

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 031**

51 Int. Cl.:

A61N 5/10 (2006.01)

G21K 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.10.2010 PCT/EP2010/065707**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.04.2011 WO11048088**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.10.2010 E 10766060 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.09.2016 EP 2490765**

54 Título: **Pórtico que comprende un analizador de haz para su uso en terapia de partículas**

30 Prioridad:

23.10.2009 EP 09173989

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

10.03.2017

73 Titular/es:

ION BEAM APPLICATIONS (100.0%)

Chemin du Cyclotron, 3

1348 Louvain-la-Neuve, BE

72 Inventor/es:

JONGEN, YVES

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 605 031 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

Pórtico que comprende un analizador de haz para su uso en terapia de partículas

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un aparato de terapia de partículas cargadas usado para terapia de radiación. Más particularmente, esta invención se refiere a un pórtico giratorio diseñado para recibir un haz de partículas cargadas en una dirección sustancialmente a lo largo de un eje de rotación del pórtico, para transportar y suministrar dicho haz a un objetivo a ser tratado.

Estado de la técnica

10 La radioterapia que hace uso de partículas cargadas (por ejemplo, protones, iones de carbono, etc.) ha demostrado ser una técnica de terapia de radiación precisa y conformal en la que puede suministrarse una alta dosis a un volumen objetivo mientras se minimiza la dosis a los tejidos sanos circundantes. En general, un aparato de terapia de partículas comprende un acelerador que produce partículas energéticas cargadas, un sistema de transporte de haz para guiar el haz de partículas a una o más salas de tratamiento y, para cada sala de tratamiento, un sistema de suministro de haz de partículas. Pueden distinguirse dos tipos de sistemas de suministro de haz, sistemas de suministro de haz fijos que suministran el haz al objetivo desde una dirección de irradiación fija y sistemas de suministro de haz giratorios capaces de suministrar un haz al objetivo desde múltiples direcciones de irradiación. Dicho sistema de suministro de haz giratorio se denomina además pórtico. El objetivo se posiciona generalmente en una posición fija definida por el cruce del eje de rotación del pórtico y el eje central del haz de tratamiento. Este punto de cruce se denomina isocentro y los pórticos de este tipo capaces de suministrar haces desde varias direcciones al isocentro se denominan pórticos isocéntricos.

15 El sistema de suministro de haz de pórtico comprende dispositivos para conformar el haz para adaptarlo al objetivo. Hay dos técnicas principales usadas en la terapia de haz de partículas para conformar el haz de: las técnicas de dispersión de haz pasivas más comunes y las técnicas de radiación dinámica más avanzadas. Un ejemplo de una técnica de radiación dinámica es la denominada técnica de exploración con haz filiforme (Pencil Beam Scanning, PBS). En PBS, un haz filiforme estrecho es desplazado magnéticamente para realizar una exploración a lo largo de un plano ortogonal al eje central del haz. La conformidad lateral en el volumen objetivo se obtiene mediante un control adecuado de los imanes de exploración. La conformidad de profundidad en el volumen objetivo se obtiene mediante un control adecuado de la energía del haz. De esta manera, una dosis de radiación de partículas puede ser suministrada a todo el volumen 3D objetivo.

20 Las energías necesarias del haz de partículas para tener una profundidad de penetración suficiente en el paciente dependen del tipo de las partículas usadas. Por ejemplo, para la terapia de protones, las energías de los haces de protones están comprendidas típicamente entre 70 MeV y 250 MeV. Para cada profundidad de penetración requerida, debe variarse la energía del haz. La dispersión de energía del haz debería limitarse ya que esta influye directamente sobre la denominada caída de dosis distal.

25 Sin embargo, no todos los tipos de aceleradores pueden variar la energía. Para los aceleradores de energía fija (por ejemplo, un ciclotrón isócrono fijo), típicamente se instala un sistema de selección de energía (Energy Selection System, ESS) entre la salida del acelerador y la sala de tratamiento, tal como se muestra en las Figuras 1, 2 y 3. Dicho un sistema de selección de energía es descrito por Jongen et al. en "The proton therapy system for the NPTC: equipment description and progress report", Nuc. Instr. Meth. In Phys. Res. B 113 (1996) 522-525. La función del sistema de selección de energía (ESS) es transformar el haz de energía fija extraído desde el ciclotrón (por ejemplo, 230 MeV o 250 MeV para los protones) en un haz que tiene una energía variable entre la energía fija del ciclotrón a una energía mínima requerida (por ejemplo 70 MeV para los protones). El haz resultante debe tener una energía absoluta, una dispersión y una emitancia de energía verificadas y controladas.

30 El primer elemento del ESS es un degradador de energía de carbono que permite degradar la energía colocando elementos de carbono de un espesor determinado a través de la línea del haz. Dicho un degradador de energía se describe en la patente EP1145605. Como resultado de esta degradación de energía, hay un aumento en la emitancia y la dispersión de energía del haz. El degradador es seguido por rendijas de emitancia para limitar la emitancia del haz y por un dispositivo de análisis y de selección de momento o energía para restaurar (es decir, para limitar) la dispersión de energía en el haz.

35 Un diseño de dicho un sistema 10 de selección de energía conocido se muestra en la Fig. 1 junto con un acelerador 40 estacionario, de energía fija (en este ejemplo un ciclotrón). Después del degradador y las rendijas limitadoras de emitancia, el haz pasa a través de una deflexión acromática de 120° compuesta por dos grupos de dos deflexiones de 30°. Para cumplir con la especificación para la caída distal, la dispersión de momento o la dispersión de energía en el haz son limitadas por una rendija colocada en el centro de la deflexión. El haz es enfocado por medio de cuadrupolos antes de la deflexión y entre los dos grupos de dos imanes de deflexión de 30° de manera que la anchura de emitancia

del haz sea pequeña y la dispersión sea grande en la posición de la rendija.

Toda la línea del haz, desde el degradador 41 de energía hasta el isocentro 50 de tratamiento, forma un sistema óptico que es acromático, es decir, un sistema óptico de haz que tiene propiedades de formación de imágenes independientes del momento (sin dispersión) e independientes de su posición transversal. La línea de haz puede ser dividida en múltiples secciones y cada sección se forma a sí misma como acromática. Tal como se muestra en la Fig. 2, la primera sección es el ESS 10 seguido por una sección de línea de haz acromática que lleva el haz hasta el punto de entrada de una sala de tratamiento. En el caso de una sala de tratamiento de pórtilo, este punto de entrada es el punto de entrada o punto de acoplamiento del pórtilo 15 giratorio. De esta manera, la línea de haz de pórtilo forma una tercera sección de línea de haz acromática. En el caso de una configuración de terapia de partículas con una única sala de tratamiento, tal como se muestra en la Fig. 3, la línea de haz comprende dos secciones de línea de haz acromáticas: una primera sección es el ESS 10 que lleva el haz hasta el punto de entrada del pórtilo y la segunda sección acromática se corresponde con la línea de haz del pórtilo 15 giratorio. En el punto de entrada del pórtilo, el haz debe tener la misma emitancia en X e Y con el fin de tener una solución óptica de haz de pórtilo que sea independiente del ángulo de rotación del pórtilo. Los ejes X e Y son perpendiculares entre sí y a la trayectoria del haz central. El eje X está en el plano de curvatura de los imanes dipolares.

Una desventaja del uso de dicho un degradador y analizador de energía es que este dispositivo requiere un área de espacio relativamente grande tal como se muestra en la Fig. 1 y, por lo tanto, se requiere un gran espacio en el edificio. La instalación de un ESS resulta también en un coste de equipo adicional.

