



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 842**

51 Int. Cl.:
A61N 5/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05775000 .2**

96 Fecha de presentación : **21.07.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1796792**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.06.2007**

54 Título: **Difusor de partículas programable para la formación de haces de radioterapia.**

30 Prioridad: **21.07.2004 US 590088 P**
24.09.2004 US 949734

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.04.2011

73 Titular/es: **STILL RIVER SYSTEMS, Inc.**
300 Foster Street
Littleton, Massachusetts 01772, US

72 Inventor/es: **Sliski, Alan y**
Gall, Kenneth

74 Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

ES 2 356 842 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

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

5 Las partículas cargadas se han utilizado en el campo de la radioterapia para el cáncer durante más de 50 años. Con el fin de crear una distribución de dosis clínicamente útil que se ajuste a la forma del volumen diana en el paciente, se interpone una serie de materiales de conformación y modulación del haz entre el acelerador de partículas y el paciente. Los haces de protones tienen una importante ventaja clínica respecto de los haces de rayos X de alta energía convencionales que experimentan una atenuación exponencial en los tejidos. Las características físicas de la deposición de energía son ventajosas y diferentes para los protones en comparación con las de los rayos X de alta energía (fotones).

10 Un haz de protones libera una pequeña dosis de entrada y, a continuación, libera una dosis grande cuando los protones se detienen en el tejido. Esta gran deposición de dosis al final del alcance de penetración tisular de los protones se denomina "pico de Bragg", en honor al físico que descubrió el efecto. La figura 1 representa el pico de Bragg de un haz no modulado, así como un pico de Bragg extendido y la serie de picos de Bragg individuales que se suman para generar el pico de Bragg extendido.

15 El haz emitido por el acelerador de partículas se conforma insertando dispositivos y materiales en el haz. Uno de los objetivos de la conformación del haz es la administración de una dosis de radiación uniforme por todo el volumen de una diana, tal como un tumor en el cuerpo del paciente. El alcance (es decir, la profundidad de penetración del haz en el tejido) debe modularse para garantizar que se administre una dosis de radiación uniforme u otro tipo de dosis predeterminada entre las superficies proximal y distal de la diana. (En la presente memoria, los términos "proximal" y "distal" se utilizan con respecto a la trayectoria del haz. El término "proximal" se refiere específicamente a la zona de entrada del haz en la diana.) Además, el haz debe ser un haz extendido lateralmente con el fin de tratar tumores de gran tamaño. (En la presente memoria, el término "lateral" se refiere a cualquier dirección sustancialmente perpendicular a la trayectoria del haz.) El haz se manipula y conforma mediante una serie de difusores y aberturas.

25 En un sistema de conformación del haz, el haz se dirige primero hacia un primer difusor/modulador de alcance, que dispersa el haz de protones a través de un ángulo suficientemente ancho como para tratar una zona de terapia de 20 a 30 cm aproximadamente. Tras la difusión y la modulación del alcance por el primer difusor, el haz se dirige hacia un segundo difusor compensado. El propósito de este elemento es allanar la sección transversal del haz emitido por el primer difusor. Esto permite que el pico de Bragg sea plano y de intensidad uniforme a la distancia del isocentro. La figura 2 representa un segundo difusor compensado que consiste en unos materiales de alto Z (número atómico) y bajo Z con formas que permiten la concordancia entre las propiedades de difusión del material de alto Z y las propiedades de absorción del material de bajo Z para generar un haz ancho, uniforme y plano.

30 El tercer elemento del sistema de conformación del haz es un bolo de efecto concordante con el alcance deseado. Esto consiste comúnmente en un cilindro de plástico acrílico grueso en el que se ha labrado a máquina la forma inversa a la forma tridimensional de la superficie distal del volumen diana. Este elemento comprende también una función de corrección para el perfil de la superficie externa del paciente con respecto a la dirección del haz, y una función de corrección para las inhomogeneidades, tales como la presencia de hueso o aire en la trayectoria. La mayoría de los tejidos son sustancialmente equivalentes al agua, pero las correcciones para estos diferentes materiales pueden calcularse a partir del conjunto de datos de imagen TC. La estructura tridimensional resultante se coloca en la trayectoria del haz para asegurar que el pico de Bragg se ajuste a la superficie distal de la diana, obteniéndose una dosis mínima para las estructuras críticas situadas fuera del volumen diana.

35 El cuarto elemento del sistema de conformación del haz conforma el haz lateralmente para que coincida con la forma del volumen diana vista desde la dirección del origen del haz, mediante unas aberturas creadas especialmente para ese tratamiento. Habitualmente, esto se consigue mecanizando una abertura perfilada en un trozo grueso de latón u otro material de alto Z y situándola cerca del paciente. El haz está limitado en su dimensión lateral por este elemento y por lo tanto se ajusta a la forma del volumen diana.

40 A este respecto, se hace referencia al documento US nº 5.668.371, en el que se describe un aparato de terapia de protones, en el que se utiliza un variador de alcance, un modulador de intensidad y un modulador de alcance para ajustar el haz de protones aplicado al paciente. Los variadores de alcance de tipo aproximado utilizan una cuña de material de bajo Z para reducir la energía de los protones del haz de protones. Una vez ajustada la energía de los protones, el haz de protones se convierte en un haz en abanico antes de propagarse a través de un modulador de intensidad. Los álabes del modulador de intensidad atenúan los rayos del haz en abanico para generar un haz en abanico modulado que se aplicará al paciente. Como alternativa, las cuñas de material de alto Z se pueden utilizar para controlar el flujo de energía medio de los rayos individuales del haz en abanico. Un modulador de alcance reduce todavía más la energía de los protones con álabes de material de bajo Z antes de aplicar el haz en abanico modulado al paciente.

