

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 487 940**

51 Int. Cl.:

G01N 23/10 (2006.01)

G01N 23/087 (2006.01)

G06T 5/50 (2006.01)

G06T 5/40 (2006.01)

G01V 5/00 (2006.01)

G01T 1/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2011 E 11173192 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.05.2014 EP 2405260**

54 Título: **Procedimiento y aparato para llevar a cabo una inspección de objetos no invasiva con rayos x**

30 Prioridad:

09.07.2010 IT MI20101269

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

25.08.2014

73 Titular/es:

**XNEXT S.R.L. (100.0%)
Via Boncompagni 67
20139 Milano, IT**

72 Inventor/es:

**POZZI, PIETRO;
ROTONDO, GIUSEPPE y
BORGHESE, NUNZIO ALBERTO**

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

ES 2 487 940 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

Procedimiento y aparato para llevar a cabo una inspección de objetos no invasiva con rayos x.

La invención versa acerca de un procedimiento para llevar a cabo una inspección no invasiva de objetos con rayos x, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- 5 - proporcionar al menos una fuente de rayos x que emite un haz de rayos x policromáticos que incide sobre el objetivo que está siendo inspeccionado;
- proporcionar al menos un detector de rayos x compuesto por elementos detectores ubicados lado a lado y con capacidad para interceptar la radiación modificada por el objeto que está siendo inspeccionado y producir, para cada elemento detector, datos de atenuación asociados con al menos dos bandas de energía;
- 10 - proporcionar una unidad de cálculo para llevar a cabo un procedimiento de elaboración de los datos de atenuación adquiridos del al menos un detector y para reconstruir imágenes radiográficas de los objetos que están siendo inspeccionados al igual que información acerca de su volumen y composición, en el que
- 15 - para cada elemento detector, los datos de atenuación están disponibles en forma de intensidades de radiación asociadas a una banda de energía en un intervalo de al menos cuatro bandas de energía del espectro de rayos x del haz de rayos x y que constituye la firma espectral de los datos de atenuación generados por el elemento detector, y en el que
- 20 - el procedimiento de elaboración incluye las etapas de identificación de agrupaciones de material homogéneo del objeto y de comparación por parte de un sistema experto entre tal firma espectral de dichas agrupaciones y la firma espectral de al menos un material diana.

La invención versa, además, acerca de un aparato para implementar el procedimiento.

25 Descripción de la técnica anterior

Se conocen tal procedimiento y tal aparato por el documento US 6 018 562 A. En el procedimiento conocido y en el aparato conocido, se producen vistas multiespectrales de rayos X de un objeto utilizando fuentes estacionarias de rayos x policromáticos y un conjunto lineal de detectores. Se reconstruyen imágenes multiespectrales de CT a partir de las vistas de rayos x del objeto. Hay agrupados voxels contiguos o casi contiguos con propiedades espectrales similares. En función de las propiedades espectrales de los grupos de voxels y en función de la forma, del tamaño y de la textura de estos grupos, se identifican objetos asociados.

La problemática se refería a la identificación de objetos y materiales que suponen una amenaza, al igual que a artículos de contrabando, en el interior de equipaje y cajas de transporte (en carga y en contenedores) es de gran actualidad en el marco de contraste referido al terrorismo, el contrabando y la falsificación.

35 Los sistemas de control de seguridad basados en rayos x están adoptados en gran medida internacionalmente, y han demostrado su eficacia en la identificación de objetos macizos sospechosos en el interior de un equipaje. Sin embargo, su resultado sigue siendo lento y están sujetos a falsas alarmas en la identificación de materiales líquidos que pueden ser utilizados como compuestos para AEI (artefactos explosivos improvisados). Una solución para tal problema que fuera de ejecución eficaz y rápida sería de máxima utilidad para el contraste mejorado con respecto a la reciente evolución de la técnica terrorista.

40 La limitación de los procedimientos actuales surge principalmente del hecho de que intentan identificar los objetos en función de las propiedades físicas (densidad o número atómico equivalente) pero no de las propiedades químicas. Por esta razón los sistemas de la técnica anterior se caracterizan por un gran número de falsas alarmas y tienen una posibilidad limitada para diferenciar entre sustancias que tienen propiedades físicas similares, tales como por ejemplo el agua y el peróxido de hidrógeno simples.

45 La técnica anterior ha propuesto distintos sistemas y procedimientos. Se puede distinguir en primer lugar entre sistemas basados en tomografía por ordenador (CT) y sistemas basados en una exploración convencional por barrido con rayos x, ambos con una vista simple o múltiple.

50 Los sistemas de CT producen imágenes de secciones de objetos mediante reconstrucción del volumen en función de mediciones de absorción adquiridas con distintos ángulos en torno al mismo objeto. El procedimiento es adoptado de forma generalizada en el campo médico, a la vez que tiene como resultado ser excesivamente lento para las inspecciones de seguridad, especialmente para las inspecciones de equipajes de mano.

