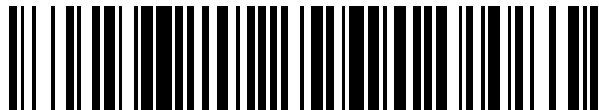


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 630 161**

51 Int. Cl.:

G01V 5/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.02.2009 PCT/GB2009/000497**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2009 WO09106803**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.02.2009 E 09714033 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 2255224**

54 Título: **Sistemas de escaneado**

30 Prioridad:

28.02.2008 GB 0803640

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

18.08.2017

73 Titular/es:

**RAPISCAN SYSTEMS, INC. (100.0%)
12525 Chadron avenue
Hawthorne, CA 90250, US**

72 Inventor/es:

MORTON, EDWARD, JAMES

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 630 161 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

Sistemas de escaneado

5 La presente invención se refiere a sistemas de escaneado. Tiene aplicación particular en sistemas de escaneado para carga, pero también puede ser utilizado en escáneres para otras aplicaciones como seguridad y escáneres médicos de alta energía.

10 Existe un requerimiento de inspección de recipientes para la presencia o no de materiales y dispositivos ilegales. A menudo, tales recipientes son grandes (por ejemplo, un contenedor ISO de 40 pies x 8 pies x 8 pies) y pueden contener cargas densas tales como maquinaria. Con el fin de proporcionar un proceso de inspección no intrusiva y rápida, se ha desarrollado una serie de sistemas de generación de imágenes que utilizan fuentes de rayos X de alta energía para penetrar incluso a través de grandes contenedores.

15 Típicamente, estos sistemas combinan una fuente de acelerador lineal de rayos X de alta energía con una serie de detectores de rayos X dispuestos de una manera lineal para crear una línea de inspección unidimensional a través del objeto. Al escanear el objeto a través del haz de rayos X a una velocidad controlada, se recoge un conjunto de proyecciones unidimensionales que se pueden reformatear en una imagen bidimensional para su posterior revisión por parte del operador.

En todos estos sistemas conocidos, el proceso de recolección de imágenes es inherentemente submuestreado de acuerdo con el teorema de muestreo de Nyquist que establece que los datos deben ser muestreados al doble de la velocidad del ancho de banda más alto en la señal.

20 Además, los escáneres de rayos X para la inspección de carga típicamente comprenden una fuente de rayos X de alta energía (normalmente basada en un acelerador lineal de rayos X) con una calidad de haz de 1 MeV a 9 MeV. La salida de rayos X del acelerador lineal de rayos X se colima entonces a un estrecho haz de radiación que se refleja a través del artículo de carga bajo inspección. Una disposición lineal de elementos detectores de rayos X se posiciona entonces frente a la fuente de rayos X de tal manera que es irradiada por el haz de radiación en abanico después de la atenuación del haz de rayos X por el objeto bajo inspección.

25 El documento WO2004010127 A1 describe una unidad de escaneado para identificar contrabando, tales como armas, explosivos y drogas ilegales, dentro de objetos, tales como contenedores de carga y equipaje, moviéndose a través de la unidad a lo largo de una primera trayectoria comprende al menos una fuente de un haz de radiación móvil a través de una segunda trayectoria que es transversal a la primera trayectoria y se extiende parcialmente
30 parcialmente alrededor de la primera trayectoria, posicionada para detectar la radiación transmitida a través del objeto durante la escaneado. En un ejemplo, una pluralidad de fuentes móviles de rayos X, cada una de las cuales transmite un haz cónico de radiación, están soportadas por un carril semicircular perpendicular a la primera trayectoria. En este ejemplo, el detector, que puede ser una matriz de detectores que comprende una pluralidad de detectores bidimensionales, es también semicircular y perpendicular a la trayectoria. También se puede usar un haz
35 de ventilador. Se pueden obtener imágenes radiográficas y/o se pueden reconstruir imágenes de tomografía computarizada (CT). Las imágenes pueden ser analizadas por contrabando. También se pueden proporcionar detectores sensibles a la energía. Las fuentes de radiación pueden emitir radiación de diferentes distribuciones de energía o cada fuente puede emitir selectivamente radiación de diferentes distribuciones de energía. Los datos derivados de un vóxel del objeto en las diferentes distribuciones de energía pueden ser procesados para determinar el contenido material del vóxel. Las imágenes basadas en esos datos pueden fusionarse con las imágenes radiográficas o CT para facilitar la identificación del contrabando en función del tamaño, la forma y el contenido material de las regiones dentro del objeto. También se describen métodos de escanear objetos.

45 En algunas realizaciones de la presente invención, se describe un conjunto de detección mejorado que proporciona un muestreo Nyquist completo de los datos de imagen. En otras realizaciones, el conjunto de detección se modifica adicionalmente para proporcionar una capacidad de discriminación de materiales que puede proporcionar asistencia significativa al operador en su toma de decisiones.

Un aspecto de la invención proporciona un método de escaneado para escanear un objeto que se mueve en una primera dirección que comprende: las etapas definidas en la reivindicación 1.

50 Un segundo aspecto de la presente invención proporciona una disposición de detector para uso en un sistema de escaneado, comprendiendo el sistema las características definidas en la reivindicación 4.

Un tercer aspecto de la presente invención proporciona un sistema de escaneado que comprende las características definidas en la reivindicación 11.

Un cuarto aspecto de la presente invención proporciona un método de generación de imágenes para proporcionar una imagen de un objeto de acuerdo con la reivindicación 15.

Las reivindicaciones independientes definen aspectos de la invención para los que se busca protección. Las reivindicaciones dependientes definen características inventivas preferidas.

- 5 A continuación se describirán realizaciones de la invención, sólo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:
- La figura 1 es un diagrama de flujo que delinea un método de acuerdo con una realización de la invención;
- La figura 2 es un diagrama de flujo que delinea otro método de acuerdo con una realización de la invención;
- La figura 3 muestra esquemáticamente un sistema de escaneado de acuerdo con una realización de la invención;
- 10 La Figura 4 muestra esquemáticamente una matriz de detectores escalonados descentralizados;
- La figura 5 ilustra esquemáticamente cómo la captura de datos está coordinada en una realización de la presente invención;
- La figura 6 ilustra esquemáticamente un módulo detector utilizado en una realización de esta invención;
- 15 La Figura 7 ilustra esquemáticamente una disposición de detector apilada de acuerdo con una realización de esta invención;
- La figura 8 es un gráfico que ilustra diferentes características de objetos de masa atómica alta y baja como se ve en el sistema de escaneado de una realización de esta invención;
- La figura 9 es un gráfico que ilustra el cambio en la respuesta con respecto a la energía de la radiación recibida;
- La figura 10 ilustra una disposición de detector de acuerdo con una realización de la invención;
- 20 La figura 11 ilustra una disposición de detector de acuerdo con otra realización de la invención;
- La Figura 12 ilustra un sistema de escaneado de acuerdo con una realización de la invención;
- La figura 13 muestra esquemáticamente un ejemplo de una matriz de detectores dispuestos de acuerdo con una realización de la invención;
- 25 Las figuras 14a y 14b ilustran cómo se muestran los datos de imagen a un operador en una realización de la invención;
- La figura 15 ilustra gráficamente un perfil de radiación de salida de una fuente de radiación utilizada en una realización de la presente invención;
- La figura 16 ilustra esquemáticamente una disposición de detector de acuerdo con una realización de la invención.
- 30 Haciendo referencia a las figuras 1 y 3, una realización de la invención proporciona un método 10 y un sistema 30 para escanear un objeto 32 que se mueve en una primera dirección. El sistema 30 comprende una fuente de radiación 36 dispuesta para irradiar el objeto 32 con radiación a medida que el objeto se mueve en la primera dirección. La fuente de radiación está dispuesta para proporcionar radiación que tiene una energía pico de al menos 900 keV. El sistema 30 de escaneado también comprende una disposición 38 de detector. La disposición de detector está dispuesta para detectar radiación después de haber interactuado con o pasado a través del objeto 32 con el fin de proporcionar información para escanear el objeto. La disposición del detector 38 comprende un primer detector 40 y un segundo detector 42. El primer detector 40 tiene un espesor de al menos 2 mm. En esta realización, el espesor del primer detector es de aproximadamente 15 mm. En otras realizaciones, el espesor puede ser más o menos y puede ajustarse según se requiera por un experto en la materia. El segundo detector 42 tiene un espesor de al menos 5 mm. En esta realización, el espesor del segundo detector 42 es de aproximadamente 30 mm. Una vez más, será evidente para el experto en la técnica que este espesor de detector puede variar mediante experimentación con el fin de afinar la disposición de detector 38 según se requiera. En esta realización, haciendo referencia a la figura 3, el primer detector 40 está situado entre el objeto 32 y el segundo detector 42. En otras realizaciones, el experto en la materia puede prever una disposición diferente. En esta realización particular, esta disposición proporciona una geometría simple con el fin de conseguir la configuración de detector deseado de tal

manera que la radiación que pasa a través del primer detector 40 alcanza el segundo detector 42 después de haber interactuado con el objeto 32.

