

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 400**

51 Int. Cl.:

H05H 7/12 (2006.01)

A61N 5/00 (2006.01)

H05H 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2008 E 08021948 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 2073612**

54 Título: **Aparato de irradiación con haz de partículas cargadas**

30 Prioridad:

21.12.2007 JP 2007330297

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

28.11.2017

73 Titular/es:

**HITACHI LTD. (100.0%)
6-6, MARUNOUCHI 1-CHOME
CHIYODA-KU TOKYO 100-8280, JP**

72 Inventor/es:

**MORIYAMA, KUNIO;
NAKAYAMA, TAKAHIDE y
NISHIUCHI, HIDEAKI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 644 400 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

Aparato de irradiación con 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 haz de partículas cargadas. Más particularmente, la invención se refiere a un haz de partículas cargadas que se aplica preferiblemente a un sistema de terapia con haz de partículas para tratar una parte afectada, irradiando la parte afectada con un haz de partículas cargadas, tal como un protón y un ion de carbono.

2. Descripción de la técnica relacionada

Se conoce un método de tratamiento que irradia una parte afectada de un paciente (por ejemplo, cáncer) con un haz de partículas cargadas (haz de iones), tal como un protón y un ion de carbono. Un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas utilizado para el tratamiento (un dispositivo de extracción de haz de partículas o un dispositivo de extracción de haz de partículas cargadas) incluye un generador de haz de iones. Un haz de iones acelerado mediante el generador de haz de iones pasa a través de una primera línea de transporte de haz y de una segunda línea de transporte de haz que está dispuesta en un pórtico giratorio y, después, alcanza una boquilla de irradiación dispuesta en el pórtico giratorio. El haz de iones es extraído de la boquilla de irradiación y, a continuación, la parte afectada del paciente se irradia con el haz de iones. Como generador de haz de iones se conoce, por ejemplo, un sincrotrón (acelerador circular) tal como el descrito en la Patente U.S.A. Nº 5.363.008. Este sincrotrón incluye: medios para hacer que un haz de partículas cargadas orbite en una órbita cerrada; medios para llevar las oscilaciones de betatrón del haz de partículas cargadas a un estado de resonancia fuera de un límite de estabilidad de resonancia; y un deflector de extracción para sacar el haz de partículas cargadas de la órbita cerrada.

Una boquilla de irradiación da forma el haz de iones introducido por el generador de haz de iones sobre la base de la profundidad desde la superficie corporal de un paciente y la forma de la parte afectada y, a continuación, irradia la parte afectada del paciente colocado sobre una mesa de tratamiento, con el haz de iones. En general, una boquilla de irradiación irradia una parte afectada con un haz de iones utilizando cualquiera de los siguientes métodos de irradiación con haz: irradiación pasiva doble (bibliografía no de patente 1, página 2081, figura 35); método de Wobbler (bibliografía no de patente 1, página 2084, figura 41); y método de escaneo con haz (patente japonesa Nº 2596292 y bibliografía no de patente 1, páginas 2092 a 2093).

Una parte afectada habitualmente tiene un grosor sustancial en la dirección de desplazamiento de un haz de iones en el cuerpo de un paciente. Para irradiar con un haz de iones la parte afectada, en todo el grosor de la parte afectada, la energía del haz de iones debe ser controlada de manera que forme un intervalo uniforme de dosis absorbida, que sea amplio en cierta medida, en la dirección de desplazamiento del haz de iones (es decir, pico de Bragg ensanchado, denominado en adelante en la presente memoria "SOBP" (Spread-Out Bragg Peak, en inglés). Como medio de control de la energía para formar el SOBP deseado, se propone un método de irradiación que adopta una rueda de modulación de intervalo (denominada en adelante en la presente memoria "RMW" (Range Modulation Wheel, en inglés)) (bibliografía no de patente 1, página 2077, figura 30). La RMW es una estructura giratoria en la que una pluralidad de materiales absorbentes de energía elementos en forma de cuña, están dispuestos en una dirección circunferencial de manera que el grosor de una región a través de la cual pasa un haz de iones cambia con el punto de tiempo. La RMW está diseñada de tal manera que la rotación de la RMW aumenta o disminuye el grosor en la dirección de desplazamiento (en una dirección axial de la RMW) del haz de iones. Dicho método de irradiación que utiliza la RMW se denomina "método de irradiación RMW".

Por otra parte, cuando se utiliza un sistema de irradiación con partícula cargada, existe la posibilidad de que algunos de los haces de partículas cargadas extraídos de un generador de haz de iones no sean transportados al sistema de irradiación con partículas cargadas. Este tipo de haces se tratan como haces innecesarios de partículas cargadas. Por esta razón, para manejar los haces innecesarios de partículas cargadas, una primera línea de transporte de haz está provista de un dispositivo de descarga de haz (patente U.S.A. Nº 5.260.581).

Bibliografía no de patente 1: REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS (Revisión de instrumentos científicos), volumen 64, número 8 (agosto de 1993) páginas 2074 a 2093

Bibliografía no de patente 2: Proceedings of the Symposium on Accelerator and Related Technology for Application (Actas del Simposio sobre acelerador y tecnología relacionada para aplicación), volumen 7 (junio de 2005) páginas 35 a 36.

Además, el documento de Peters et al.: "Beam Diagnostics for the Heavy Ion Cancer Therapy Facility", (Diagnóstico mediante haz para instalación de terapia para el tratamiento del cáncer con iones pesados), AIP Conference Proceedings (Actas de la Conferencia del AIP (American Institute of Physics)), Nueva York. U.S.A., nº 546, 8 de mayo de 2000, páginas 519 a 526, XP008003048, ISSN: 0094-243X. DOI: 10.1063/1.1342625, describe un sistema

de irradiación con partículas cargadas que comprende todas las características de la parte precaracterizadora de la reivindicación 1.

5 El documento US 4870287 también describe un sistema de terapia con haz de protones, con un vertedero para haz no utilizado. El documento EP 1 598 094 A describe una instalación de irradiación que comprende una pluralidad de vertederos de haz.

COMPENDIO DE LA INVENCION

10 El sincrotrón acelera un haz de iones inyectado desde un preacelerador hasta la energía deseada antes de que se extraiga el haz de iones. Un ciclo de operación del sincrotrón está constituido por inyección, aceleración, extracción y desaceleración. El sincrotrón funciona repitiendo dicho ciclo de operación. Por lo tanto, en contraste con los ciclotrones, un haz de iones se suministra a un sincrotrón solamente en el momento de la inyección en un ciclo de operación. La cantidad acumulada de haces de iones acelerados por el sincrotrón disminuye, desde el valor máximo alcanzado al final de la aceleración, con el lapso del tiempo en el control de la extracción (bibliografía no de patente 1). Además, se sabe que la relación entre la amplitud (tensión) de una señal de radiofrecuencia a aplicar a un electrodo aplicador de ondas de radiofrecuencia, y la intensidad de un haz de iones extraído del sincrotrón, también influye en la cantidad acumulada de haces de iones en el sincrotrón. Por lo tanto, no es fácil extraer un haz de iones a la intensidad deseada.

20 Hasta ahora, se propone un método de control de intensidad de haz extraído que incluye las etapas de: modelizar un proceso de extracción considerando la dispersión de un haz de iones provocada por una señal de extracción de radiofrecuencia a aplicar al haz de iones; estimar la intensidad de un haz de iones que orbita en el sincrotrón a partir del número de partículas extraídas por una señal de intensidad de haz solicitada; optimizar un patrón para determinar una función de modulación de amplitud de una señal de radiofrecuencia sobre la base de la intensidad para determinar un patrón de intensidad correspondiente; y controlar la intensidad de un haz extraído sobre la base del patrón de intensidad (por ejemplo, bibliografía no de patente 2). No obstante, la intensidad del haz de extracción no siempre sigue el patrón de intensidad que se ha estimado. Por ejemplo, incluso si se pretende obtener un patrón de extracción de haz con una estructura uniforme, se obtiene un patrón de intensidad que tiene una estructura temporal que no se puede considerar como una estructura uniforme.

30 Además, el dosímetro para medir la intensidad de un haz está dispuesto en el lado de la boquilla de irradiación. En consecuencia, la intensidad del haz extraído del sincrotrón no puede medirse antes de que el dosímetro reciba el haz que ha pasado a través de una línea de transporte, un pórtico y la boquilla de irradiación.

35 Por lo tanto, en una etapa de construcción del sistema de irradiación con haz de partículas cargadas, la intensidad de un haz de iones extraído del sincrotrón no se pudo medir hasta la finalización de la boquilla de irradiación. Además, incluso después de que se complete la construcción del sistema de irradiación con haz de partículas cargadas, si se detecta un estado anormal de la intensidad de un haz extraído, no es posible evaluar fácilmente si el estado anormal está provocado por el haz extraído del sincrotrón o por un mal funcionamiento de un elemento dispuesto después del sincrotrón, lo que requiere un largo período de tiempo para investigar la causa.

45 En el caso del sistema en el que la primera línea de transporte de haz está provista del dispositivo de descarga de haz (descrito en la Patente U.S.A. 5.260.581), si algunos de los haces de partículas cargadas extraídos del generador de haz de iones dan lugar a haces innecesarios, los haces innecesarios son transportados al vertedero para que los haces innecesarios puedan ser manejados apropiadamente. Sin embargo, el dispositivo de descarga de haz en el sistema convencional solo se utiliza para descargar haces innecesarios.

50 Un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas que sea capaz de ajustar la intensidad de un haz de iones extraído de un sincrotrón sin actuar sobre cada componente de una línea de transporte de haz, y una boquilla de irradiación.

Con el fin de conseguir el objeto descrito anteriormente, la presente invención proporciona un aparato de irradiación con haz de partículas cargadas según la presente reivindicación 1.

55 Es deseable disponer de un dispositivo de descarga de haz, que esté provisto del dispositivo de monitorización de dosis, en una posición inmediatamente después del sincrotrón, de manera que un haz de iones pueda llegar al dispositivo de descarga de haz sin pasar por muchos dispositivos de la línea de transporte de haz.

60 Según la presente invención, la intensidad de un haz de iones extraído de un sincrotrón puede ajustarse sin actuar sobre cada componente de una línea de transporte de haz y una boquilla de irradiación.

Esto hace posible realizar un ajuste preciso mediante un seguimiento correcto de los factores de fluctuación de la intensidad del haz de iones extraído.

65 Además, cuando un haz de iones extraído fluctúa por alguna razón inesperada, se puede identificar un factor de fluctuación del mismo. De manera más específica, es posible evaluar si el factor de fluctuación existe en el

sincrotrón o en los otros elementos incluyendo la línea de transporte de haz, las boquillas de irradiación y otros dispositivos. Por lo tanto, se puede esperar un ahorro de tiempo para hacer frente al factor de fluctuación, y una mejora en la precisión.

- 5 Además, en la etapa de construcción de un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas, la intensidad del haz de iones extraído del sincrotrón puede ajustarse sin esperar hasta que se complete la construcción del sistema de irradiación con haz de partículas cargadas. Esto permite poner una pronta puesta en marcha del sistema de irradiación con haz de partículas cargadas.

