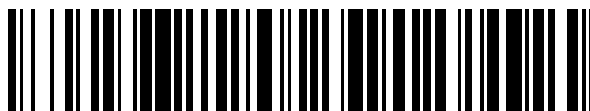


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 787 301**

51 Int. Cl.:

**H01J 27/02** (2006.01)

**H01J 37/05** (2006.01)

**G21K 1/02** (2006.01)

**H05H 7/04** (2006.01)

**H05H 7/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.03.2017 PCT/FR2017/050510**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.09.2017 WO17153680**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.03.2017 E 17713353 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2020 EP 3427285**

54 Título: **Dispositivo para modular la intensidad de un haz de partículas cargadas, método para desviar un haz de partículas cargadas desde el eje de emisión con dicho dispositivo y sistema que incluye este dispositivo**

30 Prioridad:

**08.03.2016 FR 1651912**

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

**15.10.2020**

73 Titular/es:

**PANTECHNIK (50.0%)  
13 rue de la Résistance  
14400 Bayeux , FR y  
A.D.A.M. SA (50.0%)**

72 Inventor/es:

**SALOU, PIERRE y  
FINK, DANIEL**

74 Agente/Representante:

**SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio**

ES 2 787 301 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

Dispositivo para modular la intensidad de un haz de partículas cargadas, método para desviar un haz de partículas cargadas desde el eje de emisión con dicho dispositivo y sistema que incluye este dispositivo

5

Campo técnico de la invención

La invención se refiere al campo técnico de los instrumentos que producen haces de partículas cargadas en un intervalo de energía de 1 eV/carga a varios  $10^{12}$  eV/q.

10

Los instrumentos de este tipo encuentran aplicaciones en muchos campos en dependencia de la carga, la masa y la energía cinética de las partículas aceleradas:

15

- equipos para aceleradores de partículas
- implantación de iones (tratamiento de superficie, etc.)
- médico (terapia con hadrones, producción de radioisótopos, nanofármacos ...)
- deposición al vacío
- micrograbado
- propulsión de iones para naves espaciales
- espectrómetro de masas por aceleración para análisis de muestras
- fechado

20

La invención se refiere más particularmente a la modulación de intensidad (o corriente o flujo de partículas) del haz de partículas cargadas producido con el fin de modular el impacto en la muestra objetivo y poder variar los posibles usos de un mismo instrumento.

25

Estado de la técnica y sus desventajas

Los haces de partículas cargadas pueden modularse actualmente por la corriente de varias maneras, en particular mediante:

30

- variación de la intensidad de la fuente de partículas cargadas
- colimación del haz con piezas mecánicas removibles (por ejemplo, sistema de hendiduras, iris)
- pulsación del haz con diferentes ciclos de trabajo.

35

Sin embargo, las diversas técnicas presentadas anteriormente plantean numerosos problemas técnicos: por ejemplo, el uso de haces pulsados no es apropiado en todas las aplicaciones de haces de partículas cargadas.

El ajuste de la intensidad de la fuente de partículas cargadas y el uso de colimadores mecánicamente removibles no cumplen con las restricciones de reactividad necesarias para ciertas aplicaciones.

40

En el ejemplo del documento US 8 896 238, es posible modular la corriente de un haz de una fuente de iones que genera un haz de iones curvo dentro de un acelerador particular tal como un ciclotrón. La modulación de intensidad de este haz se realiza mediante el uso de un electrodo Dee conectado a un generador de potencia de alta frecuencia que aplica al electrodo Dee una alta tensión alterna de una amplitud que puede modularse por un regulador. Los iones se aceleran entre el electrodo Dee y un contraelectrodo conectado a tierra a través de un espacio, y mediante la aplicación de tensiones de diferentes amplitudes en el electrodo Dee definen las trayectorias circulares de diferentes rayos. Una pantalla completa dispuesta a una distancia del contraelectrodo delimita con este último un espacio de paso para los iones que tienen una trayectoria de curvatura que excede un valor crítico, y define un obstáculo para los iones cuya trayectoria está por debajo de este valor crítico. La modulación de la amplitud de la tensión aplicada al electrodo Dee que modifica las diferentes trayectorias de los iones, combinada con la presencia de la pantalla, permite modular el número de iones y, por lo tanto, la corriente emitida finalmente por la fuente.

45

50

Sin embargo, este dispositivo es específico para partículas cargadas con trayectorias curvas emitidas por una fuente de ciclotrón y no puede transponerse a un dispositivo que emite un haz lineal de partículas cargadas.

55

El documento US 3 286 123 de hecho se refiere a un aparato para emitir un haz lineal de partículas. En este dispositivo, debido al efecto de un electrodo perforado, un sistema de desviación y múltiples lentes distribuidos a lo largo del eje de su emisión, y la presencia de un deflector, el haz de partículas cargadas se desvía de su trayectoria inicial de acuerdo con perfiles variables que dependen de la posición y la distancia focal de las lentes, y algunas pueden recogerse por un colector colocado perpendicular al eje de emisión de las partículas. Sin embargo, las aplicaciones de este dispositivo no son compatibles con las especificadas por la invención: el haz de partículas cargadas se desvía definitivamente de su eje inicial y no se puede recuperar en una localización fija dada.

60

Se conocen otros dispositivos que generan haces lineales de partículas cargadas y se proporcionan con medios de modulación, pero esta modulación se realiza con la energía de este haz y no con la corriente (la cantidad) de partículas:

65

- El documento EP 2592642 se refiere a un dispositivo para la emisión de un haz de partículas cargadas que comprende una sucesión de elementos octopolares (302, 304, 306, 308) capaces de ser el asiento de excitaciones dipolares, cuadrilobulares y hexapolares, los dos primeros elementos permiten una dispersión en altura y en energía del haz, los dos elementos centrales se separan por un colimador proporcionado con un orificio en forma de hendidura que permite que una parte de las partículas de una energía dada pase e intercepte a las demás. Este dispositivo permite modular la energía del haz de partículas cargadas, pero no la intensidad del haz de salida, que permanece sustancialmente igual,
- además, el documento US 8039822 se refiere a un aparato de terapia con partículas que comprende un acelerador para generar un haz de partículas cargadas, un modulador de energía pasiva que comprende un elemento absorbente y una entidad de control. La entidad de control se diseña para cambiar entre un ajuste activo de la energía en el acelerador y una modulación de energía pasiva por el modulador de energía con el fin de cambiar la energía del haz de partículas cargadas de un nivel de gran energía a un nivel de baja energía de manera gradual. En particular, esto tiene el efecto de acortar los tiempos muertos al cambiar entre los niveles de energía, pero aún no ofrece la posibilidad de modular la intensidad del haz de salida.

