

OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



① Número de publicación: **2 222 793**

② Número de solicitud: 200300666

⑤ Int. Cl.7: **H01J 37/153**

H01J 37/05

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

② Fecha de presentación: **21.03.2003**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **01.02.2005**

Fecha de la concesión: **07.10.2005**

④ Fecha de anuncio de la concesión: **01.11.2005**

④ Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**01.11.2005**

⑦ Titular/es: **Universidad Complutense de Madrid  
Rectorado, Avenida de Séneca, 2  
28040 Madrid, ES**

⑦ Inventor/es: **Martínez López, Genoveva y  
Katsushige, Tsuno**

⑦ Agente: **No consta**

⑤ Título: **Monocromador tipo wien con corrección de aberraciones.**

⑤ Resumen:

Monocromador tipo *wien* con corrección de aberraciones. La invención mejora los dos parámetros más característicos de los filtros de Wien: resolución en energía y dispersión espacial.

Consta de dos filtros idénticos, cada uno formado por doce polos que se extienden paralelos al eje óptico. Cada polo está construido con un material conductor magnético. Se le aplica un potencial y se imana con una corriente calculados para conseguir una configuración de campos tales que las componentes dipolar eléctrica y magnética cumplen la condición de Wien.

En cada polo se excitan, además, los potenciales y corrientes adecuados para crear campos cuadripolares eléctricos y magnéticos que, combinados con los anteriores, permiten un gran control de la fuerza total que actúa sobre las cargas y corregir las aberraciones inherentes al sistema. Modificando el radio de los polos diagonales se añade otro factor de control. Ajustando las excitaciones y dicho radio simultáneamente, se mejora la resolución en energía en decenas o centenas respecto de filtros de Wien convencionales.

El uso de un segundo filtro idéntico al primero por el que se hace pasar el haz una vez seleccionado en energía, reduce notablemente el tamaño del haz.

ES 2 222 793 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

## DESCRIPCIÓN

Monocromador tipo *wien* con corrección de aberraciones.

5 **Campo técnico de la invención**

La invención que se presenta en esta memoria se encuadra en el campo de la óptica electrónica concretamente de los dispositivos capaces de seleccionar aquellas partículas cargadas que, formando parte de un haz, lleven una energía prefijada  $U_0$ . Está relacionado con los filtros de Wien (filtros  $\vec{E} \times \vec{B}$ ), giradores de *spin*, analizadores de energía, separadores de iones y similares.

La invención se relaciona también con un microscopio electrónico que utilice los monocromadores tipo *wien*.

**Estado de la técnica**

15 El funcionamiento del dispositivo está basado en la creación de una región en donde actúen campos eléctricos y magnéticos perpendiculares entre sí y a la dirección de avance del haz. Las magnitudes de los campos han de ser tales que produzcan la cancelación de las fuerzas eléctrica y magnética para partículas con energía  $U_0$  al atravesar el dispositivo, cuando entran con una velocidad paralela al eje del mismo (condición de Wien).

20 Este tipo de monocromadores (o filtros de energía) se ha venido utilizando a lo largo de los últimos cien años, siendo objeto de diversas mejoras con el fin de optimizar sus prestaciones. Uno de sus principales problemas consistía en que la condición de Wien sólo se cumplía estrictamente en la región central del filtro pero no en sus extremos donde los efectos de borde para el campo eléctrico y magnético eran muy distintos, y por tanto las fuerzas eléctrica y magnética asociadas a ellos diferían apreciablemente. La solución a este problema fue abordada por T. T. Tang [T.T. Tang, *Optik* 74 (1986) 51-56] y H. Rose [H. Rose, *Optik* 77 (1987) 26-34] proponiendo una configuración multipolar que utiliza un material magnético conductor tanto para generar el campo magnético  $\vec{B}$  (rodeando el polo correspondiente con un bobinado por el que se hace pasar una corriente eléctrica) como para crear el campo eléctrico  $\vec{E}$  (aplicando un potencial adecuado al mismo), perpendicular a  $\vec{B}$ . La distribución de ambos campos en esta configuración obedece a la misma ecuación diferencial y por tanto sus módulos cumplirán la condición de Wien en todo punto del espacio:  $E = v_0 B$ , siendo  $v_0$  la velocidad axial de la partícula correspondiente a la energía  $U_0$ .

35 Sin embargo esta mejora no resuelve un problema que es inherente al funcionamiento del filtro cuando se utiliza con los campos dipolares mencionados más una componente cuadrupolar eléctrica, añadida para conseguir la convergencia del haz a la salida del filtro. Así, partiendo de un haz puntual a la entrada y lanzando las cargas con una componente de velocidad transversal según diferentes ángulos acimutales (entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ ) superpuesta a la velocidad axial nominal  $v_0$ , el haz no converge a la salida en un punto sino que ocupa una cierta región del espacio cuando se hace un corte del mismo en un plano perpendicular al eje óptico [K. Tsuno y J. Rouse, *J. Electron Microsc.* 45 (1996) 417-427.]. A la forma que toma este corte transversal del haz se le llama *figura de aberración* y da cuenta de la dispersión espacial que sufre el haz de partículas seleccionado por el filtro.

45 La caracterización de cualquier dispositivo utilizado en Óptica Electrónica requiere dos etapas claramente diferenciadas: 1) cálculo de la distribución de campos; 2) determinación de las trayectorias que siguen las partículas cargadas bajo la acción de dichos campos. Para obtener la distribución de campos, los autores han desarrollado una versión del método de elementos de contorno (*Boundary Element Method, BEM*) por ser el que mejor se adapta a la simulación de los contornos de los polos que se utilizan en este diseño. Además, se pueden optimizar los algoritmos para conseguir una precisión elevada en los resultados.

50 Las componentes de la fuerza actuando sobre un electrón de masa  $m$ , carga  $-e$ , que atraviesa el filtro con velocidad  $\mathbf{v}(v_x, v_y, v_z)$  y aceleración  $\mathbf{a}(a_x, a_y, a_z)$ , vienen dadas por:

$$F_x = ma_x = -e \{E_x + v_y B_z - v_z B_y\},$$

$$55 F_y = ma_y = -e \{E_y + v_z B_x - v_x B_z\},$$

$$60 F_z = ma_z = -e \{E_z + v_x B_y - v_y B_x\},$$

siendo  $E_x, E_y, E_z$  las componentes del campo eléctrico y  $B_x, B_y, B_z$  las del campo magnético. Hay una gran variedad de técnicas numéricas para la integración de estas ecuaciones. En este caso se ha empleado un algoritmo del tipo *Dormand-Prince* de 5º orden, que ofrece una buena eficiencia y cumple los requisitos de precisión establecidos.

