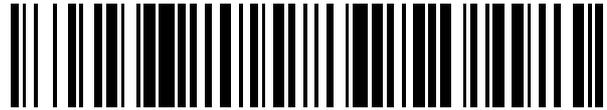


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 616 034**

51 Int. Cl.:

A61N 5/10

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.11.2012 PCT/JP2012/079530**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.06.2013 WO2013080800**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2012 E 12854355 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.02.2017 EP 2786780**

54 Título: **Sistema para irradiar partículas cargadas**

30 Prioridad:

30.11.2011 JP 2011262978

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

09.06.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**FUJII, YUSUKE;
UMEKAWA, TORU;
UMEZAWA, MASUMI;
SHIRATO, HIROKI;
UMEGAKI, KIKUO;
MIYAMOTO, NAOKI y
MATSUURA, TAEKO**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 616 034 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 para irradiar partículas cargadas

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un sistema de irradiación de partículas cargadas, y en particular, a un sistema de irradiación de partículas cargadas para tratar un volumen objetivo (por ejemplo, tumor) irradiando el volumen objetivo con un haz de partículas cargadas.

10 Antecedentes de la técnica

Hay un método bien conocido para tratar pacientes de cáncer, etc., irradiando un volumen objetivo en el cuerpo del paciente con un haz de partículas cargadas (haz de iones) tal como un haz de protones. El sistema usado para la irradiación comprende un generador de haz de partículas cargadas, una línea de transporte del haz y una sala de tratamiento.

15 El haz de partículas cargadas acelerado por el generador del haz de partículas cargadas alcanza una boquilla de irradiación (dispositivo de irradiación) en la sala de tratamiento por medio de la línea de transporte del haz. La distribución del haz de partículas cargadas se ensancha mediante la boquilla de irradiación y un campo de irradiación adecuado para la forma del volumen objetivo se forma en el cuerpo del paciente. La boquilla de irradiación puede estar equipada también con un dispositivo de barrido que realiza el barrido del haz de partículas cargadas en conformidad con la forma del volumen objetivo.

20 De forma incidental, como la irradiación precisa se vuelve difícil cuando el objetivo (por ejemplo, el volumen objetivo) se mueve debido a la respiración del paciente o similar, se realiza la irradiación de sincronización (que irradia el objetivo solo cuando el objetivo está en una posición preestablecida (en un área de permiso de extracción)).

25 En una tecnología convencional descrita en la Bibliografía de Patente 1, la irradiación de sincronización se realiza usando un sincrotrón como un generador de haz de partículas cargadas que repite la inyección/aceleración/ extracción/deceleración del haz. El tiempo de ciclo periódico de la inyección/aceleración/extracción del haz se controla para usar de forma efectiva el haz en la irradiación de sincronización.

30 En el documento US2010207042 A1 se crea la información de respiración objetivo en que un patrón de respiración del paciente se fija por adelantado a un ciclo adecuado para un ciclo de operación de un sincrotrón, y la información de respiración objetivo se informa al paciente, de manera que una programación de la respiración del paciente se vuelva un estado adecuado para una operación del sincrotrón de una manera tal que el paciente se iguale conscientemente con la información informada.

40 Bibliografía de la técnica anterior

Bibliografía de patente

Bibliografía de patente 1: documento JP-2921433-B

45 Compendio de la Invención

Problema a resolver por la Invención

50 En la irradiación de sincronización, la irradiación se realiza en sincronización con el ciclo de la respiración del paciente o similar. Aunque el ciclo de respiración es generalmente regular en algún grado, el ciclo de respiración puede cambiar de forma irregular ya que la respiración está basada en la actividad fisiológica del paciente.

55 En la tecnología convencional, el generador del haz de partículas cargadas comienza la deceleración inmediatamente cuando el objetivo se desvía del área de permiso de extracción. Así, en los casos donde el objetivo vuelve al área de permiso de extracción después de la desviación del área de permiso de extracción durante un corto tiempo (variación irregular), el generador del haz de partículas cargadas ha comenzado ya la deceleración y la extracción del haz no puede realizarse incluso aunque el objetivo esté en el área de permiso de extracción. Como la irradiación eficiente es imposible como anteriormente, el tiempo de irradiación total tiende a ser largo, y por consiguiente, el tiempo de tratamiento tiende a ser largo en la tecnología convencional.

60 Es por lo tanto el objeto principal de la presente invención proporcionar un sistema de irradiación de partículas cargadas capaz de acortar el tiempo de irradiación y el tiempo de tratamiento realizando una irradiación eficiente incluso cuando se de la variación irregular en el objeto de irradiación durante la irradiación de sincronización.

65

Medios para resolver el problema

(1) Para alcanzar el objeto anterior, la presente invención proporciona un sistema de irradiación de partículas cargadas que comprende: un generador de haz de partículas cargadas que repite la inyección de partículas cargadas, aceleración de las partículas cargadas, un estado extraíble después de terminar la aceleración, y deceleración de las partículas cargadas; una boquilla de irradiación que irradia un objeto de irradiación con un haz de partículas cargadas suministrado desde el generador del haz de partículas cargadas; y un sistema de control que controla el generador del haz de partículas cargadas y la boquilla de irradiación, teniendo el sistema de control: una función de recepción de la señal de variación del estado del objeto de irradiación de recepción de señales desde un dispositivo de monitorización del objeto de irradiación que monitoriza la variación del estado del objeto de irradiación; una función de ajuste del estado de permiso de extracción de ajuste de un estado de permiso de extracción generando una señal de permiso de extracción en sincronía con la variación del estado del objeto de irradiación; y una función de control de extracción de orden de extracción del haz de partículas cargadas cuando el generador del haz de partículas cargadas está en el estado extraíble y en el estado de permiso de extracción, mientras se ordena la parada de la extracción del haz de partículas cargadas cuando el generador del haz de partículas cargadas no está en el estado de permiso de extracción incluso si el generador del haz de partículas cargadas está en el estado extraíble. El sistema de control tiene además una función de mantenimiento del estado extraíble que opera después del final del estado de permiso de extracción y mantiene el estado extraíble del generador del haz de partículas cargadas incluso después del final del estado de permiso de extracción. La función de control de extracción ordena la extracción del haz de partículas cargadas de nuevo cuando el estado de permiso de extracción comienza de nuevo durante la operación de la función de mantenimiento del estado extraíble, mientras ordena la deceleración del generador del haz de partículas cargadas después del final de la operación de la función de mantenimiento del estado extraíble.

En la tecnología convencional, cuando el estado de permiso de extracción termina, la función de control de extracción ordena la parada de la extracción e inmediatamente ordena la deceleración del generador del haz de partículas cargadas. Incluso en casos donde el objetivo vuelve al estado de permiso de extracción en un corto tiempo (variación irregular), el generador del haz de partículas cargadas ha comenzado ya la deceleración y la extracción del haz no puede realizarse incluso aunque esté en el estado de permiso de extracción. Como la irradiación eficiente es imposible como anteriormente, el tiempo de irradiación total tiende a ser largo, y en consecuencia, el tiempo de tratamiento tiende a ser largo en la tecnología convencional.

En contraste, debido a la operación de la función de mantenimiento del estado extraíble descrita anteriormente, la función de control de extracción no ordena inmediatamente la deceleración del generador del haz de partículas cargadas incluso cuando ordena la parada de la extracción después del final del estado de permiso de extracción. Cuando el estado de permiso de extracción comienza de nuevo durante la operación de la función de mantenimiento del estado extraíble, la función de control de extracción ordena la extracción del haz de partículas cargadas de nuevo.

Con esta configuración, es posible realizar la irradiación eficiente y acortar el tiempo de irradiación y el tiempo de tratamiento.

(2) Preferiblemente, en el sistema de irradiación de partículas cargadas anterior (1), la función de mantenimiento del estado extraíble opera durante un tiempo en espera preestablecido.

Con esta configuración, el estado extraíble del generador del haz de partículas cargadas se mantiene durante el tiempo en espera preestablecido. Cuando el estado de permiso de extracción comienza de nuevo antes del paso del tiempo en espera preestablecido, la función de control de extracción ordena la extracción del haz de partículas cargadas de nuevo.

(3) Preferiblemente, en el sistema de irradiación de partículas cargadas anterior (2), la función de mantenimiento del estado extraíble empieza a operar en base a una señal que ordena la terminación del estado de permiso de extracción.

(4) Preferiblemente, en el sistema de irradiación de partículas cargadas (2), la función de mantenimiento del estado extraíble empieza a operar en base a una señal que ordena la parada de la extracción del haz de partículas cargadas.

Las configuraciones (3) y (4) anteriores fijan el punto de inicio del tiempo en espera preestablecido.

(5) Preferiblemente, en el sistema de irradiación de partículas cargadas (1) anterior, la función de mantenimiento del estado extraíble opera solo mientras la variación del estado del objeto de irradiación está en un intervalo preestablecido.

Con esta configuración, el estado extraíble del generador del haz de partículas cargadas se mantiene solo mientras la variación del estado del objeto de irradiación está en el intervalo preestablecido. Cuando el estado de permiso de extracción comienza de nuevo mientras la variación del estado del objeto de irradiación está en el intervalo preestablecido, la función de control de extracción ordena de nuevo la extracción del haz de partículas cargadas.

(6) Preferiblemente, en el sistema de irradiación de partículas cargadas (1) anterior, la función de control de extracción ordena la parada de la extracción del haz de partículas cargadas después de la recepción de una señal que ordena la terminación del estado de permiso de extracción y después la irradiación con una dosis prescrita.

Con esta configuración, en los casos de irradiación de un punto, la interrupción de la irradiación durante la irradiación del punto puede eliminarse y puede alcanzarse un control más sencillo.

(7) Para alcanzar el objeto anterior, la presente invención proporciona un método de irradiación de partículas cargadas para un sistema de irradiación de partículas cargadas equipado con un generador de haz de partículas cargadas, una boquilla de irradiación y un sistema de control que controla el generador de haz de partículas cargadas, la boquilla de irradiación y un dispositivo que monitoriza el objeto de irradiación, que comprende: una etapa en espera de extracción en que el generador de haz de partículas cargadas repite la inyección de partículas cargadas, aceleración de las partículas cargadas, un estado extraíble después de acabar la aceleración, y deceleración de las partículas cargadas; una etapa de monitorización de la variación del estado del objeto de irradiación en que el dispositivo de monitorización del objeto de irradiación monitoriza la variación del estado de un objeto de irradiación; una etapa de ajuste del estado de permiso de extracción de ajuste de un estado de permiso de extracción en sincronización con la variación del estado del objeto de irradiación monitorizado en la etapa de monitorización de la variación del estado del objeto de irradiación; una etapa de extracción de la extracción de un haz de partículas cargadas desde el generador del haz de partículas cargadas y que tiene la boquilla de irradiación aplicando el haz de partículas cargadas al objeto de irradiación cuando el generador del haz de partículas cargadas está en el estado extraíble en la etapa en espera de extracción y en el estado de permiso de extracción debido a la etapa de ajuste del estado de permiso de extracción; y una etapa de parada de extracción de parada de la extracción cuando el generador del haz de partículas cargadas no está en el estado de permiso de extracción debido a la etapa de ajuste del estado de permiso de extracción incluso si el generador del haz de partículas cargadas está en el estado extraíble en la etapa en espera de extracción. El método de irradiación de partículas cargadas comprende además una etapa de mantenimiento del estado extraíble de mantenimiento del estado extraíble del generador del haz de partículas cargadas incluso después de terminar el estado de permiso de extracción en la etapa de ajuste del estado de permiso de extracción. En la etapa de extracción, el haz de partículas cargadas se extrae de nuevo cuando el estado de permiso de extracción comienza de nuevo en la etapa de ajuste del estado de permiso de extracción durante el mantenimiento del estado extraíble mediante la etapa de mantenimiento del estado extraíble. En la etapa en espera de extracción, el generador del haz de partículas cargadas decelera el haz después del final del mantenimiento del estado extraíble mediante la etapa de mantenimiento del estado extraíble.