55 La patente US 5.367.552 propone un sistema de CT precedido por una exploración convencional por barrido capaz de identificar las áreas críticas para experimentar una exploración subsiguiente por barrido de CT. De esta forma, el sistema es capaz de concentrar la exploración por barrido de CT en áreas específicas, reduciendo el tiempo de

5 ejecución, y proporcionando también una serie de automatismos para identificar mediante evaluaciones de masa, volumen y densidad los objetos de amenaza potencial, para experimentar finalmente una inspección y un análisis amplios mediante difracción por rayos x. Aunque tal sistema mejora el procedimiento de CT, tiene como resultado, sin embargo, ser lento y complejo para las inspecciones de primer nivel de equipaje y líneas, no resolviendo, por lo tanto, la problemática planteada.

Los sistemas basados en una exploración convencional de barrido de rayos x utilizan un procedimiento de exploración por barrido lineal, normalmente al exponer el objeto en movimiento en una cinta transportadora con un haz colimado de rayos x, creando, de ese modo, imágenes bidimensionales en las que se solapan las estructuras subyacentes.

10 Se realiza una primera mejora por medio de los denominados procedimientos de energía dual.

La patente US 6.052.936 ilustra la adopción eficaz de tal procedimiento en el campo médico con sensores bidimensionales de área grande para conseguir, mediante exposición a dos niveles distintos de energía y una descomposición subsiguiente, dos imágenes de diagnóstico referidas a distintos niveles de composición de estructura, tal como, por ejemplo, tejidos blandos y óseos.

15 La patente US 6.069.936 propone un sistema de inspección adecuado también para inspecciones en contenedores, basado en la irradiación con rayos x monocromáticos de alta energía en dos niveles predefinidos distintos de energía y en la adquisición de dos perfiles de atenuación para cada línea de exploración por barrido que se corresponde, respectivamente, a los dos espectros de radiación emitida. Esos perfiles son analizados entre ellos, para identificar el número atómico de los materiales que están siendo inspeccionados.

20 La patente US 6.445.765 propone un sistema para la identificación de la composición química de una muestra que está siendo inspeccionada, en función de la irradiación por medio de rayos x policromáticos y la detección de los espectros de absorción por medio de dos sensores diferenciados que tienen una sensibilidad optimizada respectivamente para energía elevada y reducida, para mejorar la separación entre los dos niveles de energía y al mismo tiempo para minimizar los fenómenos de persistencia y de dispersión óptica en el escintilador que pueden reducir el contraste de la imagen.

25 Se introdujo una mejora adicional por medio de los procedimientos de vistas múltiples, en los que se explora linealmente por barrido el equipaje desde más vistas colocadas, en general, con ángulos ortogonales.

30 La patente US 6.236.709 propone un sistema de tres vistas, una vertical y dos horizontales con ángulos ortogonales, con energía dual. El sistema de elaboración permite la reconstrucción con un procedimiento algebraico de los datos de densidad del objeto asociado con las atenuaciones, mientras que se deducen los datos de peso atómico mediante la asociación con la exploración por barrido de energía dual.

35 Sin embargo, los anteriores procedimientos resultan ser desventajosos con el fin de una identificación correcta del material, debido a los niveles limitados de energía y a la precisión limitada de la determinación de las características atómicas de los objetos que están siendo inspeccionados (con respecto a los otros objetos colocados en el interior del equipaje), y los resultados erróneos consiguientes de los algoritmos de reconocimiento.

40 La patente US 5.943.388 propone un sistema de inspección basado en el uso de sensores con capacidad para proporcionar un recuento de fotones de la radiación incidente asociada al menos con tres niveles de energía, al igual que dispositivos programables ASIC (circuito integrado de aplicación específica), que tienen como fin la reconstrucción y la identificación de los materiales que están siendo inspeccionados. Sin embargo, carece de explicación acerca del procedimiento de análisis de la información e identificación de los materiales que están siendo inspeccionados.

45 La publicación de patente US 2009/0290680 propone el uso de los anteriores sensores en configuraciones con una resolución elevada espacial o de energía para aplicaciones de reconstrucción de imágenes bidimensionales o tridimensionales en los campos médico, industrial o de seguridad. Aún carece de especificación del procedimiento para el análisis de la información y de la identificación de los materiales que están siendo inspeccionados.

Otra familia de sistemas y de procedimientos está basada en la difracción de rayos x.

50 La patente US 6.118.850 propone un sistema para el análisis de la estructura de materiales en función de una difracción de rayos x con una definición en energía (ER), en la que se irradian diversos volúmenes dentro del objeto que está siendo inspeccionado con un haz de rayos x policromáticos y se adquieren los espectros de la radiación difractada por medio de un detector de dispersión de energía dedicado colocado según ángulos predefinidos con la radiación incidente. Entonces, tales espectros que experimentan un procedimiento de extracción de las características morfológicas de caracterización (entre ellas, por ejemplo, picos, valles, y curvas particulares) y luego un procedimiento de clasificación basado en una técnica probabilística que tiene como objetivo asociar la muestra con un error mínimo con un grupo de sustancias conocidas.

La patente US 7.092.485 propone un sistema para el análisis de la estructura de materiales basado en una difracción de rayos x con un procedimiento mixto con una resolución angular y de energía (EAR), con capacidad para utilizar de forma eficaz la radiación generada y proporcionar una identificación rápida y precisa de la estructura del material que está siendo inspeccionado.