65 Haciendo una simulación muy precisa del funcionamiento del filtro de K. Tsuno y J. Rouse mediante estos algoritmos [G. Martínez y K. Tsuno, *Ultramicroscopy* 93 (2002) 253-261], los inventores de esta patente demostraron que el origen del problema consiste en que las partículas (electrones en este caso) lanzadas con velocidades transversales

tales que se acercan hacia los polos a los que se aplica un potencial positivo, incrementan su velocidad axial, mientras que los lanzados en el sentido opuesto sufren una disminución de dicha componente de velocidad al atravesar el filtro. El resultado es que la fuerza magnética que actúa sobre ellas es ligeramente diferente de la fuerza eléctrica, obligándolas a cortar al eje en distintos puntos.

5 En ese mismo estudio los inventores proponen como solución la utilización de un doble filtro, es decir, colocar dos configuraciones idénticas en serie de forma que a la salida del primer filtro se haga la selección en energía y a la salida del segundo se tenga el haz casi totalmente corregido en lo que se refiere a dispersión espacial. En los diseños analizados se consigue reducir el tamaño de la figura de aberración en un factor mayor que diez, lo cual es útil para  
10 muchas aplicaciones. El uso del doble filtro ya se había establecido en los años 70 aunque no con la optimización que supone la configuración de 12 polos conductores magnéticos [W.H.J. Andersen. J.B. Le Pole, J. Phys. E: *Sci. Instrum.* 3 (1970) 121-126].

15 Si bien el montaje de un doble filtro mejora notablemente el comportamiento del monocromador, hay aplicaciones para las que se requieren valores más elevados no sólo de la *resolución espacial* sino también de la *resolución en energía*. Este es el caso de los microscopios de última generación en los que se intenta llegar a un poder de resolución de 1 Å o inferior. Por tanto, el objetivo de las modificaciones que se han incorporado al dispositivo y que se presentan en el siguiente apartado son esencialmente estas dos mejoras.

## 20 Explicación de la invención

### *Monocromador tipo wien con corrección de aberraciones*

25 En primer lugar describimos la geometría del dispositivo y después pasaremos a detallar la forma en que se excitan los polos para generar la distribución de campos deseada.

30 La figura 1 muestra un corte longitudinal del monocromador consistente en dos filtros de Wien colocados consecutivamente a lo largo del eje óptico (eje Z). Los componentes de dichos filtros (polos) tienen simetría de orden 12 con respecto al eje óptico. El plano R representado esquemáticamente por una línea de trazos, es asimismo un plano de reflexión del sistema. Por medio la ranura situada en dicho plano se realiza la selección de la parte del haz que lleva la energía nominal  $U_0$ . Los conductores situados en los extremos tienen la misión de apantallar los campos creados por otros componentes (e.g. lentes retardadoras, aceleradoras, etc.) que se encuentran antes o después del dispositivo.

35 A continuación la figura 2 se representa la sección transversal de uno de los filtros (plano X-Y) que forman parte del monocromador. Ésta consta de doce polos numerados correlativamente de 1 a 12 y dispuestos de forma concéntrica alrededor del eje. Deben ser construidos con un material magnético y buen conductor para que puedan generar simultáneamente campos eléctricos y magnéticos. El ángulo que cubre cada polo en la dirección acimutal es  $\phi$  y el espaciado entre polos consecutivos  $\Delta\phi$ . En la dirección radial, los polos se extienden desde un radio interior  $r$  hasta un radio exterior  $r_c$  suficientemente grande como para dar cabida a los bobinados por los que circularán las corrientes que imanan el material ( $r_c \approx 5r$ ).

En la invención que se presenta, el valor de  $r$  varía ligeramente de unos polos a otros de forma que:

45  $r = r_0$  en los polos 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12

$r = r_0 + \delta$  en los polos 2, 5, 8, 11

50 Con más detalle la figura 3 muestra cómo se han excitado los polos para generar el campo dipolar eléctrico,  $E_1$ , el campo dipolar magnético,  $B_1$ , y el cuadrupolar eléctrico,  $E_2$ . Aplicando un potencial  $V_1$ , a los polos 1-2-11-12 y un potencial  $-V_1$  a los polos 5-6-7-8 se crea un campo  $E_1$  relativamente uniforme en la región central, dirigido hacia las  $x$  negativas. Por otra parte, haciendo pasar una corriente  $I_1$ , por un bobinado de  $N$  espiras alrededor de los polos 2-3-4-5 y el mismo bobinado pero en sentido inverso sobre los polos 8-9-10-11, se obtiene un campo  $B_1$  con una distribución de líneas semejante a la de  $E_1$  pero en el sentido negativo del eje Y. Finalmente, aplicando un potencial  $V_2$  a los polos  
55 1-12, 6-7, y  $-V_2$  a los polos 3-4, 9-10 se consigue una distribución tipo cuadrupolo eléctrico que es útil para controlar la convergencia del haz. Más adelante se darán detalles del comportamiento del monocromador excitado con estos campos únicamente (*monocromador de referencia*).

60 Con el fin de mejorar las prestaciones del sistema es imprescindible añadir una componente cuadrupolar magnética. En la figura 4 se indican las magnitudes y signos de las corrientes necesarias para generar un campo  $B_2$  con (que permite mejorar las prestaciones) con distribución semejante a la creada por el potencial eléctrico  $V_2$  pero cuyas líneas de campo son ortogonales a las cuadrupolares eléctricas. Se bobinan corrientes  $nI_2$  sobre los polos 1, 3, 7 y 9; corrientes  $-nI_2$  sobre 4, 6, 10 y 12; corrientes  $2nI_2$  sobre 2, 8 y corrientes  $-2nI_2$  sobre 5, 11.

## 65 Descripción de las figuras

La invención se acompaña de una serie de figuras, que con carácter ilustrativo representan lo siguiente:

## ES 2 222 793 B1

Figura 1.- Diagrama del corte longitudinal del monocromador.

Figura 2.- Diagrama de la sección transversal de un filtro de 12 polos.

5 Figura 3.- Forma de excitar los campos dipolares eléctrico y magnético y el campo cuadrupolar eléctrico.

Figura 4.- Forma de excitar el campo cuadrupolar magnético.

10 Figura 5.- Trayectorias a través de los monocromadores para electrones lanzados con ángulo acimutal  $\varphi = 0^\circ$  y semiapertura  $\alpha = \pm 1^\circ$ . Las líneas de trazos corresponden a trayectorias en el *monocromador de referencia* y las continuas a trayectorias en el modelo a patentar.

15 Figura 6.- Proyección en el plano Y-Z de trayectorias a través de los monocromadores para electrones lanzados con ángulo acimutal  $\varphi = 0^\circ$  y semiapertura  $\alpha = \pm 1^\circ$ .

20 Figura 7.- Proyección en el plano X-Z de trayectorias a través de los monocromadores para electrones lanzados con ángulo acimutal  $\varphi = 0^\circ$  y semiapertura  $\alpha = \pm 1^\circ$ . Las proyecciones son idénticas para los dos valores de  $\alpha$ . La línea de trazos corresponde a trayectorias en el *monocromador de referencia* y la continua a trayectorias en el modelo a patentar.