10 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

La figura 1 es un diagrama que ilustra esquemáticamente una configuración global de un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas según una primera realización de la presente invención; la figura 2 es un diagrama que ilustra en detalle una configuración de un conductor de alta velocidad; las figuras 3A a 3C son gráficos que ilustran cómo funciona un sincrotrón en un ciclo de operación; la figura 3A ilustra un cambio en la energía del haz en un ciclo de funcionamiento del sincrotrón; la figura 3B ilustra un cambio en la intensidad de un haz que orbita en el sincrotrón en un ciclo de funcionamiento del sincrotrón; y la figura 3C ilustra un cambio en la intensidad de un haz de iones extraído durante un período de control de la extracción;

15 la figura 4 es un diagrama que ilustra la relación entre dicho patrón de ganancia para una tensión de radiofrecuencia de extracción tal que una radiofrecuencia de extracción aplicada se mantiene constante (es decir, la ganancia de la tensión se mantiene constante) y la intensidad del haz de iones extraído, sobre la base del patrón de la ganancia de tensión de radiofrecuencia de extracción;

20 la figura 5 es un diagrama que ilustra la relación entre dicho patrón de ganancia de tensión de radiofrecuencia de extracción tal que aumenta gradualmente una tensión de radiofrecuencia de extracción (es decir, la ganancia de la tensión aumenta gradualmente) y la intensidad del haz de iones extraído sobre la base del patrón de la ganancia de tensión de radiofrecuencia de extracción;

25 la figura 6 es un diagrama que ilustra esquemáticamente una configuración global de un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas según una segunda realización de la presente invención; las figuras 7A a 7C son gráficos que ilustran cada uno de los modos en que un sincrotrón funciona en un ciclo de funcionamiento cuando se realiza la irradiación con un haz de iones mediante un escaneo puntual; la figura 7A ilustra un cambio en la energía del haz en un ciclo de funcionamiento del sincrotrón; la figura 7B ilustra un cambio en la intensidad de un haz que orbita en el sincrotrón en un ciclo de operación del sincrotrón; y

30 la figura 7C ilustra un haz descargado antes del inicio del control durante el período de control de la extracción, un haz de iones por irradiación puntual durante el periodo de control de la extracción y un valor actual de un haz de fugas que ocurre cuando la extracción se detiene durante el período de control de la extracción; y

35 la figura 8 es un diagrama que ilustra: un valor de la corriente de control de un imán de dirección en un dispositivo de dirección de alta velocidad basado en la irradiación puntual durante un período de control de la extracción (gráfico superior); un valor actual de un haz de fugas medido por un dosímetro en el eje de alta velocidad (gráfico central); y un valor de la corriente de haz por irradiación puntual medida por un dosímetro en una boquilla de irradiación (gráfico inferior).

40 **DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS**

45 A continuación, se describirán las realizaciones preferidas de la presente invención.

Una primera realización de la presente invención se describe haciendo referencia a las figuras 1 a 5.

50 Tal como se muestra en la figura 1, un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas según la primera realización incluye: un generador de haz de partículas cargadas (iones) 1; una primera línea de transporte de haz 4 dispuesta más abajo del generador de haz de partículas cargadas 1; segundas líneas de transporte de haz 5A, 5B, 5C y 5D, que se derivan de la primera línea de transporte de haz 4; imanes de conmutación (selectores de ruta) 6A, 6B y 6C; y boquillas de irradiación 15A, 15B, 15C y 15D que son dispositivos de irradiación. La primera línea de transporte de haz 4 es una línea común de transporte de haz que introduce un haz de iones en cada una de las segundas líneas de transporte de haz 5A, 5B, 5C y 5D. Las segundas líneas de transporte de haz 5A, 5B, 5C y 5D están previstas para las boquillas de irradiación 15A, 15B, 15C y 15D, respectivamente. Las boquillas de irradiación 15A, 15B, 15C y 15D están situadas en las salas de tratamiento 2A, 2B, 2C y 2D, respectivamente. El sistema de irradiación con haz de partículas cargadas según la primera realización es un sistema de terapia con haces de protones.

60 El generador de haz de partículas cargadas 1 incluye una fuente de iones (no ilustrada), un preacelerador (por ejemplo, un acelerador lineal) 11 y un sincrotrón 12, que es un acelerador principal. El sincrotrón 12 tiene tanto un aplicador de onda de radiofrecuencia 31 como una cavidad de radiofrecuencia (sistema de aceleración) 32 situada en la órbita cerrada de un haz de iones. El aplicador de onda de radiofrecuencia 31 incluye un par de electrodos de aplicación de onda de radiofrecuencia (no ilustrados), que están conectados a una unidad de suministro de ondas de radiofrecuencia 33 utilizada para la extracción de ondas de radiofrecuencia. La unidad de suministro de ondas de

- radiofrecuencia 33 incluye un oscilador de radiofrecuencia 34, un regulador de tensión 35, un conmutador de enclavamiento (dispositivo de conmutación) 36 y un conmutador de control de irradiación (interruptor de apertura / cierre) 37. El interruptor de enclavamiento 36 se abre mediante una señal de enclavamiento; se mantiene cerrado en condiciones normales. El interruptor de control de irradiación 37 se cierra mediante una señal de inicio de extracción de haz y se abre mediante una señal de fin de la extracción de haz. El aplicador de ondas de radiofrecuencia frecuencia 31 es suministrado con tensión de radiofrecuencia desde el oscilador de radiofrecuencia 34, a través del regulador de tensión 35 y de los conmutadores 36 y 37. Otra fuente de alimentación de radiofrecuencia (no ilustrada) está provista por separado para aplicar potencia de radiofrecuencia a la cavidad de radiofrecuencia 32.
- Los iones generados por la fuente de iones (por ejemplo, iones positivos o iones de carbono) son acelerados por el preacelerador 11. El haz de iones (haz de partículas cargadas) extraído del preacelerador 11 es inyectado en el sincrotrón 12. A continuación, el haz de iones es energizado y acelerado bajo la influencia de un campo electromagnético en la cavidad de radiofrecuencia 32 generada mediante la aplicación de la potencia de radiofrecuencia a la cavidad de radiofrecuencia 32 desde la fuente de alimentación de radiofrecuencia que se proporciona para la cavidad de radiofrecuencia 32. El haz de iones 35 que orbita en el sincrotrón 12 se acelera hasta una energía predeterminada (por ejemplo, hasta un valor de entre 100 MeV y 200 MeV). A continuación, el interruptor de apertura / cierre 37 se cierra. Como resultado, el aplicador de onda de radiofrecuencia de extracción 31 aplica, al haz de iones en órbita, una onda de radiofrecuencia recibida del oscilador de radiofrecuencia 34 que es la otra fuente de energía de radiofrecuencia. Esto hace que el haz de iones que orbita dentro de un límite de estabilidad sobrepasa el límite de estabilidad; por consiguiente, el haz de iones se extrae mediante un deflector de extracción. Cuando se extrae el haz de iones, la corriente eléctrica aplicada a un imán cuadrupolar 13 y a un imán de desviación 14, que se incluyen en el sincrotrón 12, se mantiene en un valor predeterminado; su límite de estabilidad también se mantiene sustancialmente constante. Al abrir el interruptor de apertura / cierre 37 para detener la aplicación de la potencia de radiofrecuencia al aplicador de onda de radiofrecuencia de extracción 31, la extracción del haz de iones procedente del sincrotrón 12 se detiene.
- El haz de iones extraído del sincrotrón 12 se transporta a través de la primera línea de transporte de haz 4 hacia el lado de más abajo, a través de un dispositivo de dirección de alta velocidad 100 (descrito más adelante). La primera línea de transporte de haz 4 incluye: una trayectoria de haz 3; y un imán cuadrupolar 18, un obturador 8, un imán de desviación 17, un imán cuadrupolar 18, un imán de conmutación 6A y una trayectoria de haz 61, que están dispuestos en la trayectoria de haz 3, en este orden desde el lado de más arriba de la dirección de desplazamiento del haz. La primera línea de transporte de haz 4 incluye además un imán cuadrupolar 19, un imán de conmutación 6B, un imán cuadrupolar 20 y un imán de conmutación 6C, que también están dispuestos en la trayectoria de haz 3, en este orden desde el lado de aguas arriba de la dirección de desplazamiento del haz. El haz de iones extraído en la primera línea de transporte de haz 4 se introduce selectivamente en cualquiera de las segundas líneas de transporte de haz 5A, 5B, 5C o 5D mediante las funciones de desviación (o no desviación) de los imanes de conmutación 6A, 6B y 6C, que son inducidas por excitación (o no excitación) de los imanes.
- La segunda línea de transporte de haz 5A incluye: una trayectoria de haz 62 que está conectada a la trayectoria de haz 3 de la primera línea de transporte de haz 4, y se comunica con la boquilla de irradiación 15A situada en la sala de tratamiento 2A; y un imán de desviación 21A, un imán cuadrupolar 22A, un obturador 7A, un imán de desviación 23A, un imán cuadrupolar 24A, un imán de desviación 25A y un imán de desviación 26A, que están dispuestos en la trayectoria de haz 62, en este orden desde el lado de más arriba de la dirección de desplazamiento del haz.
- Las segundas líneas de transporte de haz 5B y 5C están configuradas también de la misma manera que la segunda línea de transporte de haz 5A. Los números de referencia que indican los mismos componentes en las segundas líneas de transporte de haz 5B y 5C como en 5A están seguidos respectivamente por las letras B y C, en lugar de la letra A. La segunda línea de transporte de haz 5D incluye: una trayectoria de haz 65 que está conectada a la trayectoria de haz 61 de la primera línea de transporte de haz 4 y se comunica con la boquilla de irradiación 15D situada en la sala de tratamiento 2D; e imanes cuadrupolares 27 y 28 y un obturador 7D, que están dispuestos en la trayectoria de haz 65, en este orden desde el lado de más arriba de la dirección de desplazamiento del haz.
- Al excitar el electroimán correspondiente (imán de conmutación 6A), el haz de iones introducido en la segunda línea de transporte de haz 5A a través de la primera línea de transporte de haz 4 se transporta a través de la trayectoria de haz 62 a la boquilla de irradiación 15A. De manera similar, los haces de iones introducidos en las segundas líneas de transporte de haz 5B y 5C son transportados a las boquillas de irradiación 15B y 15C, respectivamente, a través de las trayectorias de haz 62 respectivas; un haz de iones introducido en la segunda línea de transporte de haz 5D es transportado a través de la trayectoria de haz 65 a la boquilla de irradiación 15D.
- Cada una de las boquillas de irradiación 15A a 15C está unida a uno de los pórticos giratorios (no ilustrados) situados en las salas de tratamiento 2A a 2C, respectivamente. La boquilla de irradiación 15D es una boquilla de irradiación de tipo estacionario.
- Cada una de las boquillas de irradiación 15A a 15C forma una distribución de dosis uniforme en la dirección lateral (la dirección perpendicular a la dirección de desplazamiento del haz de iones). Por lo tanto, un haz de iones se extiende en la dirección lateral mediante el método de irradiación pasiva doble para irradiar una parte afectada de un

