

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 668 465**

51 Int. Cl.:

A61N 5/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2015** **E 15155323 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.05.2018** **EP 2923733**

54 Título: **Sistema de irradiación con un haz de partículas cargadas**

30 Prioridad:

27.03.2014 JP 2014064969

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

18.05.2018

73 Titular/es:

**HITACHI LTD. (100.0%)
6-6 Marunouchi 1-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 100-8280, JP**

72 Inventor/es:

**ITO, YUKI;
MATSUDA, KOJI;
SHINAGAWA, RYOSUKE;
TADOKORO, MASAHIRO y
NISHIMURA, ARAO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 668 465 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

Sistema de irradiación con un haz de partículas cargadas

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de irradiación con un haz de partículas cargadas para irradiar una parte afectada tal como un tumor con un haz de partículas cargadas y tratar la parte afectada.

10

2. Descripción de la técnica relacionada

El documento JP-2011-177374-A se considera como el arte relacionado de la presente técnica. El documento JP-2011-177374-A da a conocer sistema de irradiación con haz de partículas cargadas que puede acortar el tiempo de irradiación en un tratamiento con haz de partículas mediante un método de exploración por puntos. El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas incluye una unidad de generación de haz de partículas cargadas, una unidad o unidades de transporte de haz y un dispositivo o dispositivos de irradiación con el haz. Un controlador calcula la posición y el ancho del haz de partículas cargadas a partir de la salida obtenida por un dispositivo de medición de la posición del haz en el dispositivo de irradiación con haz cada vez que se completa la irradiación a un punto.

15

20

En el documento US 2014 061498 A1, se describe un sistema de terapia con haz de partículas utilizado en el campo médico y, particularmente, se explica el procesamiento de datos de la posición y el tamaño de un haz de partículas en un sistema de terapia con haz de partículas de un tipo de exploración tal como un tipo de exploración por puntos o un tipo de exploración mediante barrido. El dispositivo de procesamiento de los datos del haz contiene una pluralidad de unidades de conversión de datos de canal que convierten una pluralidad de señales analógicas generadas desde un monitor de posición en señales digitales, una unidad de procesamiento de tamaño de la posición que calcula una posición del haz, basada en elementos de información de tensión obtenidos mediante procesamiento por la pluralidad de unidades de conversión de datos de canal, una unidad de procesamiento de determinación de anomalía que determina la posición del haz y genera una señal de anomalía de posición, y una unidad de control integrada que controla la pluralidad de unidades de conversión de datos de canal de tal manera que mientras un haz se detiene en un punto de irradiación, el procesamiento de conversión de la señal digital se implementa dos o más veces; la unidad de conversión de datos de canal tiene una pluralidad de convertidores A/C, un desmultiplexador que distribuye señales analógicas, y un multiplexador que conmuta señales digitales respectivas procesadas por los convertidores ND para emitir las hacia la unidad de procesamiento de tamaño de la posición.

25

30

35

En Koji Matsuda et al., " World-first Proton Pencil Beam Scanning System with FDA Clearance - Completion of Proton Therapy System for MDACC" Hitachi Review, volumen 58 nº 5, 1 de enero de 2009, se describe la instalación para una terapia con protones construida por Hitachi en el M. D. Anderson Cancer Center en Texas en los Estados Unidos.

40

COMPENDIO DE LA INVENCION

En el tratamiento, se desea acortar el tiempo de tratamiento para reducir la carga sobre un paciente y aumentar el número de los pacientes a tratar. Como una etapa del método de exploración por puntos, existe un método para acortar el tiempo de irradiación y mejorar la tasa de dosis mediante el aumento de la dosis de irradiación que se aplica a una sección de irradiación (punto) cada vez, y la reducción del número de reimpacts de la dosis.

45

La descripción se refiere a un sistema de irradiación con un haz de partículas cargadas que incluye una unidad de generación de haz de partículas cargadas configurada para acelerar y extraer un haz de partículas cargadas hacia un objetivo de irradiación, electroimanes de exploración configurados para explorar el haz de partículas cargadas acelerado, un dispositivo o dispositivos de irradiación con el haz configurados para irradiar el haz de partículas cargadas acelerado hacia una pluralidad de puntos de irradiación establecidos respectivamente para una pluralidad de capas que se forma dividiendo un objetivo de irradiación en una dirección de desplazamiento del haz de partículas cargadas, un dispositivo o dispositivos de medición de la dosis de radiación del haz configurados para obtener una dosis del haz de partículas cargadas que pasa a través del dispositivo de irradiación con haz y/o un instrumento de medición de la posición del haz configurado para obtener uno o ambos de la posición y el ancho del haz de partículas cargadas explorado por los electroimanes de exploración. El instrumento de medición de la posición del haz obtiene uno o ambos de la posición y/o el ancho del haz de partículas cargadas para cada punto de irradiación, y los resultados obtenidos se analizan para ver si se encuentran dentro de los límites permisibles. Además, el instrumento de medición de la posición del haz obtiene uno o ambos de la posición y el ancho del haz de partículas cargadas para cada partición durante la irradiación hacia el punto de irradiación con el haz de partículas cargadas con respecto a una partición de la cual una dosis se gestiona dividiendo una parte o la totalidad de la pluralidad de puntos de irradiación en una pluralidad de secciones de irradiación, y los resultados obtenidos se analizan para ver si se encuentran dentro de los intervalos permisibles.

50

55

60

65

De acuerdo con la presente invención, el tiempo de irradiación con haz de partículas cargadas con respecto al objetivo de irradiación se puede acortar.

La invención se define en las reivindicaciones, siendo otras realizaciones simplemente a modo de ejemplo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es un diagrama esquemático de una construcción general de un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas que es una realización preferida de la presente invención;

la figura 2 es un diagrama esquemático de una construcción de un dispositivo de irradiación con haz y de un controlador de irradiación incluido en el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas de una primera realización;

la figura 3 es un diagrama explicativo de división en regiones (división en capas) en una dirección de profundidad desde una superficie corporal de un objetivo de irradiación que se irradia con el haz de partículas cargadas;

la figura 4 es un diagrama para describir un punto de irradiación $A_{i,j}$ que está dividido en una pluralidad de secciones S_k de irradiación con haz (partición S_k) de entre los puntos de irradiación $A_{i,j}$ en una capa L_i ;

la figura 5 es un diagrama de flujo de un flujo para calcular la posición y el ancho del haz de partículas cargadas realizado por el sistema de suministro de haz de partículas cargadas;

las figuras 6 (A) a 6 (F) son diagramas, en los que el punto de irradiación n° 2 ($A_{i,2}$) en la figura 4 se describe como un ejemplo de los tiempos de medición de la dosis de radiación con haz del haz de partículas cargadas y del cálculo de la posición y el ancho del haz, realizado por el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas de la primera realización en un punto y en cada partición;

la figura 7 un diagrama esquemático de una construcción de un dispositivo de irradiación con haz y de un controlador de irradiación incluido en el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas de una segunda realización; y

las figuras 8 (A) a 8 (H) son diagramas, en los que el punto de irradiación n° 2 ($A_{i,2}$) de la figura 4 se describe como un ejemplo de los tiempos de medición de la dosis de radiación con haz del haz de partículas cargadas y del cálculo de la posición y el ancho del haz, realizado por el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas de la segunda realización en un punto y en cada partición.

DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

A continuación, se describirán varias realizaciones haciendo referencia a los dibujos.

[Primera realización]

Se describirá un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas que es una realización preferida de la presente invención con referencia a la figura 1. La figura 1 es un diagrama esquemático de una construcción general de un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 según la presente realización. El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 utiliza un haz de protones como haz de partículas cargadas. Una parte afectada de un cáncer que es un objetivo de irradiación se irradia con el haz de partículas cargadas. Se puede utilizar un haz de partículas pesadas (por ejemplo, un haz de carbono) en lugar del haz de protones.

El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 incluye una unidad de generación de haz de partículas cargadas 2, una unidad o unidades de transporte de haz 3, un dispositivo o dispositivos de irradiación con haz 5 y un controlador 6. El dispositivo de irradiación con haz 5 y una mesa de paciente 41 están dispuestos en una sala de tratamiento 4. El dispositivo de irradiación con haz 5 está dispuesto opuesto a la mesa de tratamiento 41.

La unidad de generación de haz de partículas cargadas 2 incluye una fuente de iones (no mostrada), un acelerador lineal 8 (linac) que es un pre-acelerador, y un acelerador circular 9 (sincrotrón). El acelerador lineal 8 acelera las partículas cargadas generadas por la fuente de iones hasta que se convierten en una energía predeterminada, e inyecta las partículas cargadas previamente aceleradas en el sincrotrón 9. El sincrotrón 9 acelera las partículas cargadas inyectadas hasta que se convierten en una energía predeterminada, y las partículas cargadas se extraen del sincrotrón 9. En la presente realización, el sincrotrón se ejemplifica como el acelerador circular. No obstante, se puede utilizar un acelerador, que no tiene el pre-acelerador 8, tal como un ciclotrón o un sincro-ciclotrón en lugar del sincrotrón.