La presente invención tiene como objetivo proporcionar una solución para superar al menos parcialmente los problemas de la técnica anterior. Un objetivo de la presente invención es proporcionar un aparato de terapia de partículas cargadas que tenga un tamaño reducido y que pueda ser construido a un costo reducido en comparación con el aparato de terapia de partículas de la técnica anterior.

Sumario de la invención

La presente invención se expone y se caracteriza en las reivindicaciones adjuntas.

En las configuraciones de terapia de partículas de la técnica anterior, tal como se muestra por ejemplo en las Figuras 1 a 3, las funcionalidades de limitación de dispersión del momento (o dispersión de la energía, que es equivalente) y la emitancia del haz son realizadas por un dispositivo separado, concretamente, con el sistema 10 de selección de energía (ESS), que está instalado entre el acelerador 40 estacionario y el pórtilo 15 giratorio. Tal como se muestra en la Fig. 1, un primer elemento del ESS es un degradador 41 de energía que se usa para degradar la energía del haz de partículas del acelerador 40 de energía fija.

Además, el documento WO2005/102453-A1 describe un pórtilo giratorio según el preámbulo de la reivindicación 1.

Con la presente invención, se proporciona un sistema de suministro de haz de pórtilo giratorio que tiene una configuración de línea de haz de pórtilo que cumple múltiples funciones:

- La función conocida de transportar, desviar y conformar un haz de partículas entrante de manera que un haz de tratamiento de partículas pueda ser suministrado a un isocentro de tratamiento de pórtilo para su uso en terapia de partículas;
- La función adicional de limitar la dispersión de energía del haz de partículas entrante a un valor máximo seleccionado.

Con la presente invención, la funcionalidad del ESS de limitar la dispersión de energía o la dispersión de momento del haz a un valor seleccionado es realizada por el propio sistema de pórtilo. Por lo tanto, pueden reducirse el tamaño y el costo de una instalación de terapia de partículas.

En el contexto de la presente invención, la dispersión de momento se define como la desviación estándar de los momentos de las partículas en una ubicación determinada y se expresa como un porcentaje del momento promedio de todas las partículas en esta ubicación. Independientemente de la ubicación de los medios para limitar la dispersión de momento en el pórtilo, estos medios están diseñados preferiblemente para limitar dicha dispersión de momento al 10%, más preferiblemente al 5%, y todavía más preferiblemente al 1% del momento promedio de todas las partículas.

Preferiblemente, el pórtilo cumple también una segunda función adicional de limitar la emitancia de haz transversal del haz de partículas entrante a un valor máximo seleccionado, lo que reduce adicionalmente el coste y el tamaño de la instalación de terapia de partículas.

Más preferiblemente, el pórtilo según la invención comprende también un colimador instalado entre el punto de entrada del pórtilo y un primer imán cuadrupolar en el pórtilo. Este colimador se usa para reducir la emitancia del haz antes de que el haz llegue al primer imán en la línea de haz del pórtilo.

En una realización preferida alternativa, el colimador indicado anteriormente está instalado fuera del p \acute{o} rtico, es decir, entre el degradador de energ \acute{a} y el punto de entrada del p \acute{o} rtico.

Seg \acute{u} n la invenci \acute{o} n, se proporciona tambi \acute{e} n un aparato de terapia de part \acute{i} culas que comprende un acelerador de part \acute{i} culas estacionario, un degradador de energ \acute{a} y un p \acute{o} rtico giratorio que tiene medios para limitar la dispersi \acute{o} n de momento del haz. Preferiblemente, dicho p \acute{o} rtico comprende tambi \acute{e} n medios para limitar la emitancia del haz.

5

De manera alternativa, se proporciona un aparato de terapia de part \acute{i} culas que comprende un acelerador de part \acute{i} culas estacionario, un degradador de energ \acute{a} , un p \acute{o} rtico giratorio que comprende medios para limitar la dispersi \acute{o} n de momento del haz y un colimador instalado entre dicho degradador de energ \acute{a} y dicho p \acute{o} rtico para limitar la emitancia del haz. M \acute{a} s preferiblemente, dicho p \acute{o} rtico comprende medios adicionales para limitar la emitancia del haz.

10 Breve descripci \acute{o} n de los dibujos

La Fig. 1 muestra una representaci \acute{o} n de un sistema de selecci \acute{o} n de energ \acute{a} conocido para su uso con un ciclotr \acute{o} n de energ \acute{a} fija.

La Fig. 2 muestra una disposici \acute{o} n t \acute{i} pica de una configuraci \acute{o} n de l \acute{i} nea de haz de terapia de part \acute{i} culas conocida.

La Fig. 3 muestra una representaci \acute{o} n esquem \acute{a} tica de una disposici \acute{o} n conocida de una configuraci \acute{o} n de terapia de part \acute{i} culas con una \acute{u} nica sala.

15

La Fig. 4 muestra esquem \acute{a} ticamente una realizaci \acute{o} n ejemplar de un dispositivo seg \acute{u} n la invenci \acute{o} n.

La Fig. 5 muestra los resultados del c \acute{a} lculo \acute{o} ptico del haz para un p \acute{o} rtico ejemplar seg \acute{u} n la invenci \acute{o} n.

La Fig. 6 muestra los resultados del c \acute{a} lculo \acute{o} ptico del haz para otra configuraci \acute{o} n de p \acute{o} rtico ejemplar seg \acute{u} n la invenci \acute{o} n.

20 Descripci \acute{o} n detallada de las realizaciones preferidas

La presente invenci \acute{o} n se describir \acute{a} ahora en detalle con relaci \acute{o} n a los dibujos adjuntos. Sin embargo, es evidente que una persona con conocimientos en la materia puede concebir diversas realizaciones equivalentes u otras maneras de ejecuci \acute{o} n de la presente invenci \acute{o} n. Los dibujos descritos son solamente esquem \acute{a} ticos y no limitativos. En los dibujos, el tama \acute{n} o de algunos de los elementos puede estar exagerado y no dibujado a escala para prop \acute{o} sitos ilustrativos.

Una configuraci \acute{o} n de terapia de part \acute{i} culas ejemplar seg \acute{u} n la invenci \acute{o} n se muestra en la Fig. 4. En este ejemplo, el p \acute{o} rtico giratorio seg \acute{u} n la invenci \acute{o} n est \acute{a} acoplado con un acelerador 40 de part \acute{i} culas estacionario, de energ \acute{a} fija, para formar un aparato 100 de terapia de part \acute{i} culas con una \acute{u} nica sala. Un ejemplo de un acelerador de part \acute{i} culas para protones es un sincrociclotr \acute{o} n superconductor que tiene una geometr \acute{a} a compacta (por ejemplo con un radio de extracci \acute{o} n de 1,2 m). El p \acute{o} rtico seg \acute{u} n la invenci \acute{o} n est \acute{a} instalado en la sala de p \acute{o} rtico y una pared de blindaje (por ejemplo, una pared de hormig \acute{o} n de 1,7 m de espesor) separa la sala de p \acute{o} rtico de la sala de acelerador. Hay instalado un degradador 41 de energ \acute{a} entre el acelerador 40 y un punto 45 de entrada (punto de acoplamiento) del p \acute{o} rtico. Este degradador 41 de energ \acute{a} est \acute{a} posicionado en el interior de la sala de acelerador justo frente a la pared 52 de blindaje que separa la sala de acelerador de la sala de p \acute{o} rtico. El punto 45 de entrada del p \acute{o} rtico est \acute{a} situado despu \acute{e} s del degradador 41 y es una ventana de entrada para la l \acute{i} nea del haz del p \acute{o} rtico. Esta ventana 45 de entrada es la primera parte de una secci \acute{o} n de l \acute{i} nea del haz de p \acute{o} rtico en la que el haz est \acute{a} entrando en el p \acute{o} rtico en una direcci \acute{o} n sustancialmente a lo largo del eje de rotaci \acute{o} n del p \acute{o} rtico. El eje de rotaci \acute{o} n del p \acute{o} rtico se indica mediante una l \acute{i} nea de puntos y trazos horizontal que pasa a trav \acute{e} s del isocentro 50 y el punto 45 de entrada. Tal como se muestra en la Fig. 4, no hay ning \acute{u} n dispositivo analizador de momento o de energ \acute{a} instalado entre el degradador y el punto de entrada del p \acute{o} rtico, como es el caso en los sistemas de la t \acute{e} cnic a anterior (Figuras 1 a 3).