El documento US 9 224 569 describe una fuente de iones de alto brillo con una cámara de gas que incluye múltiples canales, cada uno que tiene un gas diferente. Un haz de electrones se pasa selectivamente por medio de placas de desviación a través de uno de los canales para suministrar iones de una determinada especie para procesar una muestra. Las especies de iones proporcionadas pueden modificarse fácilmente al dirigir los electrones a través de otros canales que contienen una especie de gas diferente para procesar una muestra con iones de otra especie. Si bien la naturaleza de los iones generados se modifica fácil y rápidamente, la cantidad de especies iónicas se reduce a la cantidad de canales de la cámara de gas, y las posibles intensidades diferentes de los haces de diferentes iones posibles también se reducen a la cantidad de canales de cámara. Este sistema no permite una modificación continua de la intensidad del haz suministrado.

El documento US 2009/0050819 A1 describe un dispositivo compacto de selección de partículas y colimación para suministrar haces de protones con los espectros de energía deseados.

Por lo tanto, todavía no se ha encontrado una solución satisfactoria para modular en intensidad y continuamente el haz de partículas cargadas emitido por una fuente que acciona un acelerador lineal.

#### Descripción de la invención

La invención tiene como objetivo resolver este problema al proponer un dispositivo para modular la intensidad de un haz de partículas cargadas de acuerdo con la reivindicación 1.

Además, el dispositivo de acuerdo con la invención puede tener una y/o la otra de las siguientes características:

- cada uno de dichos sistemas de desviación es del tipo eléctrico o del tipo magnético;
- cuando los sistemas de desviación son del tipo eléctrico, cada sistema está compuesto por dos placas paralelas sometidas a un potencial eléctrico y dispuestas respectivamente a cada lado del eje de emisión A0;
- cuando los sistemas de desviación son del tipo magnético, cada uno de dichos sistemas de desviación está compuesto por un dipolo magnético;
- la hendidura de un colimador tiene una forma general de V con bordes opuestos rectilíneos o curvos redondeados hacia la parte restante del colimador o hacia el espacio vacío delimitado por estos bordes;
- cada colimador se coloca a lo largo del eje de manera que su hendidura se disponga en un lado del eje de emisión A0 mientras se desplaza con respecto a este eje A0 por una distancia d,
- o cada colimador se coloca a lo largo del eje de manera que su hendidura se disponga en el eje de emisión A0;
- cuando el dispositivo comprende 8 sistemas de desviación, cuatro de estos sistemas se disponen opuestos al eje de emisión para desviar el haz emitido en una primera dirección, y otros cuatro de estos sistemas se disponen opuestos al eje de emisión para desviar el haz emitido en una segunda dirección perpendicular a la primera.

La invención se refiere a un método para desviar desde su eje de emisión un haz de partículas cargadas emitido a lo largo de un eje A0, mediante el uso del dispositivo anterior, que comprende para los 4N sistemas de desviación sucesivos una etapa de aplicación:

- por el primer sistema de desviación, de una primera fuerza de desviación del haz en una dirección dada y en una primera dirección,
- por el segundo sistema de desviación, de una segunda fuerza de desviación mayor que la primera en la misma dirección y en dirección opuesta a la primera,
- por el tercer sistema de desviación del haz, de la segunda fuerza de desviación del haz en la misma dirección y en la primera dirección de desviación,
- por el cuarto sistema de desviación, de la primera fuerza de desviación de acuerdo con la misma dirección y en dirección opuesta a la primera.

Idealmente, los sistemas de desviación son del tipo eléctrico y cada uno comprende dos placas paralelas al eje A0 y dispuestas a cada lado de este eje A0, los potenciales aplicados a las dos placas del mismo sistema que son simétricos o asimétricos.

5 De acuerdo con otra posible modalidad, cada sistema de desviación está compuesto por dos placas dispuestas a cada lado del eje (A0), dos o más placas de diferentes sistemas de desviación se conectan a tierra, la desviación obliga a que el haz de los sistemas de desviación de placas sea diferente, se aplican factores de corrección ( $U_{ib}$ ) a cada fuerza de desviación impuesta en un sistema de desviación, una de cuyas placas se conecta a tierra para corregir el ángulo de salida del haz.

10 De acuerdo con otra característica, se aplican fuerzas de desviación ajustables adicionales a uno o más sistemas de desviación para corregir el ángulo de salida del haz.

15 La invención también se refiere a un conjunto de emisiones para un haz de partículas cargadas de intensidad ajustable, que comprende sucesivamente a lo largo de un eje de emisión A0 del haz:

- una fuente de emisión de un haz de partículas cargadas centrado alrededor de un eje de emisión A0, preferentemente del tipo ECR,
- un sistema de extracción,
- 20 - una lente tipo Einzel,
- un colimador con un orificio central circular,
- el dispositivo para modular la intensidad del haz a la salida del primer colimador,
- un segundo colimador con un orificio central circular,
- un filtro de partículas en la salida del segundo colimador, que filtra por la velocidad

25 Presentación de las figuras

Otros datos, características y ventajas de la presente invención aparecerán al leer la siguiente descripción no limitada, con referencia a las figuras adjuntas que muestran, respectivamente:

- 30 - La Figura 1 muestra, en una vista en perspectiva, un conjunto de emisiones de un haz de partículas cargadas de intensidad ajustable proporcionado con un dispositivo de modulación de intensidad de acuerdo con la invención,
- La Figura 2 muestra una vista esquemática en sección longitudinal del dispositivo de modulación de la Figura 1, que muestra los colimadores con hendiduras en V de este dispositivo,
- 35 - La Figura 3 muestra cuatro vistas similares a las de la Figura 2 para diferentes tensiones aplicadas,
- La Figura 4 ilustra mediante un gráfico la evolución de la intensidad del haz I de partículas a la salida del dispositivo de modulación en comparación con la intensidad del haz en la entrada  $I_0$ , en función de la tensión  $U_2$  aplicada a los sistemas de desviación,
- La Figura 5 muestra el dispositivo de la Figura 2 que muestra las líneas potenciales aplicadas con potenciales simétricos (5(a)) y asimétricos (5(b)),
- 40 - La Figura 6 ilustra la emitancia de haces en el caso de potenciales simétricos (Figura 6(a)) y asimétricos (Figura 6(b)), la elipse que se muestra corresponde a la aceptación de una línea de haz particular y destaca el hecho de que es posible, mediante el uso de una asimetría de potenciales (mientras se mantiene una simetría de fuerzas), corregir las aberraciones ópticas del dispositivo para hacer que el haz sea compatible con el resto de una línea.

