

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 807 903**

51 Int. Cl.:

A61N 5/10

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.10.2016 PCT/EP2016/076099**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.05.2017 WO17084864**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.10.2016 E 16790935 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 3377175**

54 Título: **Pórtico de terapia de partículas con un degradador de energía y un sistema de curvado final acromático**

30 Prioridad:

16.11.2015 EP 15194795

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

24.02.2021

73 Titular/es:

**PAUL SCHERRER INSTITUT (100.0%)
5232 Villigen PSI, CH**

72 Inventor/es:

**SCHIPPERS, JACOBUS MAARTEN;
MEER, DAVID y
GERBERSHAGEN, ALEXANDER**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 807 903 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 de terapia de partículas con un degradador de energía y un sistema de curvado final acromático

5 La presente invención se refiere a un pórtico para el suministro por barrido rápido de un haz de partículas, por ejemplo, para el tratamiento del cáncer en el tejido humano, usando un haz de protones o de iones de carbono o helio. Lo que se presenta aquí para el haz de protones, también es aplicable para cualquier otro haz de iones, como los de carbono o helio.

10 En la terapia de protones, el pico de Bragg (pico de dosis alta) que ocurre justo antes del final del rango de los protones en el tejido, se usa para depositar una dosis alta en el tejido de blanco evitando al mismo tiempo una dosis demasiado alta en el tejido sano. En la técnica de barrido con haz de lápiz, se barre un haz de protones estrecho en las dos direcciones transversales y la profundidad del pico de Bragg se fija ajustando la energía del haz de lápiz.

15 El tamaño de proyección del tumor en el plano perpendicular a la dirección del haz suele ser mucho mayor que el diámetro del haz. El barrido de haz en ambas direcciones transversales se realiza por medio de la desviación del estrecho 'haz de lápiz', una técnica que se demostró por primera vez en NIRS (ver Figura 2) y en LBNL y se utilizó clínicamente por primera vez en un pórtico en el PSI (ver Figura 4 arriba). El haz se desvía a través de los imanes de barrido, que generalmente se encuentran antes (barrido aguas arriba) o detrás (barrido aguas abajo) del imán de curvado final en el pórtico, pero también existen otras posibilidades.

20 La localización de la profundidad del Bragg se fija eligiendo la energía del haz (momento). Dado el ancho del pico de Bragg, la distribución de la dosis sobre el grosor del tumor se realiza moviendo el pico de Bragg sobre el grosor del tumor en pasos de aproximadamente 5 mm. El correspondiente cambio requerido del momento por capa es del orden de -1%, lo que corresponde aproximadamente a un cambio de energía de 0.5%. El tamaño de este paso depende del tipo de partícula y, para los iones de carbono, esto puede ser normalmente un factor 2 menos.

25 En la actualidad, en muchas de las instalaciones de terapia de protones en funcionamiento, el haz se acelera por un ciclotrón con energía de extracción fija. En las instalaciones del ciclotrón, la energía se reduce al valor requerido por medio de un denominado degradador (una inserción de material con bajo Z en el sistema de transporte de haces). Tal sistema y los siguientes imanes deben diseñarse de tal manera que las variaciones de energía se realicen lo más rápidamente posible al extender la dosis en profundidad sobre el grosor del tumor.

Con el fin de limitar el tiempo de tratamiento, resulta conveniente no perder demasiado tiempo esperando a realizar un cambio de energía para la variación de profundidad del haz de lápiz. Esto se tratará con más detalle más adelante en este documento.

30 Un pórtico es una construcción mecánica giratoria, que soporta el sistema de transporte del haz en las secciones finales de las líneas de haz de la instalación de terapia de protones. Su sistema de transporte del haz está compuesto por varios imanes dipolares y cuadrupolares, que pueden doblar haces de protones con una energía máxima de aproximadamente 230-250 MeV o iones de carbono de aproximadamente 450 MeV/nucl. Su rotación junto con el movimiento de la mesa del paciente permite irradiar el tejido tumoral desde diferentes direcciones, como se divulga, por ejemplo, en las Patentes de Estados Unidos N° 6,814,694 y 7,348,579. El denominado isocentro es el punto común en el espacio, donde el eje de rotación del pórtico es atravesado por los haces desde todas las direcciones del pórtico. El sistema de barrido desvía el haz en una dirección lateral con respecto a la dirección del haz central (no barrido) que está apuntando al isocentro.