- paciente. Además, cada una de las boquillas de irradiación 15A a 15C incluye una rueda de modulación de alcance (RMW) como medio de control de la energía para formar un SOBP deseado. Durante la rotación de la RMW, se controla el ENCENDIDO / APAGADO de un haz de iones que pasa a través de la RMW, dentro de un intervalo de ángulos especificado. Para llevar a cabo dicho control de ENCENDIDO / APAGADO del haz de iones, cada una de las boquillas de irradiación 15A a 15C incluye, además: medios para detectar el ángulo de rotación de la RMW (por ejemplo, un codificador); y un dosímetro para detectar la dosis (cantidad de radiación) del haz de iones que ha pasado a través de la RMW. La información de ángulo y la información de dosis obtenidas se envían a una unidad de control de aceleración / irradiación 200 (descrita más adelante).
- El sistema de irradiación con haz de partículas cargado según esta realización incluye además un dispositivo de dirección de haz de alta velocidad 100 (vertedero de haz de partículas cargadas) que está dispuesto en la primera línea de transporte de haz 4. Controlando el dispositivo de dirección de alta velocidad 100, un haz de iones extraído a la primera línea de transporte de haz 4 puede ser transportado a las segundas líneas de transporte de haz 5B, 5C o 5D, o descargado (absorbido) en un vertedero de haz en el dispositivo de dirección de alta velocidad 100. El dispositivo de dirección de alta velocidad 100 está situado en una posición en la primera línea de transporte de haz 4 que está inmediatamente más abajo del sincrotrón 12, de manera que un haz de iones puede llegar al dispositivo de dirección de alta velocidad sin pasar por muchos dispositivos en la línea de transporte de haz.
- La figura 2 ilustra en detalle la configuración del dispositivo de dirección de alta velocidad 100. El dispositivo de dirección de alta velocidad 100 incluye: un electroimán de dirección de alta velocidad (HSST – High-Speed STEerer, en inglés) 102 que está dispuesto sobre la trayectoria de haz 3 de la primera línea de transporte de haz 4; y un vertedero 104 de haz que está dispuesto sobre una trayectoria de haz 103 que se ramifica desde el electroimán de dirección de alta velocidad 102. El electroimán de HSST 102 es un imán de dirección para desviar un haz a alta velocidad. Por ejemplo, en el momento de una distribución de potencia del 100%, el haz se aplica al vertedero 104 de haz. Por el contrario, en el momento de una distribución de potencia del 0%, el haz puede ser enviado a las líneas de transporte de haz siguientes sin ser desviado. La conmutación del electroimán de dirección de alta velocidad 102 de distribución de potencia del 100% al 0% y viceversa es llevada a cabo a alta velocidad (por ejemplo, en no más de 500 μ s) por una unidad de fuente de alimentación 101 del dispositivo de dirección de alta velocidad. De este modo, el dispositivo de dirección de alta velocidad 100 puede descargar un haz aplicando el haz al vertedero 104 de haz en el momento de la distribución de potencia del 100% del electroimán de HSST 102.
- Además, el dispositivo de dirección de alta velocidad 100 según la presente invención incluye, asimismo: un dosímetro 105 que está dispuesto en una posición inmediatamente antes del vertedero 104 de haz de la trayectoria de haz 103; y un dispositivo de medición de dosis 106 que introduce una señal de medición desde el dosímetro 105. Una dosis de un haz aplicada al vertedero 104 de haz puede medirse manejando una señal de medición desde el dosímetro 105 en el dispositivo de medición de dosis 106. Además, el dispositivo de medición de dosis 106 es capaz de medir la intensidad de un haz sumando una dosis del haz para calcular un aumento de dosis (la cantidad de cambio en el valor de la dosis por unidad de tiempo). El dosímetro 105 y el dispositivo de medición de la dosis 106 constituyen un dispositivo de monitorización de dosis.
- A continuación, haciendo referencia de nuevo a la figura 1, se describirá un sistema de control incluido en el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas según esta realización. El sistema de control del sistema de irradiación con haz de partículas cargadas según esta realización incluye: una unidad de control central 150; la unidad de control de aceleración / irradiación 200 que está conectada a la unidad de control central 150; y una unidad de control del terminal 300 que está conectada tanto a la unidad de control central 150 como a la unidad de control de aceleración / irradiación 200.
- La unidad de control central 150 lee las condiciones de irradiación para formar un campo de irradiación adecuado para una parte afectada de un paciente, que están determinadas por medio de un dispositivo de planificación de tratamiento 450. Las condiciones de irradiación incluyen una dirección de irradiación con el haz, la anchura del SOBP, una dosis, la profundidad máxima de irradiación y el tamaño del campo de irradiación. La unidad de control central 150 realiza entonces una selección entre los parámetros de funcionamiento que incluyen un tipo de equipo, una posición de colocación, un ángulo de colocación, la energía del haz, un valor objetivo de la cantidad de irradiación con haz. Además, la unidad de control central 150 incluye asimismo una memoria para almacenar la información requerida para el tratamiento (la información incluye la energía del haz, un patrón de ganancia de la tensión de radiofrecuencia de extracción, cada ángulo de giro de la RMW, una dosis objetivo, un ángulo de pórtico giratorio, un tipo de dispositivo de dispersión, un tipo de filtro de cresta y la cantidad de inserción de un selector de intervalo).
- La unidad de control de aceleración / irradiación 200 tiene una pluralidad de secciones de control que incluyen una primera sección de control 200a y una segunda sección de control 200b.
- La primera sección de control 200a genera una señal de inicio de extracción de haz y una señal de fin de la extracción de haz sobre la base, por ejemplo, de la información almacenada en la memoria de la unidad de control central 150 y de la información del ángulo de la RMW y la información de dosis, siendo ambas recibidas desde las boquillas de irradiación 15A a 15D. A continuación, la primera sección de control 200a envía la señal de inicio de

extracción de haz y la señal de fin de la extracción de haz al interruptor de apertura / cierre 37. De manera más específica, la primera sección de control 200a forma una primera unidad de control que controla el inicio / fin de la extracción del sincrotrón 12 sobre la base de la información del ángulo de la RMW y de la información de la dosis recibida de las boquillas de irradiación 15A a 15D. De este modo, la distribución de dosis en el objetivo que se va a irradiar en una dirección de desplazamiento del haz de iones (dirección de profundidad) puede ser controlada según se desee, controlando el inicio / fin de la extracción del haz de iones del sincrotrón 12. El control anterior se describe en detalle en los documentos JP-A-2006-239404 y JP-A-2007-222433.

Además, la primera sección de control 200a envía el patrón de la ganancia de tensión de radiación de frecuencia de extracción, que se almacena en la memoria de la unidad de control central 150, al regulador de tensión 35 de la unidad de suministro de ondas de radiofrecuencia 33. El regulador de tensión 35 almacena el patrón de la ganancia de tensión de radiofrecuencia de extracción en su propia memoria, para ajustar el patrón de la ganancia de tensión de radiofrecuencia de extracción. Además, la primera sección de control 200a determina si se ha producido o no una situación anormal en el momento de la irradiación con el haz. Si se considera que la situación anormal se ha producido en el momento de la irradiación con el haz, la primera sección de control 200a envía una señal de enclavamiento al conmutador de enclavamiento 36.

La segunda sección de control 200b está conectada a la unidad de fuente de alimentación 101 del dispositivo de dirección de alta velocidad 100. La segunda sección de control 200b controla la conmutación de la cantidad de energización del electroimán de dirección de alta velocidad 102 mediante el control de la unidad de fuente de alimentación 101. La segunda sección de control 200b está conectada, además, al dispositivo de medición de dosis 106 del dispositivo de dirección de alta velocidad 100. La segunda sección de control 200b introduce un valor de dosis y la intensidad del haz, que han sido medidos por el dosímetro 105 y el dispositivo de medición de dosis 106 y, a continuación, los almacena (graba) en la memoria. Además, la segunda sección de control 200b envía a la unidad de control del terminal 300 el valor de la dosis y la intensidad del haz que se han almacenado.

Las otras secciones de control de la unidad de control de aceleración / irradiación 200 establecen los parámetros de los otros dispositivos, incluyendo la cavidad de radiofrecuencia 32 que constituye el generador de haz de partículas cargadas 1, y los parámetros de la unidad de control para controlar los otros dispositivos sobre la base de otra información almacenada en la memoria de la unidad de control central 150. Además, las otras secciones de control controlan estos parámetros.

La unidad de control del terminal 300 incluye: un monitor 300a; y un dispositivo de entrada 300b (incluyendo un teclado y un ratón) utilizado para la entrada especificada a través de una interfaz de usuario mostrada en el monitor 300a. Además, la unidad de control del terminal 300 introduce el valor de la dosis y la intensidad del haz recibidos del dispositivo de medición de dosis 106, los cuales han sido almacenados en la memoria de la segunda sección de control 200b de la unidad de control de aceleración / irradiación 200. El valor de la dosis y la intensidad del haz se pueden visualizar en el monitor 300a. Como resultado, la segunda sección de control 200b de la unidad de control de aceleración / irradiación 200 y la unidad de control del terminal 300 constituyen un dispositivo de gestión de la irradiación para almacenar y gestionar el valor de la dosis y la intensidad de haz de un haz de iones. El valor de la dosis y la intensidad del haz han sido medidos mediante el dosímetro 105 y el dispositivo de medición de dosis 106 que constituyen el dispositivo de monitorización de dosis.

Además, antes de la actuación real sobre el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas, la intensidad del haz medida por el dosímetro 105 y el dispositivo de medición de dosis 106, que están incluidos en el dispositivo de dirección de alta velocidad 100, es introducida a través de la segunda sección de control 200b y, a continuación, mostrada por la unidad de control del terminal 300. La unidad de control del terminal 300 se utiliza para crear un patrón de ganancia de tensión que ajustará en el regulador de tensión 35. Con fin de alcanzar este objeto, la unidad de control del terminal 300 y la segunda sección de control 200b de la unidad de control de aceleración / irradiación 200 tienen las siguientes funciones:

- (1) cuando se introduce un patrón de ganancia temporal de tensión preparado previamente, ajustar el patrón de la ganancia de tensión en el regulador de tensión 35 (primer medio);
- (2) cuando se proporciona una instrucción para iniciar la extracción de haz desde el sincrotrón 12, poner en marcha el regulador de tensión 35 sobre la base del patrón de ganancia temporal de tensión, y controlar el imán de dirección 102 de tal manera que el haz de iones que ha sido extraído del sincrotrón 12 se aplica al vertedero 104 de haz y, a continuación, medir un haz de iones mediante el uso del dosímetro 105 y del dispositivo de medición de dosis 106 (dispositivo de monitorización de dosis) (segundo medio);
- (3) mostrar un valor de la dosis de un haz de iones medido por el dispositivo de monitorización de dosis (tercer medio),
- (4) cuando se introduce una instrucción para ajustar el patrón de ganancia temporal de tensión, ajustar el patrón de ganancia temporal de tensión y, a continuación, ajustar de nuevo el patrón de ganancia temporal de tensión en el regulador de tensión 35 (cuarto medio).

