

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 993 723**

(51) Int. Cl.:

**G01V 5/00**

(2014.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.01.2022 PCT/GB2022/050019**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **13.10.2022 WO22214775**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.01.2022 E 22701674 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2024 EP 4320465**

---

(54) Título: **Un sistema de cribado**

(30) Prioridad:

**06.04.2021 GB 202104892**

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

**07.01.2025**

(73) Titular/es:

**HALO X RAY TECHNOLOGIES LIMITED (100.00%)  
Unit 2 Castle Park, Queens Drive  
Nottingham NG2 1AH, GB**

(72) Inventor/es:

**DICKEN, ANTHONY y  
SPENCE, DANIEL**

(74) Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

**ES 2 993 723 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

Un sistema de cribado

Campo de la divulgación

La divulgación se refiere a un sistema de cribado. En particular, la divulgación se refiere a un sistema de control para identificar sustancias restringidas o ilícitas que pueden estar presentes en diversos artículos, incluidos algunos equipajes o el correo.

Antecedentes

Diversas zonas restringidas, como aeropuertos, instalaciones sensibles de infraestructuras nacionales y algunos espacios públicos, requieren a menudo un sistema de control. Los sistemas tradicionales de control de seguridad por absorción de rayos X son una herramienta eficaz para identificar automáticamente amenazas y otros tipos de contrabando que puedan estar presentes en algunos equipajes. Sin embargo, el alto índice de detección de estos sistemas suele dar lugar a un alto índice de falsas alarmas, en las que elementos benignos se etiquetan erróneamente como amenaza. Esto se traduce en medidas de control de seguridad adicionales, un aumento de los puntos de contacto entre el personal de seguridad y el equipaje de los pasajeros para resolver la alarma y el consiguiente aumento de los tiempos de espera.

Para reducir los casos de falsa alarma, algunos sistemas de cribado pueden implementar una primera etapa en forma de preselector de absorción de rayos X, y una segunda etapa que utiliza información de dispersión/difracción para confirmar o anular una señal de alarma generada por la primera etapa. Estos sistemas son relativamente complejos y aumentan el tiempo total de exploración.

Es un objeto de la divulgación abordar una o más de las limitaciones antes mencionadas.

El documento US 2018/113084 describe un sistema de metrología para su uso durante el proceso de fabricación de semiconductores. El sistema se utiliza para detectar defectos en las obleas. El lugar de incidencia del haz de iluminación sobre la superficie de la oblea se determina en función de la oclusión del haz de iluminación por dos o más elementos de oclusión. El centro del haz de iluminación se determina a partir de los valores medidos del flujo transmitido y de un modelo de la interacción del haz con cada elemento de oclusión. La posición del eje de rotación que orienta una oblea sobre una gama de ángulos de incidencia se ajusta para alinearse con la superficie de la oblea e intersecar el haz de iluminación en el lugar de medición. El documento US 2016/223706 describe un sistema de exploración que utiliza una combinación de tomografía computarizada (TC) y dispersión coherente de rayos X (CXS) para el cribado de líquidos, aerosoles y geles (LAGS). En una exploración primaria, se explora una bolsa mediante una técnica de TC de doble energía con radiación de haz en abanico. En caso de alarma, el contenedor LAG alarmante se explora de nuevo utilizando la técnica CXS con radiación de haz de concha cónica.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un sistema de cribado para cribado de un artículo, como se define en la reivindicación 1, el sistema de cribado comprende un aparato de detección que comprende una parte emisora para generar un haz primario de radiación ionizante y una parte detectora para detectar una señal de absorción y al menos una de una señal de difracción y una señal de dispersión; el sistema de cribado comprende además una plataforma giratoria adaptada para recibir el artículo; y una disposición mecánica adaptada para trasladar el aparato de detección a lo largo de un eje de translación para explorar el artículo con el haz primario.

Por ejemplo, el artículo puede ser un equipaje que contenga varios artículos. También puede ser una carta o un paquete.

Siempre de acuerdo con la invención, el eje de translación es sustancialmente paralelo a una superficie de la plataforma giratoria.

Opcionalmente, tras la rotación de la plataforma giratoria y la translación del aparato de detección, el aparato de detección recoge datos a lo largo de una trayectoria curva en un marco de referencia de la plataforma giratoria.

Por ejemplo, la trayectoria curva puede formar una espiral bidimensional. Opcionalmente, la plataforma giratoria es giratoria alrededor de un eje de rotación y en el que el eje de translación es sustancialmente perpendicular al eje de rotación y se cruza con el eje de rotación.

Por ejemplo, el eje de rotación puede estar situado en el centro geométrico de la plataforma.

Opcionalmente, la porción emisora comprende una fuente de radiación ionizante y un formador de haz adaptado para generar el haz primario de radiación ionizante.

Por ejemplo, la fuente de radiación ionizante puede ser una fuente de rayos X tal como una fuente puntual de rayos X.

Opcionalmente, la fuente de radiación ionizante es una fuente policromática.

Opcionalmente, la porción detectora comprende un sensor de absorción, un detector de resolución de energía y un colimador, el colimador comprende una pluralidad de canales, cada canal está adaptado para recibir radiación difractada o dispersada.

- 5 Por ejemplo, el sensor de absorción puede ser un detector de absorción de rayos X tal como un detector de anillo de energía dual. El sensor de absorción puede estar situado antes del colimador, o entre el colimador y el detector de resolución de energía, o después del detector de resolución de energía.

Opcionalmente, el haz primario tiene asociado un eje de propagación característico, y en el que el colimador se proporciona a lo largo del eje de propagación característico del haz primario.

- 10 Opcionalmente, el detector de resolución de energía es de resolución espacial. Por ejemplo, el detector de resolución de energía puede ser un detector de resolución de energía pixelado.

De acuerdo con la invención, el haz primario es un haz cónico de radiación ionizante.

- 15 Opcionalmente, el sistema de cribado comprende un procesador configurado para recibir un primer conjunto de datos del aparato de detección para formar una primera imagen y un segundo conjunto de datos del aparato de detección para formar una segunda imagen, en la que la primera y la segunda imagen se superponen espacialmente.

Opcionalmente, la primera imagen es una imagen de absorción y la segunda imagen es una imagen de difracción o de dispersión del artículo.

- 20 Opcionalmente, el detector de resolución de energía es un detector de resolución de energía pixelado y el procesador está configurado para procesar el segundo conjunto de datos para corregir la dependencia angular de cada píxel del detector de resolución de energía.

Opcionalmente, el sensor de absorción comprende una pluralidad de elementos detectores de absorción y el procesador está configurado para procesar el primer conjunto de datos para corregir la dependencia angular de cada elemento detector de absorción.

- 25 Por ejemplo, el procesador puede estar configurado para aplicar un factor de corrección de orientación.

Opcionalmente, el procesador está configurado para ejecutar un algoritmo de reconstrucción para obtener una pluralidad de imágenes de absorción de diferentes planos de profundidad, para seleccionar una imagen de absorción de un plano y para superponer la imagen de absorción seleccionada con una imagen de difracción o dispersión correspondiente del mismo plano.

- 30 Por ejemplo, el algoritmo de reconstrucción puede ser un algoritmo de reconstrucción de tomosíntesis.

Opcionalmente, el procesador está configurado para realizar la segmentación de imagen de al menos una de la primera imagen y la segunda imagen para identificar una o más regiones de interés y realizar la clasificación de imagen de dicha una o más regiones de interés.