25

30

35

De manera similar a las configuraciones de la t \acute{e} cnic a anterior mostradas en las Figuras 1 a 3, hay una secci \acute{o} n de l \acute{i} nea de haz corta entre la salida del acelerador y el degradador 41, en la que por ejemplo hay instalados dos imanes 44 cuadrupolares para transportar y enfocar el haz en un peque \acute{n} o punto (por ejemplo, entre 0,5 mm y 2 mm desviaci \acute{o} n t \acute{i} pica un sigma) en el degradador de energ \acute{a} . El degradador 41 de energ \acute{a} es, por ejemplo, un cilindro de material degradante de espesor variable, giratorio, controlado de manera autom \acute{a} tica y ajustable r \acute{a} pidamente, (tal como se describe en el documento EP1145605). La distancia entre la salida del acelerador y el degradador puede ser de aproximadamente 2 m. Pueden usarse tambi \acute{e} n otros tipos de sistemas de energ \acute{a} , por ejemplo, pueden usarse tambi \acute{e} n degradadores basados en formas de cu \acute{n} a que se mueven lateralmente.

40

45

El degradador de energ \acute{a} usado actualmente por el solicitante tiene en su entrada un dispositivo de supervisi \acute{o} n del perfil del haz horizontal-vertical integrado que permite medir el tama \acute{n} o y la posici \acute{o} n del punto de haz y, mediante un algoritmo del sistema de control, medios para el ajuste autom \acute{a} tico de la \acute{o} ptica de haz aguas arriba. Por lo tanto, el haz en el degradador 41 puede ser bien definido, por ejemplo, el haz se enfoca en una peque \acute{n} a cintura (radio m \acute{i} nimo del haz o "waist" en ingl \acute{e} s) con una semi-anchura no superior a 2 mm en ambos planos. Con estas condiciones del haz de

50

5 entrada, la emitancia de salida del haz degradado en energía está dominada por la dispersión múltiple en el degradador y es relativamente independiente de las condiciones de entrada. El haz resultante después de la degradación de energía puede considerarse como un haz divergente desde una cintura virtual en X e Y en el degradador con un tamaño y una divergencia determinados. Los dos ejes X e Y de coordenadas ortogonales son perpendiculares (transversales) a la trayectoria del haz central. Las emitancias en X e Y (denominadas también "emitancias transversales") pueden ser consideradas como sustancialmente idénticas en este punto. Cuanto mayor sea la reducción de energía introducida por el degradador, mayor será la emitancia transversal en X e Y, y mayor será la dispersión de momento del haz degradado.

10 La realización de la invención es una configuración de pórtico que comprende medios 43 para limitar la dispersión de momento del haz entrante. Un haz que entra al pórtico comprende partículas que tienen un valor de momento y una dispersión de momento promedio.

Para limitar la dispersión de momento del haz entrante, hay instaladas un par de rendijas 43 de análisis de momento en el pórtico.

15 Estas rendijas 43 de análisis de momento están situadas en una posición a lo largo de la trayectoria del haz en la que las partículas del haz son dispersadas según su momento.

Más particularmente, estas rendijas están instaladas en una posición en la que la dispersión nominal es mayor que el tamaño de haz nominal. La dispersión nominal se define como un desplazamiento transversal de una partícula cuyo momento difiere un 1% (uno por ciento) de un momento P promedio de todas las partículas del haz. El tamaño nominal del haz se define como el valor de tamaño del haz desviación típica un sigma en X de un haz de partículas monoenergéticas que tienen el momento P promedio. Supóngase que la dispersión nominal es de 2,5 cm: esto significa que una partícula que tiene un momento $P' = 1,01.P$ será desplazada 2,5 cm en X con relación a una partícula que tiene momento P. En este ejemplo, una partícula que tiene un momento $P' = 0,99.P$ se desplazará también 2,5 cm en X, pero con una coordenada X con un signo opuesto.

20 Las rendijas limitadoras de momento pueden estar instaladas, por ejemplo, en una posición en la que el tamaño nominal del haz en X es de entre 0,2 cm y 1 cm y la dispersión nominal en X es de entre 1 cm y 3 cm. Abriendo o cerrando las rendijas, puede obtenerse la dispersión de momento máxima requerida (seleccionada). Por ejemplo, puede seleccionarse limitar la dispersión de momento máxima al 0,5% del momento promedio ajustando las rendijas correspondientemente. Si se desea limitar la dispersión de momento máxima al 0,4% del momento promedio, entonces deben cerrarse más las dos rendijas de momento. Para este propósito, puede establecerse una deflexión de calibración, que define la abertura de la rendija como una función de la dispersión de momento necesaria.

25 En la configuración de la Fig. 4, la dispersión nominal es grande en comparación con el tamaño del haz en una posición entre el imán cuadrupolar número siete y el segundo imán 48 dipolar del pórtico y, por lo tanto, esta es una posición preferida para instalar las rendijas limitadoras de dispersión de momento. Estas rendijas pueden ser instaladas, por ejemplo, justo antes del segundo imán 48 dipolar. La posición exacta puede variar dependiendo de la configuración detallada del pórtico.

30 En lugar de usar un par de rendijas como medio para reducir la dispersión de momento del haz, pueden usarse también otros medios. Por ejemplo, pueden usarse aberturas o colimadores con diferentes diámetros que pueden ser colocados en la línea del haz, preferiblemente en las posiciones descritas anteriormente.

35 En el ejemplo mostrado en la Fig. 4, se presenta un pórtico para suministrar haces de exploración al isocentro 50 de tratamiento y la línea de haz de este pórtico comprende tres imanes 47,48, 49 dipolares y siete imanes 44 cuadrupolares. En esta configuración de pórtico, los imanes 46 de exploración están instalados aguas arriba del último imán 49 dipolar. Entre el punto 45 de entrada del pórtico y el primer imán dipolar y entre el primer imán dipolar y el segundo imán dipolar hay, respectivamente, dos y cinco imanes cuadrupolares.