De manera más específica, la unidad de control del terminal 300 y la segunda sección de control 200b de la unidad de control de aceleración / irradiación 200 constituyen un dispositivo de creación de patrón de ganancia de tensión

para crear un patrón de ganancia de tensión para ser ajustado en el regulador de tensión 35 mediante el uso de los valores medidos obtenidos por el dosímetro 105 y el dispositivo de medición de dosis 106 que constituyen el dispositivo de monitorización de dosis.

5 A continuación, se describirá la operación según esta realización.

10 Tal como se muestra en la figura 3A, cuando se acciona el sincrotrón 12, el sincrotrón 12 repite las etapas de: inyectar / capturar un haz de iones; acelerar el haz de iones hasta la energía establecida; extraer el haz de iones cuya energía ha aumentado hasta un valor objetivo; y desacelerar el haz de iones. Se especifica cómo controlar la inyección / captura, la aceleración, la extracción y la desaceleración (es decir, un ciclo de funcionamiento del sincrotrón 12) según la energía de un haz de iones a acelerar. Un haz de iones, que está orbitando en una órbita cerrada del sincrotrón 12, se acelera hasta alcanzar la energía objetivo. A continuación, durante un período de la extracción, la unidad de suministro de ondas de radiofrecuencia 33 se pone en marcha para accionar el aplicador de ondas de radiofrecuencia 31 de tal manera que se aplica una onda de extracción de radiofrecuencia. Como resultado, se extrae del sincrotrón 12 un haz de iones hacia la primera línea de transporte de haz 4. Esto permite que el sincrotrón 12 suministre, durante un período de control de la extracción, el haz de iones a las boquillas de irradiación 15A a 15D de las salas de tratamiento 2A a 2D que están conectadas a las segundas líneas de transporte de haz 5A a 5D, respectivamente.

20 Tal como se muestra en la figura 3B, la intensidad de haz de un haz de iones que orbita en el sincrotrón 12 de órbitas de haz de iones (la cantidad de carga eléctrica acumulada de un haz en órbita) cambia en respuesta al funcionamiento del sincrotrón 12 (mostrado en la figura 3A). Cuando se inyecta un haz de iones en el sincrotrón 12 de tal manera que el sincrotrón 12 captura el haz de iones, la intensidad del haz se incrementa gradualmente. En una etapa temprana del control de aceleración, un efecto de carga espacial, y similares, provocan una pérdida del haz de iones, lo que da como resultado la atenuación de la intensidad del haz. No obstante, la intensidad del haz se mantiene sustancialmente constante durante un período que va desde una etapa intermedia hasta una fase tardía del control de aceleración. Debido a que la intensidad del haz al final de la aceleración es equivalente a la cantidad de carga eléctrica acumulada en el sincrotrón 12, la extracción de un haz de iones procedente del sincrotrón 12 hace que la intensidad de un haz en órbita se atenúe gradualmente. Según esta realización, la extracción de un haz de iones se inicia y se detiene repetidamente. Por consiguiente, la intensidad del haz también cambia de una manera escalonada. Esto es debido a que un haz de iones es suministrado al exterior del sincrotrón 12 por el control de la extracción de haz de iones, lo que hace que la intensidad del haz de iones en órbita se atenúe, mientras que, aunque se detiene el control de la extracción, el haz de iones no se suministra al exterior del sincrotrón 12, lo que no provoca la atenuación de la intensidad del haz de iones en órbita. El haz de iones que queda en el sincrotrón 12, que no ha sido completamente extraído durante el período de control de la extracción, se desacelera hasta la baja energía y se extingue luego por el subsiguiente control de reducción de velocidad.

35 Tal como se muestra en la figura 3C, la intensidad de haz de un haz de iones que ha sido extraído del sincrotrón 12 hacia la primera línea de transporte de haz 3 habitualmente tiene una estructura temporal (características que cambian con el transcurso del tiempo). Un cambio en la intensidad de un haz de iones extraído mostrado en la figura 3C se obtiene cuando se ajusta un patrón de ganancia de tensión de radiofrecuencia de extracción en el regulador de tensión 35 de la unidad de suministro de ondas de radiofrecuencia 33, de tal manera que se mantenga constante una tensión de radiofrecuencia de extracción (es decir, la ganancia de tensión se mantiene constante) mostrada en la figura 4. De manera más específica, debido a que la intensidad de un haz de iones en órbita en el sincrotrón 12 es alta en una etapa temprana de la extracción, la intensidad de un haz de iones extraído del sincrotrón 12 también es alta. No obstante, a medida que la intensidad del haz de iones que orbita en el sincrotrón 12 se atenúa como resultado de la extracción del haz de iones tal como se muestra en la figura 3B, la intensidad del haz de iones extraído del sincrotrón 12 también tiende a disminuir radicalmente en el momento del tiempo si la tensión de radiofrecuencia de la extracción se mantiene constante.

50 Por el contrario, tal como se muestra en la figura 5, la intensidad de un haz de iones extraído puede mantenerse constante aumentando la tensión de radiofrecuencia de la extracción en el momento del tiempo mediante el uso de un patrón de ganancia en el que la ganancia de la tensión de radiofrecuencia de la extracción, que se ajusta en el regulador de tensión 35 de la unidad de suministro de ondas de radiofrecuencia 33, se ajusta gradualmente

55 Hasta ahora, un patrón de ganancia de la tensión de radiofrecuencia de extracción se ajusta midiendo los valores de la dosis a partir de los dosímetros dispuestos en las boquillas de irradiación 15A a 15D de las salas de tratamiento 2A a 2D, respectivamente.

60 Según la presente invención, el uso del sincrotrón 12, de la primera línea de transporte de haz 3 y del dispositivo de dirección de alta velocidad 100 permite el ajuste de un haz de iones extraído del sincrotrón 12.

65 De manera más específica, el 100% de energización del electroimán del dispositivo de dirección de alta velocidad 102 se realiza para aplicar un haz de iones al vertedero 104 de haz; y la intensidad del haz de iones extraído se mide a continuación mediante el dosímetro 105 y el dispositivo de medición de dosis 106 que están dispuestos inmediatamente antes del vertedero 104 de haz. Esto hace posible ajustar un patrón de ganancia de la tensión de

radiofrecuencia de extracción que se ajusta en el regulador de tensión 35 de la unidad de suministro de ondas de radiofrecuencia 33 tal como se muestra en la figura 5 y, de este modo, mantener constante la intensidad del haz de iones extraído del sincrotrón 12.

- 5 Las etapas de ajuste para ajustar un patrón de ganancia de la tensión de radiofrecuencia de extracción según esta realización se describirán como se indica a continuación.

En primer lugar, se introduce un patrón de la ganancia temporal de tensión previamente preparado utilizando el monitor 300a y el dispositivo de entrada 300b que están incluidos en la unidad de control del terminal 300. El patrón de la ganancia temporal de tensión se ajusta a continuación en el regulador de tensión 35 a través de la segunda sección de control 200b de la unidad de control de aceleración / irradiación 200. A continuación, se introduce un haz de iones en el sincrotrón 12 desde el preacelerador 11. El haz de iones se acelera a continuación hasta la energía deseada en el sincrotrón 12. Después de eso, durante un período de control de la extracción de un ciclo de funcionamiento del sincrotrón 12, el monitor 300a y el dispositivo de entrada 300b, que están incluidos en la unidad de control del terminal 300, se utilizan para dar una instrucción para iniciar la extracción de haz desde el sincrotrón 12. Al recibir la instrucción, la segunda sección de control 200b de la unidad de control de aceleración / irradiación 200 acciona el regulador de tensión 35 al que se ha ajustado el patrón de la ganancia temporal de tensión y, simultáneamente con esto, controla la unidad de fuente de alimentación 101 del dispositivo de dirección de alta velocidad, de tal manera que un haz de iones que ha sido extraído desde el sincrotrón 12 en este momento del tiempo se aplica al vertedero 104 de haz del dispositivo de dirección de alta velocidad 100, y para que el dosímetro 105 y el dispositivo de medición de dosis 106 midan el haz de iones. En este momento, la segunda sección de control 200b introduce un valor de dosis y la intensidad de haz que han sido medidos tanto por el dosímetro 105 como por el dispositivo de medición de dosis 106 y, a continuación, los almacena (graba) en la memoria. A la vez que la operación anterior, la segunda sección de control 200b envía la intensidad del haz a la unidad de control del terminal 300. La unidad de control del terminal 300 muestra los datos de intensidad de haz como valores numéricos, o utilizando un gráfico (por ejemplo, utilizando un gráfico de una función de tiempo, tal como se muestra en la parte superior de la figura 4) en el monitor 300a. Un operador realiza una evaluación a partir de los datos de intensidad de haz mostrados en el monitor 300a en cuanto a si es o no necesario ajustar un patrón de la ganancia de tensión. Si se considera que el ajuste es necesario, el operador ajusta el patrón de la ganancia temporal de tensión mediante la utilización del monitor 300a y del dispositivo de entrada 300b que están incluidos en la unidad de control del terminal 300. Como resultado, el patrón de la ganancia de tensión ajustado se ajusta en el regulador de tensión 35 de nuevo a través de la segunda sección de control 200b de la unidad de control de aceleración / irradiación 200. La repetición de las etapas descritas anteriormente hace posible ajustar el patrón de la ganancia de la tensión de radiofrecuencia de extracción, que es ajustado en el regulador de tensión 35 de la unidad de suministro de ondas de radiofrecuencia 33, a un patrón deseado y, de este modo, mantener constante la intensidad del haz de iones extraído del sincrotrón 12.

Según esta realización configurada como se ha descrito anteriormente, se producen los siguientes efectos.

40 Hasta ahora, la intensidad de un haz de iones extraído del sincrotrón 12 se mide mediante la utilización de los valores de dosis de los dosímetros dispuestos en las boquillas de irradiación 15A a 15D de las salas de tratamiento 2A a 2D, respectivamente. Por lo tanto, se ajusta un patrón de ganancia de tensión de radiofrecuencia de extracción mediante la realización de una medición utilizando un dosímetro al final con la intensidad original de un haz de iones extraído del sincrotrón 12 que se desconoce. Como resultado, el patrón de la ganancia de tensión de radiofrecuencia de extracción obtenido está influenciado por diversos dispositivos existentes en el camino hacia las boquillas de irradiación 15A a 15D de las salas de tratamiento 2A a 2D.

Según esta realización, la medición mediante el dosímetro 105 y el dispositivo de medición de dosis 106, que están incluidos en el dispositivo de dirección de alta velocidad 100, permite ajustar un patrón de la ganancia de la tensión de radiofrecuencia de extracción y realizar un ajuste preciso realizando un seguimiento correcto de los factores de fluctuación de la intensidad de un haz de iones extraído.