45 Descripción detallada de la modalidad ilustrativa

De acuerdo con la Figura 2, la invención se refiere a un dispositivo para modular la intensidad de un haz de partículas cargadas 1.

50 Este dispositivo se dispone aguas abajo de una fuente de partículas de tipo ECR, un sistema de extracción, una lente tipo Einzel y un colimador con un orificio central circular con un diámetro de 20 mm en el ejemplo ilustrado, y aguas arriba de un segundo colimador con un orificio central circular y posiblemente un filtro de velocidad de partículas de manera que se usen para diversas aplicaciones.

55 El conjunto con una fuente de partículas, sistema de extracción, lente y el primer colimador emite a la salida un haz de partículas cargadas de intensidad  $I_0$  a lo largo de un eje A0.

El dispositivo para modular la intensidad del haz de partículas cargadas de acuerdo con la invención comprende:

- 60 -  $4 \times N$  sistemas de desviación 2, con  $N = 1$  (o 2 de acuerdo con una variante no ilustrada), los sistemas de desviación 2 se colocan a lo largo del eje de emisión A0 de dicho haz de partículas,
- los medios 3 para aplicar una fuerza de desviación del haz para cada sistema de desviación 2 (solo uno de estos medios se muestra esquemáticamente),
- 65 - dos colimadores con hendidura en V 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub> colocados respectivamente entre el primer y el segundo sistema de desviación y entre el tercer y cuarto sistema de desviación, cada uno proporcionado con una hendidura 6<sub>1</sub>6<sub>2</sub> para el

paso del haz desviado de su eje de emisión, cada hendidura  $6_1, 6_2$  del colimador que tiene un aumento del ancho desde el centro del colimador hacia la periferia, la hendidura  $6_1$  del primer colimador  $4_1$  que se dispone en un lado del eje de emisión del haz A0, la hendidura  $6_2$  del segundo colimador  $4_1$  que se dispone en el otro lado del eje del haz A0, las aberturas de las hendiduras que se orientan en direcciones opuestas entre sí.

5 En el ejemplo ilustrado en las figuras, los sistemas de desviación del dispositivo de acuerdo con la invención son del tipo electrostático y cada uno consiste en dos placas paralelas 7 dispuestas a cada lado del eje de emisión del haz A0. Las placas de los diferentes sistemas son paralelas y equidistantes del eje A0. Se aplica una diferencia de potencial  $U_i$  entre las dos placas 7 del mismo sistema (ver en particular la Figura 3) que para el haz constituye una fuerza de desviación  $F$ , que se desvía de su trayectoria inicial A0 en un lado de este eje A0 a lo largo de la dirección X identificado en la Figura 3.

15 También se podrían usar sistemas de desviación de tipo magnético, lo que hace que la modulación sea aplicable para haces de gran potencia con la fuerza de desviación aplicada del tipo magnético; esta variante puede ilustrarse esquemáticamente con las mismas figuras que las utilizadas para los sistemas de desviación de tipo eléctrico.

20 En este primer ejemplo, las fuerzas de desviación aplicadas por el primer y cuarto sistema son iguales en valor absoluto ( $2U_1$ ) y las fuerzas aplicadas por el segundo y tercer sistema son iguales en valor absoluto ( $2U_2$ ) para que el haz regrese al eje A0 en la salida del dispositivo.

Además, las tensiones  $U_1$  y  $U_2$  de acuerdo con este primer ejemplo están en la siguiente relación:  $3U_1 = U_2$ .

- 1) Cuando el haz de partículas cargadas atraviesa el primer sistema de desviación  $2_1$ , se desvía en un lado del eje (lado positivo del eje X en la Figura 2) por la fuerza de desviación  $F$  ejercida por este primer sistema ( $U_1/-U_1$ ). Esta desviación lleva el haz a la hendidura  $6_1$  del primer colimador  $4_1$  que se encuentra a medida que pasa. Este primer colimador  $4_1$  tiene, de acuerdo con la Figura 2, la forma de una placa circular en el ejemplo ilustrado, pero, por supuesto, puede tener otras formas, que define un centro C que coincide con el eje de emisión del haz A0 cuando el colimador se monta perpendicular al eje de emisión del haz A0, y se proporciona con una hendidura generalmente en forma de V, cuyo punto está desplazado por una distancia  $d$  por encima del centro C y, por lo tanto, desde el eje de emisión A0 en la dirección de la fuerza de desviación. En dependencia de la fuerza de desviación  $F_1$  aplicada por el primer sistema  $2_1$  hacia el haz, este último se desviará más o menos desde un lado (arriba) del eje de emisión A0 y una sección más o menos grande de este haz pasará a través de la hendidura, el resto será interceptado por la placa del primer colimador  $4_1$ .
- 2) La porción del haz desviada y que sale del primer colimador  $4_1$  luego emerge en el segundo sistema de desviación  $2_2$  que es el asiento de una fuerza de desviación  $F_2$  ( $-U_2/U_2$ ) en la dirección opuesta a la del primer sistema, y de una amplitud mayor que esta para desviar esta porción del haz en el otro lado del eje de emisión A0 (abajo).
- 3) La porción del haz en el lado negativo del eje X emerge en el tercer sistema de desviación  $2_3$  que es el asiento de una fuerza de desviación  $F_3$  en la dirección opuesta a la del segundo sistema ( $U_2/-U_2$ ), y de amplitud igual o equivalente para desviar la porción del haz hacia el otro lado del eje X (hacia el lado positivo mientras permanece en el lado negativo) cerca del eje A0. Esta porción de haz se encuentra en la salida del tercer sistema de desviación  $2_3$  del segundo colimador  $4_2$ , proporcionado con una hendidura en forma de V  $6_2$  cuya abertura está orientada opuesta a la del primer colimador (es decir, en el ejemplo ilustrado, hacia el lado negativo del eje X) para permitir que pasen más o menos partículas en dependencia de las fuerzas de desviación de los sistemas anteriores.
- 4) El último sistema de desviación  $2_4$  es el asiento de una fuerza de desviación  $F_4$  ( $-U_1/U_1$ ) que lleva el haz "recortado" por las dos hendiduras  $6_1, 6_2$  precisamente al eje de emisión inicial A0. Su dirección es opuesta a la fuerza ejercida por el sistema de desviación anterior y su amplitud es menor.