- 5 El sistema utiliza un haz colimado de rayos x policromáticos y un sistema de detección de energía dual en el mismo haz primario de rayos x, al igual que un detector de la radiación difractada con una definición en energía colocado con una pluralidad de ángulos en función del volumen que está siendo inspeccionado, y un sistema informático para el análisis de los espectros adquiridos y la comparación con los espectros de sustancias conocidas que tiene como objetivo la reconstrucción de una imagen de los objetos que están siendo inspeccionados e indicar la presencia de sustancias prohibidas.

10 La patente US 7.020.242 propone un sistema para las inspecciones de rayos x con un objeto estacionario, capaz de obtener múltiples vistas del objeto que está siendo inspeccionado gracias a la capacidad de colocación por ordenador de la fuente de rayos x y del detector, preparado para el uso de fuentes de rayos x de energía dual, detectores bidimensionales de rayos x, al igual que dispositivos complementarios para la detección y análisis de la radiación difractada.

15 En general, los anteriores sistemas no son adecuados para inspecciones de primera línea, sino más bien solo para inspecciones de segunda línea sobre objetos seleccionados anteriormente. También son complejos de utilizar, lentos y caros, normalmente instrumentos de laboratorio y no de línea y, sin embargo, se ven afectados por la característica de potencia de resolución limitada de los sistemas de energía dual.

20 También existe una gama de procedimientos basados en la exposición a la radiación de luz.

La patente US 7.002.681 propone un sistema espectroscópico para la identificación de las especies químicas basado en la exposición a la luz de una muestra que está siendo inspeccionada por medio de una fuente de luz que tiene una o más longitudes predefinidas de onda, y en el análisis de la señal emitida desde la muestra antes o después de una reacción fotoquímica que desplaza el espectro de emisión de la misma señal.

25 Parece evidente que la técnica anterior ha intentado aprovechar, predominantemente, los procedimientos de identificación del volumen de los objetos diana y la asociación con la densidad relevante y el peso atómico.

Sin embargo, ha pasado por alto proporcionar una solución exhaustiva a los diversos requerimientos simultáneos de la seguridad y de las inspecciones de línea, entre los que figuran:

- 30 - una determinación precisa y automática de la composición química del objeto que está siendo inspeccionado ya sea sólido o líquido;
- rapidez de ejecución de las inspecciones, con un rendimiento elevado de las filas;
- sencillez de uso por parte de los operarios;
- 35 - facilidad de instalación, calibración automática y desplazamiento en distintas ubicaciones;
- coste limitado de inversión.

Breve descripción de la invención

40 Procediendo de esta técnica relacionada, la presente invención está basada en el objeto de proporcionar un procedimiento y un aparato mejorados para inspecciones no invasivas con rayos x de los objetos.

Este objeto se consigue por medio de un procedimiento y un aparato que tienen las características de la reivindicación independiente. Se especifican realizaciones y mejoras ventajosas en reivindicaciones que dependen de la misma.

45 En el procedimiento y en el aparato, los datos de atenuación están disponibles para cada elemento detector en forma de intensidades de radiación asociadas con una energía de banda en un intervalo de al menos cuatro bandas de energía del espectro de rayos x del haz de rayos x y que constituyen la firma espectral de los datos de atenuación generados por el elemento detector, y el procedimiento de elaboración incluye las etapas de identificación de aglomeraciones homogéneas de material del objeto y de comparación por medio de un sistema experto entre tal firma espectral de dichas agrupaciones y la firma espectral de al menos un material diana.

50 Por lo tanto, el enfoque está basado en la elaboración de los datos espaciales y los datos de histograma por medio de un procedimiento estadístico e iterativo, para identificar sustancias homogéneas, ya sea sólidas o líquidas, y determinar su composición química con un nivel elevado de precisión.

5 Para proporcionar una determinación libre de errores de la composición química de las sustancias que están siendo inspeccionadas, el sistema de inspección de la presente invención se realiza al explorar por barridos con rayos x el objeto con distintos niveles de energía (multibanda), y al elaborar esas imágenes con un procedimiento novedoso capaz de agrupar volúmenes homogéneos en el dominio espacio-energía, denominados en el presente documento agrupaciones (o manchas o supermanchas), y correlacionarlos con conjuntos conocidos de sustancias diana.

Este enfoque permite la identificación exacta de la composición química de los objetos que están siendo inspeccionados, y en particular la composición de las sustancias internas que pueden ser consideradas una amenaza, contrabando o un adulterante.

10 El aparato y el procedimiento para las inspecciones no destructivas con rayos x pueden ser utilizados ventajosamente en diversos campos de aplicación tales como un análisis de seguridad de equipajes o controles de líneas industriales, como por ejemplo líneas de producción de alimentos o de productos farmacéuticos. Un ejemplo de este tipo de análisis es la identificación automática de explosivos o de sus componentes en el interior del equipaje o en cajas en casos de controles de seguridad, o de los adulterantes en casos de controles alimentarios, o de la composición equivocada de recepción en el caso de controles farmacéuticos.