Además, cuando un haz de iones extraído fluctúa por alguna razón inesperada, se puede identificar un factor de fluctuación del mismo. Más específicamente, es posible evaluar si el factor de fluctuación existe en el sincrotrón 12 o en los otros elementos, incluyendo la primera línea de transporte de haz 4, las segundas líneas de transporte de haz 5A a 5D, las boquillas de irradiación 15A a 15D y otros dispositivos. Por lo tanto, se puede esperar un ahorro de tiempo para tratar con el factor de fluctuación, y una mejora en la precisión.

Además, en una etapa de construcción de un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas, la intensidad de un haz de iones extraído del sincrotrón 12 puede ajustarse sin esperar hasta que se complete la construcción del sistema de irradiación con haz de partícula cargadas. Esto permite una pronta puesta en marcha del sistema de irradiación con haz de partículas cargadas. Una segunda realización de la presente invención se describirá con referencia a las figuras 6 a 8.

65 La figura 6 es un diagrama que ilustra una configuración global de un sistema de irradiación con haz de partículas cargadas según esta realización. En la figura 6, se utilizan números de referencia similares para designar partes que

son similares a las mostradas en la figura 1. En esta realización, la presente invención se aplica a un sistema que utiliza irradiación para escaneo con haz, en particular a un sistema que utiliza un método de irradiación por escaneo puntual, en el que una parte afectada es irradiada con un haz de iones.

5 Según esta realización, el sistema de irradiación con haz de partículas incluye boquillas de irradiación 15E a 15H, cada una de las cuales tiene un imán de escaneo. Una unidad de control para una fuente de alimentación del imán de escaneo 500 controla una fuente de alimentación de imán de escaneo, que no está ilustrada, para controlar una corriente de excitación. Como resultado, cada una de las boquillas de irradiación 15E a 15H escanea un haz de iones en una dirección lateral. Además, cada una de las boquillas de irradiación 15E a 15H detiene el movimiento (escaneo) de un haz de iones en cada posición de irradiación antes de la irradiación. Cuando una dosis en la posición de irradiación alcanza un valor objetivo, se realiza un movimiento a la siguiente posición de irradiación. Mientras se realiza el paso a la siguiente posición de irradiación, la extracción del haz de iones procedente del sincrotrón 12 se mantiene detenida. Al completarse el desplazamiento a la siguiente posición de irradiación, se extrae de nuevo un haz de iones del sincrotrón 12. Para llevar a cabo el control del imán de escaneo y el control de ENCENDIDO / APAGADO del haz de iones tal como se ha descrito anteriormente, cada una de las boquillas de irradiación 15E a 15H incluye: un dosímetro para detectar una dosis (cantidad de radiación) de un haz de iones; y un detector de posición para detectar una posición de irradiación. La información de la dosis y la información de la posición se envían a la unidad de control de aceleración / irradiación 200A.

20 Además, como sistema de control, el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas según esta realización incluye asimismo una unidad de control central 150A, una unidad de control de aceleración / irradiación 200A, una unidad de control del terminal 300A y una unidad de control de la fuente de alimentación del imán de escaneo 500.

25 La unidad de control de aceleración / irradiación 200A tiene una pluralidad de secciones de control que incluyen una primera sección de control 200a, una segunda sección de control 200b y una tercera sección de control 200c.

30 La primera sección de control 200a genera una señal de inicio de extracción de haz y una señal de fin de la extracción de haz sobre la base, por ejemplo, de la información almacenada en la memoria de la unidad de control central 150A y de la información de la dosis y la información de la posición, recibidas desde las boquillas de irradiación 15E a 15H. A continuación, la primera sección de control 200a envía la señal de inicio de extracción de haz y la señal de fin de la extracción de haz al interruptor de apertura / cierre 37 para controlar el inicio / fin de la extracción de haz de iones del sincrotrón 12 (primera unidad de control). La tercera sección de control 200c determina una corriente de excitación de un imán de escaneo, que se utiliza para realizar un movimiento a la siguiente posición de irradiación, sobre la base, por ejemplo, de la información almacenada en la memoria de la unidad de control central 150A, y de la información de la dosis y la información de la posición, las cuales se reciben desde las boquillas de irradiación 15E a 15H. A continuación, la tercera sección de control 200c envía la información de la corriente de excitación a la unidad de control de la fuente de alimentación del imán de escaneo 500. La unidad de control de la fuente de alimentación del imán de escaneo 500 controla la fuente de alimentación del imán de escaneo, que no está ilustrada, sobre la base de la información de la corriente de excitación, de tal manera que se controla una corriente de excitación del imán de escaneo. De este modo, se controla una corriente de excitación del imán de escaneo, así como el inicio / fin de la extracción del haz de iones del sincrotrón 12. Como resultado, se puede escanear un haz de iones en una dirección lateral en un objetivo a irradiar (en una dirección perpendicular a la dirección de desplazamiento del haz de iones (dirección de profundidad)). Esto permite controlar la distribución de la dosis en la dirección lateral según se desee. Este control se describe con detalle en la Patente Japonesa N° 2833602.

Las otras funciones de la primera sección de control 200a son las mismas que las de la primera sección de control 200a en la primera realización.

50 La segunda sección de control 200b y la unidad de control del terminal 300A tienen funciones similares a las de la segunda sección de control 200b y la unidad de control del terminal 300 en la primera realización.

Además, la segunda sección de control 200b según esta realización tiene las siguientes funciones:

- 55 (1) en sincronización con el inicio / fin de la extracción del haz de iones del sincrotrón 12, controlar la excitación del imán de dirección 102 de manera que un haz de fugas (descrito más adelante) que se produce cuando se detiene la extracción del haz de iones se aplica al vertedero 104 de haz y, a continuación, se mide el haz de fugas mediante el uso del dosímetro 105 y el dispositivo de medición de dosis 106 (el dispositivo de monitorización de dosis) (segunda unidad de control),
- 60 (2) antes del control de la extracción en un ciclo de funcionamiento del sincrotrón 12, extraer como haz descargado (descrito más adelante) parte de un haz de iones acumulado en el sincrotrón 12 y, simultáneamente con esto, controlar la excitación del imán de dirección 102 de manera que el haz descargado extraído del sincrotrón 12 sea aplicado al vertedero 104 de haz y, a continuación, medir el haz descargado mediante el uso del dispositivo de monitorización de dosis (tercera unidad de control),
- 65 (3) sobre la base de un valor de la dosis del haz de fugas o del haz descargado, ambos medidos por el dispositivo de monitorización de dosis, corregir un patrón de ganancia de tensión de radiofrecuencia de

extracción que está ajustado en el regulador de tensión 35 (unidad de corrección de patrón de ganancia de tensión).

5 Además, la segunda sección de control 200b y la unidad de control del terminal 300A funcionan como un dispositivo de gestión de irradiación para gestionar un valor de la dosis del haz de fugas o del haz descargado, ambos de los cuales han sido medidos por el dispositivo de monitorización de dosis.

10 Las figuras 7A a 7C son gráficos que ilustran cada uno de los modos en que el sincrotrón 12 funciona en un ciclo de funcionamiento cuando se realiza la irradiación con un haz de iones por medio de escaneo puntual. Más específicamente, la figura 7A ilustra un cambio en la intensidad del haz en un ciclo de funcionamiento del sincrotrón 12; la figura 7B ilustra un cambio en la intensidad de un haz que órbita en el sincrotrón 12 en un ciclo de funcionamiento del sincrotrón 12; y la figura 7C ilustra un haz descargado antes del inicio del control durante un período de control de la extracción, un haz de iones por irradiación puntual durante el período de control de la extracción y un valor actual de un haz de fugas cuando la extracción se detiene durante el período de control de la extracción. La figura 8 es un diagrama que ilustra: un valor de la corriente de control del imán de dirección 102 en el dispositivo de dirección de alta velocidad 100 basado en la irradiación puntual durante un período de control de la extracción (gráfico superior); un valor de la corriente de un haz de fugas medido por el dosímetro 105 en dispositivo de dirección de alta velocidad 100 (diagrama central); y un valor de la corriente de un haz mediante irradiación puntual medido por el dosímetro en la boquilla de irradiación (gráfico inferior).

20 Cuando la irradiación con un haz de iones se lleva a cabo mediante escaneo puntual, un haz de iones acumulado en el sincrotrón 12 puede extraerse intencionadamente antes del inicio del control durante un periodo de control de la extracción y, a continuación, el haz de iones se puede descargar mediante el uso del dispositivo de dirección de alta velocidad 100 sin transportar el haz de iones a las boquillas de irradiación 15E a 15H.

25 En este caso, antes del inicio del control de la extracción, el haz de iones se extrae del sincrotrón 12 como un haz descargado. En consecuencia, la cantidad de carga eléctrica acumulada del sincrotrón 12 disminuye hasta un grado correspondiente. Tal como se muestra en las figuras 7B, 7C, después del final de la aceleración, y antes del inicio del control de la extracción, la cantidad de carga eléctrica del sincrotrón 12 se mantiene en un cierto valor constante. Sin embargo, debido a que se extrae intencionadamente un haz descargado, la cantidad de carga eléctrica antes del inicio del control de la extracción disminuye.

35 Según esta realización, la segunda sección de control 200b y la unidad de control del terminal 300A, que funcionan como la tercera unidad de control y el dispositivo de gestión de la irradiación, dan instrucciones al dosímetro 105 y al dispositivo de medición de la dosis, que están incluidos en el dispositivo de dirección de alta velocidad 100, para medir la cantidad de carga eléctrica que ha disminuido debido al haz descargado y después mostrar la cantidad de carga eléctrica en el monitor 300a de la unidad de control del terminal 300A. Esto permite evaluar la cantidad de carga eléctrica y administrar la cantidad de dosis irradiada en un período de extracción subsiguiente.

40 Además, tal como se muestra en la figura 7C, en el momento de la irradiación puntual durante el período de control de la extracción, la unidad de suministro de ondas de radiofrecuencia 33 es controlada de manera que se aplica una onda de extracción de radiofrecuencia, lo que hace que se extraiga un haz de iones del sincrotrón 12. Sin embargo, en este periodo de control de la extracción, incluso si no se aplica la onda de radiofrecuencia de extracción, se extrae ligeramente un haz de fugas del sincrotrón 12. En este momento, según esta realización, la segunda sección de control 200b, que funciona como la segunda unidad de control, lleva a cabo la energización del imán de dirección 102 en sincronización con la detección de la extracción del haz de iones procedente del sincrotrón 12, tal como se muestra en el gráfico superior de la figura 8, de manera que el haz de fugas se aplica al vertedero 104 de haz. Esto permite evitar la irradiación con un haz de iones innecesario. Además, la segunda sección de control 200b y la unidad de control del terminal 300A, que funcionan como la tercera unidad de control y el dispositivo de gestión de la irradiación, miden una dosis del haz de fugas mediante el uso del dosímetro 105 y, a continuación, muestran una dosis del haz de fugas en el monitor 300a de la unidad de control del terminal 300A. Como resultado, la administración de la dosis se puede realizar con mayor precisión.