SUMARIO DE LA INVENCION

Puede interponerse un tramo de trayectoria programable de uno o más materiales difusores o absorbentes en un haz de partículas para modular el ángulo de difusión y el alcance del haz de una manera predeterminada. Un difusor/modulador del alcance del haz de partículas cargadas consiste en un material de alto Z que presenta una longitud de trayectoria ajustable en la trayectoria del haz de partículas, un material de bajo Z que presenta una longitud de trayectoria ajustable en la trayectoria del haz de partículas y un controlador programable que ajusta de forma independiente las longitudes de trayectoria de alto Z y bajo Z durante la exposición de la diana al haz. Los materiales de alto Z y bajo Z son líquidos. La longitud de la trayectoria del material de bajo Z y, de forma independiente, la longitud de la trayectoria del material de alto Z pueden ajustarse continuamente.

El difusor/modulador del alcance del haz de partículas cargadas puede comprender un depósito de fluido que presenta unas paredes opuestas en la trayectoria del haz de partículas, un accionamiento para ajustar la distancia entre las paredes del depósito de fluido y un controlador programable para ajustar a través del accionamiento la distancia entre las paredes del depósito durante la exposición de la diana al haz. La distancia entre las paredes opuestas del depósito puede ajustarse continuamente. Se pueden disponer en serie un primer y segundo depósitos de fluido en la trayectoria del haz de partículas. El primer y segundo depósitos pueden contener de manera independiente materiales de alto y bajo Z. La distancia entre las paredes opuestas del primer depósito y, de manera independiente, la distancia entre las paredes opuestas del segundo depósito pueden ajustarse continuamente.

En los aparatos de tratamiento por radiación, puede emplearse una fuente de partículas cargadas que emite un haz de partículas cargadas y un difusor/modulador del alcance del haz de partículas cargadas. Puede utilizarse un monitor del haz para medir la intensidad del haz y comunicarla al controlador programable. El controlador programable puede ajustar las longitudes de trayectoria de bajo Z y, de forma independiente, las longitudes de trayectoria de alto Z conforme a una relación predeterminada entre la integral en el tiempo de la intensidad del haz y las longitudes de trayectoria deseadas de los materiales de bajo Z y alto Z. El controlador programable puede ajustar las longitudes de las trayectorias de bajo Z e, independientemente, las longitudes de las trayectorias de alto Z de forma continua y dinámica.

La fuente de partículas cargadas puede ser un ciclotrón. El ciclotrón puede ser un sincrociclotrón. Puede utilizarse cualquier tipo de partículas cargadas; por ejemplo las partículas cargadas pueden ser protones.

El material de alto Z y el material de bajo Z de un difusor/modulador de alcance del haz de partículas cargadas puede disponerse en un canal de extracción del sincrociclotrón. Cuando el difusor/modulador de alcance del haz de partículas cargadas comprende un depósito de fluido que presenta paredes opuestas en la trayectoria del haz de partículas, dicho depósito de fluido puede disponerse igualmente en un canal de extracción del sincrociclotrón.

Las formas de realización de la presente invención presentan una serie de ventajas. Cambiando de forma independiente y continua los grosores del material de alto Z y bajo Z, la trayectoria de la partícula puede variarse continuamente en el transcurso de un tratamiento. De este modo, se pueden generar de manera eficaz perfiles sustancialmente arbitrarios y exclusivamente variables de picos de Bragg extendidos, y por consiguiente aplicar a la diana tanto una dosis conformada como una dosis no uniforme de radiación. El primer difusor/modulador de alcance de la presente invención relaciona la deposición de dosis por el haz con el volumen de tratamiento en tres dimensiones, dando por resultado una distribución de dosis muy conformada. Esto permite obtener el mejor resultado clínico para el paciente. La tasa de control local del tratamiento del cáncer se incrementa cuando se incrementa la dosis administrada al tumor, mientras que la tasa de complicaciones (causada por la administración de una dosis innecesaria a las estructuras críticas) se incrementa con la dosis administrada al tejido circundante normal. Utilizando un haz de protones conformado con precisión, la proporción entre la dosis del volumen de tratamiento y la dosis administrada al tejido circundante se incrementa considerablemente respecto a los tratamientos administrados con haces de fotones (rayos X).

La utilización, en algunas formas de realización, del sincrociclotrón como fuente de partículas cargadas permite a la presente invención evitar la dependencia con un haz de energía variable. Además, el funcionamiento del dispositivo de la presente invención puede controlarse mediante un procesador programable de una manera continuamente variable, ajustando los tiempos del movimiento de los materiales de alto Z y bajo Z para generar un pico de Bragg extendido y no uniforme predeterminado.

Además de los escenarios clínicos habituales, existe por lo menos un caso especial de difusión y modulación del alcance en el que se requiere un haz pequeño de alta intensidad, como sucede en el tratamiento de tumores oculares o la degeneración macular. Estos casos especiales tienen una escasa profundidad de penetración, un tamaño de campo muy pequeño y requieren un tiempo de tratamiento reducido al mínimo. En este caso no se emplea el segundo difusor compensado, puesto que el tamaño de campo es muy pequeño. El primer difusor/modulador de alcance de la presente invención resulta particularmente ventajoso para este caso especial de aplicación.

