. El acelerador de partículas es giratorio (sobre un eje de rotación) con la correspondiente rotación de la bobina superconductora del acelerador de partículas sobre el eje de la bobina. En las realizaciones, el  
65 acelerador de partículas y la bobina tienen un eje común. De acuerdo con la invención, el medio de refrigeración está dispuesto de modo que pueda refrigerar la bobina mientras la bobina superconductora gira sobre el eje de la

bobina durante el movimiento del acelerador de partículas. Por tanto, el medio de refrigeración puede continuar refrigerando la bobina mientras la bobina gira a través del un intervalo de posiciones angulares sobre su eje.

5 De acuerdo con la invención, el medio de refrigeración está dispuesto para refrigerar la bobina mientras la bobina gira sobre su eje en uso. Por tanto, el medio de refrigeración está dispuesto para girar con la bobina mientras gira sobre su eje en uso. La cámara criogénica, el medio térmicamente conductor y la unidad de recondensación giran todos con la bobina. Por lo tanto, el medio de refrigeración está montado en el soporte. La cámara criogénica, el medio térmicamente conductor y la unidad de recondensación pueden girar como una unidad con el acelerador de partículas y la bobina superconductora. En realizaciones preferentes, el acelerador de partículas que incluye la bobina superconductora y el medio de refrigeración definen una única unidad que está montada en el soporte. En las realizaciones, el acelerador de partículas comprende el medio de refrigeración.

15 El acelerador de partículas y el soporte pueden estar dispuestos de cualquier manera que dé como resultado el movimiento del acelerador de partículas para el movimiento del haz de salida de modo que la bobina gire sobre su eje en uso. Se apreciará que el eje de la bobina es el eje sobre el que al menos una bobina superconductora anular se extiende circunferencialmente.

20 En algunas realizaciones, el acelerador de partículas está montado de forma giratoria en el soporte para cambiar la dirección del haz de salida, y para girar el haz de salida a través de un arco. A continuación, el acelerador de partículas es giratorio de manera que dé como resultado la rotación de la bobina sobre el eje de la bobina en uso. En estas realizaciones, el acelerador de partículas puede girar directamente sobre un eje de rotación correspondiente al eje de la bobina. En algunas realizaciones el acelerador de partículas puede girar sobre un eje del soporte sobre el que está montado. Preferentemente, el acelerador de partículas está dispuesto para girar sobre un eje horizontal.

25 En realizaciones en las que el acelerador de partículas está montado de forma giratoria en el soporte, el acelerador de partículas puede estar montado de forma giratoria en el soporte usando cojinetes. El soporte puede ser en forma de brazo, y el acelerador de partículas puede estar montado de forma giratoria en un extremo del brazo. El eje de rotación del acelerador de partículas puede corresponder a un eje del brazo.

30 De forma alternativa o adicional, el soporte es un soporte giratorio, y el soporte está dispuesto para girar sobre un eje de rotación del soporte para girar el acelerador de partículas y el haz de salida a través de un intervalo de posiciones giratorias con rotación de la bobina sobre su eje. En estas realizaciones preferentes, el acelerador de partículas está montado en el soporte de modo que girará con el soporte en uso sobre el eje de rotación del soporte para cambiar la dirección de un haz de partículas cargadas de salida por el acelerador de partículas. Estas disposiciones son preferentes ya que pueden dar como resultado el movimiento del haz de salida a través de un mayor intervalo de ángulos como resultado del desplazamiento físico del acelerador de partículas mientras gira. El haz puede estar centrado sobre el mismos objetivo, o isocentro, mientras gira. En estas realizaciones, mientras el acelerador de partículas que incluye la bobina está montado en el soporte, la rotación del soporte sobre su eje de rotación dará como resultado la rotación de la bobina superconductora sobre su eje. Esto permitirá la rotación del acelerador de partículas y por tanto de la bobina para permitir el movimiento del haz de salida por medio de un arco incluso si el acelerador de partículas no es movable con relación al soporte (aunque el acelerador de partículas, por ejemplo, puede estar montado de forma giratoria adicionalmente en el soporte como se analiza a continuación).

45 En realizaciones de la invención en la que el acelerador de partículas está montado en un soporte giratorio para la rotación con el soporte sobre un eje de rotación del soporte, esté o no el acelerador de partículas montado de forma giratoria en él, el eje de rotación del soporte puede corresponder al eje de la bobina. Sin embargo, en realizaciones preferentes, el eje de rotación del soporte y el eje de la bobina son diferentes.

50 En realizaciones preferentes, el soporte está dispuesto para girar sobre un eje de rotación que es paralelo al eje de la bobina (y acelerador de partículas).

Preferentemente, el soporte es giratorio sobre un eje de rotación horizontal.

55 Preferentemente, el acelerador de partículas está montado en el soporte de modo que el eje de la bobina superconductora es horizontal. En estas realizaciones, por lo tanto, la bobina gira sobre un eje de bobina horizontal mientras el soporte gira sobre el eje del soporte.

60 De acuerdo con cualquiera de las realizaciones de la invención en las que el soporte (del acelerador de partículas) es giratorio, el soporte del acelerador de partículas puede ser de cualquier tipo. Por ejemplo, el soporte puede comprender un brazo pivotante sobre un eje de rotación. Entonces, el acelerador de partículas se puede montar en un extremo del brazo alejado del eje de rotación. El brazo puede ser un brazo articulado lo que permite el movimiento del acelerador de partículas sobre uno o más ejes.

65 Sin embargo, en realizaciones preferentes de la invención, el soporte es un pórtico giratorio sobre un eje de rotación del pórtico, y por lo tanto, el acelerador de partículas es un acelerador de partículas montado en pórtico. En realizaciones preferentes en las que el acelerador de partículas está montado en un brazo del pórtico, el brazo es

preferentemente giratorio sobre un eje de rotación del pórtico paralelo al eje del brazo. Preferentemente, el acelerador de partículas está montado en el brazo de modo que el eje de la bobina superconductor (y el acelerador de partículas) es paralelo a, o coincide con el eje del brazo.

5 En realizaciones en las que el acelerador de partículas está montado en un pórtico, el pórtico puede ser de cualquier forma adecuada. En realizaciones preferentes, el pórtico comprende un brazo que se extiende entre un par de patas que se extienden desde el eje de rotación del pórtico, y el acelerador de partículas está montado en el brazo. Entonces, el brazo se extenderá paralelo al eje de rotación del pórtico. El brazo puede estar definido por uno o más miembros que se extienden axialmente. En estas realizaciones, el pórtico es similar a un puente. Dichas  
10 disposiciones pueden ser ventajosas porque son más eficaces en espacio, requieren menos espacio para acomodar la estructura del pórtico. El acelerador de partículas puede girar adicionalmente sobre el eje del brazo.

De acuerdo con cualquiera de las realizaciones de la invención; mientras el acelerador de partículas es movable con el resultado de que la bobina gira sobre su eje, el acelerador de partículas puede ser movable adicionalmente en una o más de otras direcciones, y puede ser giratorio sobre una pluralidad de ejes.  
15

De acuerdo con cualquiera de las realizaciones de la invención en las que el acelerador de partículas está montado en un soporte giratorio, el acelerador de partículas puede o no puede estar dispuesto para girar sobre otro eje de rotación mientras gira con el soporte sobre el eje de rotación del soporte.  
20

Por tanto, mientras en algunas realizaciones el acelerador de partículas puede no estar montado de forma giratoria en un soporte giratorio, y puede no estar montado de forma movable en él, produciéndose la rotación de la bobina sobre su eje como resultado de la rotación del acelerador de partículas con el soporte sobre el eje del soporte, en otras realizaciones, se prevé que el acelerador de partículas pueda estar montado de forma movable a un soporte giratorio de este tipo para incrementar el intervalo de movimiento del acelerador de partículas y por tanto la dirección del haz de salida. Por tanto, en algunas realizaciones, el acelerador de partículas está dispuesto para girar sobre otro eje mientras gira con el soporte sobre el eje de rotación del soporte. El otro eje puede estar en cualquier orientación deseada para dar como resultado una dirección apropiada del haz de salida. El acelerador de partículas puede estar montado de forma giratoria adicionalmente en el soporte de cualquiera de las maneras analizadas anteriormente. Por ejemplo, el acelerador de partículas puede estar dispuesto para girar adicionalmente sobre un eje del soporte, preferentemente un eje horizontal del mismo.  
25  
30

De acuerdo con cualquier de las realizaciones de la invención, esté o no el acelerador de partículas montado en un soporte giratorio, y esté o no el acelerador de partículas montado de forma giratoria, el acelerador de partículas puede estar dispuesto de modo que en uso sea movable con la inclinación resultante del eje de la bobina. Estas disposiciones pueden incrementar adicionalmente el intervalo de dirección disponible para el haz de salida. El acelerador de partículas puede estar dispuesto para moverse de forma que dé como resultado el movimiento del eje de la bobina fuera del plano horizontal. El acelerador de partículas puede estar dispuesto para moverse con la inclinación resultante del eje de la bobina a través de un ángulo de hasta 20 grados, preferentemente en el intervalo de desde 5 hasta 15 grados en una o ambas direcciones desde una posición en la que el eje de la bobina está en un plano horizontal. Esto se puede lograr, por ejemplo, usando una disposición de cardanes.  
35  
40

De acuerdo con cualquiera de las realizaciones de la invención, independientemente de la forma en la que el acelerador de partículas y el soporte estén dispuestos para que dé como resultado el movimiento del acelerador de partículas con rotación de la bobina, el acelerador de partículas puede ser giratorio a través de un intervalo de ángulos con la correspondiente rotación de la bobina sobre su eje mientras el medio de refrigeración esté en funcionamiento, es decir, que pueda refrigerar la bobina. El intervalo de ángulos dependerá de la aplicación destinada. Preferentemente, el medio de refrigeración está en funcionamiento para refrigerar la bobina mientras la bobina gira en al menos 90 grados, más preferentemente al menos 160 grados, y en algunas realizaciones en al menos 170 grados sobre su eje. Por lo tanto, el medio de refrigeración está en funcionamiento para refrigerar la bobina mientras el acelerador de partículas gira en un ángulo en cualquiera de los intervalos anteriores con rotación de la bobina sobre su eje. En realizaciones preferentes, el medio de refrigeración está en funcionamiento para refrigerar la bobina mientras la bobina gira en hasta 180 grados, y preferentemente en un intervalo angular de desde 90 hasta 180 grados sobre su eje. En realizaciones en las que el acelerador de partículas está montado en un soporte giratorio, el soporte es giratorio en un intervalo de ángulos correspondiente para permitir la rotación del acelerador de partículas y la bobina en el intervalo de ángulos anterior.  
45  
50  
55

El haz es movable por medio de un arco mientras el acelerador de partículas se mueve, es decir, gira. El haz se puede mover en cualquier parte de un círculo mientras el acelerador de partículas gira. Por ejemplo, el movimiento del acelerador de partículas puede dar como resultado que el haz se mueva por medio de un arco que describe una parte superior de un círculo o un lado izquierdo o derecho de un círculo. En algunas realizaciones, el acelerador de partículas se puede mover en 180 grados entre una posición giratoria en la que el haz emitido se mueve en una primera dirección horizontal hacia un objetivo, y una posición en la que el haz se mueve en una segunda dirección horizontal opuesta hacia el objetivo. En otras realizaciones, el acelerador de partículas se puede mover en 180 grados entre una posición giratoria en la que el haz emitido se mueve en una primera dirección vertical hacia un objetivo, y una posición en la que el haz se mueve en una segunda dirección vertical opuesta hacia el objetivo.  
60  
65

De acuerdo con cualquiera de las realizaciones de la invención, preferentemente el sistema está dispuesto de modo que el fluido criogénico recondensado vuelve bajo la acción de la gravedad a la cámara criogénica. En estas realizaciones, el fluido criogénico recondensado vuelve a la cámara criogénica bajo la acción de la gravedad en el intervalo de rotación de la bobina estando en funcionamiento el medio de refrigeración para refrigerar la bobina. En estas realizaciones preferentes, el intervalo de rotación del acelerador de partículas y por tanto de la bobina con el medio de refrigeración en funcionamiento para refrigerar la bobina puede estar limitado sólo por el requisito de que el fluido criogénico recondensado pueda volver desde la unidad de recondensación a la cámara criogénica bajo la acción de la gravedad. En las realizaciones, el sistema está dispuesto de modo que el medio de refrigeración esté en funcionamiento para refrigerar la bobina superconductora mientras la bobina gira sobre su eje en un intervalo de posiciones giratorias en las que el fluido criogénico puede volver desde la unidad de recondensación a la cámara criogénica bajo la acción de la gravedad, y preferentemente en todo el intervalo de dichas posiciones.

En las realizaciones, el acelerador de partículas comprende una salida de haz para la salida de un haz de partículas cargadas en uso. La salida del haz puede ser una boquilla. La salida del haz puede estar dispuesta de modo que el haz emerge tangencial al acelerador de partículas. Se apreciará que, en uso, la rotación del acelerador de partículas con la rotación de bobina sobre su eje dará como resultado la rotación del haz cambiando de este modo la dirección de desplazamiento del haz de salida. El haz puede ser un haz en línea recta.

Preferentemente, el sistema comprende además una fuente para suministrar partículas cargadas al acelerador de partículas para su aceleración.

En las realizaciones, el acelerador de partículas está dispuesto para producir un haz de salida de partículas cargadas que se dirige a un objetivo. Preferentemente, el acelerador de partículas está dispuesto de modo que durante la rotación del acelerador de partículas, el haz de salida es incidente a un objetivo dado desde una pluralidad de direcciones, y preferentemente se mueve en un arco centrado sobre el objetivo. Esto puede permitir la irradiación de un objetivo dado desde una pluralidad de direcciones. El objetivo puede proporcionar un isocentro para el haz. Como se describe anteriormente, en realizaciones preferentes, el haz se puede mover en un ángulo de hasta 180 grados mientras el acelerador de partículas gira, y por tanto, en realizaciones preferentes, el haz está dispuesto para que sea incidente en un objetivo dado mientras se mueve en un ángulo de hasta 180 grados. En estas realizaciones preferentes, el haz pasa a través de un objetivo mientras se mueve en un arco. En realizaciones preferentes en las que el acelerador de partículas está montado en un soporte giratorio, el objetivo es un punto sobre, o en el plano de, el eje de rotación del soporte.

El acelerador de partículas se puede usar junto con cualquier tipo de partícula cargada. En realizaciones preferentes, las partículas cargadas son protones o los denominados iones pesados, tales como carbono.

De acuerdo con estas realizaciones de la invención, el sistema de tratamiento con partículas cargadas puede ser un sistema de tratamiento con iones, por ejemplo iones pesados, o con protones. En realizaciones preferentes, el sistema es un sistema para suministrar un tratamiento con partículas cargadas, en uso.

Se sabe que cuando las partículas cargadas con alta energía se desplazan a través de la materia, depositan su energía de forma no uniforme. Esto es debido a que la fuerza de su interacción con la materia ("la sección transversal de la interacción") se incrementa ya que las partículas pierden energía. Este efecto da lugar a un "pico de Bragg", por lo que la mayoría de la energía de las partículas se deposita a una profundidad particular dentro del objetivo. Esto está en contraste con el comportamiento de los fotones de alta energía, tales como rayos X, con los que el mayor depósito de energía se produce cerca de la superficie del objetivo, con una dosis que disminuye exponencialmente dentro del objetivo. La existencia de este "pico de Bragg" se está aprovechando cada vez más en nuevas formas de radioterapia conocidas como tratamiento con "protones" o "iones pesados". El tratamiento con iones pesados puede usar iones tales como carbono. Esto es debido a que el efecto del pico de Bragg permite que una dosis de radiación se dirija de forma más eficaz en objetivos muy críticos, por ejemplo tumores, mientras se reduce la dosis de radiación en los tejidos sanos circundantes. Es particularmente deseable, por lo tanto, el uso de un acelerador de partículas para suministrar tratamiento, dirigiendo partículas cargadas sobre un objetivo en un cuerpo.

El sistema de la presente invención permite que el haz de salida del acelerador de partículas gire para que sea incidente en un objetivo desde un intervalo de ángulos. Esto es particularmente ventajoso en el contexto del tratamiento con iones, lo que permite que se reduzca adicionalmente la dosis a una zona que no es objetivo, por ejemplo tejido circundante sano. Puesto que el acelerador de partículas está montado en un soporte para permitir la rotación del acelerador de partículas, esto se puede lograr sin requerir un cambio en la orientación del paciente con respecto a la gravedad. Esto es deseable, ya que los órganos internos están sujetos a moverse bajo la influencia de la gravedad, y por lo tanto, el paciente debe permanecer en una posición constante con respecto a la gravedad en todo el tratamiento. Puesto que la presente invención usa un acelerador de partículas montado en soporte giratorio, y está dispuesto de modo que la refrigeración de la bobina superconductora del acelerador se puede lograr eficazmente aún mientras el acelerador y la bobina giran, esto permite que el sistema esté instalado de manera relativamente rentable y en un espacio más pequeño de lo que requeriría usando un acelerador de partículas

estático, y usando sistemas de dirección de haz para transmitir el haz a un paciente, y dirigirlo sobre un objetivo desde diferentes direcciones. Esto hace que el sistema sea adecuado para su uso incluso a escala de tipo hospital de distrito, lo que mejora la accesibilidad del tratamiento.

5 Se apreciará que en estas realizaciones, el sistema se puede usar para suministrar tratamiento a un cuerpo de animal humano o no humano, y se debe entender que las referencias a un "paciente" hacen referencia a un cuerpo no humano o humano.

10 En estas realizaciones, el acelerador de partículas está dispuesto para dirigir el haz de salida sobre un objetivo que se va a irradiar desde una pluralidad de direcciones mientras el acelerador de partículas gira. El objetivo corresponderá a un punto sobre o en un paciente que se va a tratar, en uso. Como se describe anteriormente, en las realizaciones, el objetivo puede ser un punto en el plano de, o sobre el eje de rotación del soporte.