El sincrotrón 9 incluye un conducto de haz circular 21 para configurar una órbita de haz de partículas cargadas, una pluralidad de electroimanes de flexión 22, una pluralidad de electroimanes cuadrupolares (no mostrados), un inyector 23, un dispositivo de aplicación de alta frecuencia 24 para extracción, un deflector de extracción 28, una unidad de aceleración (cavidad de aceleración) 29 que aplica una tensión de alta frecuencia al haz de partículas cargadas. El dispositivo de aplicación de alta frecuencia 24 incluye un par de electrodos de alta frecuencia 25 para extracción, un interruptor de apertura / cierre 26 y una fuente de potencia de alta frecuencia 27. Los electrodos de alta frecuencia 25 están situados en el conducto del haz 21 y conectados a la fuente de potencia de alta frecuencia 27 a través del interruptor de apertura / cierre 26. La unidad de aceleración 29, la pluralidad de electroimanes de flexión 22, los electroimanes cuadrupolares y el deflector de extracción 28 están dispuestos a lo largo del conducto del haz 21, tal como se indica en la figura 1. Un dispositivo fuente de alimentación de alta frecuencia (no mostrado) está conectado a la unidad de aceleración 29.

La unidad de transporte de haz 3 incluye una trayectoria de haz (conducto de haz) 32 para conectar el sincrotrón 9 con el dispositivo de irradiación con haz 5. La unidad de transporte de haz 3 incluye asimismo una pluralidad de electroimanes cuadrupolares (no mostrados) y una pluralidad de electroimanes de flexión 31 en la trayectoria del haz 32. La trayectoria del haz 32 está conectada al conducto de haz circular 21 del sincrotrón 9 cerca del deflector de extracción 28. La unidad de transporte de haz 3 envía el haz de partículas cargadas acelerado por la unidad de generación de haz de partículas cargadas 2 al dispositivo de irradiación con haz 5.

Tal como se indica en figura 2, el dispositivo de irradiación con haz 5 incluye una carcasa 50, un primer electroimán de exploración (electroimanes de exploración en la dirección X) 51, un segundo electroimán de exploración (electroimán de exploración en la dirección Y) 52, un detector de posición de haz (monitor de posición de haz) 53, un detector de dosis de radiación de haz (monitor de dosis de haz) 54, una fuente de alimentación del primer electroimán de exploración 55, una fuente de alimentación del segundo electroimán de exploración 56, un controlador de fuente de alimentación 57, un dispositivo de medición de posición de haz 58 y un dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59. Los electroimanes de exploración primero y segundo 51 y 52, el monitor de posición de haz 53, y el monitor de dosis 54 están dispuestos en la carcasa 50 y en una órbita de haz del haz de partículas cargadas que está pasando a través de ellos.

Una dirección se conoce como dirección X y una dirección perpendicular a la dirección X se conoce como dirección Y en una superficie perpendicular a la dirección de desplazamiento del haz de partículas cargadas proporcionado a la carcasa 50. El primer electroimán de exploración 51 explora el haz de partículas cargadas que pasa a través de él en la dirección X, y el segundo electroimán de exploración 52 explora el haz de partículas cargadas que pasa a través de él en la dirección Y. El controlador de la fuente de alimentación 57 controla la fuente de alimentación del primer electroimán de exploración 55 y la fuente de alimentación del segundo electroimán de exploración 56 en base a una señal de instrucción del controlador de irradiación 63. La fuente de alimentación del primer electroimán de exploración 55 aplica una corriente de excitación predeterminada al primer electroimán de exploración 51, y la fuente de alimentación del segundo electroimán de exploración 56 aplica una corriente de excitación predeterminada al segundo electroimán de exploración 52.

El monitor de posición de haz 53 y el monitor de dosis de haz 54 están dispuestos en la carcasa 50 y más abajo (lado de una parte de la carcasa 50) del primer electroimán de exploración 51 y el segundo electroimán de exploración 52. El monitor de posición de haz 53 y el dispositivo de medición de posición de haz 58 son instrumentos de medición de la radiación del haz para obtener una posición y una anchura del haz de partículas cargadas. El dispositivo de medición de posición de haz 58 recibe datos de posición del monitor de posición de haz 53 y mide la posición y el ancho (extensión) del haz de partículas cargadas que ha pasado. El monitor de dosis de haz 54 y el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 son instrumentos de medición de la dosis de radiación del haz para medir la dosis de radiación de haz del haz de partículas cargadas que va a pasar a través de ellos. Cuando se reciben datos de dosis del monitor de dosis 54, el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 mide la dosis de irradiación con haz de partículas cargadas que ha pasado. El dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 tiene dos contadores de dosis (primer contador de dosis 64 y segundo contador de dosis 65). El primer contador de dosis 64 se reinicia inmediatamente antes o en el momento del comienzo de la irradiación a un punto de irradiación y continúa contando de manera constante la dosis de irradiación con haz de partículas cargadas durante la irradiación al mismo punto de irradiación. Cuando la dosis de irradiación alcanza una dosis objetivo del punto, el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 emite una señal de dosis puntual satisfecha al controlador central 62 y al controlador de irradiación 63. Cuando la dosis de irradiación medida por el segundo contador de dosis 65 alcanza una dosis objetivo ΔD que se ha establecido previamente, el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 emite una señal de satisfacción de la dosis de la partición al controlador central 62 y al controlador de irradiación 63 y, al mismo tiempo, reinicia el recuento del segundo contador de dosis 65. En la presente realización, se describe un ejemplo en el que un instrumento de medición de posición de haz obtiene tanto la posición como el ancho del haz de partículas cargadas. Sin embargo, se puede dar un ejemplo en el que el instrumento de medición de posición de haz obtenga cualquiera de la posición o el ancho del haz de partículas cargadas. Asimismo, en la presente realización, se describe un ejemplo en el que el dispositivo de irradiación con haz 5 incluye el dispositivo de medición de posición de haz 58 y el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59. No obstante, el controlador de irradiación 63 puede incluir el dispositivo de medición de posición de haz 58 y el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59.

El controlador 6 incluye un controlador del acelerador y del sistema de transporte 61, un controlador central 62 y un controlador de irradiación 63, tal como se indica en la figura 1. El controlador del acelerador y del sistema de transporte 61 y su controlador de irradiación 63 están conectados al controlador central 62. El controlador central 62 está conectado a una unidad de planificación de tratamiento 7. El controlador del acelerador y del sistema de transporte 61 controla cada dispositivo incluido en la unidad de generación de haz de partículas cargadas 2 y cada dispositivo incluido en la unidad de transporte de haz 3. El controlador de irradiación 63 controla cada dispositivo incluido en el dispositivo de irradiación con haz 5.

La unidad de planificación de tratamiento 7 reconoce una posición y una forma del objetivo de irradiación (por ejemplo, la parte afectada por cáncer) utilizando información de imágenes tomográficas obtenida fotografiando al

paciente mediante un escáner CT de rayos X o similar. La unidad de planificación de tratamiento 7 determina una dirección de la irradiación con haz de partículas cargadas a la parte afectada y divide el objetivo de irradiación (parte afectada) en una pluralidad de capas L_i ($i = 1, 2, \dots, m$), es decir, las capas $L_1, L_2, L_3,$ y L_m en la dirección de la irradiación (dirección de profundidad desde la superficie del cuerpo del paciente) (figura 3). La capa L_1 existe en la posición más profunda desde la superficie del cuerpo. La profundidad de la capa disminuye con el orden de las capas $L_2, L_3,$ y L_m , y la capa L_m es la más superficial. La parte afectada es irradiada con el haz de partículas cargadas desde la dirección de una flecha 50. Además, en cada capa se establecen una pluralidad de puntos de irradiación $A_{i,j}$ ($i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$) que son regiones que van a ser irradiadas, y se establecen las posiciones centrales (posición de destino) $P_{i,j}$ y las coordenadas $(x_{i,j}, y_{i,j})$ de las posiciones centrales de las mismas. A continuación, se determina un orden para irradiar los puntos de irradiación $A_{i,j}$ con el haz de partículas cargadas. Una dosis objetivo $R_{0,i,j}$ para cada punto de irradiación $A_{i,j}$ se determina en base a una dosis de irradiación necesaria para toda la región que se va a irradiar. La energía E_i del haz de partículas cargadas se determina según la profundidad de cada capa, de modo que el haz de partículas cargadas alcanza cada capa L_i y se forma el pico de Bragg para cada capa. La unidad de planificación de tratamiento 7 prepara la información de planificación del tratamiento antes de que comience el tratamiento. La información de planificación del tratamiento incluye el número de capas L_i , del objetivo de irradiación y los puntos de irradiación $A_{i,j}$, la posición central $P_{i,j}$ del punto de irradiación $A_{i,j}$, la dosis objetivo $R_{0,i,j}$ para cada punto de irradiación $A_{i,j}$, el orden de la irradiación al punto de irradiación $A_{i,j}$, la energía E_i del haz de partículas cargadas correspondiente a cada capa L_i y otros.

Se describirá el funcionamiento del sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 de la presente realización.

El controlador central 62 recibe la información de planificación del tratamiento del paciente desde la unidad de planificación de tratamiento 7 antes de que comience el tratamiento. Asimismo, el controlador central 62 posiciona la tabla de tratamiento 41 en la cual el paciente se mantiene en una posición predeterminada y dispone la tabla 41 de modo que el eje central del dispositivo de irradiación con haz 5 quede frente al objetivo de irradiación del paciente en la tabla de tratamiento 41.