La presente invención utiliza los principios físicos subyacentes empleados en el pasado y los combina con

la tecnología moderna de sistemas de control y una nueva geometría para crear un nuevo aparato de difusión y modulación del alcance del haz que puede ofrecer, mediante programación, no sólo el mismo rendimiento que los componentes del difusor/modulador fijo, sino también perfiles variables exclusivos modulados en el tiempo para generar distribuciones de dosis que pueden estar más conformadas al volumen diana. La capacidad de variar de forma continua e independiente las longitudes de la trayectoria del haz a través de los materiales de “alto Z” y “bajo Z” evita el problema de tener que planificar y administrar una dosis de tratamiento de radiación en un número finito de picos de Bragg extendidos fijos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Los anteriores y otros objetivos, características y ventajas de la presente invención se pondrán de manifiesto a partir de la siguiente descripción, más particular, de las formas de realización preferidas de la presente invención, ilustradas en los dibujos adjuntos en los que se utilizan caracteres de referencia similares para identificar las mismas partes de las diferentes vistas. Los dibujos no están necesariamente a escala, puesto que se pretende dar énfasis a la ilustración de los principios de la presente invención.

La figura 1A es un gráfico representativo que muestra la dosis de radiación depositada, administrada por un haz de protones, en función de la profundidad de penetración. El pico en la parte distal del alcance de penetración es el pico de Bragg.

La figura 1B es un gráfico que representa el pico de Bragg “extendido” deseado para la administración de una dosis de radiación conformada.

La figura 1C es un gráfico que representa el resultado de la superposición de varios picos de Bragg producida por haces de protones con un alcance de penetración modulado.

La figura 2 representa la sección transversal de un segundo difusor compensado que consiste en materiales de alto Z y bajo Z de formas concordantes con las propiedades de difusión y absorción de los materiales.

La figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema de tratamiento por radiación en el que se emplean dispositivos y procedimientos según la presente invención.

La figura 4A es una vista lateral (parcialmente en sección) de la forma de realización preferida de un difusor/modulador de alcance de partículas cargadas según la presente invención.

La figura 4B es una vista terminal del dispositivo de la figura 4A.

La figura 5A es una vista lateral (parcialmente en sección) de una variante de la forma de realización preferida de un difusor/modulador de alcance de partículas cargadas según la presente invención.

La figura 5B es una vista terminal del dispositivo de la figura 6A.

La figura 6 es una vista en planta que representa el posicionamiento ventajoso de la forma de realización representada en la figura 5A cuando se combina con un acelerador de partículas.

La figura 7 es un diagrama de bloques que ilustra el bucle de control de retroalimentación empleado por la forma de realización preferida de un procedimiento según la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Aunque la presente invención es aplicable a todos los haces de partículas cargadas, la descripción se centrará en los haces de protones para radioterapia a título de ejemplo ilustrativo y ventajoso.

Como se ha indicado anteriormente, el haz de protones emitido por un acelerador de partículas se conforma y se modula mediante una serie de dispositivos y materiales interpuestos en la trayectoria del haz.

Una forma de realización de la presente invención consiste en un difusor/modulador de alcance de partículas cargadas que, en algunas formas de realización, se puede utilizar en realizaciones comunes de los sistemas de radioterapia de haz de protones como un primer difusor. La figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema de terapia de protones 100 que comprende las formas de realización de la presente invención, simplificado con el fin de ilustrar los elementos del sistema correspondientes a la presente invención. Se han omitido otros subsistemas tales como el sistema de control de RF del acelerador de partículas, vacío, fuentes de alimentación, etc. para mayor claridad.

La entrada 102 del sistema 100 es, por lo general, el tamaño y la localización del volumen diana que se va a tratar y el contorno externo del paciente. El sistema de planificación del tratamiento 104 utiliza los parámetros del volumen diana 102 para prescribir una distribución de dosis tridimensional con el fin de administrar de forma conformada la dosis al volumen diana. La salida del sistema de planificación del tratamiento 104 se transmite al controlador del sistema de terapia de protones 106, que genera una serie de parámetros utilizados por diferentes subsistemas para implementar el tratamiento. Estos parámetros comprenden la dimensión distal del pico de Bragg y

la profundidad del pico de Bragg extendido 108 y los cálculos 110 de las longitudes de las trayectorias de alto Z y bajo Z en función de la dosis íntegra, que se basan en los parámetros 108. Los parámetros importantes para el subsistema que comprende el primer difusor/modulador de alcance programable 112 son la longitud de la trayectoria del material de alto Z y bajo Z que se va a interponer en el haz de protones en función de la dosis íntegra medida por el monitor del haz 114. Si se comprueba que la salida del acelerador 116 es constante a lo largo del tiempo, a continuación se puede programar la longitud de la trayectoria con respecto al tiempo. En esta forma de realización, la utilización de la información obtenida directamente a partir del monitor del haz 114 elimina la necesidad de que la salida del acelerador sea constante a lo largo del tiempo.

El sistema de control del primer difusor/modulador de alcance 118 convierte las longitudes de trayectoria, calculadas con las correcciones para la dosis íntegra medida, en mandatos de posición de alto Z y bajo Z 120 para los actuadores lineales 122 y 123, que varían las longitudes de trayectoria 124 y 125 de los materiales de alto Z y bajo Z, respectivamente. Se prefieren los materiales líquidos. En una forma de realización preferida, los actuadores lineales 122 y 123 son motores o codificadores lineales. Los codificadores miden la posición real, y los circuitos de servomecanismo del sistema (representados en mayor detalle con referencia a la figura 7) aseguran un estricto control y detección de las condiciones de error para garantizar la seguridad y prevenir errores de tratamiento realizando un control riguroso de las longitudes de trayectoria de bajo Z y alto Z.

El monitor del haz 114 supervisa el haz 126 generado por el acelerador de partículas 116, que en una forma de realización es un ciclotrón, y el primer difusor/modulador de alcance según la presente invención 112 modula dicho haz. Después de pasar a través del primer difusor 112, el haz 126 pasa a través del segundo difusor compensado 128, que puede ser como el representado en la figura 2.