55 Cuando se realiza la irradiación mediante escaneo puntual, se administra una dosis por puntos, y se realiza la irradiación con un haz de iones con una posición de punto escaneada. El número de puntos que pueden ser irradiados por el sincrotrón 12 está determinado por la cantidad de carga acumulada acelerada por el sincrotrón. No obstante, tal como se ha descrito anteriormente, la cantidad de dosis irradiada que puede someterse a irradiación puntual puede controlarse finamente mediante el control de una dosis de un haz descargado que se descarga intencionalmente antes del período de control de la extracción y monitorizando una dosis de un haz de fugas que se produce entre las irradiaciones puntuales durante el periodo de control de la extracción. Esto permite irradiar con un haz de iones acelerado por el sincrotrón 12 sin desperdicio y, de este modo, mejorar la eficiencia de la irradiación sin carecer de la carga eléctrica.

65 Además, tal como se ha descrito anteriormente, si un haz de iones se descarga intencionalmente antes del periodo de control de la extracción, o si se produce un haz de fugas entre las irradiaciones puntuales durante el período de control de la extracción, la intensidad de un haz de iones que órbita en el sincrotrón 12 disminuye hasta un grado

5 correspondiente. Esto significa que la intensidad del haz de iones que orbita en el sincrotrón 12 se desvía de la intensidad de haz que se esperaba en el momento de la creación del patrón de la ganancia de tensión de radiofrecuencia de extracción ajustado en el regulador de tensión 35. Por lo tanto, si el patrón de la ganancia de la tensión de radiofrecuencia de extracción se utiliza tal cual, para controlar la tensión de radiofrecuencia de extracción, la intensidad del haz de extracción no puede ser controlada uniformemente.

10 Según esta realización, debido a que la segunda sección de control 200b funciona como la unidad de corrección del patrón de la ganancia de tensión, el patrón de la ganancia de la tensión de radiofrecuencia de extracción que es ajustado en el regulador de tensión 35 se corregirá automáticamente sobre la base del valor de la dosis del haz de fugas o del haz descargado, que ha sido medido por el dispositivo de monitorización de dosis. Como resultado, la intensidad de un haz de iones extraído puede mantenerse constante sin ser influenciada por el haz de fugas y el haz descargado.

15 La presente invención está definida y limitada solamente por el conjunto de reivindicaciones adjunto.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de irradiación con haz de partículas cargadas, que comprende:

5 un generador de haz de partículas cargadas (1) adaptado para acelerar y extraer un haz de partículas cargadas, en el que dicho generador de haz de partículas cargadas (1) incluye un sincrotrón (12), y un aplicador de onda de radiofrecuencia (31) situado en el sincrotrón (12), adaptado para aplicar una onda de radiofrecuencia a un haz de partículas cargadas que orbita en el sincrotrón (12);
 10 una primera línea de transporte de haz (4) adaptada para transportar el haz de partículas cargadas extraído del generador de haz de partículas cargadas (1), estando dicha primera línea de transporte de haz (4) conectada al generador de haz de partículas cargadas (1);
 una pluralidad de boquillas de irradiación (15A-D, 15E-H) adaptadas para irradiar una parte afectada de un paciente con el haz de partículas cargadas;
 15 una pluralidad de segundas líneas de transporte de haz (5A-D) que se ramifican desde la primera línea de transporte de haz (4), y conectadas a las respectivas boquillas de irradiación (15A-14D; 15E-H);
 una pluralidad de imanes de conmutación (6A-C) dispuestos en la primera línea de transporte de haz (4) y adaptados para introducir selectivamente el haz de partículas cargadas extraído del generador de haz de partículas cargadas (1) en una de las segundas líneas de transporte de haz (5A- D);
 20 un dispositivo de descarga de haz (100) que incluye un imán de dirección (102) que está dispuesto en una primera línea de transporte de haz (4) y un vertedero (104) de haz que está dispuesto sobre una trayectoria de haz (103) que se ramifica desde el imán de dirección (102), estando dicho dispositivo de descarga de haz (100) adaptado para controlar la excitación del imán de dirección (102), de tal manera que entre los haces de partículas cargadas extraídos del generador de haz de partículas cargadas (1), un haz de partículas cargadas que no se ha de transportar a una de la pluralidad de boquillas de irradiación (15A-D; 15E-H) se aplica al
 25 vertedero (104) de haz; y
 un dispositivo de monitorización de dosis (105) dispuesto en el dispositivo de descarga de haz (100) y adaptado para medir la dosis del haz de partículas cargadas aplicada al vertedero de (104) de haz,
caracterizado por que
 dicho generador de haz de partículas cargadas (1) incluye además un regulador de tensión (35) adaptado
 30 para controlar la tensión de radiofrecuencia que se suministra al aplicador de onda de radiofrecuencia (31) en base a un patrón predeterminado de la ganancia de la tensión de radiofrecuencia, y para controlar la intensidad de un haz de partículas cargadas extraído del sincrotrón (12) a la primera línea de transporte de haz (4), y
 el sistema de irradiación con haz de partículas cargadas comprende además un dispositivo de creación de patrones de ganancia de tensión (30, 200b) adaptado para crear un patrón de ganancia de tensión para
 35 ajustar en el regulador de tensión (35) sobre la base de un valor medido por el dispositivo de monitorización de dosis (105).

40 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el imán de dirección (102) está dispuesto más arriba de la pluralidad de imanes de conmutación (6A-C).

3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, que comprende además un dispositivo de control de irradiación (200; 200A) adaptado para almacenar y monitorizar la dosis de un haz de partículas cargadas medida por el dispositivo de monitorización de dosis (105).

45 4. El sistema de cualquier reivindicación precedente, en el que dicho dispositivo de creación de patrón de la ganancia de tensión (30, 200b) incluye:

50 primeros medios, adaptados para establecer un patrón de la ganancia temporal de tensión preparado previamente para el regulador de tensión (35) cuando se introduce el patrón de la ganancia temporal de tensión;
 segundos medios, adaptados para accionar el regulador de tensión (35) sobre la base del patrón de la ganancia temporal de tensión cuando se da una instrucción para iniciar la extracción de haz desde el sincrotrón (12) para controlar el imán de dirección (102), de manera que el haz de partículas cargadas que no
 55 se ha de transportar a una de la pluralidad de boquillas de irradiación (15A-D, 15E-H) y que se extrae del sincrotrón (12) en el momento del accionamiento se aplica al vertedero (104) de haz, y para medir la dosis del haz de partículas cargadas mediante el dispositivo de monitorización de dosis (105),
 terceros medios, adaptados para mostrar la dosis del haz de partículas cargadas medida por el dispositivo de monitorización de dosis (105); y
 60 cuartos medios, adaptados para ajustar el patrón de la ganancia temporal de tensión cuando se dan instrucciones para hacerlo y, a continuación, ajustar el patrón de la ganancia de tensión ajustado para el regulador de tensión (35).

5. El sistema de cualquier reivindicación precedente, que comprende, además:

65

una primera unidad de control (200a), adaptada para controlar el inicio y el fin de la extracción del haz de partículas cargadas desde el sincrotrón (12),
 una segunda unidad de control (200b), adaptada para controlar la excitación del imán de dirección (102) en sincronización con el inicio y el fin de la extracción del haz de partículas cargadas procedente del sincrotrón (12), y aplicar al vertedero (104) de haz un haz de fugas perteneciente al haz de partículas cargadas que no ha de ser transportado a una de la pluralidad de boquillas de irradiación (15A-D; 15E-H), y que se producen cuando finaliza la extracción del haz de partículas cargadas para medir la dosis del haz de fugas mediante el dispositivo de monitorización de dosis (105); y
 un dispositivo de control de irradiación (200; 200A), adaptado para monitorizar la dosis del haz de fugas medida por el dispositivo de monitorización de dosis (105).

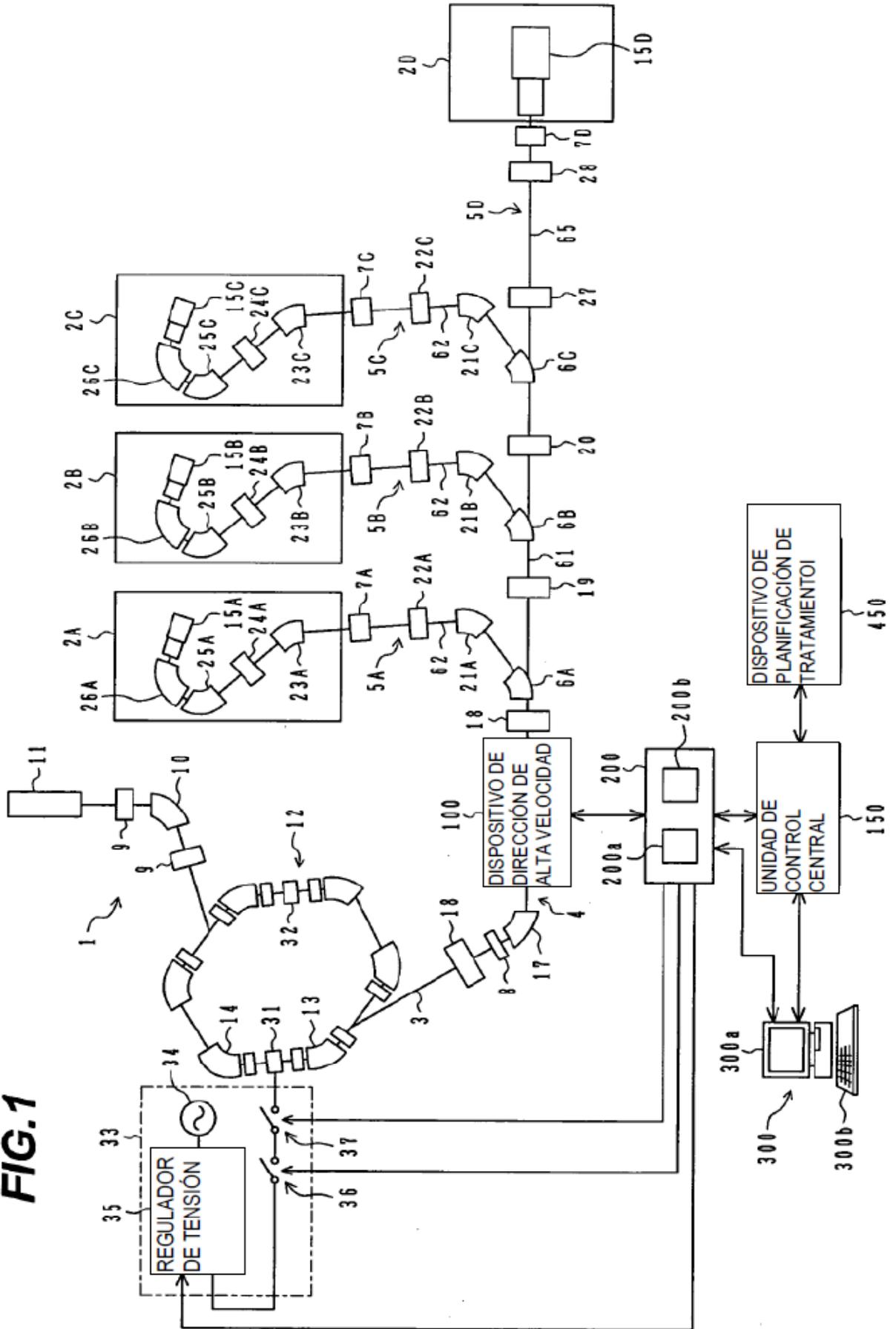
6. El sistema de cualquier reivindicación precedente, que comprende, además:

una primera unidad de control (200a), adaptada para controlar el inicio y el fin de la extracción del haz de partículas cargadas del sincrotrón (12),
 una segunda unidad de control (200b), adaptada para controlar la excitación del imán de dirección (102) en sincronización con el inicio y el fin de la extracción del haz de partículas cargadas procedente del sincrotrón (12), y para aplicar al vertedero (104) de haz un haz de fugas perteneciente al haz de partículas cargadas que no ha de ser transportado a una de la pluralidad de boquillas de irradiación (15A-D; 15E-H), y que se producen cuando finaliza la extracción del haz de partículas cargadas para medir la dosis del haz de fugas mediante el dispositivo de monitorización de dosis (105); y
 una unidad de corrección del patrón de la ganancia de tensión, adaptada para corregir, sobre la base de la dosis del haz de fugas medida por el dispositivo de supervisión de dosis (105), el patrón de la ganancia de la tensión de radiofrecuencia establecida para el regulador de tensión (35).