Cuando el posicionamiento de la mesa de tratamiento 41 ha sido completado, un profesional médico (por ejemplo, un médico) introduce una señal de inicio de tratamiento en un dispositivo de entrada. Cuando recibe la señal de inicio del tratamiento, el controlador central 62 emite una orden de inicio de preparación para la irradiación al controlador del acelerador y del sistema de transporte 61 y al controlador de irradiación 63. El controlador del acelerador y del sistema de transporte 61 que ha recibido la orden de inicio de la preparación para la irradiación pone en marcha la unidad de generación de haz de partículas cargadas 2 y la unidad de transporte de haz 3 y comienza la preparación para la irradiación con haz de partículas cargadas. El controlador del acelerador y del sistema de transporte 61 controla la unidad de generación de haz de partículas cargadas 2 y la unidad de transporte de haz 3. Asimismo, cuando recibe la orden de inicio de la preparación para la irradiación, el controlador de irradiación 63 pone en marcha el dispositivo de irradiación con haz 5 y comienza la preparación para la irradiación con haz de partículas cargadas. El controlador de irradiación 63 controla el dispositivo de irradiación con haz 5.

Después de que las partículas cargadas generadas por la fuente de iones han sido aceleradas por el acelerador lineal 8, la partícula cargada acelerada es acelerada hasta una energía predeterminada por el sincrotrón 9. En la presente realización, se describe un método de irradiación como un ejemplo en el que la capa más profunda L_i del objetivo de irradiación ha sido irradiada con el haz de partículas cargadas al principio, y las capas L_2, L_3, \dots, L_m son irradiadas secuencialmente con el haz de partículas cargadas desde la capa en la posición profunda hasta la capa en la posición superficial después de que las posiciones objetivo respectivas $P_{1,j}$ de todos los puntos de irradiación $A_{1,j}$ en la capa L_1 se hayan irradiado con el haz de partículas cargadas. No obstante, el método de irradiación puede ser un método en el que las capas L_m, L_{m-1}, L_2 y L_1 son irradiadas secuencialmente con el haz de partículas cargadas desde la capa en la posición superficial a la capa en la posición profunda.

El controlador de irradiación 63 controla las corrientes de excitación del primer electroimán de exploración 51 y del segundo electroimán de exploración 52 de modo que el haz de partículas cargadas se irradia hacia la posición objetivo (posición central) $P_{i,j}$ del punto de irradiación $A_{i,j}$. Específicamente, el controlador de irradiación 63 emite una señal de instrucción de excitación al controlador de fuente de alimentación 57, de manera que la corriente de excitación se excita al primer electroimán de exploración 51 y al segundo electroimán de exploración 52. La corriente de excitación se determina basándose en la información relativa a la posición objetivo (posición central) $P_{i,j}$ del punto de irradiación $A_{i,j}$. El controlador de fuente de alimentación 57 controla la fuente de alimentación del primer electroimán de exploración 55 y la segunda fuente de alimentación de electroimán de exploración 56 para excitar la corriente de excitación hacia el primer electroimán de exploración 51 y hacia el segundo electroimán de exploración 52, respectivamente. El controlador de irradiación 63 controla las corrientes de excitación del primer electroimán de exploración 51 y del segundo electroimán de exploración 52, de modo que el haz de partículas cargadas alcanza una posición objetivo (posición central) $P_{1,1}(x_{1,1}, y_{1,1})$ de un primer punto de irradiación $A_{1,1}$ en la capa L_1 .

Cuando se determina que las corrientes de excitación del primer electroimán de exploración 51 y del segundo electroimán de exploración 52 se han ajustado para que el haz de partículas cargadas alcance la posición objetivo $P_{i,j}$ del punto de irradiación $A_{i,j}$, el controlador de irradiación 63 envía una señal de inicio de extracción de haz al

acelerador y al controlador del sistema de transporte 61. Cuando se recibe la señal de inicio de extracción del haz, el controlador del acelerador y del sistema de transporte 61 extrae el haz acelerado de partículas cargadas del sincrotrón 9. El haz de partículas cargadas aceleradas pasa a través de la unidad de transporte de haz 3 y entra en el dispositivo de irradiación con haz 5.

El haz de partículas cargadas que entró en el dispositivo de irradiación con haz 5 es explorado por el primer electroimán de exploración 51 en la dirección X y explorado por el segundo electroimán de exploración 52 en la dirección Y, de modo que la posición objetivo $P_{i,j}(x_{i,j}, y_{i,j})$ del punto de irradiación $A_{i,j}$ en la capa L_i del objetivo de irradiación es irradiada con el haz de partículas cargadas.

El monitor de dosis 54 proporcionado en el dispositivo de irradiación con haz 5 mide la dosis de radiación de haz del haz de partículas cargadas, y el monitor de posición de haz 53 mide la posición y el ancho del haz de partículas cargadas que lo atraviesa.

El monitor de dosis 54 envía los datos de la dosis medida al dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59. El dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 introduce los datos de la dosis recibidos en el primer contador de dosis 64, obtiene una dosis acumulada $R_{i,j}$ en el punto de irradiación $A_{i,j}$, y determina si la dosis acumulada $R_{i,j}$ alcanza la dosis objetivo $R_{0,j}$. Cuando la dosis acumulada $R_{i,j}$ no alcanza la dosis objetivo $R_{0,j}$ ($R_{i,j} < R_{0,j}$), el punto de irradiación $A_{i,j}$ es irradiado de manera continua con el haz de partículas cargadas. Cuando la dosis acumulada $R_{i,j}$ alcanza la dosis objetivo $R_{0,j}$, el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 envía la señal de dosis puntual satisfiecha al controlador central 62 y al controlador de irradiación 63. El controlador central 62 que ha recibido la señal de dosis puntual satisfiecha envía una señal de detención del haz al controlador del acelerador y del sistema de transporte 61. El controlador del acelerador y del sistema de transporte 61 detienen la irradiación con haz de partículas cargadas. Cuando el punto de irradiación $A_{i,j}$ es irradiado con el haz de partículas cargadas y la dosis acumulada $R_{i,j}$ alcanza la dosis objetivo $R_{0,j}$, la extracción del haz de partículas cargadas se detiene. A continuación, las corrientes de excitación de los electroimanes de exploración cambian a este estado en el que la extracción del haz de partículas cargadas se detiene. Después de que sea posible la irradiación al siguiente punto de irradiación con el haz de partículas cargadas, comienza la extracción del haz de partículas cargadas.

El monitor de posición de haz 53 envía los datos medidos de la posición y el ancho al dispositivo de medición de la posición del haz 58. Cuando la dosis acumulada $R_{i,j}$ ha alcanzado la dosis objetivo $R_{0,j}$, el dispositivo de medición de posición de haz 58 calcula la posición y el ancho del haz de partículas cargadas en el punto de irradiación $A_{i,j}$, en base a los datos recibidos de la posición y el ancho, y determina si la posición y el ancho están dentro de un rango permitido predeterminado. Cuando la posición y el ancho del haz de partículas cargadas están dentro del rango permitido, el dispositivo de medición de posición de haz 58 determina que la irradiación al punto de irradiación $A_{i,j}$ se ha completado con normalidad y comienza a irradiar el siguiente punto de irradiación $A_{i,j+1}$ con el haz de partículas cargadas. Cuando se ha completado la irradiación a todos los puntos de irradiación en la capa L_i con el haz de partículas cargadas, la siguiente capa L_{i+1} es irradiado con el haz de partículas cargadas. Cuando todas las capas L_m del objetivo de irradiación han sido irradiadas con normalidad con el haz de partículas cargadas, el tratamiento para el paciente finaliza. Cuando la posición y/o el ancho del haz de partículas cargadas ha excedido el rango permitido, el dispositivo 58 de medición de la posición del haz determina que se produce una anomalía y envía una señal detectada de anomalía al controlador del acelerador y del sistema de transporte 61, al controlador 63 de irradiación y al controlador central 62. El controlador del acelerador y del sistema de transporte 61 que ha recibido la señal detectada anormalmente no comienza a irradiar al siguiente punto de irradiación $A_{i,j+1}$ con el haz de partículas cargadas y la irradiación con el haz finaliza.

El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 de la presente realización determina la normalidad de la posición y el ancho del haz de partículas cargadas para cada punto de irradiación $A_{i,j}$ mencionado anteriormente. Adicionalmente, el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 divide una parte o la totalidad del punto $A_{i,j}$ de irradiación entre la pluralidad de puntos $A_{i,j}$ de irradiación y determina la normalidad de la posición y el ancho del haz de partículas cargadas para cada sección de irradiación con haz dividida S_k ($k = 1, 2, \dots, p$). Esto se describirá en detalle a continuación haciendo referencia a las figuras 4 a 6 (F).