Figura 8.- Figura de aberración en el plano R calculada para el *monocromador de referencia*.

Figura 9.- Figura de aberración en el plano R calculada para el monocromador de la invención.

25 Figura 10.- Ídem figura 9 con la escala del eje X modificada.

Figura 11.- Figura de aberración a la salida del sistema calculada para el *monocromador de referencia*.

30 Figura 12.- Figura de aberración a la salida del sistema calculada para el monocromador de la invención.

### Modo de realización de la invención

35 Se ilustra mediante un ejemplo las mejoras introducidas en la invención. Para ello se van a comparar los resultados con los obtenidos en el *monocromador de referencia* mencionado anteriormente.

Los datos de la geometría para el *monocromador de referencia*, según las figuras 1 y 2 (todos los valores expresados en mm excepto los correspondientes a ángulos) son:

40 
$$H = 40; r = r_0 = 5; r_c = 25; d = 5; w = 10; r_p = 2; \phi = 24^\circ; \Delta \phi = 6^\circ.$$

Los valores de las excitaciones, apropiados para seleccionar un haz de electrones con energía  $U_0 = 1000$  eV, son:

45 
$$V_1 = 696.020 \text{ V}; V_2 = 65.4906 \text{ V}; NI_1 = 120.563 \text{ ampervueltas.}$$

La geometría del modelo a patentar difiere de la anterior únicamente en el radio interior de los polos, de forma que se construye con la siguiente disposición:

- $r = r_0 = 5$  en los polos 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12
- 50 ■  $r = r_0 + \delta = 5 + 0.0574$  en los polos 2, 5, 8, 11

Los valores de las excitaciones, apropiados para seleccionar un haz de electrones con energía  $U_0 = 1000$  eV e incluyendo una componente cuadrupolar magnética, son:

55 
$$V_1 = 702.707 \text{ V}; V_2 = 190.925 \text{ V}; NI_1 = 121.721 \text{ ampervueltas}; nI_2 = 12.9345 \text{ ampervueltas.}$$

60 Las figuras que se van a comentar a continuación muestran trayectorias de electrones calculadas en ambos monocromadores. Son las que se utilizan para caracterizar las llamadas aberraciones geométricas de apertura. Las excitaciones se han elegido de forma que existe una total simetría en los cortes con el eje Z. Todas ellas parten del mismo punto que se encuentra situado en dicho eje a la entrada del dispositivo (lado izquierdo en las figuras) y a una distancia de 30 mm del centro del primer filtro. Todas llevan la misma velocidad axial inicial  $v_{z0} = 1.876 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$  y la velocidad transversal es  $v_{t0} = \pm 3.275 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ , que corresponde a un ángulo de semiapertura  $\alpha = \pm 1^\circ$ . Las trayectorias se integran a lo largo del doble filtro y cortan el eje a una distancia de 30 mm con respecto al centro del segundo filtro. El plano donde se forma una imagen intermedia coincide con el plano R de reflexión y dista asimismo 30 mm del centro del primer y segundo filtro. El recorrido total a lo largo del eje Z es pues de  $4 \times 30 = 120$  mm.

La figura 5 muestra las trayectorias calculadas cuando se lanzan los electrones con las condiciones iniciales men-

cionadas en el plano X-Z (ángulo acimutal  $\varphi = 0^\circ$ ). Las líneas de trazos discontinuos corresponden a trayectorias calculadas en el *monocromador de referencia* y las líneas continuas se han calculado en el modelo objeto de la invención. Se ve claramente que se ha corregido la aberración del sistema original donde las trayectorias con velocidad inicial transversal positiva cruzan el eje después del plano R y las que comienzan con velocidad transversal negativa cruzan antes del plano R. En el nuevo modelo ambas trayectorias se cortan en dicho plano.

La figura 6 muestra la proyección de las trayectorias en el plano Y-Z que han sido lanzadas con las mismas condiciones iniciales que en el caso anterior, excepto que el ángulo acimutal es ahora  $\varphi = 90^\circ$ . Las proyecciones coinciden para los dos sistemas que estamos comparando y ambas dan una imagen intermedia en el plano R. Es de notar que esto se consigue ajustando el valor del potencial que crea la componente cuadrupolar  $E_2$  en el *monocromador de referencia*, mientras que en el nuevo hay que ajustar  $E_2$  y  $B_2$  simultáneamente. Las trayectorias que se muestran en la figura 7 son, a nuestro juicio, las más importantes a la hora de juzgar las mejoras introducidas en el sistema objeto de esta patente. Son las proyecciones en el plano X-Z de las trayectorias de partículas lanzadas con  $\varphi = 90^\circ$ ; en la línea de trazos se ve que a la hora de formar una imagen en el plano R no se encuentra en un valor nulo sino que se separa unos 2.5  $\mu\text{m}$ . mientras que para el sistema corregido se logra llevar el valor a cero. Además, y dada la simetría impuesta, al salir del segundo filtro también cae a un valor nulo.

El efecto de las modificaciones también se puede apreciar claramente en las figuras de aberración obtenidas para el *monocromador de referencia* y el nuevo. En las figuras 8 y 9 se muestran los cortes transversales del haz en el plano R para la primera y segunda configuración respectivamente. En el *monocromador de referencia* se ve que el centro del haz se halla fuera del eje y que el diámetro de la envolvente es de unos 25  $\mu\text{m}$ . La figura 9 ilustra claramente el efecto de la corrección llevada a cabo en los planos X-Z e Y-Z: el haz está centrado con respecto al eje óptico, lo hace muy estrecho en la dirección del eje X y lo acorta en la del eje Y. Esto se aprecia mejor en la figura 10 donde se muestran los mismos puntos que en la figura 9 pero con escalas diferentes en ambos ejes.

Podemos aprovechar las figuras de aberración mostradas para aclarar el concepto de “resolución en energía”,  $E_{\text{res}}$ , del monocromador. Si en lugar de la energía nominal  $U_0$ , el haz entra con energía  $U_0 - \Delta U_0$ , las trayectorias siguen caminos ligeramente diferentes a los dibujados en las figuras 5-7 y sufren una desviación hacia las  $x$  positivas; análogamente, las trayectorias con energía  $U_0 + \Delta U_0$  forman su figura de aberración en lado de las  $x$  negativas. Para obtener  $E_{\text{res}}$  se calcula el valor mínimo de  $\Delta U_0$  cuya figura de aberración no presenta intersección con la de la correspondiente a  $U_0$  y a partir de él se define

$$E_{\text{res}} = \frac{\Delta U_0}{U_0}$$

Dadas las características del dispositivo, es claro que las modificaciones introducidas permiten mejorar sustancialmente la resolución en energía del nuevo monocromador.

