

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 277**

51 Int. Cl.:

G01V 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.02.2009 E 09713743 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2012 EP 2260333**

54 Título: **Sistemas de exploración**

30 Prioridad:

28.02.2008 GB 0803641

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

20.02.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

MORTON, EDWARD, JAMES

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 396 277 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 exploración

5 La presente invención se refiere a sistemas de exploración. Puede aplicarse, en particular, en sistemas de exploración de cargamento, pero también puede utilizarse en escáneres para otras aplicaciones, tales como escáneres de seguridad y escáneres médicos de alta energía.

Existe la necesidad de inspeccionar el cargamento con el fin de identificar la presencia de materiales y objetos ilícitos. Actualmente, tal inspección se lleva a cabo normalmente utilizando escáneres de rayos X.

10 Los escáneres de rayos X para la inspección de cargamento comprenden normalmente una fuente de rayos X de alta energía (basada normalmente en un acelerador lineal de rayos X) con una calidad de haz de entre 4 MeV y 9 MeV. La salida de rayos X del acelerador lineal de rayos X se colima después para obtener un haz de radiación estrecho en abanico que se aplica al elemento de cargamento que está inspeccionándose. Una agrupación lineal de elementos de detección de rayos X está colocada de manera opuesta a la fuente de rayos X, de manera que es irradiada por el haz de radiación en abanico después de la atenuación del haz de rayos X por parte del objeto que está inspeccionándose.

15 La publicación de patente internacional con número WO 2004/010127 da a conocer una unidad de exploración para identificar contrabando dentro de objetos que recorren la unidad. Se proporciona una fuente de un haz de radiación y un detector que detecta radiación transmitida a través del objeto durante la exploración. Los detectores puede ser sensibles a la energía y las fuentes de radiación pueden emitir radiación de diferentes distribuciones de energía.

20 La solicitud de patente británica GB 2409268 da a conocer detectores de discriminación de material de rayos X que incluyen un cristal de centelleo delantero relativamente fino, señales ópticas las cuales son leídas desde lados opuestos mediante fotodiodos de fibras ópticas.

25 Un aspecto de la invención comprende un procedimiento de exploración para explorar un objeto, que comprende: proporcionar una primera región de detección y una segunda región de detección, donde la segunda región de detección está dispuesta para recibir radiación que ha pasado a través de la primera región de detección; irradiar el objeto con radiación que presenta un primer perfil de energía; detectar la radiación de primer perfil después de que haya interactuado con o pasado a través del objeto con el fin de proporcionar información relativa al objeto, donde detectar la radiación de primer perfil comprende: detectar la radiación de primer perfil en la primera región de detección; recibir la radiación de primer perfil que ha pasado a través de la primera región de detección en la
30 segunda región de detección; detectar la radiación de primer perfil en la segunda región de detección; comprendiendo además el procedimiento de exploración: irradiar el objeto con radiación que tiene un segundo perfil de energía, diferente al primer perfil de energía; detectar la radiación de segundo perfil después de que haya interactuado con o pasado a través del objeto con el fin de proporcionar información relativa al objeto, donde detectar la radiación de segundo perfil comprende: detectar la radiación de segundo perfil en la primera región de
35 detección; recibir la radiación de segundo perfil que ha pasado a través de la primera región de detección en la segunda región de detección; detectar la radiación de segundo perfil en la segunda región de detección, comprendiendo además el procedimiento de exploración: determinar información relativa al objeto en función de información de la primera y de la segunda región de detección relativa a la radiación de primer y de segundo perfil de energía, y calcular la relación $(A/B)_1/(A/B)_2$ con el fin de determinar información relativa al objeto en función de
40 la relación calculada, donde A indica la cantidad de radiación detectada en la primera región de detección, B indica la cantidad de radiación detectada en la segunda región de detección, $(A/B)_1$ es la relación de la radiación de primer perfil detectada en la primera región de detección con respecto a la radiación de primer perfil detectada en la segunda región de detección, y $(A/B)_2$ es la relación de la radiación de segundo perfil detectada en la primera región de detección con respecto a la radiación de segundo perfil detectada en la segunda región de detección.

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

A continuación se describirán, solamente a modo de ejemplo, realizaciones de la invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento según una realización de la invención;

50 la figura 2 muestra esquemáticamente un sistema de exploración según una realización de la invención;

la figura 3 ilustra gráficamente un perfil de radiación de salida procedente de una fuente de radiación utilizada en una realización de la presente invención;

la figura 4 ilustra esquemáticamente una disposición de detección según una realización de la invención;

la figura 5 es un gráfico que ilustra diferentes características de objetos con una alta masa atómica y de objetos con una baja masa atómica vistos mediante el sistema de exploración de una realización de esta invención;

5 la figura 6 es un gráfico que ilustra diferentes características de objetos con un alta masa atómica y de objetos con una baja masa atómica vistos mediante el sistema de exploración de una realización de esta invención;

la figura 7 es un gráfico que ilustra el cambio en la respuesta con respecto a la energía de la radiación recibida;

la figura 8 es un gráfico que ilustra el cambio en la respuesta con respecto a la intensidad de la radiación recibida para objetos con una alta masa atómica y objetos con una baja masa atómica;

la figura 9 muestra esquemáticamente un sistema de adquisición de datos que se utiliza con esta invención;

10 la figura 10 ilustra un cronograma para el sistema de adquisición de datos de la figura 9 en una realización; y

la figura 11 es una representación de objetos solapados que pueden distinguirse utilizando esta invención.

Haciendo referencia a las figuras 1 y 2, un procedimiento de la invención proporciona un procedimiento 10 y un sistema 30 para explorar un objeto 32. El sistema 30 comprende una fuente de radiación 36 dispuesta para irradiar el objeto 32 con radiación. En esta realización, la fuente 36 es una fuente de acelerador lineal de energía conmutable. Otras fuentes adecuadas resultarán evidentes a los expertos en la técnica. En esta realización, el objeto 32 se mueve en la dirección de la flecha 34 a través de una zona de exploración. El objeto 32 podría ser un camión que transporta un cargamento, por ejemplo, que recorre una zona de exploración, la cual será irradiada por la fuente 36. En otras realizaciones, el objeto 32 puede ser estacionario. La fuente de radiación 36 está dispuesta para funcionar en al menos dos niveles diferentes. En este ejemplo, la fuente 36 puede funcionar en un nivel alto para proporcionar radiación que tiene un valor pico de energía de al menos 1 MeV y en un nivel bajo para proporcionar radiación que tiene un valor pico de energía de al menos 0,5 MeV. En este ejemplo particular, la radiación de nivel alto tiene un valor pico de 6 MeV, y la radiación de nivel bajo tiene un valor pico de 3 MeV. En este contexto, el valor pico es el valor de energía en el que la fuente 36 emite la intensidad de radiación más alta.