15 Una realización de la invención está basada en la exploración por barrido con rayos x de los objetos que están siendo inspeccionados utilizando detectores de rayos x capaces de contar los fotones que inciden sobre cada elemento espacial, proporcionando no solo una medición de la atenuación producida por el objeto analizado, sino también el reconocimiento de la energía fotónica individual y la asociación de los recuentos con un histograma con bandas predefinidas de energía.

20 Para adaptar el procedimiento de reconocimiento a las particularidades del objeto, las al menos cuatro bandas de energía pueden ser modificadas dinámicamente durante el procedimiento de elaboración para aumentar la fiabilidad de la correspondencia entre la firma espectral medida del objeto que está siendo inspeccionado y la firma espectral del material diana predefinido.

25 El haz de rayos x policromáticos puede ser colimado por medio de un colimador primario entre la fuente de rayos x y el objeto y al dirigir el haz de rayos x hacia el objeto según un ángulo predefinido. Por lo tanto, la geometría del haz de rayos x está bien definida y puede estar limitado a un área sensible a la radiación del detector.

30 En una realización, el detector comprende al menos una cadena detectora de rayos x, compuesta por elementos detectores organizados según al menos un conjunto lineal. Por lo tanto, se pueden inspeccionar incluso objetos voluminosos. Si la cadena detectora y el objeto llevan a cabo un movimiento relativo con respecto al otro en una dirección transversal con respecto a la dirección de extensión del conjunto lineal, se puede inspeccionar todo el volumen del objeto, y la inspección no está limitada a un corte transversal del objeto.

35 En una realización adicional se utilizan dos o más cadenas de detectores iluminadas por dos o más fuentes de rayos x y se procesan los datos adquiridos para generar imágenes radiográficas bidimensionales y tridimensionales reconstruidas para múltiples bandas de energía. Por lo tanto, se pueden resolver y correlacionar mejor los volúmenes homogéneos en el dominio espacio-energía con conjuntos conocidos de sustancias diana.

40 Con el fin de conseguir el objeto descrito anteriormente de proporcionar una determinación rápida de la composición química y la identificación de sustancias diana específicas, el sistema y el procedimiento de la presente invención adoptan una estrategia de un análisis progresivo durante la exploración por barrido con rayos x proporcionando una identificación temprana de los volúmenes asociados con sustancias diana y una elaboración estadística iterativa de los datos de imagen de múltiples bandas con una optimización del tiempo de cálculo.

Con el fin de conseguir el objeto descrito anteriormente de proporcionar una ayuda significativa al operario, el sistema y el procedimiento de la presente invención proporcionan una automatización de todo el procedimiento de inspección, desde la configuración y calibración del sistema hasta la identificación de los objetos asociados con sustancias diana, y su visualización y la marcación por el mismo operario.

45 Breve descripción de los dibujos

Las características y ventajas de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de una realización preferente, ilustradas como un ejemplo no limitante por medio de las figuras adjuntas, en las que:

La Figura 1 representa el sistema de inspección en la configuración estacionaria preferente supervisada por un operario

La Figura 2 es un diagrama de bloques que representa la fuente de rayos x compuesta por el generador de rayos x y la cabeza del tubo

La Figura 3 representa de forma esquemática el interior del sistema de inspecciones, con la fuente de rayos x y la proyección sobre la cadena de detectores, dividido en múltiples placas de detección.

- La Figura 4 es un diagrama de bloques de una placa de detección individual.
- La Figura 5 representa de forma esquemática la configuración del detector de CdTe o de CZT.
- La Figura 6 representa de forma esquemática la configuración de un detector de energía dual que utiliza un escintilador y fotodiodos.
- La Figura 7 es un diagrama ejemplar que muestra la respuesta típica de diversos detectores que pueden ser utilizados en el sistema de inspección de la presente invención.
- La Figura 8 es un diagrama ejemplar que muestra la respuesta típica de un detector de CdTe para sustancias especificadas.
- La Figura 9 representa de forma esquemática la configuración geométrica de la segunda fuente de rayos x y de la cadena de detectores, en un sistema de inspección de doble vista.
- La Figura 10 es un diagrama de bloques de los componentes de la fuente de alimentación del sistema de inspección.
- La Figura 11 representa los componentes del terminal del operario del sistema de inspección.
- La Figura 12 es un diagrama de flujo de las operaciones principales del procedimiento de inspección.
- La Figura 13 es un diagrama de flujo del primer nivel del procedimiento de elaboración.
- La Figura 14 es un diagrama de flujo del segundo nivel del procedimiento de elaboración.
- La Figura 15 ilustra manchas y supermanchas utilizadas en el procesamiento de los datos de atenuación.

Descripción detallada

Según una realización preferente, la presente invención está basada en una cinta transportadora para el transporte del objeto que va a ser inspeccionado y un armario blindado contra rayos x en el que se expone al objeto a los rayos x y se adquiere la imagen radiográfica y se representa visualmente en la pantalla del terminal del operario.