- 35 Por ejemplo, el procesador puede estar configurado para ejecutar un primer algoritmo para realizar la segmentación de la imagen y un segundo algoritmo para realizar la clasificación de la imagen.

Opcionalmente, el procesador está configurado para calcular un parámetro de muestra basado en el segundo conjunto de datos para identificar la naturaleza de una muestra a identificar, en el que el parámetro de muestra comprende un espaciado de red.

Por ejemplo, la muestra puede ser un artículo presente en el artículo o una porción de un artículo.

- 40 Opcionalmente, el sistema de cribado comprende un controlador adaptado para controlar el movimiento del aparato de detección y de la plataforma giratoria.

Por ejemplo, la disposición mecánica puede comprender al menos un miembro guía, y el controlador puede estar configurado para trasladar el aparato de detección a lo largo de dicho al menos un miembro guía.

- 45 Por ejemplo, el controlador puede estar adaptado para hacer funcionar el sistema de cribado en un primer modo en el que la plataforma giratoria gira con una frecuencia constante y el aparato detector se desplaza con una velocidad lineal constante, o en un segundo modo en el que la velocidad angular de la plataforma giratoria y la velocidad lineal del aparato detector se ajustan con el tiempo de modo que la velocidad del aparato detector a lo largo de la trayectoria curva permanece constante.

- 50 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método para examinar un artículo, como se define en la reivindicación 14, el método comprende proporcionar una plataforma giratoria adaptada

para recibir el artículo; proporcionar un aparato de detección que comprende una porción emisora para generar un haz primario de radiación ionizante y una porción detectora para detectar una señal de absorción y al menos una de las señales de difracción y dispersión; girar la plataforma giratoria y trasladar el aparato de detección a lo largo de un eje de traslación para examinar el artículo con el haz primario.

- 5 Opcionalmente, el método comprende detectar la señal de absorción y la señal de difracción y la señal de dispersión simultáneamente.

Las opciones descritas con respecto al primer aspecto de la divulgación son también comunes al segundo aspecto de la divulgación.

#### Descripción detallada

- 10 La divulgación se describe con más detalle a continuación a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1A es un diagrama de un aparato de detección para medir señales de absorción y difracción o dispersión de alta energía;

La figura 1B es una vista en sección del aparato de detección de la figura 1A;

- 15 La figura 2A es una imagen de absorción de doble energía de una bandeja de ensayo llena de diversos materiales de muestra;

La figura 2B es una imagen de dispersión/difracción codificada por colores de la misma bandeja de ensayo;

La figura 3 es un diagrama de un sistema de cribado que utiliza el aparato de la figura 1;

- 20 La figura 4A es un diagrama que ilustra el movimiento de exploración o la trayectoria de exploración del sistema de cribado de la figura 3;

La figura 4B es una vista superior del diagrama de la figura 4A;

La figura 5 es un diagrama que ilustra la posición de un píxel de un detector de resolución de energía con y sin corrección de orientación;

La figura 6 es un diagrama de flujo de un método para cribar un artículo.

- 25 La figura 1A es un diagrama de un aparato de detección 100 para medir tanto la absorción de alta energía como la difracción o dispersión de alta energía. El aparato de detección incluye una porción emisora para generar un haz primario de radiación ionizante y una porción detectora para detectar una señal de absorción y al menos una de una señal de difracción y una señal de dispersión. El haz primario 130 también puede denominarse como sonda o haz de sonda.

- 30 La porción emisora está formada por una fuente de radiaciones ionizantes 110, como una fuente de rayos X o rayos gamma, y una máscara o formador de haz 120. La fuente de radiación ionizante 110 se alinea con la máscara 120 para formar el haz primario 130 de radiación electromagnética.

- 35 La fuente de radiación ionizante 110 puede estar adaptada para proporcionar radiaciones electromagnéticas EM de alta energía. Por ejemplo, las radiaciones EM de alta energía pueden tener fotones de energía superior a aproximadamente 1 keV. Las radiaciones EM de alta energía pueden ser radiaciones de rayos X duros con fotones de energía superior a unos 10 keV. Por ejemplo, la fuente 110 puede incluir una fuente de rayos X que proporcione rayos X con una energía comprendida entre unos 20 keV y unos 200 keV. La fuente de radiación ionizante 110 puede ser una fuente policromática como, por ejemplo, una fuente policromática de rayos X.

- 40 La máscara 120 puede estar formada por un cuerpo sólido de material radiopaco provisto de una hendidura perfilada. Algunos ejemplos de materiales radiopacos que pueden bloquear los rayos X son el tungsteno o las aleaciones de acero y plomo o de combinaciones de estos materiales. La máscara 120 puede estar provista de una hendidura de forma anular para formar un haz primario 130 con un perfil de concha cónica y denominado haz de concha cónica. Alternativamente, la máscara 120 puede diseñarse para formar un haz primario que tenga otras formas de haz hueco. En el presente ejemplo la fuente es una fuente policromática de rayos X y el haz primario un haz anular policromático de rayos X.

- 45 La porción detectora está formada por un sensor de absorción de radiación ionizante 140, un colimador 150 y un detector de resolución de energía 160 para detectar la energía de los fotones dispersados o difractados de un material de muestra.

- 50 El sensor de absorción de radiación ionizante 140 se proporciona en el eje de propagación 105 a una distancia L de la máscara 120. En este ejemplo, el sensor de absorción está situado entre la máscara 120 y el colimador;

sin embargo, en otras realizaciones, el sensor de absorción 140 puede estar situado entre el colimador 150 y el detector de resolución de energía 160 o después del detector de resolución de energía 160. Por lo tanto, el sensor 140 puede colocarse en diversos puntos del eje de propagación 105, con su superficie sustancialmente paralela a la máscara 120. El tamaño del sensor de absorción puede seleccionarse en función de la disposición elegida para captar la radiación del haz primario. El sensor de absorción 140 tiene forma hueca. El sensor de absorción 140 tiene un área de detección provista de una pluralidad de elementos detectores de absorción distribuidos a lo largo de sus longitudes (no mostrados), y un centro hueco para dejar que los fotones que se dispersan/difractan viajen hacia el colimador 150. En este ejemplo, el sensor de absorción 140 es un sensor de absorción de rayos X anular. El espacio proporcionado entre la máscara 120 y el sensor de absorción 140 forma un volumen de inspección para recibir un material de muestra 180. Un sensor anular facilita una medición suplementaria del número de rayos absorbidos por el material de la muestra y no impide la dispersión/difracción de los fotones. Las señales de dispersión y absorción pueden captarse simultáneamente.

El colimador 150, también denominado estructura de rejilla, se proporciona en el eje de propagación 105 entre el sensor de absorción 140 y el detector de resolución de energía 160. El colimador 150 puede colocarse de forma que la superficie de entrada del colimador sea sustancialmente normal al eje de propagación 105. El detector 160 se coloca de forma que su superficie de detección sea sustancialmente paralela a la superficie de salida del colimador 150. El colimador 150 sirve para limitar la incidencia de la radiación electromagnética sobre el detector 160, que sólo recoge los datos procedentes de un determinado ángulo de dispersión o difracción. El colimador 150 es alargado e incluye una pluralidad de canales que se extienden entre su entrada y su salida. Los canales pueden tener una sección transversal hexagonal, o formas diferentes que permitan disponer los canales de forma teselada. Las paredes que forman los canales pueden estar formadas por un material adecuado para bloquear o atenuar sustancialmente la radiación de rayos X, como el tungsteno o una aleación de plomo y antimonio.