5 El sistema 30 en su realización más amplia no incluye un sensor de movimiento. En algunas realizaciones, el sistema 30 incluye un sensor 44 de movimiento como se muestra en la figura 3. El sensor 44 de movimiento está dispuesto para medir cualquiera o más de las posiciones, velocidad, velocidad o aceleración del objeto 32. El papel del movimiento del sensor 44 se discutirá con más detalle a continuación.

10 Haciendo referencia a la figura 1, el método 10 de escaneado comprende la etapa 12 de irradiación de un objeto por escanear con radiación que tiene un valor de energía de pico de 900 keV o más. El método 10 también comprende la etapa de proporcionar una primera región de detector que tiene un espesor de al menos 2 mm y una segunda región de detector que tiene un espesor de al menos 5 mm. La segunda región de detector está dispuesta para recibir radiación que ha pasado a través de la primera región de detector. El método 10 comprende detectar la radiación después de que ha interactuado con o pasado a través del objeto con el fin de proporcionar información relativa al objeto. La detección de la radiación comprende detectar radiación 16 en la primera región de detector capturando una pluralidad de conjuntos de datos de detección usando diferentes grupos de elementos de detección y detectando la radiación 18 en la segunda región de detector capturando una pluralidad de conjuntos de datos de detección usando diferentes grupos de detección elementos.

15 Cada elemento de detección está dispuesto para proporcionar información relativa a una porción correspondiente del objeto y cada conjunto de datos de detección es capturado en un momento diferente de tal manera que cada grupo de elementos de detección proporcione información sobre la misma región del objeto. Las partes correspondientes cubiertas por cada grupo se solapan en una segunda dirección, que tiene una componente normal a la primera dirección.

20 Haciendo referencia a la figura 4, se muestra una porción del primer detector 40. Aquí, la parte del primer detector 40 se ve desde el punto de vista de la fuente de rayos X y se ve que comprende dos filas 50 de elementos detectores de rayos X; una fila 46 delantera y una fila 48 de arrastre. El objeto se escanea a través del haz de rayos X más allá de las dos filas de detector en la dirección de la flecha A. Cada fila se muestra con sólo unos pocos elementos detectores para mayor claridad aunque en un total, Cada fila contendrá típicamente cientos a miles de elementos de detección. En esta realización, los elementos son idénticos. En otras realizaciones, pueden ser diferentes (tamaños, formas, etc.) según se requiera.

25 La información generada por los elementos detectores de rayos X debe leerse en una manera correlacionada con el tiempo con el escaneado del objeto; cuanto más rápido se escanea el objeto, más rápido se debe leer cada fila de datos. La relación entre la velocidad de escaneado del objeto y la velocidad a la que se debe leer el detector se muestra en la figura 5. Las flechas verticales en la parte superior de la figura indican los tiempos en los que la fuente de rayos X produce ráfagas (a, b, c, d, e, f) de la señal y los datos del detector se leen antes del comienzo de la siguiente ráfaga de rayos X. El pulso de rayos X marcado con "a" iluminará tanto las matrices de detectores delantero como de arrastre. El siguiente impulso de rayos X (marcado como "b") también iluminará las matrices de avance y de arrastre. Esto significa que los datos recogidos para la matriz de arrastre en el pulso "b" encajan exactamente en línea con los datos que se recogieron para la matriz principal durante el pulso "a".

30 Para este fin, en algunas realizaciones, el método 10 comprende detectar 20 la velocidad de movimiento del objeto con el fin de coordinar la temporización de la captura de los conjuntos de datos de detección. En tales realizaciones, puede haber un mecanismo de control con el fin de ajustar la temporización de las ráfagas de rayos X desde la fuente 36 teniendo en cuenta el movimiento del objeto 32 tal como es detectado por el sensor 44 de movimiento. Por ejemplo, si el objeto 32 comprende un camión, el sensor 44 de movimiento es capaz de juzgar la velocidad a la que el camión se desplaza y ajustar la sincronización de las ráfagas de rayos X desde la fuente 36 de rayos X de manera correspondiente para recopilar datos de detección de modo que cada grupo de detección proporciona información sobre la misma región del objeto.

35 En esta realización, puesto que los centros para los elementos detectores en la matriz de detectores de avance son desplazados a lo largo de la longitud de la matriz por exactamente la mitad de un elemento detector de los de la matriz de arrastre, puede verse que el muestreo vertical de la matriz la señal de rayos X es el doble de lo que habría sido si se hubiera utilizado una sola fila de detectores, como ocurre actualmente en los sistemas de inspección de carga conocidos.

40 El límite de banda de frecuencia espacial del conjunto de detectores está determinado por la apertura física de los elementos detectores individuales. Se puede demostrar que la disposición de los detectores en la figura 4 cumple exactamente el requisito del teorema de muestreo Nyquist en la dirección vertical cuando se muestrea en el dominio del tiempo como se ha descrito anteriormente.

45 Utilizando la misma matriz de detectores escalonados desplazados como se muestra en la figura 4, también es

posible satisfacer el teorema de muestreo de Nyquist en la dirección horizontal. En este caso, la frecuencia del pulso del haz de rayos X debe doblarse mientras se mantiene la misma velocidad de barrido como se muestra en la figura 5. Estos pulsos adicionales se muestran como a', b', c' y así sucesivamente en la figura 5.

5 En otra realización de la presente invención, se propone un conjunto de detectores escalonados desplazados con modos de muestreo tanto verticales como horizontales seleccionables durante el funcionamiento del sistema.

Siempre se utiliza típicamente el muestreo vertical según los criterios de Nyquist. El muestreo horizontal puede ser operado con el muestreo completo de Nyquist cuando se requiere la mejor calidad de imagen y en otras tasas de muestreo más bajas cuando se requiere una baja dosis de imagen.

10 En otra realización de la invención, se puede fabricar un módulo detector tal como el ejemplo mostrado en la figura 6. Aquí se forma un conjunto 60 de detectores escalonados desplazados a partir de una serie de cristales de centelleo. Un cristal de centelleo emite luz bajo exposición a la radiación X y esta luz se transmite a través del grueso del material de centelleo a un dispositivo fotosensible que convierte la señal óptica de entrada en una corriente eléctrica para su posterior integración mediante un circuito electrónico. La señal integrada se puede entonces convertir en forma digital para transferirla a un circuito digital que es capaz de hacer los datos a una forma legible por humanos tal como una imagen y también es capaz de almacenar los datos en un archivo digital tal como un disco de ordenador. Los detectores de centelleo típicos deben tener alta densidad y alto número atómico y se seleccionarían típicamente del conjunto de materiales que incluyen CsI, NaI, BGO, CdWO₄, LSO, GSO, LYSO y LaBr₃. A menudo, el dispositivo fotosensible será un dispositivo semiconductor tal como un fotodiodo, un fotodiodo de avalancha o un fotomultiplicador de silicio o puede ser un dispositivo de tubo de vacío tal como un tubo fotomultiplicador o un dispositivo híbrido más exótico tal como una placa de microcanal con lectura de fotodiodo.

Otras configuraciones de detector son posibles, por ejemplo utilizando un detector de ionización o proporcional lleno de gas tal como uno llenado con gas xenón presurizado. Para conseguir la eficiencia de detección requerida, el gas normalmente se presionaría hasta al menos 5 bar. Una alternativa sería utilizar un material semiconductor de banda ancha de alta densidad, tal como CdTe, CdZnTe, Hgl y así sucesivamente.

25 Exactamente el mismo principio de conjuntos de detectores escalonados desplazados puede usarse con otras sondas de generación de imágenes que incluyen neutrones térmicos y neutrones rápidos que pueden proporcionar beneficios de diagnóstico adicionales.

30 En otra realización de esta invención, se prevé un sistema de generación de imágenes híbrido en el que un conjunto de detectores sensibles a rayos X escalonados desplazados está situado próximo a un conjunto de detectores sensibles a neutrones escalonados desplazados para permitir la inspección simultánea de imágenes por rayos X y neutrones del mismo contenedor.

La ecuación primaria que gobierna la atenuación de rayos X en la materia (por ejemplo, como la radiación de los impulsos de fuente a través del objeto y cada detector) es

$$I(E) = I_0(E) \exp\left(-\int_l \mu(E) dl\right) \quad (1)$$

35 en donde I(E) = intensidad de la radiación emitida por la fuente a la energía E, I₀(E) = intensidad de radiación emitida por la fuente de energía E, μ(E) = coeficiente de atenuación lineal del objeto a la energía E y l = línea tomada por el haz (de lápiz) de radiación a través del objeto.