35 La curvatura de la trayectoria del haz en cada imán dipolar hace que las partículas con un momento no nominal desvíen su trayectoria del eje nominal del haz. Este fenómeno cromático se denomina dispersión y suele describirse mediante la llamada función de dispersión, que indica la desviación del eje óptico de la trayectoria de una partícula con normalmente un desplazamiento del momento del 1%. La combinación de aperturas magnéticas del pórtico y la máxima amplitud de esta trayectoria determina la máxima desviación del momento que puede ser aceptado por el pórtico. La mayoría de los pórticos existentes aceptan una banda del momento de aproximadamente $\pm 0,5$ a 1% debido a la llamada corrección cromática.

45 En este documento se distinguen dos tipos de los llamados sistemas acromáticos.

- Un sistema acromático global que suprime la dispersión transversal y angular del haz en el isocentro.
- Un sistema con acromaticidad local que realiza la supresión de dispersión por un subgrupo de imanes dentro del pórtico.

50 El uso de sistemas acromáticos locales o globales asegura, después de atravesar dicho sistema, que la posición del haz es independiente de la energía. En los pórticos existentes generalmente se aplica una corrección cromática global.

Cuando la energía (momento) del haz cambia más allá de la aceptación del momento del pórtilo, todos los imanes del pórtilo deben ajustarse en consecuencia, de lo contrario el haz se perderá en el pórtilo. Este es normalmente el caso, ya que se deben realizar varios pasos de energía de aproximadamente el 2% para cubrir el grosor tumoral típico.

5 En 2011, ProNova propuso un diseño de un pórtilo superconductor para la terapia de protones (ver Fig. 1). Este diseño consiste en dos secciones de curvatura. La óptica de cada sección de curvatura ha sido diseñada de tal manera que es localmente acromática. Este pórtilo está disponible en el mercado, pero en el momento de escribir esto no hay ningún sistema clínico en funcionamiento. En 2012 y sobre la base de este pórtilo, se diseñó un pórtilo
10 para 350 MeV de protones en el PSI. Este diseño de pórtilo muestra un $\pm 3\%$ de aceptación del momento, habilitado por las secciones de curvatura acromáticas locales. Esta gran aceptación del momento se consideró una ventaja para los planes de implementar un acelerador lineal antes del pórtilo. De la forma en que se planeó su aplicación, causaría una dispersión del momento demasiado grande para los diseños de pórtilo convencionales, pero aceptable para el diseño del PSI.

15 Por lo tanto, un pórtilo para la terapia de partículas con una gran aceptación del momento es uno de los objetos de la presente invención. Este objeto se logra, según la presente invención, mediante un pórtilo móvil como se define en las reivindicaciones adjuntas

20 La solicitud de patente de EE. UU. 2011/101236 A1 divulga un pórtilo móvil que comprende al menos un acromático de doble curva dispuesto en la línea de haz de partículas y configurado para proporcionar una óptica del haz acromático de la línea de haz de partículas, en el que las propiedades acromáticas de los sistemas de imán del pórtilo deberán mejorar el porcentaje del haz transmitido desde el degradador de energía al paciente.

25 Suponiendo que el último sistema de curvatura del pórtilo tiene acromaticidad local con suficiente aceptación del momento, la segunda parte de la invención es acoplar esta característica a un degradador montado en el pórtilo, en una localización anterior al último sistema de curvatura. El degradador fija la energía del haz que entra en el paciente. La óptica del haz, que comprende la configuración de los sistemas de imanes y de colimación, de los siguientes sistemas está diseñada de tal manera que la combinación de:

- la energía del haz detrás del degradador (dentro de cierto rango)
- la propagación del momento causada por el degradador
- la desviación del haz por imanes de barrido eventuales antes o en el sistema de curvatura
- la limitación de la emisión por el colimador o los colimadores que siguen al degradador

30 no conduce a pérdidas de haz en el sistema de curvatura.