25 El sistema de exploración 30 comprende además una disposición de detección 38. La disposición de detección está dispuesta para detectar radiación después de que haya interactuado con o pasado a través del objeto 32 con el fin de proporcionar información para explorar el objeto. La disposición de detección 38 comprende un primer detector 40 y un segundo detector 42. El primer detector 40 tiene un grosor de al menos 2 mm. En esta realización, el grosor del primer detector es de 15 mm aproximadamente. En otras realizaciones, el grosor puede ser mayor o menor y puede ajustarse según considere un experto en la técnica. El segundo detector 42 tiene un grosor de al menos 5 mm. En esta realización, el grosor del segundo detector 42 es de 30 mm aproximadamente. De nuevo, para el experto en la técnica resultará evidente que este grosor de detector puede variar según los experimentos para ajustar la disposición de detección 38 según sea necesario. Por ejemplo, en algunas realizaciones, los detectores pueden ajustarse para detectar la misma cantidad de radiación en cada uno de los mismos, para proporcionar un procesamiento de señal más eficaz. 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 técnica puede concebir una disposición diferente. En esta realización particular, esta disposición proporciona una geometría sencilla para obtener la configuración de detección deseada, de manera que la radiación que pasa a través del primer detector 40 llega al segundo detector 42 después de que haya interactuado con el objeto 32. En esta realización, la disposición de detección 38 es una agrupación lineal de detectores, con un detector delantero 40, A y un detector trasero 42, B.

45 En su realización más genérica, el sistema 30 no incluye sensores de movimiento. El sistema 30 puede incluir un sensor de movimiento (no mostrado). El sensor de movimiento 44 está dispuesto para medir una cualquiera o más de entre la posición, la rapidez, la velocidad o la aceleración del objeto 32, y los datos recopilados utilizando el sensor de movimiento pueden utilizarse para coordinar la sincronización de la captura de datos a medida que se explora el objeto.

Haciendo referencia a la figura 1, el procedimiento de exploración 10 comprende la etapa de proporcionar 12 una primera región de detección que tiene un grosor de al menos 2 mm y una segunda región de detección que tiene un grosor de al menos 5 mm. El procedimiento 10 comprende además las etapas de irradiar 14 un objeto que va a explorarse con radiación que tiene un valor pico de energía de 1 MeV o superior, detectar 16 radiación en la primera región de detección 40 y, después, detectar 18 radiación en la segunda región de detección 42 (la segunda región de detección está dispuesta para recibir radiación que ha pasado a través de la primera región de detección). El procedimiento 10 comprende detectar la radiación después de que haya interactuado con o pasado a través del objeto para proporcionar información relativa al objeto.

El procedimiento 10 comprende además irradiar 20 el objeto con radiación que tiene un valor pico de energía de 0,5 MeV o superior (pero inferior al valor pico de energía de la energía irradiada en la etapa 14), y detectar de nuevo 22 radiación en la primera región de detección 40 y después detectar 24 radiación en la segunda región de detección 42.

- 5 En este ejemplo, el objeto se explora con una radiación de perfil de energía superior antes de explorarse con radiación de perfil de energía inferior. En otras realizaciones, el objeto puede explorarse con radiación de perfil de energía inferior antes de explorarse con radiación de perfil de energía superior. En otras realizaciones adicionales puede llevarse a cabo una exploración en más de dos niveles diferentes (donde canal nivel proporciona radiación que tiene un perfil de energía diferente).
- 10 En esta realización, el objeto se irradia en ráfagas discretas. El experto en la técnica se percatará de que los niveles de radiación pueden variarse gradualmente, o en una combinación de ráfagas y una variación gradual, y el procesamiento de señales de recopilación de datos debe modificarse en consecuencia (esto se tratará posteriormente en mayor detalle).

En algunas realizaciones, el procedimiento 10 comprende enviar desde las regiones de detección información detectada recibida en respuesta a una ráfaga antes de que se produzca la siguiente ráfaga. Esto ayuda a simplificar el procesamiento de señal.

15

La ecuación principal que controla la atenuación de rayos X en la materia es:

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

donde $I(E)$ = intensidad de radiación transmitida a través del objeto con energía E , $I_0(E)$ = intensidad de radiación emitida por la fuente con energía E , $\mu(E)$ = coeficiente de atenuación lineal del objeto con energía E y l = línea tomada por el haz filiforme de radiación a través del objeto.

20

La salida de rayos X de un acelerador lineal de rayos X es policromática y tiene una distribución de energía muy similar a la mostrada en la figura 3. La energía máxima de rayos X (E_p) resulta de estas interacciones de electrones en el blanco del acelerador lineal, donde toda la energía de los electrones se transfiere a un único fotón de rayos X. Normalmente no se transfiere toda la energía de los electrones a un fotón, dando como resultado la amplia gama de energías de rayos X en el haz de rayos X. A bajas energías, los picos mostrados en la figura 3 se deben a interacciones de fluorescencia entre los electrones y los átomos objetivo, dando como resultado rayos X que son característicos del material objetivo.

25

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

30

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

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

Por lo tanto resulta evidente que I_d no proporciona información sobre la distribución de energía del haz de rayos X entrante, sólo sobre el efecto acumulativo de todas las energías de rayos X.

35

Sin embargo, también puede observarse que a no ser que la trayectoria a través del material de detector, s , sea muy larga, parte de la energía se transmitirá a través del detector (es decir, no tendrá una eficacia de detección del 100%). Haciendo referencia a la figura 4, si un segundo detector, B, está situado en la salida del primer detector, A, entonces la energía transmitida a través del primer detector tiene la oportunidad de ser absorbida en el segundo detector. En este caso puede determinarse que:

40

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

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

5 Examinando la ecuación 3 se deduce que el espectro de energía que incide sobre el detector B no es el mismo que el espectro de energía que incide sobre el detector A. Por lo tanto, puede considerarse que el detector A ha retenido alguna información de energía incluso aunque la salida integrada por sí sola no es suficiente para indicar cuál es esta información de energía. Esto también se aplica al detector B.

10 En esta invención se reconoce que las mediciones 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 alguna 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.

15 Examinando la ecuación (1) puede observarse además que la relación de las mediciones de los detectores incluye además un factor que se debe a la atenuación en el objeto.

Tres parámetros del objeto afectarán a la relación de los detectores (ecuación 4), los cuales 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 manera unívoca un valor para las tres incógnitas del objeto.