40 La salida de rayos X de un acelerador lineal de rayos X es policromática teniendo una distribución de energía sustancialmente como se muestra en la figura 15. La energía máxima de rayos X (E_p) resulta de esas interacciones de electrones en la diana del acelerador lineal donde toda la energía electrónica se transfiere a un solo fotón de rayos X. Típicamente, se transfiere menos de la energía total del electrón a un fotón resultando en el amplio rango de energías de rayos X en el haz de rayos X. A baja energía, los picos mostrados en la figura 15 son debidos a interacciones de fluorescencia entre los electrones y los átomos diana dando como resultado rayos X que son característicos del material objetivo.

45 Es habitual utilizar un detector de integración para medir la señal de rayos X que se describe en la ecuación 1. En este caso, la señal detectada puede escribirse como

$$I_d = \int_0^{E_p} I(E) \left[1 - \exp\left(-\int_s \mu_d(E) ds\right) \right] \quad (2)$$

Donde I_d = señal detectada, $\mu_d(E)$ = coeficiente de atenuación lineal del material detector a la energía E y s = longitud del trayecto del haz de rayos X a través del detector.

Por lo tanto, está claro que I_d no conserva ningún conocimiento de la distribución de energía del haz de rayos X entrante, sólo del efecto acumulativo de todas las energías de rayos X.

5 Sin embargo, también puede verse que a menos que la trayectoria a través del material detector, s , sea realmente muy grande, alguna energía será transmitida a través del detector (es decir, no tendrá una eficiencia de detección del 100%). Haciendo referencia a la figura 16, si se coloca un segundo detector a la salida del primer detector, entonces la energía transmitida a través del primer detector tiene la oportunidad de ser absorbida en el segundo detector. En este caso podemos escribir:

$$10 \quad I_{dB} = \int_0^{E_p} I(E) \exp\left(-\int_s \mu_{dA}(E) ds\right) \left[1 - \exp\left(-\int_t \mu_{dB}(E) dt\right)\right] \quad (3)$$

donde I_{dB} = intensidad registrada en el detector B, $\mu_{dA}(E)$ = coeficiente de atenuación lineal del detector A material a la energía E, $\mu_{dB}(E)$ = coeficiente de atenuación lineal del material del detector B a la energía E y t = recorrido tomado por el haz de rayos X a través del detector B.

15 La inspección de la ecuación 3 muestra que el espectro de energía que es incidente en el detector B no es el mismo que el espectro de energía que es incidente en el detector A. Por lo tanto, se puede pensar que el detector A ha retenido cierta información de energía aunque en el circuito integrado la producción por sí sola no es suficiente para decir cuál es esta información de energía. Lo mismo ocurre con el detector B.

20 En otra realización de esta invención, se reconoce que las mediciones que son producidas por el detector A y el detector B están correlacionadas espacial y temporalmente y que la relación de la intensidad registrada en el detector A con respecto a la registrada en el detector B proporcionará necesariamente Información sobre la distribución de energía del haz de rayos X incidente, es decir,

$$\frac{I_{dA}}{I_{dB}} = f\{I(E)\} \quad (4)$$

Donde $f\{\}$ = operador de función.

25 Puede verse además a través de la inspección de la ecuación (1), que la relación de mediciones de detector también incluye un factor que se debe a la atenuación en el objeto.

30 Tres parámetros de objeto afectarán a la relación de detectores (ecuación 4) y éstos son el coeficiente de atenuación lineal del objeto, $\mu(E)$, la trayectoria l tomada por el haz de rayos X a través del objeto y la distribución de energía del haz primario, $I_0(E)$. En esta situación, hay tres incógnitas y dos mediciones y, por lo tanto, es imposible determinar de forma única un valor para los tres objetos desconocidos. La distribución de energía del haz primario, $I_0(E)$ es constante de un escaneado a la siguiente y así se puede hacer una estimación de $I_0(E)$ a la primera orden. Por lo tanto, se supone que $I_0(E)$ es una discriminación conocida y de materiales básicos que da lugar a una indicación de masa atómica media para el objeto que se analiza.

35 La presente invención se refiere al escaneado de alta energía. En las energías bajas (por ejemplo la mayoría de los escáneres médicos), el efecto fotoeléctrico es un mecanismo por el cual los rayos X interactúan con la materia dentro de los objetos que están siendo escaneados. Por el contrario, la presente invención se refiere a energías de fuente de rayos X mucho mayores, es decir, que tienen un valor máximo de 900 keV o superior. El mecanismo predominante que gobierna las interacciones de la radiación dentro de la materia en estas energías es la dispersión de Compton.

40 La atenuación en la materia de los rayos X afectados por el efecto fotoeléctrico muestra una dependencia proporcional a Z^4 (donde Z = número atómico). Por el contrario, la dispersión Compton produce una dependencia Z^1 . Algunas dispersiones Compton también están presentes a bajas energías.

45 Las regiones de detector de la presente invención están configuradas de tal manera que en el detector 40 frontal, hay aproximadamente una dependencia de Z^4 que surge de una combinación de los efectos fotoeléctricos y de dispersión Compton. El segundo detector 42 trasero tiene una dependencia Z^1 . Como resultado, existen consideraciones significativamente diferentes en comparación con el escaneado de rayos X de baja energía, debido a las diferentes leyes físicas que rigen la interacción de la materia. El inventor ha comprendido que para las

- 5 aplicaciones de escaneado de rayos X de alta energía, los detectores delantero y trasero en la disposición reivindicada están gobernados por diferentes leyes físicas con respecto a su interacción con radiación de alta energía. Como resultado de las diferentes relaciones físicas, se requieren diferentes disposiciones de detectores, en relación con los escáneres de rayos X de baja energía. Por consiguiente, se especifica que un primer detector tiene un espesor de al menos 2 mm, mientras que el segundo detector se especifica que tiene un espesor de al menos 5 mm. Además, se requiere un procesamiento de señal diferente para tener en cuenta la combinación del efecto fotoeléctrico y la dispersión Compton que ocurre en el primer detector, y el efecto predominantemente de dispersión Compton en el segundo detector. Como resultado, los escáneres de carga convencionales no utilizan una disposición de región de detector dual como se especifica en esta invención.
- 10 Como una realización adicional de esta invención, se describe un conjunto de sensores de energía dual como se muestra en la figura 7. Aquí, el haz 70 de radiación impacta a través del borde largo de una primera fila escalonada desplazada de elementos detectores. El espesor del primer conjunto 72 de detectores escalonados desplazados se sintoniza para permitir que una fracción de la radiación incidente penetre a través de los elementos detectores de modo que el haz de radiación pueda interceptar entonces una segunda fila 74 escalonada desplazada de elementos detectores.
- 15 En algunas realizaciones, el haz de rayos X se genera utilizando un acelerador Lineal de rayos X. El haz tiene un amplio espectro de energía. La energía máxima de rayos X en el espectro de rayos X es igual al potencial acelerador máximo del acelerador lineal (por ejemplo, 6 MeV en algunas realizaciones), pero la energía media de rayos X en el espectro es típicamente sólo un tercio del pico (por ejemplo 2 MeV) y la energía de rayos X más probable es mucho menos que esto todavía. En otras realizaciones, la energía de pico es 900 keV, o cualquier energía de pico más alta adecuada.
- 20 Mediante la adopción de la aproximación apilada mostrada en la figura 7, la fila 72 escalonada de desplazamiento frontal de los elementos detectores pre-filtra el haz de rayos X y detecta preferentemente la componente de baja energía de la señal de rayos X. La señal de rayos X que penetra a través de la fila escalonada de desplazamiento trasero de elementos detectores, por lo tanto, tiene un contenido espectral de energía neta mayor que el detectado en la fila escalonada de desplazamiento frontal de detectores. Este cambio en la respuesta energética de los dos conjuntos de detectores se resume en el diagrama mostrado en la figura 9.
- 25 En la figura 9 en esta realización particular, los espesores del detector delantero y trasero se han sintonizado para dar una probabilidad de detección global similar que es ventajosa en el diseño del subsiguiente sistema de adquisición de datos.
- 30 Al comparar entonces la relación de la señal detectada en el elemento detector frontal con la detectada por el elemento detector trasero correspondiente, es posible realizar una discriminación de algunos materiales básicos. En la figura 8 se muestra el efecto representativo en la relación de señal detectada de frente a parte trasera (F/R) como una función del espesor del material para materiales de número atómico alto y bajo (Z). A energías inferiores no existe diferencia significativa entre materiales de número atómico alto y bajo ya que casi toda la radiación se absorbe en el detector frontal (F) independientemente del número atómico del material. En las energías más grandes las diferencias entre los materiales son más pronunciadas. En energías mucho más grandes, la diferenciación se hace menos significativa.
- 35 La toma de los valores absolutos detectados por los conjuntos de detectores delantero y trasero proporciona al sistema una estimación del espesor radiológico total del objeto bajo inspección. La relación F/R proporciona entonces una evaluación de si el objeto en la imagen es un espesor pequeño de material de alta Z o un espesor grande de material de bajo Z. De esta manera, una evaluación de base del tipo de materiales se puede realizar automáticamente.
- 40 Se observa que el enfoque de energía dual descrito aquí se aplica igualmente bien a otras configuraciones de detector, tales como una matriz lineal de fila única.
- 45 Otra realización de esta invención puede usar dos sistemas de adquisición de datos independientes, uno para leer los datos de la matriz de detectores delanteros y uno para leer los datos de la matriz de detectores traseros como se muestra en la figura 10 donde sólo el componente detector del sistema de adquisición de datos se muestra. En este caso, una disposición de detector 100 de rayos X es poblada sobre una tarjeta 102 de circuito que proporciona soporte mecánico para el detector, así como proporcionar la lectura 104 electrónica necesaria y la interfaz 106 de cable. Dos tarjetas 102, 108 idénticas completan la configuración de detector de energía dual.
- 50 Otra realización práctica de esta invención se muestra en la figura 11. En este caso, se utiliza una única tarjeta 110 de circuito para proporcionar la interfaz mecánica y eléctrica a dos matrices 112, 114 de detectores, es decir, tanto frontal como trasero. Una única conexión 116 de cable toma los datos de ambas disposiciones de detectores fuera de un único sistema de adquisición de datos. Típicamente, los datos del detector delantero y trasero se entrelazan y
- 55