El degradador está precedido por un colimador para controlar el tamaño y la localización del haz en la entrada del degradador. Al degradador le sigue un sistema de colimación para controlar la emisión del haz detrás del degradador a un valor que coincida con el haz para la aceptación de los siguientes imanes en los sistemas de pórtilo y para ajustar la sección transversal del haz de lápiz a la salida del pórtilo.

35 Mediante el uso de secciones de curvatura acromática local, la aceptación del momento del pórtilo, según la presente invención, puede hacerse mucho mayor que en los sistemas acromáticos globales, por ejemplo $\pm 15\%$. Por lo tanto, un segundo objeto alcanzado con esta invención es que los imanes del pórtilo, según la presente invención, no tienen que cambiar su campo cuando cambia la energía del haz. Muchos espesores de tumores se pueden cubrir entonces con un ajuste del campo magnético. El tiempo que se tarda en hacer un cambio de energía se determina entonces por la mecánica de un sistema de degradación antes de la curva acromática local y por algunas pequeñas correcciones dependientes de la energía de los imanes de enfoque.

40 En realizaciones preferentes del pórtilo, la sección de barrido puede colocarse aguas arriba o dentro o aguas abajo de la última sección de curvatura del haz. Además, un colimador o un sistema colimador se puede colocar aguas abajo del degradador.

45 Con el fin de permitir el acceso a una mesa de pacientes que se coloca en el isocentro del pórtilo también durante el suministro de la terapia de partículas, el pórtilo se puede orientar mediante una (combinación de) rotación o un desplazamiento, de una o más partes de la última sección o últimas secciones de la línea de transporte de haz.

Otras realizaciones preferidas de la presente invención se enumeran en las reivindicaciones dependientes.

50 Las realizaciones preferidas de la presente invención se describen a continuación con referencia a los dibujos adjuntos que representan:

- Figura 1 muestra esquemáticamente el diseño del pórtilo SC360 superconductor de ProNova;
- Figura 2 muestra esquemáticamente el diseño de un pórtilo de iones de carbono superconductor NIRS;
- Figura 3 muestra esquemáticamente el diseño de los imanes del escáner que se localizan aguas arriba (izquierda) o aguas abajo (derecha) del imán de curvatura final;
- 5 Figura 4 muestra una ilustración esquemática el pórtilo PSI 2 (arriba) y un ejemplo de un pórtilo con acromaticidad local en cada sección de curvatura y un degradador (abajo) según la presente invención con sus dimensiones;
- Figura 5 muestra el resultado de la simulación del transporte de la óptica del haz del pórtilo mostrado en la Figura 4, parte inferior; y
- 10 Figura 6 muestra la óptica del haz del pórtilo después del punto de colimación Co12 para los tres casos siguientes: Arriba: imanes ajustados en el valor correspondiente al momento del haz, Medio: imanes ajustados al 10% más que el valor correspondiente al momento del haz y Abajo: imanes ajustados al 10% más que el valor correspondiente al momento del haz y con una divergencia del haz de 21 mrad en Co12.

- 15 Se ha desarrollado una posible opción para un diseño de la óptica del haz de un pórtilo basada en los requisitos especificados anteriormente y se describe con más detalle a continuación.

El diseño del pórtilo 2 del PSI se ha utilizado como plantilla en el diseño de esta versión del pórtilo que se analiza aquí. La figura 4 muestra el diseño de un pórtilo 2' según la presente invención (abajo) en comparación con el "Pórtilo 2" (arriba) del PSI. En la Figura 4 para el "pórtilo 2" del PSI, se muestran tres imanes dipolares D1, D2 y D3 y siete cuadrupolares Q1 a Q7 y dos imanes kicker K1, K2. En la Figura 4, abajo, para el nuevo diseño del pórtilo 2' se proporcionan los imanes cuadrupolares Q1 a Q8 y los imanes de función combinada (dipolares y cuadrupolares) C1 a C11 y los imanes de barrido K1 y K2. En ambos diseños, hay dos secciones de curvatura 8, 12 de 60° y una última sección de curvatura 16 de 90°. Sin embargo, en el pórtilo 2', las secciones de curvatura 8, 12, 16 comprenden varios imanes de función combinada subsiguientes C1 a C11 con campos dipolares y cuadrupolares superpuestos. Además, el diseño contiene ocho cuadrupolares g Q1 a Q8 antes y entre las secciones de curvatura (8, 12). Además, se han añadido un primer colimador Col1 y un segundo colimador Col2, así como un degradador D que está dispuesto aguas arriba del segundo colimador Col2. El pórtilo 2' en su conjunto es giratorio alrededor del eje z como se muestra en la Figura 4b.