De acuerdo con la Figura 3, la variación de los potenciales aplicados (o la fuerza de desviación del haz aplicado) por cada uno de los sistemas de desviación permite variar la intensidad del haz en la salida del dispositivo:

- en el ejemplo de la Figura 3(a), todas las partículas se detienen debido al lugar de llegada del haz en cada colimador (la porción del haz que ha atravesado la primera hendidura  $6_1$  no atraviesa la segunda hendidura  $6_2$ , pero es interceptada por el colimador  $4_2$  debido a que alcanza el colimador por encima de la segunda hendidura),
- en el ejemplo de la Figura 3(c), casi todas las partículas pasan a través del dispositivo (casi todas las partículas pasan a través de la primera hendidura, y casi toda la porción del haz que sale del primer colimador atraviesa la segunda hendidura),
- en los ejemplos en las Figuras 3(b) y 3(d) ilustran situaciones intermedias entre las situaciones 3(a) y 3(c).

De acuerdo con la Figura 4 es posible obtener, a la salida del dispositivo, una variación en la intensidad del haz de partículas cargadas entre 0 y 96 % del haz emitido por la fuente mediante la variación de la intensidad  $U_2$  con, en el ejemplo ilustrado, la proporción  $3U_1 = U_2$ .

Cambiar la tensión

De acuerdo con una segunda modalidad posible, las fuerzas de desviación aplicadas por los cuatro sistemas de desviación sucesivos son distintas de dos en dos: 2U1 para el primer sistema, 2U2 para el segundo sistema, 2U3 para el tercer sistema y 2U4 para el cuarto sistema, para cada sistema con dos placas inferior y superior con potenciales iguales en valor absoluto y en direcciones opuestas.

Por ejemplo, las tensiones U1, U2, U3, U4 pueden estar en las siguientes relaciones:

$$U1 = \frac{U * U1a}{k} + U1b + D * U$$

$$U2 = -U * U2a + U2b + B * U$$

$$U3 = U * U3a + U3b + B * U$$

$$U4 = \frac{-U * U4a}{k} + U4b + D * U$$

donde:

U es el parámetro de tensión del deflector en voltios,  
k es un coeficiente adimensional que representa la relación positiva entre la tensión aplicada entre las dos placas externas 2<sub>1</sub>, 2<sub>4</sub> y la aplicada entre dos placas internas 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>,  
U1a, U2a, U3a, U4a, U1b, U2b, U3b, U4b, B, D son factores de corrección en voltios.

Con un coeficiente k = 3, el haz debe salir del deflector sin desplazamiento ni desviación. Con este fin, establecemos U1a, U2a, U2a, U2a, cada uno igual a 1 y establecemos U1b, U2b, U3b, U4b, B, D en 0.

La modulación de intensidad se obtiene mediante la intercepción parcial del haz por los colimadores con hendidura en V como se describió anteriormente. La amplitud de la intercepción depende de la desviación, que a su vez depende de la tensión del deflector 2; considerado. Los factores de corrección U1a, U2a, U3a, U4a, U1b, U2b, U3b, U4b, B, D son idénticos para el mismo parámetro de tensión U. **Por ejemplo, estos factores de corrección se pueden establecer en:** k entre 2,5 y 3,5; U1a, U2a, U3a y U4a entre 0 y 2; U1b, U2b, U3b y U4b entre -1000V y + 1000V, y B, D entre 0 y 2.

Cambiar la forma de las hendiduras

Es posible modificar la forma de las hendiduras para modificar también el comportamiento de la modulación (por ejemplo, al hacer que la modulación sea más precisa para corrientes bajas). Por lo tanto, los lados opuestos de las hendiduras podrían ser rectos o no, las curvas curvadas hacia la parte sólida del colimador o, por el contrario, curvadas hacia el espacio vacío de la hendidura. Se espera que la hendidura de cada colimador esté desplazada del centro C para cortar el haz en la salida cuando los sistemas de desviación no están encendidos.

Por ejemplo, uno podría proporcionar la hendidura:

→ para una mayor sensibilidad para bajas intensidades

- intervalo de 2 μA a 200 μA, con una precisión del 2 %;
- ventaja de tener una derivación de la curva baja para las intensidades débiles, por lo tanto, el perfil acampanado de la hendidura, con una pendiente casi radial en el centro y un aumento de la apertura hacia la periferia;
- o, cierre de la hendidura hacia la periferia para limitar la intensidad;
- o, desplazarse por debajo del centro para garantizar una intensidad mínima incluso en ausencia de potencial aplicado a las placas.

El dispositivo de modulación se puede acoplar a un sistema de medición de corriente (de la jaula de Faraday o del tipo de medición que no se interseca) posicionado aguas abajo del último sistema de desviación, para realizar un ajuste preciso de la corriente mediante un lazo de regulación al actuar sobre la fuerza de desviación ejercida por los sistemas de desviación.

Los potenciales aplicados a las placas de desviación del mismo sistema de desviación pueden ser simétricos para limitar el número de alimentaciones eléctricas de acuerdo con la Figura 5(a) (la intensidad del haz recogido es visible en la Figura 6a).