20 En otro aspecto de esta invención, se reconoce que si el acelerador lineal de rayos X puede ajustarse para producir más de una distribución de haz primario, entonces pueden recopilarse dos pares de resultados de detector, uno con una distribución de haz primario de energía inferior, $I_{dA}(lo)$ e $I_{dB}(lo)$, y otro con una distribución de energía de haz primario superior, $I_{dA}(hi)$ e $I_{dB}(hi)$. Ahora hay cuatro mediciones con las mismas tres incógnitas y, por lo tanto, es posible determinar una solución matemáticamente única. Esta solución puede determinarse utilizando una
 25 técnica numérica apropiada, tal como la minimización de mínimos cuadrados. En otras realizaciones puede utilizarse cualquier otra técnica numérica similar o adecuada como una alternativa o de manera combinada.

30 La presente invención se refiere a una exploración de alta energía. A bajas energías (por ejemplo, la mayoría de los escáneres médicos), el efecto fotoeléctrico es un mecanismo mediante el cual los rayos X interactúan con la materia interna de los objetos que están explorándose. Por el contrario, la presente invención está relacionada con energías de fuentes de rayos X mucho mayores; en concreto la distribución de haz primario de energía inferior mencionada anteriormente tiene un valor pico de 500 KeV o superior (y el haz de energía superior tiene un valor superior a éste). El mecanismo predominante que controla las interacciones de radiación dentro de la materia a estas energías es la dispersión Compton.

35 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 de Z^1 . A bajas energías también se produce en cierta medida la dispersión Compton.

40 Las regiones de detección de la presente invención están configuradas de manera que en el detector delantero hay una dependencia de aproximadamente Z^4 debido a una combinación de efectos fotoeléctricos y de efectos de la dispersión Compton. El segundo detector trasero tiene una dependencia de Z^1 . Como resultado, hay consideraciones significativamente diferentes en comparación con una exploración con rayos X de baja energía debido a las diferentes leyes físicas que controlan la interacción de la materia. Se ha observado que para aplicaciones de exploración con rayos X de alta energía, el detector delantero y el detector trasero de la disposición reivindicada están controlados por diferentes leyes físicas con relación a su interacción con radiaciones de alta energía. Como resultado de las diferentes relaciones físicas, se necesitan diferentes disposiciones de detección
 45 con respecto a escáneres de rayos X de baja energía. Por consiguiente, se especifica que un primer detector tiene un grosor de al menos 2 mm, mientras que se especifica que el segundo detector tiene un grosor 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 se produce en el primer detector, y el efecto predominante de la dispersión Compton en el segundo detector. Como resultado, los escáneres de cargamento convencionales no
 50 tienen una disposición de región de detección dual como se especifica en esta invención.

La disposición de detección que se utiliza en un sistema de exploración de este tipo (es decir, el sistema comprende una fuente de radiación dispuesta para irradiar un objeto que va a explorarse, donde la disposición de detección está dispuesta para detectar la radiación después de que haya interactuado con o pasado a través del objeto para explorar el objeto) puede ser un detector apilado, donde la disposición de detección comprende una primera región de detección dispuesta para detectar la radiación, y una segunda región de detección dispuesta para detectar radiación, donde la segunda región de detección está dispuesta para recibir radiación que ha pasado a través de la primera región de detección. En este ejemplo, la primera región de detección está situada entre el objeto que va a explorarse y la segunda región de detección. La primera región de detección y la segunda región de detección están configuradas para detectar una cantidad predeterminada de radiación entre sí; en este ejemplo, la primera región de detección y la segunda región de detección están configuradas para detectar sustancialmente la misma cantidad de radiación en cada una de las mismas; en este ejemplo, esto se consigue configurando las longitudes s , t de los detectores A, B.

El primer detector y/o el segundo detector pueden comprender una agrupación lineal de detectores.

Un ejemplo de los datos que pueden registrarse utilizando un sistema con detectores apilados como se ejemplifica en esta invención (y como se muestra en la figura 4) se proporciona en las figuras 5 a 8. En estas figuras, I es la intensidad integrada total de radiación detectada, es decir, la suma de la intensidad en el primer detector, A, y el segundo detector, B. F/R es una medida de la relación de intensidad de radiación detectada en el detector delantero y en el detector trasero. L/H es una medida de la relación de intensidad de radiación detectada en un perfil bajo de energía fuente y en un perfil alto de energía fuente.

A energías inferiores, el detector delantero absorbe la mayor parte de la radiación que llega al mismo. Como resultado hay una buena distinción con respecto a la absorción en el detector trasero entre objetos de Z alta y objetos de Z baja, donde Z = masa atómica. Por lo tanto, la relación F/R proporciona, en particular, información útil a bajas energías.

A energías superiores, la relación L/H proporciona una buena distinción entre objetos de Z alta y objetos de Z baja. Por lo tanto, la relación L/H proporciona, en particular, información útil a altas energías.

Combinadas, estas dos relaciones ayudan a proporcionar información detallada a través del espectro de energía.

La figura 8 muestra la diferencia de porcentaje entre las dos curvas de las figuras 5 y 6. A modo de guía, la diferencia entre las relaciones de intensidad a energías bajas y a energías altas puede alcanzar el 10 por ciento. Dado que el umbral mínimo de ruido en un sistema de detección de buena calidad debe ser del orden de 10 partes por millón, puede medirse un cambio de varios puntos porcentuales en la relación de intensidad.

La figura 9 muestra un sistema de adquisición de datos adecuado que se utiliza con el sistema de exploración. En este caso, un acelerador de rayos X pulsados tiene dos entradas, Activar y Energía. Los rayos X del acelerador pasan a través del objeto que está inspeccionándose e interceptan agrupaciones de sensores que tienen sensores delanteros y traseros. La señal analógica se integra y convierte a una forma digital antes de transmitirse a un conjunto de tarjetas de concentrador que forman paquetes Ethernet que contienen los datos de sensor digitalizados. Estos paquetes Ethernet se transmiten desde cada tarjeta de concentrador, a través de un conmutador Ethernet, hasta un ordenador de control en el que se formatean en líneas de una imagen que se muestran posteriormente en un monitor legible para el ser humano. Cada línea de la imagen corresponde a un pulso de acelerador que contiene datos de sensor. Evidentemente, otras arquitecturas de sistema de adquisición de datos son válidas y resultarán evidentes a los expertos en la técnica, y la figura 9 se presenta como un ejemplo de una buena práctica en el diseño de la adquisición de datos.

La figura 10 presenta un ejemplo de un cronograma para la adquisición de datos de rayos X de cuádruple energía. Un pulso de activación activa la conmutación del nivel de energía de la fuente de radiación entre su nivel alto y su nivel bajo. Eventos de detección están integrados en cada detector coordinado en el tiempo con los estados de alta energía y de baja energía, y la lectura de cada detector se produce antes del siguiente evento de integración.