El barrido se realiza aguas arriba del final de la última sección de curvatura 16, lo que requiere una abertura relativamente grande de los imanes de curvatura finales C7 a C11. Con los imanes C1 a C11, el tamaño del pórtilo 2 es de aproximadamente 3.0 m de radio y 8.5 m de longitud.

35 Siguiendo nuestra invención, se considera montar el degradador D antes de la última sección de curvatura 16 en el diseño del pórtilo 2' (ver abajo). Para obtener un buen transporte del haz, el haz debe tener un diámetro pequeño cuando entra en el degradador D. El primer colimador Col1 está dispuesto en el punto de acoplamiento 6. La abertura redonda del colimador de este primer colimador Col1 en el punto de acoplamiento 6 en la entrada del pórtilo 2' se visualiza en el segundo colimador Col2 que está dispuesto aguas abajo del degradador D entre la segunda sección de curvatura 12 y la tercera sección de curvatura 16. El tamaño del haz (1^{σ}) en este segundo colimador Col2 es 1.25 mm x 1.25 mm. A partir de este segundo colimador Col2, se realiza una imagen punto a punto al isocentro, de modo que el tamaño de la mancha del haz es de 2.5 mm x 2.5 mm (1^{σ}) en primer orden.

40 Como se señaló anteriormente, la mayoría de los pórtilos existentes son acromáticos en su conjunto, pero por lo general la acromaticidad no se restaura dentro de cada sección de curvatura individual (acromaticidad global). Como consecuencia, la dispersión puede hacerse muy grande dentro del pórtilo. Esto limita la aceptación del momento del sistema acromático global. En el ejemplo del diseño de pórtilo presentado anteriormente, cada sección de curvatura 8, 12, 16 es acromática por sí misma ("acromaticidad local"). La función de dispersión nunca alcanza un valor alto en ese caso. Usando esta característica, el diseño de pórtilo presentado aquí, tiene una aceptación del momento de $>\pm 10\%$. Esto significa que sin un cambio de las corrientes en los imanes superconductores, un haz con una desviación de momento de hasta $\pm 10\%$ (correspondiente a la desviación de energía de casi $\pm 20\%$) aún puede pasar a través de la abertura de los imanes de pórtilo y el tubo de vacío.

50 La ventaja del degradador D en esta localización es que el tamaño del haz es pequeño, por lo que el desplazamiento (por ejemplo, del carbono) de las placas del degradador en la trayectoria del haz, se puede hacer en solo varios milisegundos. Esto permitiría cambios de energía muy rápidos.

En el diseño presentado aquí, el haz forma una cintura en la posición del segundo colimador Col2, que está diseñado de tal manera que la divergencia del haz es alta por un enfoque fuerte, de modo que el degradador D no aumente demasiado la divergencia del haz.

Una posibilidad alternativa en el diseño es otra localización de los imanes de barrido.