- 5 Esta configuración es de aplicación particular en las inspecciones de seguridad, pero también puede ser aplicada de forma útil en otras aplicaciones militares, civiles y de inspección industrial, tales como, por ejemplo, alimentaria o farmacéutica.

Con referencia a la Figura 1, el armario 101 de inspección consiste en una estructura metálica, cuyas dimensiones varían según las dimensiones de los objetos que van a ser analizados.

- 10 Contiene un túnel 115 de inspección, en el que se enlaza una primera fuente 107 de rayos x a una primera cadena 111 de detectores de rayos x para detectar la radiación atenuada por los objetos inspeccionados según una primera dirección de proyección, y una segunda fuente 106 de rayos x está enlazada con una segunda cadena 112 de detectores de rayos x, para detectar la radiación atenuada por los objetos inspeccionados según una segunda dirección de proyección, distinta de la anterior.

- 15 También contiene una unidad 108 de suministro eléctrico que proporciona la energía eléctrica necesaria para alimentar los circuitos electrónicos del sistema, y una unidad 105 de control que tiene la tarea de gestionar las distintas funciones del sistema, en función de las instrucciones dadas por el operario a través del terminal 113 del operario.

- 20 En particular, la unidad 105 de control controla el movimiento de la cinta transportadora 103, según la solicitud de inicio de la inspección enviado por el terminal 113 del operario, e inicia la generación de rayos x sincronizados procedentes de las fuentes 107 y 106 y la calibración y adquisición de las señales procedentes de las cadenas 111 y 112 de detectores. También es posible activar esta función por medio de un sensor de presencia de objetos, por ejemplo un fotodetector 114 colocado transversalmente con respecto al propio objeto en la entrada del túnel de inspección.

- 25 La cinta transportadora 103 está fabricada de tal forma que se cree una fricción suficiente con el objeto que va a ser analizado, de forma que se permita que el objeto se mueva sin deslizarse, y tiene la peculiaridad de ser tan transparentes a las ondas de radio como sea posible, para permitir que la mayoría de la radiación generada por la fuente de rayos x incida sobre el objeto que va a ser analizado. Se mueve la cinta transportadora por medio de un motor 109 de accionamiento colocado en un extremo de la misma, y un rodillo loco 104 colocado en el otro extremo.

- 30 La cinta transportadora 103 hace avanzar el objeto 110 que está siendo inspeccionado desde el exterior hacia el interior del túnel y luego hasta la salida, pasando a través de dos series de cortinas plomadas 102, cada una

colocada respectivamente en la entrada y en la salida del túnel, necesarias para reducir el valor de la radiación difundida fuera del sistema.

Según una secuencia típica de operación, se coloca el objeto que va a ser inspeccionado sobre la cinta transportadora 103 y el operario inicia el movimiento de la cinta al pulsar el control relevante en el teclado.

- 5 El objeto que hay en la cinta pasa a través de las cortinas plomadas 102 colocadas en la entrada del túnel 115 de inspección y, una vez en el interior, se detecta la presencia del objeto por medio del sensor relevante 114.

En este momento el sistema inicia el procedimiento de calibración automática para la cadena de detección.

- 10 En primer lugar se lleva a cabo un cálculo de desfase (significa la adquisición de la señal generada a partir de la cadena de detección sin rayos x, cuyo valor será restado de la señal adquirida cuando los rayos x están activados y el objeto está siendo inspeccionado).

Entonces, se lleva a cabo el cálculo de ganancia (significa la adquisición de las señales generadas desde la cadena de detección con los rayos x activados, pero sin objeto, cuyos valores serán utilizados para dar uniformidad a la respuesta de la cadena de detecciones).

- 15 Habiendo completado el procedimiento de calibración automática, el sistema está listo para iniciar la inspección del objeto.

El objeto 110 pasa a través de los haces en abanico de rayos x generados por las fuentes 107 y 106 de rayos x y sus datos de atenuación son adquiridos por las cadenas 111 y 112 de detectores, respectivamente, con dos ángulos distintos de proyección.

- 20 El uso de dos vistas desde distintos ángulos de proyección resulta ser ventajoso para identificar artículos homogéneos en el interior del objeto que está siendo inspeccionado, permitiendo también una identificación mejorada de la composición de los materiales con respecto a una configuración de una única vista.

El problema de identificar el material que produce una imagen dada en escala de grises, es que una distribución espacial dada de absorción de rayos x, es un problema inverso típico en términos matemáticos.

- 25 En particular, la absorción de rayos x en un punto dado es una medida de la integral de la absorción a lo largo del rayo que pasa a través del mismo punto y a través del punto focal de la fuente.

Si se diferencian en el espacio los coeficientes de absorción, se llega a un sistema lineal que no puede ser resuelto con claridad con un conjunto reducido de imágenes, dado que permite múltiples soluciones.

- 30 En el presente caso se tiene que identificar si entre las soluciones admisibles hay soluciones (distribuciones espaciales de coeficientes de absorción) que son compatibles con la característica de absorción de un material diana, evitando posibles falsos positivos al igual que falsos negativos.