Por último, en las figuras 11 y 12 se muestran las secciones transversales del haz a la salida del monocromador, cuando se forma la segunda imagen. Si se comparan las figuras 8 y 11, se puede apreciar el efecto corrector de un doble filtro mencionado en el apartado anterior, es decir, se puede reducir el tamaño del haz en un factor mayor que 100 colocando un segundo filtro en serie con el primero y excitado con los mismos valores de corriente y tensión (lo que simplifica mucho su montaje). Este efecto beneficioso se sigue manteniendo para el filtro de la invención pero sólo en la dirección del eje Y, ya que la corrección en el eje X ya se efectuó en el primer filtro en la forma más óptima posible. Si se comparan las figuras 11 y 12, se puede observar una mejora en la dispersión espacial del nuevo filtro, con una reducción del tamaño por un factor 2 en la dirección X y por 5 en la dirección Y.

Hay que señalar que el caso mostrado es tan sólo un ejemplo de la forma en que el dispositivo puede trabajar. Así, se han mostrado trayectorias para ángulos de semiapertura de  $1^\circ$ ; sin embargo, en microscopios de alta resolución se trabaja con ángulos de  $0.5^\circ$  e inferiores. Hemos comprobado que en todos los casos, y con pequeños reajustes de las excitaciones, se tiene un comportamiento semejante al presentado en esta memoria. Además, la resolución en energía aumenta y el tamaño de haz a la salida se reduce a medida que disminuye el ángulo  $\alpha$ . A modo de ejemplo digamos que para un haz con  $U_0 = 1000$  eV, la resolución en energía pasa de un valor  $E_{\text{res}} = 2.75 \times 10^{-5}$  para  $\alpha = 1^\circ$  a un valor  $E_{\text{res}} = 2.0 \times 10^{-6}$  para  $\alpha = 0.4^\circ$ . Estas cantidades representan un aumento en factores de 38 y 160, respectivamente, con respecto a los valores de  $E_{\text{res}}$  calculados para el *monocromador de referencia*.

Lo mismo se puede decir de los valores asignados al radio de los polos y la separación entre ellos (datos geométricos). Si se modifican dentro de unos márgenes razonables, ajustando las excitaciones a los nuevos datos se puede conseguir la corrección de aberraciones que hemos presentado aquí, o bien en un grado suficiente como para obtener un comportamiento muy mejorado.

A la hora de mecanizar, montar, y alinear los elementos del monocromador es inevitable que se produzcan desviaciones con respecto a los valores usados en el diseño. En el lenguaje técnico se habla de “aberraciones mecánicas” y pueden degradar la calidad de la imagen apreciablemente. Sin embargo, en la actualidad los laboratorios pueden disponer de una maquinaria para la mecanización de las piezas controlada por ordenador y que aseguran precisiones por debajo del  $\mu\text{m}$  en longitudes de varios mm. También han progresado en los últimos años las técnicas de alinea-

## ES 2 222 793 B1

miento con la utilización del láser. Para que se pueda apreciar el efecto corrector de aberraciones que se presenta en esta memoria, es necesario efectuar la construcción del monocromador utilizando estándares de calidad lo mas altos posible.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Un monocromador tipo *wien* con corrección de aberraciones **caracterizado** porque comprende: dos filtros de Wien idénticos colocados a lo largo de un eje óptico sustancialmente paralelo al eje Z y con un plano R perpendicular a dicho eje con respecto al cual se disponen los dos filtros simétricamente (plano de reflexión).

2. Monocromador, según reivindicación 1, **caracterizado** porque para un haz de partículas lanzado desde el eje óptico cerca de su entrada y según diferentes ángulos acimutales, permite:

10 - formar una primera imagen en el plano de reflexión R, centrada en el eje óptico y con una mínima dispersión en el eje X, lo cual da lugar a resoluciones en la energía del haz muy superiores a la de otros filtros de Wien sin corrección de aberraciones

15 - formar una segunda imagen a la salida del dispositivo con una dispersión espacial sustancialmente menor que en otros filtros de Wien sin corrección de aberraciones.

3. Monocromador, según reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** porque cada uno de los filtros, es una configuración de conductores magnéticos capaz de producir al menos un campo dipolar eléctrico en la dirección del eje X y un campo dipolar magnético en la dirección del eje Y, consistente en:

20 12 polos que se extienden sustancialmente paralelos al eje óptico presentando una simetría de orden 12 en torno a dicho eje, y cuyas caras de entrada y salida se encuentran en el plano X-Y.

25 4. Monocromador, según reivindicación anterior, **caracterizado** porque el radio interior de los polos varía según la posición que ocupan.

30 5. Monocromador, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque cada uno de los filtros contiene las excitaciones añadidas para producir un campo cuadripolar eléctrico con simetría respecto de los planos X-Z e Y-Z, y uno magnético con simetría en torno a los planos formados por los ejes  $X = \pm Y$  y el eje Z, siendo las líneas de campo de ambas componentes cuadripolares perpendiculares entre sí.

35 6. Monocromador, según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el diseño de los polos de los filtros contiene la modificación del radio interior de los polos cuyo planos medios están situados en un ángulo acimutal de  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  y  $315^\circ$  con respecto al plano X-Z. El valor  $\delta$  del incremento del radio con respecto al de los restantes polos,  $r_0$ , ha de ser tal que  $0,008 \leq \delta/r_0 \leq 0,016$  para obtener una mejora estimable con respecto a otros filtros sin corrección de aberraciones.

40 7. Monocromador, según reivindicaciones anteriores, donde el filtro está **caracterizado** por tener una relación  $\delta/r_0$  y estar excitado con los potenciales y las corrientes tales que anulan completamente las aberraciones geométricas de apertura de un haz de partículas cargadas, en los planos X-Z e Y-Z y minimizan, consecuentemente, dichas aberraciones en el resto del haz.

8. Un microscopio electrónico **caracterizado** porque contiene:

45 - Una fuente de electrones para generar y acelerar un haz de electrones

- El monocromador de las reivindicaciones 1 a 7.