El detector de resolución de energía 160 puede ser de resolución espacial, tal como un detector de rayos X de resolución de energía pixelado. El detector de resolución de energía 160 y el sensor de absorción 140 pueden acoplarse a un analizador de datos para almacenar y analizar los datos recogidos.

Se apreciará que se proporcionarán varias características mecánicas (no mostradas) para mantener el sensor de absorción 140, el colimador 150 y el detector de resolución de energía 160 en posición relativa entre sí. También se puede proporcionar una carcasa para encerrar o encerrar parcialmente los elementos de la parte del detector. De forma similar, se proporcionarán características mecánicas para sujetar la fuente 110 y la máscara 120. También se puede proporcionar una carcasa para encerrar o encerrar parcialmente los elementos de la parte emisora. Un miembro longitudinal puede también ser proporcionado para sostener la porción del emisor y la porción del detector en una alineación deseada con respecto a uno al otro.

En funcionamiento, el haz primario 130 produce una huella circular en el plano del sensor de absorción 140. Cuando se coloca un material de muestra 180 dentro del volumen de inspección, el detector 160 mide la energía de los fotones dispersados por el material de muestra en ángulos de dispersión conocidos, y el sensor de absorción 140 mide una señal de absorción de la radiación ionizante. La recogida de datos del sensor de absorción 140 y del detector de resolución de energía 160 puede producirse secuencial o simultáneamente.

La figura 1B ilustra una sección transversal del aparato 100 de la figura 1A a lo largo de una línea A-A', cuando se proporciona un material de muestra difractante 180 dentro del volumen de inspección. Por ejemplo, el material de muestra difractante puede ser un objeto o porción de un objeto presente en algún equipaje. El haz cónico 130 está formado por una pluralidad de rayos de radiación electromagnética, también denominados rayos primarios. El material de muestra 180 se cruza con el haz primario 130 en el punto P3. Esto produce un rayo 176 de fotones difractados en un ángulo de difracción fijo. El rayo 176 atraviesa el colimador 150 y es recogido por el píxel 163 del detector 160 de resolución de energía. El rayo primario 132, tras atravesar el material de muestra 180, se mide en el punto P1 del sensor de absorción 140. Del mismo modo, el rayo primario no atenuado 134 se detecta en el punto P2 del sensor 140.

Se apreciará que el sistema también podría funcionar con una muestra amorfa que produce un rayo disperso a un ángulo disperso fijo.

La distribución espacial de los fotones incidentes en el detector 160 proporciona la localización de la muestra difractante 180. Dicho de otro modo, las coordenadas tridimensionales (x,y,z) de la muestra 180 pueden recuperarse a partir de la ubicación de los píxeles que miden la señal. Por ejemplo, las coordenadas tridimensionales pueden definirse con respecto a un origen situado en el centro de la superficie del detector 160, como se muestra en la figura 1B. La naturaleza de la muestra difractante puede obtenerse calculando el espaciado  $d$  de la muestra a partir de la energía de los fotones.

La distribución angular/energética de la intensidad dispersa es única para cada estructura cristalina diferente y, por lo tanto, puede utilizarse para identificar un material y determinar características como las dimensiones de la red, el tamaño del cristalito y el porcentaje de cristalinidad. La relación entre la separación de la red ( $d$ ) y el ángulo ( $\theta$ ) subtendido por la radiación difractada o dispersada desde un plano de átomos dentro de un cristal

viene dada por la condición de Bragg:  $n\lambda = 2d \sin\theta$ , en la que  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación entrante y ( $n$ ) es un número entero. El ángulo subtendido por la radiación difractada o dispersa y la radiación interrogadora o primaria es  $2\theta$  (dos theta). El ángulo dos-theta es el ángulo entre un haz de rayos X incidente y los rayos X difractados. El ángulo dos-teta en el que los fotones dispersos son recogidos por cada canal del colimador viene determinado por el ángulo subtendido por el eje longitudinal del canal del colimador y el haz primario 130. El colimador 150 recoge el flujo disperso que se propaga normal a la superficie de detección y, por tanto, el ángulo de apertura del haz primario determina en este caso el ángulo dos-teta.

La figura 2 ilustra imágenes de ejemplo creadas mediante exploración rasterizada del aparato de la figura 1 sobre una bandeja de prueba llena de diferentes materiales de muestra. La exploración rasterizada puede lograrse al barrer el haz primario a lo largo de una trayectoria en diente de sierra. Si la bandeja está sobre una cinta transportadora, la sonda la recorre de forma continua mientras la cinta se desplaza de forma incremental.

En este ejemplo, el sensor de absorción 140 era un sensor de anillo de absorción de energía dual y el detector 160 era un detector pixelado de resolución de energía. La figura 2A ilustra una imagen de absorción de doble energía 210 de la bandeja de prueba obtenida a partir de los datos de absorción recogidos por el sensor de anillo de absorción de doble energía. La figura 2B muestra una imagen de dispersión/difracción codificada por colores 220 de la bandeja de ensayo obtenida a partir de los datos de dispersión/difracción recogidos por el detector pixelado de resolución de energía. En este ejemplo, la información recogida por el sensor de absorción y el detector de resolución de energía se capturó simultáneamente y las imágenes 210 y 220 se alinearon espacialmente. Dicho de otro modo, las imágenes se registran conjuntamente.

Los rayos X interactúan con la materia a través de diferentes procesos que incluyen la producción de pares, la absorción por efecto fotoeléctrico y los procesos de dispersión elástica (Rayleigh o Thomson) e inelástica (Compton). Las técnicas basadas en la absorción, como la absorciometría de rayos X de energía dual (DXA), pueden utilizarse para establecer el número atómico Z y la densidad electrónica de un material al medir la atenuación de un haz de rayos X transmitido a través de una muestra a dos energías de rayos X diferentes.

Los fotones de rayos X que han sufrido el efecto fotoeléctrico o la dispersión Compton se miden por su ausencia en la señal detectada. Sin embargo, las técnicas de rayos X de doble energía no proporcionan información estructural (espaciado d) de la muestra. La difracción de rayos X puede utilizarse para identificar la naturaleza de un material con cierto grado de orden estructural, por ejemplo un patrón repetitivo de átomos, con un alto grado de precisión. Las técnicas de difracción de rayos X, como la cristalográfica de rayos X, utilizan un proceso de dispersión elástica, como la dispersión Rayleigh, en la que un rayo X saliente tiene la misma longitud de onda que un rayo X entrante. Un patrón de difracción producido por la radiación dispersa de Rayleigh se utiliza para determinar la estructura reticular de la materia de la muestra inspeccionada mediante la Ley de Bragg.

La figura 3 ilustra un sistema de cribado. El sistema de cribado 300 incluye una plataforma giratoria 310 para recibir un artículo a explorar, como por ejemplo algún equipaje, y un aparato de detección 100 como el descrito anteriormente en la figura 1. El aparato de detección 100 tiene una porción emisora para generar un haz primario de radiación ionizante y una porción detectora para detectar una señal de absorción y al menos una de una señal de difracción y una señal de dispersión. Se proporciona una disposición mecánica 320 y 330 para trasladar el aparato 100 a lo largo de un eje de traslación 315 para explorar el artículo con el haz primario. Se proporciona un controlador 340 para controlar el movimiento del aparato de detección 100 y de la plataforma giratoria 310. Se proporciona un analizador de datos 350 para recibir datos de la parte del detector del aparato 100 y realizar el análisis de datos.