se vuelven a formatear mediante componentes digitales del sistema de adquisición de datos en sentido descendente de los módulos detectores de extremo delantero.

5 En algunas realizaciones, el módulo detector proporcionará protección mecánica, ambiental y térmica para los detectores de radiación de extremo frontal sensibles. Para facilitar la obtención de imágenes cuantitativas, es beneficioso que los elementos detectores delantero y trasero se mantengan a iguales temperaturas.

10 Además, en algunas realizaciones los detectores apuntan sustancialmente hacia atrás hacia la fuente de radiación con el fin de limitar la detección de paralaje del haz de radiación. Esto puede conseguirse simplemente usando la disposición de "dientes de sierra" que se muestra esquemáticamente en la figura 13. Aquí, el normal a cada conjunto 138 de detectores apunta hacia la fuente 139 de manera que el error de paralaje puede contenerse típicamente dentro de unos pocos grados

15 Haciendo referencia a la figura 12, en otra realización de la invención, se proporciona un sistema 120 para escanear un objeto 122 móvil de una manera similar a la mostrada en la realización de la figura 3. Un sistema 120 incluye una fuente 126 de rayos X para irradiar el objeto con radiación de alta energía (de un valor máximo de 900 keV o más). El sistema 120 incluye también una disposición 128 de detector que incluye un primer detector 130 y un segundo detector 132. Esta realización difiere de la realización mostrada en la figura 3 en que el objeto 122 está dispuesto sobre un transportador 134. El objeto 122 es estacionario sobre el transportador 134. El sistema 120 incluye también un controlador 136 que acciona el transportador y controla su movimiento. El controlador 136 controla el movimiento del objeto 122 y la temporización de las ráfagas de rayos X emitidas por la fuente 126 de manera que cada conjunto de datos de detección es capturado en un momento diferente y coordinado para proporcionar información sobre la misma región del objeto como se ha descrito anteriormente.

20 En otras realizaciones será evidente para el experto en la técnica que hay otras disposiciones que pueden usarse para supervisar el movimiento del objeto a través de una región de escaneado y, de este modo, para coordinar el escaneado según se requiere en la reivindicación 1. Una combinación de un transportador y un sensor de movimiento se puede proporcionar en algunas realizaciones útiles.

25 Los datos de imagen se muestran en algunos ejemplos al operador como se muestra en las figuras 14a y 14b. La Figura 14a muestra cómo se deben mostrar los datos en el modo de dosis baja; r-a significa datos de un elemento detector de arrastre con pulso a, fb significa datos de un elemento detector principal con pulso b. En este caso, el píxel mostrado es rectangular. La figura 14b muestra cómo se deben mostrar los datos en el modo de muestreo completo de Nyquist. Aquí ra significa datos de un pulso de detector de arrastre, mientras que ra' significa datos de un pulso de detector de arrastre a'. En este caso, el píxel mostrado es cuadrado.

30 También es posible mostrar una imagen de discriminación de materiales en cuyo caso los datos deberían ser representados como se muestra en la figura 14b pero esta vez el píxel debe mostrar el valor de relación F/R. Por ejemplo $F(r_a)/R(r_a)$, $F(fb)/R(fb)$ y así sucesivamente. El valor debe ser escalado a un conjunto adecuado de valores tales que $F/R = 1$ es escalado a 256 y $F/R = 0$ es escalado a 0, por ejemplo, de modo que el brillo medio de la pantalla que se presenta al operador mantiene un nivel de visualización cómodo.

35 Cuando la pantalla del operador no tiene suficientes píxeles para mostrar todos los datos de imagen, puede adoptarse una interpolación tanto en las direcciones vertical como horizontal, según se requiera, hasta que la dimensión de la imagen coincida apropiadamente con la resolución de la pantalla. La alta resolución espacial intrínseca de los datos de imagen puede utilizarse para proporcionar una funcionalidad de zoom de visualización mejorada que la que se puede utilizar con una matriz de detectores lineal convencional debido al uso de un muestreo completo de Nyquist, dando un factor de dos incrementos en el nivel de magnificación sobre los sistemas submuestreados convencionales.

40 Se pueden hacer diversas modificaciones a esta invención sin apartarse de su alcance (como se define en las reivindicaciones). El sistema de escaneado descrito en el que la disposición de detector comprende una primera región de detector dispuesta para detectar radiación y una segunda región de detector dispuesta para detectar radiación en la que la segunda región de detector está dispuesta para recibir radiación que ha pasado a través de la primera región de detector usa una disposición de detector de compensación para proporcionar además el escaneo de la frecuencia de muestreo de Nyquist.

45 En algunas realizaciones los detectores son compensados pero no lo suficiente para alcanzar la velocidad de muestreo de Nyquist. En tales realizaciones, la imagen que se produce tiene todavía una resolución mayor que un detector no desplazado.

REIVINDICACIONES

1. Un método de escaneado para escanear un objeto (32) que se mueve en una primera dirección que comprende:
- irradiar el objeto con radiación que tiene una energía pico de al menos 900 keV,
- 5 proporcionar una primera región (40) de detector que tiene un espesor de al menos 2 mm y una segunda región (42) de detector que tiene un espesor de al menos 5 mm, en donde la segunda región de detector está dispuesta para recibir radiación que ha pasado a través de la primera región de detector,
- detectar la radiación después de que ha interactuado con o pasado a través del objeto con el fin de proporcionar información relativa al objeto,
- en el que la detección de la radiación comprende:
- 10 detectar radiación en la primera región (40) de detector,
- recibir radiación que ha pasado a través de la primera región (40) de detector en la segunda región (42) de detector,
- detectar radiación en la segunda región (42) de detector,
- en el que en la primera región (40) de detector, la segunda región (42) de detector, o ambas, detectar la radiación comprende capturar una pluralidad de conjuntos de datos de detección utilizando un primer grupo (46) y un segundo grupo (48) de elementos (50) de detección,
- 15 estando dispuesto cada elemento (50) de detección para proporcionar información relativa a una porción correspondiente del objeto,
- siendo capturado cada conjunto de datos de detección en un momento diferente de tal manera que, en una primera vez, el primer grupo de elementos de detección está dispuesto para proporcionar información en la misma región del objeto que el segundo grupo de elementos de detección en una segunda vez,
- 20 en el que el primer grupo (46) de elementos (50) de detección está dispuesto de manera que los centros de los elementos (50) de detección están desplazados de los centros de los elementos (50) de detección en el segundo grupo (48) en una segunda dirección que tiene un componente normal a la primera dirección.
2. El método de la reivindicación 1 que comprende uno cualquiera o más de:
- 25 la primera región (40) de detector tiene un espesor de aproximadamente 15 mm, y la segunda región (42) de detector tiene un espesor de aproximadamente 30 mm;
- comprendiendo además el método la etapa de detectar la velocidad de movimiento del objeto (32) para coordinar la temporización de la captura de los conjuntos de datos de detección o el método que comprende controlar el movimiento del objeto (32) de manera que la región esté alineada con el correspondiente grupo (46, 48) de elementos (50) de detección en el momento de la captura de datos;
- 30 las partes correspondientes cubiertas por el primer grupo (46) y el segundo grupo (48) se solapan para proporcionar información a una frecuencia espacial suficiente para escanear la región del objeto (32) al menos en la velocidad de muestreo de Nyquist en la segunda dirección, y opcionalmente
- 35 los elementos (50) de detección tienen sustancialmente la misma longitud en la segunda dirección y las porciones solapadas se solapan de manera que, en promedio, los datos relativos a dos porciones se capturan por longitud del elemento de detección;
- comprendiendo el método proporcionar información de escaneado coordinada en el tiempo a unos medios de generación de imágenes dispuestos para proporcionar una imagen del objeto (32);
- 40 comprendiendo el método capturar datos a una frecuencia temporal suficiente para proporcionar escaneo de la región del objeto (32) al menos en la velocidad de muestreo de Nyquist en la primera dirección;
- el método en el que la irradiación del objeto (32) comprende irradiar el objeto en ráfagas discretas y el método de escaneado comprende enviar información detectada recibida en respuesta a una ráfaga desde el elemento (50) de detección antes de que se produzca la siguiente ráfaga;