- 35 Con este objetivo, son de gran ayuda múltiples imágenes de energía, dado que permiten localizar en el espectro energético la absorción del material distribuido a lo largo de cada rayo. Además, la distinta absorción de píxeles colindantes permite separar distintos objetos. Este procesamiento espacial y espectral es utilizado de forma ventajosa en la presente invención para reducir el número de soluciones admisibles, sin descartar soluciones que son compatibles con el material diana.

Una vez que se termina el análisis, y ya no hay más objetos en el interior del túnel, el sistema de inspección desactiva automáticamente los rayos x.

- 40 Por otra parte, el algoritmo del soporte lógico para la identificación de los materiales diana lleva a cabo su análisis y, en caso de una identificación positiva, proporciona un encaminamiento del objeto, en cuanto pasa las cortinas 102 de salida, hasta una plataforma aparte de inspección, al actuar (si está disponible) sobre un dispositivo opcional de desviación (desviador).

El sistema de visualización proporciona en la pantalla del terminal del operario una imagen radiográfica bidimensional o tridimensional, con una marca o mejora espacial apropiado de los materiales diana identificados.

- 45 Por lo tanto, el operario tiene la posibilidad de llevar a cabo tratamientos típicos en la pantalla de la imagen presentada, tal como, por ejemplo, una rotación, un efecto de acercamiento y alejamiento ópticos, un filtrado de paso alto, una ecualización, una colorización, al igual que cambiar entre imágenes de distintos niveles de energía.

- 50 El operario también tiene la posibilidad, en caso de que se considere necesario, de repetir la exploración por barrido con rayos x. Para hacerlo solo tiene que ordenar el movimiento hacia atrás de la cinta transportadora; de hecho el sistema de inspección puede llevar a cabo el análisis con la cinta moviéndose tanto en la dirección hacia delante como hacia atrás.

Los datos acerca de los análisis llevados a cabo pueden ser almacenados, junto con las imágenes asociadas, para un análisis adicional en el interior de la unidad de control del sistema y pueden ser enviados por medio de una variedad de medios (tales como, por ejemplo, una red de área local, líneas alámbricas o inalámbricas, módem) hasta un sistema remoto de archivo.

- 5 El mismo sistema de inspección puede ser parte de una línea de control automatizado, con el operario ubicado en una estación remota.

En este caso, la activación de la cinta transportadora 103 no se produce mediante una instrucción en el terminal del operario, sino por una señal de control generada por un sensor de objetos colocado en proximidad del sistema de inspección en el exterior del túnel 115.

- 10 Con referencia a la Figura 2, se describe aquí, a continuación, el diagrama de bloques de la unidad de energía eléctrica y de generación de rayos x.

La fuente de rayos x está compuesta de un tubo 210 de rayos x, colocado en el interior de una cabeza 207 de tubo.

- 15 El generador 201 está controlado por medio de un controlador 204 y proporciona tensión y energía al transformador 208 y 209 de alta tensión de la cabeza del tubo, convirtiéndolas en la tensión elevada necesaria para producir rayos x de la intensidad útil deseada.

- 20 El generador 201 es alimentado eléctricamente por el sistema 108 de distribución y es filtrado a través de un filtro EMI 202. La corriente que sale del filtro EMI 202 es enviada a un transformador/convertidor 203 de tensión, que genera las tensiones necesarias para hacer que funcione el generador, a la sección 206 de potencia para la distribución adicional a la cabeza 207 del tubo, y al controlador 205 del filamento para el control del filamento del tubo 210 de rayos x.

Los parámetros utilizados tanto por la sección 206 de potencia como por el controlador filamento 205 son generados por el controlador 204, que a su vez está conectado a la unidad 105 de control del sistema, y es controlado desde la misma.

- 25 La cabeza 207 del tubo puede utilizar dos devanados aparte 208 y 209 convirtiendo la energía eléctrica recibida del generador 206, respectivamente, en tensiones anódica y catódica aplicadas al tubo 210 de rayos x. El filamento del tubo de rayos x también es alimentado a través de un transformador dedicado 211.

Los rayos x generados por la cabeza 207 del tubo están formados por un colimador primario 212, para formar un haz delgado que tiene una longitud correspondiente a la anchura del túnel 115 de inspección y lo suficientemente grande como para iluminar por completo los detectores; por ejemplo, su anchura puede ser de aproximadamente 1,5 mm.

- 30 Las fuentes 106 y 107 de rayos x son las mismas, teniendo parámetros radiogénicos variables, según el tipo de objeto que va a ser analizado. Normalmente, funcionan con un valor de régimen de tensión de tubo (no hay variaciones en la tensión, excluyendo la variación pequeña de tensión de la propia fuente, durante el análisis) y lo mismo ocurre con el valor de la corriente del tubo. Los valores de tensión y de corriente pueden variar entre una inspección y otra.

- 35 En la realización preferente de la presente invención, el sistema de inspección utiliza dos fuentes de rayos x, aunque también es posible el uso de más fuentes al igual que de una única fuente.

Con referencia a la Figura 3, se describe aquí, a continuación, el diagrama de bloques de la primera fuente de rayos x y el conjunto de cadena de detectores.