Efecto de la Invención

Según la presente invención, el tiempo de irradiación y el tiempo de tratamiento pueden acortarse realizando una irradiación eficiente incluso cuando se da la variación irregular en el objeto de irradiación durante la irradiación de sincronización.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama en bloque esquemático que muestra la configuración total de un sistema de irradiación de partículas cargadas (primera realización).
 La Figura 2 es un diagrama esquemático que muestra la configuración de una boquilla de irradiación.
 La Figura 3A es un gráfico para explicar la relación entre la profundidad del objetivo y la energía del haz de iones.
 La Figura 3B es un gráfico para explicar la relación entre la profundidad del objetivo y la energía del haz de iones.
 La Figura 4 es un gráfico para explicar la relación entre el haz de iones y la dimensión lateral del objetivo de irradiación en una dirección ortogonal al eje del haz (dirección paralela a un plano XY).
 La Figura 5 muestra la estructura de datos de los parámetros de irradiación registrados en una base de datos.
 La Figura 6 es un diagrama de flujo de control que muestra los detalles de procesado mediante un controlador de monitorización del objeto de irradiación y un controlador central.
 La Figura 7 es un diagrama de flujo de control que muestra los detalles de procesado mediante un controlador de irradiación.
 La Figura 8 es un diagrama conceptual para explicar la operación del sistema de irradiación de partículas cargadas.
 La Figura 9 es un diagrama de flujo de control que muestra los detalles de procesado mediante el controlador central (tecnología convencional).
 La Figura 10 es un diagrama conceptual para explicar la operación del sistema de irradiación de partículas cargadas (tecnología convencional).
 La Figura 11 es un diagrama de flujo de control que muestra los detalles del procesado mediante el controlador central (segunda realización).
 La Figura 12 es un diagrama conceptual para explicar la operación del sistema de irradiación de partículas cargadas (segunda realización).
 La Figura 13 es un diagrama de flujo de control que muestra los detalles de procesado mediante el controlador de irradiación (tercera realización).

Modo para llevar a cabo la Invención

En referencia ahora a los dibujos, se dará una descripción en detalle de las realizaciones preferidas de la presente invención.

5

<Primera realización>

Configuración

10 La Figura 1 es un diagrama en bloque esquemático que muestra la configuración total de un sistema de irradiación de partículas cargadas. El sistema de irradiación de partículas cargadas comprende un generador de haz de partículas cargadas 1, una línea de transporte del haz 2, una sala de tratamiento de radiación 17, un sistema de control 7, un controlador de monitorización del objeto de irradiación 65, y un dispositivo de monitorización del objeto de irradiación 66. Además, un CT-40 de rayos X y un dispositivo de planificación de irradiación 41 están colocados como equipo relacionado con el sistema de irradiación de partículas cargadas.

15

20 El generador del haz de partículas cargadas 1 incluye una fuente de iones (no mostrada), un acelerador lineal 3 (preacelerador del haz de partículas cargadas) y un sincrotrón 4. El sincrotrón 4 incluye un dispositivo de aplicación de ondas de radiofrecuencia 5 y un acelerador 6. El dispositivo de aplicación de ondas de radiofrecuencia 5 incluye un suministro de energía de radiofrecuencia 9 y electrodos de radiofrecuencia 8 colocados en la órbita cerrada del sincrotrón 4. El suministro de energía de radiofrecuencia 9 está conectado a los electrodos de radiofrecuencia 8 por medio de un interruptor (no mostrado). El acelerador 6 incluye una cavidad de aceleración de radiofrecuencia (no mostrada) dispuesta en la órbita cerrada del haz de iones y un suministro de energía de radiofrecuencia (no mostrado) para aplicar energía eléctrica de radiofrecuencia a la cavidad de aceleración de radiofrecuencia. Un deflector de extracción 11 conecta el sincrotrón 4 con la línea de transporte del haz 2.

25

30 La línea de transporte del haz 2 incluye una ruta del haz 12, imanes cuadrupolos (no mostrados), e imanes de curvatura 14, 15 y 16. La ruta del haz 12 se conecta a una boquilla de irradiación (dispositivo de irradiación) 21 que está colocada en la sala de tratamiento 17.

30

35 Un gantry rotatorio (no mostrado) se instala en la sala de tratamiento 17. La boquilla de irradiación 21 y los imanes de curvatura 15 y 16 como partes de la línea de transporte del haz 2 se colocan en el gantry rotatorio. Un lecho de tratamiento (denominado como un "lecho 24") y el dispositivo de monitorización del objeto de irradiación 66 para medir el movimiento del objeto de irradiación 25 en el lecho están colocados dentro del gantry rotatorio.

35

40 El gantry rotatorio se configura para poder rotarse mediante un motor. Los imanes de curvatura 15 y 16 y la boquilla de irradiación 21 rotan junto con la rotación del gantry. Debido a la rotación, el objeto de irradiación 25 puede irradiarse desde cualquier dirección en un plano ortogonal al eje de rotación del gantry.

40

45 La Figura 2 es un diagrama esquemático que muestra la configuración de la boquilla de irradiación 21. La boquilla de irradiación 21 incluye un imán de barrido 31, un imán de barrido 32, un monitor de posición del haz 33, y un monitor de dosis 34. En el sistema de irradiación de partículas cargadas de esta realización, la boquilla de irradiación 21 está equipada con dos imanes de barrido 31 y 32 y la posición de irradiación se cambia desviando el haz de iones en dos direcciones (dirección X, dirección Y) en un plano ortogonal a la dirección de propagación del haz. El monitor de posición del haz 33 mide la posición y la anchura del haz de iones. El monitor de dosis 34 mide la cantidad del haz de iones de irradiación.

45

50 Un objetivo de irradiación 37 existe en el objeto de irradiación 25. Mediante la irradiación con el haz de iones, una distribución de dosis que cubre el objetivo de irradiación 37 se forma dentro del objeto de irradiación 25. En el tratamiento de cáncer o similares, el objeto de irradiación 25 es un ser humano (paciente) y el objetivo de irradiación 37 es un tumor (volumen objetivo).

50

55 Las Figuras 3A y 3B son gráficos para explicar la relación entre la profundidad del objetivo y la energía del haz de iones. La Figura 3A indica una distribución de dosis formada en el objeto de irradiación mediante un haz sencillo de iones de energía como una función de la profundidad, mientras que la Figura 3B indica una distribución de dosis formada en el objeto de irradiación por varios haces de iones de diferentes niveles de energía como una función de la profundidad. El pico mostrado en la Figura 3A se denomina un "pico de Bragg". Como la posición del pico de Bragg cambia dependiendo de la energía, la irradiación del objetivo de irradiación en la posición del pico de Bragg es posible ajustando la energía del haz de iones para adaptar la profundidad del objetivo de irradiación. El objetivo de irradiación tiene un cierto grosor en la dirección de profundidad, mientras que el pico de Bragg es un pico afilado. Por lo tanto, una región de dosis alta uniforme (SOBP (pico de Bragg extendido)) que tiene el mismo grosor en la dirección de profundidad como el objetivo de irradiación se forma superponiendo varios picos de Bragg como se muestra en la Figura 3B, realizando la

60

65

irradiación mediante el uso de varios haces de iones de diferentes niveles de energía en una relación de intensidad apropiada.

5 La Figura 4 es un gráfico para explicar la relación entre el haz de iones y la dimensión lateral del objetivo de irradiación en una dirección ortogonal al eje del haz (dirección paralela al plano XY). Cada dirección ortogonal al eje del haz se denominará en adelante como una "dirección lateral". Después de entrar en la boquilla de irradiación 21, el haz de iones se barre (desvía) mediante los dos imanes de barrido 31 y 32 dispuestos en ortogonal el uno respecto al otro y alcanza una posición prevista en la dirección lateral. El ensanchamiento del haz de iones en la dirección lateral puede aproximarse mediante la forma de una distribución gaussiana. Si una pluralidad de distribuciones gaussianas idénticas se colocan a intervalos regulares mientras se ajusta el intervalo sustancialmente a la desviación estándar de la distribución Gaussiana, la distribución formada por las distribuciones gaussianas superpuestas (solapadas) tiene una región uniforme. Cada una de las distribuciones de dosis tipo distribución gaussiana dispuestas como anteriormente se denominan como "punto". Una distribución de dosis que es uniforme en la dirección lateral puede formarse colocando una pluralidad de puntos a intervalos regulares barriendo el haz de iones.

20 Como se explica anteriormente, un campo de irradiación uniforme puede formarse mediante el barrido del haz en la dirección lateral usando los imanes de barrido y el desplazamiento del pico de Bragg en la dirección de profundidad cambiando la energía del haz. De forma incidental, una unidad del campo de irradiación, irradiado con la misma energía y que tiene una cierta expansión en la dirección lateral debido al barrido del haz de iones mediante los imanes de barrido, se denomina como un "corte".

25 Volviendo a la Figura 1, el dispositivo de planificación de la irradiación 41 y una configuración de acompañamiento se explicarán a continuación.

Antes de que la irradiación del objetivo de irradiación 37 con el haz de iones se lleve a cabo, el dispositivo de planificación de irradiación 41 determina los parámetros necesarios para la irradiación. Los parámetros se determinan como se explica a continuación.

30 El objeto de irradiación 25 se captura por imagen anteriormente mediante el dispositivo CT de rayos X 40. Además, se obtiene una señal de movimiento de un paciente producido a partir de un dispositivo no mostrado (equivalente al dispositivo de monitorización del objeto de irradiación 66) unido al dispositivo CT de rayos X 40. El dispositivo CT de rayos X 40 genera datos de imagen del objeto de irradiación 25 en base a los datos de imágenes obtenidos y se manda el dato de imagen generado al dispositivo de planificación de irradiación 41. El dispositivo de planificación de irradiación expone el dato de imagen recibido en la pantalla de un dispositivo de visualización (no mostrado). Cuando una región que debería irradiarse se especifica en la imagen por el operador, el dispositivo de planificación de irradiación 41 genera los datos necesarios para la irradiación, calcula una distribución de dosis que se espera en la irradiación mediante el uso de los datos y expone la distribución de dosis calculada en el dispositivo de visualización. La región que debería irradiarse se especifica de manera que cubre el objetivo de irradiación 37. El dispositivo de planificación de irradiación 41 calcula y determina una posición de ajuste del objeto de irradiación (posición donde el objeto de irradiación 25 debería estar ajustado), un ángulo de gantry, y los parámetros de irradiación con los que la distribución de dosis puede formarse en la región específica. Además, el dispositivo de planificación de irradiación 41 determina la posición inicial del lecho 24 y además determina el área de permiso de extracción en base a la señal de movimiento adquirida.

50 Los parámetros de irradiación incluyen la energía del haz de iones, información posicional (coordinado X, coordinado Y) en un plano ortogonal al eje del haz, y una cantidad de irradiación al objetivo del haz de iones para la irradiación de cada posición. Específicamente, el dispositivo de planificación de irradiación 41 divide el objetivo de irradiación (volumen objetivo) 37 en una pluralidad de cortes dispuestos en la dirección de profundidad en base a la información del paciente introducida por el operador y determina el número N de cortes necesarios (conteo de cortes N). El dispositivo de planificación de irradiación 41 también determina la energía del haz de iones E_i adecuada para la irradiación de cada corte (corte núm. i) según la profundidad de cada corte. Además, según la forma de cada corte, el dispositivo de planificación de irradiación 41 determina el número N_i de puntos de irradiación a irradiar con el haz de iones (conteo de puntos N_i), números de punto j, la posición de irradiación (X_{ij} , Y_{ij}) de cada punto, y la cantidad de irradiación objetivo D_{ij} para cada punto.

60 El dispositivo de planificación de irradiación 41 manda la información (datos) determinada como anteriormente a una base de datos 42. La base de datos graba los datos generados a partir del dispositivo de planificación de irradiación 41.

65 La Figura 5 muestra la estructura de datos de los parámetros de irradiación registrados en la base de datos 42. Los parámetros de irradiación incluyen el conteo de cortes N y los datos respecto a cada corte. Los datos respecto a cada corte incluye el número de corte i, la energía E_i , el conteo de puntos N_i , y los datos

respecto a cada punto. Los datos respecto a cada punto incluyen el número de puntos j , la posición de irradiación (X_{ij} , Y_{ij}), y la cantidad de irradiación objetivo D_{ij} .

5 Volviendo a la Figura 1, una configuración relacionada con el sistema de control del sistema de irradiación de partículas cargadas se explicará a continuación.