15 Preferentemente, el sistema comprende además un soporte de paciente, y el acelerador de partículas está dispuesto para dirigir un haz de salida hacia un objetivo en la región del soporte del paciente mientras gira.

20 De acuerdo con estas otras realizaciones de la invención, el objetivo se elegirá en uso para corresponder a un objetivo en o sobre el paciente que se va a irradiar. En algunas realizaciones, el objetivo es un punto sobre o en el soporte del paciente. Esto puede dar como resultado que el haz pase a través del paciente situado sobre el soporte del paciente en uso. En algunas realizaciones en las que el sistema comprende un soporte de paciente, la dirección longitudinal del soporte del paciente es paralela a, y preferentemente coincide con un eje de rotación del soporte en el que está montado el acelerador de partículas. El soporte del paciente puede ser un soporte horizontal.

25 Se apreciará que la rotación del acelerador de partículas directamente y/o bien a través del movimiento de un soporte en el que está montado de modo que la bobina gire sobre su eje dará como resultado el movimiento del haz de salida a través de un arco. Como se analiza anteriormente, el acelerador de partículas puede estar dispuesto al giro en cualquier ángulo adecuado para mover el haz en un ángulo apropiado para un tratamiento dado con el medio de refrigeración en funcionamiento para refrigerar la bobina. Se ha descubierto que la rotación del soporte en 180 grados, en general, es suficiente para irradiar un objetivo en un paciente en posición supina sobre el soporte del paciente desde todas las direcciones. En algunas realizaciones, el haz puede ser giratorio desde una posición en la que el haz de salida se mueve verticalmente hacia abajo para que sea incidente sobre un objetivo (en el paciente), en uso, a una posición en la que se mueve verticalmente hacia arriba para que sea incidente sobre el objetivo. En otras realizaciones, el haz puede ser giratorio desde una posición en la que se mueve horizontalmente en una primera dirección para que sea incidente sobre un objetivo (en el paciente), en uso, a una posición en la que se mueve horizontalmente en una segunda dirección opuesta para que sea incidente sobre un objetivo en el paciente, en uso. Por supuesto, el acelerador de partículas se puede mover en cualquier otro intervalo de ángulos, y se puede mover en cualquier intervalo de posiciones que intervienen, o en cualquier intervalo de posiciones mayor.

40 En algunas realizaciones, el soporte del paciente está dispuesto para que sea giratorio aproximadamente al menos un eje de rotación del soporte del paciente. El soporte del paciente puede estar dispuesto para girar sobre uno o más ejes. De esta manera, el soporte del paciente puede estar dispuesto para girar mientras el acelerador de partículas gira. Esto puede incrementar el intervalo de ángulos en los que el haz de salida puede ser incidente en el objetivo para un intervalo de rotación dado del soporte del acelerador de partículas. Esto puede reducir el ángulo a través del que necesitar girar el acelerador de partículas lo que proporciona una disposición más eficaz en espacio. Se apreciará que una parte del entorno del soporte del paciente, por ejemplo un suelo, etc., puede girar con el soporte del paciente sobre el eje del soporte del paciente.

50 En algunas realizaciones, el soporte del paciente está dispuesto para girar sobre un eje vertical. De forma alternativa o adicional, el soporte del paciente puede estar dispuesto para girar sobre un eje horizontal. Por lo tanto, el soporte del paciente puede estar dispuesto para girar en sentido contrario sobre uno o más ejes que pueden ser, por ejemplo, ejes verticales y/o horizontales, mientras el acelerador de partículas gira con la rotación de la bobina sobre su eje. En algunas realizaciones, en las que el acelerador de partículas está montado sobre un soporte giratorio sobre un eje de rotación del soporte, el sistema puede comprender además un contrapeso giratorio sobre el eje de rotación del soporte en sentido opuesto mientras el soporte gira. En algunas realizaciones, el soporte del paciente es giratorio con el contrapeso sobre el eje de rotación del soporte. En estas realizaciones, el soporte del paciente y el acelerador de partículas giran en sentido contrario sobre un eje intermedio.

60 Se apreciará que de acuerdo con la presente invención, la bobina superconductor es una bobina de un imán superconductor, y la bobina superconductor está dispuesta para proporcionar un campo magnético cuando la corriente fluye a través de los bobinados.

65 La presente invención se puede aplicar a sistemas superconductores de alta temperatura o baja temperatura. En sistemas superconductores, la bobina superconductor del sistema se debe hacer funcionar a una temperatura de o por debajo de una temperatura crítica para poder lograr y/o mantener la superconductividad. La invención es particularmente aplicable a los denominados sistemas superconductores de "baja temperatura". Los sistemas superconductores de menor temperatura pueden ser ventajosos para su uso en el contexto de un acelerador de

partículas montado en soporte, ya que pueden proporcionar campos magnéticos más fuertes por unidad de masa, lo que permite una reducción en la cantidad de cable necesario para formar la bobina superconductora, y por tanto de la masa total y el tamaño del acelerador de partículas. Las temperaturas críticas para los superconductores de baja temperatura son del orden criogénico, típicamente de, por ejemplo, menos de 20 K. Por ejemplo, el titanio-niobio (NbTi) y estaño-niobio (Nb<sub>3</sub>Sn), que son materiales superconductores usados comúnmente en sistemas superconductores de baja temperatura, tienen temperaturas de transición superconductoras de 10,1 K y de 18,5 K, respectivamente. Para proporcionar un rendimiento superconductor adecuado, los superconductores que comprenden estos materiales se deben enfriar muy por debajo de estas temperaturas de transición críticas, por ejemplo, para permitir que la bobina superconductora de un superimán puede transportar grandes densidades de corriente en presencia de campos magnéticos altos.

De acuerdo con la invención en cualquiera de sus realizaciones, la al menos una bobina superconductora puede ser de cualquier tamaño. Es deseable que la bobina se fabrique lo más pequeña posible para reducir el peso que debe soportar para su rotación por el soporte.

La bobina puede estar formada de cualquier material adecuado que sea superconductor a bajas temperaturas, por ejemplo, temperaturas criogénicas. Preferentemente, la al menos una bobina comprende titanio-niobio y/o estaño-niobio. El material superconductor, por ejemplo titanio-niobio y/o estaño-niobio puede estar incrustado en una matriz metálica compuesta, como es bien conocido en la técnica.

Aunque se ha descrito la invención en detalle con respecto a una bobina superconductora, se apreciará que el sistema puede comprender cualquier número de bobinas, y, si no está establecido explícitamente, se debe entender que las referencias a "la bobina" hacen referencia a "la al menos una bobina", y esto puede ser la, cada o una bobina, donde estén presentes una pluralidad de bobinas. La segunda o cualquier otra bobina puede ser de la misma construcción que la primera, y puede incluir cualquiera o todas las características descritas con respecto a la primera bobina. Preferentemente, el acelerador de partículas comprende un par de bobinas superconductoras espaciadas entre sí a lo largo de un eje común de las bobinas.

De acuerdo con la invención, se transfiere calor por conducción entre el fluido criogénico situado en la cámara criogénica en uso, y la bobina superconductora, por medio del medio conductor altamente térmico. Se puede usar cualquier material que tenga un nivel de conductividad térmica adecuadamente alto a temperaturas criogénicas para proporcionar el medio conductor altamente térmico, y los ejemplos de materiales adecuados son conocidos en la técnica. El medio conductor altamente térmico puede comprender uno o más materiales diferentes, que pueden ser de la misma o de diferente conductividad térmica, siempre que cualquier material compuesto presente altos niveles de conductividad térmica. Preferentemente, el medio conductor altamente térmico comprende o consiste en un metal. Por ejemplo, el medio conductor altamente térmico puede comprender aluminio. Sin embargo, en realizaciones particularmente preferentes, el medio conductor altamente térmico comprende o consiste en cobre.

Típicamente, el medio conductor altamente térmico tiene una conductividad térmica mayor que los materiales usados convencionalmente para proporcionar componentes estructurales en sistemas de superimanes convencionales. Típicamente, dichos materiales tiene una conductividad térmica baja a temperaturas criogénicas de menos de 10 W/m/K, e incluyen materiales tales como acero inoxidable, aleación de aluminio o poliéster reforzado con vidrio. Por lo tanto, el medio conductor altamente térmico tiene una conductividad térmica alta con relación al acero inoxidable.

Preferentemente, el medio conductor altamente térmico tiene una conductividad térmica en el intervalo de más de 100 W/m/K a temperaturas criogénicas, y más preferentemente de más de 200 W/m/K. Como se describe anteriormente, las referencias a temperaturas criogénicas en el presente documento hacen referencia a temperaturas de menos de 100 K, y el medio conductor altamente térmico debe ser conductor altamente térmico a temperaturas sobre al menos una parte de este intervalo. Por ejemplo, si la bobina superconductora es un superconductor de baja temperatura, puede que sólo sea necesario que el medio térmicamente conductor sea un conductor altamente térmico sobre la parte inferior del intervalo de temperatura anterior correspondiente al intervalo de temperatura en funcionamiento del sistema. En términos prácticos, las temperaturas más bajas que probablemente se encuentren serían del orden de 4 K. En realizaciones preferentes, el medio conductor altamente térmico tiene una conductividad térmica alta a temperaturas sobre al menos una parte de un intervalo de desde 4 K hasta 10 K, y preferentemente sobre todo el intervalo. Se ha descubierto que este intervalo es particularmente apropiado cuando el fluido criogénico usado es helio. El intervalo apropiado sobre el que se presentan propiedades de conducción térmica alta se puede seleccionar como se desea para una aplicación y disposición dadas para dar como resultado un funcionamiento adecuado del sistema, y pueden depender de factores tales como el tipo de fluido criogénico usado. Por ejemplo, las propiedades se pueden presentar a temperaturas de hasta 50 K o más, dependiendo de la temperatura de funcionamiento del sistema.

Cualquier otro intervalo para la conductividad térmica descrita en el presente documento, por ejemplo con referencia a otros componentes del sistema, se debe tomar de forma similar con referencia a dichas propiedades que se presentan a dichas temperaturas criogénicas. Se apreciará que el "medio conductor altamente térmico" se puede referir, por brevedad, al "medio térmicamente conductor" a continuación.

Preferentemente, el medio conductor altamente térmico tiene conductividad térmica en el intervalo de más de 100 W/m/K a temperatura ambiente.

5 El medio térmicamente conductor puede ser de cualquier forma y estar dispuesto de cualquier manera para facilitar la transferencia de calor por conducción térmica entre la bobina y el fluido criogénico situado en la cámara criogénica en uso. Por ejemplo, el medio térmicamente conductor puede comprender uno o más conectores térmicamente conductores, y/o capa(s) térmicamente conductora(s).

10 El medio térmicamente conductor se puede extender toda la distancia entre la al menos una bobina y el interior de la cámara criogénica. De esta forma, el medio térmicamente conductor puede proporcionar un trayecto de conducción térmica directo entre una superficie de la bobina y el interior de la cámara criogénica para poder poner en contacto directamente el fluido criogénico situado en la cámara en uso. Preferentemente, el medio térmicamente conductor está dispuesto para poner en contacto directamente una superficie de la bobina en un extremo del mismo, y para  
15 poner en contacto directamente el fluido criogénico situado en la cámara criogénica en uso en el otro extremo del mismo. El medio térmicamente conductor se puede extender a lo largo de cualquier trayecto o trayectos adecuados entre la bobina y la cámara criogénica, y se puede extender a través o alrededor de cualquier capa que intervenga.

20 El medio térmicamente conductor puede estar dispuesto para transmitir calor entre la bobina y la cámara criogénica sólo en un punto o puntos seleccionados de un área de superficie de la bobina, o en una pluralidad de puntos, lo que puede ser en forma de un área continua o discontinua. En algunas realizaciones, el medio térmicamente conductor puede estar dispuesto para recoger calor de diferentes partes de la bobina y para llevar el calor a la cámara criogénica. De esta manera, el medio térmicamente conductor puede transportar calor desde partes de la bobina que no son directamente o indirectamente adyacentes a la cámara criogénica, o al menos a una parte que contiene fluido  
25 criogénico de la misma, al fluido criogénico en la cámara en uso.

Preferentemente, el medio térmicamente conductor está segmentado al menos en la región en contacto con la bobina. Esto puede ayudar a evitar la generación de corrientes de Foucault significativas en el medio térmicamente conductor.

30 Se apreciará que, en efecto, la presente invención reemplaza el fluido criogénico proporcionado en un baño de fluido criogénico dispuesto adyacente la bobina para sumergir la bobina con el medio térmicamente conductor que pone en contacto la bobina para retirar calor de ella y transferirlo a una cámara criogénica, proporcionando una mayor flexibilidad en la localización y el tamaño de la cámara criogénica con relación a la bobina. Cuando mayor sea el  
35 área de contacto entre la bobina y el medio térmicamente conductor, mayor será la eficacia con la que se puede extraer calor de la bobina.

40 En realizaciones preferentes, el medio térmicamente conductor está en contacto térmico con una parte sustancial del área de superficie de la bobina. En las realizaciones, el medio térmicamente conductor se extiende alrededor de al menos una parte de una circunferencia de la bobina. De esta forma, se puede extraer calor directamente de una mayor parte de la bobina para incrementar la tasa de refrigeración. Preferentemente, el medio térmicamente conductor está dispuesto para estar en contacto con la bobina sobre al menos un 25 %, más preferentemente al menos un 50 %, y lo más preferentemente al menos un 75 % de una circunferencia de la bobina, y en algunas realizaciones el medio térmicamente conductor está en contacto con la bobina sustancialmente alrededor de toda la  
45 circunferencia de la misma. En estas realizaciones, el medio térmicamente conductor puede estar en contacto con una superficie radialmente externa de la bobina. En algunas realizaciones preferentes, el medio térmicamente conductor está en contacto con un extremo axial de la bobina. Esto puede permitir que el medio térmicamente conductor se extienda alrededor de un extremo axial de un soporte de bobina externo, donde se proporcione, para poner en contacto con la cámara criogénica.

50 Se debe elegir la extensión en la que el medio térmicamente conductor se extiende con relación a la superficie interior de la cámara criogénica para permitir que el medio térmicamente conductor facilite la transferencia de calor al interior de la cámara de alguna manera incluso en la rotación de la bobina. Puesto que la presente invención permite que se reduzcan significativamente el tamaño de la cámara criogénica y el volumen de fluido criogénico  
55 presente con relación las disposiciones de la técnica anterior que se basan en la inmersión de la bobina o bobinas en fluido criogénico, se puede transferir calor más fácilmente a cualquier fluido criogénico presente dentro del área limitada de la cámara criogénica. Se puede seleccionar la forma en la que el medio térmicamente conductor está dispuesto con relación a la cámara criogénica según sea apropiado, dependiendo de factores tales como el tamaño de la cámara criogénica, la distancia entre la cámara criogénica y la bobina, y la cantidad de fluido criogénico situado  
60 en la cámara en uso para lograr un nivel deseado de transferencia de calor. El medio térmicamente conductor puede penetrar una pared de la cámara criogénica, o, en algunas realizaciones, se prevé que el medio térmicamente conductor pueda definir al menos parcialmente una pared de la cámara criogénica.

65 En realizaciones preferentes, el medio térmicamente conductor puede estar dispuesto para distribuir calor desde una parte de la cámara criogénica a otra. Las partes son regiones diferentes alrededor de la circunferencia de la cámara. Por lo tanto, el medio térmicamente conductor puede estar dispuesto de modo que pueda conducir calor desde una

parte de la cámara criogénica que no contiene fluido criogénico en uso a una parte de la cámara que sí contiene fluido criogénico. Preferentemente, el medio térmicamente conductor está dispuesto de modo que pueda conducir calor desde una parte de la cámara criogénica que no contiene fluido criogénico en uso a una parte de la cámara que sí contiene fluido criogénico mientras la bobina y la cámara criogénica giran. En uso, el fluido criogénico en la cámara criogénica fluirá alrededor de la cámara mientras la bobina gira. Por tanto, por ejemplo, si el fluido criogénico llena inicialmente la cámara criogénica hasta la mitad de su altura, y la cámara criogénica se extiende alrededor de toda la circunferencia del eje de la bobina (o preferentemente de la bobina), si la cámara y la bobina giran 90 grados en cualquier dirección, cada punto dentro de la cámara criogénica en algún punto estará en contacto con fluido criogénico, y en algún punto no estará en contacto con fluido criogénico. Preferentemente, el medio térmicamente conductor está dispuesto para proporcionar un trayecto para distribuir calor desde una región de la cámara que no está en contacto con fluido criogénico a una parte que está en contacto con fluido criogénico sobre todo el intervalo de rotación del sistema, preferentemente sobre 180 grados.

En algunas realizaciones, el medio térmicamente conductor se extiende alrededor de la circunferencia de la cámara criogénica, preferentemente alrededor de toda la circunferencia de la misma.

En estas realizaciones, el medio térmicamente conductor pueden estar en contacto con una superficie interior de la cámara criogénica en uno o más puntos, que se pueden extender sobre un área continua o discontinua de la cámara criogénica, de una manera similar a la forma en la que el medio térmicamente conductor puede estar dispuesto con relación a la bobina, como se analiza anteriormente.

En algunas realizaciones de ejemplo, el medio térmicamente conductor comprende una o más clavijas térmicamente conductoras que penetran en la cámara criogénica desde el exterior de la misma. En las realizaciones, el medio térmicamente conductor se extiende entre las clavijas alrededor de la circunferencia del interior de la cámara criogénica, preferentemente alrededor sustancialmente de toda la circunferencia de la misma. Preferentemente, el medio térmicamente conductor comprende un anillo térmicamente conductor que se extiende alrededor del interior de la cámara criogénica, preferentemente alrededor de al menos un 80 %, o un 90 %, o de sustancialmente un 100 % de la circunferencia de la cámara criogénica.