Como se ha mencionado anteriormente en la figura 1, el aparato de detección 100 puede implementarse de diferentes maneras. Por ejemplo, el sensor de absorción 140 puede proporcionarse en el eje de propagación del haz primario 130 antes del colimador 150, o entre el colimador 150 y el detector de resolución de energía 160, o después del detector de resolución de energía 160. El sistema 300 no se limita a ninguna implementación particular del aparato de detección 100.

La plataforma 310 debe estar hecha de un material que interactúe débilmente o no interactúe en absoluto con la radiación ionizante utilizada, como las radiaciones de rayos X. Por ejemplo, la plataforma 310 puede estar hecha de fibra de carbono. La plataforma giratoria puede girar alrededor de un eje de rotación 305, situado en el centro geométrico, también denominado centroide de la plataforma 310. En este ejemplo la plataforma tiene una forma circular, sin embargo se apreciará que la plataforma puede tener una forma geométrica diferente. El eje de traslación 315 es sustancialmente perpendicular al eje de rotación 305 y se cruza con el eje de rotación, ilustrado como el punto virtual A en la figura 3. Como resultado, el eje de traslación 315 es sustancialmente paralelo a la superficie 312 de la plataforma giratoria sobre la que se proporciona el artículo 360. Mediante una disposición en la que el eje de rotación 305 está situado en el centro geométrico de la plataforma 310, y el eje de traslación 315 pasa por encima del centro de la plataforma, se obtiene un sistema de exploración sencillo y fiable que limita la tensión sobre los cojinetes del sistema y facilita el análisis de los datos utilizando un marco de referencia relativamente sencillo. Sin embargo, se apreciará que el eje de rotación 305 no tiene que estar necesariamente en el centro geométrico de la plataforma 310, ni el eje de traslación 315 tiene que pasar necesariamente por el centro de la plataforma, y que podrían preverse geometrías fuera del eje / fuera del centro.

La disposición mecánica puede implementarse de varias maneras de forma que la porción emisora (110/120) y la porción detectora (140, 150, 160) del aparato 100 se muevan como una unidad. En este ejemplo, la disposición mecánica incluye dos miembros de guía paralelos 320 y 330 para trasladar la porción emisora y la porción detectora, respectivamente. El primer miembro de guía 320 se proporciona por encima de la plataforma 310 mientras que el segundo miembro de guía 330 se proporciona por debajo de la plataforma 310. En una realización alternativa se utiliza un único miembro guía y las distintas partes del aparato 100 se mantienen unidas mediante un brazo acoplado al miembro guía.

En funcionamiento, un usuario coloca un artículo 360 para ser explorado en la plataforma 310. A continuación, el controlador inicia el proceso de exploración activando el aparato de detección y controlando el movimiento de la disposición mecánica y el movimiento de la plataforma. La parte emisora genera el haz primario de radiación ionizante y la parte detectora detecta una señal de absorción y una señal de difracción/dispersión. La plataforma 310 gira con respecto al eje de rotación 305 y el aparato de detección 100 se desplaza a lo largo del eje de traslación 315. Tras la rotación de la plataforma giratoria y la traslación del aparato detector, éste recoge datos a lo largo de una trayectoria curva en un marco de referencia de la plataforma giratoria. Por ejemplo, la trayectoria curva puede ser una espiral bidimensional. El sensor de absorción 140 y el detector de resolución de energía 160 pueden funcionar para recoger datos de forma simultánea o secuencial. El controlador 340 está configurado para controlar la velocidad de rotación y la velocidad lineal del movimiento de traslación del aparato de detección. Por ejemplo, el controlador 340 puede estar adaptado para hacer funcionar el sistema de cribado en un primer modo en el que la plataforma giratoria gira con una frecuencia constante y el aparato detector se desplaza con una velocidad lineal constante, o en un segundo modo en el que la velocidad angular de la plataforma giratoria y la velocidad lineal del aparato detector se ajustan con el tiempo de modo que la velocidad del aparato detector a lo largo de una trayectoria curva permanece constante.

El analizador de datos 350 puede incluir un medio de almacenamiento, y un procesador configurado para ejecutar instrucciones para llevar a cabo el procesamiento de los datos. Las instrucciones pueden descargarse o instalarse desde un medio legible por ordenador que se proporciona para implementar el análisis de datos de acuerdo con la divulgación.

El procesador puede estar configurado para recibir un primer conjunto de datos del sensor de absorción 140 para formar una imagen de absorción y un segundo conjunto de datos del detector de resolución de energía 160 para formar una imagen de difracción/dispersión.

El procesador está configurado para ejecutar un algoritmo de corrección para corregir la dependencia angular de los datos recogidos por el sensor de absorción y el detector de resolución de energía, respectivamente. Por ejemplo, el procesador puede estar configurado para procesar el primer conjunto de datos para corregir la dependencia angular de cada detector de absorción del sensor de absorción 140. Del mismo modo, el procesador puede estar configurado para procesar el segundo conjunto de datos para corregir la dependencia angular de cada píxel del detector 160 de resolución de energía.

El procesador también puede estar configurado para realizar varias etapas para obtener una imagen de absorción y una imagen de difracción/dispersión que se superponen espacialmente. Las señales de absorción y difracción de cualquier punto del espacio se miden preferentemente de forma simultánea, pero también podrían medirse en distintos momentos. El método para reconstruir las imágenes de absorción y las imágenes de difracción/dispersión en cada espacio respectivo es diferente.

La señal de absorción se utiliza para realizar la tomosíntesis. El procesador está configurado para ejecutar un algoritmo de reconstrucción de tomosíntesis para obtener las imágenes de absorción. Las imágenes de diferentes planos de profundidad se obtienen, por ejemplo, desplazando y sumando las mismas señales de absorción. La cantidad de desplazamiento determina qué plano de profundidad está enfocado y qué planos de profundidad alternativos (por encima o por debajo) están desenfocados o borrosos. No hay ampliación en este enfoque.

Se puede producir una imagen de dispersión/difracción basada en un análisis discriminante lineal (LDA) en el que los espectros de cada píxel del detector 160 de resolución de energía se multiplican por una ponderación por energía antes de ser sumados. Las ponderaciones por energía pueden calcularse de forma que acentúen el objeto de interés en comparación con sus vecinos. La energía en cada píxel también podría integrarse para obtener la dispersión/difracción total. También pueden obtenerse imágenes de dispersión/difracción para un rango de energía específico. Por ejemplo, puede obtenerse una imagen 2D que muestre únicamente fotones con una energía comprendida entre 100-110 keV. Cada fotón detectado es isomorfo en el sentido de que sólo puede proceder de un lugar del espacio 3D. Tampoco hay aumento en este enfoque. El corregistro se consigue seleccionando una imagen de absorción de un plano de profundidad y superponiéndola a la imagen difractada/esparcida del mismo plano de profundidad.