10 El dispositivo de monitorización del objeto de irradiación 66 es un instrumento capaz de medir el movimiento del objetivo 37 o una cantidad que cambia en conjunto con el movimiento. Por ejemplo, el dispositivo de monitorización del objeto de irradiación 66 puede implementarse mediante un medidor de distancia láser para medir el movimiento de la superficie del cuerpo del paciente, un aeropletismógrafo para medir la cantidad de la exhalación del paciente, un dispositivo para medir la presión en un cinto enrollado alrededor del abdomen del paciente, etc. Para usar estos métodos, es necesario determinar previamente (antes del tratamiento) la relación entre el resultado del instrumento de medida y la posición del objetivo. El dispositivo de monitorización del objeto de irradiación 66 puede implementarse también mediante un dispositivo que determina la posición de un marcador insertado en las cercanías del objetivo 37 (o la posición del objetivo 37 en sí mismo) por medio de roentgenografía. De forma incidental, el dispositivo de monitorización del objeto de irradiación 66 puede proporcionarse o bien como un componente del sistema de irradiación de partículas cargadas o como un instrumento externo añadido al sistema de irradiación de partículas cargadas.

20 El dispositivo de monitorización del objeto de irradiación 66 se controla mediante el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65. El controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 recibe una señal de movimiento desde el dispositivo de monitorización del objeto de irradiación 66 y genera una señal de permiso de extracción en base a la comparación entre la señal de movimiento y el área de permiso de extracción. El área de permiso de extracción, que se ha fijado previamente, se manda desde el dispositivo de planificación de irradiación 41. El área de permiso de extracción puede designarse también por el operador. La señal de permiso de extracción incluye una señal de inicio de permiso de extracción y una señal de final de permiso de extracción. El estado (período) entre la generación de la señal de inicio de permiso de extracción y la generación de la señal de final del permiso de extracción por el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 se ajusta como un estado de permiso de extracción. El controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 puede proporcionarse también como un componente del sistema de control 7.

35 El sistema de control 7 incluye la base de datos (dispositivo de almacenaje de datos) 42, un controlador central 46, un controlador del acelerador 47, y un controlador de irradiación 48. La base de datos 42 está conectada con el dispositivo de planificación de irradiación 41. Los datos necesarios para la irradiación generados por el dispositivo de planificación de irradiación 41 se almacenan en la base de datos 42.

40 El controlador central 46 está conectado al controlador del acelerador 47, el controlador de irradiación 48 y la base de datos 42. El controlador central 46 recibe datos de la base de datos 42, manda la información necesaria al controlador del acelerador 47 y el controlador de irradiación 48, y así controla los controladores 47 y 48.

45 El controlador del acelerador 47 está conectado al generador de haz de partículas cargadas 1, la línea de transporte del haz 2 y el gantry rotatorio para controlarlos. Por ejemplo, el controlador del acelerador 47 realiza el control de manera que el generador del haz de partículas cargadas 1 repite la inyección de las partículas cargadas, la aceleración de las partículas cargadas, un estado extraíble después de terminar la aceleración, y la deceleración de las partículas cargadas y de esta manera el generador del haz de partículas cargadas 1 extrae (emite) el haz de partículas cargadas cuando el generador del haz de partículas cargadas 1 está en el estado extraíble. El controlador de irradiación 48 controla las cantidades de corrientes de excitación que fluyen a través de los imanes de barrido 31 y 32 mientras procesa además las señales de monitorización dentro de la boquilla de irradiación 21.

55 El controlador central 46 tiene varias funciones de computación. Una función de irradiación de sincronización 46a es una de las funciones de computación del controlador central 46. La función de irradiación de sincronización 46a ordena la extracción del haz de partículas cargadas cuando el generador del haz de partículas cargadas 1 está en el estado extraíble y en el estado de permiso de extracción. La función de irradiación de sincronización 46a ordena la parada de la extracción del haz de partículas cargadas cuando el generador del haz de partículas cargadas 1 no está en el estado de permiso de extracción incluso si el generador del haz de partículas cargadas 1 está en el estado extraíble.

60 El controlador central 46 tiene una función de mantenimiento del estado extraíble 46b como una función característica de esta realización. La función de mantenimiento del estado extraíble 46b se mantiene en espera durante un tiempo en espera preestablecido cuando la señal de final de permiso de extracción se recibe desde el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65. Por consiguiente, el estado extraíble del generador del haz de partículas cargadas 1 se mantiene durante el tiempo en espera preestablecido.

5 La función de irradiación de sincronización 46a ordena la extracción del haz de partículas cargadas de nuevo cuando la señal de inicio de permiso de extracción se recibe de nuevo desde el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 durante el tiempo en espera preestablecido. Si la señal de inicio de de permiso de extracción no se recibe de nuevo, después del paso del tiempo en espera preestablecido, la función de irradiación de sincronización 46a ordena al controlador del acelerador 47 decelerar el generador del haz de partículas cargadas 1.

10 Los detalles del procesado mediante la función de irradiación de sincronización 46a y la función de mantenimiento del estado extraíble 46b se explicarán a continuación en referencia a los diagramas de flujo de control de las Figuras 6 y 7.

Control

15 Para llevar a cabo el control de la irradiación, el objeto de irradiación 25 se pone en el lecho 24, y el lecho 24 con el objeto de irradiación 25 se mueve a una posición especificada por el dispositivo de planificación de irradiación 41.

20 La Figura 6 es un diagrama de flujo de control que muestra los detalles del procesado por el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 y el controlador central 46, en donde los detalles del procesado por el controlador del acelerador 47 y el controlador de irradiación 48 se muestran en formas simplificadas por conveniencia de la explicación.

25 Los detalles del procesado por el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 se explicarán a continuación.

30 El controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 compara la señal de movimiento adquirida del dispositivo de monitorización del objeto de irradiación 66 con el área de permiso de extracción (etapa S121). El área de permiso de extracción puede o bien especificarse por el operador antes de la irradiación o generarse previamente por el dispositivo de planificación de la irradiación 41.

35 Cuando la señal de movimiento entra en el área de permiso de extracción en la etapa S121, el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 manda la señal de inicio de permiso de extracción al controlador central 46 (etapa S122). Cuando la señal de movimiento está fuera del área de permiso de extracción, el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 permanece en espera hasta que el dictamen en la etapa S121 se vuelve afirmativo.

40 A partir de ahí, el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 compara la señal de movimiento adquirida del dispositivo de monitorización del objeto de irradiación 66 con el área de permiso de extracción (etapa S123). Cuando la señal de movimiento se desvía del área de permiso de extracción en la etapa S123, el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 envía una señal de final de permiso de extracción al controlador central 46 (etapa S124).

45 A partir de ahí, este procedimiento de control se repite hasta completarse la irradiación. El estado (periodo) entre la generación de la señal de inicio de permiso de extracción y la generación de la señal de final de permiso de extracción por el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 se fija como el estado de permiso de extracción.

Después, los detalles del procesado por el controlador central 46 se explicarán a continuación.

50 El controlador central 46 recibe la instrucción del operador y manda una señal de inicio de irradiación al controlador del acelerador 47 y el controlador de irradiación 48 (etapa S101). Además, el controlador central 46 manda una señal de inyección al controlador del acelerador 47 para la inyección del haz (etapa S102) y manda una señal de aceleración al controlador del acelerador 47 para la aceleración del haz (etapa S103).

55 Una breve explicación del procesado por el controlador del acelerador 47 que corresponde a las etapas S101-S103 se inserta aquí.

60 El controlador del acelerador 47 recibe los parámetros de irradiación e información del ángulo del gantry desde la base de datos 42 por medio del controlador central 46. El controlador del acelerador 47 mueve el gantry rotatorio a un ángulo del gantry deseado según la información del ángulo del gantry recibida. Además, en base a los parámetros de irradiación, el controlador del acelerador 47 fija los valores de las corrientes de excitación para excitar los imanes del sincrotrón 4 y la línea de transporte del haz 2, el valor de la onda de radiofrecuencia a aplicar mediante el dispositivo de aplicación de ondas de radiofrecuencia 5, y el valor de la onda de radiofrecuencia se va a aplicar al acelerador 6, correspondiendo cada valor con la energía del haz de iones E_i por cada corte.

Al recibir la señal de inyección, el controlador del acelerador 47 activa la fuente de iones. Los iones (por ejemplo, protones (o iones de carbono)) generados en la fuente de iones se inyectan en el acelerador lineal 3. El acelerador lineal 3 acelera los iones y emiten los iones acelerados. El haz de iones del acelerador lineal 3 se inyecta en el sincrotrón 4.

5 Al recibir la señal de aceleración, el controlador del acelerador 47 acelera el haz de iones (inyectado en el sincrotrón 4 desde el acelerador lineal 3) hasta la energía del haz de iones E1 para el corte núm. 1 controlando el acelerador 6 y los imanes del sincrotrón 4. En breve, el controlador del acelerador 47 acelera el haz de iones hasta la energía prevista controlando el generador de haz de partículas cargadas 1. La
10 aceleración se lleva a cabo aplicando la onda de radiofrecuencia desde el suministro de energía de radiofrecuencia a la cavidad de aceleración de radiofrecuencia (es decir, dando energía al haz de iones que circula en el sincrotrón 4 usando la energía eléctrica de radiofrecuencia). Mientras, el controlador del acelerador 47 controla los niveles de excitación de los imanes de la línea de transporte del haz 2 de manera que el haz de iones acelerado puede transportarse a la boquilla de irradiación 21. Este estado se denomina
15 como el estado extraíble.

La explicación vuelve a la del procesado por el controlador central 46.

20 Al reconocer el estado extraíble, el controlador central 46 calcula si la señal de inicio del permiso de extracción se ha recibido o no del controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 (etapa S104). Si la señal de inicio de permiso de extracción no se ha recibido en la etapa S104, el controlador central 46 permanece en espera hasta que se reciba la señal de inicio del permiso de extracción. Al recibir la señal de inicio de permiso de extracción, el controlador central 46 manda una señal de inicio de extracción al controlador de irradiación 48 (etapa S105).

25 A partir de ahí, el controlador central 46 permanece en espera (ordena la continuación de la extracción) hasta que cualquiera de los dictámenes en la etapa S106 (se haya recibido o no la señal de final de permiso de extracción), etapa S107 (se haya recibido o no una señal de aprovechamiento de dosis) y la etapa S108 (haya pasado o no un tiempo extraíble máximo) se vuelva afirmativa.

30 Cuando el dictamen en la etapa S107 o S108 es afirmativa, el controlador central 46 manda una señal de parada de extracción al controlador de irradiación 48 (etapa S109) y manda una señal de deceleración al controlador del acelerador 47 para la deceleración del haz (etapa S110). De forma incidental, la señal de aprovechamiento de dosis calculada en la etapa S107 es una señal recibida desde el controlador de irradiación 48. El tiempo extraíble máximo calculado en la etapa S108 es el tiempo máximo durante el que el
35 haz acelerado puede mantenerse en el estado extraíble. El tiempo extraíble máximo incluye el tiempo durante el que el haz se extrae.

El control que es característico de esta realización se explicará a continuación.

40 Durante la continuación de la extracción, el controlador central 46 calcula si se ha recibido o no la señal de final de permiso de extracción desde el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 (etapa S106). Si la señal de final de permiso de extracción se ha recibido en la etapa S106, el controlador central 46 manda la señal de parada de extracción al controlador de irradiación 48 (etapa S111).

45 A partir de ahí, el controlador central 46 permanece en espera (ordena la continuación de la parada de la extracción) hasta que cualquiera de los dictámenes en la etapa S112 (se haya recibido o no de nuevo la señal de inicio de permiso de extracción), etapa S113 (haya pasado o no el tiempo en espera preestablecido) y la etapa S114 (haya pasado o no un tiempo de irradiación máximo) se vuelva afirmativo.

50 Si la señal de inicio del permiso de extracción desde el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 se ha recibido de nuevo en la etapa S112, el controlador central 46 vuelve a la etapa S105 y manda la señal de inicio de extracción de nuevo al controlador de irradiación 48.

55 Si el tiempo en espera preestablecido ha pasado en la etapa S113 desde la recepción de la señal de final de permiso de extracción, el controlador central 46 avanza a la etapa S110 y manda la señal de deceleración al controlador del acelerador 47 para decelerar el haz. El tiempo en espera preestablecido es el tiempo en espera máximo desde la recepción de la señal de final de permiso de extracción al inicio de la deceleración. El tiempo en espera preestablecido puede o bien fijarse por el operador antes de la irradiación o fijarse previamente por el dispositivo de planificación de la irradiación 41. El tiempo en espera preestablecido
60 puede o bien cambiarse de irradiación a irradiación o fijarse al valor determinado originalmente.

Si el tiempo extraíble máximo ha pasado en la etapa S114, el controlador central 46 avanza a la etapa S110.

65 Una breve explicación del procesado por el controlador del acelerador 47 que corresponde a la etapa S110 se inserta aquí.