Resulta ventajoso utilizar un detector de filas escalonadas desplazadas para mejorar la velocidad de exploración, para incrementar la eficacia de detección y para proporcionar una correlación espacial mejorada entre las mediciones de rayos X de alta energía y de baja energía. Esto puede realizarse, por ejemplo, para conseguir frecuencias de muestreo de Nyquist.

Puede resultar ventajoso utilizar secuencias de radiación de pulsos no periódicos procedentes de la fuente para ayudar a reducir las tasas de dosis y para proporcionar un mejor rendimiento de penetración del objeto.

Debe observarse que el análisis proporcionado en las anteriores ecuaciones 1 a 4 se refiere a un único objeto homogéneo. En un objeto real normalmente hay múltiples objetos que pueden solaparse en la imagen. Un ejemplo

de objetos solapados se muestra en la figura 11. En este caso, un primer objeto 110 está parcialmente solapado por un segundo objeto 112. En cada caso, la forma global de los objetos es visible al ojo humano, incluso en la región solapada 114. En esta invención se reivindica que pueden utilizarse procedimientos de procesamiento de imágenes automatizados para segmentar la imagen de rayos X proyectada de cuádruple energía para resolver las características materiales de la región situada a la izquierda del primer objeto 110 y de la región situada a la derecha del segundo objeto 112. Esta información sobre los objetos 110 y 112 puede utilizarse después para analizar el área solapada 114. Conociendo la calidad del haz, el grosor y el coeficiente de atenuación del primer objeto 110 y el grosor y el coeficiente de atenuación del segundo objeto 112, es posible calcular la intensidad esperada que debería detectarse en la región solapada utilizando la siguiente ecuación:

$$I(E) = I_0(E) \exp \left(- \left\{ \int_0^{t_1} \mu_1(E) dl + \int_0^{t_2} \mu_2(E) dl \right\} \right) \quad (5)$$

donde t_1 = grosor del primer objeto 110, $\mu_1(E)$ = coeficiente de atenuación del primer objeto 110 con energía E , t_2 = grosor del segundo objeto 112 y $\mu_2(E)$ = coeficiente de atenuación del segundo objeto 112 con energía E . Debe observarse que los valores detectados, $I_{dA}(lo)$, $I_{dB}(lo)$, $I_{dA}(hi)$ e $I_{dB}(hi)$ se determinan a través de las ecuaciones 3 y 4. Después, los valores medidos pueden compararse con los valores calculados asociados para garantizar que no haya nada más en la región solapada 114.

Debe observarse que las técnicas descritas en este documento pueden extrapolarse a situaciones mucho más complejas. Por ejemplo, puede fabricarse una fuente de rayos X para que funcione en más de dos energías de haz y pueden ensamblarse más de dos capas de detección para proporcionar un muestreo aún más preciso de la distribución de energía de las señales de rayos X transmitidas. Los procedimientos de análisis de datos son los mismos, pero hay más mediciones del mismo número de incógnitas y, por lo tanto, es posible generar, en principio, una solución mejor determinada.

Capas de filtro metálico pueden estar interpuestas entre los elementos de detección con el fin de contribuir en la conformación del espectro de rayos X. No se recomienda este procedimiento ya que no se registra ninguna señal procedente de la capa de filtro metálico y el resultado neto es una imagen de dosis superior que cuando se utiliza un detector activo como un filtro para el fin equivalente.

Pueden enviarse rayos X de baja y de alta energía en un orden diferente, por ejemplo, baja energía y después alta energía.

Pueden calcularse diferentes relaciones con los cuatro elementos de información. La relación descrita en el ejemplo anterior: $(A/B)_{lo}/(A/B)_{hi}$ es particularmente útil ya que suprime la necesidad de calibrar los detectores. Otras relaciones únicas que pueden utilizarse son A_{hi}/A_{lo} , A_{hi}/B_{lo} , A_{lo}/B_{hi} , A_{hi}/B_{hi} , A_{lo}/B_{lo} . Estas son relaciones únicas (B_{hi}/A_{lo} puede utilizarse pero no ofrece ninguna ventaja con respecto a A_{lo}/B_{hi} ya que, simplemente, es su inversa) similares a otros ejemplos de relaciones.

En algunas realizaciones pueden proporcionarse más de dos regiones de detección y pueden utilizarse más de dos niveles de energía de radiación para la irradiación del objeto. Por ejemplo, en lugar de dos, puede utilizarse tres, cuatro, cinco, seis o cualquier otro número adecuado de niveles de energía.

Puede utilizarse exactamente el mismo principio de agrupación de detectores con otras sondas de formación de imágenes, incluyendo neutrones térmicos y neutrones rápidos, que pueden proporcionar un beneficio de diagnóstico adicional.

Para un experto en la técnica será evidente que pueden utilizarse diferentes valores pico para el perfil de energía inferior y/o para el perfil de energía superior dentro de los límites especificados en las reivindicaciones. Por ejemplo, el valor pico de energía de perfil inferior puede ser de 4 MeV, y el valor pico de energía de perfil superior puede ser de 7 u 8 MeV.

REIVINDICACIONES

1.- Un procedimiento de exploración para explorar un objeto, que comprende:

5 proporcionar una primera región de detección (40) que tiene un grosor de al menos 2 mm y una segunda región de detección (42) que tiene un grosor de al menos 5 mm, donde la segunda región de detección está dispuesta para recibir radiación que ha pasado a través de la primera región de detección,

irradiar el objeto (32) con radiación que presenta un primer perfil de energía y que tiene un valor pico de energía de al menos 1 MeV,

10 detectar la radiación de primer perfil después de que haya interactuado con o pasado a través del objeto (32) con el fin de proporcionar información relativa al objeto (32), donde detectar la radiación de primer perfil comprende:

detectar la radiación de primer perfil en la primera región de detección (40),

recibir la radiación de primer perfil que ha pasado a través de la primera región de detección en la segunda región de detección (42),

detectar la radiación de primer perfil en la segunda región de detección,

15 comprendiendo además el procedimiento de exploración:

irradiar el objeto (32) con radiación que tiene un segundo perfil de energía, relativamente inferior al primer perfil de energía, y que tiene un valor pico de energía de al menos 0,5 MeV,

20 detectar la radiación de segundo perfil después de que haya interactuado con o pasado a través del objeto con el fin de proporcionar información relativa al objeto, donde detectar la radiación de segundo perfil comprende:

detectar la radiación de segundo perfil en la primera región de detección (40),

recibir la radiación de segundo perfil que ha pasado a través de la primera región de detección en la segunda región de detección,

detectar la radiación de segundo perfil en la segunda región de detección (42),

25 comprendiendo además el procedimiento de exploración:

determinar información relativa al objeto en función de información de la primera y de la segunda región de detección relativa a la radiación de primer y de segundo perfil de energía,

y caracterizado porque el procedimiento de exploración comprende además:

30 calcular la relación $(A/B)_1/(A/B)_2$ con el fin de determinar información relativa al objeto en función de la relación calculada, donde A indica la cantidad de radiación detectada en la primera región de detección, B indica la cantidad de radiación detectada en la segunda región de detección, $(A/B)_1$ es la relación de la radiación de primer perfil detectada en la primera región de detección con respecto a la radiación de primer perfil detectada en la segunda región de detección, y $(A/B)_2$ es la relación de la radiación de segundo perfil detectada en la primera región de detección con respecto a la radiación de segundo perfil detectada en la
35 segunda región de detección.