Tras someterse a una expansión lateral continua y un acondicionamiento en el segundo difusor 128, el haz 126 se somete a una conformación adicional mediante un bolo de compensación de alcance 130 y, lateralmente, mediante una abertura de conformación final 132 antes de entrar en el volumen diana 134 del paciente 136.

Dos formas de realización alternativas del primer difusor/modulador de alcance 112 de la figura 3 son las constituidas por los dispositivos 200 y 200', representados en las figuras 4A y 4B y las figuras 5A y 5B.

Haciendo referencia a las figuras 4A y 5A, los dispositivos 200 y 200' comprenden dos sistemas sellados: el sistema 202, lleno de un fluido de bajo Z, tal como el agua, y el sistema 204, lleno de un fluido de alto Z, tal como el mercurio en estado líquido. Los fluidos también pueden contener otros elementos en disolución, tales como el boro en el fluido de bajo Z que puede actuar como blindaje para los neutrones generados en la sección de alto Z. El haz de protones (no representado) se desplaza a lo largo del eje 208 de izquierda a derecha. Los dos sistemas 202 y 204 están dispuestos en serie. Puede situarse el sistema de alto Z 204 o bien el sistema de bajo Z 202 cerca de la fuente del haz de protones. En las formas de realización representadas en la presente memoria, el sistema de alto Z 204 está situado cerca de la salida del acelerador 116 (véase la figura 3 o la figura 6).

Para asegurar un sellado de fluido fiable durante un largo período de tiempo, los sistemas 202 y 204 comprenden unos fuelles metálicos soldados 212 y 214, respectivamente. Los fuelles de 212 y 214 funcionan como paredes laterales expansibles que, junto con las paredes opuestas 216 y 218 (sistema 202) y 220 y 222 (sistema 204), forman depósitos de fluido de volumen ajustable dispuestos en la trayectoria del haz de partículas. Haciendo referencia al dispositivo 200 representado en la figura 4A, dentro de cada depósito, están previstas unas extensiones tubulares entrantes 224 y 226. Haciendo referencia al dispositivo 200' representado en la figura 5A, las extensiones tubulares 224' y 226' son coaxiales, y la extensión tubular 226' está dispuesta dentro de la extensión tubular 224'. Haciendo referencia al dispositivo 200' representado en la figura 5A, las paredes opuestas 216 y 222 son superficies diferentes de la misma parte de extensión tubular 226'. La pared lateral 220 presenta la ventana de entrada 228. La pared lateral 218 presenta la ventana de salida 230. Las ventanas de entrada y salida 228 y 230 están fabricadas a partir de una lámina delgada resistente a la radiación de, por ejemplo, acero inoxidable o titanio. La lámina es lo suficientemente delgada como para no afectar sustancialmente al haz.

Haciendo referencia al dispositivo 200 representado en la figura 4A, está previsto un tabique delgado resistente a la radiación 232, fabricado en un material similar al de las ventanas 228 y 230, dispuesto a través de una abertura de la placa central 234. Haciendo referencia al dispositivo 200', representado en la figura 5A, se provee un tabique 232' dispuesto a través de una abertura de la parte de la extensión tubular 226' que delimita las paredes 216 y 222. El tabique 232 separa los dos fluidos de los sistemas 202 y 204. Es necesario realizar una pequeña corrección para el grosor del tabique 232 y las ventanas 228 y 230 cuando se lleva a cabo la modelización del sistema.

Haciendo referencia al dispositivo 200 representado en la figura 4A, durante el funcionamiento de los fuelles 212 y 214, las ventanas de entrada y salida 228 y 230 pueden entrar en contacto con el tabique divisorio 232. Asimismo, haciendo referencia al dispositivo 200' representado en la figura 5A, las ventanas de entrada y salida 228 y 230 pueden entrar en contacto con el tabique divisorio 232'. Esto permite elegir un valor prácticamente igual a cero para la longitud de la trayectoria de alto Z o, de forma independiente, la longitud de la trayectoria de bajo Z. Se deja un margen para la compresión adicional de los fuelles 212 y 214 con el propósito de permitir que las ventanas de entrada y salida 228 y 230 entren en contacto con el tabique divisorio 232 o 232' antes de que los fuelles 212 y 214 se compriman totalmente.

Un carril para rodamientos lineales 240 restringe el movimiento de los fuelles 212 y 214 y las extensiones 226, 226', 224 y 224' para que sea sustancialmente colineal con el eje del haz de partículas 208.

Se utiliza un par de motores/codificadores lineales, tales como los actuadores 122 y 124 representados en la figura 3, para cambiar las longitudes de las trayectorias de bajo Z y alto Z. Haciendo referencia a las figuras 4A y 5A, los motores/codificadores lineales comprenden unos estatores 242 y 244, sustancialmente paralelos al eje del haz 208, y unos soportes para motores/codificadores 246 y 248 que se desplazan a lo largo de los estatores 242 y 244. Fijado al soporte del motor/codificador 246 y a los fuelles de bajo Z 212, se halla un soporte para rodamiento de bolas 250 que se desplaza a lo largo de un carril lineal 240 mediante unos rodamientos de bolas 252. Análogamente, fijado al soporte del motor/codificador 248 y a los fuelles de alto Z 214, se halla un soporte para rodamiento de bolas 254. El soporte para rodamiento de bolas 254 se desplaza a lo largo del carril lineal 240 mediante unos rodamientos de bolas 256. El movimiento de los soportes para los motores/codificadores 246 y 248 provoca la expansión o la contracción de los fuelles 212 y 214, y cambia las cantidades de fluidos de alto Z y bajo Z que ocupan los respectivos fuelles y, por lo tanto, las longitudes de las trayectorias de alto Z y bajo Z.