- 40 La cadena 111 de detección está compuesta de un número variable de módulos detectores 301, montados en placas electrónicas aparte. Los módulos detectores 301 están colocados en torno al túnel de inspección, según una forma de L, formando una fila en el lado superior y una fila en el lado trasero del túnel 115 de inspección, frente a la fuente 303 de rayos x. Se colocan los módulos detectores individuales 301 de forma transversal con respecto al haz de rayos x. Preferentemente, cada placa detectora 301 tiene una orientación distinta, para optimizar el ángulo en función de la radiación incidente y maximizar así la recogida de los rayos x atenuados por el objeto inspeccionado y su conversión en señales eléctricas. Los módulos detectores 301 tienen píxeles detectores individuales organizados en un conjunto lineal (una fila, como se muestra mejor en la Figura 4). El número de píxeles detectores utilizados es una función del tamaño del voxel mínimo del objeto que va a ser reconocido durante el procedimiento de inspección (resolución espacial).

- 50 Se coloca la electrónica 302, dedicada para controlar la cadena de detección, tan cerca como sea posible de la cadena de detección, y está blindada para minimizar los efectos de ruido causados por los rayos x difusos ionizantes. Proporciona una recogida de los datos generados por cada módulo detector 301, y paquetes y transmisión de datos al sistema 105 de control.

La fuente 106 de rayos x se coloca por debajo del nivel de la cinta transportadora, y está en un lado del sistema de inspección. Su orientación es tal que los rayos x emitidos desde el punto focal 303 iluminan por completo el área del túnel de inspección, como se muestra por medio de los límites 304 y 305 de cono que tienen como vértice el mismo punto focal 303 del tubo de rayos x.

- 5 Con referencia a la Figura 4, se describe aquí, a continuación, el diagrama de bloques que muestra la composición de una placa detectora típica que compone la cadena de detección.

Como se ha dicho, las cadenas de detectores están organizadas en módulos detectores 301, teniendo cada uno un número variable de píxeles detectores 401, dispuestos normalmente como un conjunto lineal de píxeles, que es una función de la resolución espacial necesaria para inspeccionar el objeto. Por ejemplo, un número típico de detectores alojados en un único módulo detector puede ser 64.

- 10

El módulo detector 301 aloja electrónica auxiliar 402 que proporciona una polarización y un control de los píxeles detectores, al igual que un acondicionamiento de señales, tal como una amplificación de señales de salida y una conversión de analógico a digital.

También aloja electrónica 403 de control que tiene como deber principal la exploración por barrido cíclico de cada píxel detector 401, para adquirir y contar los fotones de rayos x recogidos separados en bandas de energía, y electrónica 404 de interfaz dedicada a paquetes y transmisión de datos, utilizando un enlace de alta velocidad, a la electrónica 302 de control de la cadena de detección.

- 15

Para reducir los efectos de la radiación difundida, los detectores 401 que pertenecen a cada módulo pueden estar dotados de un colimador secundario 405 de tamaño adecuado. Este colimador secundario solo permite que la radiación directa alcance los píxeles detectores 401.

- 20

Con referencia a la Figura 5, se describe aquí, a continuación, el diagrama de bloques relacionado con la configuración preferente de detector de rayos x, para ser usado en el interior de al menos una de las cadenas de detección del sistema de inspección.

El detector de rayos x es un detector de estado sólido capaz de realizar una conversión directa de los rayos x en una señal eléctrica. También puede proporcionar el recuento de los fotones recogidos según su valor de energía; este tipo de detectores de rayos x está basado, preferentemente, en telururo de cadmio (CdTe) o en telururo de cadmio y cinc (CZT).

- 25

En este tipo de detectores, cuando un fotón 501 de rayos x incide en el sustrato detector 503, se genera un par electrón-hueco 505, que tiene una energía que es proporcional a la energía del fotón incidente.

- 30 El detector de rayos x utiliza una tensión 502 de polarización, que crea un campo eléctrico capaz de mover las cargas de electrones generadas hacia la electrónica 504 de lectura de salida.

Los detectores de rayos x están montados en los módulos detectores 301, dispuestos normalmente en configuraciones lineales, como se muestra mejor en la Figura 4.

Los detectores de rayos x y electrónica asociada tienen características de lectura rápida, que permiten una frecuencia de lectura del detector de alta velocidad que supera los 100 MHz.

- 35

Gracias a sus características de conversión eficaz de energía, de ruido reducido, de respuesta rápida y de discriminación de energía fotónica, este tipo de detector de rayos x es ideal para conseguir tanto la reconstrucción rápida del objeto como la identificación precisa de los materiales que componen el objeto que está siendo inspeccionado.

Con referencia a la Figura 6, se describe aquí, a continuación, el diagrama de bloques que muestra un segundo tipo de configuración de detectores de rayos x, que puede ser utilizada con la configuración preferente de detector de rayos x descrita anteriormente, o como alternativa a la misma.

- 40

El segundo tipo de configuración de detectores de rayos x está basado en el acoplamiento de un escintilador 601 con un fotodiodo 602 y electrónica de acondicionamiento relacionada 603.