2.- El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende situar la primera región de detección (40) entre el objeto y la segunda región de detección (42).

3.- El procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende determinar información introduciendo la información de la primera y de la segunda región de detección relativa a la radiación de primer y
40 de segundo perfil de energía en una técnica de minimización de mínimos cuadrados para obtener información relativa al objeto.

4.- El procedimiento según cualquier reivindicación anterior, que comprende irradiar y detectar la radiación de primer perfil antes de la radiación de segundo perfil, o viceversa.

45 5.- El procedimiento según cualquier reivindicación anterior, en el que irradiar el objeto comprende irradiar el objeto en ráfagas discretas y, opcionalmente,

comprende enviar desde las regiones de detección información detectada recibida en respuesta a una ráfaga antes de que se produzca la siguiente ráfaga.

5 6.- El procedimiento según cualquier reivindicación anterior, en el que la radiación de perfil de baja energía comprende radiación de rayos X de 3 MeV y la radiación de perfil de alta energía comprende radiación de rayos X de 6 MeV.

7.- El procedimiento según cualquier reivindicación anterior, que comprende configurar la primera región de detección y la segunda región de detección para detectar una cantidad predeterminada de radiación respecto a una de la otra y, opcionalmente,

10 configurar la primera región de detección y la segunda región de detección para detectar sustancialmente la misma cantidad de radiación en cada una de las mismas y, opcionalmente,

comprende configurar uno cualquiera o más de entre el tamaño, la forma o el material de la o de cada región de detección, de manera que la primera región de detección y la segunda región de detección detecten la cantidad de radiación predeterminada respecto a una de la otra.

15 8.- El procedimiento según cualquier reivindicación anterior, que comprende proporcionar un primer detector que incluye la primera región de detección y un segundo detector que incluye la segunda región de detección.

9.- El procedimiento según cualquier reivindicación anterior, que comprende irradiar el objeto con radiación en más de dos perfiles de energía, tal como en tres perfiles de energía, cuatro perfiles de energía, cinco perfiles de energía, seis perfiles de energía o siete perfiles de energía.

20 10.- Un procedimiento para explorar objetos solapados que comprende utilizar el procedimiento según cualquier reivindicación anterior para determinar información relativa a cada objeto solapado en una región del objeto que no está solapada con otro objeto, utilizar la información determinada para calcular un valor o valores de detección de referencia relativos a un valor o valores que se esperan detectar en la región en la que los objetos se solapan en ausencia de objetos adicionales que no están presentes fuera de la región de solapamiento, utilizar el procedimiento según cualquier reivindicación anterior para obtener información relativa a la región en la que los objetos se solapan y comparar la información obtenida con los valores esperados para determinar si un objeto adicional está presente en la región en la que los objetos se solapan.

30 11.- Un sistema de exploración para explorar un objeto, que comprende una fuente de radiación de nivel de energía variable (36) dispuesta para irradiar un objeto (32) con radiación que presenta una pluralidad de diferentes perfiles de energía incluyendo un primer perfil de energía que tiene un valor pico de energía de al menos 1 MeV y un segundo perfil de energía relativamente inferior que tiene un valor pico de energía de al menos 0,5 MeV, una disposición de detección dispuesta para detectar radiación después de que haya interactuado con o pasado a través del objeto, donde la disposición de detección comprende una primera región de detección (40) que tiene un grosor de al menos 2 mm y está dispuesta para detectar radiación y una segunda región de detección (42) que tiene un grosor de al menos 5 mm y dispuesta para detectar radiación, donde la segunda región de detección (42) está dispuesta para recibir radiación que ha pasado a través de la primera región de detección (40), comprendiendo el sistema además un controlador dispuesto para determinar información relativa al objeto (32) en función de información de la primera y de la segunda región de detección relativa a la radiación de primer y de segundo perfil de energía, y **caracterizado porque** el controlador está dispuesto para calcular la relación $(A/B)_1/(A/B)_2$ con el fin de determinar información relativa al objeto en función de la relación calculada, donde A indica la cantidad de radiación detectada en la primera región de detección, B indica la cantidad de radiación detectada en la segunda región de detección, $(A/B)_1$ es la relación de la radiación de primer perfil detectada en la primera región de detección con respecto a la radiación de primer perfil detectada en la segunda región de detección, y $(A/B)_2$ es la relación de la radiación de segundo perfil detectada en la primera región de detección con respecto a la radiación de segundo perfil detectada en la segunda región de detección.

45 12.- El sistema de exploración según la reivindicación 11, que comprende un controlador dispuesto para coordinar la sincronización de los eventos de irradiación, de manera que la información detectada obtenida en respuesta a un evento de irradiación se envía desde las regiones de detección antes de que se produzca el siguiente evento y, opcionalmente,

en el que la primera región de detección (40) está situada entre el objeto y la segunda región de detección (42).

50 13.- El sistema de exploración según la reivindicación 11 o la reivindicación 12, en el que el controlador está dispuesto para determinar información introduciendo la información de la primera y de la segunda región de detección relativa a la radiación de primer y de segundo perfil de energía en una técnica de minimización de mínimos cuadrados para obtener información relativa al objeto.

14.- El sistema de exploración según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, que comprende una pluralidad de agrupaciones de detectores, donde cada agrupación de detectores comprende una primera región de detección y una segunda región de detección y, opcionalmente,

5 comprende un concentrador y un conmutador dispuestos para proporcionar de manera coherente información recopilada de las regiones de detección.

15.- El sistema de exploración según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, en el que la primera región de detección y la segunda región de detección están configuradas para detectar sustancialmente la misma cantidad de radiación en cada una de las mismas.