- comprendiendo el método posicionar la primera región (40) de detector entre el objeto (32) y la segunda región (42) de detector;
- 5 comprendiendo el método calcular la relación de radiación detectada en la primera región (40) de detector con respecto a la radiación detectada en la segunda región (42) de detector con el fin de determinar información relativa al objeto (32) en base a la relación calculada; o
- comprendiendo el método configurar la primera región (40) de detector y la segunda región (42) de detector para detectar una cantidad predeterminada de radiación entre sí, y opcionalmente
- que comprende configurar la primera región (40) de detector y la segunda región (42) de detector para detectar sustancialmente la misma cantidad de radiación de cada una de ellas.
- 10 3. El método de la reivindicación 2, que comprende la configuración de uno cualquiera o más de tamaño, forma o material de la o cada región (40, 42) de detector de manera que la primera región (40) de detector y la segunda región (42) de detector detecta la cantidad predeterminada de radiación relativa entre sí.
- 15 4. Una disposición de detector para su uso en un sistema de escaneado, comprendiendo el sistema una fuente de radiación dispuesta para irradiar con una radiación que tiene una energía pico de al menos 900 keV, un objeto (32), que se mueve en una primera dirección, para ser escaneado,
- en el que la disposición de detector está dispuesta para detectar radiación después de que ha interactuado con o pasado a través del objeto con el fin de escanear el objeto (32),
- 20 en el que la disposición de detector comprende una primera región (40) de detector que tiene un espesor de al menos 2 mm y dispuesto para detectar radiación y una segunda región (42) de detector que tiene un espesor de al menos 5 mm y dispuesto para detectar radiación en la que la segunda región (42) de detector está dispuesta para recibir una radiación que ha pasado a través de la primera región de detector (40),
- 25 en el que la primera región (40) de detector, la segunda región (42) de detector o ambas comprenden una matriz de detectores que comprende un primer grupo (46) y un segundo grupo (48) de elementos (50) de detección, estando dispuesto cada elemento de detección para capturar datos de detección relativos a una porción correspondiente del objeto (32), siendo capturado cada conjunto de datos de detección en un momento diferente de tal manera que, en una primera vez, el primer grupo (46) de elementos de detección está dispuesto para proporcionar información sobre la mismo región del objeto como el segundo grupo (48) de elementos de detección en una segunda vez, y
- 30 en el que el primer grupo (46) de elementos de detección está dispuesto de manera que los centros de los elementos (50) de detección están desplazados de los centros de los elementos (50) de detección en el segundo grupo (48) en una segunda dirección que tiene un componente normal a la primera dirección.
5. La disposición de detector de la reivindicación 4, en la que la primera región (40) de detector tiene un espesor de aproximadamente 15 mm, y la segunda región (42) de detector tiene un espesor de aproximadamente 30 mm.
- 35 6. La disposición de detector de la reivindicación 4 o la reivindicación 5, en el que el primer grupo (46) y el segundo grupo (48) se solapan para proporcionar información a una frecuencia espacial suficiente para escanear el objeto (32) al menos en la velocidad de muestreo de Nyquist en la segunda dirección, y opcionalmente uno cualquiera o más de:
- en la que los elementos de detección tienen sustancialmente la misma longitud en la segunda dirección y las porciones solapadas se solapan de manera que, en promedio, los datos relativos a dos porciones se capturan por longitud del elemento de detección;
- 40 en la que el primer grupo (46) y el segundo grupo (48) comprenden un conjunto idéntico de elementos de detección.
7. La disposición de detector de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en la que el primer grupo (46) y el segundo grupo (48) comprenden columnas de elementos de detección que se extienden en la segunda dirección; y opcionalmente
- en la que la anchura de una columna es un elemento de detección.
- 45 8. La disposición de detectores de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en la que uno cualquiera o más de:
- el primer grupo (46) y el segundo grupo (48) están dispuestos adyacentes entre sí o

- en el que el primer grupo (46) y el segundo grupo (48) están separados entre sí;
- en el que los elementos de detección comprenden cristales de centelleo;
- en el que la primera región de detector está situada entre el objeto por escanear y la segunda región de detector;
- 5 en el que la primera región de detector y la segunda región de detector están configuradas para detectar una cantidad predeterminada de radiación entre sí, y opcionalmente
- en el que la primera región de detector y la segunda región de detector están configuradas para detectar sustancialmente la misma cantidad de radiación en cada una, y/o
- 10 en el que uno o más de tamaño, forma o material de la o cada región de detector está dispuesto de manera que la primera región de detector y la segunda región de detector detectan la cantidad predeterminada de radiación entre sí; o
- que comprende un primer detector que incluye la primera región de detector y un segundo detector que incluye la segunda región de detector, y opcionalmente
- 15 en el que el primer detector está montado en primeros medios de montaje dispuestos para soportar mecánicamente el detector o proporcionar una conexión electrónica entre el primer detector y un circuito de salida de información o ambos y el segundo detector está montado en segundos medios de montaje dispuestos para soportar mecánicamente el detector o proporcionar una conexión electrónica entre el segundo detector y un circuito de salida de información o ambos, o
- 20 en el que el primer detector y el segundo detector están montados sobre medios de montaje de junta dispuestos para soportar mecánicamente los detectores o proporcionar una conexión electrónica entre los detectores y uno o más circuitos de salida de información o ambos.
9. La disposición de detector de la reivindicación 8, en la que uno o más de los medios de montaje comprenden una placa de circuito y, opcionalmente,
- donde el primer detector está montado sobre un primer lado de la placa de circuito y el segundo detector está montado sobre un segundo lado opuesto de la placa de circuitos.
- 25 10. La disposición de detector de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 9, en la que el o cada uno del primer detector y el segundo detector comprenden un conjunto de detectores lineales.
- 30 11. Un sistema de escaneado que comprende una fuente de radiación dispuesta para irradiar con radiación que tiene una energía pico de al menos 900 keV un objeto que se mueve en una primera dirección, que se va a escanear, una disposición de detector dispuesta para detectar radiación después de haber interactuado o pasado a través del objeto con el fin de proporcionar información para escanear el objeto, en el que la disposición de detector comprende la disposición de detector de una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 10.
12. El sistema de escaneado de la reivindicación 11, que comprende además uno o más de:
- 35 un sensor de movimiento dispuesto para detectar la velocidad de movimiento del objeto (32) para coordinar la temporización de la captura de los conjuntos de datos de detección de tal manera que el primer grupo (46) y el segundo grupo (48) de elementos (50) detectores capturan diferentes conjuntos de datos relativos a la misma región del objeto (32); o
- un controlador dispuesto para controlar el movimiento del objeto a través de la zona de escaneado de manera que el primer grupo (46) y el segundo grupo (48) de elementos (50) detectores capturan conjuntos de datos diferentes relativos a la misma región del objeto (32).
- 40 13. El sistema de escaneado de la reivindicación 12, que comprende un controlador dispuesto para comunicar con el sensor de movimiento y controlar el tiempo de la captura de datos por un grupo (46, 48) de elementos detectores (50) para coordinar con el movimiento del objeto (32) a través de la zona de escaneado de manera que el primer grupo (46) y el segundo grupo (48) de elementos detectores capturan diferentes conjuntos de datos relativos a la misma región del objeto (32).
- 45 14. El sistema de escaneado de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13 que comprende uno o más de:

un controlador dispuesto para calcular la relación de radiación detectada en la primera región (40) de detector con relación a la radiación detectada en la segunda región (42) de detector con el fin de determinar información relativa al objeto (32) en base a la relación calculada;

una pluralidad de disposiciones de detector; o

5 en el que la o cada disposición de detector comprende una cara sobre la cual está dispuesta la radiación para impactar y la cara está dispuesta para dirigirse hacia la fuente de radiación.