En uso, la recondensación de fluido criogénico crea un vacío parcial que conduce el flujo de vapor de fluido criogénico a la unidad de recondensación en un método conocido como criobombeo. Por lo tanto, la cámara criogénica puede comprender una mezcla de fluido criogénico líquido y fluido criogénico vaporizado en diferentes etapas en su ciclo de vaporización y recondensación mientras se desplaza desde una región próxima a la bobina a la unidad de recondensación y de regreso otra vez.

La cámara criogénica puede estar dispuesta de cualquier manera que garantice que cuando se sitúa un fluido criogénico dentro de la cámara en uso, se puede transmitir calor al fluido criogénico desde la bobina por el medio conductor altamente térmico incluso mientras la bobina gira. La cámara criogénica es una cámara que se extiende circunferencialmente. La cámara criogénica se extiende circunferencialmente sobre el eje de la bobina, es decir, es coaxial con el eje de la bobina.

La cámara criogénica está próxima a la bobina superconductora. En otras palabras, está situada en la proximidad de la misma, y puede ser adyacente a la bobina. Por ejemplo, la cámara puede ser directamente adyacente a la bobina, o estar separada de ella por una o más capas que intervienen. La cámara criogénica está dispuesta de modo que el fluido criogénico situado en la cámara en uso no está directamente en contacto con la bobina superconductora. En otras palabras, la bobina no está total ni parcialmente sumergida en el fluido criogénico líquido.

La cámara criogénica puede estar situada en cualquier posición con respecto a la bobina siempre que pueda actuar para refrigerar la bobina en uso. Puesto que el medio térmicamente conductor proporciona un trayecto térmico para la transferencia de calor entre la bobina y el interior de la cámara criogénica, no es necesario que la cámara criogénica tenga la misma extensión que la bobina. En algunas realizaciones, puede estar espaciada axialmente de la bobina. La cámara criogénica puede estar situada radialmente hacia dentro o hacia fuera con relación a la bobina. Por tanto, en las realizaciones, la cámara criogénica esta situada axial y/o radialmente adyacente a la bobina. Sin embargo, en realizaciones preferentes, la cámara criogénica rodea al menos parcialmente a la bobina.

Puesto que el medio conductor altamente térmico transporta calor al interior de la cámara criogénica, las paredes de la cámara criogénica pueden ser de una conductividad térmica baja a temperaturas criogénicas, por ejemplo, de menos de 10 W/m/K. Sin embargo, se prevé que el medio térmicamente conductor pueda formar una pared de la cámara criogénica en algunas realizaciones.

Se apreciará que, ya que las realizaciones de la presente invención sólo necesitan contener una cantidad relativamente pequeña de fluido criogénico, la cámara criogénica puede ser relativamente pequeña en dimensión, lo que permite que se obtenga una disposición mucho más compacta que en los sistemas convencionales que sumergen la bobina total o parcialmente en un baño de fluido criogénico. El fluido criogénico puede estar confinado a un área limitada alrededor del eje de la bobina definida por la posición de la cámara criogénica. Esto proporciona la capacidad de fabricar las bobinas superconductoras, y otros componentes del sistema significativamente más

pequeños de lo que permiten los sistemas convencionales. Además, ya que las cantidades de fluido criogénico usadas son relativamente pequeñas, el sistema se puede ejecutar de forma más económica, y la reducción en el consumo de fluido criogénico puede ser ventajosa al reducir la demanda de suministros ya mermados de fluido criogénico, por ejemplo, helio líquido, que pueden llegar a ser más escasos en el futuro.

5 Aunque la presente invención permite que la cantidad de fluido criogénico presente se reduzca significativamente en comparación con las disposiciones convencionales, puede ser deseable el uso de volúmenes de fluido criogénico que sean mayores de lo requerido para proporcionar al sistema la capacidad de continuar con el funcionamiento si falla el refrigerador. La presente invención se puede aplicar a sistemas que tienen cámaras criogénicas con un  
10 amplio intervalo de volúmenes, por ejemplo desde 1 litro hasta 500 litros, o, en algunas realizaciones desde 2 litros hasta 100 litros.

En realizaciones de la invención, la cámara criogénica tiene una extensión circunferencial. Esto permite que el fluido criogénico en la cámara continúe con la extracción de calor de la bobina mientras la bobina gira sobre su eje en uso.  
15 La cámara criogénica se debe extender circunferencialmente una distancia suficiente alrededor del eje de la bobina para permitir que se extraiga calor cuando la bobina gira en el ángulo de funcionamiento del sistema en uso. En las realizaciones, la cámara criogénica se extiende circunferencialmente alrededor de al menos un 75 % del eje de la bobina, y preferentemente al menos un 90 % del eje de la bobina. En realizaciones preferentes, la cámara criogénica se extiende de forma sustancial completamente alrededor del eje de la bobina. La cámara criogénica puede ser  
20 anular. En realizaciones preferentes, la cámara criogénica rodea a la bobina, y por tanto, la cámara criogénica preferentemente se extiende una distancia en los intervalos anteriores alrededor de la circunferencia de la bobina. Por ejemplo, la cámara criogénica se puede extender alrededor de al menos un 50 %, más preferentemente al menos un 75 %, o preferentemente sustancialmente toda la circunferencia de la bobina.

25 En realizaciones de la invención, la cámara criogénica sólo se llena parcialmente con fluido criogénico en uso, lo que permite que el fluido criogénico fluya dentro de la cámara mientras la bobina gira sobre su eje. A continuación, la cámara criogénica debe tener una extensión circunferencial suficiente como para permitir que el fluido criogénico fluya de esta manera mientras la bobina gira.

30 Se apreciará que en las realizaciones en las que está presente más de una bobina, se pueden proporcionar una o más cámaras criogénicas asociadas con cada bobina superconductora del sistema, o una cámara criogénica puede estar asociada con más de una bobina.

De acuerdo con la invención, una vez se ha transferido calor desde la bobina al fluido criogénico en la cámara, se transmite calor en toda la distancia restante a la unidad de recondensación por el fluido criogénico. Esto es al contrario que algunos sistemas de la técnica anterior, en los que los conductores térmicos sólidos transmiten calor directamente al fluido de trabajo de la unidad de recondensación, y no a un fluido criogénico líquido que se vaporiza para actuar como un medio de transporte de calor.  
35

40 La cámara criogénica está conectada a la unidad de recondensación de una manera que permite que el fluido criogénico líquido o vaporizado se desplace entre la cámara criogénica y la unidad de recondensación en uso. Por lo tanto, la cámara criogénica comprende un puerto a través del que el fluido criogénico puede fluir a o desde la unidad de recondensación. El puerto pone a la unidad de recondensación en comunicación fluida con el interior de la cámara criogénica. Preferentemente, la cámara criogénica comprende sólo un único puerto. Estas realizaciones  
45 pueden ayudar a maximizar el área de la cámara criogénica disponible para su uso mientras la bobina gira.

Preferentemente, el puerto de la cámara criogénica está conectado a la unidad de recondensación por medio de al menos un tubo de conexión, es decir, un tubo hueco a través del que puede fluir el fluido criogénico vaporizado. El tubo puede estar formado de un material que es de conductividad térmica baja a temperaturas criogénicas, y puede tener una conductividad térmica de menos de 10 W/m/K. Sin embargo, la conductividad térmica se puede elegir con respecto a los niveles y las tasas de refrigeración requeridos. Preferentemente, la cámara criogénica comprende una salida al tubo. Preferentemente, el tubo de conexión es un tubo rígido.  
50

Se apreciará que cuando se proporciona más de una bobina y cámara criogénica asociada, cada cámara criogénica puede comprender un puerto para comunicarse con una unidad de recondensación. La unidad de recondensación puede ser igual o diferente. En algunas realizaciones, los puertos asociados con las cámaras criogénicas de cada bobina están conectados a la unidad de recondensación por medio de un tubo de conexión común. Sin embargo, en otras disposiciones, pueden existir uno o más tubos asociados con cada cámara criogénica, y cada tubo puede estar asociado con una o más unidades de recondensación, que pueden ser iguales o diferentes. En sistemas que comprenden más de un tubo, el o cada tubo puede incluir cualquiera o todas las características descritas con relación a "el" tubo en el presente documento.  
55  
60

Preferentemente, el tubo se extiende en toda la distancia entre la salida de la cámara criogénica y la unidad de recondensación, es decir, una parte en contacto con el fluido criogénico de la misma. Se apreciará que cuando está presente una pluralidad de bobinas, la unidad de recondensación puede estar asociada con una o más bobinas, y pueden existir una o más unidades de recondensación asociadas con cada bobina.  
65

El tubo de conexión puede ser de cualquier longitud adecuada. La longitud del tubo de conexión se debe elegir para permitir que la unidad de recondensación esté situada a una distancia suficiente de la bobina superconductora para reducir el riesgo de interferencia con el funcionamiento de la unidad de recondensación por el campo magnético asociado con la bobina, o a la inversa, el riesgo de interferencia con el funcionamiento del acelerador de partículas por la unidad de recondensación. Típicamente, cuanto mayor sea la bobina superconductora, mayor será el campo magnético disperso asociado con la bobina, y puede que sea necesario situar más lejos la unidad de recondensación de la bobina superconductora. De acuerdo con la invención, la unidad de recondensación puede estar situada a distancias tan grandes como del orden de 1 m o más de la bobina, si fuera necesario, lo que permite que refrigerador criogénico de la unidad de recondensación esté situado fuera de una región sometida a interferencia por la bobina. En disposiciones convencionales que usan un conductor térmico para transportar calor en toda la distancia desde la bobina a la unidad de recondensación, el tamaño y la masa del conductor térmico sólido requeridos para transportar calor sobre una distancia correspondiente serían prohibitivos. Preferentemente, la unidad de recondensación está situada a una distancia de al menos 60 cm, o más preferentemente al menos 80 cm del puerto que comunica con la cámara criogénica. La unidad de recondensación puede estar situada a cualquier distancia del puerto dentro de estos intervalos, y puede estar situada a distancias relativamente grandes del puerto, si se desea. En algunas realizaciones, la unidad de recondensación puede estar situada a una distancia de no más de 140 cm, o no más de 120 cm del puerto. La distancia a la que la unidad de recondensación está situada del puerto puede entrar dentro de cualquier combinación de los intervalos anteriores. Por lo tanto, el tubo de conexión es de una longitud de cualquiera de los intervalos anteriores.

Preferentemente, el tubo de conexión se extiende desde la cámara criogénica a una región de campo magnético relativamente bajo. Por tanto, el extremo de la unidad de recondensación está en un área de campo magnético menor que el extremo de la cámara criogénica.

El tubo de conexión debe estar térmicamente aislado de la temperatura ambiente. Esto se puede lograr con el uso de cualquier disposición adecuada de espacios de vacío, revestimientos intermedios y/o aislamiento de multicapas.

En realizaciones preferentes, el acelerador de partículas es giratorio en al menos una dirección, y preferentemente en ambas direcciones, desde una posición en la que el eje del tubo de conexión es vertical hacia, y preferentemente en una posición en la que el eje del tubo de conexión es horizontal. En realizaciones, el acelerador de partículas es giratorio para dar como resultado la rotación de la bobina sobre su eje en un ángulo de al menos 45 grados, y preferentemente entre 45 y 90 grados en cualquier dirección desde una posición en la que la unidad de recondensación está situada verticalmente sobre el eje de la bobina. El medio de refrigeración se podrá hacer funcionar para refrigerar la bobina mientras gira en esos intervalos de posición.

Preferentemente, el sistema está dispuesto para permitir que el fluido criogénico recondensado vuelva a la cámara criogénica bajo la influencia de la gravedad. En realizaciones preferentes, el sistema está dispuesto de modo que el acelerador de partículas pueda girar en un intervalo de ángulos lo que permite que el fluido criogénico recondensado vuelva a la cámara criogénica bajo la influencia de la gravedad, por ejemplo cayendo por goteo en la cámara criogénica.

Se ha descubierto que el estrechamiento del tubo es útil para promover el regreso del fluido criogénico recondensado a la cámara criogénica, lo que facilita el funcionamiento del sistema mientras la bobina gira sobre su eje en un ángulo de hasta 180 grados. El fluido criogénico puede fluir más fácilmente hacia la cámara criogénica aún cuando el eje del tubo de conexión es horizontal en estas realizaciones. Preferentemente, el tubo de conexión está estrechado hacia la unidad de recondensación. Entonces, el tubo de conexión puede proporcionar un cuello que se extiende desde la cámara criogénica.

La unidad de recondensación puede ser de cualquier construcción adecuada. Preferentemente, la unidad de recondensación comprende al menos una superficie de refrigeración sobre la que se puede recondensar el fluido criogénico en uso. Preferentemente, la unidad de recondensación comprende un refrigerador criogénico asociado con la o cada superficie de refrigeración. Un refrigerador criogénico es un dispositivo bien conocido en la técnica de superconductividad a baja temperatura, y es un motor térmico alternativo que usa gas como fluido de trabajo para transferir calor desde una o más etapas en frío hasta la temperatura ambiente. Preferentemente, por tanto, la unidad de recondensación comprende un fluido de trabajo. El refrigerador criogénico puede ser de construcción adecuada lo que proporciona el nivel de refrigeración requerido del fluido criogénico para una aplicación dada. Por ejemplo, las bobinas más grandes, por ejemplo de un imán más grande, requerirán mayores niveles potencia de refrigeración.

La presente invención se extiende a un sistema de acuerdo con la invención en cualquiera de sus aspectos o realizaciones incluyendo un fluido criogénico. Preferentemente, el fluido criogénico es helio líquido.

En realizaciones en las que la cámara criogénica contiene fluido criogénico, para permitir la refrigeración de la bobina mientras gira sobre el eje de la bobina, la cámara criogénica se llena sólo parcialmente con fluido criogénico líquido. En realizaciones preferentes, la cámara criogénica se llena inicialmente con fluido criogénico líquido hasta un nivel de menos de un 50 % de la altura de la cámara. Este es el nivel antes del uso del aparato, y de cualquier

vaporización del fluido criogénico. Se apreciará que al girar la bobina y, por tanto, la cámara criogénica dará como resultado que el fluido criogénico fluya alrededor de la cámara criogénica hasta volver a su propio nivel una vez más. En realizaciones preferentes, aún se puede transferir calor desde regiones de la bobina o cámara criogénica distintas de las adyacentes al fluido criogénico por una configuración apropiada del medio térmicamente conductor para permitir que toda, o una gran parte de, la cámara criogénica participe en la refrigeración.

Se apreciará que el sistema de la presente invención incluye un circuito de fluido criogénico, que son las partes del sistema a través de las que puede fluir el fluido criogénico durante sus ciclos de vaporización y, preferentemente, recondensación. Este circuito comprende la cámara criogénica, la unidad de recondensación, y cualquier tubo o tubos de conexión.

En algunas realizaciones de la invención, circuito criogénico esta sellado, de modo que estará presente una cantidad fija de fluido criogénico en todo el funcionamiento del sistema, por ejemplo en el enfriamiento, el calentamiento o la desactivación. En algunas realizaciones, el circuito sellado puede incorporar un recipiente de expansión para acomodar el volumen incrementado de la sustancia criogénica de trabajo a temperaturas mayores, por ejemplo a temperatura ambiente. En otras realizaciones alternativas, el circuito sellado puede ser de volumen constante, y estar diseñado para soportar la presión adicional de la sustancia criogénica a temperaturas mayores, por ejemplo a temperatura ambiente.

En algunas realizaciones, el sistema comprende un depósito de fluido criogénico para retener el fluido criogénico gaseoso para la recondensación posterior en los momentos en los que la tasa de evaporación del fluido criogénico excede la tasa de recondensación. Esto se puede producir, por ejemplo, cuando el sistema se inicia, estando el imán inicialmente orientado para crear el campo.

Puesto que se proporciona un medio conductor altamente térmico para facilitar transferencia de calor entre el fluido criogénico situado en la cámara criogénica en uso y la bobina superconductora, y debido al uso de una cámara criogénica pequeña que incluye una cantidad relativamente baja de fluido criogénico que se recondensa en uso, la presente invención proporciona una disposición más compacta de lo que pueden proporcionar las disposiciones de la técnica anterior, que incluyen un baño de fluido criogénico convencional, y al eliminar la necesidad de sumergir la bobina en un baño de fluido criogénico, se proporciona mayor libertad en el diseño del sistema. Por ejemplo, la cámara criogénica puede estar situada a corta distancia de la bobina para facilitar la fabricación, o para mejorar el soporte de la bobina y el manejo de las tensiones para una configuración de bobina dada, y los materiales que se pueden seleccionar para la bobina, y otras partes circundantes, lo que no tiene que ser necesariamente adecuado para la inmersión en helio líquido.

En realizaciones preferentes, el acelerador de partículas comprende además un medio de soporte de bobina externo para soportar la bobina. El medio de soporte de bobina externo está situado radialmente hacia fuera de la bobina. En realizaciones preferentes en las que la cámara criogénica rodea circunferencialmente al menos de forma parcial la bobina, preferentemente, el medio de soporte de bobina externo está situado entre la bobina y la cámara criogénica. Debido a la presencia del medio térmicamente conductor, es posible situar una capa poco o no térmicamente conductora entre la cámara criogénica y la bobina superconductora sin comprometer la capacidad del fluido criogénico para refrigerar la bobina en uso, mientras que aún se transmite calor al fluido criogénico por medio del medio térmicamente conductor. En estas realizaciones de la invención, se ha descubierto que la bobina superconductora puede funcionar en condiciones más extremas que una bobina enrollada convencionalmente sobre una primera interna y refrigerada por un fluido criogénico situado directamente adyacente y hacia fuera de la bobina, por ejemplo, en un baño de helio.