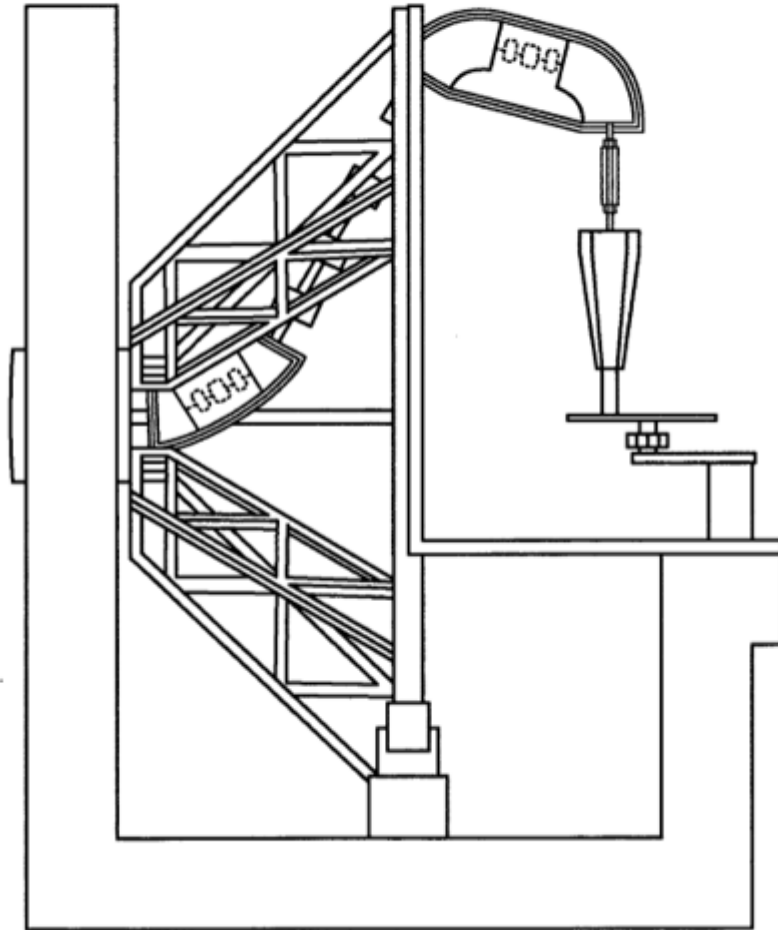
Los imanes de barrido podrían ser posicionados dentro o detrás de la última sección de curvatura 16. Una posible ventaja podría ser que se puede usar una abertura más pequeña de los imanes en la última sección de curvatura 16, sin reducir la aceptación del momento.

- 5 El pórtilo 2' combina de forma inteligente los métodos existentes de manejo del haz, lo que permiten nuevas opciones para la óptica del haz en el pórtilo. Estos incluyen una fuerte supresión de la dispersión dentro de cada sección de curvatura. La supresión de la dispersión local mantendrá el valor máximo de dispersión bajo a lo largo de toda la línea de haz del pórtilo 2'. En la presente invención, esta propiedad se usa para aceptar una dispersión de energía muy grande para permitir el transporte de un haz de energía modulada sin ajustar el campo de curvatura.
- 10 Esto permite una muy rápida modulación de energía del haz, lo que es una ventaja importante en la terapia de protones.

REIVINDICACIONES

1. Pórtico móvil (2') para el suministro de un haz de partículas, utilizando la técnica de barrido con haz, por ejemplo, para el tratamiento del cáncer en tejidos humanos; que comprende:
 - 5 a) una sección de entrada (6) para un haz de partículas aceleradas que comprende un cierto número de imanes cuadrupolares;
 - b) una primera sección de curvatura (8) y opcionalmente, una segunda sección de curvatura (12) que comprende un número de imanes dipolares y cuadrupolares y, opcionalmente, otros imanes para la corrección del haz;
 - 10 c) una sección de transferencia que comprende un número de imanes cuadrupolares y opcionalmente otros imanes para la corrección del haz, en el que la sección de transferencia comprende además un degradador (D) en el que el degradador (D) se coloca al final de la sección de transferencia, visto en la dirección del haz de partículas, y es seguido solo por un colimador o un sistema de colimador (Col2) en esta sección de transferencia;
 - 15 d) una última sección de curvatura de haz (16) que comprende un número de imanes dipolares/cuadrupolares/multipolares de orden superior separados y/o combinados que forman una sección acromática, en la que todos los imanes de esta última sección de curvatura acromática (16) están dispuestos aguas abajo del degradador (D); en el que cualquier dispersión en esta última sección de curvatura acromática (16) se suprime para que tenga una aceptación del momento de más de $\pm 5\%$;
 - 20 e) una sección de barrido (15) que comprende dos imanes de desviación rápida separados o uno combinado (K1, K2) que desvían el haz en el isocentro en una dirección perpendicular a la dirección del haz para realizar el barrido lateral; y
 - f) una sección de boquilla de haz (18) que comprende una boquilla de haz y si es necesario, un equipo de manejo del haz, tal como otros elementos de degradación o modificación del haz y/o elementos de verificación del haz relacionados con la calidad del haz.
- 25 2. Pórtico según la reivindicación 1, en el que la sección de barrido (15) está dispuesta aguas arriba o dentro o aguas abajo de la última sección de curvatura del haz (16).
3. Pórtico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:
 - a) la primera sección de curvatura (8) está formando una sección acromática o una combinación de varias secciones acromáticas.
- 30 4. Pórtico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el pórtico (2') puede girar alrededor de un eje longitudinal (eje z).
5. Pórtico (2') según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el pórtico (2') puede girar alrededor de un eje horizontal (eje x) perpendicular a la dirección del haz que ingresa al pórtico.