10 15. Un método de generación de imágenes para proporcionar una imagen de un objeto (32), comprendiendo el método el escaneado de un objeto (32) de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo además el método alinear diferentes conjuntos de datos de detección que han sido capturados en momentos diferentes y que proporcionan información sobre la misma región del objeto (32) para proporcionar la imagen.

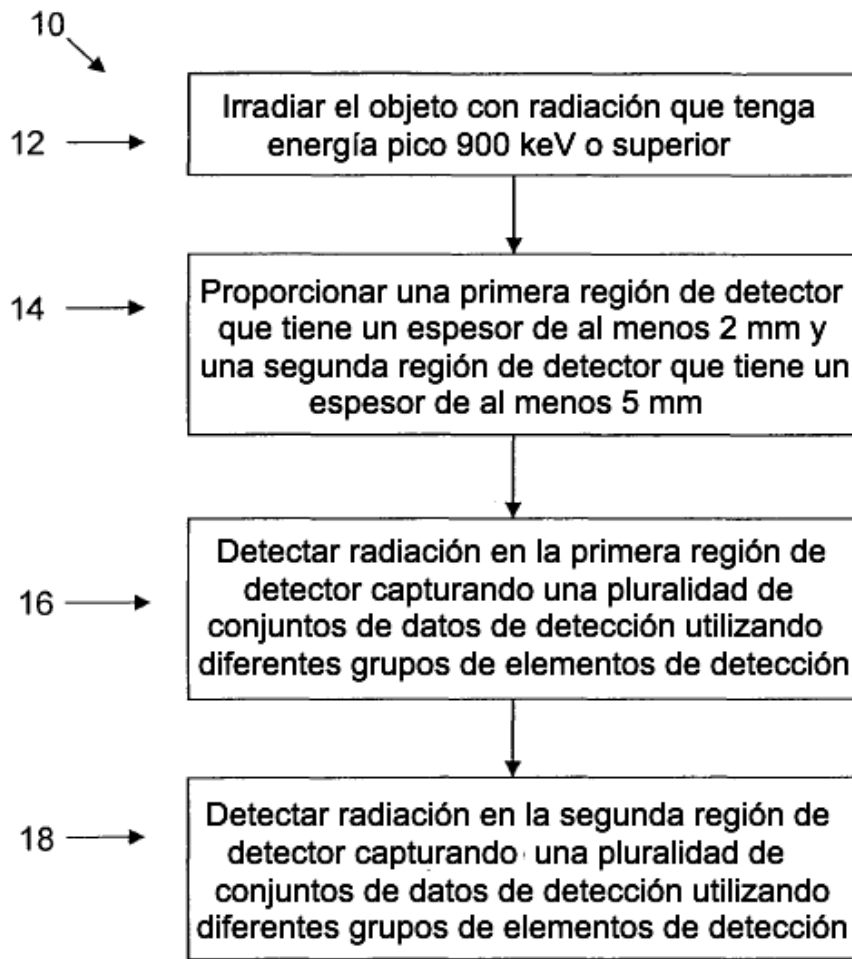


Figura 1

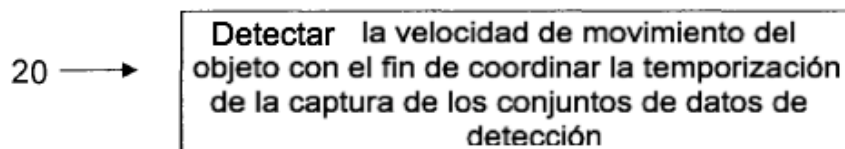


Figura 2

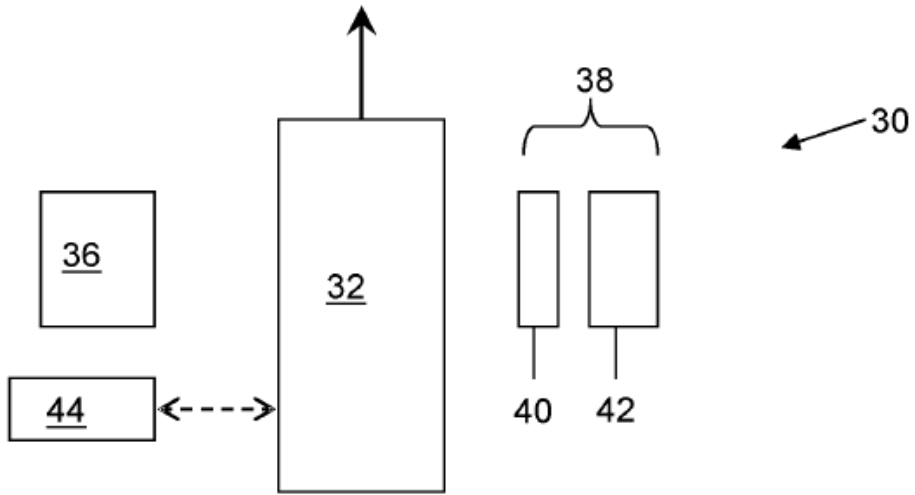


Figura 3

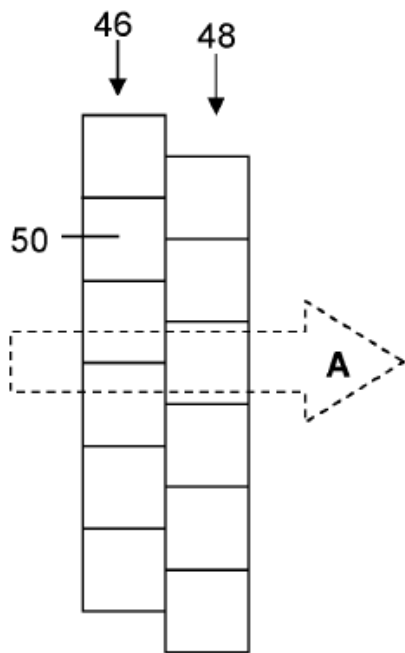


Figura 4

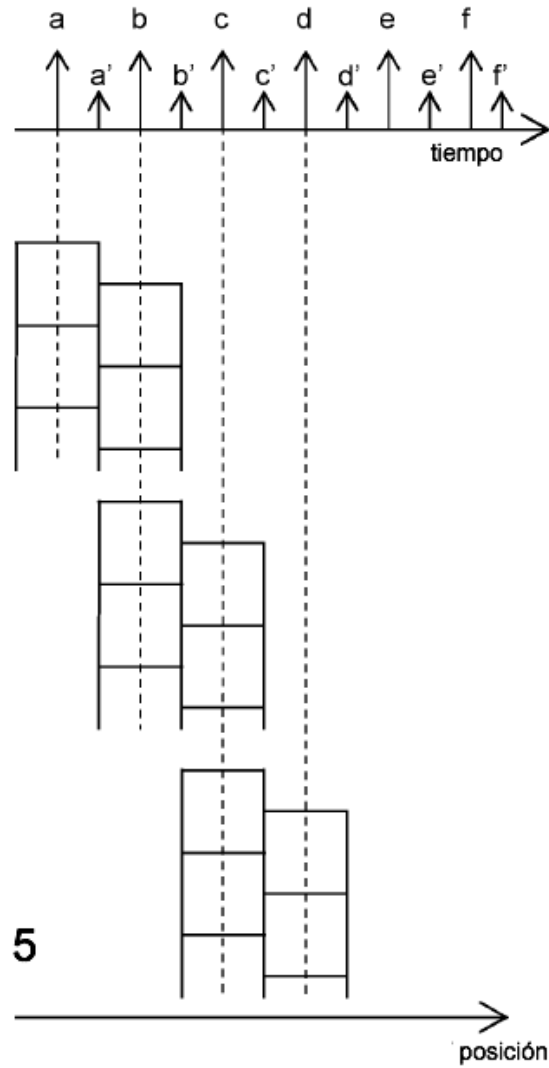
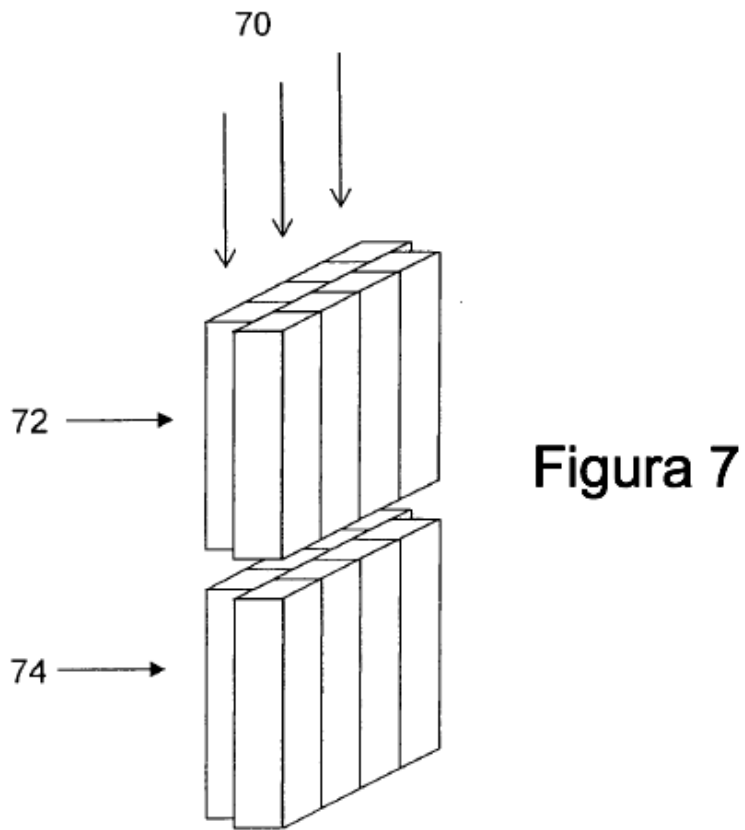
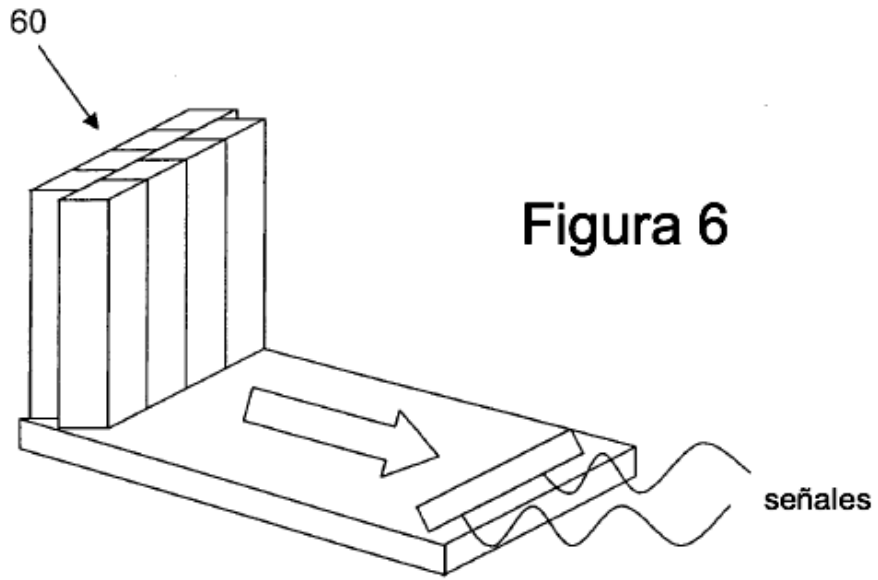