40 Preferiblemente, además de los medios 43 para limitar la dispersión de momento del haz, pueden instalarse también en el pórtico 15 medios 42 para limitar la emitancia transversal del haz. Para este propósito, pueden instalarse por ejemplo dos pares de rendijas (en X e Y) que limitan la divergencia del haz entre el segundo imán cuadrupolar y el primer imán 47 dipolar. Por lo tanto, al limitar la divergencia del haz, se limita la emitancia transversal del haz, que es proporcional a la divergencia del haz. Los primeros dos cuadrupolos instalados en el pórtico entre el punto 45 de entrada y el primer imán 47 dipolar sirven para enfocar el haz divergente, proveniente del degradador, antes de que el haz alcance las rendijas limitadoras de divergencia. El grado de reducción necesario de la emitancia del haz dependerá de la máxima emitancia que puede aceptar el pórtico para transportar de manera eficiente el haz y dependerá también de los requisitos del haz en el isocentro de tratamiento (tal como, por ejemplo, el tamaño de haz requerido en el isocentro de tratamiento). Las emitancias de haz y los tamaños de haz aceptables pueden depender de la técnica usada para la conformación del haz (por ejemplo, exploración de haz filiforme o dispersión pasiva). El ejemplo proporcionado en la Fig. 4 es para un sistema de suministro de haz de exploración. Para un sistema de exploración de

45

50

55

- protones con haz filiforme, la emitancia puede ser limitada, por ejemplo, a $7,5 \pi$ mm mrad tanto en X como en Y. A efectos prácticos de ajuste del haz, justo en frente, aguas abajo, de las rendijas limitadoras de divergencia o de emitancia, puede instalarse un dispositivo de supervisión de perfil del haz (no mostrado en la Fig. 4). En lugar de usar un par de rendijas en X e Y como medios para reducir la divergencia del haz, pueden usarse también otros medios. Por ejemplo, pueden usarse aberturas o colimadores con diferentes diámetros que pueden ser colocados en la línea del haz.
- Si la reducción de energía del haz es muy grande (por ejemplo, reducción de protones de 250 MeV a 70 MeV), la emitancia y la divergencia del haz se hace muy grande y el diámetro del haz, justo antes del primer imán cuadrupolar en el pórtico, puede llegar a ser mayor que el diámetro de la tubería de la línea de haz. Con este propósito, puede instalarse además un colimador (no mostrado en la Fig. 4) aguas arriba del primer imán cuadrupolar en el pórtico 15 para cortar ya una parte del haz. Este colimador puede instalarse en el pórtico 15 entre el punto 45 de entrada y el primer imán cuadrupolar del pórtico. De manera alternativa, dicho un colimador puede ser instalado fuera del pórtico, es decir, entre el degradador y el punto 45 de entrada del pórtico 15. Cuando dicho un colimador para limitar la emitancia del haz se instala en cualquiera de las dos posiciones indicadas anteriormente, en una realización alternativa del pórtico, pueden omitirse los medios 42 para limitar la emitancia.
- Cuando un haz de partículas choca con las rendijas limitadoras de divergencia y/o de momento, se producen neutrones. Para limitar la radiación de neutrones en el nivel del isocentro 50 de tratamiento, donde está posicionado el paciente, es necesario proporcionar un blindaje adecuado. Debido a que los neutrones son emitidos principalmente en la dirección del haz, puede instalarse justo después del primer imán dipolar, a través del eje de rotación del pórtico, un tapón 51 de blindaje contra neutrones para proporcionar un blindaje contra los neutrones producidos sobre los medios para limitar la emitancia del haz instalados aguas arriba del primer imán 47 dipolar. Debido a que los neutrones son emitidos principalmente en la dirección del haz, los neutrones producidos en las rendijas 43 limitadoras de momento no se dirigen hacia el paciente. No obstante, puede instalarse un blindaje local contra neutrones (no mostrado en la Fig. 4) alrededor de las rendijas 43 limitadoras de momento con el fin de reducir la radiación de fondo de neutrones global.
- Con el fin de no sobrecargar la Fig. 4, se han omitido a propósito los detalles de la construcción mecánica del pórtico. Los ejemplos de dichos elementos mecánicos no mostrados en la Fig. 4 son: dos rodamientos de rodillos esféricos para hacer girar el pórtico al menos 180° alrededor del paciente, un sistema de accionamiento y de frenado de pórtico, una estructura de tambor para soportar un carrete de cable, un contrapeso necesario para equilibrar el pórtico durante el giro, etc.
- Cuando se diseña un pórtico para terapia de partículas, deben cumplirse condiciones ópticas del haz. En el punto 45 de entrada de pórtico, el haz debe tener parámetros de emitancia idénticos en X y en Y con el fin de tener una solución óptica de haz de pórtico que sea independiente del ángulo de rotación del pórtico. Tal como se ha descrito anteriormente, estas condiciones se cumplen de manera natural cuando el degradador de energía se coloca justo frente al punto de entrada del pórtico. Además, deben cumplirse las siguientes condiciones ópticas del haz:
1. El sistema óptico de haz de pórtico debe ser doble acromático, es decir, las propiedades de formación de imágenes del haz deben ser independientes del momento (sin dispersión) e independientes de la posición.
 2. Preferiblemente, el tamaño máximo del haz (desviación típica un sigma) en el interior de los cuadrupolos no debería ser mayor de 2 cm con el fin de mantener una eficiencia de transmisión razonable en el pórtico.
- También hay una tercera condición que, sin embargo, puede variar dependiendo de la técnica usada para la conformación del haz, tal como se ha descrito anteriormente. Para un sistema de exploración, esta tercera condición puede describirse como sigue:
3. En el isocentro 50, el haz debe tener una cintura pequeña, de tamaño sustancialmente idéntico en X e Y.
- Para un sistema de dispersión, los tamaños de haz requeridos pueden ser especificados más aguas arriba del isocentro (por ejemplo, en la salida del último imán de deflexión) y los tamaños de haz aceptables para la dispersión son en general más grandes que para la exploración (por ejemplo 1 cm en la salida del último imán de deflexión)
- Además de estas tres condiciones (1 a 3), se introducen nuevos requisitos derivados de la presente invención:
4. En la posición de las rendijas 43 limitadoras de dispersión de energía, la dispersión nominal en X debería ser preferiblemente grande en comparación con el tamaño de haz nominal en X (para ejemplos de valores, véase la descripción anterior).
- Preferiblemente, un pórtico según la invención comprende también medios para limitar la emitancia del haz. Esto resulta en un requisito adicional:
5. En la posición de las rendijas 42 limitadoras de emitancia, el haz debe tener parámetros ópticos de haz

(tamaño y divergencia) en X e Y que permitan cortar la divergencia. Esto significa, por ejemplo, que el haz debe tener un tamaño razonable (por ejemplo, de 0,5 cm a 2 cm, desviación típica un sigma).