El procesador puede ejecutar un algoritmo de segmentación para realizar la segmentación de la imagen de absorción para identificar una o más regiones de interés. A continuación, puede ejecutarse un algoritmo de clasificación para realizar la clasificación de imágenes de las regiones de interés identificadas utilizando la

información de dispersión/difracción. La clasificación de la imagen también puede realizarse en la imagen de absorción. Si dos objetos que se tocan comparten la misma señal de absorción, no se pueden segmentar utilizando únicamente la señal de absorción. La utilización de datos de absorción y de dispersión/difracción permite mejorar la segmentación y la clasificación.

- 5 Por ejemplo, el procesador puede estar configurado para ejecutar un algoritmo para calcular un parámetro de la muestra que puede utilizarse para identificar la muestra. Por ejemplo, el parámetro puede ser un espaciado reticular (espaciado d) de la muestra. A continuación, la clasificación puede realizarse mediante un conjunto de reglas. Alternativamente, se pueden clasificar materiales específicos como objetivos. Por ejemplo, se puede utilizar una biblioteca de materiales objetivo que enumere los valores d para cada objetivo de interés. La identificación de la muestra puede entonces comunicarse a un tercero mediante una pantalla adecuada u otro tipo de indicio, como una señal de alarma audible o visible. El procesador puede estar en un servidor remoto en comunicación con el aparato de detección.

Una ventaja del sistema propuesto es la precisión con la que pueden integrarse las señales de dispersión/difracción. Si el objeto de interés estuviera, por ejemplo, parcialmente oculto por un objeto que interfiriera o intercalado dentro de otro objeto (por ejemplo, un ordenador portátil), la integridad de los fotones dispersos/difractados recogidos disminuiría. La naturaleza co-registrada de las imágenes significa que las señales dispersas/difractadas pueden seleccionarse sólo del objeto de interés (aislando y eliminando los píxeles que intersectan el objeto que interfiere) o de las partes de los objetos que han sufrido menos interferencias (es decir, las partes no oscurecidas por las piezas metálicas de un ordenador portátil). Al recoger tanto las señales de absorción como las de dispersión/difracción utilizando un haz de sonda y un sistema de detección comunes y combinando la información derivada de la señal de absorción y de la señal de dispersión/difracción, el sistema propuesto permite reducir la probabilidad de falsas alarmas sin aumentar indebidamente la complejidad del sistema.

25 El sistema de cribado 300 puede utilizarse como sistema de autocribado. Por ejemplo, en un aeropuerto, un pasajero puede cargar su equipaje en la plataforma, esperar a que se realice el exploración y recibir una señal para pasar por una puerta de embarque o, alternativamente, puede saltar una alarma si se ha identificado un objeto sospechoso.

El sistema de cribado 300 también podría utilizarse como plataforma de inspección de correo para identificar objetos no autorizados, productos químicos peligrosos u otros materiales que puedan incluirse en cartas o paquetes.

30 La figura 4A es un diagrama que ilustra el movimiento de exploración o la trayectoria de exploración del sistema de cribado de la figura 3 en el marco de referencia de la plataforma. La figura 4B es una vista superior del diagrama de la figura 4A.

35 El movimiento lineal del conjunto de porción emisora/porción detectora 100 combinado con el movimiento rotacional de la plataforma 310 produce una trayectoria curva plana que forma una espiral.

Con cada revolución de la plataforma 310,  $(\theta - \theta_0) = n2\pi$ , el aparato de detección 100 habrá recorrido una distancia r desde su posición en  $(\theta - \theta_0) = (n - 1)2\pi$ . Esta distancia recorrida con cada vuelta completa se denomina paso (P). La velocidad del aparato 100 se denomina velocidad lineal de la sonda,  $\frac{\partial r_p}{\partial t}$  se relaciona con el cabeceo y la velocidad angular,  $\omega$  mediante el siguiente sistema de ecuaciones:

$$40 \quad \frac{\partial r_p}{\partial t} = \left( \frac{\partial r_p}{\partial \theta_p} \right) \left( \frac{\partial \theta_p}{\partial t} \right)$$

$$\frac{\partial r_p}{\partial t} = \left( \frac{p}{2\pi} \right) \omega(t)$$

45 El sistema de cribado 300 puede funcionar en diferentes modos. En un primer modo, denominado modo de velocidad angular constante (CAV), la plataforma giratoria gira con una frecuencia constante y el aparato 100 se desplaza con una velocidad lineal que también permanece constante. En un segundo modo denominado velocidad en espiral constante (velocidad lineal constante en el sistema de coordenadas en espiral), la velocidad angular de la plataforma giratoria 310 y la velocidad lineal del aparato 100 cambian con el tiempo, de modo que la velocidad de la sonda 130 a lo largo de la trayectoria en espiral permanece constante.

50 En el tiempo t, la posición del centro del haz primario 130 (sonda), en el marco de referencia de la plataforma rotatoria, se describe por coordenadas relativas al Centro de Rotación del sistema (CoR), en el plano de rotación,  $(r_p(t), \theta_p(t))$ . Las coordenadas cartesianas del centro de la sonda vienen dadas por:

$$x_p(t) = r_p(t) \cos(\theta_p(t))$$

$$y_p(t) = r_p(t) \sin(\theta_p(t))$$

Estas coordenadas describen la evolución de la trayectoria espiral en función del tiempo (Ver figura 4B). La imagen detectora reconstruida se genera mediante la combinación de imágenes detectoras en todas las etapas temporales.

- 5 El número de rotaciones necesarias para una exploración completa se define por la distancia entre la posición inicial del haz de la sonda 130 en su posición radial extrema y el centro de la plataforma 310 (más una distancia de desplazamiento desde el centro para tener en cuenta el hecho de que la sonda no tiene que llegar hasta el centro para conseguir una cobertura completa) dividida por la distancia de paso P. Por ejemplo, para explorar un disco de 300 mm de radio con un paso de 12 mm, detenerse en un radio de 12 mm desde el centro de 310 requeriría 24 rotaciones.

- 10 La figura 5 ilustra la posición de un píxel del detector de energía con y sin corrección de orientación. Como se ha descrito anteriormente, el detector de resolución de energía 160 puede ser un detector pixelado que tiene una matriz de píxeles. La posición de cada píxel en el tiempo t puede corregirse mediante una rotación en torno al punto central del detector. El ángulo de corrección es igual al ángulo de rotación  $\theta_p$  de la plataforma giratoria 310 en el tiempo t, de forma que las coordenadas cartesianas bidimensionales del píxel iésimo, en el sistema de referencia de reconstrucción estacionario, son:

$$\begin{aligned} x_i(t) &= x_p(t) + \Delta x_i \cos(\theta_p(t)) - \Delta y_i \sin(\theta_p(t)) \\ y_i(t) &= y_p(t) + \Delta y \cos(\theta_p(t)) + \Delta x_i \sin(\theta_p(t)) \end{aligned}$$

donde  $\Delta x_i$  y  $\Delta y_i$  son los vectores cartesianos ortogonales del iésimo píxel del conjunto de detectores con respecto al punto central del conjunto de detectores en la referencia de la plataforma giratoria desde  $\theta_p = 0$ .

- 20 Este método de corrección de la orientación también puede utilizarse para corregir los datos recogidos por el sensor de absorción 140.

- 25 El movimiento de exploración de una exploración rasterizada tradicional es ineficiente en el sentido de que se dedica una cantidad significativa de tiempo a acelerar y desacelerar la sonda. El movimiento de exploración propuesto en la divulgación es significativamente más eficaz que el exploración rasterizada y permite explorar toda una bandeja de control de seguridad más rápidamente que un exploración rasterizada tradicional comparable para un objeto/bandeja de tamaño similar.