En las realizaciones que comprenden el soporte de la bobina, no es necesario que las propias bobinas se soporten a sí mismas. En algunas aplicaciones puede que sea posible eliminar la necesidad de cualquier soporte interno de la bobina. El uso de un soporte externo puede maximizar el espacio disponible dentro de la bobina, y reducir la atenuación de los efectos de la bobina en la región hacia el interior de la misma, lo que permite reducciones en el tamaño de la bobina. Por ejemplo, se puede obtener un campo magnético similar usando una bobina de menor diámetro que en las disposiciones que se basan en el uso de un soporte interno, lo que permite que se fabrique el aparato más compacto.

El uso del soporte de la bobina es particularmente ventajoso porque permite que se logren reducciones adicionales en el tamaño y el peso de la bobina superconductora, proporcionando un acelerador de partículas más ligero y compacto más adecuado para su montaje en un soporte. El soporte de bobina externo ayuda a resistir las fuerzas magnéticas sobre la bobina, que tratan de expandirse.

El soporte de bobina externo rodea circunferencialmente al menos parcialmente la bobina o bobinas, y de forma substancialmente preferente rodea completamente la bobina o bobinas. En algunas realizaciones, el medio de soporte externo está en forma de cuello. El soporte de la bobina puede compartir un eje común con la bobina y el acelerador de partículas (y la cámara criogénica). En algunas realizaciones, el interior del medio de soporte de bobina externo comprende un medio para localizar la o cada bobina. El medio puede estar en forma de un rebajo. En las realizaciones que comprenden un par de bobinas, las bobinas pueden estar situadas en los extremos axiales

del soporte, y el soporte de la bobina se puede extender axialmente entre las bobinas a lo largo del eje común de las bobinas.

5 En realizaciones que incluyen el medio de soporte de bobina externo, el medio de soporte puede ser de o comprender cualquier material o materiales adecuados para proporcionar un nivel de soporte requerido para la bobina, teniendo en cuenta, por ejemplo, el tamaño y la configuración de la bobina, y si está presente cualquier soporte adicional. Típicamente, el medio de soporte de bobina externo comprende o está formado de un material diferente al medio conductor altamente térmico. En las realizaciones, el medio de soporte de bobina externo tiene una conductividad térmica baja a temperaturas criogénicas, por ejemplo, en el intervalo de menos de 10 W/m/K. En 10 las realizaciones, el medio de soporte de bobina externo tiene una conductividad térmica menor que el medio conductor altamente térmico a temperaturas criogénicas. En algunas realizaciones, el soporte es un soporte de acero inoxidable. Preferentemente, se selecciona el soporte para que sea no magnético, es decir, un grado de acero inoxidable no magnético.

15 En realizaciones preferentes en las que la cámara criogénica rodea el medio de soporte de la bobina, la cámara criogénica se extiende sólo sobre una parte de la superficie externa del medio de soporte en la dirección axial, es decir, existen áreas del medio de soporte que no son adyacentes a la cámara criogénica en uso.

20 En algunas realizaciones, la cámara criogénica está definida al menos en parte por el soporte de bobina externo. En realizaciones preferentes, el soporte define al menos una pared (radialmente) interna de la cámara criogénica. En las realizaciones, la superficie externa del medio de soporte comprende una cámara que se extiende circunferencialmente en él que define una parte de la cámara criogénica. La cavidad puede estar en forma de un canal definido en una superficie externa del soporte. Se apreciará que en estas realizaciones, el canal estará cerrado para proporcionar la cámara criogénica. En realizaciones preferentes, una placa de cubierta está unida al exterior del medio de soporte de bobina externo para cerrar el canal y proporcionar la cámara criogénica. En estas 25 realizaciones, se debe proporcionar un puerto en la placa a una posición angular dada para su conexión a un tubo de conexión asociado con la unidad de recondensación del sistema. En realizaciones preferentes, el medio de soporte de bobina externo y la placa están formados del mismo material.

30 En realizaciones que comprenden un medio de soporte de bobina externo que se extiende entre la cámara criogénica y la bobina, el medio conductor altamente térmico se puede extender alrededor de un extremo axial de la bobina para estar en contacto térmico con el interior de la cámara criogénica. En realizaciones en las que el soporte de la bobina define la cámara criogénica con una placa de cubierta, preferentemente, el medio conductor altamente térmico penetra en la placa de cubierta para estar en contacto térmico con el interior de la cámara criogénica. En las 35 realizaciones, el medio conductor altamente térmico comprende una pluralidad de clavijas dispuestas alrededor de la circunferencia de la placa de cubierta y que penetran en la placa de cubierta. Preferentemente, la superficie interna de la placa de cubierta comprende un medio conductor altamente térmico para distribuir calor alrededor del interior de la cámara criogénica. Preferentemente, un anillo de material conductor altamente térmico está unido a la superficie interna de la placa de cubierta. En realizaciones en las que el medio conductor altamente térmico comprende clavijas que penetran en la placa de cubierta, preferentemente, las clavijas están en contacto térmico con el material térmicamente conductor. 40

De acuerdo con la invención, en cualquiera de sus aspectos y realizaciones, el acelerador de partículas puede ser de cualquier construcción adecuada que pueda acelerar partículas cargadas para proporcionar un haz de salida de 45 una fuerza apropiada para una aplicación deseable, en uso. Para aplicaciones de tratamiento con partículas cargadas, el acelerador de partículas debe estar dispuesto para producir un haz de partículas cargadas que tenga un nivel de energía suficiente para alcanzar un objetivo buscado en un paciente en aplicaciones de tratamiento con partículas cargadas.

50 La estructura general de dichos aceleradores de partículas es bien conocida, y se puede usar cualquier tipo que comprenda una bobina superconductora, adecuada para su montaje en un soporte y que pueda girar. En realizaciones preferentes, el acelerador de partículas es un ciclotrón. El ciclotrón puede ser, por ejemplo, un sincrociclotrón o un ciclotrón isócrono.

55 En algunas realizaciones, el acelerador de partículas comprende una cámara a vacío en la que se introducen las partículas cargadas que se van a acelerar. En las realizaciones, el sistema comprende una fuente para suministrar partículas cargadas a la cámara a vacío, por ejemplo, a una región en el centro de la misma, en uso. La cámara a vacío está situada entre los polos de la bobina de imán superconductor. La cámara a vacío puede tener forma de disco. En las realizaciones, el acelerador de partículas comprende un par de electrodos espaciados o con forma de 60 "D" que definen un hueco en la cámara a vacío para acelerar las partículas cargadas. Los electrodos pueden estar dispuestos para que sean perpendiculares al campo magnético definido entre los polos del imán. El acelerador de partículas comprende medios para aplicar un campo eléctrico alterno para acelerar las partículas cargadas, por ejemplo, proporcionando un campo de RF entre los electrodos. Las partículas están limitadas por el campo eléctrico y el campo magnético para circular en un trayecto espiral mientras se aceleran. Esto se puede lograr alternando el sentido del campo eléctrico. El acelerador de partículas está dispuesto de modo que las partículas aceleradas salen desde la salida del acelerador de partículas en forma de un haz. Esto se puede lograr usando cualquier disposición 65

de extracción de haces adecuada, por ejemplo un colimador.

5 En realizaciones preferentes, el acelerador de partículas comprende un yugo externo, y el ensamblaje de la bobina superconductora, que incluye el soporte de bobina externo, en las realizaciones en las que se proporciona el medio de soporte externo para soportar la bobina, está dispuesto dentro del yugo. Preferentemente, el yugo rodea la bobina superconductora. Las otras partes del acelerador, por ejemplo, los electrodos, la cámara a vacío, etc. en consecuencia, también estarán situadas dentro del yugo en estas realizaciones. El yugo puede proporcionar el alojamiento externo del acelerador. Preferentemente, el yugo es un yugo ferromagnético de hierro o acero. El yugo puede comprender las secciones primera y segunda que están montadas juntas alrededor del ensamblaje de la bobina. En las realizaciones, el yugo es un yugo con forma de pastillero. El yugo puede actuar para contener, concentrar y perfilar el campo magnético. El yugo puede proporcionar un trayecto para devolver el flujo de campo magnético y puede revestir magnéticamente el volumen entre las caras de los polos magnéticos para evitar que los campos magnéticos externos influyan en el campo magnético en esta región, y puede reducir la influencia de cualquier campo magnético disperso en el área.

15 En realizaciones en las que el acelerador de partículas comprende un yugo externo, preferentemente, la unidad de recondensación está situada fuera del yugo. Esto puede ayudar a situar la unidad de recondensación en un área de campo magnético menor, y reducir la probabilidad de interferencia entre la unidad de recondensación y el funcionamiento del acelerador de partículas. En estas realizaciones, el tubo de conexión de la unidad de recondensación se extiende desde la cámara criogénica por el yugo a la unidad de recondensación.

El sistema puede comprender cualquier disposición adecuada de revestimientos, recipientes a vacío y/o capas aislantes, asociada con la bobina / el acelerador de partículas como se conoce en la técnica.

25 Además, el acelerador de partículas puede comprender un revestimiento magnético externo. El magnético revestimiento puede ser, por ejemplo, una capa de material ferromagnético. Puede estar definido un espacio radialmente hacia dentro del revestimiento. En realizaciones que comprenden un yugo, el revestimiento magnético está dispuesto hacia fuera del yugo y está separado de él por un espacio.

30 La presente invención se extiende a un método para proporcionar un sistema para refrigerar una bobina superconductora de acuerdo con la invención, de acuerdo con cualquiera de sus realizaciones. La presente invención proporciona un método de refrigeración de una bobina superconductora que usa un sistema de acuerdo con la invención, de acuerdo con cualquiera de sus realizaciones, estando el método de acuerdo con reivindicación 15. El método de refrigeración de la bobina puede comprender las etapas de proporcionar fluido criogénico en la cámara criogénica, y hacer funcionar la bobina superconductora por lo que se conduce calor desde la bobina superconductora por el medio conductor altamente térmico a la cámara criogénica para vaporizar el fluido criogénico en ella y de este modo retirar calor de la al menos una bobina, fluyendo el fluido criogénico vaporizado a la unidad de recondensación de fluido criogénico para recondensarse antes de volver a la cámara.

40 La presente invención se extiende al uso de un sistema de acuerdo con cualquiera de las realizaciones de la invención.

45 La presente invención proporciona además un método de uso del sistema de acuerdo con cualquiera de las realizaciones de la invención, que comprende hacer funcionar el acelerador de partículas para proporcionar un haz de salida de partículas cargadas, y mover el acelerador de partículas para mover el haz de salida, preferentemente en un arco, con la rotación de la bobina sobre su eje, haciendo funcionar el medio de refrigeración para refrigerar la bobina mientras gira sobre su eje. El acelerador de partículas se puede mover de cualquier manera como se describe anteriormente, por ejemplo, girando el soporte en el que está montado y/o girando el acelerador de partículas con relación al soporte. En las realizaciones, el sistema es un sistema para suministrar un tratamiento con partículas cargadas, y el método comprende hacer funcionar el acelerador de partículas para proporcionar un haz de salida de partículas cargadas, dirigir el haz de salida hacia un objetivo que se va a irradiar, y mover el acelerador de partículas de modo que el haz sea incidente sobre el objetivo desde direcciones diferentes.

55 La presente invención, en estos aspectos adicionales, puede incluir cualquiera o todas las características descritas con respecto a los otros aspectos de la invención.

60 Se apreciará que los términos "vertical" y "horizontal", como se usan en el presente documento, no están destinados a requerir que el elemento relevante sea exactamente "vertical" u "horizontal", sino que sea al menos aproximadamente "vertical" u "horizontal". Estos términos se definen como se entienden comúnmente, y con respecto al sistema orientado para su funcionamiento deseado habitual.

Ahora se describirán algunas realizaciones preferentes de la presente invención, sólo a modo de ejemplo, y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

65 la figura 1 es una vista esquemática que ilustra una realización de un sistema de tratamiento con partículas cargadas de acuerdo con la presente invención;

la figura 2 es una vista desde el extremo del sistema de la figura 1 que ilustra el intervalo de movimiento del acelerador de partículas;

5 la figura 3 es una vista desde el extremo de otra realización de un sistema de tratamiento con partículas cargadas de acuerdo con la presente invención, y similar al de la figura 1, pero en el que el acelerador de partículas es giratorio desde una posición verticalmente superior a un paciente a una verticalmente inferior;

10 la figura 4A es una ilustración esquemática de una realización de un sistema de tratamiento con partículas cargadas de acuerdo con otra realización de la invención en la que el acelerador de partículas y el soporte del paciente están dispuestos para girar en sentido contrario sobre un eje intermedio;

15 la figura 4B es una vista esquemática que muestra las posiciones relativas del paciente, el acelerador de partículas y el haz de salida mientras el acelerador de partículas y el soporte del paciente giran en sentido contrario en la realización de la figura 4A;

la figura 5 es una vista de sección transversal vertical del acelerador de partículas tomada a lo largo de la línea 5-5 de la figura 1;

20 la figura 6 es una vista de sección transversal vertical del acelerador de partículas a lo largo del longitudinal, y correspondiente a la línea 6-6 en la figura 13 que muestra el ensamblaje de la bobina superconductora incluyendo la bobina, el soporte de la bobina, y el medio de refrigeración con más detalle y con otros componentes determinados del acelerador de partículas retirado por claridad;

25 la figura 7 es una vista de sección transversal vertical del acelerador de partículas transversal al eje de la bobina a lo largo de la línea 7-7 de la figura 13 que muestra el ensamblaje de la bobina superconductora incluyendo la bobina, el soporte de la bobina, y el medio de refrigeración con más detalle y con otros componentes determinados del acelerador de partículas retirado por claridad;

30 la figura 8 es un detalle tomado en la región circular de la figura 7;

las figuras 9-13 ilustran las etapas en el ensamblaje del soporte de la bobina, las bobinas, y el medio de refrigeración del acelerador de partículas de la presente invención;

35 la figura 9 es una vista en perspectiva de un tapón de ejemplo;

la figura 10 es una vista en perspectiva del soporte de la bobina con las bobinas montadas en él;

40 la figura 11 es una vista en perspectiva del ensamblaje de la figura 10 con la placa de cubierta montada en el soporte de la bobina para cerrar la cámara criogénica;

la figura 12 es una vista en perspectiva del ensamblaje de la figura 11 con el medio térmicamente conductor en su sitio;

45 la figura 13 es una vista en perspectiva del ensamblaje de la figura 12 con la unidad de recondensación y el tubo de conexión ensamblados en él; y

la figura 14 ilustra la posición de la unidad de recondensación con relación a la bobina y el soporte mientras el acelerador de partículas gira entre las posiciones mostradas en las figuras 2 y 3.

50 De acuerdo con la realización de la figura 1, el acelerador de partículas 1 está montado sobre un soporte giratorio en forma de pórtico 2. El acelerador de partículas 1 incluye bobinas superconductoras 17, 17', como se muestra esquemáticamente en las figuras 1 a 4 para generar un campo magnético cuando se pasa a través de ellas una corriente eléctrica, en uso. El pórtico 2 es giratorio sobre un eje de rotación horizontal X-X desde la posición mostrada en la figura 1 en hasta 90 grados en sentido horario y antihorario en el sentido de las flechas. El pórtico 2 incluye un par de patas 3, 4 que se extienden desde el eje de rotación y un brazo 5 que se extiende entre ellas en el que está montado el acelerador de partículas de modo que gira con el brazo sobre el eje de rotación del pórtico. El eje a-a del acelerador de partículas y sus bobinas 17, 17' es paralelo al eje de rotación del pórtico X-X. Las bobinas superconductoras anulares 17, 17' se extienden circunferencialmente sobre el eje de la bobina. Mientras el pórtico 2 gira, el acelerador de partículas 1 y sus bobinas superconductoras giran sobre su eje mientras el acelerador de partículas 1 gira con el pórtico. Se puede proporcionar un contrapeso que gira en sentido contrario sobre el eje X-X como se ilustra esquemáticamente. Además, el acelerador de partículas puede o no ser giratorio sobre el eje del brazo del pórtico u otro eje o ejes.

65 El acelerador de partículas incluye una boquilla 6 que está dispuesta producir un haz recto 9 de partículas cargadas en uso en una dirección tangencial al acelerador de partículas. El haz se dirige hacia un objetivo T en la región de un

soporte del paciente 7 seleccionada para dar como resultado la irradiación de un objetivo, tal como un tumor, dentro de un paciente 8 que yace en posición supina sobre el soporte 7. Cuando el acelerador de partículas 1 está en la posición mostrada en la figura 1, el haz se produce en una dirección hacia fuera vertical hacia el objetivo T. El objetivo T es un punto hacia el que se dirige el haz que se elige para dar como resultado la irradiación de una posición y profundidad particulares dentro de un paciente cuando yace en posición supina sobre el soporte en uso, por ejemplo, para irradiar un tumor u otra estructura.

El intervalo de posiciones giratorias del acelerador de partículas 1 de acuerdo con la realización de la figura 1 se ilustra esquemáticamente en la figura 2. El acelerador de partículas es giratorio desde la posición A mostrada en la figura 1, en la que el brazo del pórtico está verticalmente superior al eje de rotación del pórtico X-X en un ángulo de 90 grados en cualquier dirección a la posición B o C respectivamente, en la que el brazo del pórtico está en un plano horizontal que corta el eje del pórtico horizontal X-X. Por lo tanto, el acelerador de partículas 1 es giratorio desde una posición A en la que el haz 9 es incidente sobre el objetivo T sobre el soporte del paciente 7 desde una posición verticalmente por encima del objetivo T a una posición B o C en la que el haz es incidente sobre el objetivo T en una dirección horizontal desde cualquier lado del soporte del paciente 7. Mientras el brazo del pórtico gira, el acelerador de partículas gira sobre su eje como resultado de su montaje en el brazo, lo que provoca que la dirección en la que el haz de salida 9 es incidente sobre el objetivo T se mueva en el arco. Se apreciará que mientras el brazo del pórtico 5 gira, hay una rotación correspondiente de la bobina 17 (y también de la bobina 17') sobre sus ejes. El acelerador de partículas y la bobina tienen un eje común.