Alternativamente, es posible utilizar para dos placas del mismo sistema potenciales no simétricos (Figura 5(b): potenciales de los sistemas 22 y 23 cuyas dos placas se elevan en valor absoluto a 3500 V y 6500 V, respectivamente), lo que permite, por lo tanto, mejores propiedades del haz de salida que luego se ajusta completamente dentro de una zona dada (limitación de la emitancia y las aberraciones, véase la Figura 6b).

5

Caso de una desviación del haz incidente con respecto al eje A0

Se requiere una modalidad alternativa si hay un ángulo de incidencia en el haz, una desalineación de la estructura mecánica o una asimetría del campo, lo que implica que el haz abandone la estructura de un deflector con un ángulo  $\alpha(U)$  con respecto al eje A0. El ángulo de salida  $\alpha(U)$  del haz puede ser una función del parámetro U del deflector y, por lo tanto, no es constante.

10

La invención permite corregir este ángulo de desviación instantáneamente al romper la simetría de la tensión aplicada al deflector. Esto es posible al conectar a tierra dos o más de las placas con diferentes tensiones U1, U2, U3 o U4 y mediante la variación del factor de corrección correspondiente U1b, U2b, U3b y U4b, respectivamente.

15

En la configuración modificada del deflector, cada tensión U1, U2, U3 y U4 debe permanecer aplicado al menos a una placa.

20

Los valores de los factores de corrección se pueden determinar experimentalmente para cada punto definido del parámetro U del deflector.

Por lo tanto, la modulación de intensidad por el deflector modificado se describe por  $I(U, U_{ib})$ , donde  $U_{ib}$  son los factores de corrección con  $i = 1,2,3,4$  de las tensiones correspondientes  $U_i$  para los cuales una de las placas se ha puesto a tierra.

25

Alternativamente, es posible corregir el ángulo de salida al aplicar tensiones ajustables individuales adicionales a una o más placas en lugar de ponerlas a tierra.

30

*Fórmulas para esta modalidad del deflector*

La puesta a tierra de una de las placas requiere duplicar la tensión de la placa opuesta para dirigir el haz a través del deflector. Las fórmulas del deflector clásicas se pueden modificar de la siguiente manera:

35

- U1' = 2\*U1, si la placa superior 2<sub>4</sub> o la placa inferior 2<sub>1</sub> se pone a tierra.
- U2' = 2\*U2, si la placa superior 2<sub>3</sub> o la placa inferior 2<sub>2</sub> se pone a tierra.
- U3' = 2\*U3, si la placa superior 2<sub>2</sub> o la placa inferior 2<sub>3</sub> se pone a tierra.
- U4' = 2\*U4, si la placa superior 2<sub>1</sub> o la placa inferior 2<sub>4</sub> se pone a tierra.

40

Una de las posibles modalidades prácticas del deflector modificado sería poner a tierra las placas superiores 2<sub>1</sub> y 2<sub>4</sub> y para duplicar las tensiones U1 y U4. La dirección introducida por el deflector se puede corregir al modificar U1b de acuerdo con el parámetro U del deflector: U1b (U). En este caso, la modulación de intensidad por el deflector modificado se define por  $I(U, U1b(U))$ .

45

Por ejemplo, para esta realización y con nuestra estructura específica, encontramos los siguientes parámetros (U1a = 2, U2a = 1, U3a = 1, U4a = 2, B = D = 0, k = 2,7 son constantes) para algunas intensidades medidas en el intervalo entre 1  $\mu$ A y 300  $\mu$ A:

| Intensidad medida, I (U, U1b(U)) | Tensión deflectora, U | Factores de corrección, U1b |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| [ $\mu$ A]                       | [V]                   | [V]                         |
| 296                              | 5000                  | 150                         |
| 220                              | 4000                  | 30                          |
| 123                              | 3000                  | -125                        |
| 46                               | 2.000                 | -150                        |
| 23                               | 1500                  | -170                        |
| 3                                | 1000                  | -220                        |

60

Con estos valores, encontramos el centro del haz en el eje del haz en la posición del plano de medición.

Para cubrir todo el intervalo sin interrupción, debemos encontrar la relación  $U_{ib}(U)$  entre el factor de corrección y la tensión del deflector. En el caso general es necesario encontrar todas las relaciones  $U_{ib}(U)$  con  $i = 1,2,3,4$ .

65

Tenga en cuenta que la configuración del deflector y los factores de corrección no son universalmente válidos y pueden cambiar para otras instalaciones.

Poner a tierra las placas inferiores conduce al mismo resultado.

También es posible aplicar las tensiones en orden inverso e invertir la orientación de los colimadores y el signo de las tensiones aplicadas. Las fórmulas para el deflector modificado siguen siendo las mismas.

5

Caja de ocho sistemas de desviación

10

Además, el dispositivo de acuerdo con la invención puede incluir un conjunto adicional de cuatro sistemas de desviación como se describió anteriormente, que modularán la intensidad de las partículas en la dirección Y representada esquemáticamente en la Figura 2. Las placas de estos sistemas de desviación serán entonces perpendiculares a las del primer conjunto de sistemas de desviación.

Posibles dimensiones del dispositivo:

15

80 cm de largo; placa de 15 cm por 10 cm; distancia de 8 cm entre las placas; distancia de 3-4 cm entre dos placas consecutivas; lado de la hendidura 4 cm, ángulo de la abertura 60°.

Posibles aplicaciones:

20

Terapia de protones, terapia de adrones: por ejemplo, para irradiar de manera controlada para cada vóxel de un tumor.

25

Más específicamente, la invención encuentra una aplicación en la terapia de protones, en particular con el uso de aceleradores lineales para acelerar los haces de protones, y en particular mediante el uso de un haz de protones pulsado donde la invención puede usarse para modular o modificar la intensidad de un haz de protones para tratamiento con radioterapia.

Implantación de iones: modulación de la dosis implantada localmente, en función de la exploración.

Espectrometría: evite saturar el detector.

Micrograbado: module la eficacia del grabado local durante la exploración.