Figura 5



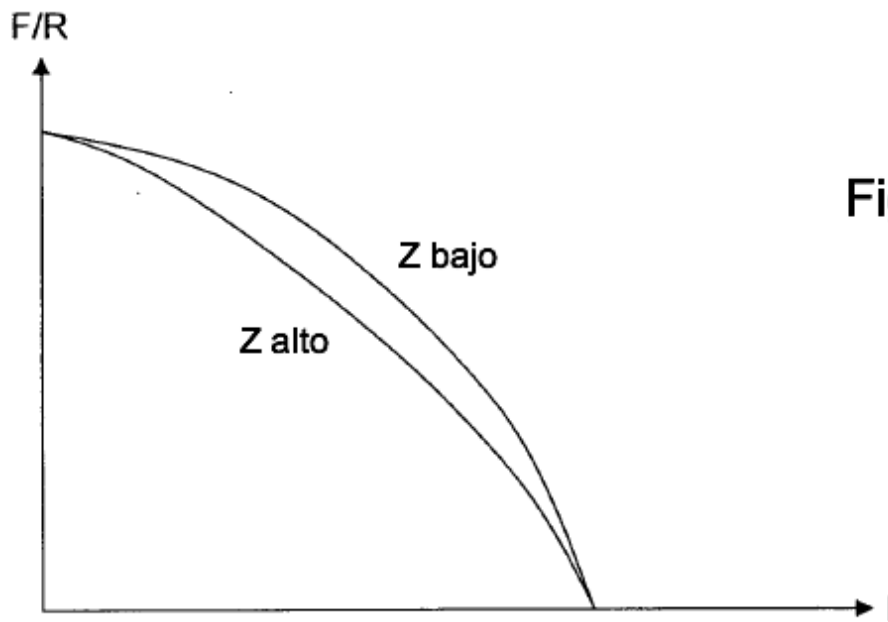


Figura 8

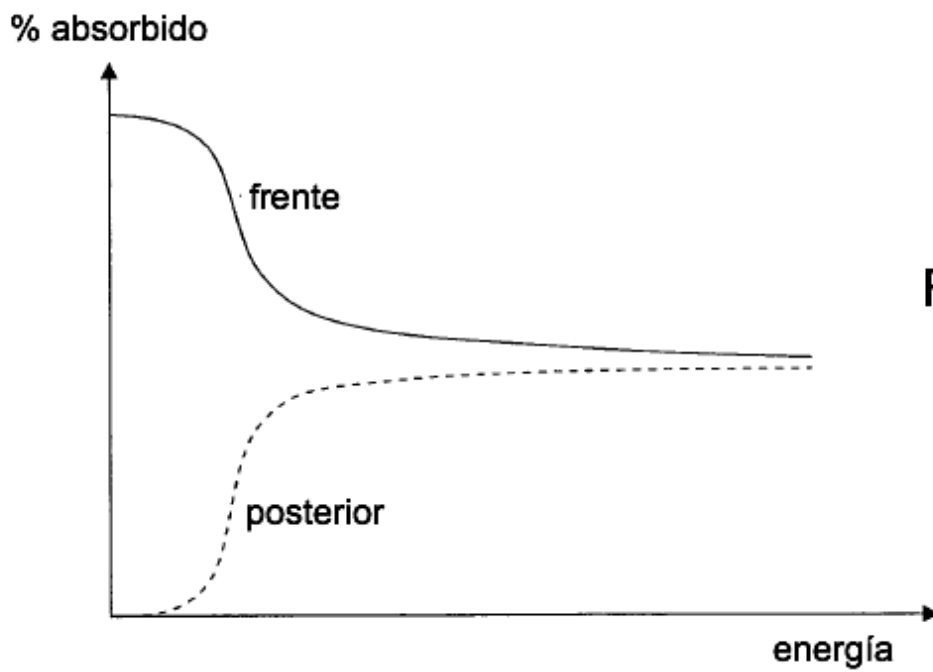
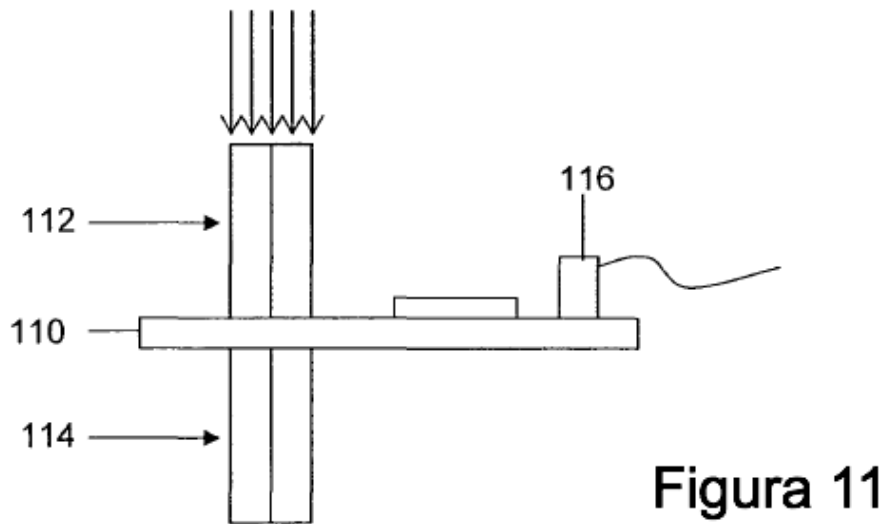
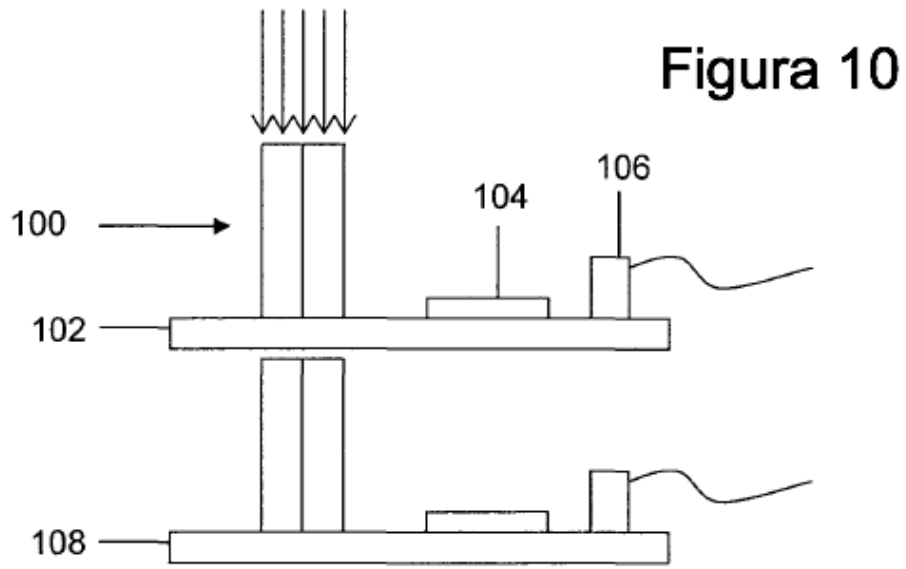
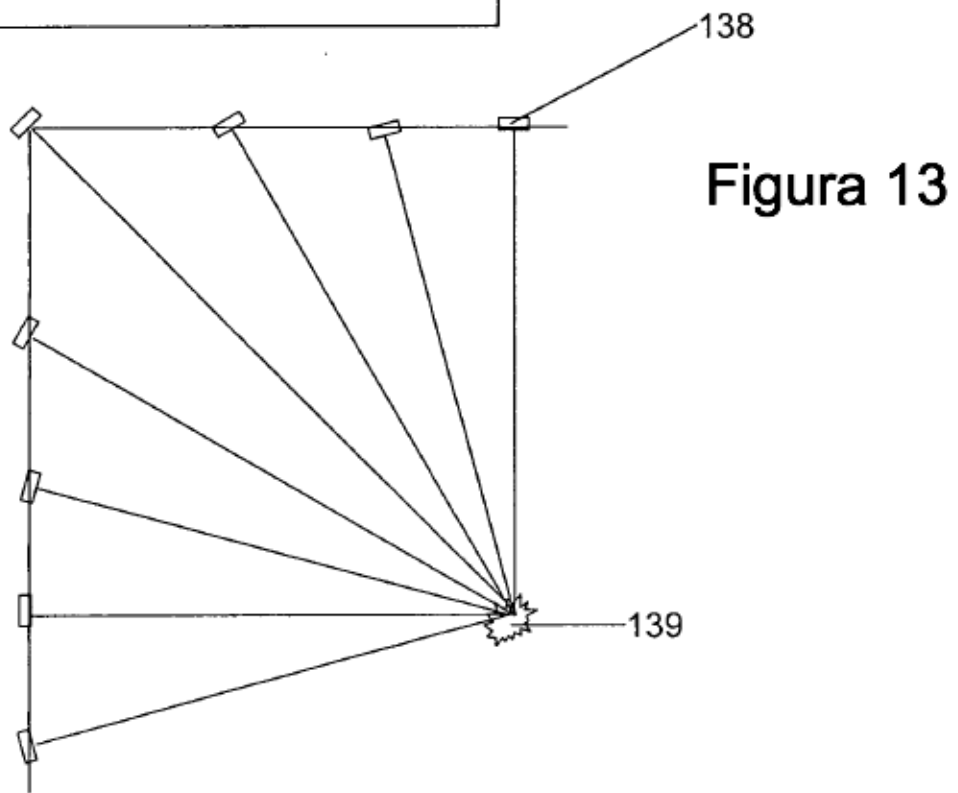
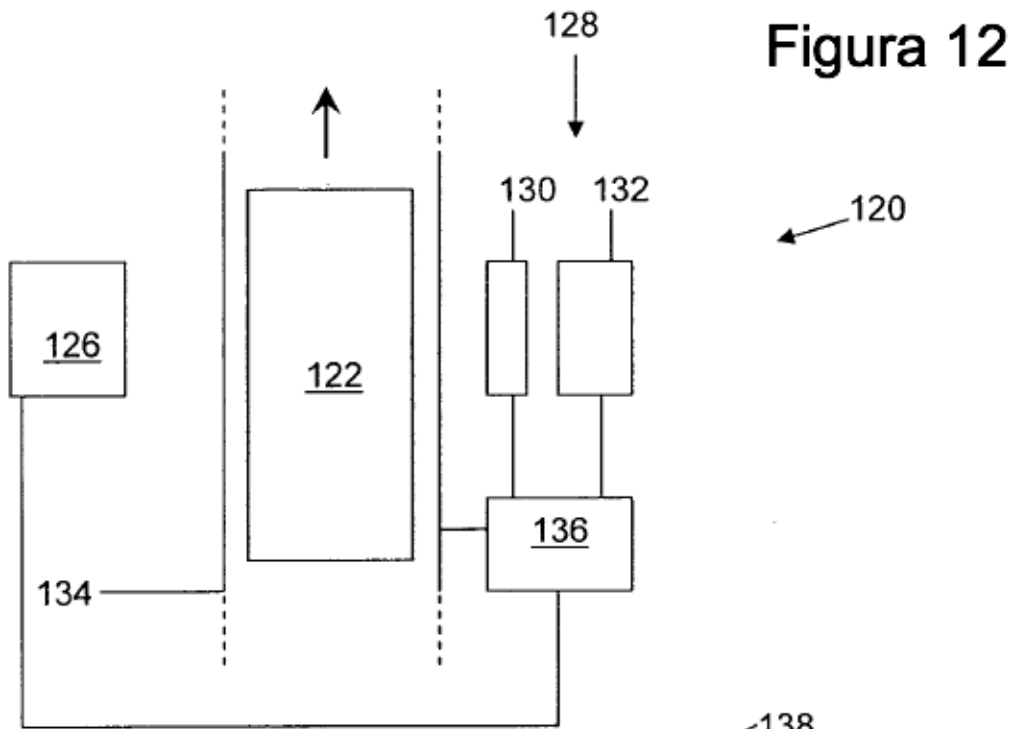