Al recibir la señal de deceleración, el controlador del acelerador 47 disminuye los niveles de excitación de los imanes del sincrotrón 4 para la deceleración y preparación para la inyección y de este modo fija el sincrotrón 4 en un estado en que puede inyectarse el haz desde el acelerador lineal 3.

5 La explicación vuelve a la del procesado por el controlador central 46.

10 El controlador central 46 se refiere al controlador de irradiación 48 y calcula si hay o no un punto restante (que no se ha irradiado aún) entre los puntos descritos en los parámetros de irradiación (etapa S115). Si hay un punto restante, el controlador central 46 vuelve a la etapa S102 (inyección del haz) y acelera el haz hasta la energía para que se irradie el punto siguiente (etapa S103). Si no hay un punto restante, el controlador central 46 manda una señal de terminación de irradiación al controlador del acelerador 47 y el controlador de irradiación 48 (etapa S116).

15 La Figura 7 es un diagrama de flujo de control que muestra los detalles del procesado mediante el controlador de irradiación 48, en donde los detalles del procesado por el controlador central 46 y el controlador del acelerador 47 se muestran de formas simplificadas por conveniencia de la explicación.

20 Al recibir la señal de inicio de irradiación desde el controlador central 46, el controlador de irradiación 48 comienza a controlar la boquilla de irradiación 21 (etapa S201). La irradiación se comienza desde el corte núm. $i = 1$ y el punto núm. $j = 1$ (etapa S202).

25 El controlador de irradiación 48 excita los imanes de barrido 31 y 32 con los valores de corriente de excitación que corresponden al corte núm. 1 y el punto núm. 1 calculados por el controlador central 46, y la preparación para la irradiación se completa de este modo (etapa S203).

30 Después de completar la preparación de la irradiación, el controlador de la irradiación 48 calcula si se ha recibido o no la señal de inicio de la extracción desde el controlador central 46 (etapa S204). Si la señal de inicio de la extracción no se ha recibido en la etapa S204, el controlador de irradiación 48 permanece en espera hasta que se recibe la señal de inicio de la extracción. Al recibir la señal de inicio de extracción, el controlador de irradiación 48 manda una señal de extracción al controlador del acelerador 47 (etapa S205).

35 Una breve explicación del procesado por el controlador del acelerador 47 que corresponde a la etapa S205 se inserta aquí.

40 Al recibir la señal de extracción, el controlador del acelerador 47 comienza la extracción del haz de iones desde el sincrotrón 4 controlando el dispositivo de aplicación de ondas de radiofrecuencia 5. Específicamente, el controlador del acelerador 47 conecta el interruptor ya mencionado y hace de esta manera que el dispositivo de aplicación de ondas de radiofrecuencia 5 aplique la onda de radiofrecuencia al haz de iones. El haz de iones que ha estado circulando en el sincrotrón 4 en el límite de estabilidad se desplaza al exterior del límite de estabilidad y se extrae del sincrotrón 4 a través del deflector de extracción 11. El haz de iones extraído pasa a través de la línea de transporte del haz 2 y entra en la boquilla de irradiación 21.

45 Dentro de la boquilla de irradiación 21, el haz de iones se escanea por los imanes de barrido 31 y 32 y después pasa a través del monitor de posición del haz 33 y el monitor de dosis 34. A partir de ahí, el haz de iones alcanza el objetivo de irradiación 37 y para después de dar una dosis de radiación prescrita al objetivo de irradiación 37.

50 La explicación vuelve a la del procesado mediante el controlador de irradiación 48.

55 A partir de ahí, el controlador de irradiación 48 permanece en espera (ordena la continuación de la extracción) hasta que cualquiera de los dictámenes en la etapa S206 (se haya recibido o no la señal de parada de extracción) y la etapa S207 (se haya alcanzado o no la cantidad de irradiación objetivo) se vuelva afirmativo.

60 En la etapa S207, el controlador de irradiación 48 cuenta la cantidad de irradiación con un contador de dosis basado en una señal recibida del monitor de dosis 34. Cuando el valor del contador de dosis alcanza la cantidad de irradiación objetivo, el controlador de irradiación 48 calcula que la irradiación del punto j (punto núm. j) está completa y manda una señal de parada al controlador del acelerador 47 para parar la extracción (etapa S208).

65 Después, el controlador de irradiación 48 calcula si hay o no un punto restante en el mismo corte (etapa S209). Si hay un punto restante ($j < N_i$) en la etapa S209, el controlador de irradiación 48 aumenta el valor de j en 1 (etapa S212) y vuelve a la etapa S203 para irradiar el siguiente punto. Si no hay un punto restante ($j = N_i$) después de repetir la irradiación del punto, el controlador de irradiación 48 calcula que la irradiación

del corte i (corte núm. i) está completa y manda una señal de realización de dosis al controlador central 46 (etapa S210).

5 Después, el controlador de irradiación 48 calcula si hay o no un corte restante (etapa S211). Si hay un corte restante ($i < N$) en la etapa S211, el controlador de irradiación 48 aumenta el valor de i en 1 (etapa S214) y vuelve a la etapa S203 para irradiar el siguiente corte. Si no hay un corte restante ($i = N$) después de repetir la irradiación del corte, el controlador de la irradiación 48 calcula que la irradiación de todos los cortes está completa. En este punto, la irradiación está completa (etapa S215).

10 En la irradiación de sincronización como la ejecutada en esta realización, la señal de parada se manda al controlador del acelerador 47 para parar la extracción (etapa S213) cuando el dictamen en la etapa S206 se vuelve afirmativo, esto es, cuando se recibe la señal de parada de extracción. A partir de ahí, el controlador de irradiación 48 vuelve a la etapa S204 y permanece en espera hasta que se recibe la siguiente señal de inicio de extracción.

15 Una breve explicación del procesado por el controlador del acelerador 47 que corresponde a las etapas S208 y S213 se inserta aquí.

20 Al recibir la señal de parada, el controlador del acelerador 47 para la extracción controlando el dispositivo de aplicación de onda de radiofrecuencia 5. Específicamente, se para la extracción del haz de iones desde el sincrotrón 4 parando la aplicación de la onda de radiofrecuencia desconectando el interruptor entre el suministro de energía de radiofrecuencia 9 y los electrodos de radiofrecuencia 8.

25 Correspondencia con las reivindicaciones

El controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 y las etapas S122 y S124 ejecutadas por el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 constituyen una función de ajuste del estado de permiso de extracción del ajuste del estado del permiso de extracción generando la señal de inicio de permiso de extracción y la señal de final de permiso de extracción en sincronización con la variación del estado del objeto de irradiación 25.

30 La función de irradiación de sincronización 46a del controlador central 46 y las etapas S104, S105, S106 y S111 ejecutadas por el controlador central 46 constituyen una función de control de extracción de orden de la extracción del haz de partículas cuando el generador del haz de partículas cargadas 1 está en el estado extraíble y en el estado de permiso de extracción, mientras se ordena la parada de la extracción del haz de partículas cargadas cuando el generador del haz de partículas cargadas 1 no está en el estado de permiso de extracción incluso si el generador del haz de partículas cargadas 1 está en el estado extraíble.

35 La función de mantenimiento del estado extraíble 46b del controlador central 46 y la etapa S113 ejecutada por el controlador central 46 constituye una función de mantenimiento del estado extraíble que opera durante el tiempo en espera preestablecido después de la recepción de la señal de final de permiso de extracción y mantiene el estado extraíble del generador del haz de partículas cargadas 1 incluso después del final del estado de permiso de extracción.

40 La función de irradiación sincronizada 46a del controlador central 46 y las etapas S112, S105 y S110 ejecutadas por el controlador central 46 constituyen una función de control de extracción de orden de la extracción del haz de partículas cargadas de nuevo cuando el estado de permiso de extracción comienza de nuevo durante la operación de la función de mantenimiento del estado extraíble 46b (es decir, durante el tiempo en espera), mientras se ordena la deceleración del generador del haz de partículas cargadas 1 después del final de la operación de la función de mantenimiento del estado extraíble 46b (es decir, después del paso del tiempo en espera preestablecido).

Operación

45 La operación del sistema de irradiación de partículas cargadas según esta realización se explicará a continuación con respecto a tres casos diferentes 1-3.

50 La Figura 8 es un diagrama conceptual para explicar la operación del sistema de irradiación de partículas cargadas, en donde el eje horizontal representa el tiempo y el eje vertical representa (de arriba abajo) la señal de movimiento, el área de permiso de extracción, el estado de permiso de extracción, el nivel de excitación del acelerador, el paso del tiempo en espera y la extracción del haz.

55 El estado de permiso de extracción se fija en periodos durante los que la señal de movimiento que representa la posición del objetivo 37 está en el área de permiso de extracción. Cada estado de permiso de extracción se fija como un estado (periodo) desde la generación de la señal de inicio de permiso de extracción a la generación de la señal de final de permiso de extracción.

El nivel de excitación del acelerador representa el nivel de excitación de los imanes de curvatura del sincrotrón 4. Es posible inyectar el haz en el sincrotrón 4 cuando el nivel de excitación es bajo, acelerar el haz, y a partir de ahí extraer el haz del sincrotrón 4 en un estado en que el nivel de excitación se ha vuelto alto y constante. Este estado se denomina como el estado extraíble. En el estado extraíble, la extracción del haz se inicia en respuesta a la señal de inicio del permiso de extracción. Después de pararse la extracción del haz en respuesta a la señal de final de permiso de extracción (en esta realización, después de que ha pasado también el tiempo preestablecido), el haz en el sincrotrón 4 se decelera disminuyendo el nivel de excitación del acelerador, y se inicia la preparación para la inyección del siguiente haz.

10 (Caso 1: extracción normal)

Cuando el generador del haz de partículas cargadas 1 está en el estado extraíble, la extracción del haz se inicia en la recepción de la señal de inicio del permiso de extracción (S101 → S102 → S103 → S122 → S104 → S105).

15 En el método de irradiación por barrido de puntos, cada punto se irradia con el haz hasta una dosis objetivo. Después de completar la irradiación de un punto (irradiación del punto), se realiza la irradiación del siguiente punto. La irradiación del punto se repite mientras continua el estado de permiso de extracción (S105 → S204 → S205 → S206 → S207 → S208 → S209 → (iteración de S203 – S209)).

20 (Caso 2: sincronizado apagado → Parada de la extracción → Deceleración)

La señal de final de permiso de extracción se genera de forma regular (periódicamente) debido a una señal de movimiento regular (periódica). La extracción del haz se para en la recepción de la señal de final de permiso de extracción (S124 → S106 → S111 → S206 → S213 → (iteración de S204)).

25 Mientras, la función de mantenimiento del estado extraíble 46b opera en la recepción de la señal de final de permiso de extracción. Así, el generador del haz de partículas cargadas 1 mantiene el estado extraíble hasta que pasa el tiempo en espera preestablecido. Cuando el tiempo en espera preestablecido pasa sin recibir la señal de inicio de permiso de extracción de nuevo durante el tiempo en espera, la función de mantenimiento del estado extraíble 46b acaba su operación y el generador del haz de partículas cargadas 1 decelera el haz (S111 → (iteración de S112 → S113 → S114) → S112 → S113 → S110).

30 (Caso 3: sincronizado apagado → Parada de extracción → Reinicio de la extracción)

También hay casos donde la señal de final de permiso de extracción se genera de forma irregular durante la irradiación. La extracción del haz se para en la recepción de la señal de final de permiso de extracción (S124 → S106 → S111 → S206 → S213 → (iteración de S204)).

35 Mientras, la función de mantenimiento del estado extraíble 46b opera en la recepción de la señal de final de permiso de extracción y el generador del haz de partículas cargadas 1 mantiene el estado extraíble. Cuando la señal de inicio de permiso de extracción se recibe de nuevo durante el tiempo en espera, la extracción del haz se reinicia (S111 → (iteración S112 → S113 → S114) → S112 → S105 → S204 → S205).

Efecto

45 El efecto de esta realización se explicará a continuación en contraste con la tecnología convencional. El sistema de irradiación de partículas cargadas según la tecnología convencional no tiene la función de mantenimiento del estado extraíble 46b (configuración característica de esta realización).

50 La Figura 9 es un diagrama de flujo de control que muestra los detalles del procesado por el controlador central 46 según la tecnología convencional, en donde a las etapas idénticas a las de la Figura 6 se asignan los mismos caracteres de referencia que en la Figura 6.