30



REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo para modular la intensidad de un haz de partículas cargadas emitido a lo largo de un eje (A0), que comprende:
  - 4×N sistemas de desviación consecutivos (2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub>), con N = 1 o 2, con los sistemas de desviación (2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub>) que se posicionan a lo largo del eje (A0) de dicho haz de partículas, y que es capaz de desviar el haz con relación al eje (A0) en la misma dirección, con direcciones de desviación alternas, para dos sistemas consecutivos (2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub>),
  - medios para aplicar una fuerza para desviar el haz para cada sistema de desviación (2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub>) y para variar la fuerza aplicada **caracterizado por**
  - dos colimadores (4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>) cada uno que tiene una hendidura (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) con una abertura que aumenta en ancho desde el centro hacia la periferia, localizada respectivamente entre el primer y el segundo sistema de desviación y entre el tercer y cuarto sistema de desviación, con la abertura de la hendidura (6<sub>1</sub>) del primer colimador (4<sub>1</sub>) que se orienta hacia un lado del eje de emisión del haz A0, con la abertura de la hendidura (6<sub>2</sub>) del segundo colimador (4<sub>2</sub>) que se orienta hacia el lado opuesto del eje de emisión del haz (A0).
2. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado porque** cada uno de dichos sistemas de desviación (2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub>) es del tipo eléctrico o del tipo magnético.
3. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 2 **caracterizado porque** cuando los sistemas de desviación (2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub>) son del tipo eléctrico, cada sistema (2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub>) consiste en dos placas paralelas (7) sometidas a un potencial eléctrico, dispuestas respectivamente a cada lado del eje de emisión (A0).
4. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 2 **caracterizado porque**, cuando los sistemas de desviación (2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub>) son del tipo magnético, cada uno de dichos sistemas de desviación consiste en un dipolo magnético.
5. Un dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la hendidura (6<sub>1</sub>, 2) de un colimador (4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>) tiene una forma general de V con bordes opuestos rectos o curvos abovedados hacia la porción restante del colimador (4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>) o hacia el espacio vacío definido por tales bordes.
6. Un dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** cada colimador (4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>) se coloca a lo largo del eje de manera que la hendidura (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) del mismo se posiciona en un lado del eje de emisión A0 mientras se desplaza con relación a tal eje A0 por una distancia d.
7. Un dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5 **caracterizado porque** cada colimador (4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>) se coloca a lo largo del eje de manera que la hendidura (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) del mismo se posiciona en línea con el eje de emisión A0.
8. Un dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** cuando comprende 8 sistemas de desviación (2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub>), cuatro de estos sistemas se disponen con relación al eje de emisión para desviar el eje en una primera dirección, y cuatro de estos sistemas (2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub>) se disponen con relación al eje de emisión para desviar el eje en una segunda dirección perpendicular a la primera.
9. Un método para desviar desde su eje de emisión un haz de partículas cargadas emitido a lo largo de un eje A0, con el dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** comprende, para 4N sistemas de desviación consecutivos, una etapa de aplicación:
  - por el primer sistema de desviación (2<sub>1</sub>), de una primera fuerza para desviar el haz en una dirección dada y en una primera orientación,
  - por el segundo sistema de desviación (2<sub>2</sub>), de una segunda fuerza mayor que la primera, para desviar el haz en la misma dirección y en una orientación opuesta a la primera,
  - por el tercer sistema de desviación del haz (2<sub>3</sub>), de la segunda fuerza para desviar el haz en la misma dirección y en la primera orientación de la desviación,
  - por el cuarto sistema de desviación (2<sub>4</sub>), de la primera fuerza de desviación, en la misma dirección y en una orientación opuesta a la primera.
10. Un método de acuerdo con la reivindicación 9 **caracterizado porque** los sistemas de desviación (2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub>) son del tipo eléctrico, y cada uno comprende dos placas (7) paralelas al eje A0 y dispuestas a cada lado de dicho eje A0, con los potenciales aplicados a las dos placas del mismo sistema que son simétricos o asimétricos.
11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde cada sistema de desviación está compuesto por dos placas dispuestas a cada lado del eje (A0), con dos o más placas de diferentes sistemas de desviación que se ponen a tierra, con las fuerzas que desvían los haces de los sistemas de desviación de las placas que son diferentes, con factores de corrección (U<sub>ib</sub>) que se aplican a cada fuerza de desviación impuesta en un sistema

de desviación, una de las cuales se conecta a la tierra para corregir el ángulo de salida del haz.

- 5
12. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde se aplican fuerzas de desviación ajustables adicionales a uno o más sistemas de desviación para corregir el ángulo de salida del haz.
13. Un conjunto para emitir un haz de partículas cargadas de intensidad ajustable, que comprende sucesivamente a lo largo de un eje de emisión A0 del haz:
- 10
- una fuente de emisión de un haz de partículas cargadas centrado alrededor de un eje de emisión A0, preferentemente del tipo ECR
  - un sistema de extracción
  - una lente del tipo Einzel
  - un colimador que tiene un orificio central circular
- 15
- el dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8,
  - un segundo colimador que tiene un orificio central circular
  - un dispositivo que filtra la velocidad las partículas a la salida del segundo colimador.