- 30 La figura 6 es un diagrama de flujo de un método para cribar un artículo. En la etapa 610 se proporciona una plataforma giratoria adaptada para recibir el artículo. En la etapa 620 se proporciona un aparato de detección. El aparato de detección tiene una parte emisora para generar un haz primario de radiación ionizante y una parte detectora para detectar una señal de absorción y al menos una de las señales de difracción y dispersión. En la etapa 630, la plataforma giratoria gira y el aparato de detección se desplaza a lo largo de un eje de traslación para explorar el objeto con el haz primario.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de cribado (300) para cribado de un artículo (360), el sistema de cribado comprende  
un aparato de detección (100) que comprende una porción emisora para generar un haz primario (130) de  
radiación ionizante y una porción detectora para detectar una señal de absorción y al menos una de una señal  
5 de difracción y una señal de dispersión; el sistema de cribado comprende además  
una plataforma giratoria (310) adaptada para recibir el artículo (360); y el sistema de cribado caracterizado  
porque  
una disposición mecánica (320, 330) adaptada para trasladar el aparato de detección (100) a lo largo de un eje  
de traslación (315) para explorar el artículo con el haz primario;
- 10 en el que el eje de traslación (315) es sustancialmente paralelo a una superficie de la plataforma giratoria (310);  
en la que la plataforma giratoria (310) gira alrededor de un eje de rotación (305);  
en el que el haz primario (130) tiene asociado un eje de propagación característico (105); y  
en el que el eje de rotación (305) es sustancialmente paralelo al eje de propagación característico (105); y en  
el que el haz primario (130) es un haz de concha cónica de radiación ionizante.
- 15 2. El sistema de cribado como se reivindica en la reivindicación 1, en el que al girar la plataforma giratoria (310)  
y trasladar el aparato de detección (100), el aparato de detección recoge datos a lo largo de una trayectoria  
curva en un marco de referencia de la plataforma giratoria; y/o en el que el eje de traslación (315) es  
sustancialmente perpendicular al eje de rotación (305) y se cruza con el eje de rotación.
- 20 3. El sistema de cribado como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la porción  
emisora comprende una fuente de radiación ionizante (110) y un formador de haces (120) adaptado para  
generar el haz primario (130) de radiación ionizante.
4. El sistema de cribado como se reivindica en la reivindicación 3, en el que la fuente de radiación ionizante  
(110) es una fuente policromática.
- 25 5. El sistema de cribado como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la  
porción detectora comprende un sensor de absorción (140), un detector de resolución de energía (160) y un  
colimador (150), el colimador comprende una pluralidad de canales, cada canal está adaptado para recibir  
radiación difractada o dispersa.
- 30 6. El sistema de cribado como se reivindica en la reivindicación 5, en el que el colimador (150) se proporciona  
a lo largo del eje de propagación característico (105) del haz primario; y/o en el que el detector de resolución  
de energía (160) es de resolución espacial.
7. El sistema de cribado como se reivindica en la reivindicación 5 o 6, que comprende un procesador  
configurado para recibir un primer conjunto de datos del aparato de detección para formar una primera imagen  
y un segundo conjunto de datos del aparato de detección para formar una segunda imagen, en la que la primera  
y segunda imágenes se superponen espacialmente.
- 35 8. El sistema de cribado como se reivindica en la reivindicación 7, en el que la primera imagen es una imagen  
de absorción y en el que la segunda imagen es una imagen de difracción o de dispersión del elemento (360).
9. El sistema de cribado como se reivindica en la reivindicación 8, en el que el detector de resolución de energía  
(160) es un detector de resolución de energía pixelado y en el que el procesador está configurado para procesar  
el segundo conjunto de datos para corregir la dependencia angular de cada píxel del detector de resolución de  
40 energía.
10. El sistema de cribado como se reivindica en la reivindicación 8 o 9, en el que el sensor de absorción (140)  
comprende una pluralidad de elementos detectores de absorción y en el que el procesador está configurado  
para procesar el primer conjunto de datos para corregir la dependencia angular de cada elemento detector de  
absorción.
- 45 11. El sistema de cribado como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que el  
procesador está configurado para ejecutar un algoritmo de reconstrucción para obtener una pluralidad de  
imágenes de absorción de diferentes planos de profundidad, seleccionar una imagen de absorción de un plano  
y superponer la imagen de absorción seleccionada con una imagen de difracción o dispersión correspondiente  
del mismo plano.

- 5 12. El sistema de cribado como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, en el que el procesador está configurado para realizar la segmentación de imagen de al menos una de la primera imagen y la segunda imagen para identificar una o más regiones de interés y realizar la clasificación de imagen de dicha una o más regiones de interés; y/o en el que el procesador está configurado para calcular un parámetro de muestra basado en el segundo conjunto de datos para identificar la naturaleza de una muestra a identificar, en el que el parámetro de muestra comprende un espaciado de red.
- 10 13. El sistema de cribado como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores comprende un controlador (340) adaptado para controlar el movimiento del aparato de detección (100) y de la plataforma giratoria (310).
- 15 14. Un método para cribar un elemento (360), el método comprende proporcionar una plataforma giratoria (310) adaptada para recibir el artículo, en la que la plataforma giratoria puede girar alrededor de un eje de rotación (305); proporcionar un aparato de detección (100) que comprende una parte emisora para generar un haz primario (130) de radiación ionizante y una parte detectora para detectar una señal de absorción y al menos una señal de difracción y una señal de dispersión; el método se caracteriza por: hacer girar la plataforma giratoria (310) y trasladar el aparato de detección (100) a lo largo de un eje de traslación (315) para explorar el elemento (360) con el haz primario; en el que el eje de traslación (315) es sustancialmente paralelo a una superficie de la plataforma giratoria (310) y en el que el haz primario (130) es un haz de concha cónica de radiación ionizante el haz primario tiene un eje de propagación característico (105) asociado a él; y en el que el eje de rotación (305) es sustancialmente paralelo al eje de propagación característico (105).
- 20 15. El método como se reivindica en la reivindicación 14, que comprende detectar la señal de absorción y dicha al menos una de una señal de difracción y una señal de dispersión simultáneamente.