FIG 1 TÉCNICA ANTERIOR



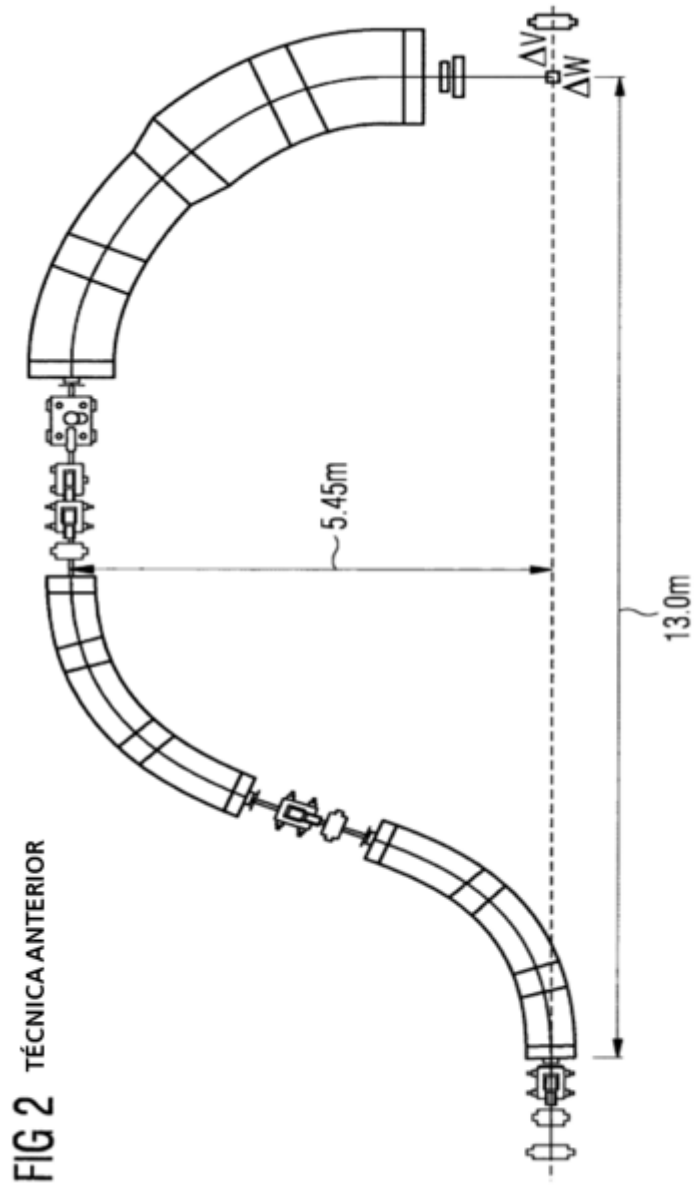


FIG 2 TÉCNICA ANTERIOR