La configuración de pórtilo mostrada en la Fig. 4 se basa en un estudio óptico de haz realizado con el código de óptica "TRANSPORT" (plataforma gráfica de transporte PSI de U. Rohrer basada en una versión CERN-SLAC-FERMILAB por K. L. Brown et al.). Las envolventes de haz en X e Y en la línea de haz de pórtilo para un haz de protones entrante de 170 MeV se muestran en la Fig. 5 como un ejemplo. Las envolventes de haz se grafican para la dirección X y la dirección Y en el panel inferior y el panel superior, respectivamente. En este ejemplo, la emitancia del haz final es de 12,5 pi mm mrad. Esto corresponde a una situación en la que la divergencia del haz entrante ha sido limitada a 6 mrad en X e Y. El haz transportado a través del sistema puede ser considerado entonces como un haz que comienza en el degradador con un pequeño punto de haz de 1,25 mm y una divergencia de 6 mrad. Con esta óptica de haz, se obtiene un tamaño de haz de 3,2 mm en el isocentro de tratamiento (desviación típica un sigma), que es un valor adecuado para realizar un exploración de haz filiforme. Las posiciones de los imanes cuadrupolares y los imanes dipolares se muestran en la Fig. 5. Las posiciones transversales de los imanes dipolares (los espacios libres verticales) no se muestran a escala en esta figura y el propósito de esto es simplemente el de indicar su posición a lo largo de la trayectoria central. Especialmente, los espacios libres en X e Y del último imán 49 de deflexión son mucho más grandes que en la escala de la Fig. 5 ya que se necesita una gran abertura debido a que los imanes de exploración están posicionados aguas arriba de este imán dipolar y debe cubrirse un gran área de exploración en el isocentro. La posición de los imanes de exploración a lo largo de la trayectoria del haz está indicada por una línea vertical. La línea de puntos representa la dispersión nominal en X del haz. Tal como se muestra, justo antes del segundo imán 48 dipolar, se obtiene un gran valor nominal de dispersión y esta es la posición en la que se instalan preferiblemente las rendijas 43 limitadoras de momento. La posición a lo largo de la trayectoria de haz central de las rendijas 43 limitadoras de momento se indica mediante una línea vertical en la Fig. 5. El tamaño de haz nominal en X en las rendijas limitadoras de momento es de aproximadamente 0,23 cm, mientras que la dispersión nominal en X en esta posición es de aproximadamente 2,56 cm, obteniendo por lo tanto una buena separación de momento del haz incidente. Preferiblemente, se usan también rendijas 42 limitadoras de divergencia. Una buena posición para estas rendijas 42 se indica en la Fig. 5 mediante una línea vertical. En esta posición, el tamaño de haz en X e Y es de aproximadamente 1,8 cm y 0,6 cm, respectivamente. Esta solución óptica de haz presentada cumple las condiciones de un doblete acromático.

En el ejemplo mostrado en la Fig. 4 y la Fig. 5, se usó una configuración de pórtilo con tres dipolos con ángulos de deflexión de dipolo de 36°, 66° y 60° respectivamente. Sin embargo, la invención no se limita a una configuración de pórtilo específica en lo que se refiere al número de dipolos o ángulos de deflexión de los dipolos. La invención tampoco está limitada ni al número de imanes cuadrupolares ni a las posiciones relativas de los cuadrupolos con respecto a los imanes dipolares.

Como un segundo ejemplo, la invención se ha aplicado a un pórtilo cónico, de gran recorrido, con dos dipolos. Esta corresponde a la configuración de pórtilo mostrada en la Fig. 2 y la Fig. 3. Estos pórticos de gran recorrido han sido construidos por el presente solicitante y ha sido descritos por Pavlovic en "Beam-optics study of the gantry beam delivery system for light-ion cancer therapy", Nucl. Instr. Meth. In Phys. Res. A 399 (1997) en la página 440. En estos pórticos, un primer imán dipolar de 45° desvía el haz lejos del eje de rotación del pórtilo y, a continuación, el haz sigue además una segunda sección de línea de haz recta antes de entrar al segundo imán dipolar de 135° que desvía y dirige el haz de manera esencialmente perpendicular al eje de rotación. La sección de línea de haz recta entre el punto de entrada del pórtilo y el primer imán dipolar de 45° comprende, en el diseño de pórtilo original, cuatro imanes cuadrupolares (la Fig. 2 es una configuración que tiene sólo dos imanes cuadrupolares instalados en esta sección de línea de haz), y la segunda sección recta entre el primer imán dipolar y el segundo imán dipolar comprende cinco imanes cuadrupolares. Con este pórtilo, la distancia entre la salida del último imán de deflexión y el isocentro de tratamiento es de 3 m y los elementos de conformación de haz configurados en una denominada boquilla están instalados aguas arriba del último imán de deflexión. Esta boquilla usa la técnica de dispersión pasiva o la técnica de exploración para conformar el haz según el objetivo de tratamiento. Los imanes de exploración son parte de la boquilla y, por tanto, están instalados aguas abajo del último imán dipolar del pórtilo.

Se ha realizado un análisis óptico de haz para esta configuración de pórtilo de dos dipolos. Se han respetado las mismas condiciones y requisitos descritos anteriormente. Las envolventes de haz resultantes en este pórtilo se muestran en la Fig. 6 para un haz de protones de 160 MeV. Las envolventes de haz se grafican para la dirección X y la dirección Y en el panel inferior y el panel superior, respectivamente. Las posiciones a lo largo de la trayectoria de haz central del imán 67 dipolar de 45°, el imán 68 dipolar de 135° y los diversos imanes 44 cuadrupolares se indican en la Fig. 6. También aquí, el degradador de energía está instalado justo antes de la ventana de entrada del pórtilo y, como un ejemplo, en este cálculo la divergencia se cortó a 8 mrad y la emitancia del haz final es de 10 pi mm mrad tanto en X como en Y. Tal como se muestra en la Fig. 6, la envolvente de haz comienza en la ventana de entrada del pórtilo y el haz tiene un tamaño de 1,25 mm (desviación típica un sigma). En esta configuración de pórtilo, la primera sección recta entre la ventana de entrada y el primer imán 67 de deflexión de 45° del pórtilo, comprende cuatro imanes 44 cuadrupolares. Los dispositivos 42 limitadores de divergencia están instalados entre el segundo imán cuadrupolar y el