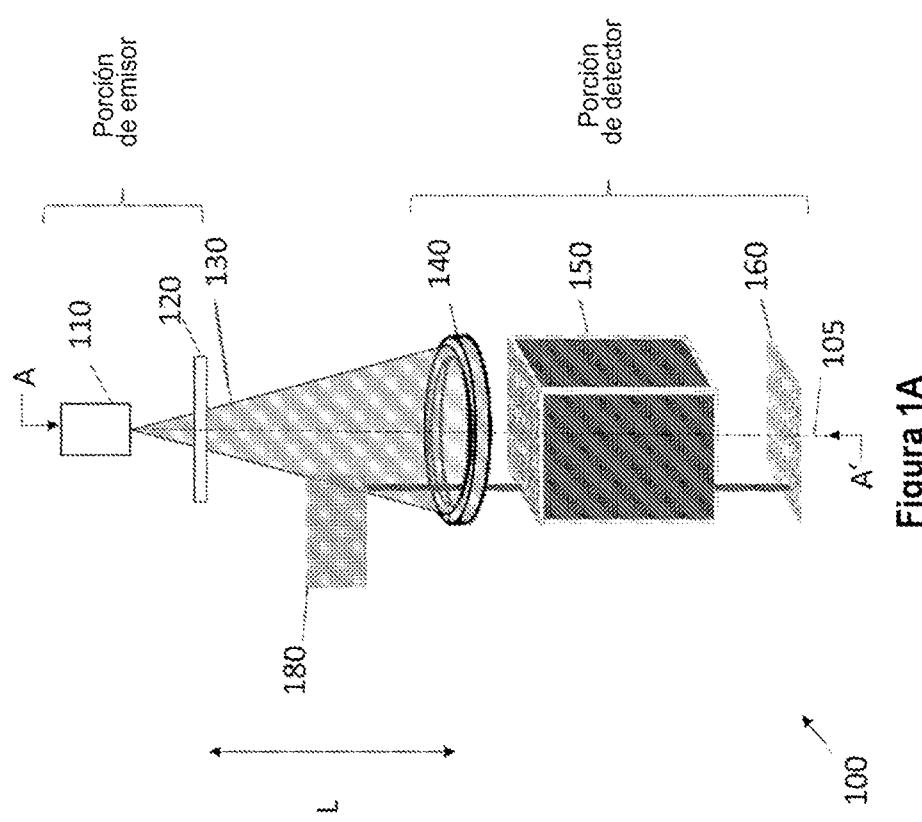


Figura 1A

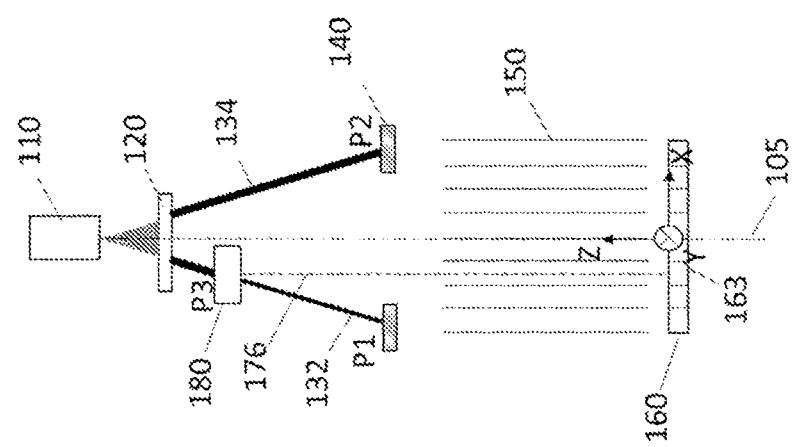


Figura 1B

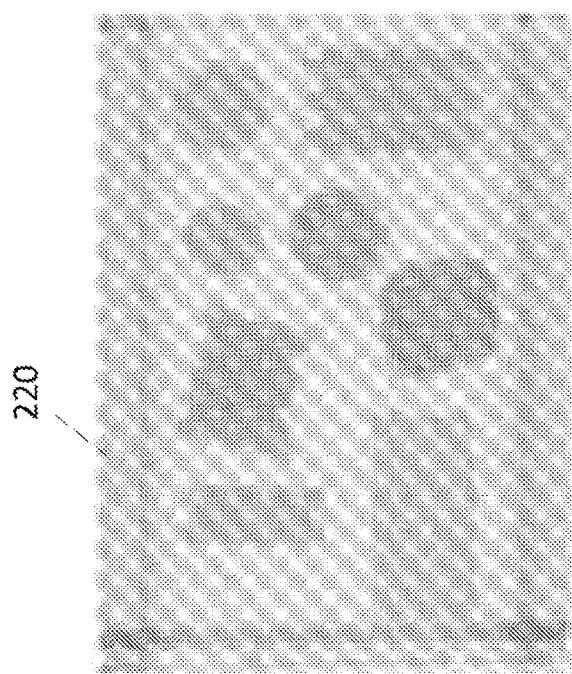


Figura 2B

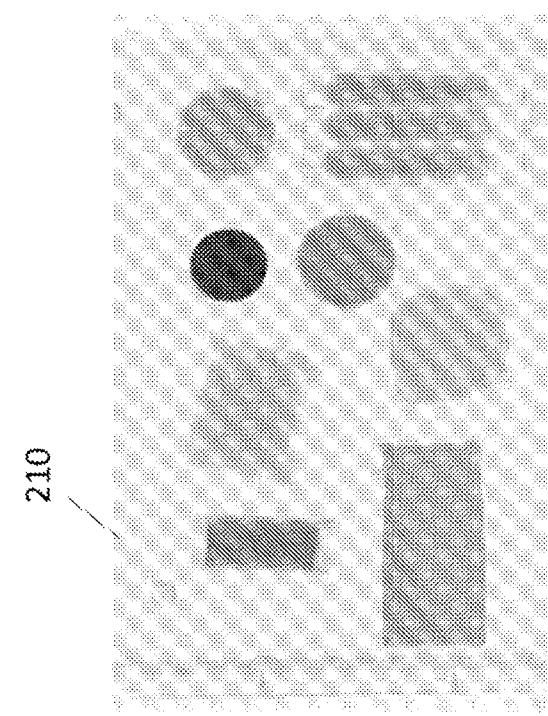


Figura 2A

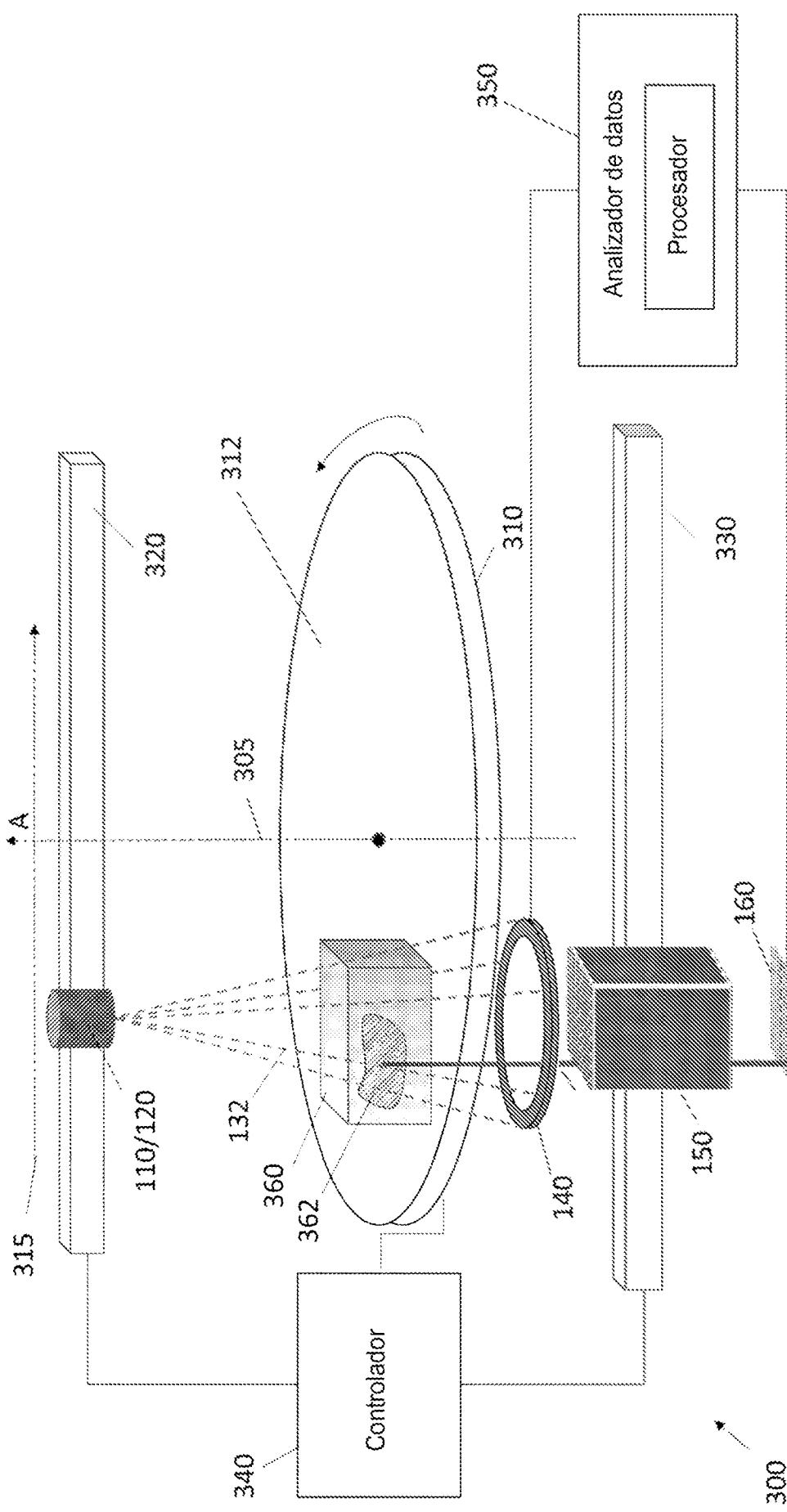