Durante la continuación de la extracción, el controlador central 46 calcula si se ha recibido o no la señal de final de permiso de extracción desde el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 (etapa S106). Si la señal de final de permiso de extracción se ha recibido en la etapa S106, el controlador central 46 manda la señal de parada de extracción al controlador de irradiación 48 (etapa S109) mientras manda también la señal de deceleración al controlador del acelerador 47 para decelerar el haz (etapa S110).

60 La Figura 10 es un diagrama conceptual para explicar la operación del sistema de irradiación de partículas cargadas según la tecnología convencional. Un caso que corresponde al Caso 3 en la Figura 8 se explicará a continuación.

65 Cuando el generador del haz de partículas cargadas 1 está en el estado extraíble, la extracción del haz se inicia en la recepción de la señal de inicio del permiso de extracción (S101 → S102 → S103 → S122 → S104 → S105). La irradiación del punto se repite mientras el estado de permiso de extracción continua (S105 → S204 → S205 → S206 → S207 → S208 → S209 → (iteración de S203 – S209)).

Mediante la operación anterior, se lleva a cabo la irradiación del punto en el área a en la Figura 10.

También hay casos donde la señal de final de permiso de extracción se genera de forma irregular durante la irradiación. La extracción del haz se para en la recepción de la señal de final de permiso de extracción (S124 → S106 → S109 → S206 → S213 → (iteración de S204)).

5 Mientras, en la recepción de la señal de final de permiso de extracción, el generador del haz de partículas cargadas 1 decelera inmediatamente el haz (S124 → S106 → S109 → S110).

10 Como resultado, la irradiación del punto en el área b en la Figura 10 no puede llevarse a cabo. Como la irradiación eficiente es imposible como anteriormente, el tiempo de irradiación total tiende a ser más largo, y por consiguiente, el tiempo de tratamiento tiende a ser largo en la tecnología convencional.

15 Volviendo a la Figura 8, la operación en el caso 3 en esta realización después del reinicio de la extracción del haz se explicará a continuación.

20 Cuando la señal de inicio del permiso de extracción se recibe de nuevo, la extracción del haz se reinicia y la irradiación del punto se repite (S112 → S105 → S204 → S205 – S209 → (iteración de S203 – S209)).

25 La señal de final de permiso de extracción se genera de forma regular (periódicamente) debido a una señal de movimiento regular (periódica). La extracción del haz se para en la recepción de la señal de final de permiso de extracción (S124 → S106 → S111 → S206 → S213 → (iteración de S204)).

30 Como resultado, se lleva a cabo la irradiación del punto en el área b' en la Figura 8. Debido a la irradiación eficiente, el tiempo de irradiación y el tiempo de tratamiento puede acortarse.

35 Modificaciones

La presente invención no va a estar restringida a la realización anterior; una variedad de modificaciones son posibles.

35 1. Son posibles varias modificaciones al respecto del punto de partida de la operación de la función de mantenimiento del estado extraíble 46b. Mientras la función de mantenimiento del estado extraíble 46b en la realización anterior empieza permaneciendo en espera durante el tiempo en espera preestablecido en la recepción de la señal de final de permiso de extracción generada a partir del controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 en la etapa S124, la función de mantenimiento del estado extraíble 46b puede configurarse también para empezar permaneciendo en espera durante el tiempo en espera preestablecido en la transmisión de la señal de parada de extracción al controlador de irradiación 48 en la etapa S111, por ejemplo.

40 2. Son posibles varias modificaciones al respecto del ajuste del estado de permiso de extracción. Mientras el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 en la realización anterior fija el estado de permiso de extracción como el estado (periodo) desde la generación de la señal de inicio de permiso de extracción a la generación de la señal de final de permiso de extracción, la señal de permiso de extracción puede también generarse de forma continua y el estado de permiso de extracción puede fijarse como un estado (periodo) desde el inicio de la generación de la señal de permiso de extracción al final de la generación de la señal de permiso de extracción.

45 3. Mientras la realización anterior se ha explicado asumiendo el uso del método de irradiación de barrido por puntos como el método de irradiación, la realización es aplicable también al método de irradiación de dispersión doble (ensanchando la distribución del haz mediante el uso de un difusor) y el método de irradiación con bamboleo (barriendo el haz (ampliado con un dispersor) en un patrón circular).

50 <Segunda realización>

La Figura 11 es un diagrama de flujo de control que muestra los detalles del procesado mediante el controlador central 46 según una segunda realización de la presente invención, en donde las etapas idénticas a las de la Figura 6 se asignan a los mismos caracteres de referencia que en la Figura 6.

55 La función de mantenimiento del estado extraíble 46b en la primera realización opera justo para el tiempo en espera preestablecido después de la recepción de la señal de final de permiso de extracción (S113 en la Figura 6). La función de mantenimiento del estado extraíble 46b en la segunda realización puede configurarse para operar después de la recepción de la señal de final de permiso de extracción hasta que se recibe una señal de orden de inicio de deceleración, esto es, mientras la señal de movimiento después de desviarse del área de permiso de extracción no exceda un valor de orden de inicio de deceleración (S113A en la Figura 11).

65

Después de mandar la señal de final de permiso de extracción al controlador central 46 en la etapa S124, el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 calcula si la señal de movimiento ha excedido o no el valor de la orden de inicio de deceleración que se ha fijado fuera del área de permiso de extracción (etapa S125). Cuando la señal de movimiento excede el valor de la orden de inicio de deceleración, el controlador de monitorización del objeto de irradiación 65 manda la señal de orden de inicio de deceleración al controlador central 46 (etapa S126).

La Figura 12 es un diagrama conceptual para explicar la operación del sistema de irradiación de partículas cargadas según la segunda realización.

El estado de permiso de extracción se fija en periodos durante los que la señal de movimiento que representa la posición del objetivo 37 está en el área de permiso de extracción. El generador del haz de partículas cargadas 1 acelera el haz y lo desplaza al estado extraíble. La extracción del haz se inicia en respuesta a la señal de inicio del permiso de extracción (caso 1).

La extracción del haz se para en respuesta a la señal de final de permiso de extracción. Mientras, la función de mantenimiento del estado extraíble 46b opera y el generador del haz de partículas cargadas 1 mantiene el estado extraíble (en espera).

Cuando la señal de movimiento que representa la posición del objetivo 37 excede el valor de la orden de inicio de deceleración, se genera la señal de orden de inicio de deceleración.

Cuando la señal de orden de inicio de deceleración se recibe sin recibir la señal de inicio de permiso de extracción de nuevo durante el tiempo en espera, la función de mantenimiento del estado extraíble 46b termina su operación y el generador del haz de partículas cargadas 1 decelera el haz (caso 2).

La extracción del haz se para durante la irradiación debido a la recepción de la señal de final de permiso de extracción irregular. Mientras, en la recepción de la señal de final de permiso de extracción, la función de mantenimiento del estado extraíble 46b opera y el generador del haz de partículas cargadas 1 mantiene el estado extraíble. Cuando la señal de inicio de permiso de extracción se recibe de nuevo durante el tiempo en espera, se reinicia la extracción del haz (caso 3).

La operación del sistema de irradiación de partículas cargadas en la segunda realización es esencialmente equivalente a la de la primera realización y se alcanzan efectos similares a los de la primera realización.

<Tercera realización>

La Figura 13 es un diagrama de flujo de control que muestra los detalles del procesado mediante el controlador de irradiación 48 según una tercera realización de la presente invención, en donde a las etapas idénticas a las de la Figura 7 se asignan los mismos caracteres de referencia que en la Figura 7.

Mientras la extracción se para durante la irradiación del punto en la primera realización en la recepción de la señal de parada de extracción (S206 → S213), también es posible desplazarlo al estado en espera después de completar la irradiación del punto. Así, las etapas S206 y S213 son innecesarias en esta realización.

En los casos donde el tiempo de irradiación para cada punto es corto y el movimiento del objetivo durante el tiempo es insignificante, el control puede simplificarse en comparación con la primera realización no parando la irradiación en la mitad de la irradiación del punto.

Descripción de los caracteres de referencia

1	generador del haz de partículas cargadas
2	línea de transporte del haz
3	acelerador lineal
4	sincrotrón
5	dispositivo de aplicación de ondas de radiofrecuencia
6	acelerador
7	sistema de control
8	electrodo de radiofrecuencia
9	suministro de energía de radiofrecuencia
11	deflector de extracción
12	ruta del haz
14, 15, 16	imanes de curvatura
17	sala de tratamiento
21	boquilla de irradiación
24	lecho
25	objeto de irradiación
31, 32	imán de barrido

ES 2 616 034 T3

	33	monitor de posición del haz
	34	monitor de dosis
	37	objetivo de irradiación
	40	dispositivo CT de rayos X
5	41	dispositivo de planificación de la irradiación
	42	base de datos
	46	controlador central
	46a	función de irradiación de sincronización
	46b	función de mantenimiento del estado extraíble
10	47	controlador del acelerador
	48	controlador de irradiación
	65	controlador de monitorización del objeto de irradiación
	66	dispositivo de monitorización del objeto de irradiación

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de irradiación de partículas cargadas que comprende:

- 5 Un generador de haz de partículas cargadas (1) que repite la inyección de partículas cargadas, aceleración de las partículas cargadas, un estado extraíble después de terminar la aceleración, y deceleración de las partículas cargadas;
 Una boquilla de irradiación (21) que irradia a un objeto de irradiación (25) con un haz de partículas cargadas suministrado desde el generador del haz de partículas cargadas (1); y
- 10 Un sistema de control (7) que controla el generador del haz de partículas cargadas y la boquilla de irradiación (21), teniendo el sistema de control (7):
 Una función de recepción de la señal de la variación del estado del objeto de irradiación de recepción de señales desde un dispositivo de monitorización del objeto de irradiación (66) que monitoriza la variación del estado del objeto de irradiación (25);
- 15 Una función de ajuste del estado de permiso de extracción del ajuste de un estado de permiso de extracción generando una señal de permiso de extracción en sincronización con la variación del estado del objeto de irradiación (25),
 Caracterizado por que el sistema de control (7) tiene además una función de control de extracción de la orden de extracción del haz de partículas cargadas cuando el generador del haz de partículas cargadas (1) está en el estado extraíble y en el estado de permiso de extracción, mientras se ordena la parada de la extracción del haz de partículas cargadas cuando el generador del haz de partículas cargadas (1) no está en el estado de permiso de extracción incluso si el generador del haz de partículas cargadas (1) está en el estado extraíble; y
- 20 Una función de mantenimiento del estado extraíble que opera después del final del estado de permiso de extracción y mantiene el estado extraíble del generador del haz de partículas cargadas (1) incluso después del final del estado de permiso de extracción, en donde
 La función de control de extracción ordena la extracción del haz de partículas cargadas de nuevo cuando el estado de permiso de extracción comienza de nuevo durante la operación de la función de mantenimiento del estado extraíble, mientras ordena la deceleración del generador del haz de partículas cargadas (1) después del final de la operación de la función de mantenimiento del estado extraíble.
- 25
2. El sistema de irradiación de partículas cargadas según la reivindicación 1, en donde la función de mantenimiento del estado extraíble opera durante un tiempo en espera preestablecido.
- 35
3. El sistema de irradiación de partículas cargadas según la reivindicación 2, en donde la función de mantenimiento del estado extraíble comienza operando en base a una señal que ordena la terminación del estado de permiso de extracción.
- 40
4. El sistema de irradiación de partículas cargadas según la reivindicación 2, en donde la función de mantenimiento del estado extraíble comienza operando en base a una señal que ordena la parada de la extracción del haz de partículas cargadas.
- 45
5. El sistema de irradiación de partículas cargadas según la reivindicación 1, en donde la función de mantenimiento del estado extraíble opera solo mientras la variación del estado del objeto de irradiación (25) está en un intervalo preestablecido.
- 50
6. El sistema de irradiación de partículas cargadas según la reivindicación 1, en donde la función de control de extracción ordena la parada de la extracción del haz de partículas cargadas después de la recepción de una señal que ordena la terminación del estado de permiso de extracción y después la irradiación con una dosis prescrita.