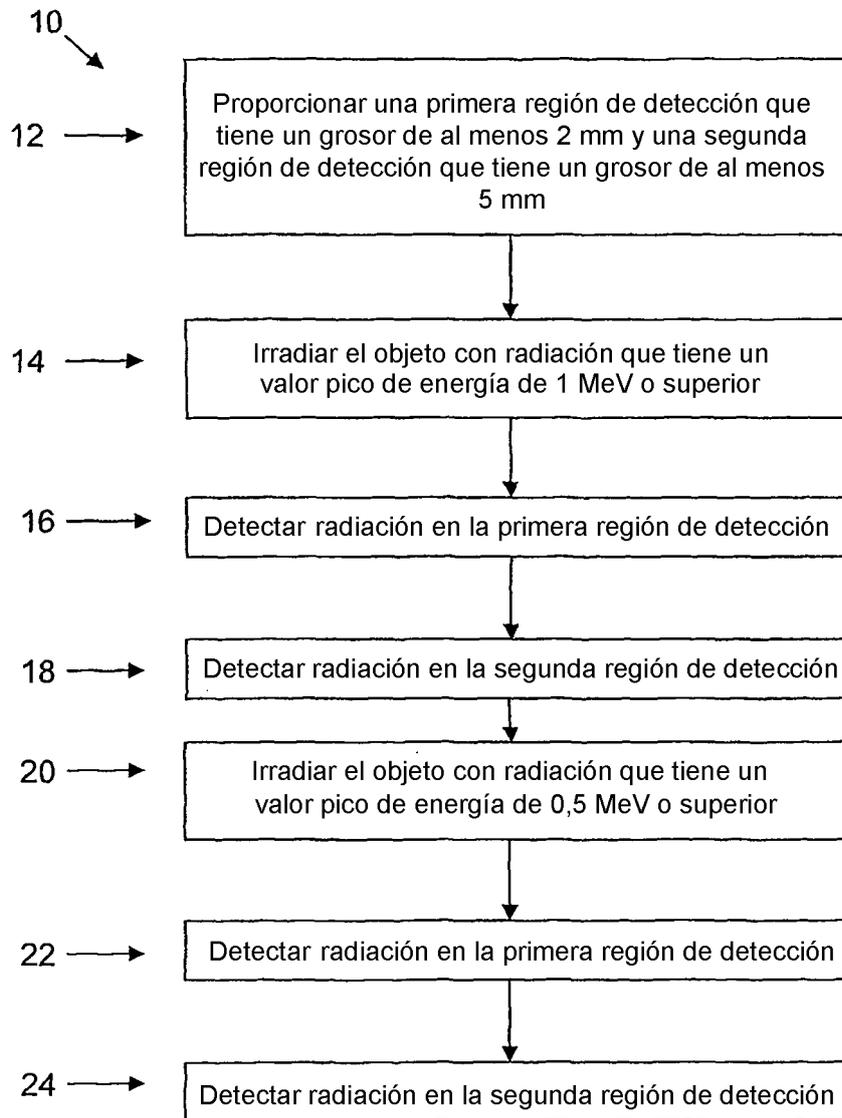


Figura 1

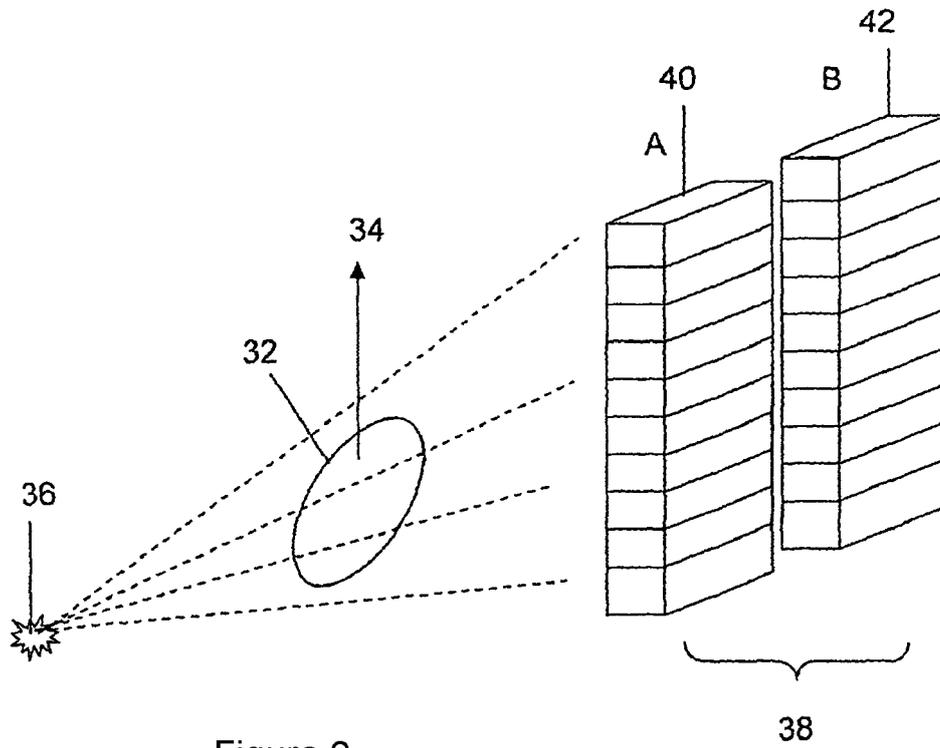


Figura 2

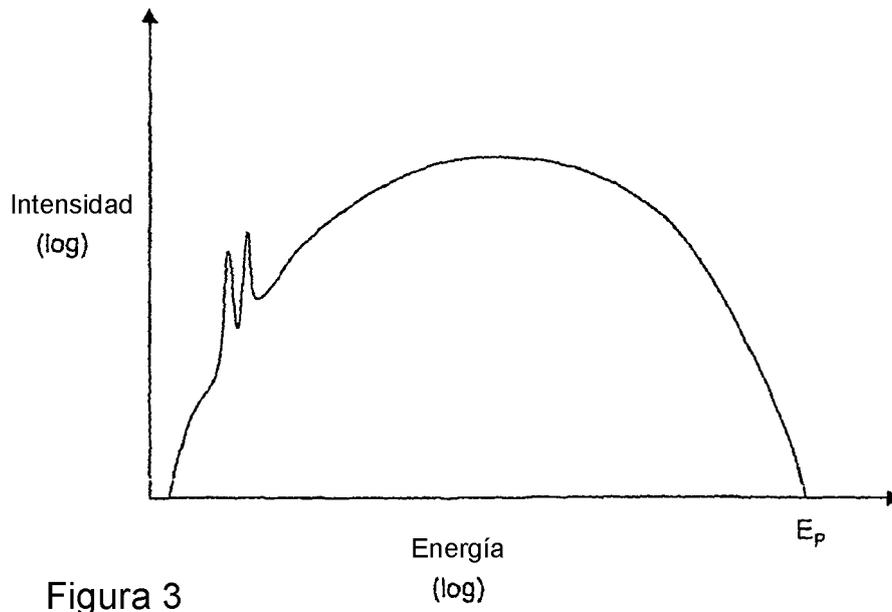


Figura 3

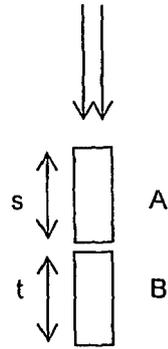