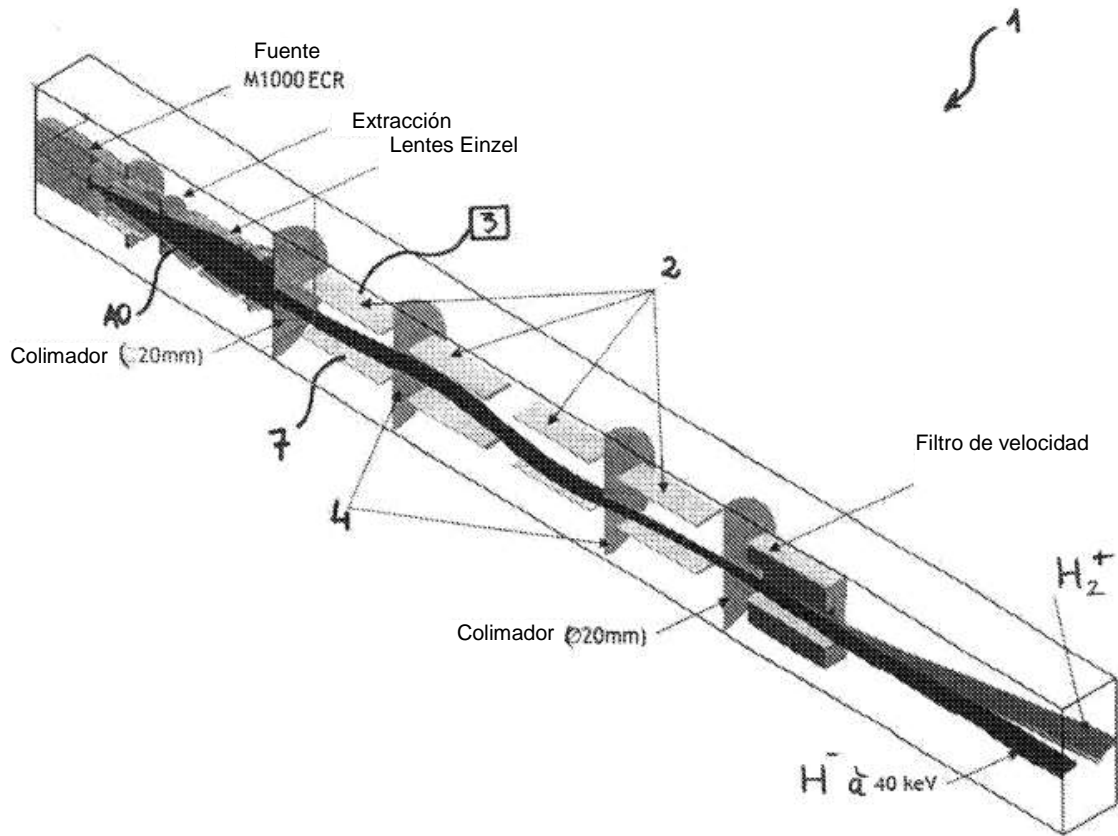


Figura 1

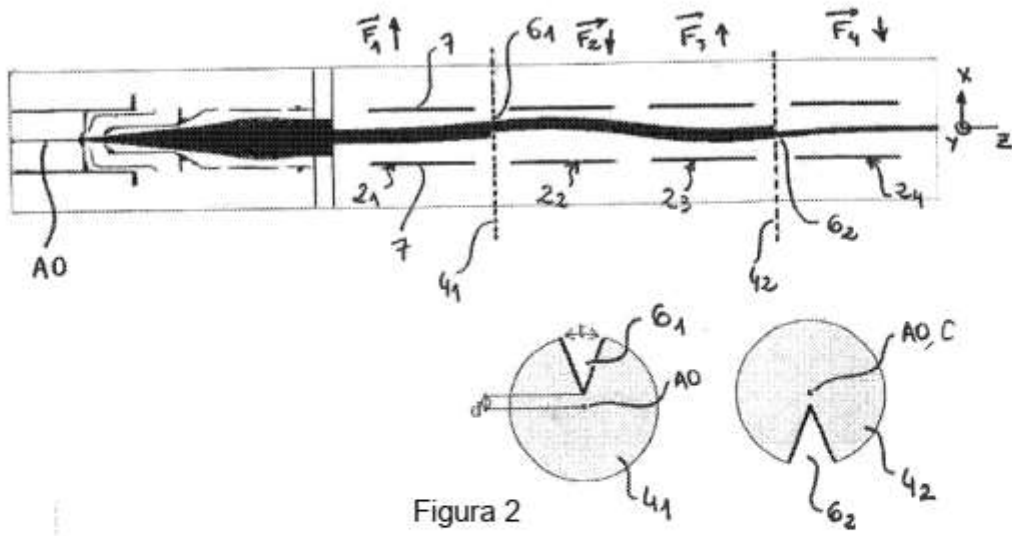
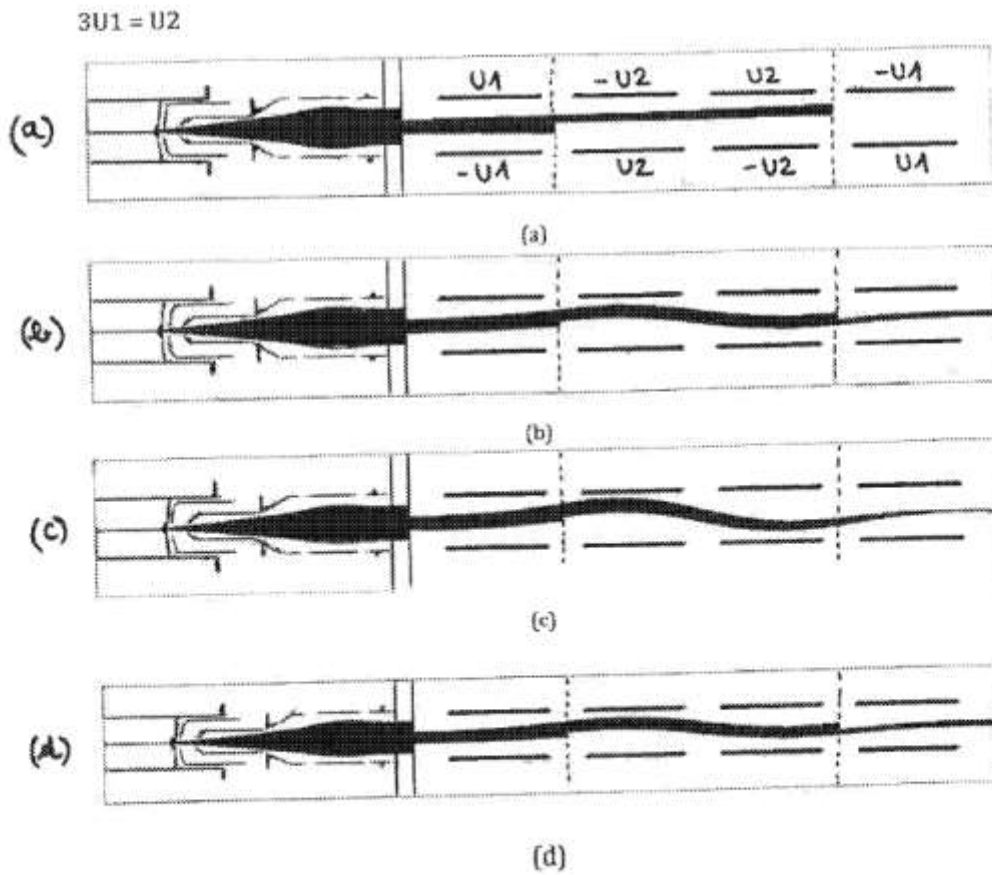