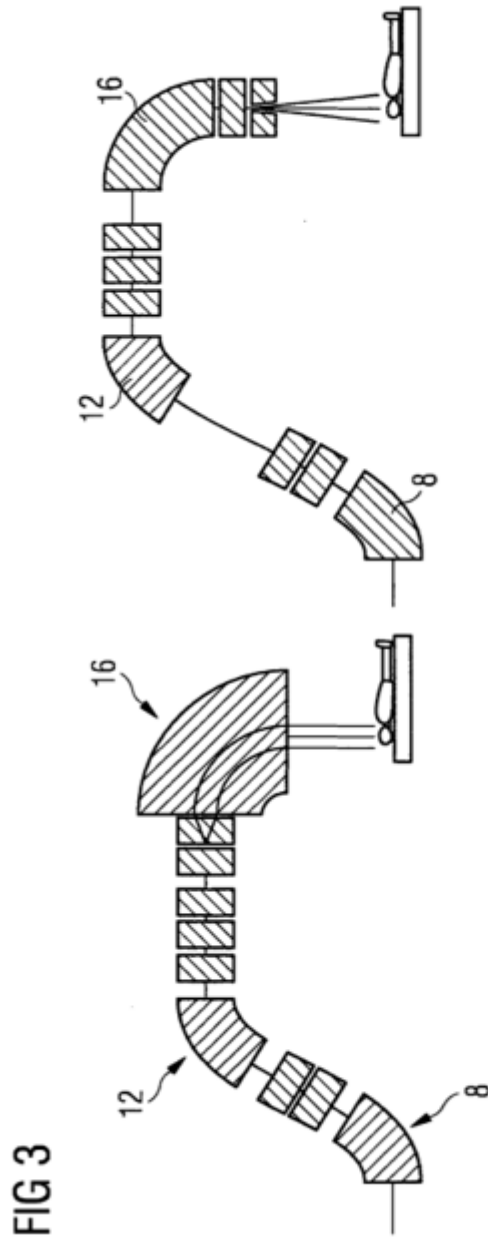
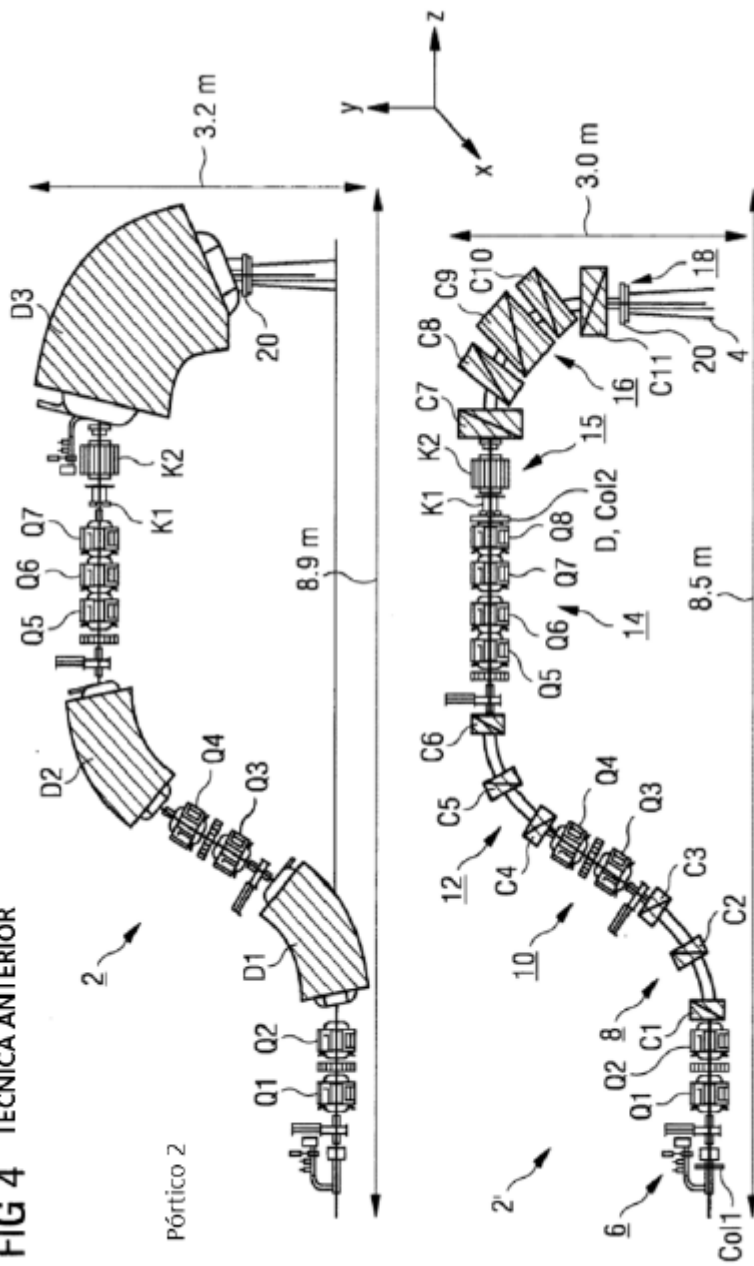