En primer lugar, se describirá un punto de irradiación $A_{i,j}$ que está dividido en la pluralidad de las secciones de irradiación con haz S_k (partición S_k) entre los puntos de irradiación $A_{i,j}$. La descripción se realizará con referencia a la figura 4 como ejemplo. En la figura 4, un punto n° 1 indica un primer punto de irradiación $A_{i,1}$ de una capa L_i , y un punto n° 2 indica un segundo punto de irradiación $A_{i,2}$. Un punto n° 3 indica un tercer punto de irradiación $A_{i,3}$, y un punto n° 4 indica un cuarto punto de irradiación $A_{i,4}$. El eje horizontal en la figura 4 indica un tiempo t . El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 establece la pluralidad de secciones de irradiación con haz S_k (partición S_k) con respecto a una parte o a la totalidad de los puntos de irradiación mencionados anteriormente (el segundo punto de irradiación $A_{i,2}$ y el cuarto punto de irradiación $A_{i,4}$ en la fig. 4). A los efectos de la descripción, la sección (partición) de irradiación con haz que se establece con respecto al punto de irradiación de orden j $A_{i,j}$ de una capa L_i se indica como $S_{k,j}$ ($k = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, n$).

El punto de irradiación $A_{i,j}$ que tiene la dosis objetivo $R_{0,j}$ mayor que la dosis objetivo de la partición ΔD_0 se divide en la pluralidad de particiones $S_{k,j}$. El punto de irradiación $A_{i,j}$ que tiene la dosis objetivo $R_{0,j}$ más pequeña que la

dosis ΔD_0 no está dividido en la pluralidad de particiones. Por ejemplo, se supone que la dosis objetivo de la partición ΔD_0 es 0,033 MU. Dado que el punto de irradiación n° 1 y el punto de irradiación n° 3 tienen la dosis objetivo $R_{0i,j}$ más pequeña que la dosis objetivo de la partición ΔD_0 , no se dividen en la pluralidad de secciones de irradiación con el haz. Dado que el punto de irradiación n° 2 y el punto de irradiación n° 4 tienen la dosis objetivo mayor que la dosis objetivo de la partición ΔD_0 , se dividen en la pluralidad de particiones $S_{k,j}$. El punto de irradiación n° 2 se divide en la dosis en exceso y en cinco particiones $S_{k,j}$, es decir, $(S_{1,2})$, $(S_{2,2})$, $(S_{3,2})$, $(S_{4,2})$ y $(S_{5,2})$. El punto de irradiación n° 4 se divide en la dosis en exceso y en dos particiones $S_{k,j}$, es decir, $(S_{1,4})$, $(S_{2,4})$. Las secciones respectivas de irradiación con haz $(S_{1,2})$, $(S_{2,2})$, $(S_{3,2})$, $(S_{4,2})$, $(S_{5,2})$, $(S_{1,4})$ y $(S_{2,4})$ están configuradas a 0,033 MU. En el punto de irradiación en el que está configurada una partición $S_{k,j}$ o la pluralidad de particiones $S_{k,j}$, una sección de irradiación con haz en la que se irradia con el haz de la dosis que es menor de 0,033 MU un lugar distinto de la partición $S_{k,j}$ configurada, denomina dosis en exceso. Tal como se describió anteriormente, en la presente realización, el punto de irradiación $A_{i,j}$ dividido en la pluralidad de secciones de irradiación con haz (partición) se determina en base a una dosis predeterminada de radiación de haz (dosis objetivo de la partición ΔD_0). Específicamente, en un caso en el que la dosis objetivo $R_{0i,j}$ del punto de irradiación $A_{i,j}$ se divide por la dosis objetivo de la partición ΔD_0 y el resultado es menos de uno, el punto de irradiación $A_{i,j}$ no se divide en la pluralidad de secciones de irradiación con el haz. En un caso en el que la dosis objetivo $R_{0i,j}$ del punto de irradiación $A_{i,j}$ se divide por la dosis objetivo de la partición ΔD_0 y el resultado es uno o más, la dosis objetivo del punto de irradiación $A_{i,j}$ se divide para cada dosis predeterminada de radiación con haz (dosis objetivo de la partición ΔD_0), de modo que la dosis de todas las secciones de irradiación con haz es igual o inferior a la dosis predeterminada de radiación con haz (dosis objetivo de la partición ΔD_0).

Cuando las particiones $S_{k,j}$ configuradas con respecto a un punto de irradiación $A_{i,j}$ se irradian con el haz de partículas cargadas, la posición objetivo $P_{i,j}$ del haz de partículas cargadas que está determinada por el primer electroimán de exploración 51 y el segundo electroimán de exploración 52 no cambia incluso cuando la sección de irradiación con haz cambia (por ejemplo, desde la partición $(S_{1,2})$ a la otra partición $(S_{2,2})$). La posición objetivo $P_{i,j}$ de la siguiente sección de irradiación $(S_{2,2})$ sigue siendo la posición objetivo $P_{i,j}$ de su punto de irradiación $A_{i,j}$. Las particiones $S_{k,j}$, configuradas en relación con un punto de irradiación $A_{i,j}$ son irradiadas de manera continua con el haz de partículas cargadas. En la presente realización, se describe un ejemplo en el que el punto de irradiación $A_{i,j}$ que se va a dividir en la pluralidad de secciones de irradiación con haz $S_{k,j}$ (partición $S_{k,j}$) se determina en base a un valor predeterminado de dosis de radiación con haz. No obstante, el punto de irradiación $A_{i,j}$ puede dividirse en la pluralidad de secciones $S_{k,j}$ (partición $S_{k,j}$) de irradiación con haz en base a un intervalo de tiempo predeterminado en lugar del valor predeterminado de la dosis de radiación de haz. Asimismo, el punto de irradiación $A_{i,j}$ puede dividirse en la sección $S_{k,j}$ (partición $S_{k,j}$) de irradiación con haz dividiendo en partes iguales la dosis de irradiación objetivo $R_{0i,j}$ hacia el punto de irradiación $A_{i,j}$ utilizando un cociente integral obtenido cuando la dosis de irradiación objetivo $R_{0i,j}$ hacia el punto de irradiación $A_{i,j}$ se divide por el valor predeterminado de la dosis de radiación del haz ΔD_0 .

Haciendo referencia a las figuras 5 a 6 (F) se describirá que el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 según la presente realización calcula la posición y el ancho del haz de partículas cargadas en cada sección $S_{k,j}$ (partición $S_{k,j}$) de irradiación con haz. La figura 5 es un diagrama de flujo para calcular la posición y el ancho del haz de partículas cargadas mediante el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 de la presente realización. Las figuras 6 (A) a 6 (F) son diagramas de tiempos de las series temporales de la medición de la dosis de radiación de haz del haz de partículas cargadas y del cálculo de la posición y el ancho del haz, realizado por el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 en el punto y en cada partición. El punto de irradiación n° 2 ($A_{i,2}$) mostrado en la figura 4 se describe como ejemplo en las figuras 6 (A) a 6 (F).

La figura 6 (A) indica el resultado de la dosis de radiación de haz, medido por el primer contador de dosis 64 del dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59, y la figura 6 (B) indica el resultado de la dosis de radiación de haz, medido por el segundo contador de dosis 65 del dispositivo de medición de dosis de radiación con haz 59. Tal como se indica en la figura 6 (A), cuando la dosis acumulada del haz $R_{i,j}$ en el punto de irradiación alcanza la dosis objetivo $R_{0i,j}$, el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 envía la señal de dosis puntual satisfecha al controlador central 62 y al controlador de irradiación 63. Asimismo, tal como se indica en la figura 6 (B), cuando la dosis de radiación de haz en cada partición alcanza la dosis objetivo ΔD_k , el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 envía la señal de dosis de la partición satisfecha al controlador de irradiación 63. La figura 6 (C) es el resultado medido de la posición del haz en cada partición medido por el dispositivo de medición de la posición del haz 58. La figura 6 (D) son los tiempos en los que el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 mide la dosis de radiación del haz en cada partición y la dosis acumulada del haz en el punto y determina su normalidad. La figura 6 (E) son los tiempos en los que el dispositivo de medición de la posición del haz 58 calcula la posición y el ancho del haz en la partición. La figura 6 (F) son los tiempos en los que el dispositivo de medición de la posición del haz 58 calcula la posición y el ancho del haz en el punto y determina su normalidad.

El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 comienza a irradiar el punto de irradiación $A_{i,j}$ con el haz de partículas cargadas (etapa S1). El monitor de dosis 54 comienza a medir la dosis de radiación de haz del haz de partículas cargadas, y el monitor de posición de haz 53 comienza a medir la posición y el ancho del haz de partículas cargadas que lo atraviesa. El monitor de dosis 54 envía los datos de la dosis medidos al dispositivo de medición de dosis de radiación con haz 59. El dispositivo de medición de dosis de radiación con haz 59 introduce los

datos de dosis recibidos en el segundo contador de dosis 65, y el segundo contador de dosis 65 obtiene la dosis de radiación del haz en cada partición. El dispositivo 59 de medición de dosis de radiación de radiación almacena información sobre la dosis objetivo ΔD_k que se ha establecido previamente para cada sección $S_{k,j}$ (partición $S_{k,j}$) de irradiación con haz en una memoria (no mostrada). El dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 determina si la dosis de radiación del haz obtenida por el segundo contador de dosis 65 ha alcanzado la dosis objetivo ΔD_k (etapa S2). Cuando la dosis de radiación de haz de la sección de irradiación con haz $S_{k,j}$ (partición $S_{k,j}$) alcanza la dosis objetivo ΔD_k , el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 envía la señal de dosis de la partición satisfecha al controlador de irradiación 63, y reinicia el recuento del segundo contador de dosis 65. De esta forma, cuando el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 comienza a obtener la dosis de radiación de haz de la siguiente sección de irradiación con haz, el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 reinicia el segundo contador de dosis 65 y mide la dosis de radiación de haz desde cero en la siguiente sección de irradiación con haz. De esta manera, el segundo contador de dosis 65 mide la dosis de radiación de haz para cada sección de irradiación con haz.