Figura 2



(d)

Figura 3

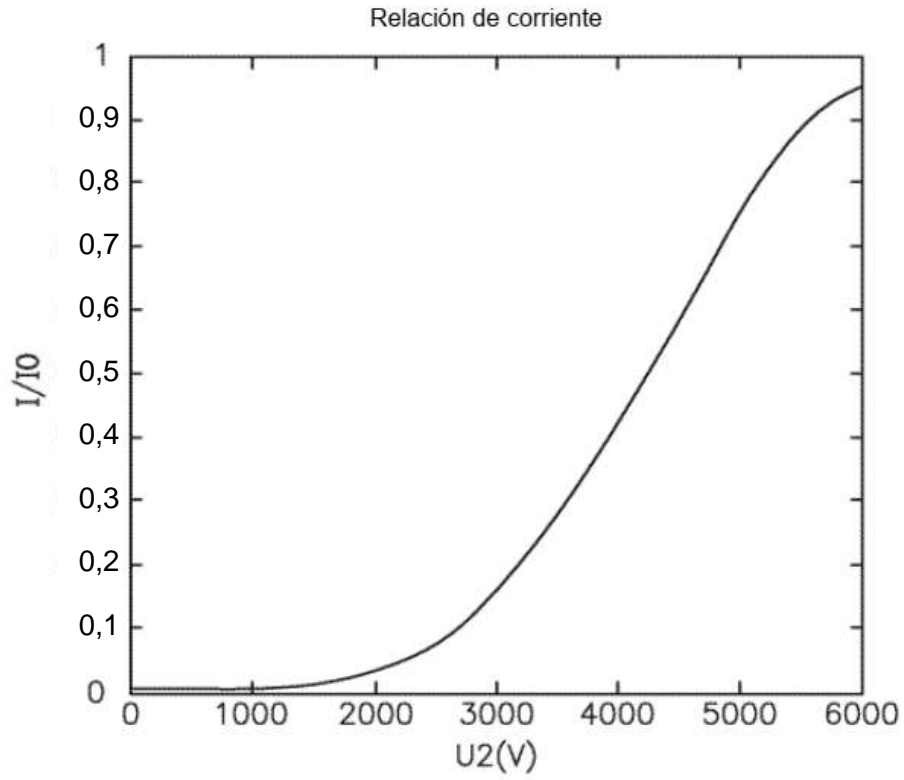


FIGURA 4

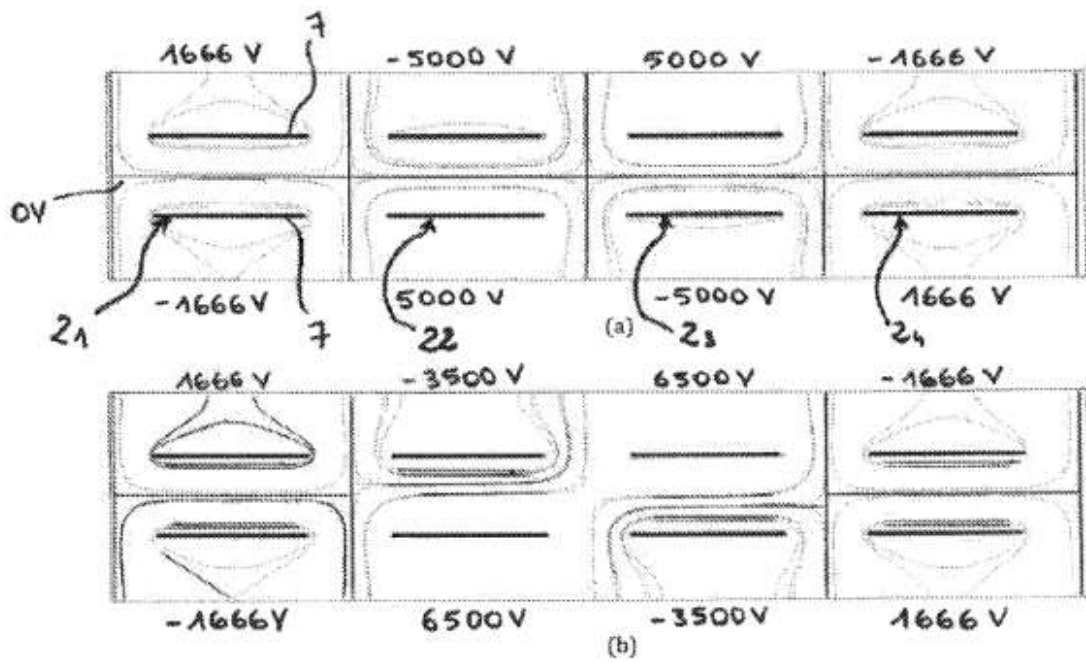


Figura 5

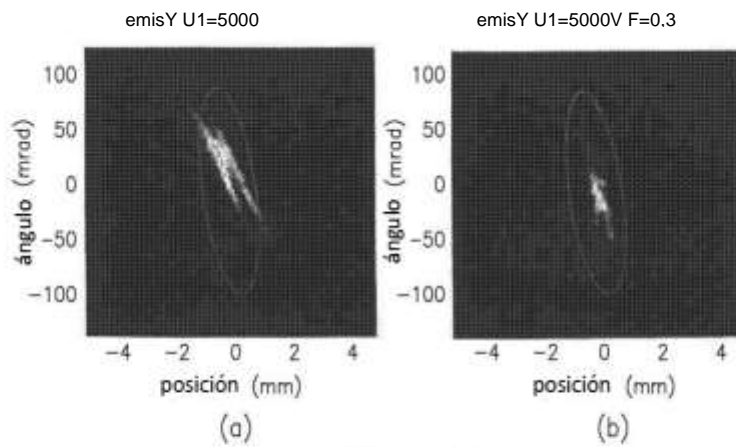


Figura 6