Los fluidos de los fuelles son sustancialmente incompresibles. Por consiguiente, esta forma de realización ofrece un conjunto de depósitos de expansión, contruidos también a partir de fuelles metálicos soldados. Haciendo referencia a las figuras 4B y 5B, los depósitos de expansión 270 y 272 son adyacentes a los fuelles 212 y 214. Los depósitos de expansión 270 y 272 están conectados por medio de unos conductos internos 274 de la placa central 234. Cuando se hace variar la longitud de la trayectoria de cualquiera de los fluidos por medio del sistema de control 118, el fluido desplazado ocupa el depósito de expansión correspondiente. Los fuelles impulsados 212 y 214 y los depósitos de expansión 270 y 272 comprenden un sistema sellado sin sellos deslizantes ni de desgaste que tienden a deteriorarse y a sufrir fugas con el tiempo y cuando están cerca de radiación difusa. La fiabilidad de los sistemas sellados se puede predecir a partir de las propiedades de fatiga de los materiales elegidos para los fuelles y, de hecho, puede llegar a ser infinita si la tensión de trabajo no supera el límite de resistencia del material. Esto es importante cuando se utiliza un material tal como el mercurio en un entorno hospitalario.

Haciendo referencia a la figura 6, insertando las extensiones tubulares 224' y 226' del dispositivo 200' representado en la figura 5A, los fluidos de difusión pueden situarse más cerca de lo que sería posible con el dispositivo 200 de una fuente de haz de partículas, tal como el acelerador 116. Como se representa en la figura 6, las extensiones tubulares 224' y 226' pueden insertarse en el canal de extracción 701, obteniéndose de ese modo un sistema más compacto en su conjunto. Cabe señalar que las extensiones tubulares 224' y 226' están dotadas preferentemente de blindaje magnético. Los principios de funcionamiento y la función de los elementos individuales de la unidad son idénticos a los de la forma de realización representada en las figuras 4A y 4B.

Haciendo referencia nuevamente a la figura 3, el sistema de control 118 acciona los motores 122 y 123 y recibe señales de los soportes de motor/codificador (246 y 248 en las figuras 4A y 5A) para controlar con precisión la posición y la velocidad de las ventanas de entrada y salida 228 y 230 con respecto al tabique 232 (véase las figuras 4A y 5A). Esto se traduce en el control de la cantidad de material de alto Z y bajo Z en la trayectoria del haz de partículas y, por lo tanto, el control del ángulo de difusión y el alcance del haz de partículas de una manera predeterminada. Las longitudes de trayectoria del material de alto Z y bajo Z 124 y 125, y por consiguiente las posiciones de los soportes de motor/codificador (246 y 248 en las figuras 4A y 5A) están también en función de la dosis o radiación íntegra, medidas por el monitor del haz 114. En consecuencia, una forma de realización de la presente invención comprende un bucle de control de retroalimentación 300, tal como el representado en la figura 7.

Haciendo referencia a la figura 7, la dosis íntegra de radiación administrada se calcula en la etapa 302 basándose en las mediciones realizadas por el monitor del haz 114. Conforme a la dosis íntegra, el sistema de control del primer difusor/modulador de alcance 118 genera unos mandatos de posición de alto Z y bajo Z en las etapas 120a y 120b, respectivamente. Estos mandatos se transmiten a los actuadores/motores lineales (122 y 123 en la figura 3), que cambian las posiciones de los soportes de los motores/codificador de alto Z y bajo Z (246 y 248 en las figuras 4A y 5A). En las etapas 304a y 304b, los codificadores miden la posición real de los soportes y la transmiten al sistema de control del primer difusor/modulador del alcance 118. Por lo tanto, el bucle de control de retroalimentación 300 se utiliza, como respuesta a la intensidad del haz obtenida, para ajustar de forma continua, dinámica (es decir, en tiempo real) e independiente la distancia entre la ventana de entrada 228 y el tabique 232 en el sistema de alto Z 204 y el tabique 232 y la ventana de salida 230 en el sistema de bajo Z 202 (véase las figuras 4A y 5A). En consecuencia, las longitudes de trayectoria de bajo Z y alto Z se ajustan de manera continua, dinámica e independiente conforme a la intensidad del haz.

Aunque la presente invención se ha representado y descrito haciendo particular referencia a las formas de realización preferidas de la misma, los expertos en la materia tendrán en cuenta que es posible realizar diversos cambios en la forma y detalles de las mismas sin apartarse, por ello, del alcance de la presente invención definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Difusor y modulador del alcance (112) de un haz de partículas cargadas que comprende:

un material líquido de alto Z que presenta una longitud de trayectoria ajustable (125) en la trayectoria del haz de partículas;

un material líquido de bajo Z que presenta una longitud de trayectoria ajustable (124) en la trayectoria del haz de partículas, y

un controlador programable (118) que ajusta independientemente las longitudes de las trayectorias del líquido de alto Z y el líquido de bajo Z (125 y 124) durante la exposición de una diana (134) al haz.

2. Difusor y modulador (112) según la reivindicación 1, caracterizado además porque la longitud de trayectoria (124) del material de bajo Z y, de forma independiente, la longitud de trayectoria (125) del material de alto Z pueden ajustarse continuamente.

3. Difusor y modulador (112) según la reivindicación 1, en el que las partículas cargadas son protones.

4. Aparato de tratamiento por radiación (100), que comprende:

una fuente (116) de partículas cargadas que emite un haz de partículas cargadas (126), y

el difusor y modulador de alcance (112) según la reivindicación 1.