FIG 4 TÉCNICA ANTERIOR



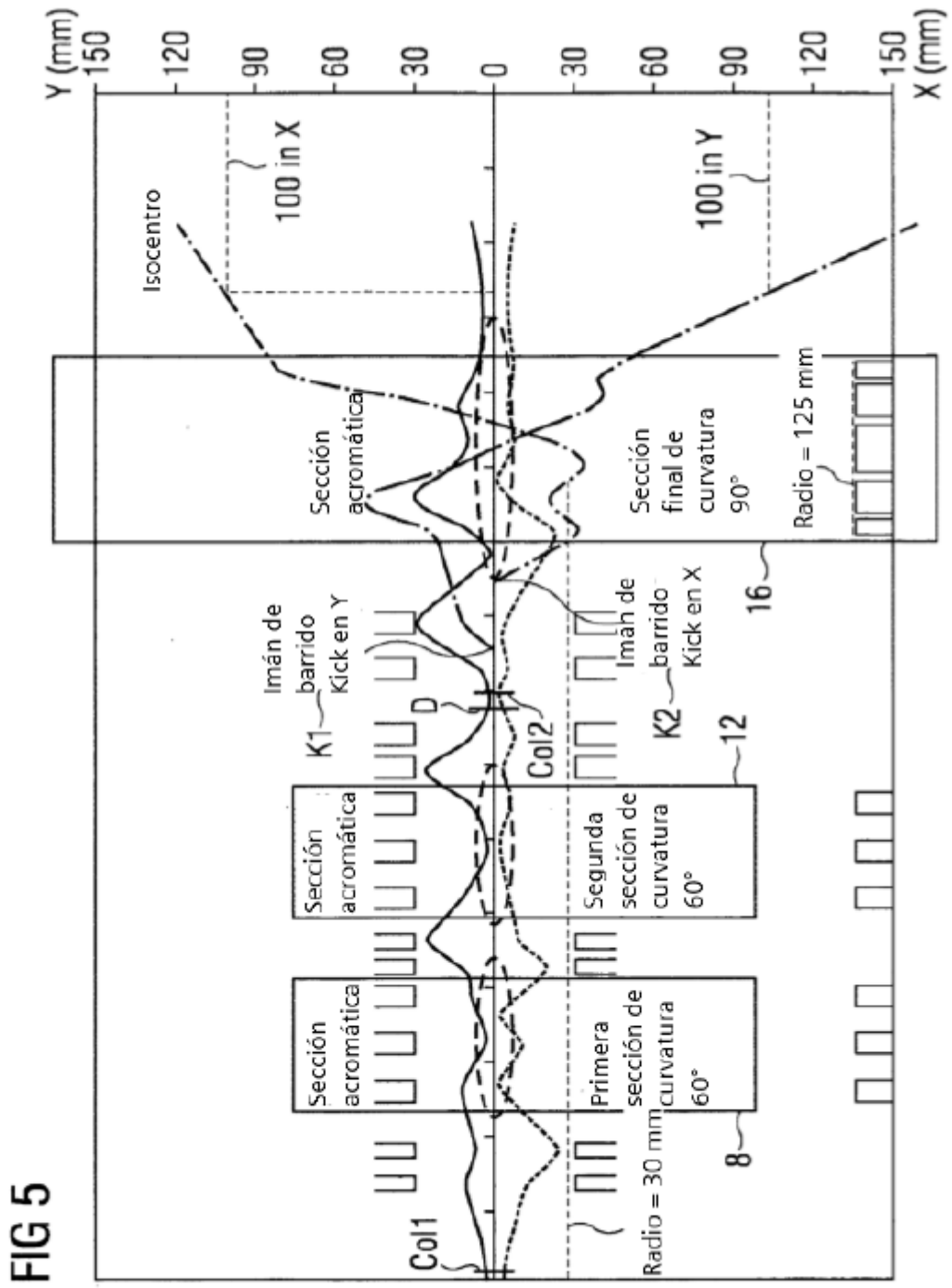


FIG 6