El controlador de irradiación 63 calcula previamente el número de dosis de la partición en las que está dividida la dosis objetivo hacia la zona de irradiación $A_{i,j}$ y la almacena en la memoria (no mostrada). Cuando se recibe la señal de satisfacción de la dosis de la partición del dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59, el controlador de irradiación 63 determina si la señal de satisfacción de dosis de la partición es la señal de dosis de la partición satisfecha de la partición final (etapa S3). Cuando la señal de dosis de la partición satisfecha no es la señal de dosis de la partición satisfecha de la partición final, el controlador de irradiación 63 no interrumpe el haz de partículas cargadas (continúa la irradiación con haz). Cuando la partición no es la partición final, el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 calcula la posición y el ancho del haz de partículas cargadas de la sección de irradiación con haz $S_{k,j}$ que se ha irradiado más recientemente (etapa S4). El dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 determina si la posición y el ancho del haz de acuerdo con el resultado del cálculo están dentro del rango permitido (etapa S5). Cuando esta determinación se aleja del rango permisible, el dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 emite la señal de anomalía detectada al controlador del acelerador y del sistema de transporte 61, al controlador central 62 y al controlador de irradiación 63. El controlador de irradiación 63 finaliza la irradiación con el haz de partículas cargadas (etapa S7) inmediatamente o al mismo tiempo que se recibe la siguiente señal de dosis de la partición satisfecha (etapa S6).

Cuando la señal de dosis de la partición satisfecha es la señal de dosis de la partición satisfecha de la partición final, el dispositivo de medición de la posición del haz 58 no calcula la posición y el ancho del haz de partículas cargadas. En consecuencia, la dosis de radiación del haz ΔD_k de la partición final y la dosis Δd que se convierte en exceso cuando la dosis objetivo se divide por la dosis de la partición no se calculan y se determinan sus posiciones y anchuras individualmente. La dosis de radiación de haz de la partición final se evalúa y determina como la dosis acumulada del punto completo después de que se ha completado la irradiación puntual. Por lo tanto, se establece un valor de ΔD_0 de la dosis de la partición para que el efecto sobre la dosis completa y la distribución de dosis mediante la irradiación de la dosis de la partición ΔD_0 no se desvíe del rango permitido incluso cuando se produce una anomalía en la posición y el ancho durante la irradiación de la dosis de la partición ΔD_0 .

Asimismo, en el caso en que se haya emitido la siguiente señal de dosis de la partición satisfecha cuando el dispositivo de medición de la posición del haz 58 ha calculado la posición y el ancho del haz de partículas cargadas y determina su normalidad en cada partición, es preferible que el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1 tenga un enclavamiento para interrumpir o terminar la irradiación con el haz de partículas cargadas. Alternativamente, el control para limitar la intensidad del haz de partículas cargadas se puede realizar de modo que la siguiente dosis de la partición no se satisfaga cuando se calcula y determina la posición y el ancho del haz de partículas cargadas que es la integración de la dosis de la partición.

En la presente realización, tal como se describió anteriormente, su dosis objetivo de irradiación para un único punto se divide en la pluralidad de dosis de la partición, y la posición del haz y el ancho del haz de partículas cargadas se calcula para cada dosis de la partición y se determina (determinación de si el resultado del cálculo de la posición y el ancho del haz se aleja del rango permitido). A continuación, incluso cuando se produce una anomalía en la posición del haz y el ancho del haz de partículas cargadas durante la irradiación al único punto, es posible detener la irradiación con haz de manera segura antes de que la influencia de la anomalía se aleje del rango permitido. Por consiguiente, la limitación a la dosis máxima con la que puede irradiarse el punto único puede relajarse considerablemente.

Asimismo, de acuerdo con la presente realización, el límite superior de la dosis con la que se puede irradiar un único punto de irradiación se relaja, a la vez que se garantiza la seguridad. Se reduce el número de determinaciones de puntos en los que se interrumpe la irradiación reduciendo el número de nuevos reimpacts, y se mejora la tasa de la dosis.

[Segunda realización]

Se describirá un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1A de la presente realización. El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1A de la presente realización tiene una estructura que incluye un dispositivo de irradiación con haz 5A en lugar del dispositivo de irradiación con haz 5 de la primera realización. En el

sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1A de la presente realización, se omite la descripción de las partes, que tienen las mismas funciones y se indican con las mismas referencias que las de la configuración descrita en la primera realización.

5 El dispositivo de irradiación con haz 5A de la presente realización se describirá con referencia a la figura 7. El dispositivo de irradiación con haz 5A tiene una estructura que incluye dos monitores de dosis (primer monitor de dosis 54A y segundo monitor de dosis 54B) en lugar del monitor de dosis 54 del dispositivo de irradiación con haz 5 de la primera realización y que incluye dos dispositivos de medición de dosis de radiación de haz (primer dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59A y segundo dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59B) en lugar del dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59 de la primera realización. El primer monitor de dosis 54A está conectado al primer dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59A, y el segundo monitor de dosis 54B está conectado al segundo dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59B. El primer dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59A incluye dos contadores de dosis (primer contador de dosis 64A y segundo contador de dosis 65A). El segundo dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59B incluye dos contadores de dosis (primer contador de dosis 64B y segundo contador de dosis 65B). El primer monitor de dosis 54A y el primer dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59A están incluidos en un primer instrumento de medición de dosis de radiación de haz, y el segundo monitor de dosis 54B y el segundo dispositivo de medición de dosis de radiación de radiación 59B están incluidos en un segundo instrumento de medición de dosis de radiación de haz. En la presente realización, se describe un ejemplo en el que el primer monitor de dosis 54A está dispuesto más abajo del segundo monitor de dosis 54B (un lado de una salida del dispositivo de irradiación con haz 5A). Sin embargo, el segundo monitor de dosis 54B puede estar dispuesto más abajo del primer monitor de dosis 54A (el lado de la salida del dispositivo de irradiación con haz 5A).

Se describirá con referencia a las figuras 8 (A) a 8 (H) que el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1A de acuerdo con la presente realización calcula la posición y el ancho del haz de partículas cargadas en cada sección de irradiación con haz $S_{k,j}$ (partición $S_{k,j}$). Las figuras 8 (A) a 8 (H) son diagramas de series de tiempos de la medición de la dosis de radiación de haz del haz de partículas cargadas y el cálculo de la posición y el ancho del haz, realizado por el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas 1A en el punto y en cada partición. En la presente realización, un punto de irradiación n° 2 ($A_{i,2}$) en la figura 4 se describe como un ejemplo con referencia a las figuras 8 (A) a 8 (H)

La figura 8 (A) indica el resultado de la dosis de radiación de haz, medido por el primer contador de dosis 64A del primer dispositivo de medición de dosis de radiación con haz 59A, y la figura 8 (B) indica el resultado de la dosis de radiación de haz, medido por el segundo contador de dosis 65A del primer dispositivo de medición de dosis de radiación con haz 59A. Tal como se indica en la figura 8 (A), cuando la dosis acumulada $R_{0,i,j}$ del haz hasta la dosis de irradiación alcanza la dosis objetivo $R_{0,i,j}$, el primer dispositivo de medición de dosis de radiación 59A envía la señal de dosis puntual satisfecha al controlador central 62 y al controlador de irradiación 63. Asimismo, tal como se indica en la figura 8 (B), cuando la dosis de radiación del haz en cada partición 29 alcanza la dosis objetivo ΔD_k , el primer dispositivo de medición de dosis de radiación con haz 59A emite la señal de dosis de la partición satisfecha al controlador de irradiación 63.

La figura 8 (C) indica el resultado de la dosis de radiación de haz, medido por el primer contador de dosis 64B del segundo dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59B, y la figura 8 (D) indica el resultado de la dosis de radiación de haz, medido por el segundo contador de dosis 65A del dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59B.

La figura 8 (E) indica un almacenamiento de la información de posición del haz en cada partición mediante un contador de posición (no mostrado) del dispositivo de medición de la posición del haz 58.

La figura 8 (F) indica un tiempo en el que el primer dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59A y el segundo dispositivo de medición de dosis de radiación de haz 59B miden la dosis de radiación de haz en cada partición y la dosis acumulada de haz en el punto. La figura 8 (G) indica los tiempos en los que el dispositivo de medición de la posición del haz 58 calcula la posición y el ancho del haz en la partición, y la figura 8 (H) indica un tiempo en el que el dispositivo de medición de la posición del haz 58 calcula la posición y el ancho del haz en el punto.