- tercer imán cuadrupolar y se indican mediante una línea vertical en la Fig. 6. Las rendijas 43 limitadoras de dispersión de momento están instaladas en una posición en la que la dispersión nominal en X es grande en comparación con el tamaño de haz nominal. La línea de puntos en la Fig. 6 representa la dispersión nominal en X del haz. Las posiciones de las rendijas 43 limitadoras de momento se indican mediante una línea vertical en la Fig. 6. En esta posición, la dispersión nominal es de aproximadamente 2,6 cm en X y el tamaño de haz nominal en X (desviación típica un sigma) es de aproximadamente 0,6 cm, que es adecuado para analizar el haz entrante según el momento y para limitar la dispersión de momento a un valor determinado configurando las rendijas en la posición correspondiente. La envolvente de haz mostrada en la Fig. 6 es una solución de ajuste para una boquilla usando la técnica de exploración (los imanes de exploración están instalados aguas abajo del imán dipolar de 135° pero no se muestran en la Fig. 6). Esta configuración de pórtilo usada en este estudio óptico de haz comprende también dos imanes cuadrupolares instalados aguas arriba del último imán 68 dipolar de 135° tal como se indica en la Fig. 6. Con esta solución de ajuste, se obtiene una doble cintura en X e Y en el isocentro que tiene un tamaño de haz de 4 mm (desviación típica un sigma), que es adecuado para realizar una exploración de haz filiforme. Esta solución óptica del haz cumple las condiciones de un doblete acromático.
- 5
- 10
- 15
- 20
- Puede formarse un aparato 100 de terapia de partículas combinando un acelerador de partículas de energía fija, estacionario, un degradador de energía y un pórtilo giratorio según la invención, es decir, un pórtilo giratorio que comprende medios para limitar la dispersión de energía o la dispersión de momento del haz y preferiblemente que comprende también medios para limitar la emitancia del haz. Tal como se muestra en la Fig. 4, que es un ejemplo de un aparato de terapia de protones, puede obtenerse una geometría compacta y el espacio en el edificio necesario para instalar este aparato es menor que con un sistema de selección de energía separado.
- Aunque las realizaciones descritas se centran en pórtilos de protones, la invención no está limitada a pórtilos de protones. La persona con conocimientos en la materia puede aplicar fácilmente los elementos de la invención, es decir, medios para analizar el haz (limitando la emitancia y limitando la dispersión de energía), a pórtilos para su uso con cualquier tipo de partículas cargadas, tales como, por ejemplo, un pórtilo para iones de carbono u otros iones ligeros.
- 25
- 30
- Los pórtilos para terapia de partículas se han diseñados desde hace muchos años y, en combinación con aceleradores de partículas, de energía fija, estacionarios, siempre se instalaba un sistema de selección de energía separado en la línea de haz entre el acelerador y el pórtilo. Según la presente invención, se proporciona una nueva configuración de pórtilo que comprende medios para limitar la dispersión de energía o la dispersión de momento del haz y que comprende también preferiblemente medios para limitar la emitancia del haz. Por lo tanto el propio pórtilo comprende funcionalidades del sistema de selección de energía estándar de la técnica anterior. Mediante el diseño de un pórtilo con estos medios para analizar el haz, tal como se ha descrito, puede construirse un aparato de terapia de partículas más compacto.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un pÓrtico (15) giratorio para recibir, transportar y suministrar un haz de partículas a lo largo de una trayectoria de haz a un objetivo para su uso en terapia de partículas, en el que dicho pÓrtico (15) comprende un punto (45) de entrada para introducir el haz de partículas en una direcci3n sustancialmente a lo largo un eje de rotaci3n del pÓrtico, caracterizado por que el pÓrtico (15) comprende medios (43) para limitar una dispersi3n de momento de las partículas del haz a un valor mÁximo seleccionado, de manera que dichos medios estÁn situados en una posici3n a lo largo de la trayectoria del haz en la que una dispersi3n nominal segÚn un momento de una partÍcula es mayor que un tamaÑo de haz nominal en dicha posici3n, en el que dicha dispersi3n nominal se define como un desplazamiento transversal de una partÍcula cuyo momento difiere un 1% (uno por ciento) con relaci3n a un momento P promedio de todas las partículas del haz, en el que dicho tamaÑo de haz nominal se define como un valor de tamaÑo de haz con una desviaci3n tÍpica un sigma de un haz de partículas mono-energéticas que tiene el momento P promedio.
- 10 2. PÓrtico (15) segÚn la reivindicaci3n 1, caracterizado por que el pÓrtico (15) comprende ademÁs medios (42) para limitar una emitancia transversal del haz de partículas a un valor mÁximo seleccionado.
- 15 3. PÓrtico (15) segÚn la reivindicaci3n 2, caracterizado por que los medios (42) para limitar la emitancia transversal del haz estÁn situados aguas arriba de los medios (43) para limitar la dispersi3n de momento de las partículas del haz.
4. PÓrtico (15) segÚn una cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3, caracterizado por que los medios (42) para limitar la emitancia transversal del haz son rendijas de emitancia o aberturas de emitancia o colimadores de emitancia.
- 20 5. PÓrtico (15) segÚn una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los medios (43) para limitar la dispersi3n de momento de las partículas del haz son rendijas de anÁlisis de momento o aberturas de anÁlisis de momento o colimadores de anÁlisis de momento.
- 25 6. Un aparato (100) de terapia de partículas que comprende un generador (40) de haz de partículas, un degradador (41) de energÍa para reducir un momento de dicho haz de partículas y un pÓrtico (15) segÚn una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 30 7. Aparato (100) de terapia de partículas que comprende un generador (40) de haz de partículas, un degradador (41) de energÍa para reducir un momento de dicho haz de partículas, un colimador para limitar una emitancia de dicho haz de partículas y un pÓrtico (15) segÚn una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho colimador estÁ situado entre el degradador (41) de energÍa y el pÓrtico (15).

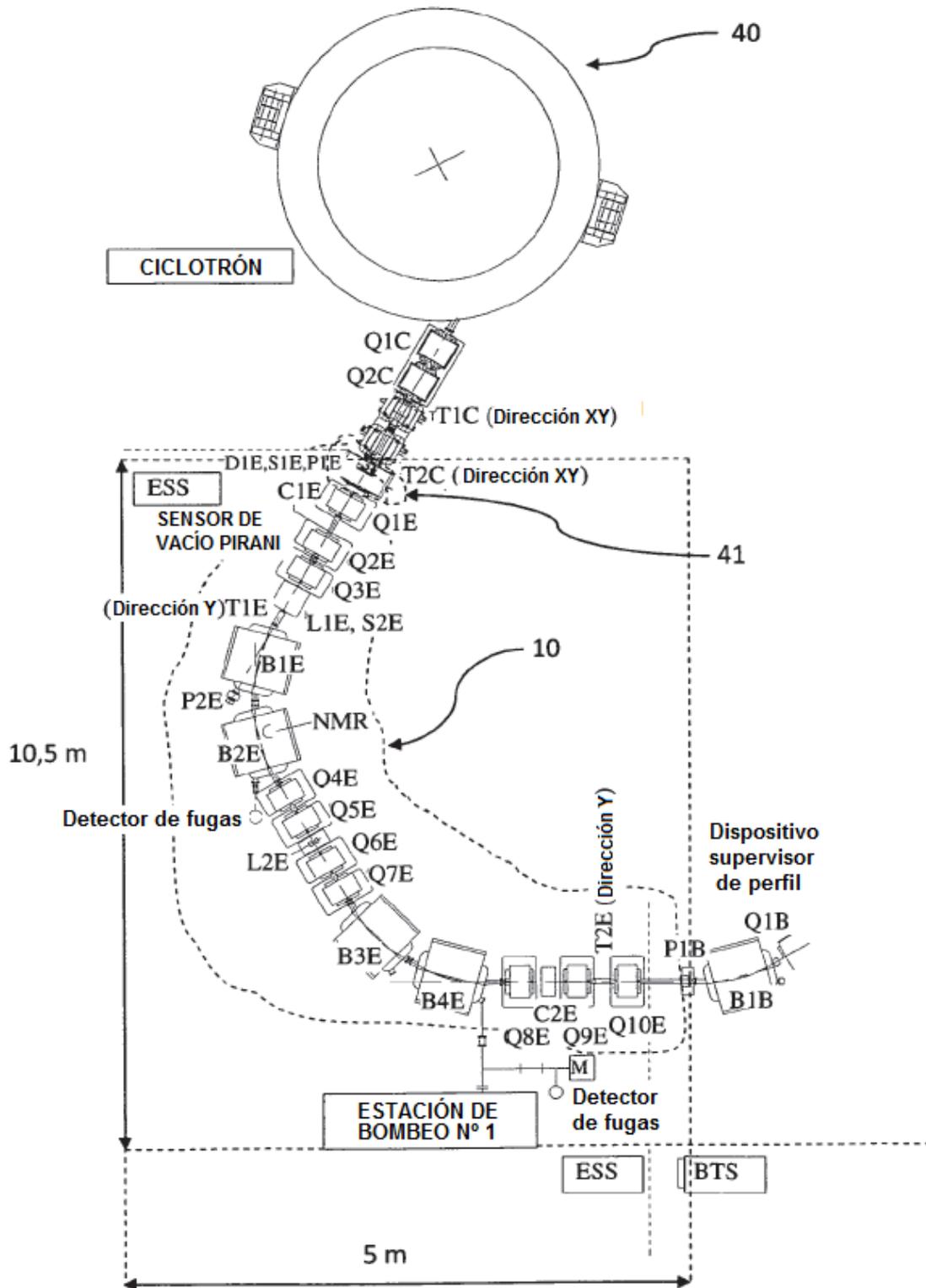


Fig. 1 (Técnica anterior)