Figura 4

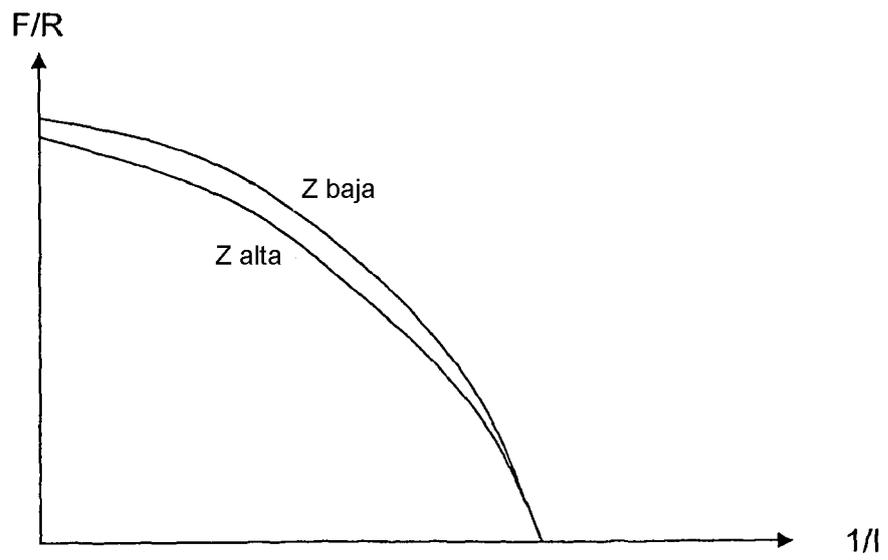


Figura 5

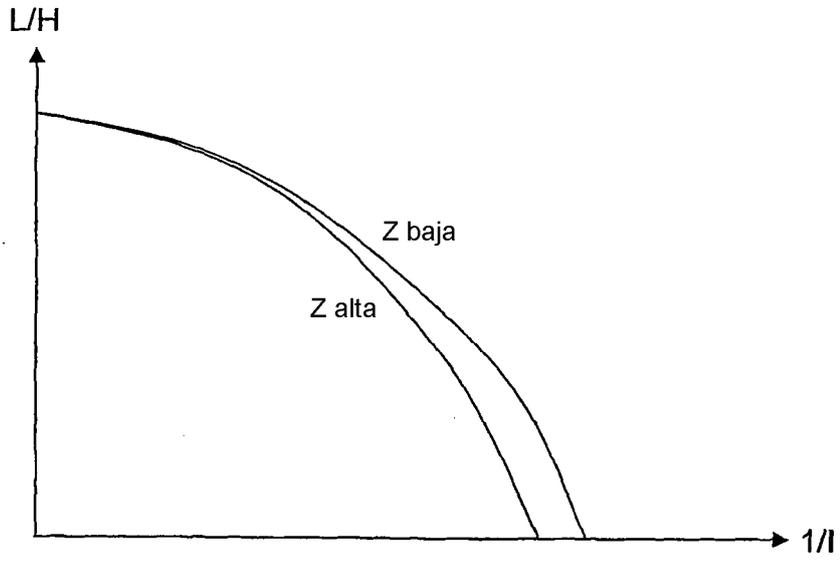


Figura 6

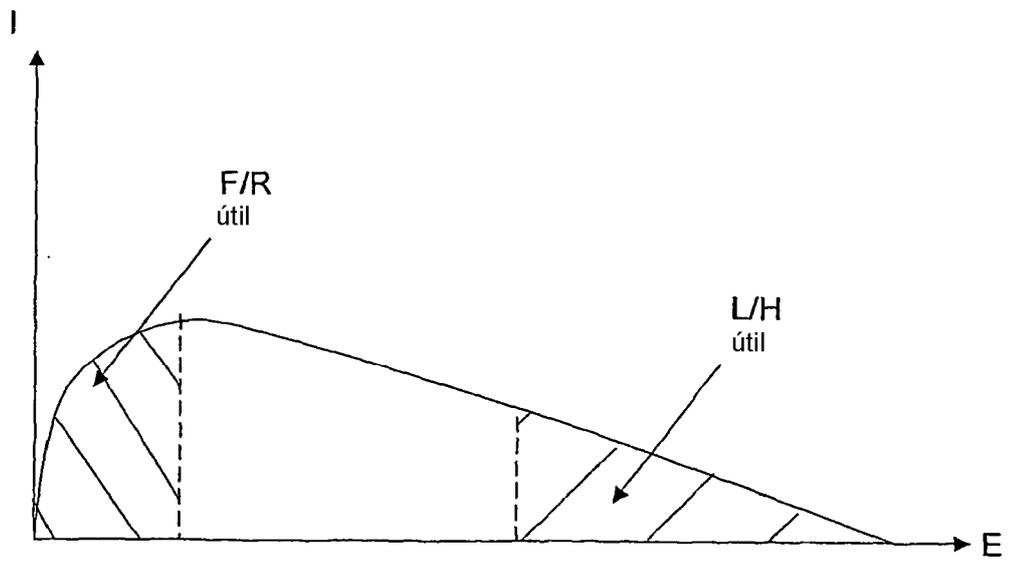


Figura 7