En la presente realización, dos instrumentos de medición de la dosis de radiación de haz, es decir, los primer y segundo instrumentos de medición de la dosis de radiación de haz miden el valor de la dosis del haz de partículas cargadas. Se puede proporcionar un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas más seguro gestionando el valor de la dosis de radiación del haz mediante los dos instrumentos de medición de dosis de radiación del haz.

Según la presente realización, la dosis objetivo de irradiación para un único punto se divide en la pluralidad de dosis de la partición, y la posición del haz y el ancho del haz de partículas cargadas se calcula para cada dosis de la partición y se determina (determinación de si el resultado del cálculo de la posición del haz y el ancho se alejan del rango permitido). A continuación, incluso cuando se produce una anomalía en la posición del haz y en el ancho del haz de partículas cargadas durante la irradiación al punto único, es posible detener la irradiación con haz de manera

segura antes de que la influencia de la anormalidad se aleje del rango permitido. Por consiguiente, la limitación a la dosis máxima con la que se puede irradiar el único punto se puede relajar considerablemente.

5 Según la presente realización, el límite superior de la dosis con el que se puede irradiar un único punto de irradiación se relaja, a la vez que se garantiza la seguridad. Se reduce el número de determinaciones de puntos en los que la irradiación se interrumpe al reducir el número de reimpactos y se mejora la tasa de la dosis.

10 En las primera y segunda realizaciones, se ha descrito un ejemplo en el que los instrumentos de medición de la posición del haz (monitor de posición del haz 53 y dispositivo de medición de la posición del haz 58) obtienen tanto la posición como el ancho del haz de partículas cargadas y determinan la anormalidad. Sin embargo, se puede obtener uno de la posición y el ancho del haz de partículas cargadas y determinar su anormalidad.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas (1) que comprende:

5 una unidad de generación de haz de partículas cargadas configurada para acelerar y extraer un haz de partículas cargadas;
 un electroimán de exploración configurado para explorar el haz de partículas cargadas acelerado;
 un dispositivo de irradiación con haz (5) configurado para irradiar el haz de partículas cargadas acelerado a
 10 una pluralidad de puntos de irradiación establecidos respectivamente para una pluralidad de capas que se forman dividiendo un objetivo de irradiación en una dirección de desplazamiento del haz de partículas cargadas;
 en el que una parte o la totalidad de la pluralidad de los puntos de irradiación se dividen en una pluralidad de particiones; estando las particiones creadas por división de la dosis de un punto de irradiación en la pluralidad de secciones de irradiación con haz;
 15 un instrumento de medición de la dosis de radiación de haz (59) configurado para obtener una dosis del haz de partículas cargadas para pasar a través del dispositivo de irradiación con haz (5); y
 un instrumento de medición de posición del haz (58) configurado para obtener uno o ambos de la posición y el ancho del haz de partículas electromagnéticas cargadas exploradas por el electroimán de exploración durante la irradiación en el punto de irradiación con el haz de partículas cargadas con respecto a una partición;
 20 **caracterizado por que:**

el instrumento de medición de la posición del haz (58) está adaptado para iniciar el cálculo de uno o ambos de la posición y el ancho del haz de partículas cargadas para cada punto de irradiación cuando se emite una señal de dosis de la partición satisfecha, para obtener un resultado del cálculo y para
 25 determinar si el resultado obtenido está dentro de un rango permisible, y después de que la determinación de una partición ha terminado, iniciar el cálculo de uno o ambos de la posición y el ancho del haz de partículas cargadas obtenido para la siguiente partición.

2. El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas (1) según la reivindicación 1, en el que la partición se establece en base a un valor predeterminado de la dosis de referencia o del haz de partículas cargadas.

3. El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas (1) según al menos una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que la partición se establece en base a una información predeterminada de tiempo.

4. Sistema de irradiación con haz de partículas cargadas (1) según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la partición se establece dividiendo en partes iguales una dosis de irradiación objetivo en el punto de irradiación utilizando un cociente integral obtenido cuando la dosis de irradiación objetivo hacia un punto de irradiación es dividida por un valor de la dosis de referencia.

5. El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas según al menos una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el instrumento de medición de la posición del haz (58) está adaptado para no obtener la posición y ancho del haz de partículas cargadas en la partición final entre una pluralidad de particiones establecidas en un punto de irradiación y para determinar
 45 si la posición y el ancho del haz en la partición final están dentro del rango permisible en base a la información relativa a uno o al ambos de la posición y el ancho del haz de partículas cargadas en el punto de irradiación.

6. El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas (1) según al menos una de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende:

un controlador, configurado para detener la emisión del haz de partículas cargadas del dispositivo de irradiación con haz (5) cuando el instrumento de medición de la posición del haz (58) determina que uno o ambos de la posición y el ancho del haz de partículas cargadas para cada partición no se encuentran dentro del límite admisible.

7. Sistema de irradiación con haz de partículas cargadas (1) según la reivindicación 5, en el que el valor de la dosis de la partición se establece de modo que el efecto sobre la dosis completa y la distribución de dosis mediante la irradiación de la dosis de la partición no se aparta del intervalo permitido incluso cuando se produce una anomalía en la posición y el ancho durante la irradiación de la dosis de la partición.