7. El sistema de la reivindicación 3, que comprende, además, una tercera unidad de control adaptada para extraer, como un haz innecesario perteneciente al haz de partículas cargadas que no se ha de transportar a una de la pluralidad de boquillas de irradiación (15A-D, 15E-H), partes de haces de partículas cargadas acumulados en el sincrotrón (12) antes de que se inicie el control de la extracción de haz durante el periodo de control de la extracción en un funcionamiento cíclico del sincrotrón (12), y para controlar simultáneamente la excitación del imán de dirección (102) de manera que el haz innecesario extraído del sincrotrón (12) se aplica al vertedero (104) de haz para medir la dosis del haz innecesario mediante el dispositivo de monitorización de dosis (105).

8. El sistema de la reivindicación 7, que comprende además una unidad de corrección de patrón de la ganancia de tensión (200b), adaptada para corregir, sobre la base de la dosis del haz innecesario medida por el dispositivo de supervisión de dosis (105), el patrón de la ganancia de tensión de radiofrecuencia establecida para el regulador de tensión (35).

FIG.1



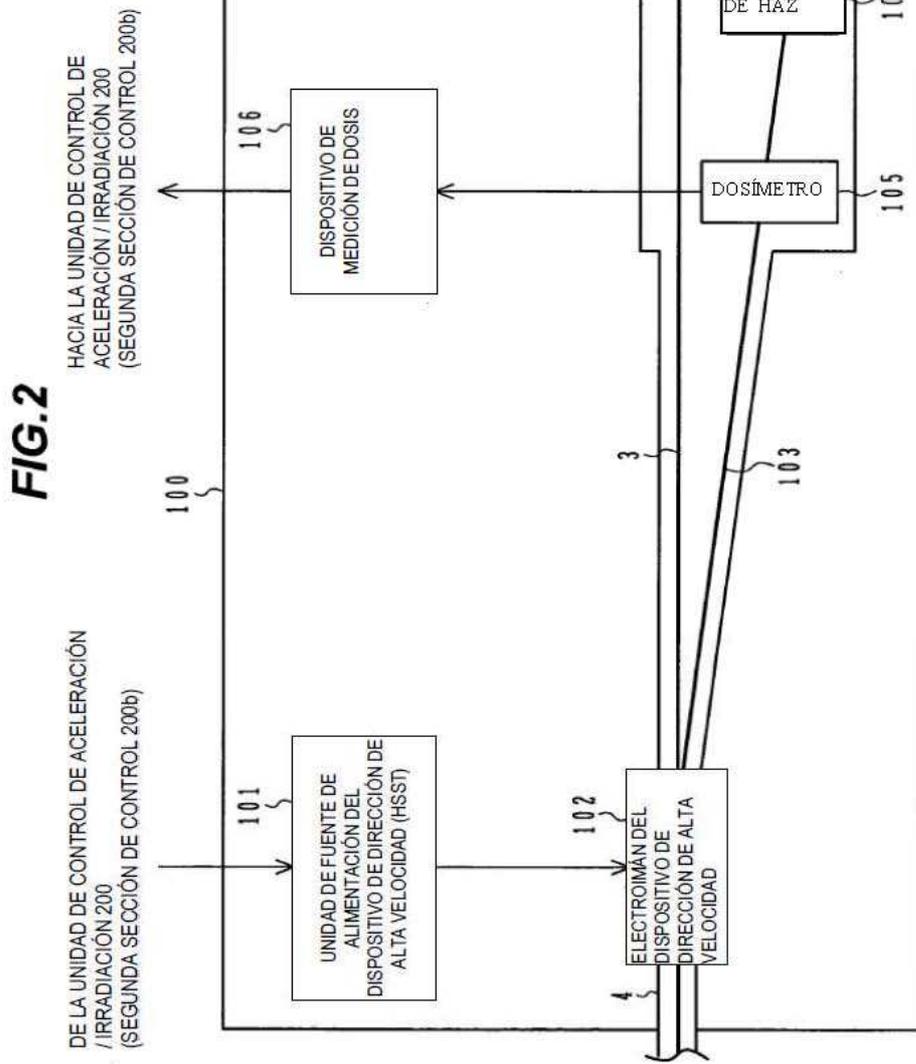


FIG.3A

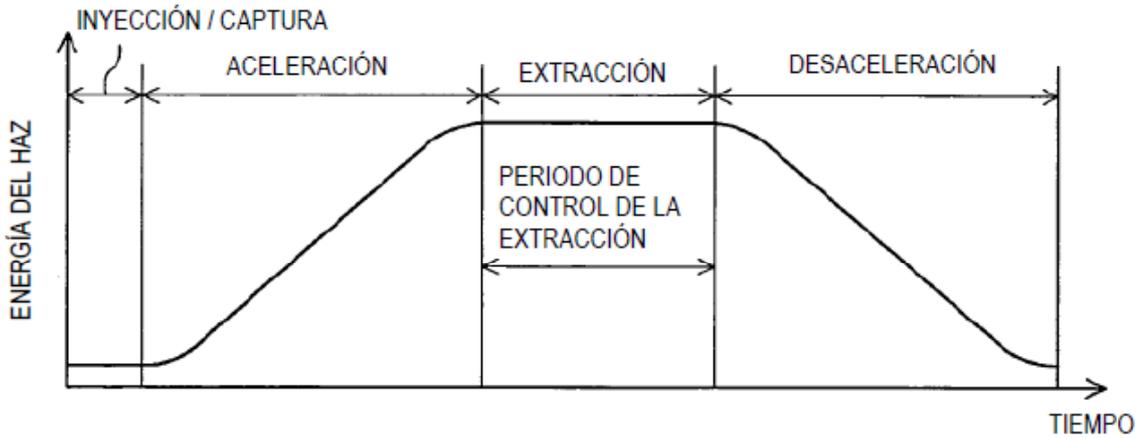


FIG.3B

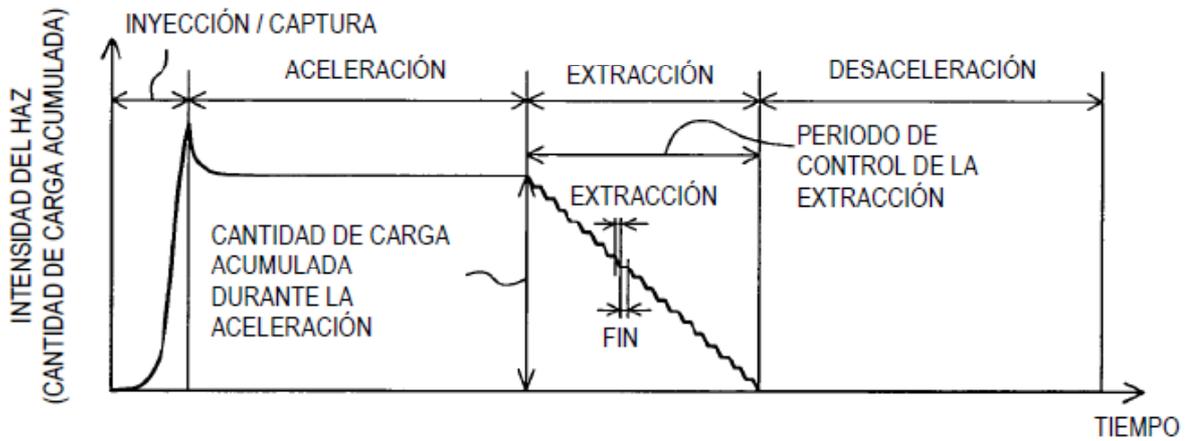


FIG.3C

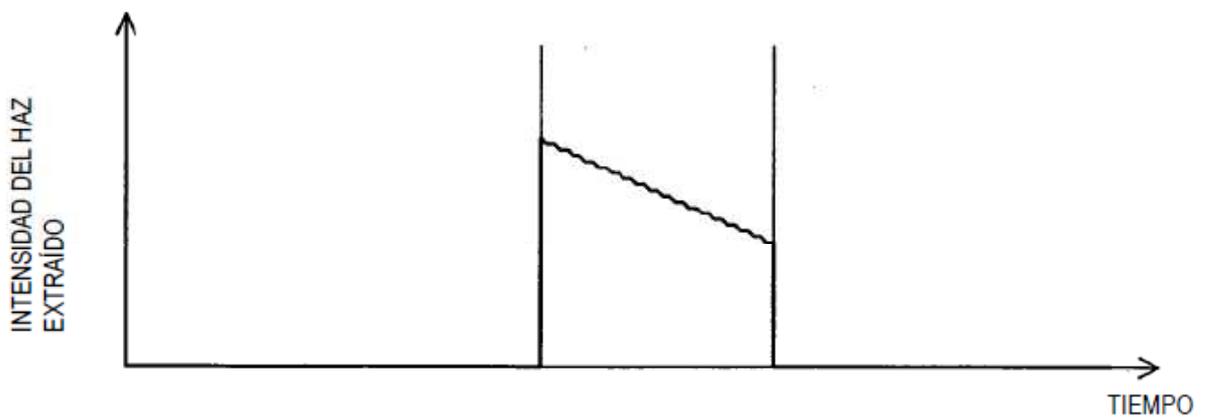


FIG.4

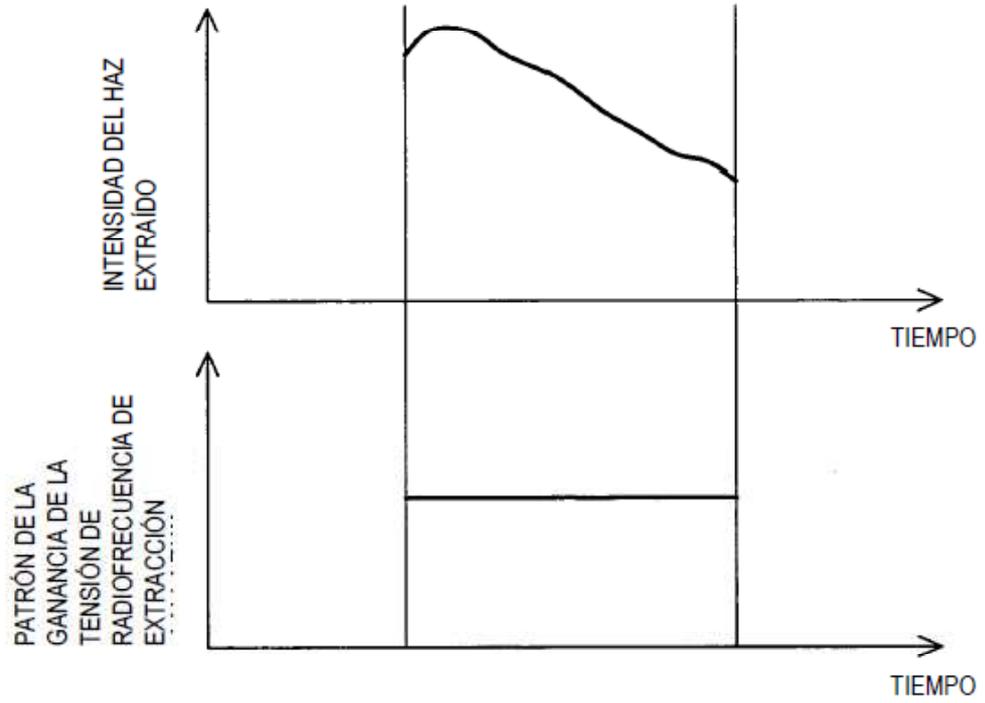


FIG.5

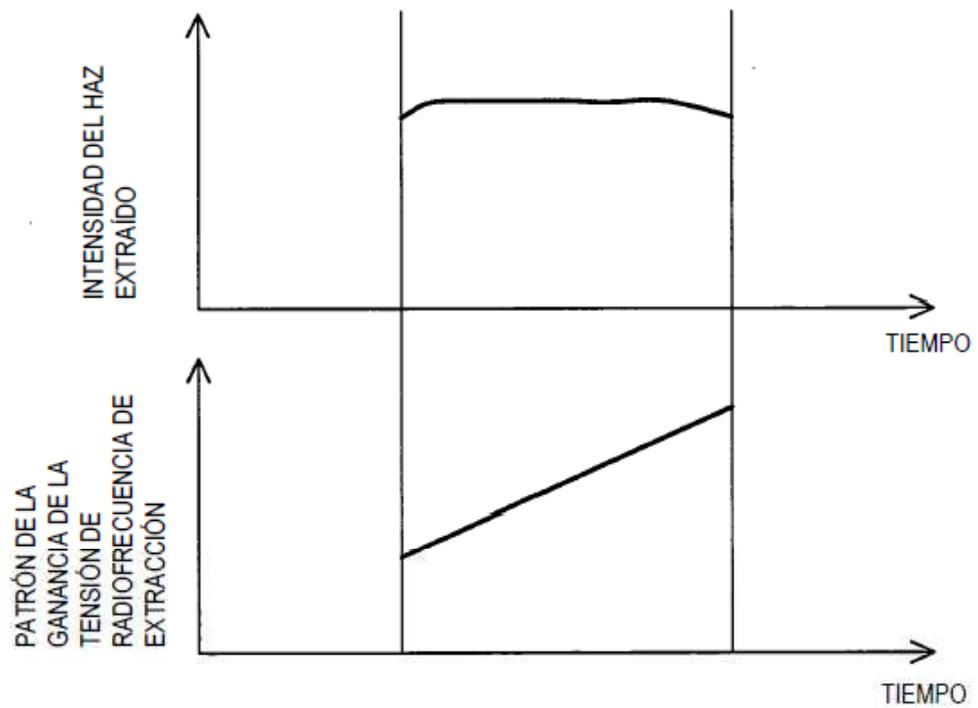


FIG. 6

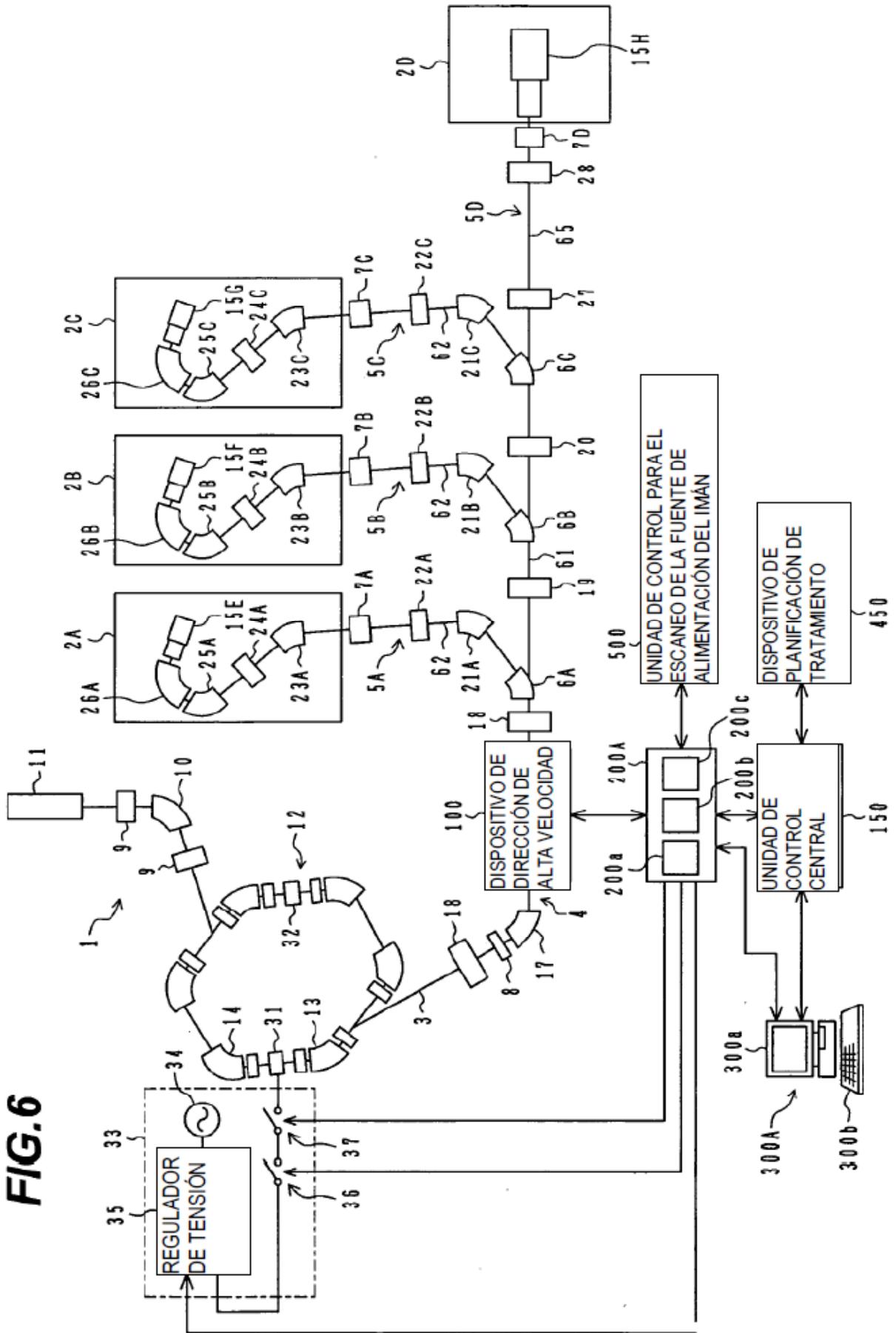


FIG.7A

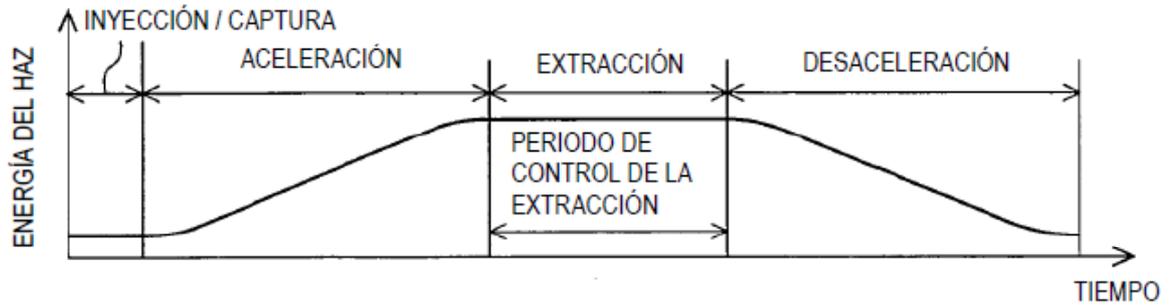


FIG.7B

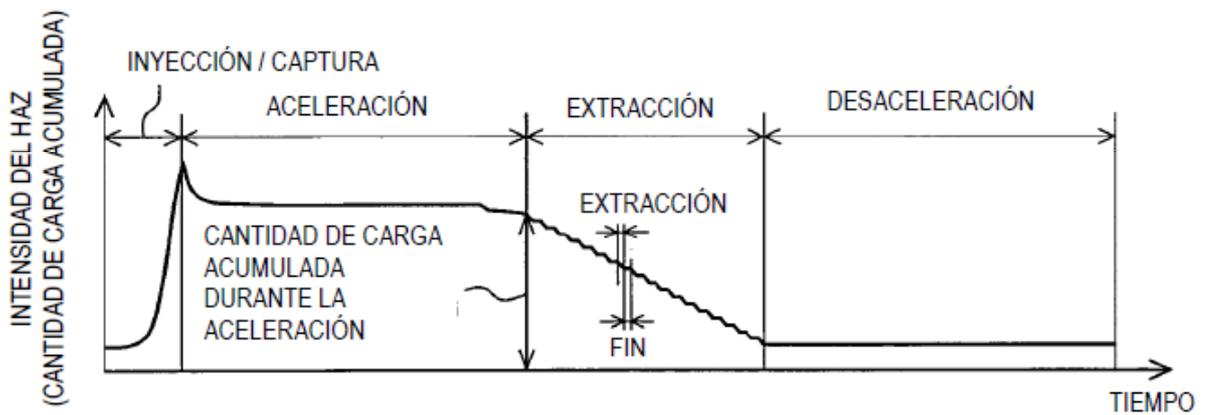


FIG.7C



FIG.8