5. Aparato (100) según la reivindicación 4, en el que la fuente (116) es un ciclotrón o un sincrociclotrón.

6. Aparato (100) según la reivindicación 5, caracterizado además porque presenta un monitor del haz (114) para medir la intensidad del haz de partículas, comunicando el monitor del haz la intensidad del haz al controlador programable (118), y ajustando el controlador programable (118) la longitud de trayectoria de bajo Z e, independientemente, la longitud de trayectoria de alto Z (124 y 125) conforme a la intensidad íntegra del haz.

7. Aparato (100) según la reivindicación 4, caracterizado además porque presenta:

un depósito de fluido (204) para contener el material líquido de alto Z, presentando el depósito de fluido (204) unas paredes opuestas (222 y 220) en la trayectoria del haz de partículas (208);

un accionamiento (242) para ajustar la distancia entre las paredes (222 y 220) del depósito de fluido (204); y

en el que el controlador programable (118) controla el accionamiento (242) para ajustar la distancia entre las paredes (222 y 220) del depósito (204) durante la exposición de una diana (134) al haz (126).

8. Aparato (100) según la reivindicación 7, caracterizado además porque presenta un segundo depósito de fluido (202) para contener el material líquido de bajo Z, en el que el primer depósito de fluido (204) y el segundo depósito de fluido (202) están dispuestos en serie en la trayectoria del haz de partículas (208).

9. Aparato (100) según la reivindicación 8, en el que la distancia entre las paredes opuestas (222 y 220) del primer depósito (204) y, de manera independiente, la distancia entre las paredes opuestas (218 y 216) del segundo depósito (202) pueden ajustarse continuamente.

10. Aparato (100) según la reivindicación 9, en el que las partículas cargadas son protones.

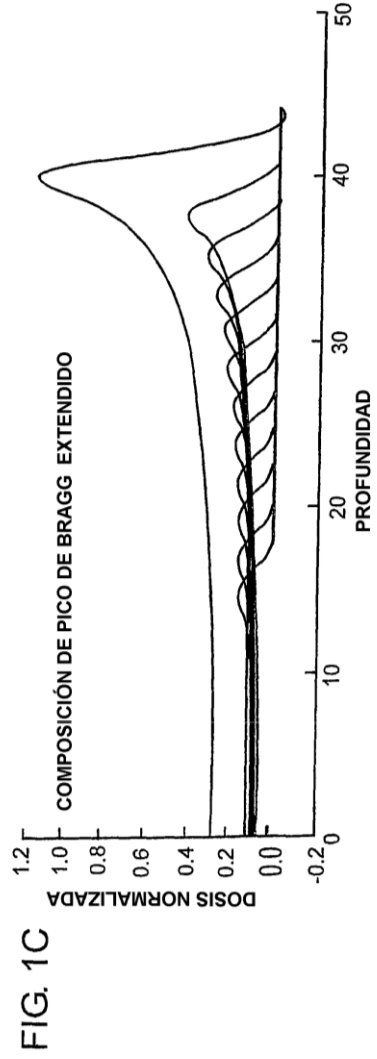
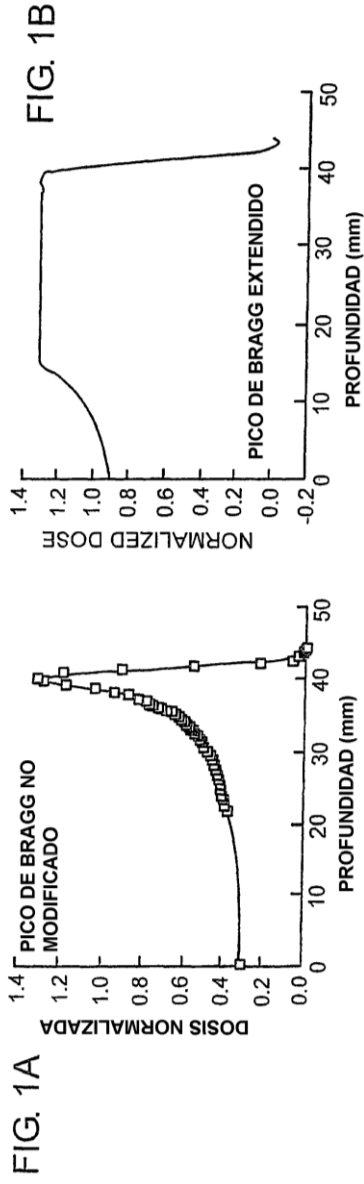
11. Aparato (100) según la reivindicación 10, que comprende además una fuente (116) de partículas cargadas que emite una partícula cargada.

12. Aparato (100) según la reivindicación 11, en el que la fuente (116) es un ciclotrón o un sincrociclotrón.

13. Aparato (100) según la reivindicación 12, que comprende además

un monitor del haz (114) para medir la intensidad del haz de partículas,

ajustando el controlador programable (118) la distancia entre las paredes opuestas (220 y 222) del primer depósito (204) y, de manera independiente, la distancia entre las paredes opuestas (216 y 218) del segundo depósito (202) conforme a la intensidad del haz.