Se apreciará que el sistema ilustrado en la realización de las figuras 1 y 2 se puede usar para irradiar un objetivo T en el soporte del paciente desde un intervalo de direcciones que abarca 180 grados. Cuando un paciente yace sobre el soporte, esto permite la irradiación de una estructura dentro del paciente desde el intervalo correspondiente de direcciones, lo que permite la irradiación desde ambos lados del paciente. Esto es beneficioso porque los órganos dentro del paciente tienden a desplazarse bajo la gravedad, y por lo tanto, es importante que la posición del paciente esté fija con respecto a la gravedad, en uso.

De acuerdo con otra realización, en lugar de que sea giratorio entre las posiciones mostradas en las figuras 1 y 2, de modo que el haz describa un arco que define la parte superior de un círculo mientras el pórtico mueve el acelerador de partículas, el acelerador de partículas es movable entonces 180 grados desde una posición D como se muestra en la figura 3, en la que el haz es incidente sobre el objetivo T verticalmente desde encima del paciente, por medio de una posición E en la que el haz se mueve horizontalmente, a una posición F en la que el haz es incidente sobre el objetivo verticalmente desde abajo del paciente. En estas realizaciones, el haz describe un arco que define la parte izquierda de un círculo, en uso. Estas disposiciones pueden ser más eficaces en espacio que las de la figura 2, y permiten la irradiación de un objetivo en el paciente desde la parte posterior y anterior del paciente. El acelerador de partículas se puede mover entonces por la mitad derecha de un círculo de manera similar.

El medio de refrigeración es eficaz en la refrigeración de la bobina mientras el acelerador de partículas se mueve entre las posiciones A, B y C en la figura 2, o las posiciones D, E y F en la figura 3. Para este fin, se observará que la orientación de la unidad de recondensación y el tubo que se extiende desde el acelerador de partículas es diferente para permitir que el fluido criogénico vuelva a la cámara criogénica bajo la acción de la gravedad en cada una de estas disposiciones, como se muestra con más detalle a continuación.

En la realización mostrada en la figura 1, 2 o 3, el soporte del paciente 7 puede estar dispuesto para girar hasta 90 grados en cualquier sobre un eje vertical b-b mientras el acelerador de partículas gira para incrementar el ángulo sólido desde el que el haz puede ser incidente sobre el objetivo.

La figura 4A ilustra otra realización en la que el soporte del paciente esta dispuesto para girar en sentido contrario mientras el pórtico gira. En estas realizaciones, el soporte del paciente puede proporcionar un contrapeso para la rotación del pórtico. Por ejemplo, mientras el pórtico y el acelerador de partículas 1 giran en sentido antihorario sobre el eje x-x, el suelo 10 en el que está montado el soporte del paciente 7 gira en sentido horario. Por tanto, el soporte del paciente y el acelerador de partículas giran sobre el eje intermedio X-X. El soporte del paciente y el acelerador de partículas pueden girar en sentido horario de forma similar hasta 90 grados cuando el acelerador de partículas gira en sentido horario desde la posición mostrada en la figura 4A.

La figura 4B ilustra esquemáticamente las posiciones relativas del acelerador de partículas y del soporte del paciente mientras giran en sentido contrario.

Se apreciará que en lugar de estar montado en un pórtico giratorio como se muestra en las figuras 1-4B, de forma alternativa, el acelerador de partículas puede estar dispuesto para girar con relación a un soporte para provocar la rotación del haz de salida y la bobina. El acelerador de partículas puede estar montado sobre cardanes para este propósito. También se prevé que el acelerador de partículas pueda estar montado de forma giratoria en un pórtico giratorio en las realizaciones de la figuras 1-4B para proporcionar un mayor intervalo de dirección para el haz de salida, aunque no es necesario que el acelerador de partículas se pueda mover con relación al soporte, mientras la rotación del acelerador de partículas y por tanto la bobina sobre su eje se produzcan como se describe anteriormente, como resultado de la rotación del soporte sobre el eje de rotación del soporte. En cualquiera de las

realizaciones, el acelerador de partículas puede estar montado en un brazo, por ejemplo un brazo robótico, que está montado de forma pivotante en un eje de rotación para girar el acelerador de partículas, en lugar de un pórtico como se muestra.

- 5 En cualquiera de las disposiciones, el acelerador de partículas también puede estar dispuesto para moverse para dar como resultado una inclinación del eje de la bobina, por ejemplo en el intervalo de desde 5 hasta 15 grados. Esto puede permitir que el eje de la bobina se mueva fuera de un plano horizontal.

10 Las características del acelerador de partículas se describirán ahora con más detalle con respecto a la figura 5. Para facilitar la ilustración, la figura 5 no ilustra con detalle todos los aspectos del sistema para refrigerar las bobinas superconductoras, por ejemplo el medio térmicamente conductor, la cámara criogénica y el tubo, y está destinada a mostrar las partes principales del acelerador de partículas que resultan de la aceleración de las partículas cargadas en uso. El sistema de refrigeración se describe con más detalle a continuación.

15 En referencia a la figura 5, el acelerador de partículas 1 es un ciclotrón dispuesto para acelerar partículas cargadas útiles en el tratamiento. Por ejemplo, estas pueden ser en forma de iones pesados, tales como carbono, o protones. El acelerador de partículas 1 comprende un alojamiento externo en forma de un yugo de hierro 15. El yugo de hierro 15 es de forma de pastillero, y está formado de dos mitades. El yugo de hierro 15 no es esencial. Dentro del yugo 15 se dispone un imán superconductor que comprende las bobinas superconductoras anulares primera y segunda 17, 17' montadas para descansar en la pared interior de un soporte de bobina 23 en forma de un collar de acero inoxidable no magnético. Las bobinas 17, 17' son idénticas y están montadas sobre un eje de bobina común C-C, y están espaciadas entre sí a lo largo del eje. El eje de la bobina C-C corresponde al eje del acelerador de partículas. Las bobinas superconductoras 17, 17' están dispuestas para producir un campo magnético cuando se pasa una corriente eléctrica a través de ellas, en uso.

25 El funcionamiento de un ciclotrón es bien conocido. En resumen, el acelerador de partículas 1 incluye una cámara a vacío 24 dentro del centro en el que se introducen las partículas que se van a acelerar desde una fuente de partículas (no mostrada). La cámara a vacío 24 está situada entre los polos de las bobinas magnéticas superconductoras 17, 17'. La cámara a vacío es de forma de disco. El acelerador de partículas 1 incluye un par de electrodos 27 o electrodos con forma de "D" que definen un hueco en la cámara a vacío para acelerar las partículas cargadas. En uso, se aplica un campo eléctrico alterno a los electrodos con forma de D, que, junto con el campo magnético generado por las bobinas del imán superconductor 17, 17' provoca que las partículas se aceleren en un trayecto espiral. El campo eléctrico acelera las partículas entre los electrodos con forma de D en la región del campo magnético, y se invierte a una frecuencia de ciclotrón para provocar que las partículas se muevan en un trayecto espiral. Se provoca que las partículas formen un haz y salgan por medio de la boquilla 6 dispuesta tangencialmente al acelerador de partículas.

30 Un tubo de conexión 27 se extiende por el yugo de hierro 15 para conectar las cámaras criogénicas asociadas con las bobinas con una unidad de recondensación 29 como se describe con más detalle a continuación.

40 De acuerdo con la invención, el acelerador de partículas comprende un sistema de refrigeración para refrigerar las bobinas superconductoras 17, 17', y que es eficaz aún mientras las bobinas 17,17' giran sobre su eje en la rotación del pórtico sobre el eje del pórtico. El sistema de refrigeración se describirá ahora con referencia a las figuras 6-8.

45 La figura 6 es una vista de sección transversal vertical tomada en la dirección axial de las bobinas. Esto corresponde a la dirección marcada 6-6 en la vista en perspectiva de la figura 13, que muestra en ensamblaje de la bobina. La figura 7 es una vista de sección transversal vertical tomada en la dirección transversal de la bobina 17. Esto corresponde a la línea 7-7 de la figura 13. La figura 8 es un detalle tomado en la región circular de la figura 7.

50 Se apreciará que la construcción del sistema en la región de la segunda bobina superconductora 17' es idéntica a la de la región de la bobina 17, y por tanto, la presente invención se describirá con en detalle con respecto a la primera bobina 17 y su sistema de refrigeración asociado. Las partes correspondientes del sistema con relación a la segunda bobina superconductora 17' se denotan con los mismos números de referencia, pero anotados con el símbolo de prima (" ' "). Por simplicidad, sólo están etiquetadas las principales características del sistema con respecto a la segunda bobina superconductora 17'.

60 La bobina 17 es una bobina superconductora de baja temperatura de titanio-niobio o estaño-niobio, materiales que se comportan como superconductores sólo por debajo de una temperatura crítica (aunque se prevé que se podría usar el sistema junto con otras bobinas superconductoras de temperatura mayor, que también se comportan como superconductores sólo por debajo de una determinada temperatura crítica). En el caso de titanio-niobio y estaño-niobio, las temperaturas de transición de superconductoras son de 10,1 K y 18,5 K, respectivamente. Para proporcionar un buen rendimiento, y poder transportar densidades de corriente grandes en presencia de campos magnéticos altos, las bobinas superconductoras fabricadas de estos materiales se deben refrigerar por debajo de las temperaturas de transición superconductoras. La bobina superconductora no está enrollada sobre cualquier mandril central, y está soportada sólo por el soporte de bobina externo 25 situado radialmente hacia fuera de la bobina. Está definida una cavidad 30 en el centro de la bobina anular 17 dentro de la que están situadas las otras partes del

acelerador de partículas mostrado en la figura 5, en uso.

La primera bobina superconductora 17 está montada en un rebajo que se extiende circunferencialmente 33 en la superficie radialmente interna del medio de soporte 25. La primera bobina superconductora 17 incluye una superficie radialmente más externa que está en contacto con la superficie interna del soporte de bobina externo 25. El soporte 25 está formado de un material no magnético de alta resistencia que tiene una baja conductividad térmica bajo temperaturas criogénicas, tales como acero inoxidable de un grado no magnético. El acero inoxidable tiene una conductividad térmica de alrededor de 0,2 W/m/K a temperaturas criogénicas. El soporte 25 es de la forma de un collar cilíndrico. La figura 7 muestra más claramente cómo el soporte 25 rodea circunferencialmente todo el perímetro de la bobina 17, que se extiende completamente alrededor del eje de la bobina. El soporte de la bobina 25 y la bobina tienen un eje común.

Está definida una cámara criogénica 32 en parte por el soporte 25. Se dispone la cámara criogénica 32 radialmente hacia fuera del soporte 25. Se dispone un canal rebajado 34 en la superficie externa del soporte 25. El canal rebajado 34 está espaciado radialmente de la superficie externa de la bobina superconductora por el soporte 25.

Una placa de cubierta 36 que se extiende circunferencialmente alrededor del soporte 25 está soldada a la superficie del soporte 25 en cada lado del canal 34 para cerrar el canal y definir la cámara que recibe el fluido criogénico 32. La placa de cubierta se muestra en la figura 6, pero se ha omitido de la figura 7 por claridad.

La figura 7 muestra más claramente que el canal 34 se extiende circunferencialmente alrededor de toda la circunferencia del soporte de la bobina 25 en la región correspondiente a la posición de la bobina superconductora 17 para proporcionar la cámara criogénica 32. En uso, como se muestra por la parte sombreada de la cámara 32 en la figuras 6 y 7, la cámara se llena con una cantidad de fluido criogénico, tal como helio líquido. La cámara se extiende todo alrededor de la circunferencia de la bobina y el soporte, y por tanto del eje de la bobina. De este modo, se proporciona una cámara cerrada 32 que se extiende circunferencialmente alrededor del soporte 25 y la bobina superconductora 17, que no está en contacto directo con la bobina superconductora, pero en cambio, está espaciada de ella por una parte del soporte de conductividad térmica baja 25. En una posición angular, la cámara 32 define un puerto 26 en comunicación fluida con un rebajo 28 en la boca del tubo de conexión 27 que conduce a la unidad de recondensación 29. La cámara criogénica 32' asociada con la bobina 17' incluye de forma similar un puerto 26' en una posición angular correspondiente que está en comunicación fluida con el tubo de conexión 27.

Puesto que el soporte 25 es de conductividad térmica baja, o puede no presentar ninguna de las propiedades de conductividad térmica, para proporcionar un trayecto de conducción térmica entre la bobina superconductora y el interior de la cámara criogénica 32, se proporciona el medio conductor altamente térmico 40. El medio conductor altamente térmico tiene una conductividad térmica a temperaturas criogénicas del orden de al menos 200 W/m/K a temperaturas criogénicas. Esto es significativamente mayor que la conductividad térmica de los materiales usados convencionalmente en la construcción de las partes estructurales de los sistemas superconductores, tales como, por ejemplo, acero inoxidable, aleación de aluminio o poliéster reforzado con vidrio, que, respectivamente, tienen conductividades térmicas a temperaturas criogénicas de alrededor de 0,2 W/m/K, 2 W/m/K y 0,01 W/m/K. En la realización preferente, el medio térmicamente conductor comprende cobre.

El medio conductor altamente térmico 40 comprende un miembro térmicamente conductor 42 que proporciona un trayecto térmicamente conductor continuo que enlaza la superficie expuesta de la bobina con la cámara criogénica. El miembro térmicamente conductor 42 está unido en un extremo a una superficie radialmente interna de la bobina superconductora 17 (véase la figura 6). El miembro térmicamente conductor 42 se extiende alrededor del extremo axial de la bobina 17 alrededor del soporte 25 a la cámara criogénica 32. En la realización ilustrada, el miembro térmicamente conductor 42 se extiende de forma continua alrededor de toda la circunferencia de la bobina 17. El miembro térmicamente conductor 42 está segmentado para evitar el riesgo de que el miembro térmicamente conductor pueda sufrir una corriente de Foucault grande y fuerzas asociadas en el caso de una desactivación del imán.

El miembro térmicamente conductor 42 termina en una pluralidad de clavijas circunferencialmente espaciadas 44 en el extremo de la cámara criogénica. Como se muestra más claramente en la figura 6, cada clavija 44 penetra en la placa de cubierta 36 y está conectada térmicamente a las otras clavijas por medio de un anillo de material conductor altamente térmico 38 unido a las clavijas. El anillo 38 comprende una pluralidad de secciones de material térmicamente conductor unidas entre sí alrededor de la circunferencia del dispositivo. La disposición de las clavijas 44, el anillo térmicamente conductor 38 y la cámara criogénica 32 se muestra con más detalle en la figura 8, que es un detalle en la región circular de la figura 7.

El anillo conductor altamente térmico 38 también está unido a la superficie interna de la placa de cubierta 36 que cierra la cámara criogénica 32. De esta manera, el anillo conductor altamente térmico 38 define una parte de la superficie interna de la cámara 32. El miembro conductor altamente térmico 42, las clavijas 44 y el anillo conductor altamente térmico 38 están todos formados de materiales conductores altamente térmicos, tales como cobre. Las clavijas 44 pueden estar soldadas por haz de electrones al anillo conductor altamente térmico 38. Los componentes del medio conductor altamente térmico son de conductividad térmica mayor que el soporte 25.

Como se puede observar más claramente en la figura 7, el medio térmicamente conductor 40 se extiende circunferencialmente alrededor de toda la circunferencia externa de la cámara criogénica 32, estando dispuesto radialmente hacia fuera de la misma, con las clavijas 44 penetrando en la placa de cubierta definiendo la pared externa de la cámara en puntos circunferencialmente espaciados. El anillo térmicamente conductor 38 que está dispuesto dentro de la cámara criogénica se extiende alrededor de toda la circunferencia interna del interior de la cámara criogénica. De esta manera, se puede transmitir calor desde cualquier parte de la bobina a cualquier parte del interior de la cámara criogénica, y el medio térmicamente conductor 40 puede distribuir calor desde una parte de la cámara criogénica adyacente a una parte de la bobina hasta una parte adyacente a otra parte de la bobina. En la práctica, aunque el fluido criogénico está situado sólo en la parte inferior de la cámara criogénica como se muestra en la figura 7, se puede transmitir calor desde partes de la bobina en las regiones superiores que no son adyacentes a una parte de la cámara criogénica que se llena con fluido criogénico hasta la parte inferior de la cámara, para que sea absorbido por el fluido criogénico para vaporizar el fluido criogénico por el medio térmicamente conductor.

Para facilitar la comprensión de la disposición de la bobina 17, el soporte 25, y el medio conductor altamente térmico 40, se describirá además el ensamblaje de los componentes entre sí con referencia a las figuras 9-13.

La figura 9 es una vista en perspectiva del soporte 25 antes de que las bobinas se monten en él, que muestra los rebajos internos 33, 33' en el interior del soporte 25 para recibir las bobinas 17, 17'. También se pueden observar los canales rebajados 34, 34' en la superficie externa del soporte 25 que definen las cámaras criogénicas 32, 32' con la placa de cubierta 36, 36'. Los rebajos 34 están dispuestos con puertos 26, 26' en una posición angular que están en comunicación con un rebajo 28 sobre el que se monta la boca del tubo de conexión 27 que conduce a la unidad de recondensación 29, en uso, para permitir que el fluido criogénico se mueva entre cada cámara criogénica 34, 34' y la unidad de recondensación 29, como se describe con más detalles a continuación.

La figura 10 ilustra el soporte mostrado en la figura 9 una vez que las bobinas 17, 17' se han montado en los rebajos 33, 33' respectivamente.