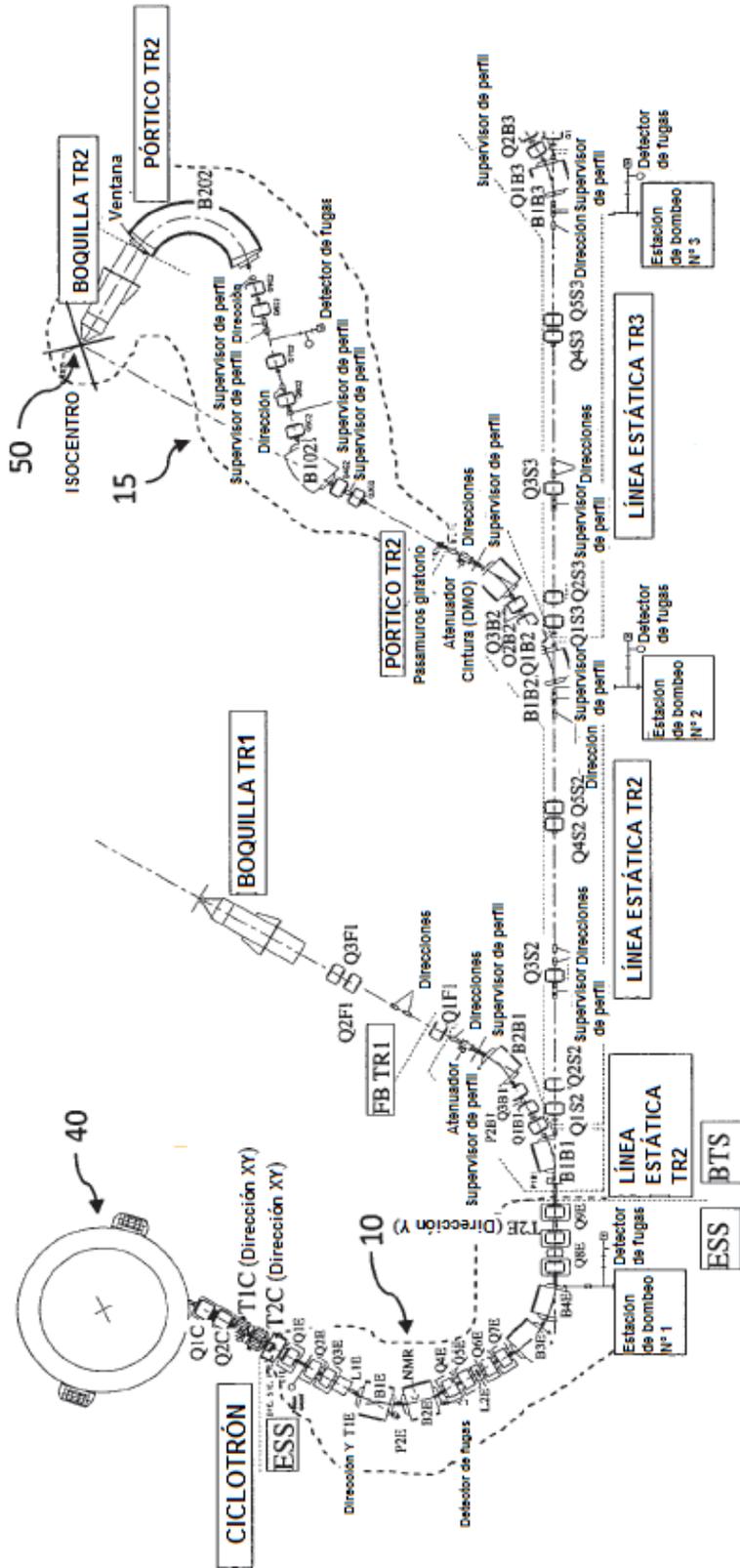


Fig. 2 (Técnica anterior)

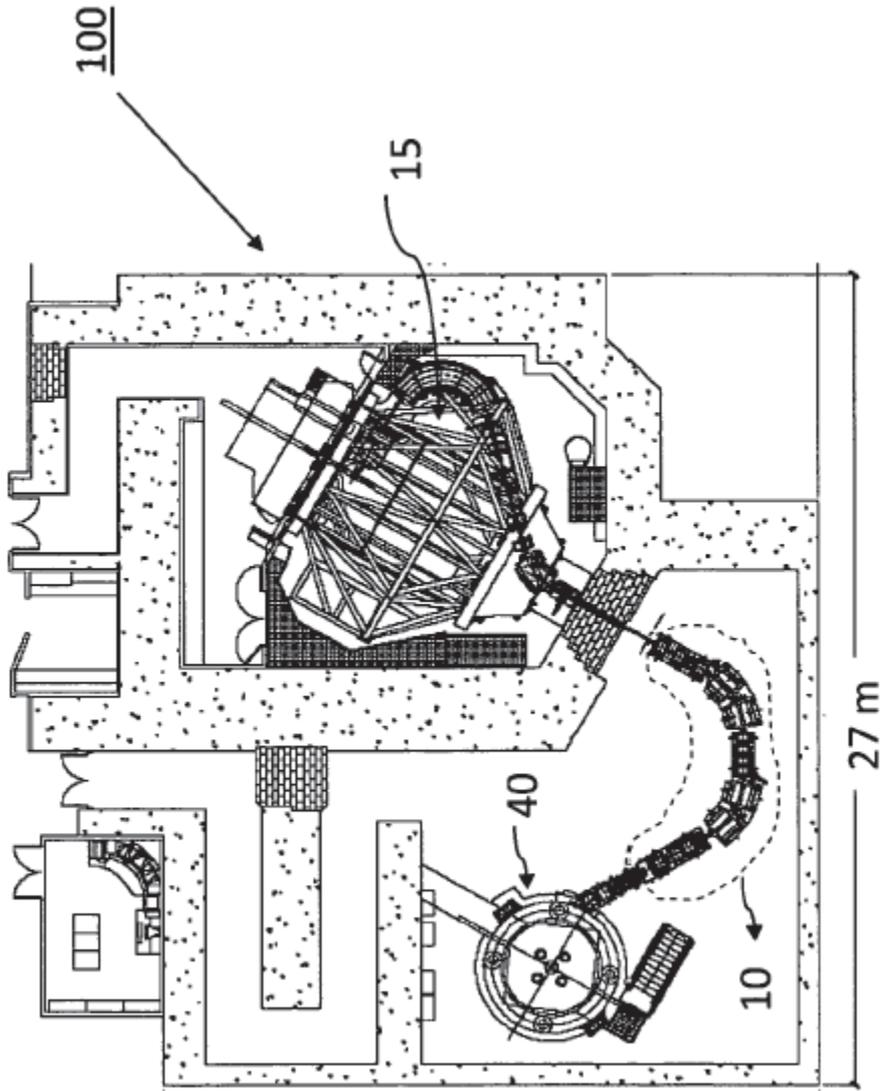


Fig. 3 (Técnica anterior)