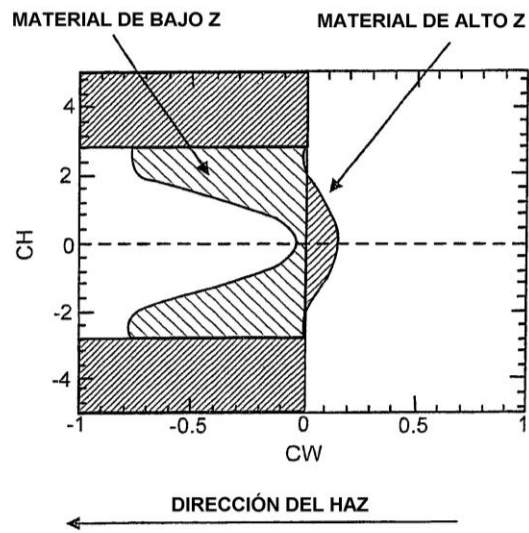


FIG. 2

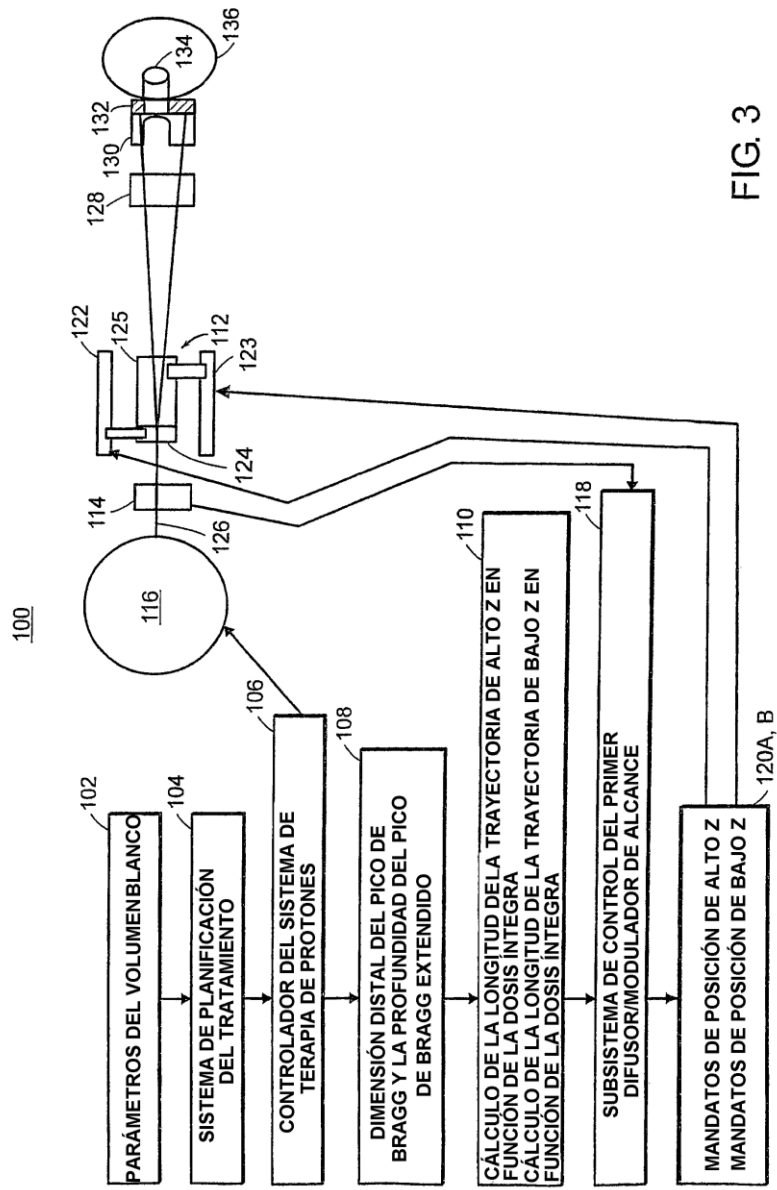


FIG. 3

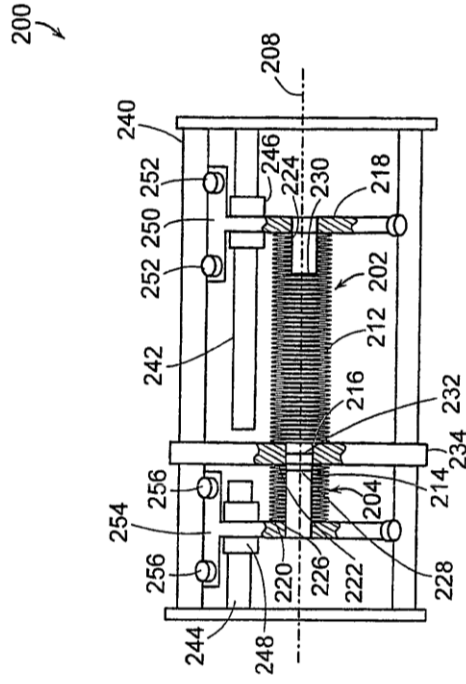


FIG. 4A