La figura 11 ilustra el ensamblaje de la figura 10 después de la unión de las placas de cubierta que se extienden circunferencialmente 36, 36' sobre la parte superior de los rebajos 34, 34' definiendo de este modo las cámaras criogénicas 32, 32'. Las clavijas térmicamente conductoras 44 se pueden observar penetrando en la placa de cubierta 36, 36' en una pluralidad de puntos circunferenciales. Las clavijas térmicamente conductoras 44 están unidas directamente al anillo térmicamente conductor 38 (no mostrado) al interior de la cámara criogénica. Se observará que el rebajo 28 que coopera con los puertos 26, 26' de cada cámara criogénica 32, 32' permanece expuesto para recibir la boca del tubo de conexión 27.

La figura 12 ilustra el ensamblaje de la figura 11 una vez que se han unido los miembros conductores altamente térmicos 42, 42' en sus respectivos extremos a las clavijas 44 y a la superficie expuesta de las bobinas 17, 17' para proporcionar un trayecto conductor altamente térmico entre las bobinas y el interior de la cámara criogénica. Los miembros conductores altamente térmicos 42, 42' se extienden alrededor de los extremos axiales de las bobinas.

Como se muestra en la figura 13, el tubo de conexión 27 que conduce a la unidad de recondensación 29 está unido sobre el rebajo 28 comunicando con los puertos 26, 26' de las cámaras criogénicas 32, 32'. De esta forma, la boca del tubo 27 está en comunicación fluida con el interior de las cámaras criogénicas 32, 32' para permitir que el fluido criogénico fluya entre la unidad de recondensación y las cámaras criogénicas.

Como se puede observar más claramente en las figuras 6, 7, y 13, la unidad de recondensación 29 comprende una pluralidad de superficies de refrigeración 43 conectadas a refrigeradores criogénicos 46 que incluyen un fluido de trabajo para permitir que el fluido criogénico vaporizado que ha pasado desde las cámaras criogénicas por el tubo 27 hasta la unidad de recondensación 29 se recondense antes de caer por goteo por el tubo de conexión 27 dentro de las cámaras criogénicas 32, 32' bajo la influencia de la gravedad. Las superficies de recondensación se mantienen a una temperatura inferior al punto de ebullición del fluido criogénico próximo, por ejemplo, conectándose mecánica y térmicamente a la etapa más fría de un refrigerador criogénico. El tubo de conexión 27 está estrechado hacia la unidad de recondensación para promover el movimiento del fluido criogénico de vuelta hacia la cámara criogénica bajo la influencia de la gravedad. Como muestra la figura 5, el tubo de conexión 27 se extiende por el yugo de hierro del acelerador de partículas para permitir que la unidad de recondensación 29 esté situada en una región de campo bajo, lo que reduce el riesgo de interferencia del acelerador de partículas con su funcionamiento. El tubo de conexión 27 tiene una longitud L de alrededor de 1 m. Esto corresponde con la distancia a la que las superficies de recondensación 43 están situadas desde el puerto a la cámara criogénica. Esto también reduce el riesgo de que las unidades de recondensación interfieran con el funcionamiento del acelerador de partículas. El tubo de conexión 27 está aislado térmicamente de las temperaturas ambiente por una disposición convencional de espacio a vacío, revestimientos intermedios y aislamiento de multicapas.

La construcción del sistema de refrigeración se ha ilustrado con respecto a una disposición en la que la unidad de recondensación es vertical, es decir, correspondiente con su posición en la figura 1, o la posición A de la figura 2. Sin embargo, el sistema está dispuesto de modo que aún se pueda hacer funcionar para refrigerar la bobina aún si

gira 90 grados en cualquier dirección desde su posición, por ejemplo, a la posición B o C como se muestra en la figura 2, de desde la posición E hasta la posición D o F en la figura 3. Por lo tanto, la presente invención permite que el acelerador de partículas gire 180 grados con la correspondiente rotación de la bobina sobre su eje sin interferir con el funcionamiento del sistema de refrigeración. Se observará que en la disposición de la figura 3, el tubo de

5 recondensación está dispuesto para que sea vertical cuando el acelerador de partículas está situado de modo que el haz está horizontalmente hacia fuera, en lugar de cuando el haz se mueve verticalmente hacia dentro como en la figura 2 para permitir que el fluido criogénico vuelva a la cámara criogénica bajo la acción de la gravedad mientras la bobina gira.

10 En uso, el fluido criogénico está situado en la cámara criogénica 32, 32' para llenar parcialmente la cámara hasta un nivel que no es más de un 50 % de la altura de la cámara. Esto se ilustra en la figura 7. Como ilustra la figura 14, cuando el sistema gira 90 grados desde la posición inicial A o E mostrada en la figura 6, a la posición B/F o la posición C/D (que se refieren a las correspondientes posiciones en la figuras 2 o 3), el fluido criogénico fluirá dentro de la cámara hasta volver a su propio nivel. Esto es posible porque la cámara criogénica se extiende una distancia

15 suficiente alrededor de la circunferencia de la bobina para permitir que el fluido criogénico fluya de esta forma, y porque el fluido criogénico no llena completamente la cámara. La posición del fluido criogénico en la cámara se ilustra esquemáticamente por la sombra en la figura 14. Mientras la bobina gira sobre su eje 180 grados entre las posiciones B/F y C/D por medio de la posición A/E, el fluido criogénico puede continuar volviendo a la cámara criogénica bajo la acción de la gravedad una vez se recondensa. El estrechamiento del tubo de conexión de la

20 unidad de recondensación 27 facilita la vuelta del fluido criogénico a la cámara criogénica aún cuando el eje del tubo es horizontal como en las posiciones B/F y C/D.

Se apreciará que el medio conductor altamente térmico actúa para distribuir calor en toda la cámara criogénica 32, por ejemplo por medio del anillo conductor 38 entre las partes de la cámara criogénica que están en contacto con el

25 fluido criogénico y las partes que no lo están aún mientras el sistema gira 180 grados para proporcionar una refrigeración eficaz.

El funcionamiento del sistema para refrigerar la bobina 17, 17' se describirá ahora. Un fluido criogénico líquido, tal como helio líquido está situado en la cámara criogénica 32, 32' como se ilustra esquemáticamente en las figuras 6 y

30 7, que muestran el fluido criogénico como un área sombreada. El fluido criogénico líquido se llena inicialmente hasta alrededor de un 50 % de la altura de la cámara criogénica. En uso, la bobina superconductora 17 se hace funcionar mientras se usa el acelerador de partículas 1 para proporcionar un haz de salida 9 para su dirección hacia el objetivo T. El acelerador de partículas 1 está situado inicialmente en la posición A, y el fluido criogénico, en consecuencia, está situado en la cámara con relación a la unidad de recondensación como se muestra en la figura 14, A. Mientras

35 se hace funcionar el acelerador de partículas, se genera calor en las bobinas 17, 17'. También se puede perder calor dentro de las bobinas desde varias fuentes cuando se enfría. Se transfiere calor por conducción térmica desde alrededor de toda la circunferencia de la bobina por medio del medio conductor altamente térmico 40 al interior de la cámara criogénica 17. Se conduce calor desde alrededor de la circunferencia de la bobina por el miembro conductor altamente térmico 42, y se transfiere alrededor del soporte de la bobina 25 a las clavijas 44 penetrando en la cámara

40 criogénica. Las clavijas 44 transfieren el calor al anillo térmicamente conductor interno 38 que se extiende alrededor del interior de la cámara criogénica. Por lo tanto se puede suministrar calor liberado en una parte de la cámara criogénica a otras partes de la cámara por el anillo conductor 38. De esta forma, incluso el calor generado en regiones superiores de la bobina, que no son radialmente adyacentes a una parte de la cámara criogénica 32 que contiene fluido criogénico líquido, se puede distribuir a otras partes de la cámara criogénica que sí contienen fluido

45 criogénico líquido por el medio térmicamente conductor. Como resultado del medio conductor altamente térmico 40, aún se puede transmitir calor al fluido criogénico en una cámara criogénica a pesar de la presencia del soporte estructural de baja conductividad sustancial 25 que está interpuesto entre la bobina y la cámara criogénica.

El calor que alcanza el fluido criogénico líquido en la cámara provoca que el fluido criogénico se vaporice. El fluido

50 criogénico vaporizado se mueve hacia arriba en la dirección de las flechas en 5 y 6 por difusión hacia el puerto 26 en la boca 28 del tubo 27 que conduce a la unidad de recondensación 29. El fluido criogénico fluye en contacto con la superficie de recondensación y se enfría, recondensándose de este modo. El fluido criogénico recondensado cae por goteo en el tubo 27 y se mueve bajo la influencia de la gravedad de nuevo dentro de la cámara criogénica 32. La bobina 17' se refrigera de la misma manera.

55 El método es el mismo mientras el pórtico gira para girar el acelerador de partículas y su bobina hasta la posición B o C mostrada en la figura 2 para suministrar el haz de partículas al objetivo T desde una dirección diferente. El fluido criogénico fluye a una posición diferente como se muestra en la figura 14, pero el funcionamiento del sistema de refrigeración no cambia. El funcionamiento es similar si el acelerador de partículas se mueve entre las posiciones D, E y F como se muestra en la figura 3.

60

De esta manera, se retira calor de la bobina superconductora por vaporización y recondensación del fluido criogénico aún cuando la bobina gira, en uso. Se apreciará que se transfiere calor lejos de la bobina por dos

65 mecanismos. El calor se desplaza desde la bobina al fluido criogénico en la cámara criogénica durante la distancia relativamente corta entre ellas por un método de conducción por medio del medio térmicamente conductor. El mecanismo usado para transferir calor desde la cámara criogénica a la unidad de recondensación es un mecanismo

de difusión, actuando el propio fluido criogénico como medio de transferencia térmica. La unidad de recondensación puede estar situada a cualquier distancia deseada de la bobina usando las tuberías apropiadas. De esta manera, la unidad de recondensación puede estar situada de modo que esté fuera de la región que se puede someter a interferencia debido a cualquier campo magnético producido por la bobina superconductora, u otras partes del acelerador de partículas en uso. El uso del fluido criogénico como medio de transferencia de calor para transferir calor desde la cámara criogénica a la unidad de recondensación sobre su parte relativamente más larga del trayecto de transporte de calor entre la bobina y la unidad de recondensación puede evitar el problema de que se presenten gradientes de temperatura significativos, como se puede experimentar si se usan conductores sólidos. Además, el uso de helio vaporizado como medio de transferencia de calor puede dar como resultado un sistema significativamente menos voluminoso, y hace posible el transporte de calor durante distancias más grandes de lo que sería realista en la práctica usando un conductor térmico. A modo de ejemplo, para conducir 2 W de calor sobre una distancia de 1 m, donde existe una diferencia de temperatura de 0,5 K sobre la longitud del trayecto se requeriría, por un cálculo ilustrativo aproximado, un enlace térmico de cobre sólido con una conductividad de 600 W/m/K, teniendo un diámetro de alrededor de 100 mm y una masa del orden de 60 Kg. La masa del conductor requerido es proporcional al cuadrado de la distancia implicada. Se apreciará que la cámara criogénica está próxima a la bobina superconductora en las realizaciones de la invención, y sólo se requiere que la conducción térmica tenga lugar durante un intervalo corto. Se ha descubierto que el uso de fluido criogénico líquido como medio de transferencia de calor también puede proporcionar un mejor aislamiento de la vibración entre la unidad de recondensación y la bobina superconductora.

Puesto que la bobina superconductora no necesita estar sumergida en un baño o fluido criogénico como en las disposiciones convencionales, el soporte puede estar situado en el exterior de la bobina como se muestra en la realización ilustrada. Por ejemplo, se puede reforzar la bobina con un cuello rígido sobre su superficie externa si se desea. Esto puede permitir que la bobina funcione en condiciones más extremas que una bobina enrollada convencionalmente sobre un mandril u otro soporte interno, y que se refrigere por un baño de helio situado alrededor de su superficie exterior.

Puesto que las bobinas no están soportadas por una primera interna ni rodeadas por un baño de helio, se pueden fabricar más compactas, lo que incrementa su eficacia, y reduce la cantidad de superconductor requerida para generar un campo magnético deseado. Esto permite que se logren reducciones en el tamaño y el peso del acelerador de partículas, lo que incrementa la facilidad con la se puede montar en un soporte para su rotación, y proporciona un sistema que se puede instalar en un espacio más pequeño y a un menor coste. Esto hace que el sistema sea adecuado para su uso para proporcionar tratamiento en localizaciones más pequeñas y más amplias, tales como hospitales de distrito.

Además, en contraste con las disposiciones de tipo inmersión convencionales, se requiere que esté situada una cantidad relativamente pequeña de fluido criogénico en la cámara criogénica, y la propia cámara criogénica se puede reducir en tamaño para proporcionar una disposición más eficaz en espacio. Esto es debido a que se puede transportar calor desde todas las regiones de la bobina usando elementos térmicamente conductores a la cámara criogénica rápidamente, y sin pérdidas significativas, y se puede distribuir calor dentro de la cámara criogénica para garantizar que se maximice la cantidad suministrada a ese fluido criogénico que se proporciona.

El circuito de fluido criogénico, es decir, la cámara criogénica, el tubo y la unidad de recondensación, puede estar sellado, de modo que en todo el ciclo de funcionamiento, que incluye enfriamiento, calentamiento y cualquier desactivación que se pueda producir, el circuito contiene una cantidad fija de sustancia criogénica. El circuito sellado puede incorporar un recipiente de expansión para acomodar un volumen incrementado de fluido criogénico a temperatura ambiente. En otras realizaciones, el circuito sellado puede ser de volumen constante, y puede estar diseñado para soportar la presión adicional del fluido criogénico cuando se calienta hasta temperatura ambiente.

Puesto que la cantidad de fluido criogénico situado en el sistema es relativamente pequeña, en el caso de que se produzca cualquier desactivación, es decir, que la bobina cambie desde un estado superconductor a un estado de resistencia, convirtiendo su energía magnética en calor, y provocando la vaporización de la mayoría o de todo el fluido criogénico, se puede reducir la cantidad de vapor liberado, hasta el punto de que se pueda liberar de forma segura al entorno, o recogerse para su reutilización. Puesto que es probable que los fluidos criogénicos, tales como helio líquido, lleguen a ser recursos relativamente escasos, es ventajosa la capacidad para hacer funcionar un sistema usando una cantidad más pequeña de helio y que permita que se recicle el helio.

El sistema puede incluir un depósito para contener el fluido criogénico vaporizado que se va a recondensar cuando los niveles de evaporación de fluido criogénico exceden los niveles de recondensación, por ejemplo durante la orientación inicial del imán superconductor.

Se ha descubierto que la presente invención puede tratar determinados requisitos conflictivos que pueden surgir cuando se diseña un sistema de refrigeración para un acelerador de partículas giratorio. La invención puede permitir una refrigeración fiable de las bobinas superconductoras hasta una temperatura baja y estable aún mientras giran. Esto permite que se usen materiales superconductores de menor temperatura en las bobinas, lo que genera campos magnéticos relativamente más grandes por unidad de masa, lo que hace posible que disminuya el tamaño total del

5 acelerador de partículas facilitando el montaje en el soporte, por ejemplo, pórtico. Cuanto más baja sea la temperatura de funcionamiento de las bobinas, menor será la cantidad de cable necesario para usar en las bobinas, y mejor será el rendimiento de las bobinas. El sistema hace esto sin basarse en la inmersión de las bobinas en fluido criogénico, lo que incrementa de forma no deseada la mayor parte del sistema, y puede eliminar cualquier ahorro de espacio/peso logrado de otro modo usando bobinas superconductoras. Esto también se logra sin basarse únicamente en la refrigeración de la conducción, evitando los límites prácticos que surgen como el de la distancia a la que pueden estar situados los refrigeradores criogénicos u otro aparato de recondensación del acelerador de partículas y las bobinas. De esta forma, la unidad de recondensación puede estar situada relativamente lejos de la bobina, en una región de campo bajo, y donde se pueda reducir la interferencia entre la bobina / acelerador de partículas y la unidad de recondensación.

10 Al evitar la necesidad de tener un contacto directo entre el fluido criogénico y las bobinas, la presente invención permite que las bobinas que soporten de forma externa. Esto permite que se logren reducciones adicionales en el tamaño de las bobinas, ya que no es necesario que se soporten a sí mismas. La presente invención proporciona una mayor flexibilidad en el diseño del soporte de la bobina. En las realizaciones de la invención, las bobinas pueden soportar campos relativamente altos si se soportan de forma externa, sin degradar significativamente el rendimiento. El soporte externo es ventajoso al resistir las fuerzas magnéticas que tratan de expandirse en la bobina en uso. Por ejemplo, el cable superconductor puede incorporar cobre para potenciar la estabilidad del cable frente a la desactivación. Sin embargo, el cobre es relativamente débil, y los campos magnéticos altos pueden dar como resultado niveles inaceptablemente altos de tensión generados en los bobinados, lo que puede provocar una deformación suficiente para degradar el rendimiento como superconductor. Por tanto, en muchos casos es deseable reforzar las bobinas, en particular las destinadas a producir campos altos como se desea en el contexto de un acelerador de partículas montado en soporte. Al permitir que se logren reducciones de tamaño en la bobina y el sistema de refrigeración, la presente invención puede proporcionar un sistema que puede incorporar algo de refuerzo en la bobina y que aún sea adecuado para el montaje en el pórtico/soporte.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema que comprende:

5 un soporte (2), y

un acelerador de partículas (1) montado en el soporte para producir un haz de salida (9) de partículas cargadas en uso, comprendiendo el acelerador de partículas al menos una bobina superconductora anular (17) para generar un campo magnético en uso;

10 comprendiendo además el sistema un medio para refrigerar la bobina superconductora en uso;

15 en el que el sistema está dispuesto de modo que el acelerador de partículas (1) es movable para cambiar la dirección del haz de salida en uso, en el que el acelerador de partículas es giratorio para permitir el movimiento del haz de salida por medio de un arco en uso, y en el que el medio de refrigeración se puede hacer funcionar para refrigerar la bobina superconductora mientras la bobina gira sobre su eje en dicho movimiento del acelerador de partículas en uso;

20 en el que el medio de refrigeración comprende:

una cámara criogénica (32) situada próxima a la al menos una bobina superconductora para contener el fluido criogénico en uso, y

25 una unidad de fluido criogénico de recondensación (29) en comunicación fluida con la cámara criogénica (32), donde el fluido criogénico vaporizado puede fluir desde la cámara criogénica a la unidad de fluido criogénico de recondensación para recondensarse en uso antes de volver a la cámara criogénica;

30 caracterizado porque el medio de refrigeración comprende además el medio térmicamente conductor (40) dispuesto para facilitar la transferencia de calor desde la al menos una bobina superconductora (17) a la cámara criogénica (32) para vaporizar el fluido criogénico contenido en la misma en uso y de este modo retirar calor de la al menos una bobina superconductora, el medio térmicamente conductor es un conductor altamente térmico a temperaturas criogénicas; y

35 en el que el medio de refrigeración que incluye la cámara criogénica (32), la unidad de recondensación (29) y el medio térmicamente conductor está dispuesto para girar con la bobina (17) mientras la bobina gira sobre su eje.