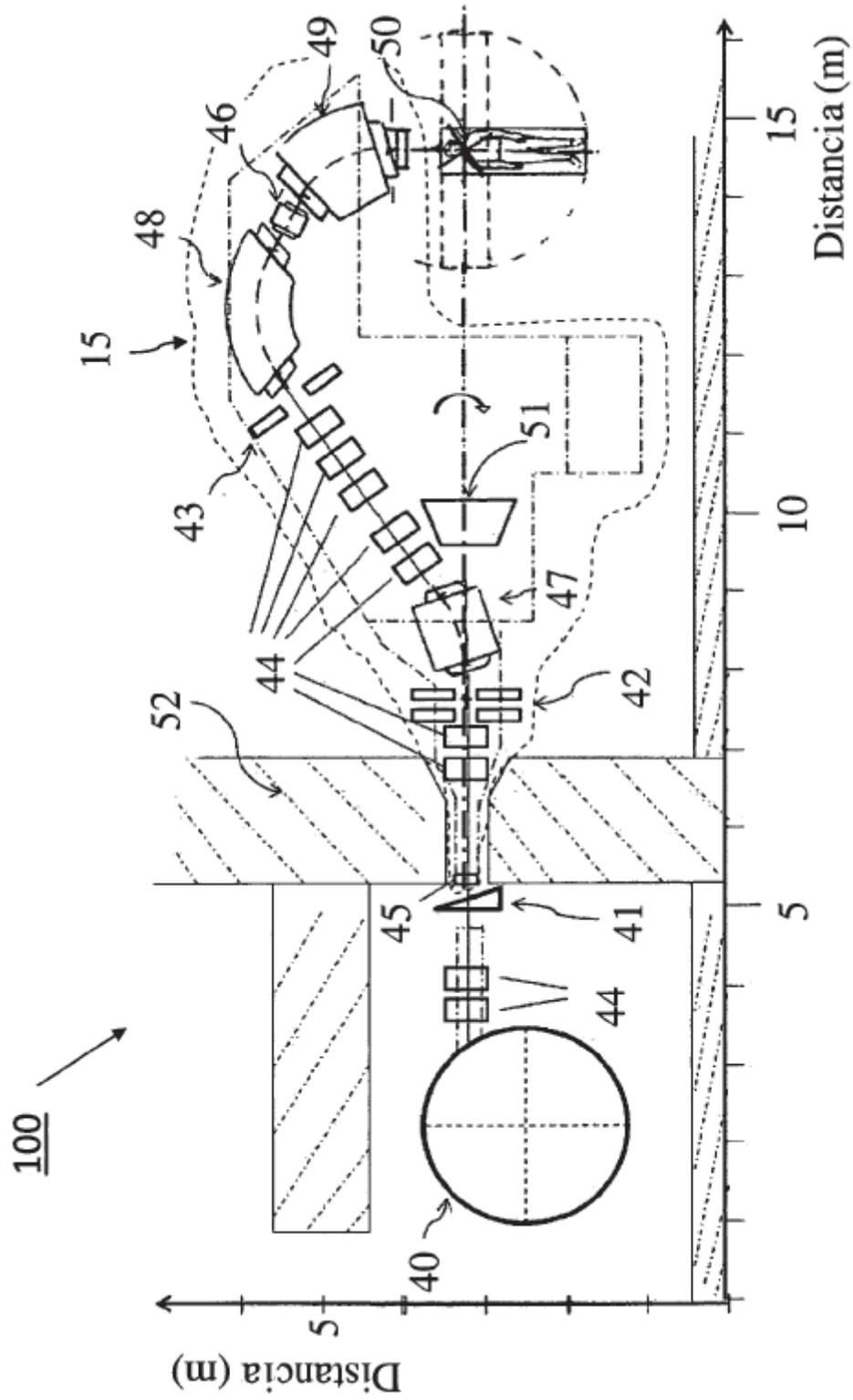


Fig. 4

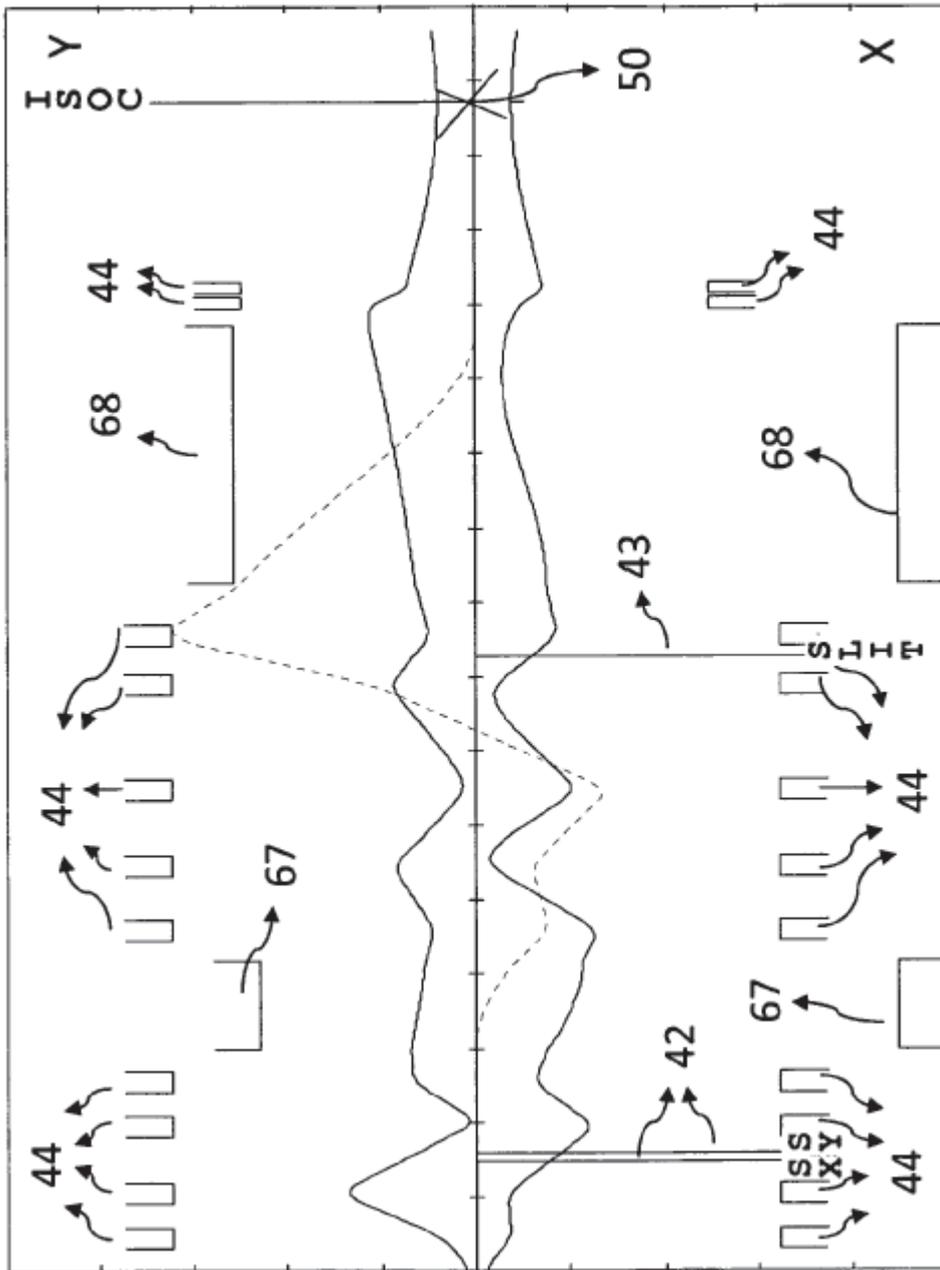


Fig. 6