Figura 3

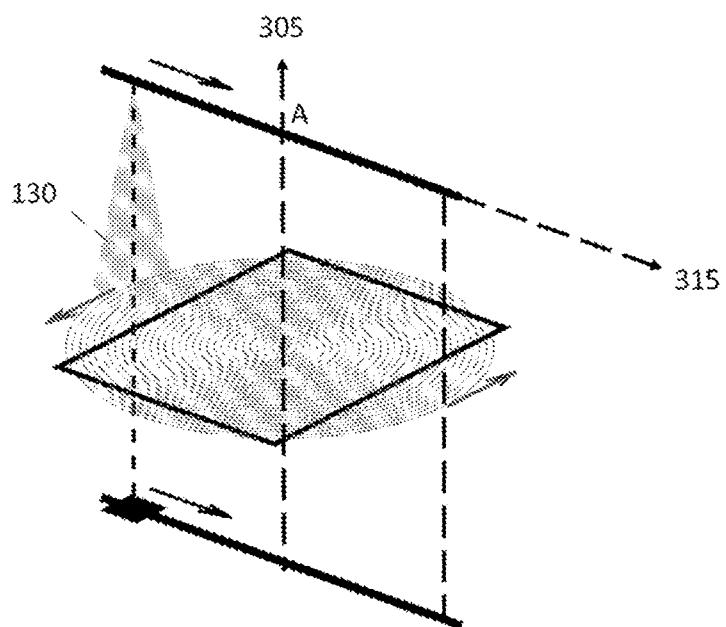


Figura 4A

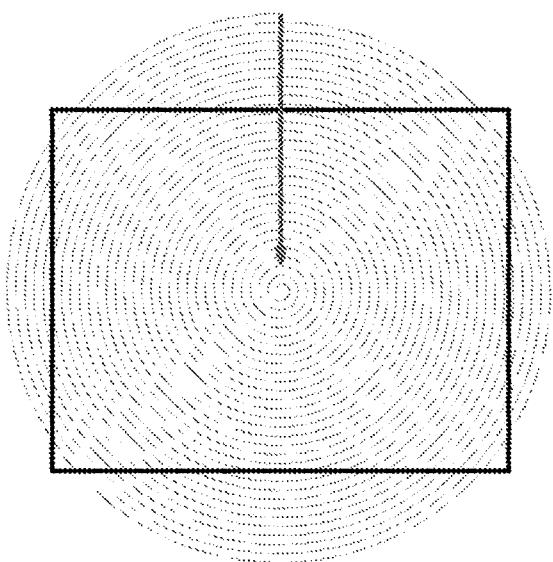


Figura 4B

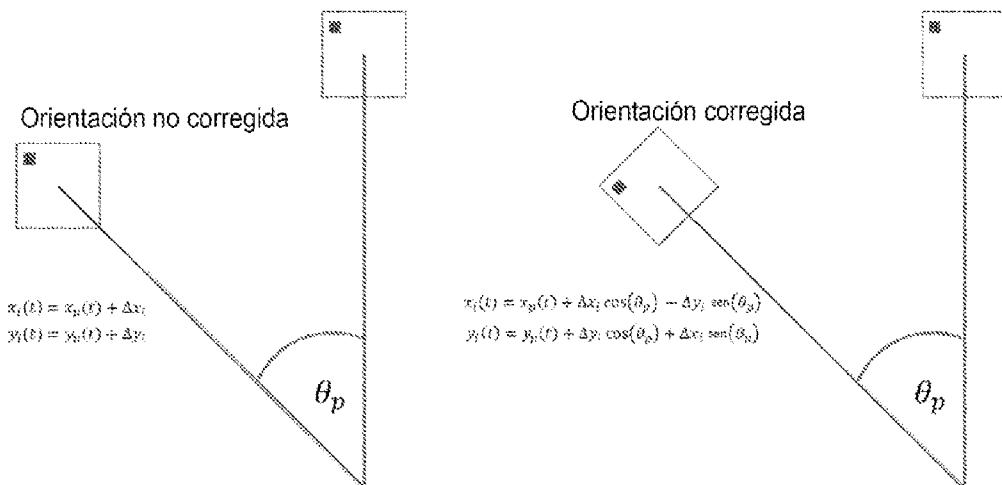


Figura 5

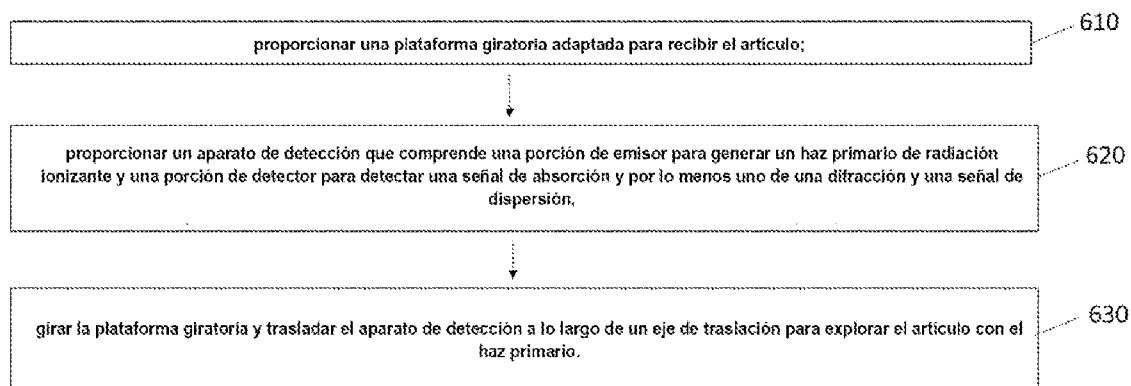


Figura 6