FIG. 1

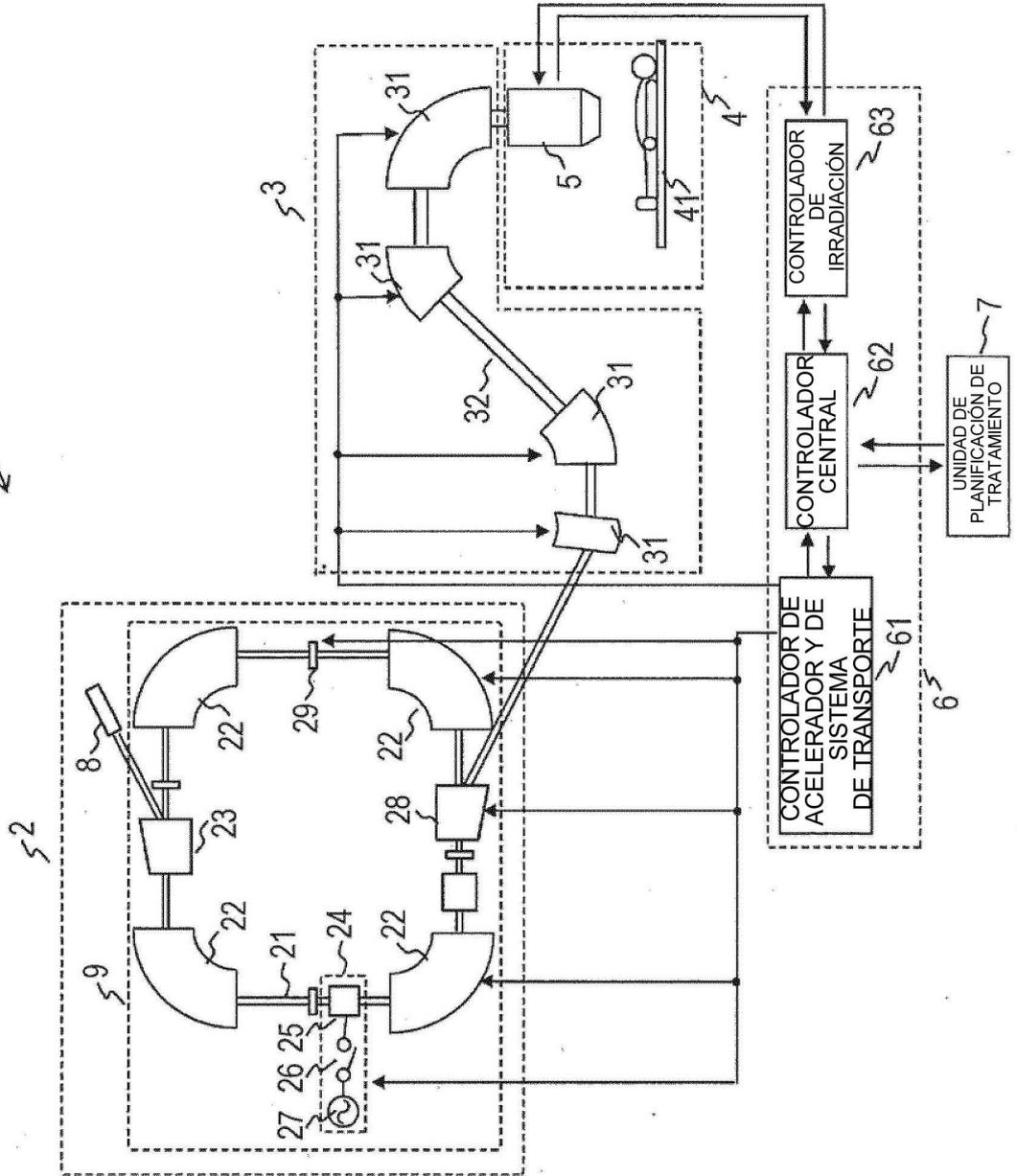


FIG. 2

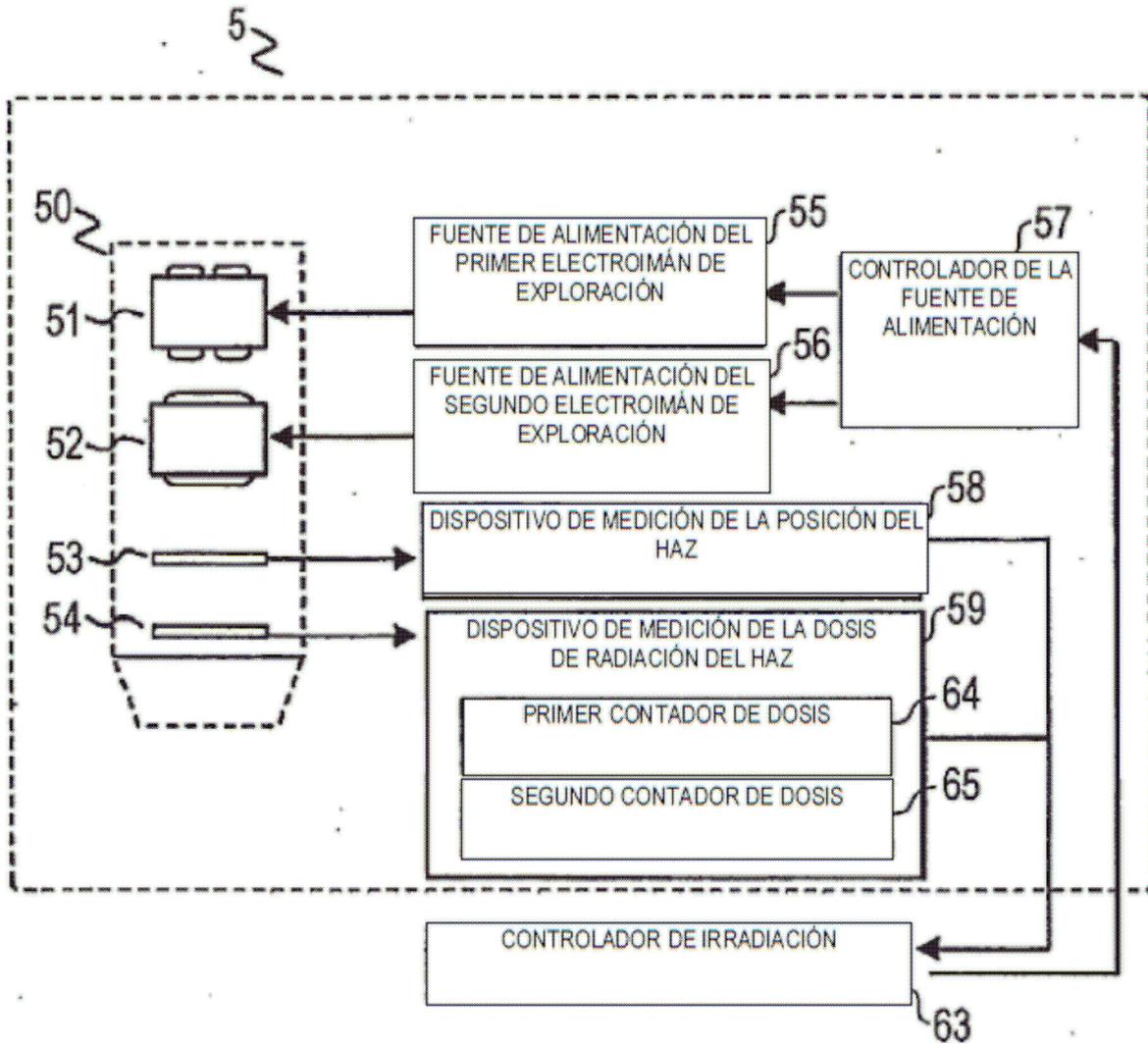


FIG. 3

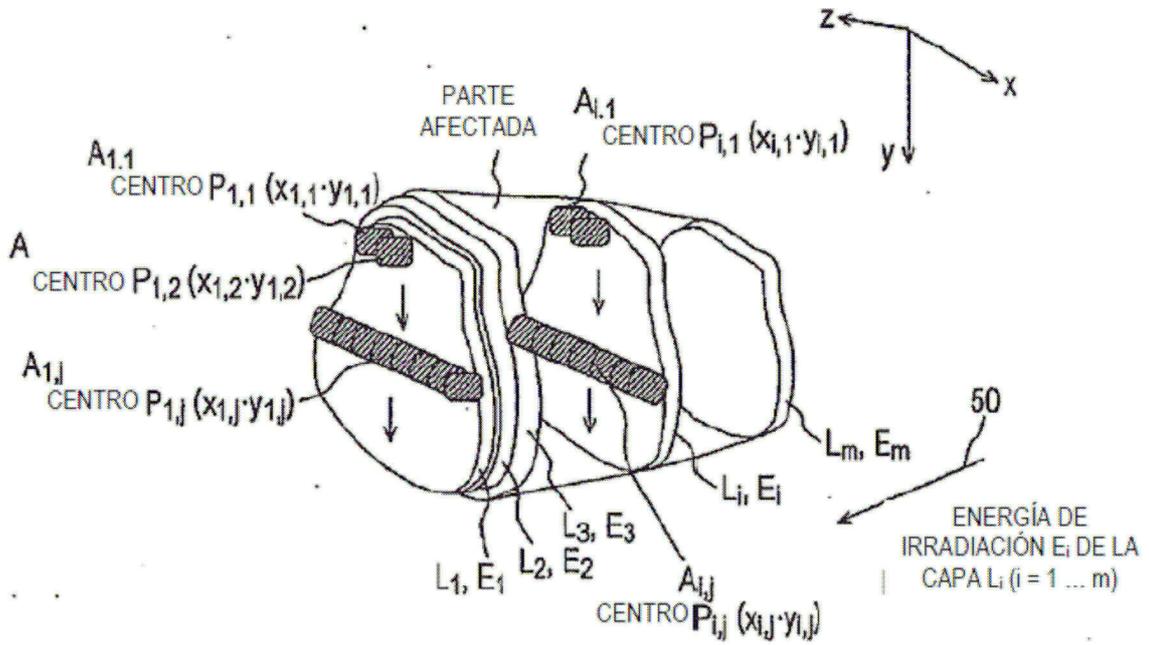


FIG. 4