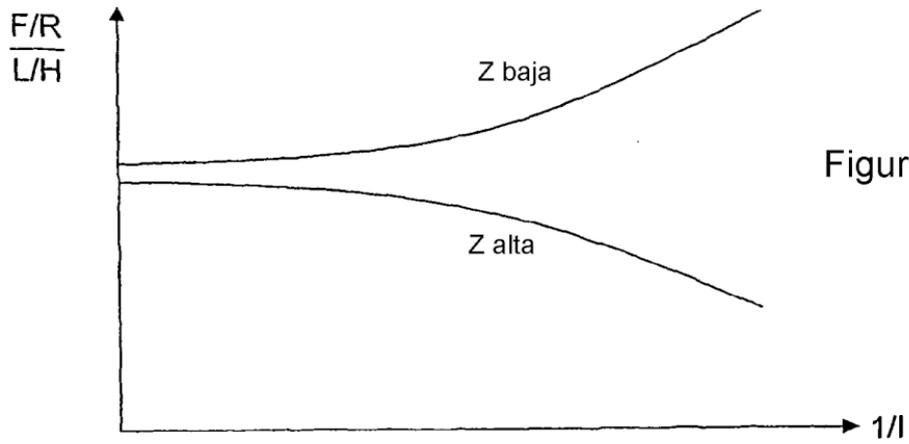


Figura 8

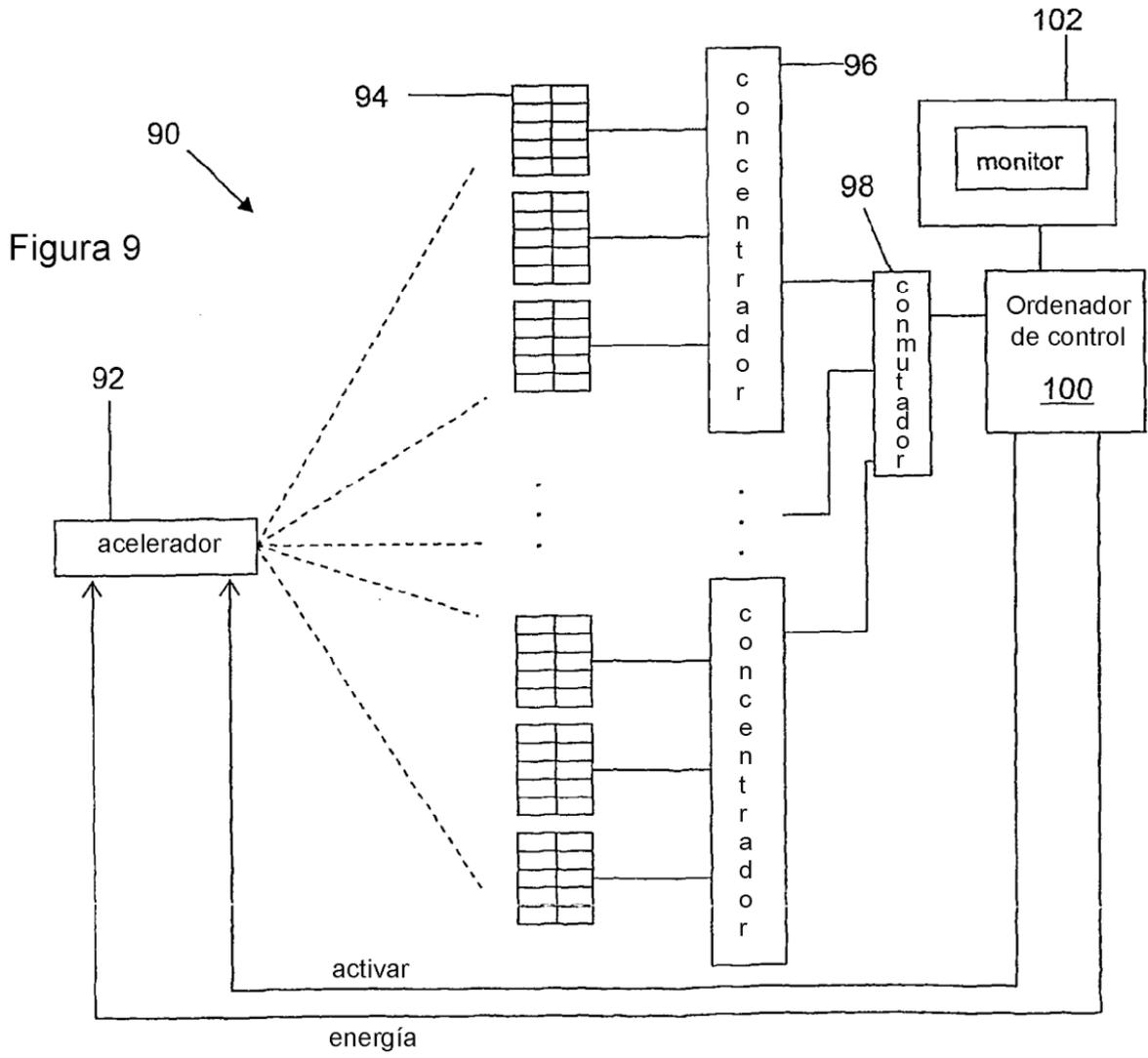


Figura 9

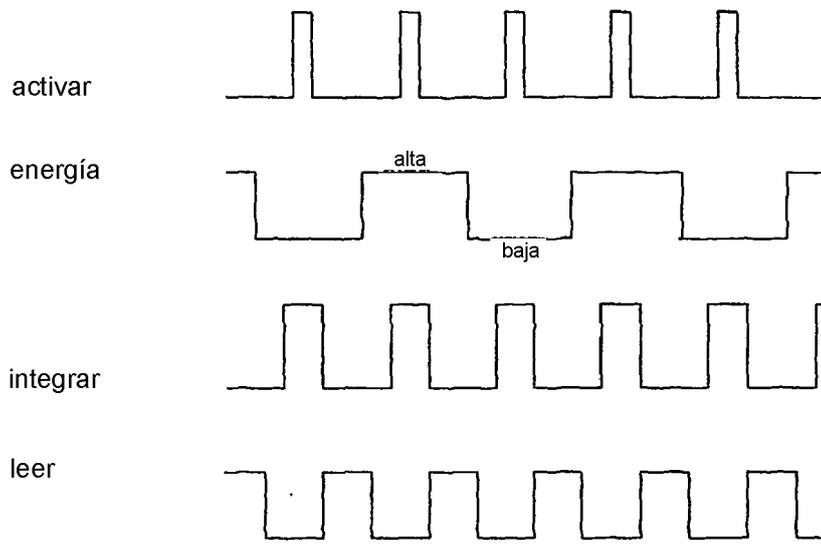


Figura 10

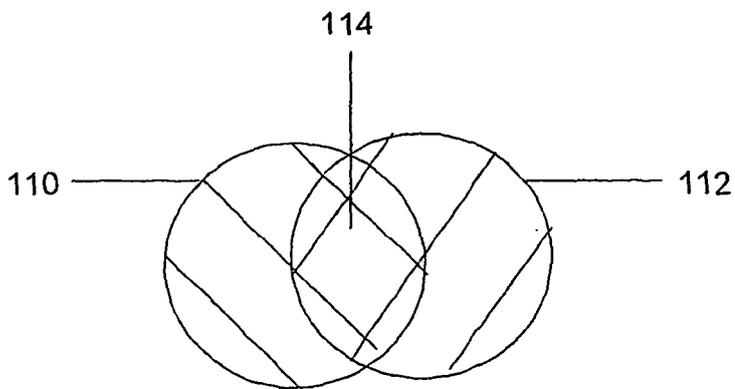


Figura 11