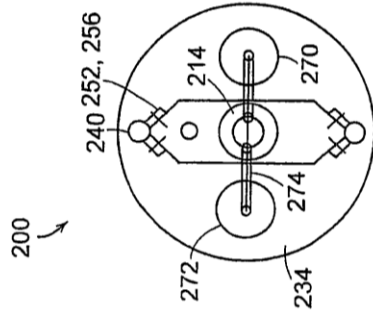
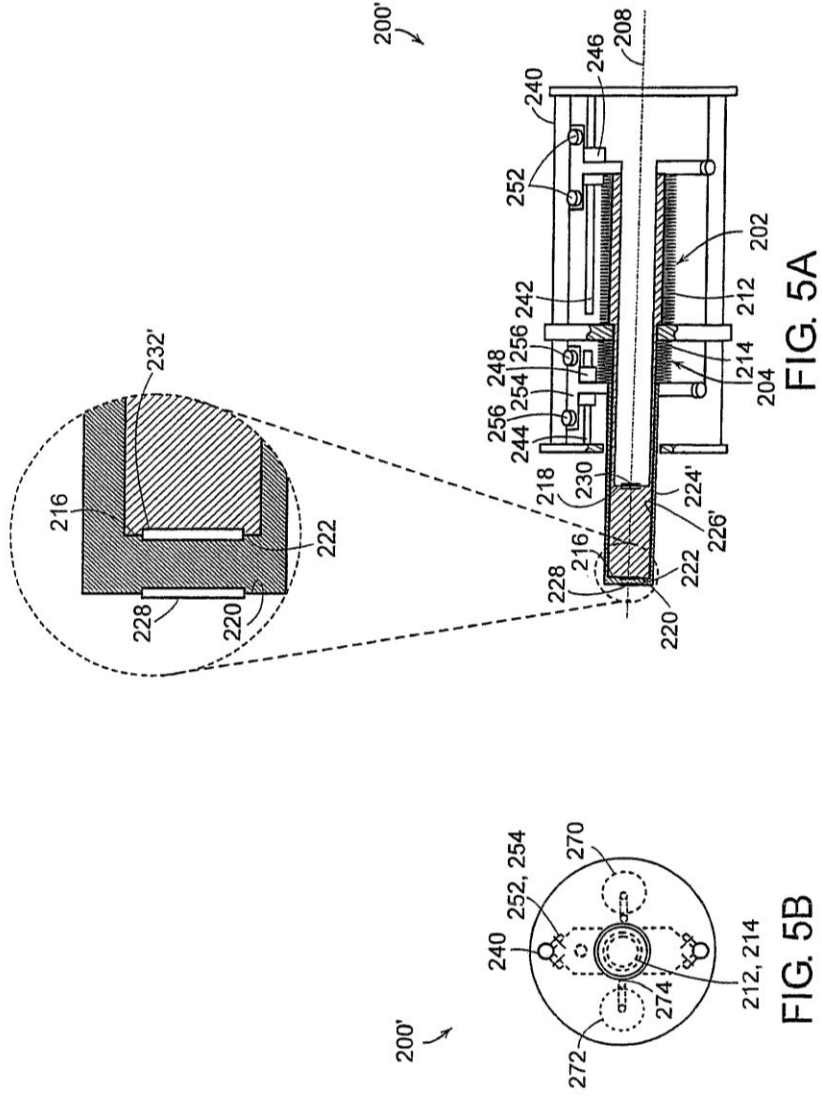


FIG. 4B



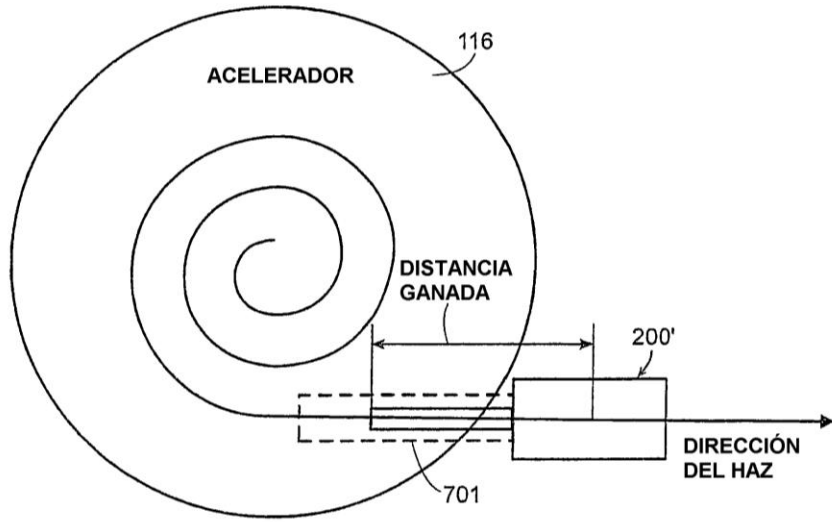


FIG. 6

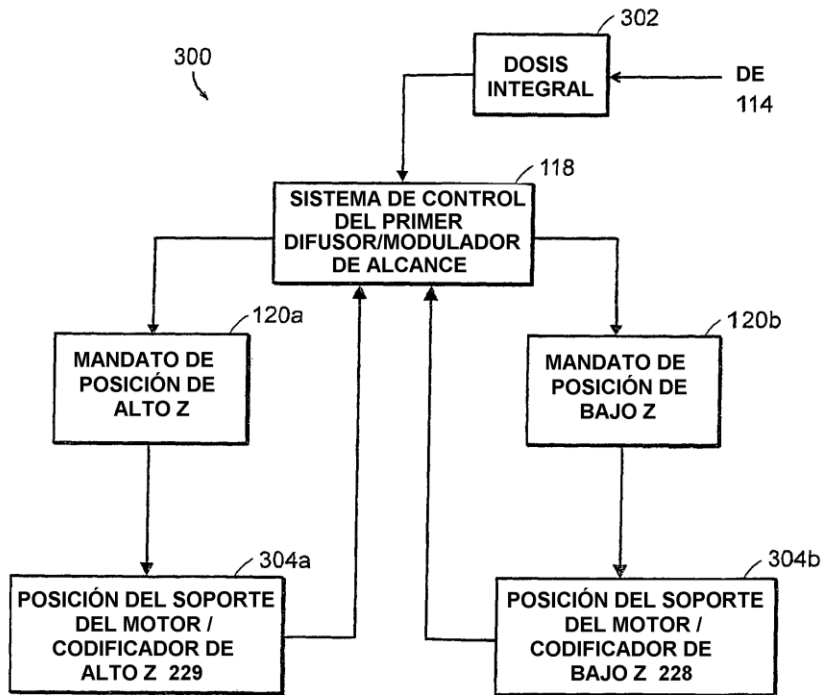


FIG. 7