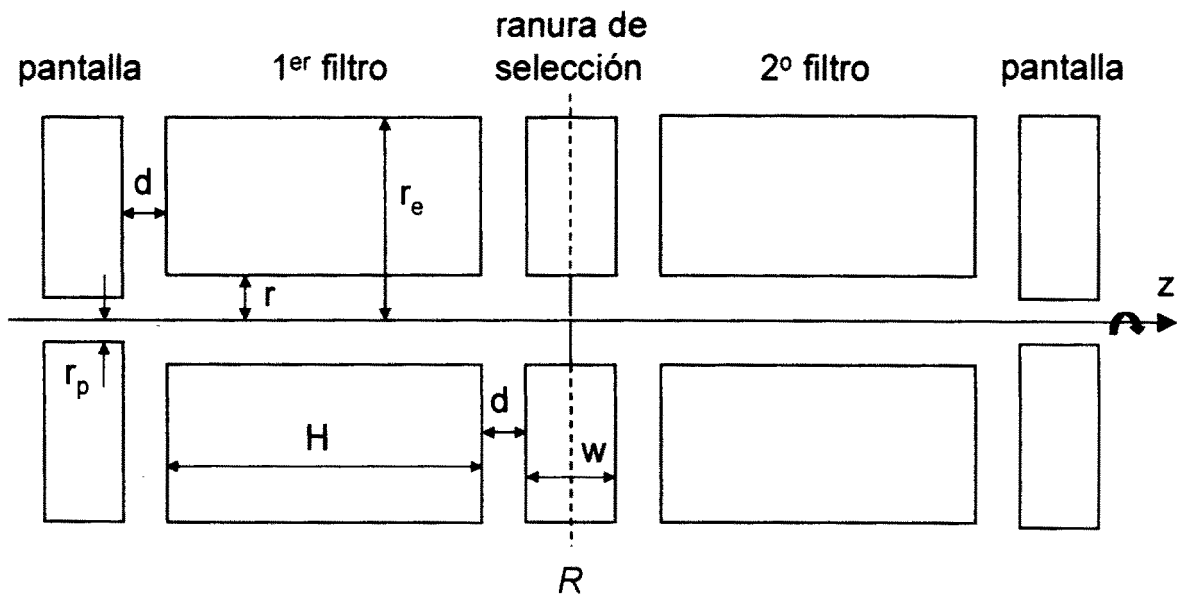


Figura 1



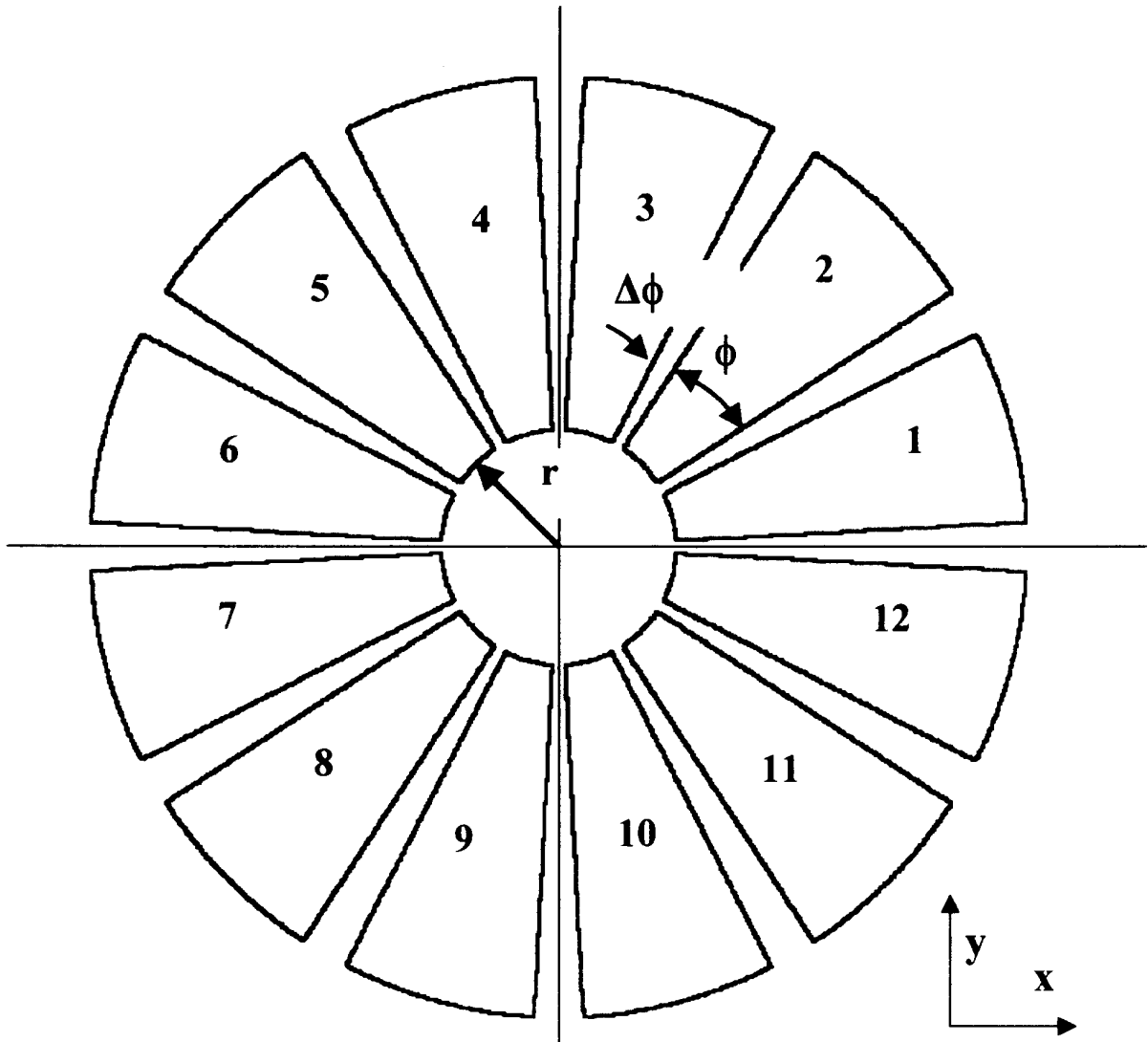