40 2. El sistema de la reivindicación 1 en el que el soporte (2) está dispuesto para que sea giratorio sobre un eje de rotación del soporte, y el acelerador de partículas está montado en el soporte de modo que girará con el soporte sobre el eje de rotación del soporte en uso.

45 3. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el soporte es un pórtico (2), giratorio sobre un eje de rotación horizontal.

50 4. El sistema de cualquier reivindicación anterior en el que el sistema es un sistema para suministrar tratamiento con partículas cargadas, y en el que el sistema comprende además un soporte del paciente (7), y el sistema está dispuesto de modo que el haz de salida pueda ser incidente sobre un objetivo en la región del soporte del paciente desde direcciones diferentes mientras el acelerador de partículas se mueve en uso.

55 5. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el medio conductor altamente térmico (40) está dispuesto para proporcionar un trayecto directo de conducción térmica entre una superficie de la bobina superconductora (17) y el interior de la cámara criogénica (32).

60 6. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el medio conductor altamente térmico (40) está dispuesto de modo que puede conducir calor desde una parte de la cámara criogénica (32) que no contiene fluido criogénico en uso a una parte de la cámara criogénica (32) que sí contiene fluido criogénico en uso mientras la bobina gira sobre su eje en uso.

65 7. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que la cámara criogénica (32) tiene una extensión circunferencial sobre el eje de la al menos una bobina superconductora (17), y está situado axialmente y/o radialmente adyacente a la al menos una bobina superconductora (17), y rodea circunferencialmente al menos de forma parcial la al menos una bobina superconductora (17).

8. El sistema de cualquier reivindicación anterior en el que la cámara criogénica (32) se extiende circunferencialmente al menos un 50 % alrededor del eje de la al menos una bobina superconductora (17).

9. E sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema está dispuesto de modo que el fluido

criogénico recondensado puede volver a la cámara criogénica (32) bajo la influencia de la gravedad.

- 5 10. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema comprende además el medio de soporte externo (25) para soportar la bobina , el medio de soporte rodea circunferencialmente al menos de forma parcial la bobina , en el que el medio de soporte está situado entre la bobina superconductora y la cámara criogénica.
11. El sistema de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el medio conductor altamente térmico (40) tiene una conductividad térmica mayor que el medio de soporte de bobina externo (25).
- 10 12. El sistema de la reivindicación 10 o la reivindicación 11 en el que la cámara criogénica (32) está definida en parte por el medio de soporte de bobina externo (25).
- 15 13. El sistema de cualquier reivindicación anterior, que comprende además fluido criogénico en la cámara criogénica (32), y en el que la cámara contiene fluido criogénico líquido que llena la cámara criogénica hasta un nivel de menos de un 50 % de la altura de la cámara.
- 20 14. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el medio de refrigeración se puede hacer funcionar para refrigerar la bobina mientras la bobina gira en un ángulo de al menos 90 grados con el movimiento del acelerador de partículas (1).
- 25 15. Un método de funcionamiento de un sistema de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, comprendiendo el método proporcionar un fluido criogénico en la cámara criogénica (32), y hacer funcionar la bobina superconductora (17), por lo que se conduce calor desde la bobina superconductora por el medio conductor altamente térmico (40) a la cámara criogénica (32) para vaporizar el fluido criogénico en ella y de este modo retirar calor de la bobina, fluyendo el fluido criogénico vaporizado a la unidad de recondensación para recondensarse antes de volver a la cámara criogénica.

Fig.1.

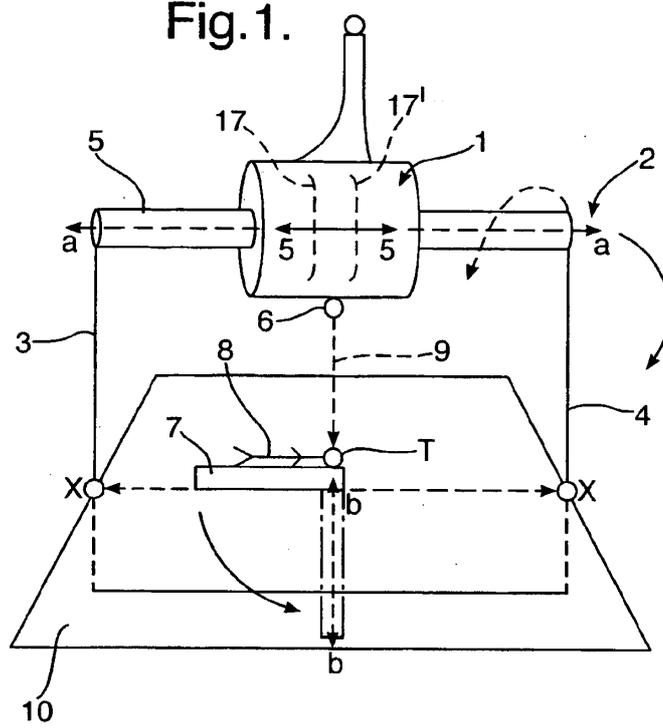


Fig.2.

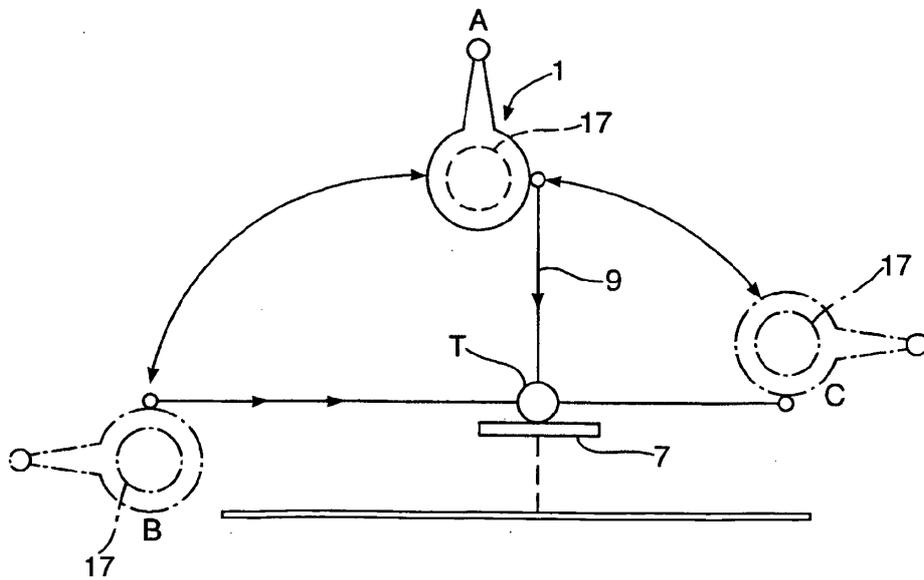


Fig.3.

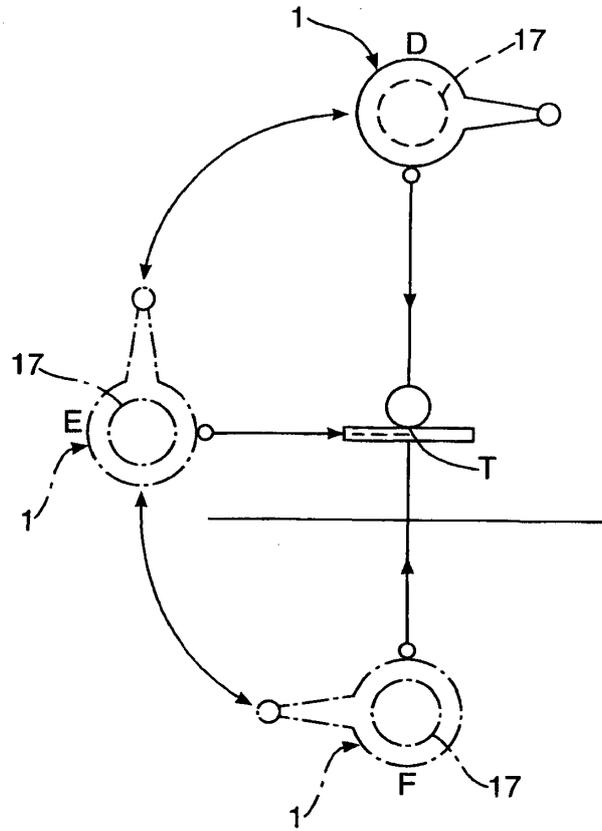


Fig.4A.

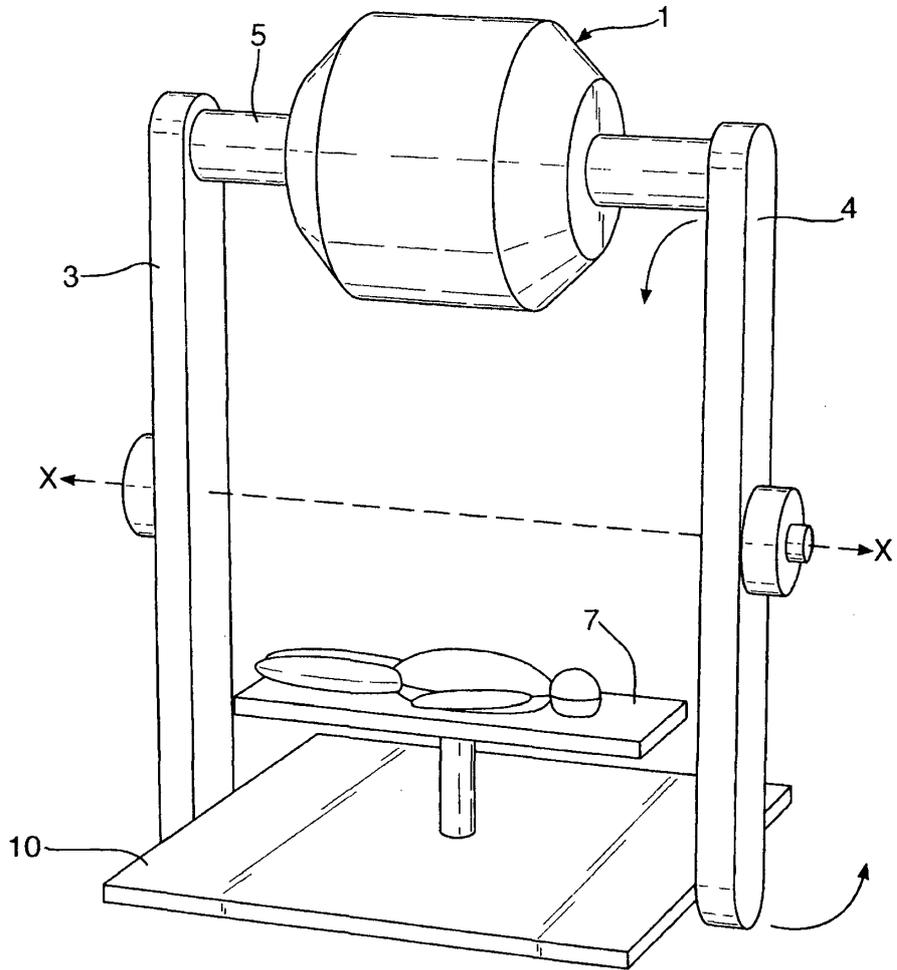


Fig.4B.

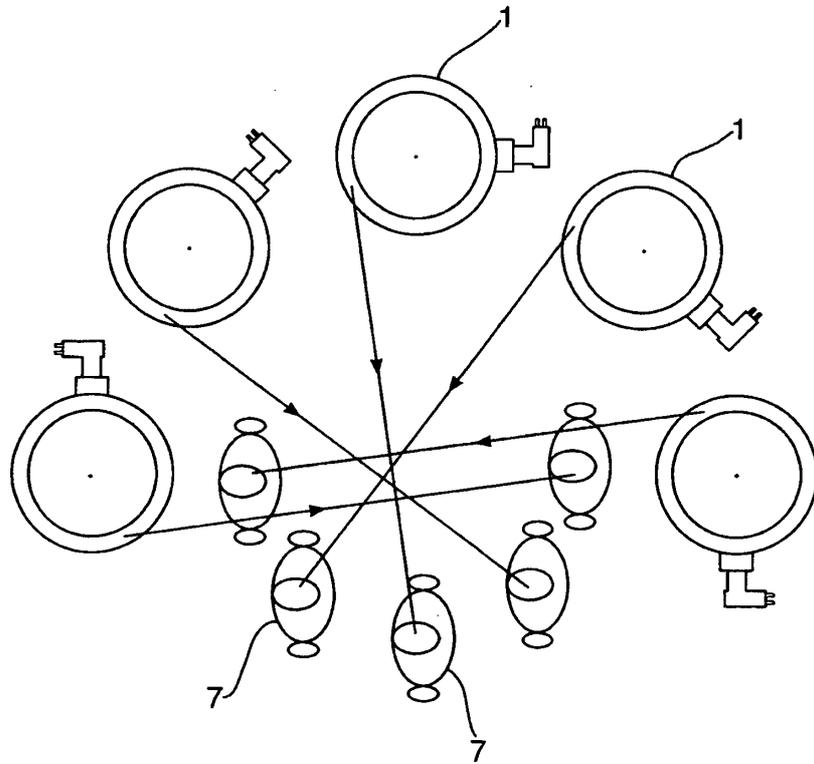


Fig.5.

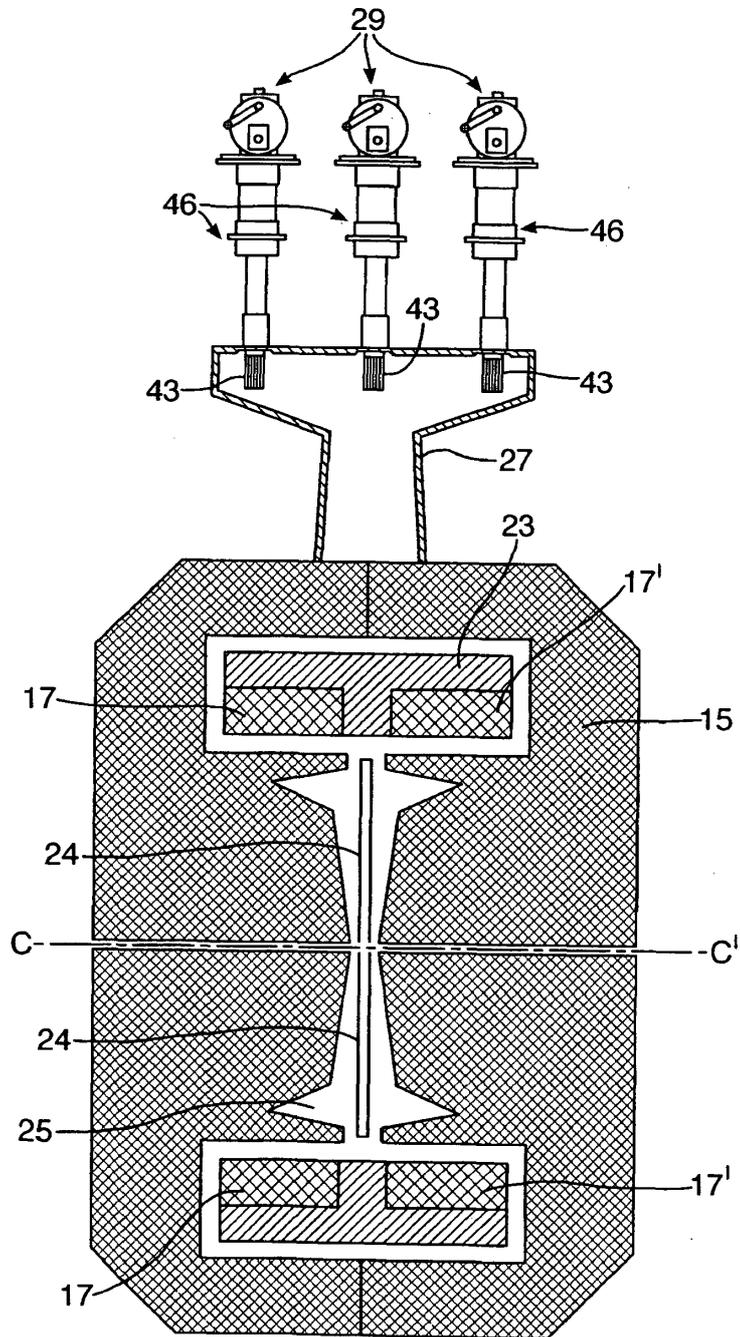
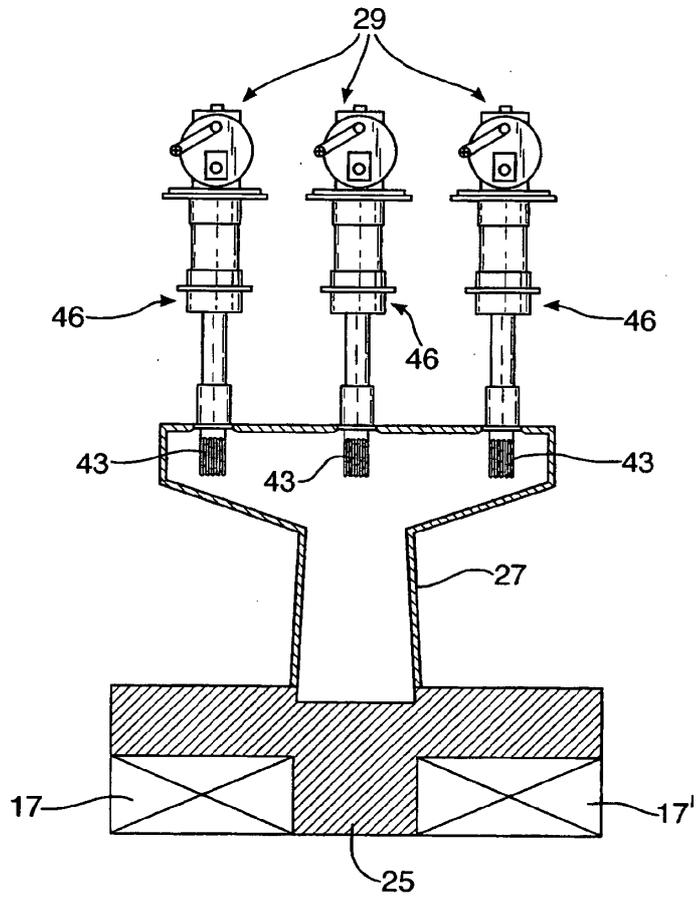


Fig.6.