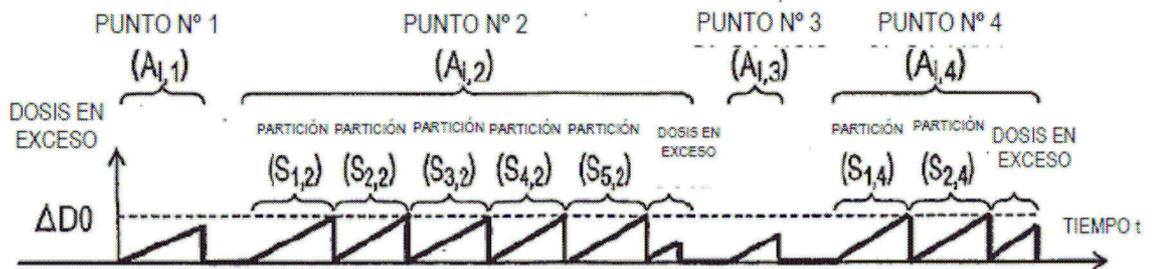


FIG. 5

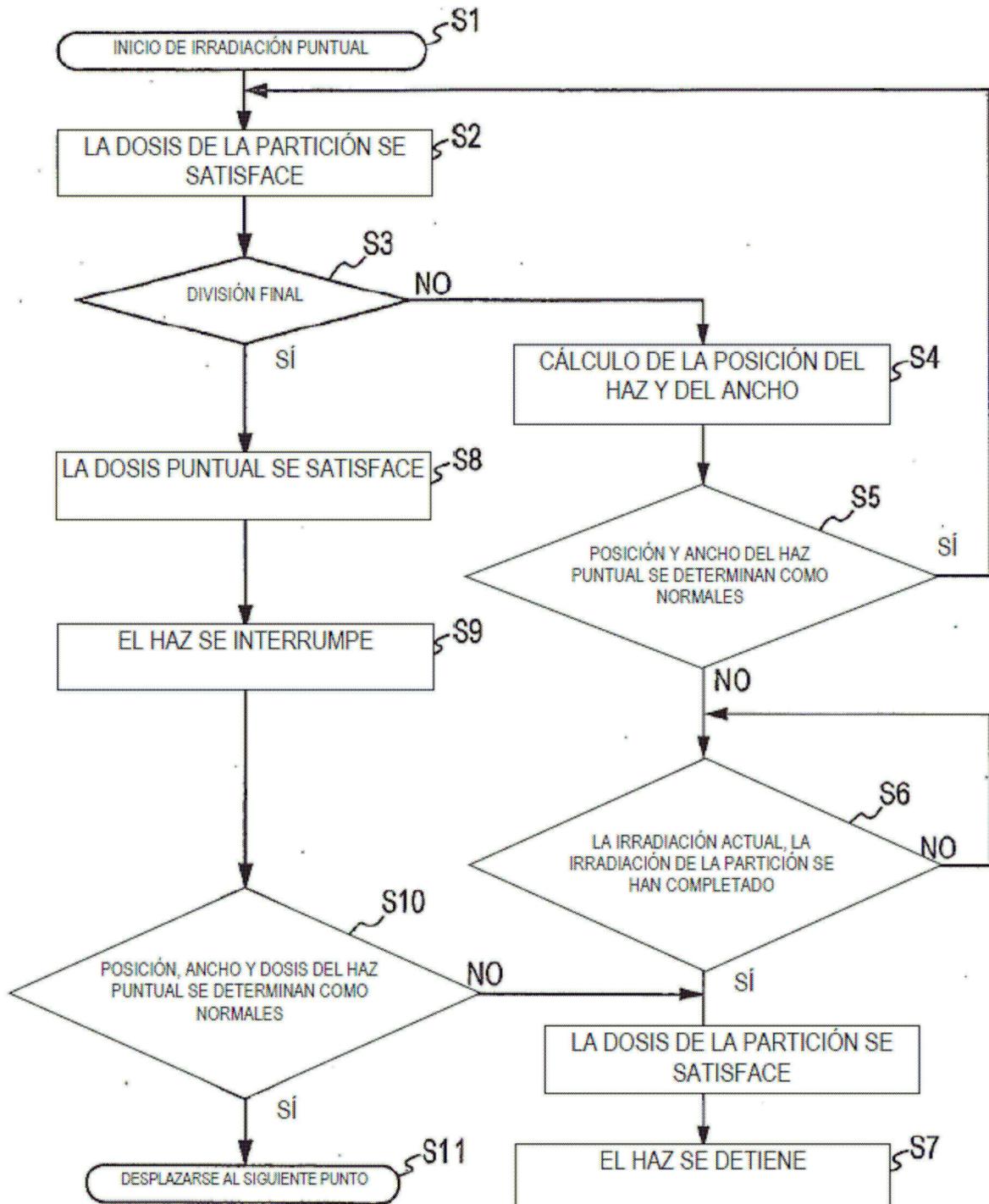


FIG. 6

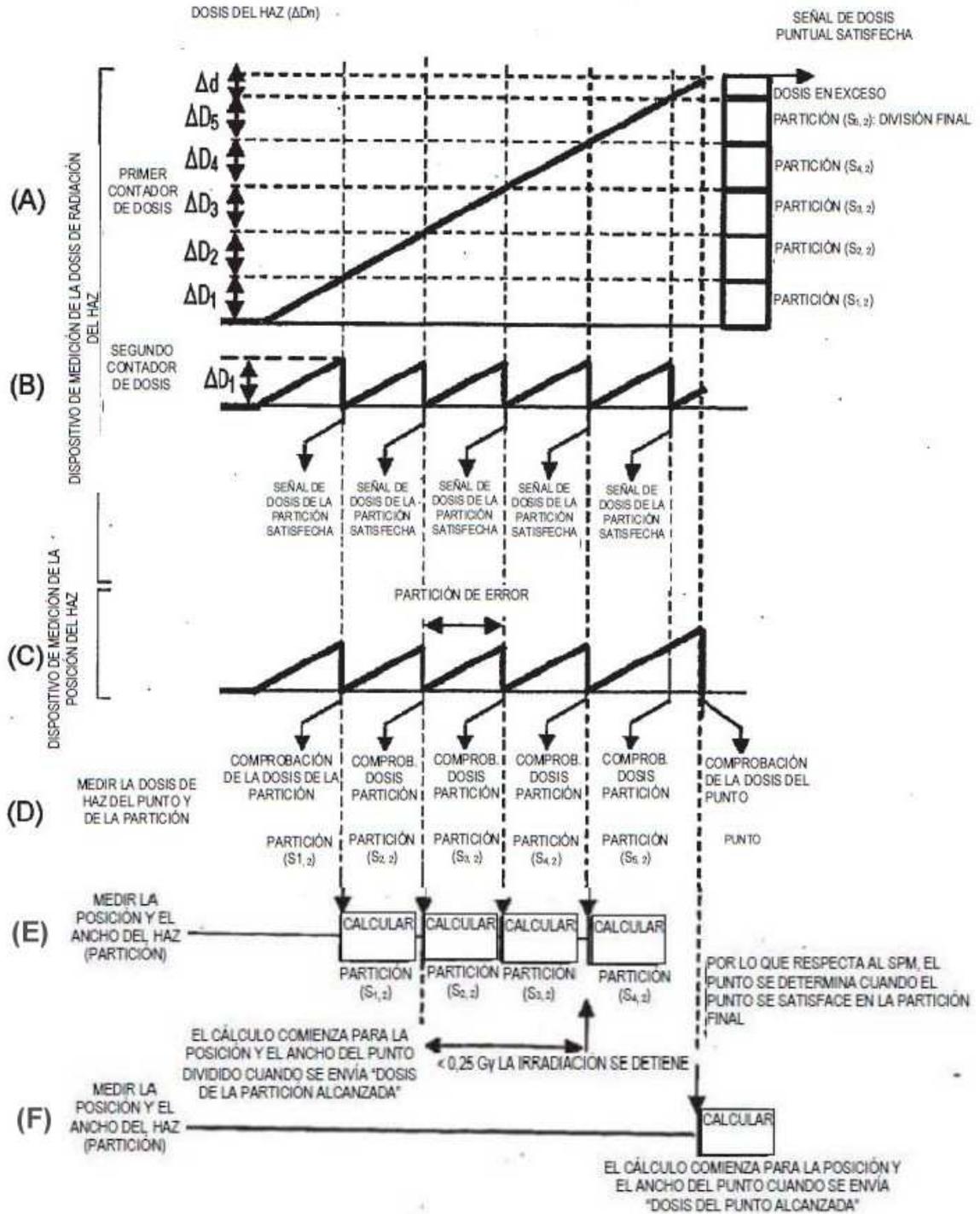


FIG. 7

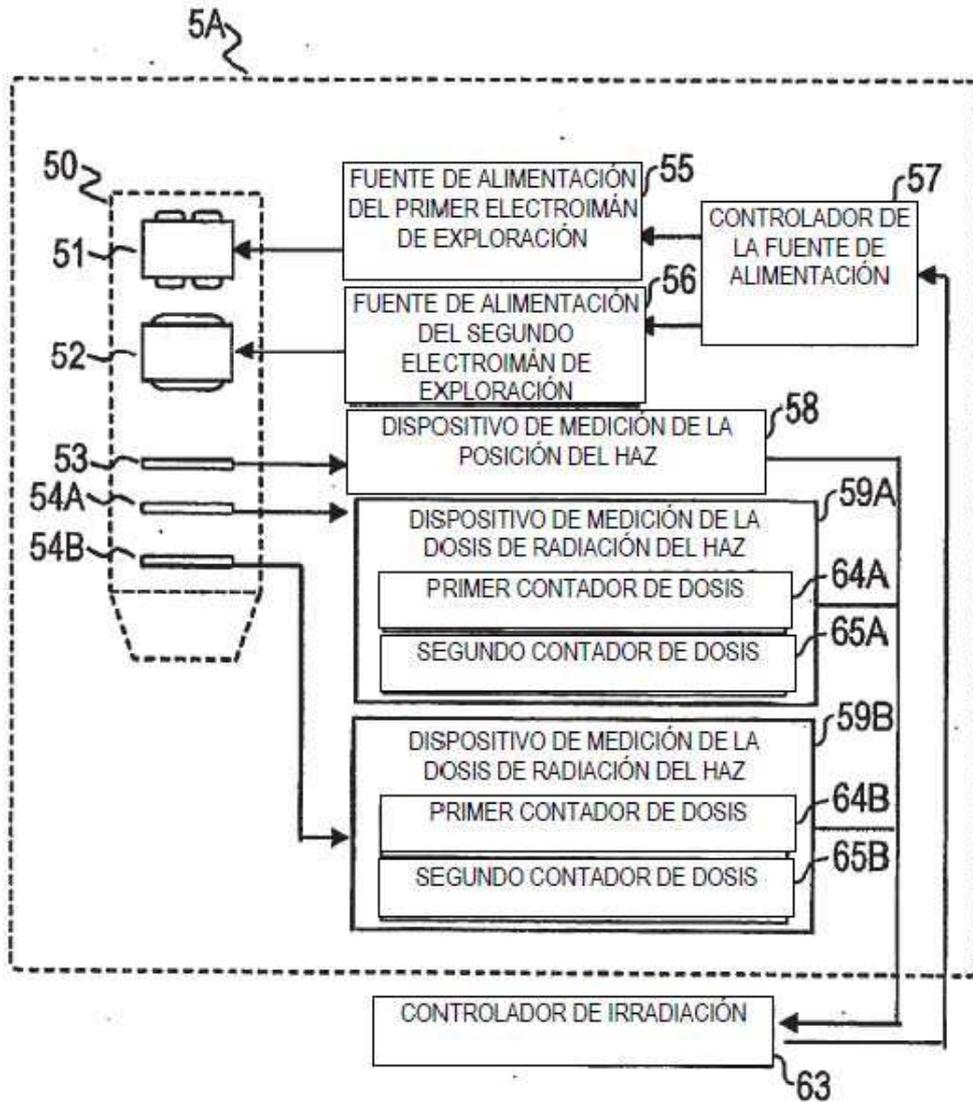


FIG. 8