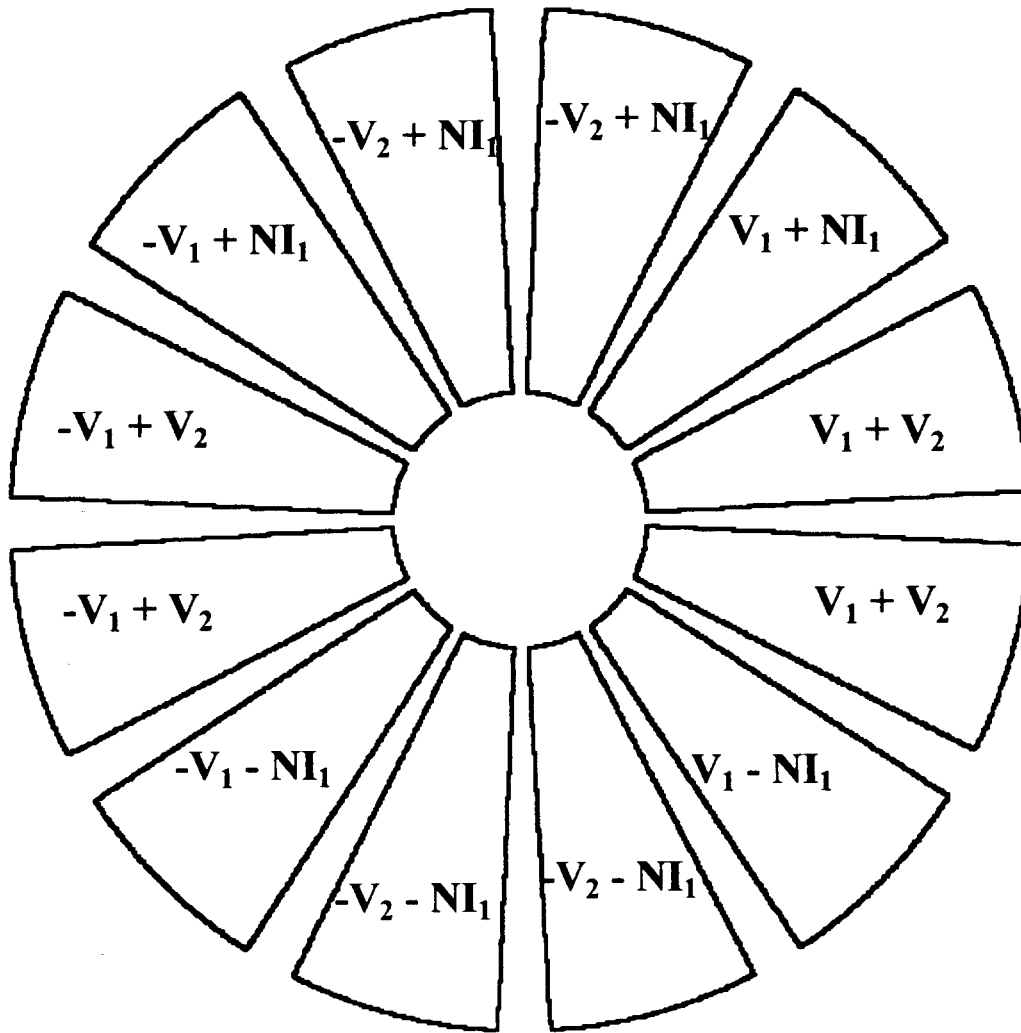
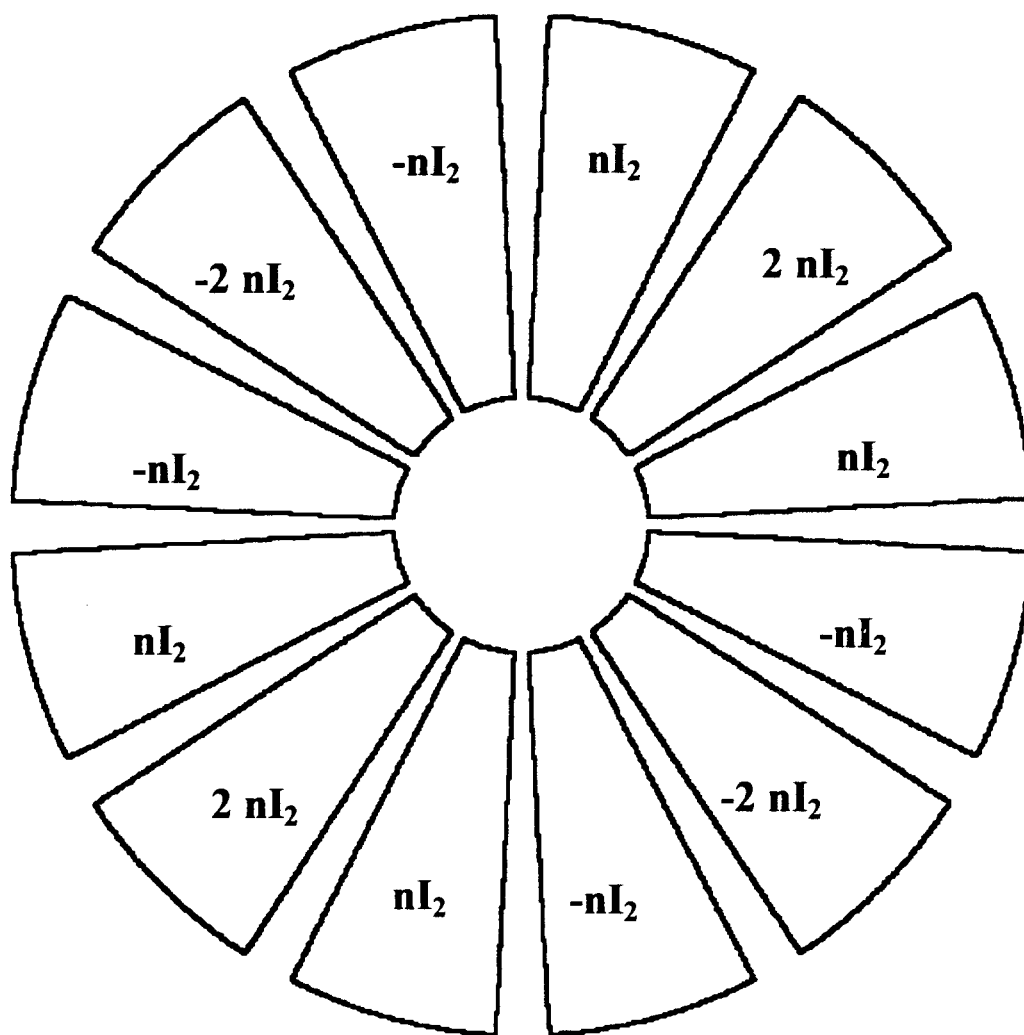