C ← → C

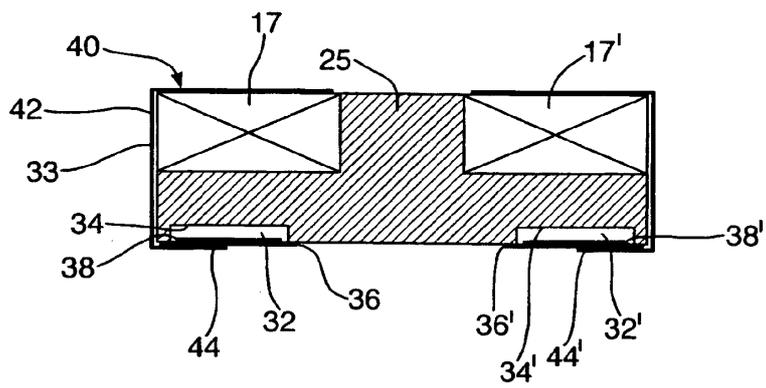


Fig.7.

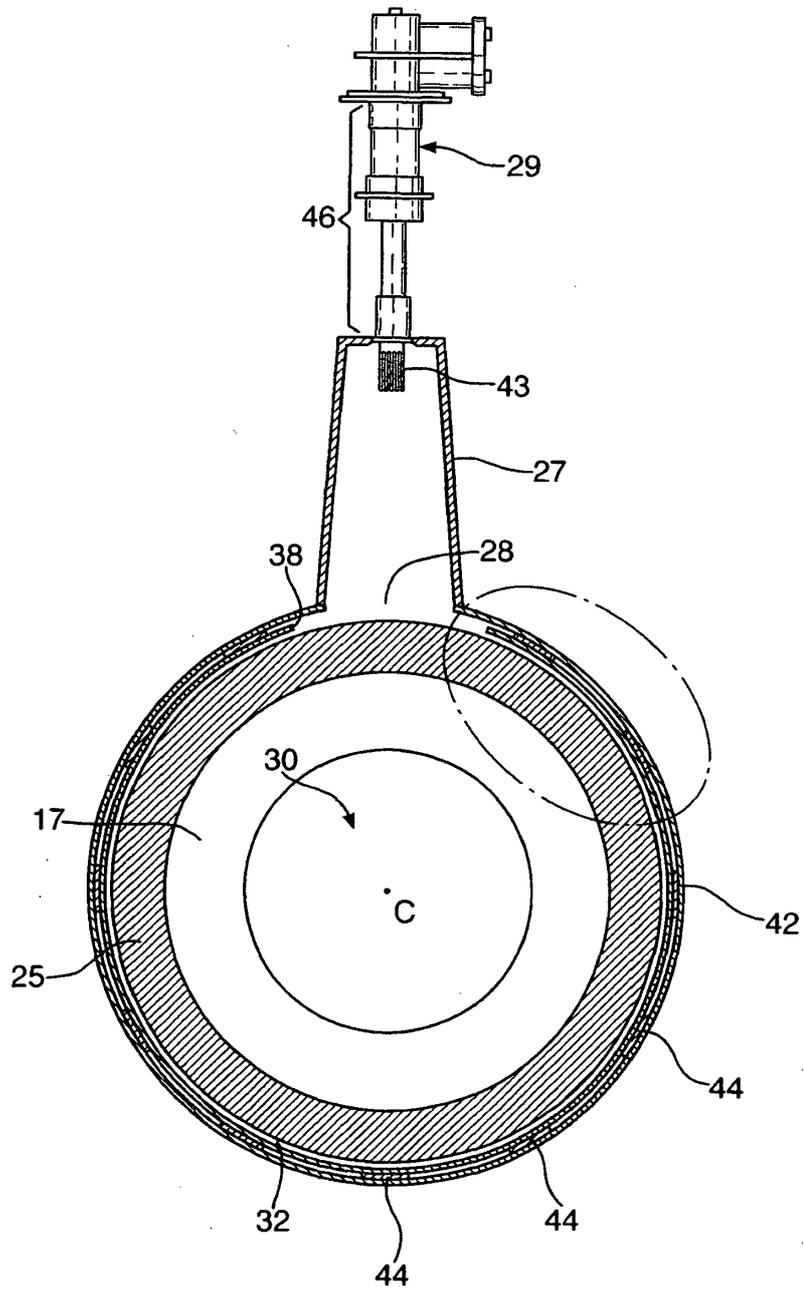


Fig.8.

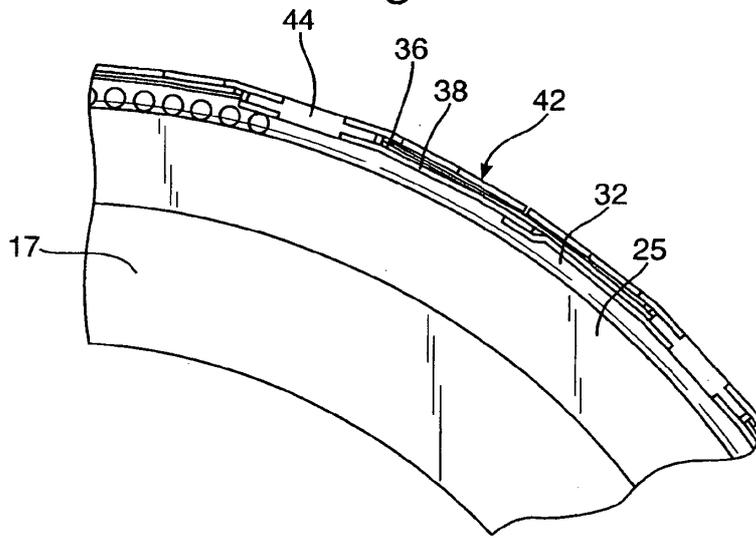


Fig.9.

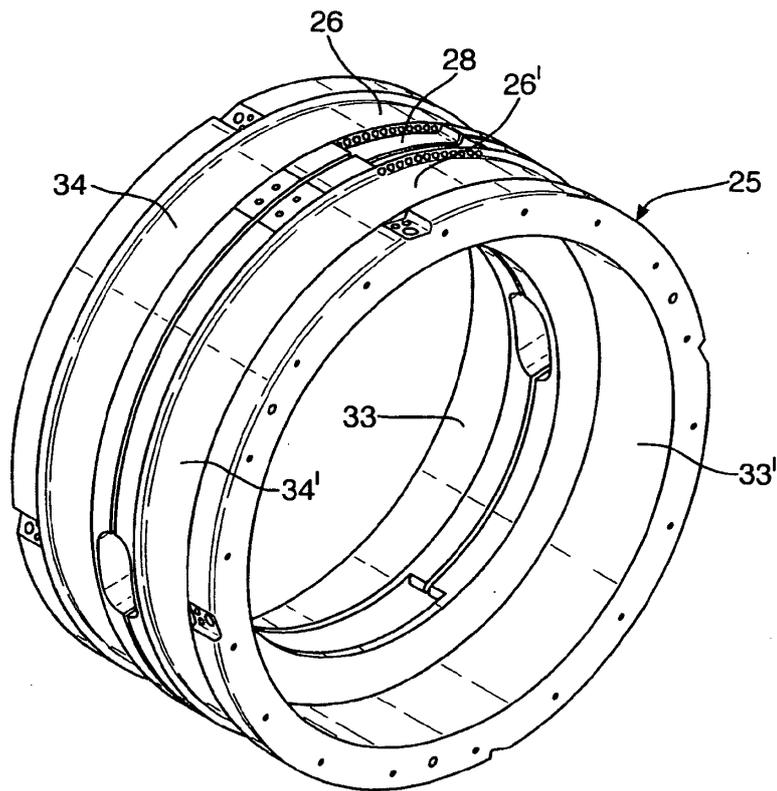


Fig.10.

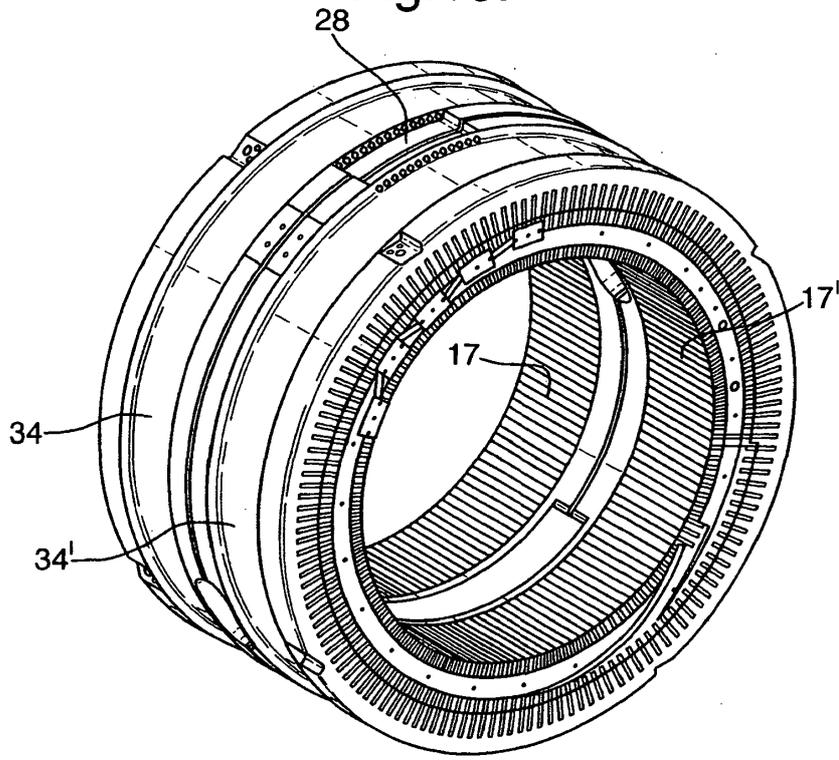


Fig.11.

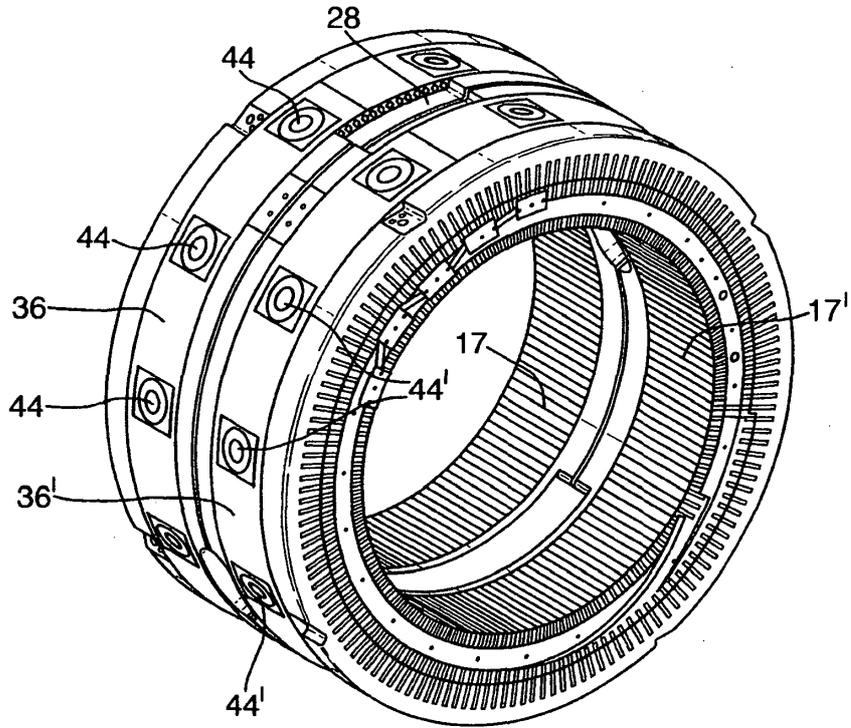


Fig.12.

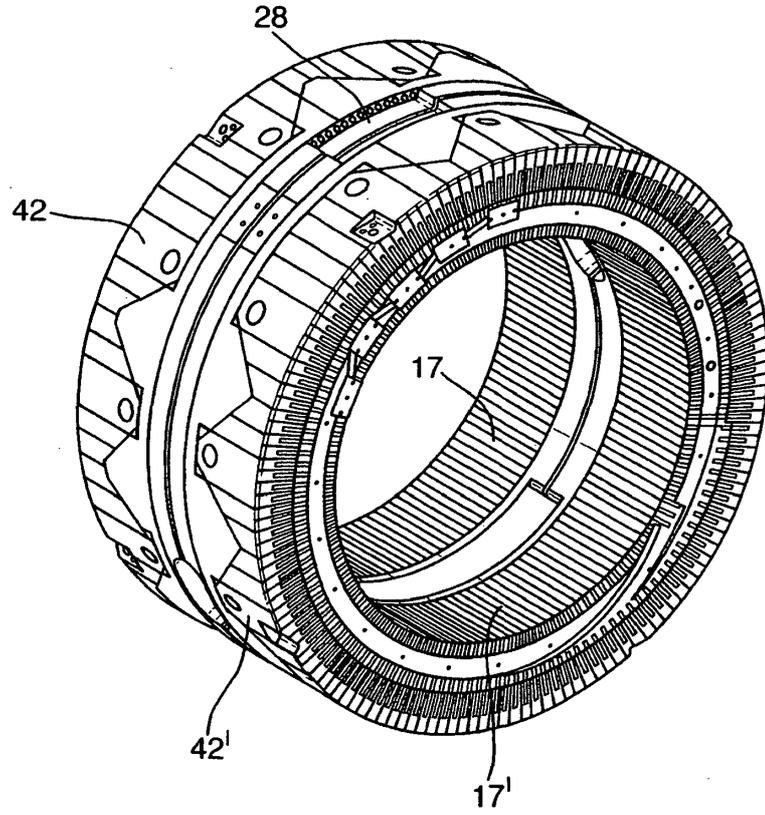


Fig.13.

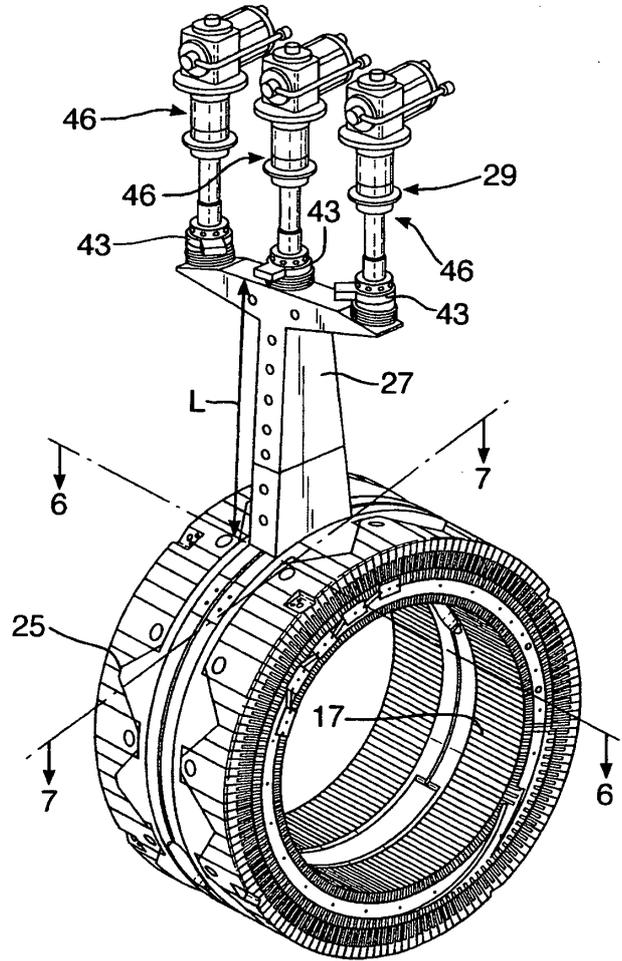


Fig.14.