FIG. 1

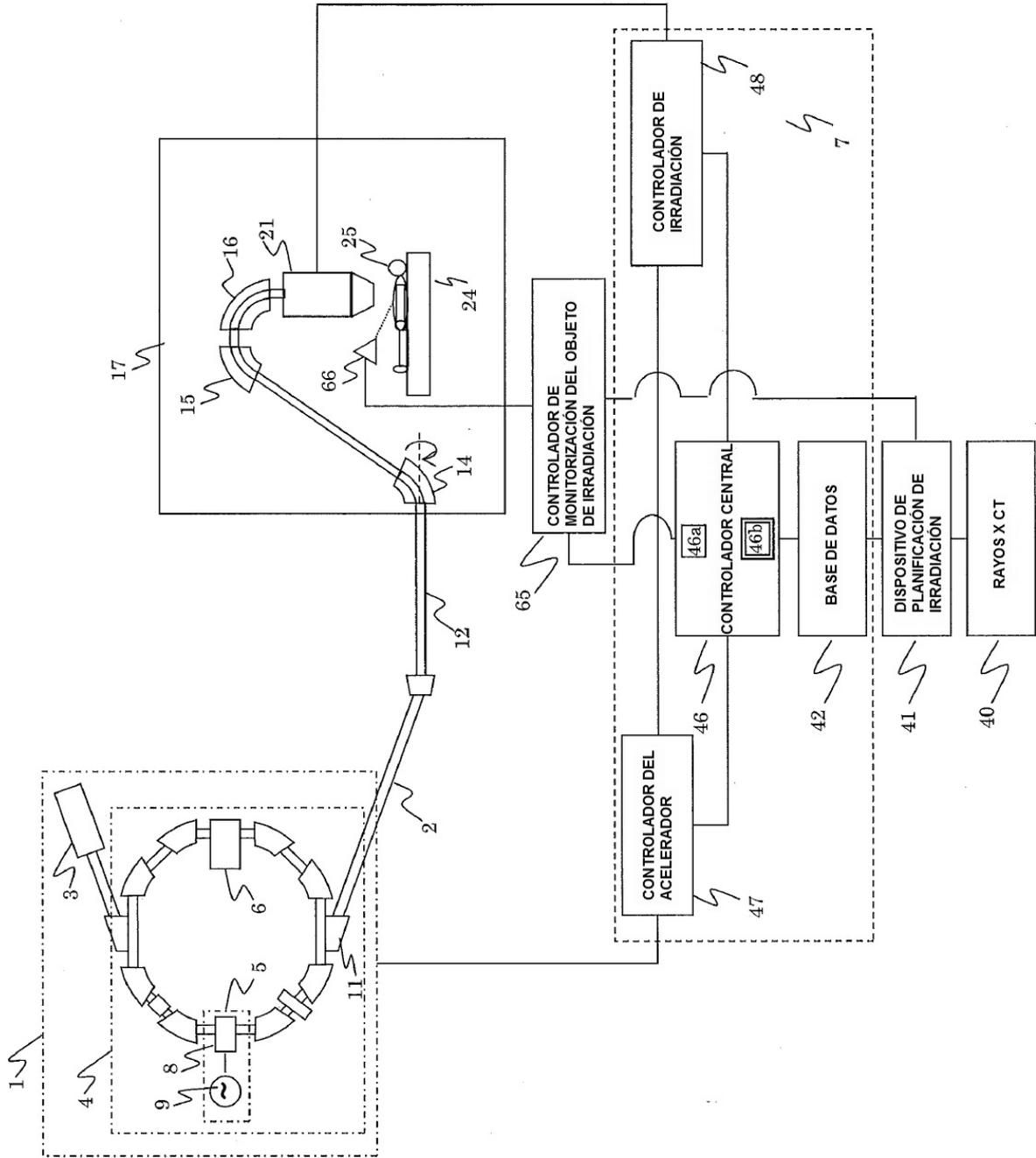


FIG. 2

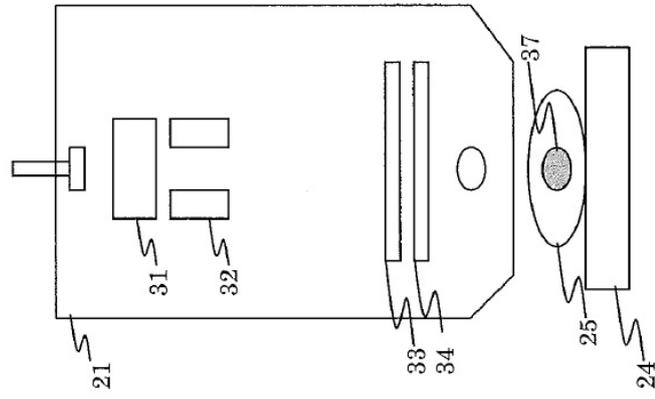


FIG. 3A

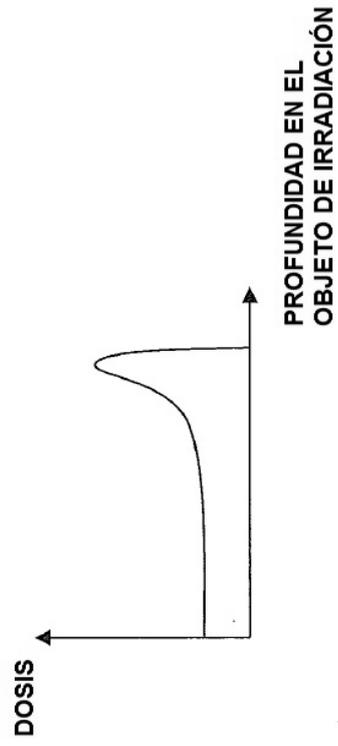


FIG. 3B

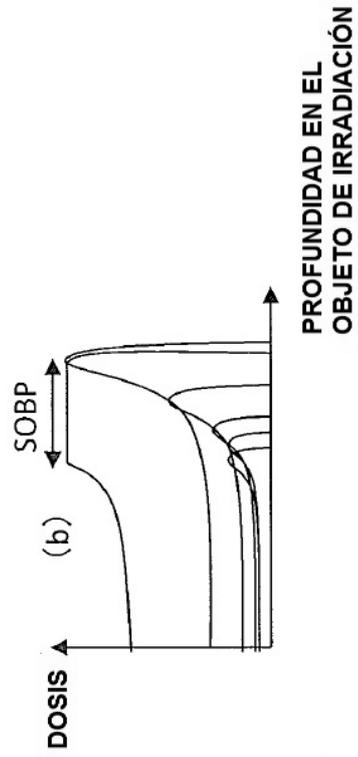


FIG. 4

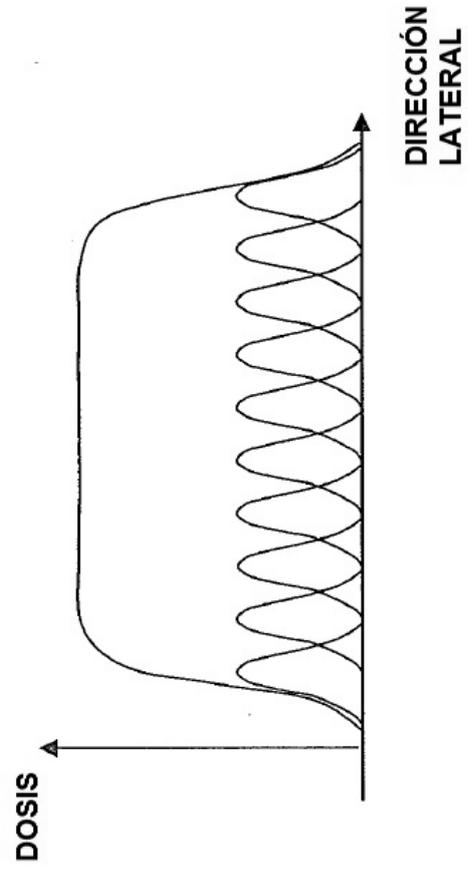
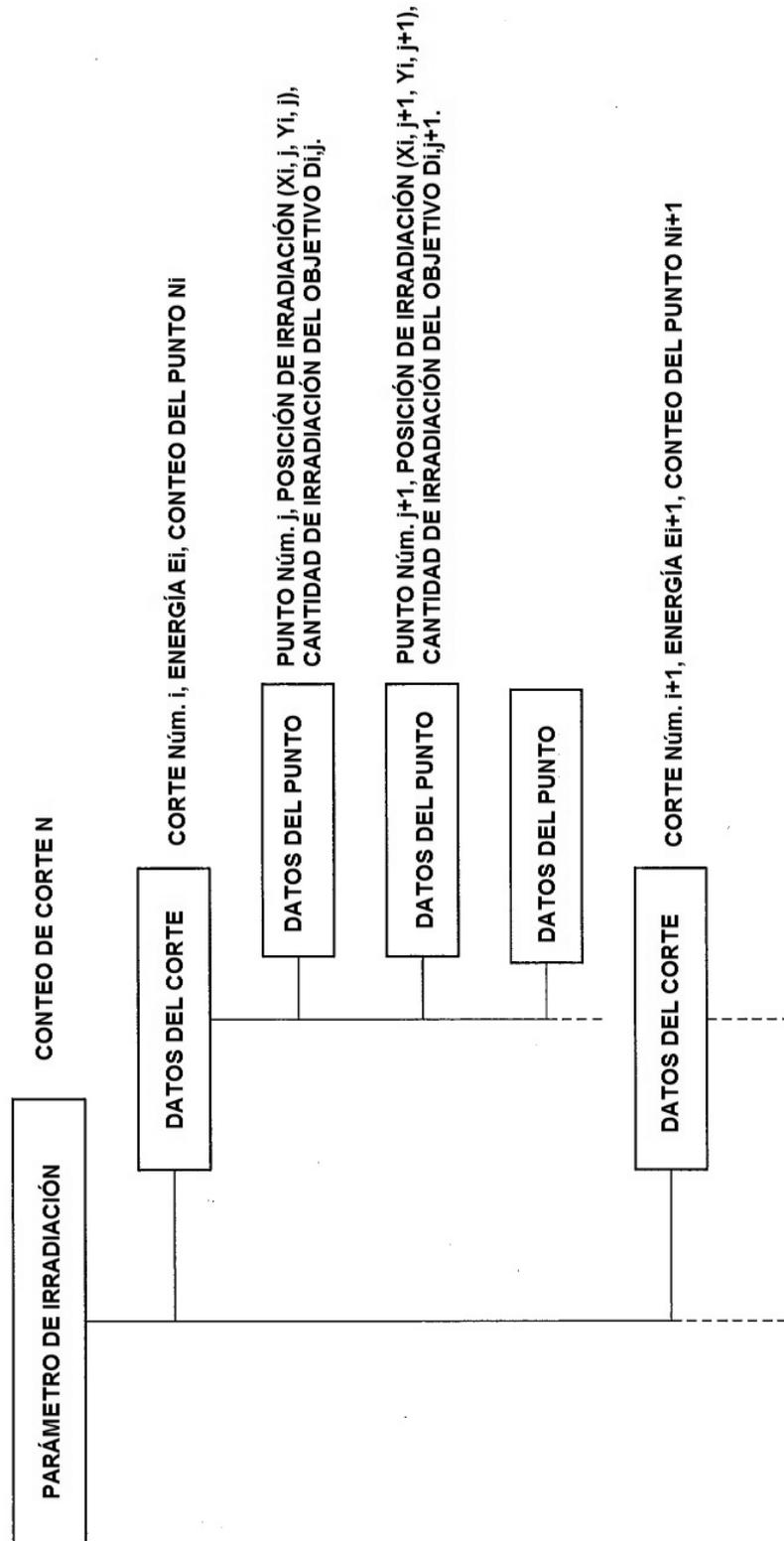