Figura 2



**Figura 3**



**Figura 4**

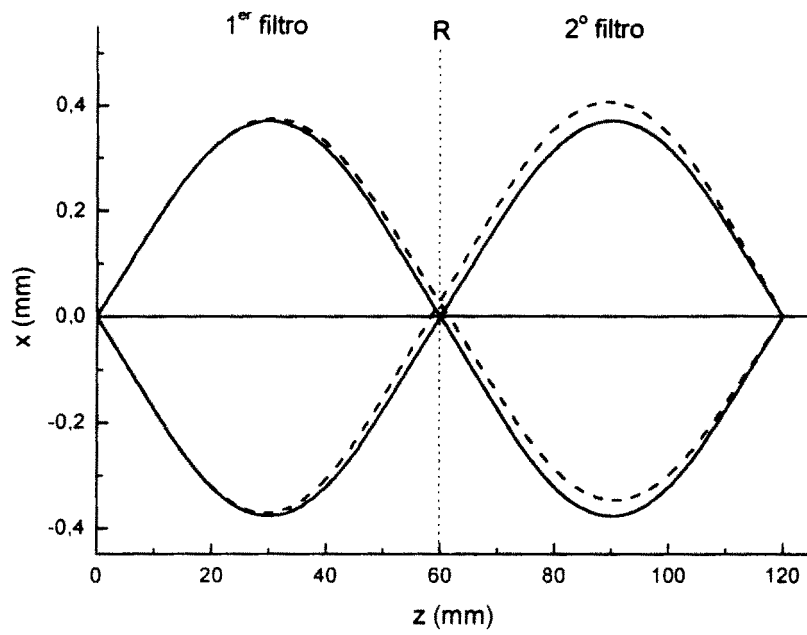


Figura 5

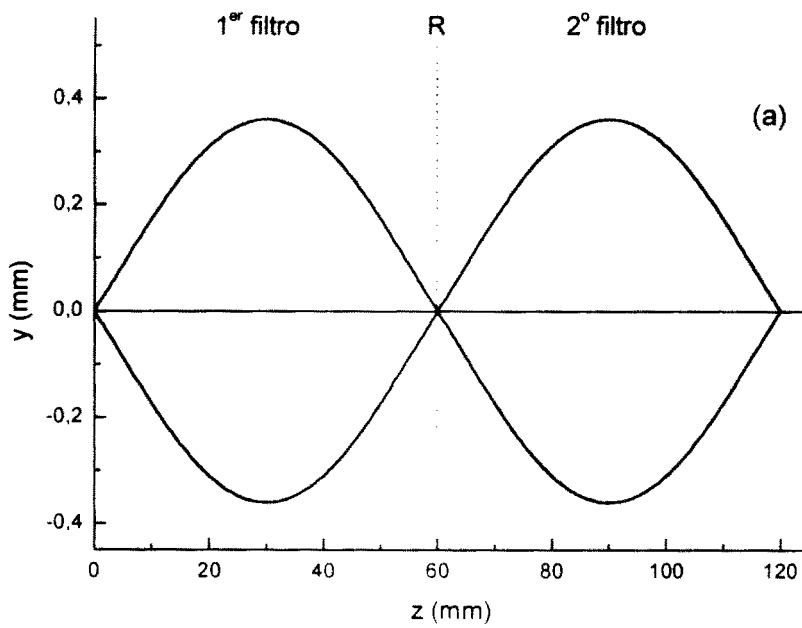


Figura 6

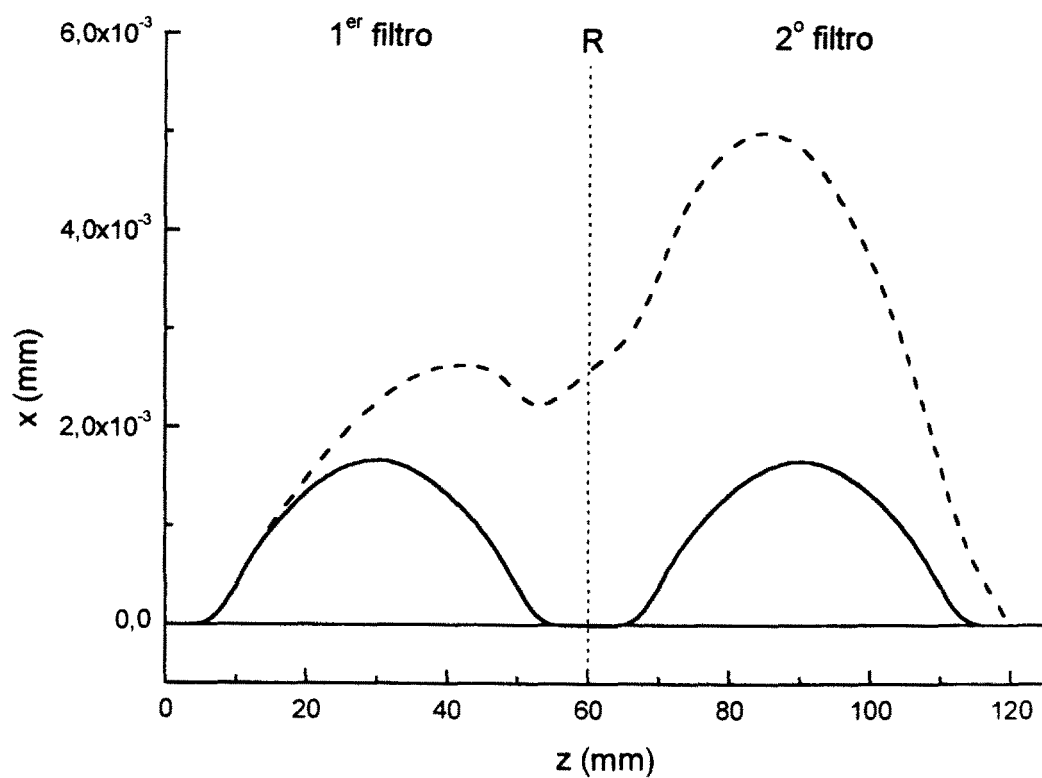


Figura 7

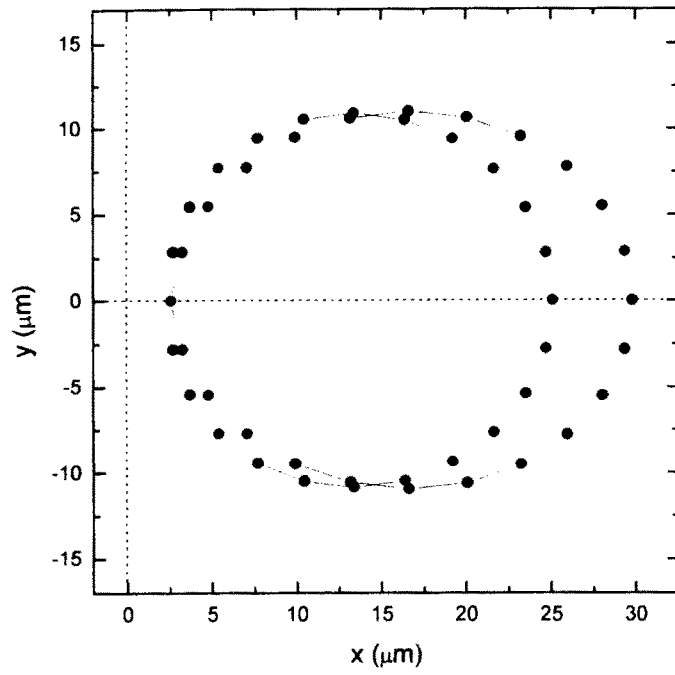


Figura 8

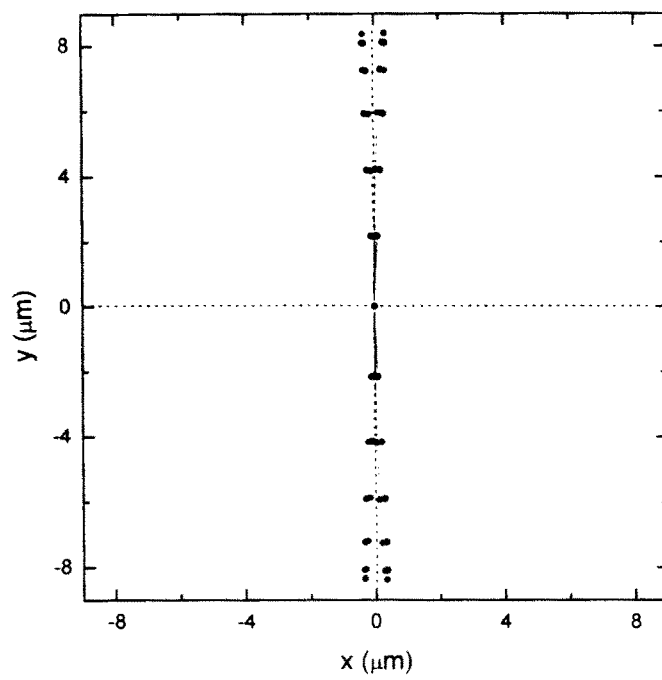
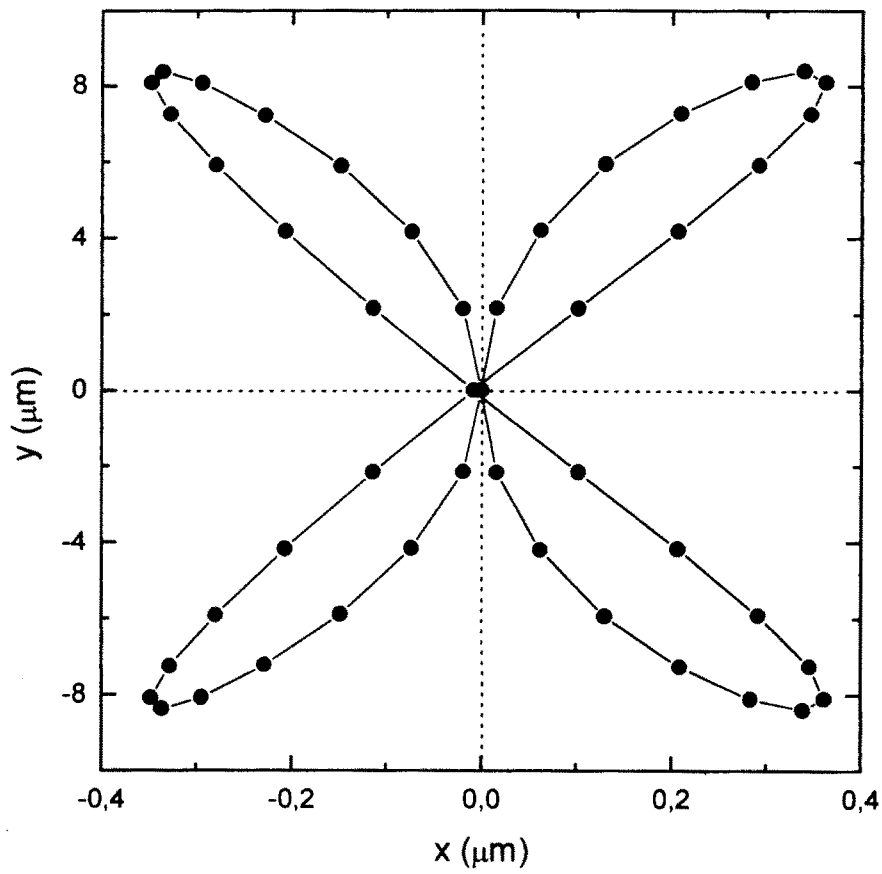
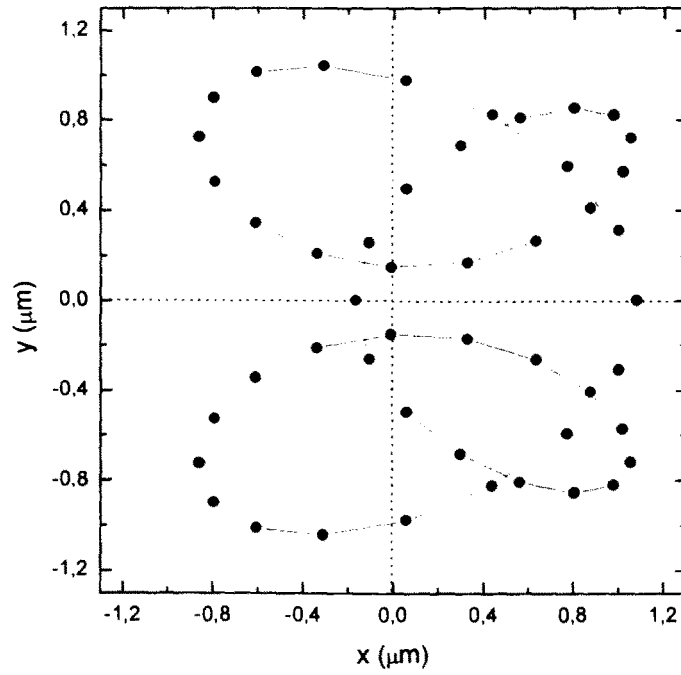


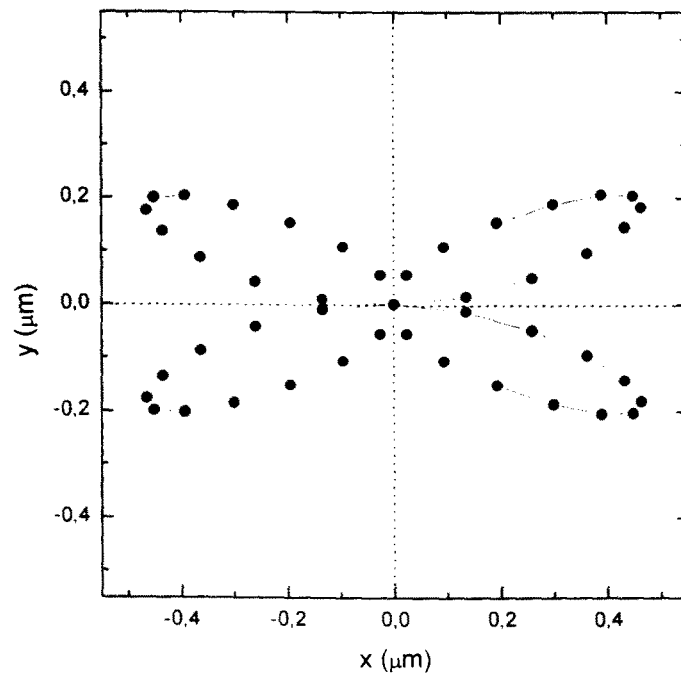
Figura 9



**Figura 10**



**Figura 11**



**Figura 12**





OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 222 793

② Nº de solicitud: 200300666

③ Fecha de presentación de la solicitud: **21.03.2003**

④ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.7: H01J 37/153, 37/05

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
E	EP 1335402 A (LÓPEZ et al.) 13.08.2003, todo el documento.	1,3,8
A	EP 989584 A (ADVANTEST CORPORATION) 29.03.2000, párrafos [0001]-[0011],[0015]-[0019],[0024]-[0037].	1,8
A	US 6111253 A (TSUNO) 29.08.2000, página 1, línea 59 - página 3, línea 30.	1,3,8

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

17.12.2004

Examinador

A. Navarro Farell

Página

1/1