Figura 9





r-a	r-b	r-c	
f-b	f-c	f-d	
r-a	r-b	r-c	
f-a	f-b	f-c	
r-a	r-b	r-c	

Figura 14a

ra	ra'	rb	rb'	
fb	fb'	fc	fc'	
ra	ra'	rb	rb'	
fb	fb'	fc	fc'	
ra	ra'	rb	rb'	

Figura 14b

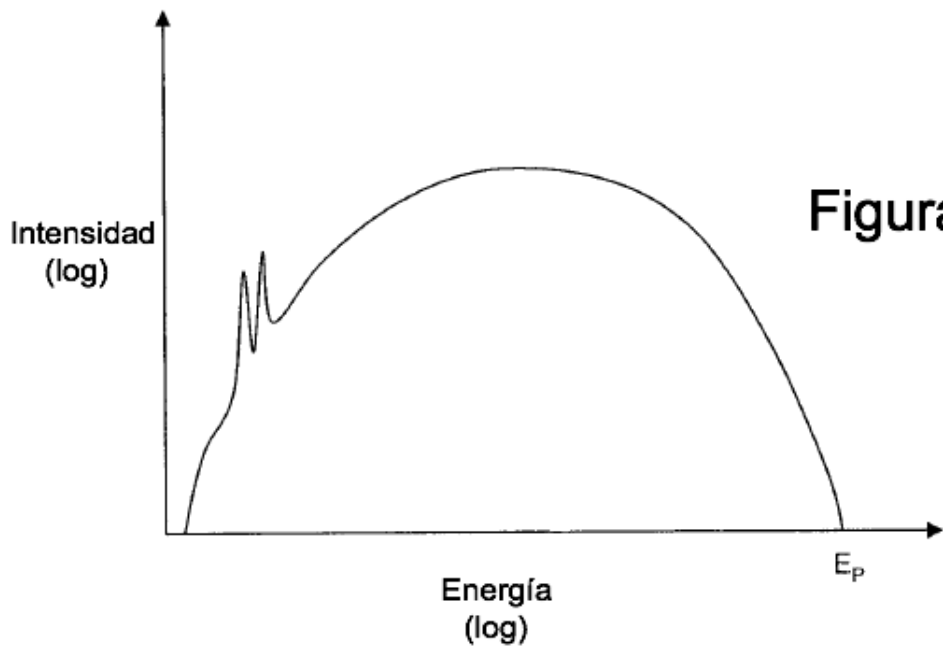


Figura 15

Figura 16