FIG. 5



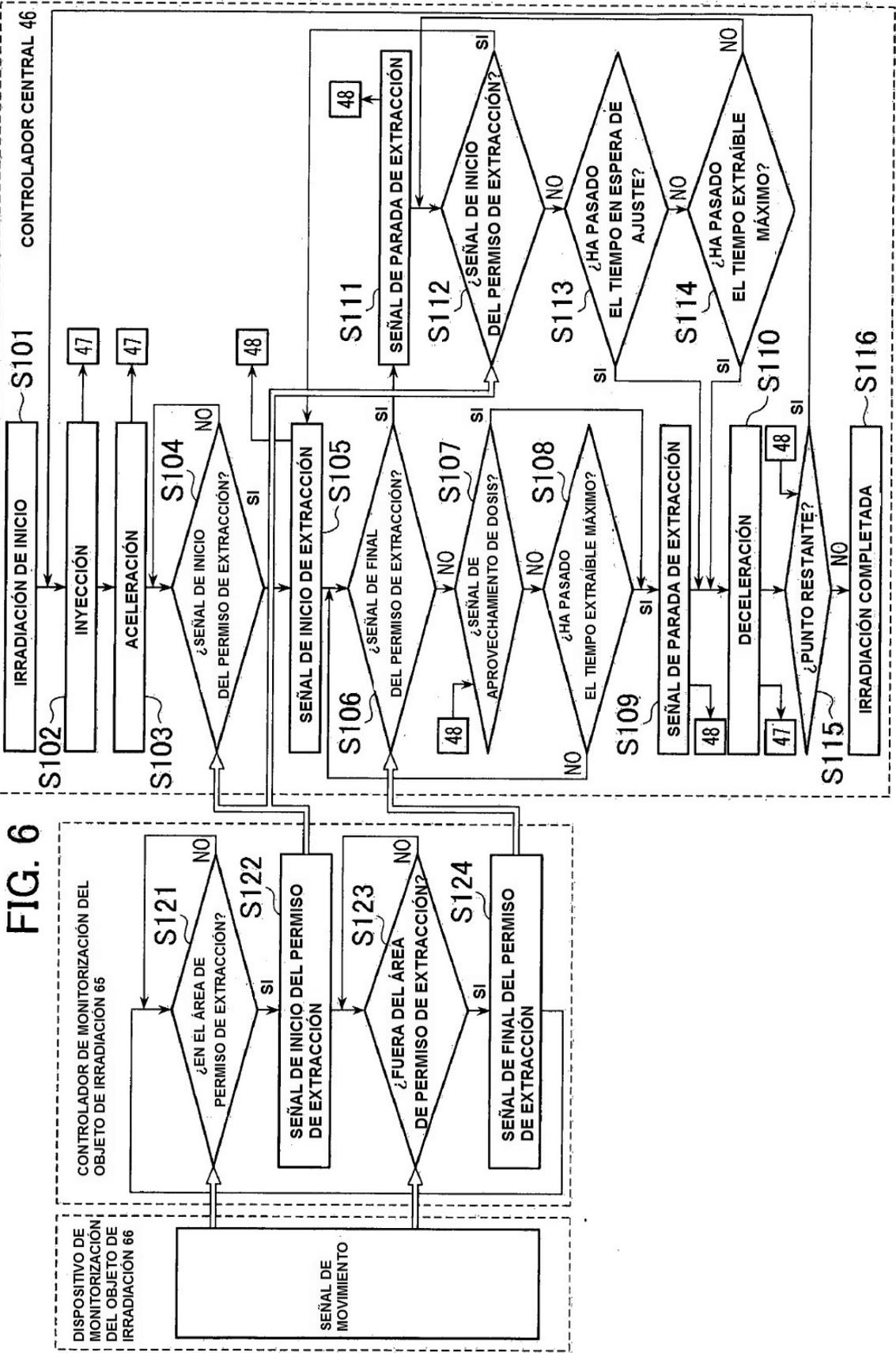


FIG. 7

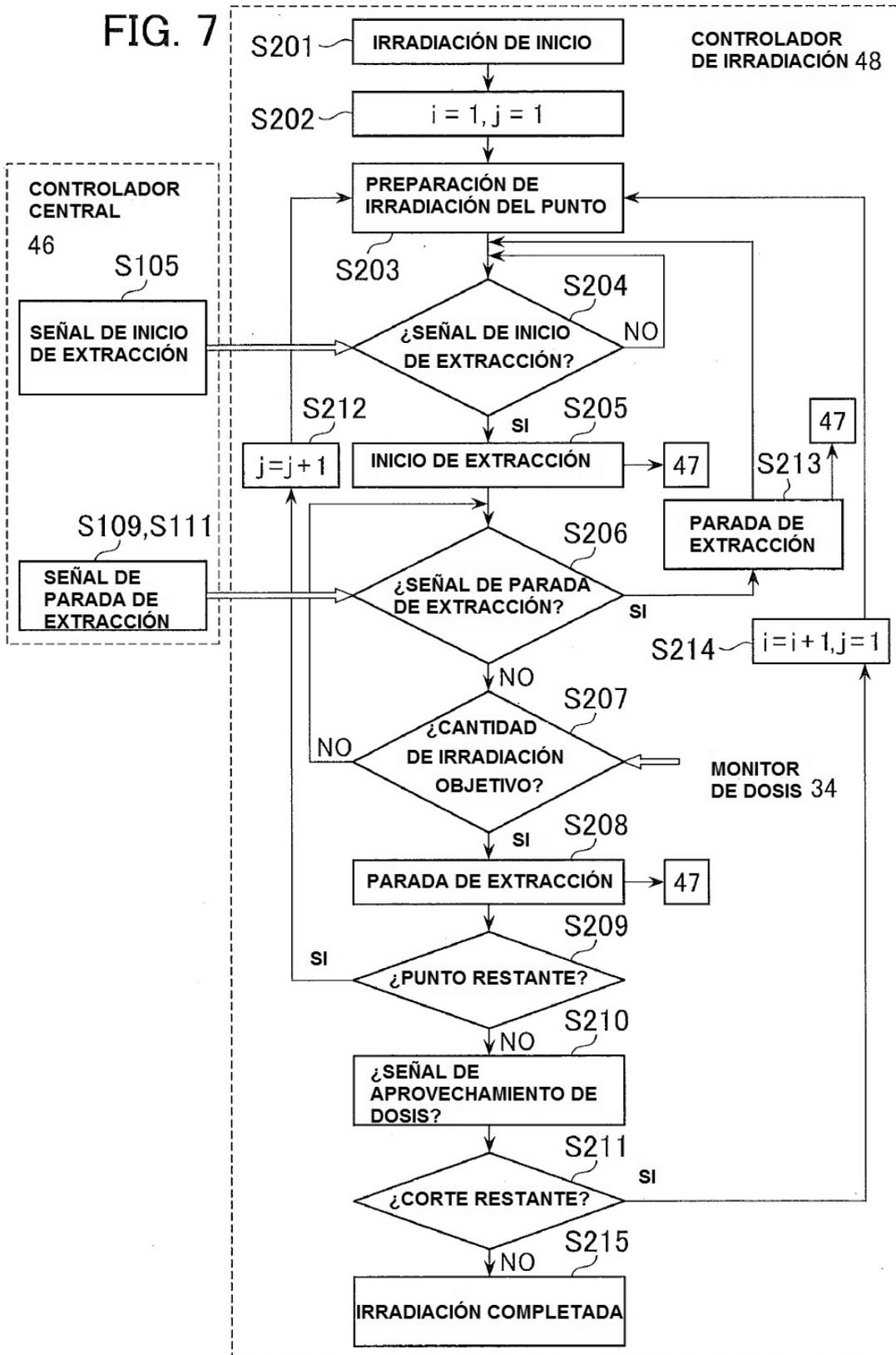


FIG. 8

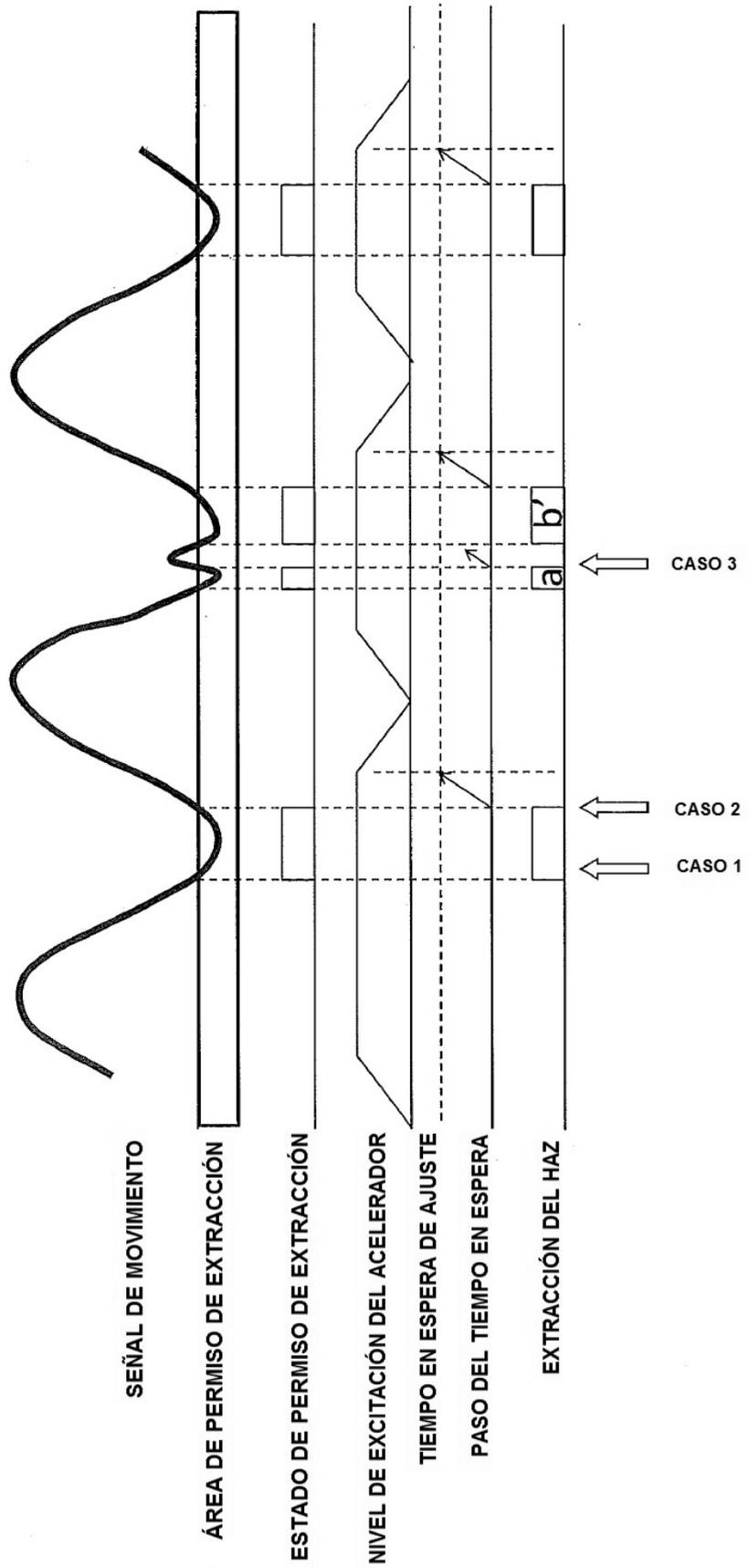


FIG. 9

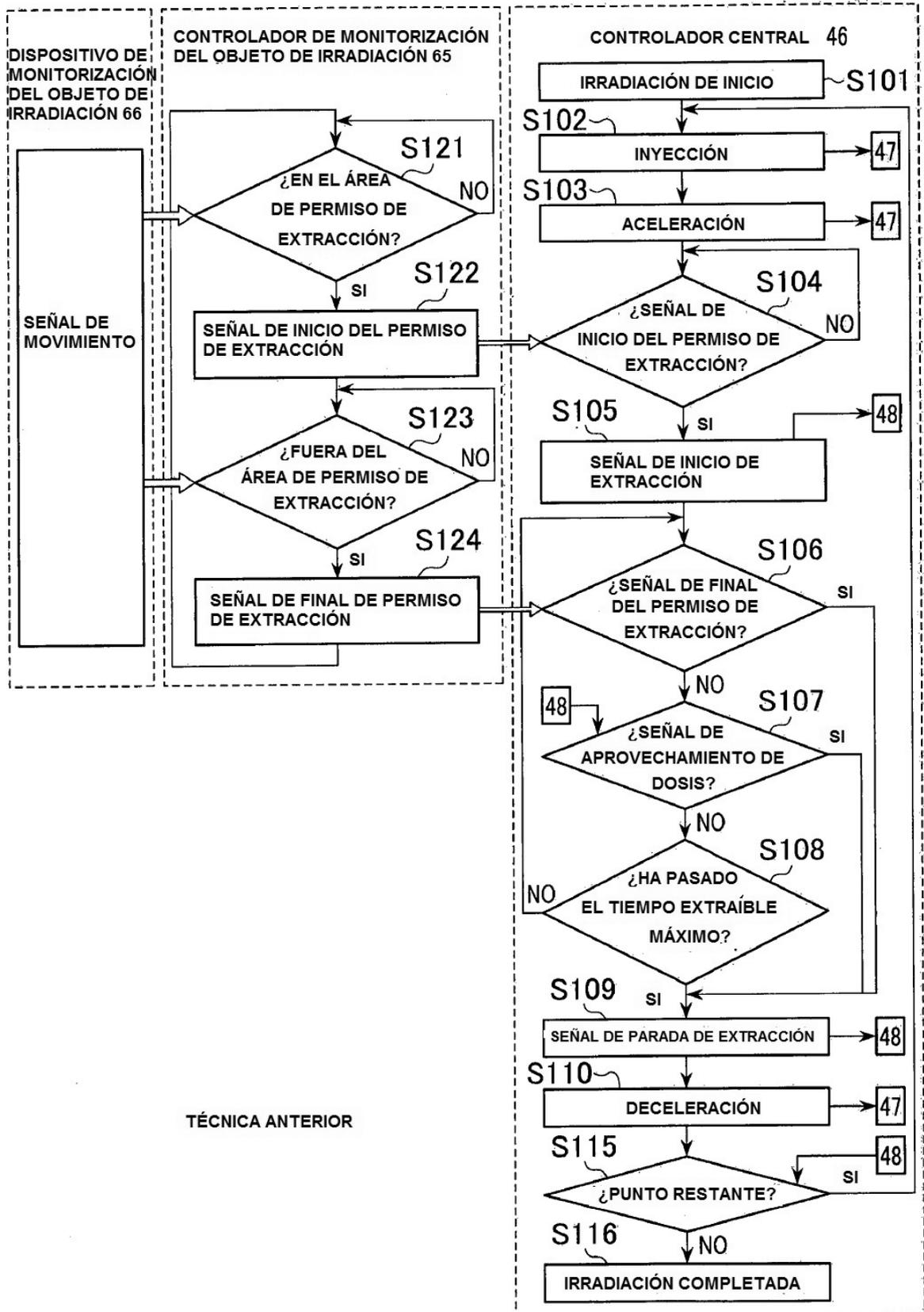
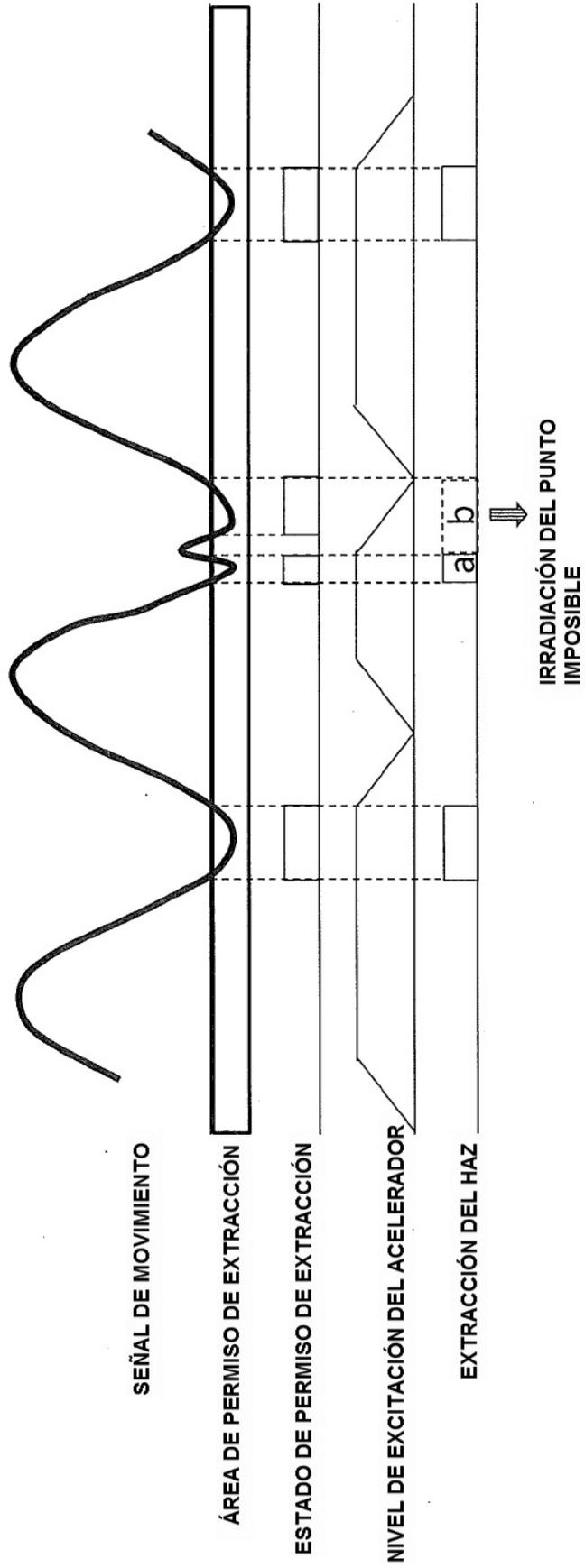


FIG. 10



TÉCNICA ANTERIOR

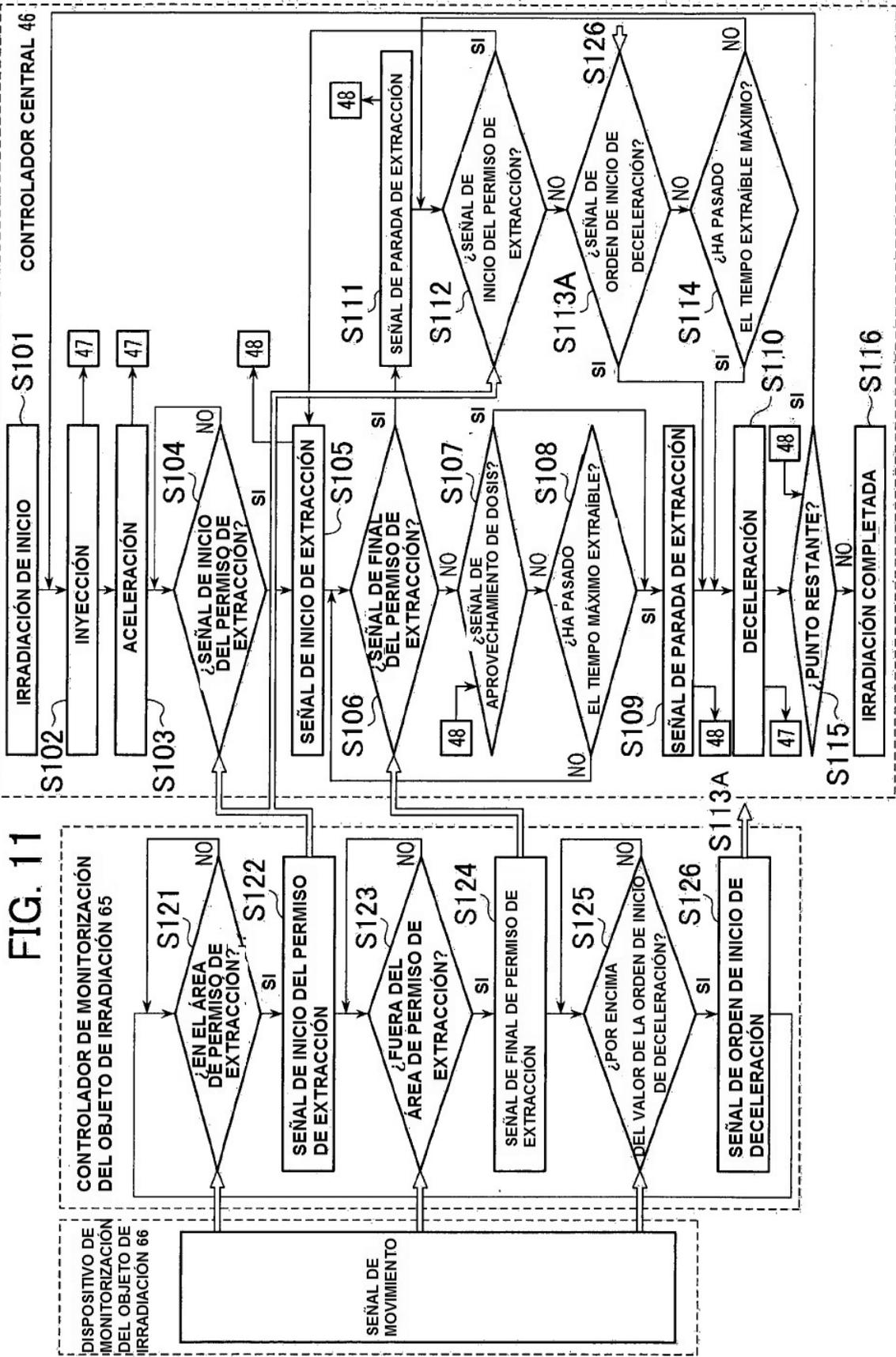


FIG. 12

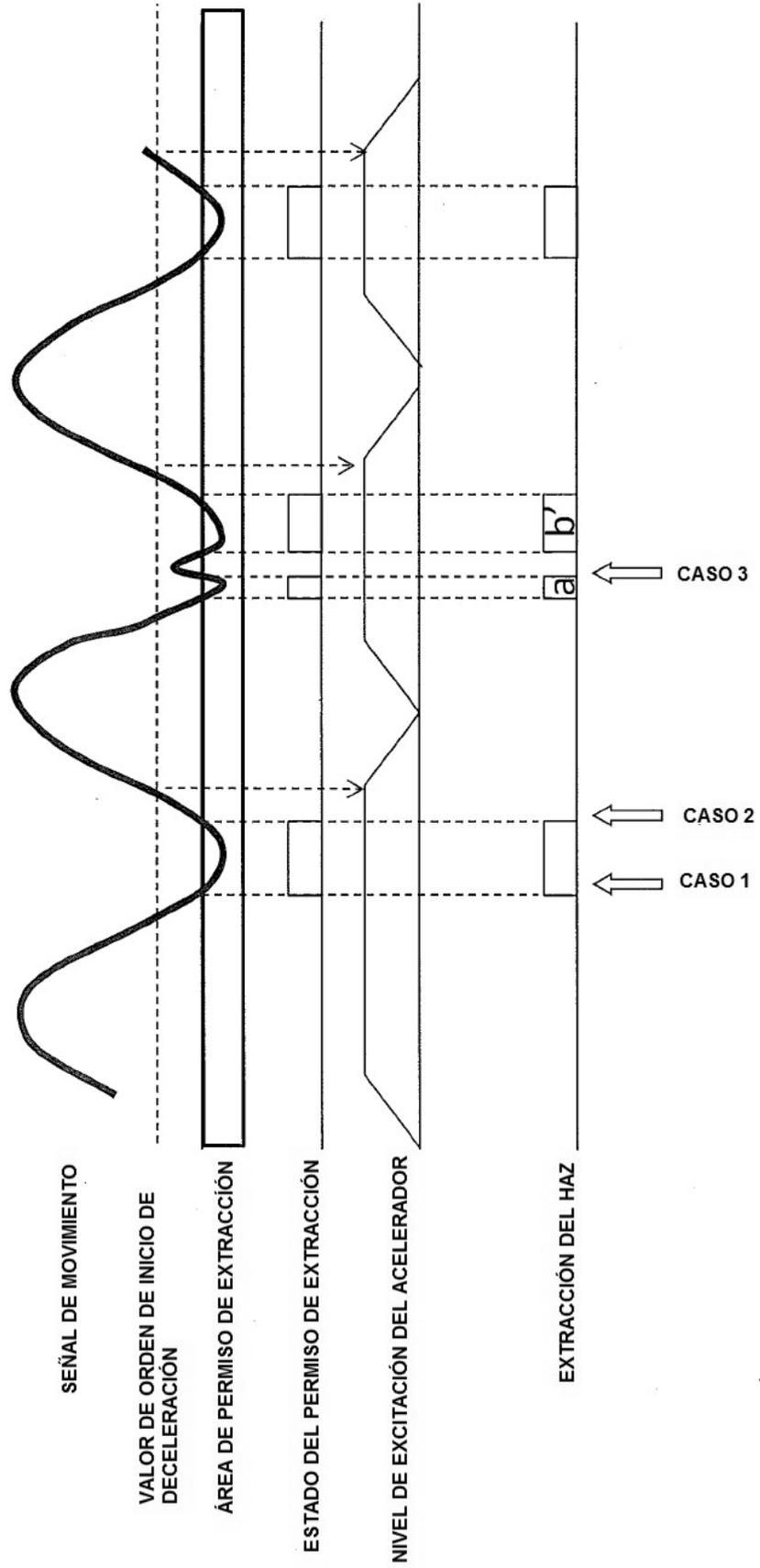


FIG. 13