Cuando un fotón de rayos x incide sobre el escintilador 601, este genera un fotón de luz con una frecuencia fija típica del escintilador utilizado. El fotón de luz es recogido y convertido en una señal eléctrica por medio del fotodiodo 602. La señal eléctrica generada por el fotodiodo es proporcional a la cantidad de fotones de luz recogidos, pero no tiene ninguna información acerca de la energía de los fotones originales de rayos x.

- 45

Para este tipo de configuración de detector de rayos x, se pueden utilizar de forma ventajosa escintiladores de yoduro de cesio (CsI) o yoduro de sodio (NaI), dopado al final con elementos específicos para aumentar su capacidad de respuesta (normalmente talio (Tl), tungstato de cadmio (CWo), seleniuro de cinc (ZnSe)).

- 50

- 5 Para obtener la diferenciación de energía de los fotones recogidos, se coloca una segunda cadena de detección compuesta por un escintilador 605, un fotodiodo 606 y la electrónica subyacente de acondicionamiento relacionada 607, separada por una capa delgada de material absorbente 604, en concreto un filtro fabricado de cobre o cualquier otro material con capacidad para modificar el espectro de rayos x, filtrando la porción menos intensa del espectro de radiación de rayos x emitido por la fuente de rayos x.
- Respecto a la reconstrucción de imágenes del objeto explorado por barrido, los tipos descritos anteriormente de detectores de rayos x son equivalentes, a la vez que son completamente distintos en cuanto a la capacidad de identificación del material.
- 10 De hecho, en el caso del CdTe o CZT, los datos generados tienen la información necesaria para identificar los materiales, en concreto los recuentos de fotones asociados con su espectro de niveles de energía.
- En cambio, en el caso del escintilador basado en detectores de rayos x, los datos generados solo tienen información acerca del número de fotones recogidos, pero no acerca de su energía.
- 15 Por lo tanto, dado que la aplicación de la presente invención requiere la identificación de la composición de los materiales, una característica necesaria de la realización preferente es que tenga al menos una cadena de detección basada en detectores de rayos x de la configuración preferente, proporcionando información acerca de los recuentos de fotones asociados con la energía fotónica.
- Otras alternativas posibles, tales como aquellas que implican, por ejemplo, un cambio del valor de energía de los rayos x al cambiar la tensión de tubo de la fuente de rayos x, no son consideradas aquí, debido a sus limitaciones con respecto a la velocidad de exploración por barrido y de análisis, dado que requieren una exposición a múltiples objetos.
- 20 Con referencia a la Figura 7, se muestra la respuesta del espectro de rayos x de un objeto compuesto de un 64% de Pu, según es adquirida por medio de distintos materiales detectores de rayos x tales como Ge, CZT y NaI.
- Con referencia a la Figura 8, se muestra la respuesta del espectro de rayos x de objetos compuesto de distintos materiales, según es adquirida por medio de un detector de rayos x basado en CdTe.
- 25 Con referencia a la Figura 9, se describen aquí, a continuación, los detalles de una segunda cadena de detección. Los componentes de la segunda cadena 112 de detección son los mismos que los de la primera, ya descrita en la Figura 3, en concreto la fuente 106 de rayos x y la cadena 112 de detección, pero están ubicados en el otro lado del túnel con respecto a la primera. La segunda fuente 106 de rayos x es idéntica a la primera, pero está montada de forma distinta en el interior del sistema de inspección. Preferentemente, está colocada en un lado del túnel de inspección, al mismo nivel de la cinta transportadora 103. La segunda fuente de rayos x también está dotada de un colimador primario 901.
- 30 En una configuración preferente del sistema de inspección, las dos cadenas de detección están equipadas ambas con detectores de CdTe o de CZT; sin embargo, en otras configuraciones alternativas, que también tienen como objetivo limitar los costes del sistema de inspección, se puede realizar una cadena de detección por medio de una configuración con un escintilador y detectores de fotodiodos, como se ha descrito anteriormente.
- 35 Con referencia a la Figura 10, se describe aquí, a continuación, el diagrama de bloques del subsistema de fuente de alimentación en el interior del sistema de inspección.
- Este subsistema está dedicado a convertir la alimentación proporcionada por la red eléctrica en las distintas tensiones requeridas por los diversos módulos electrónicos. La línea de energía eléctrica entra en el sistema de inspección por medio del interruptor 1001 de corriente eléctrica, que está controlado por un interruptor ubicado en el terminal de control, bien local 1008 o bien remoto.
- 40 Después del interruptor de corriente eléctrica, hay, en cascada, un filtro 1002 de corriente eléctrica, que proporciona una eliminación de interferencias y un aislamiento del sistema de inspección de la red eléctrica. Después del filtro de corriente eléctrica, se suministra la línea de energía eléctrica a los diversos módulos electrónicos, teniendo cada uno de ellos un convertidor de tensión incorporado, para adaptar la tensión de la red a sus propias necesidades.
- 45 El bloque 1003 proporciona las tensiones de alimentación para el sistema de control.
- El bloque 1004 proporciona las tensiones de alimentación a la sección de potencia para el motor de accionamiento de la cinta transportadora.
- El bloque 1006 proporciona las tensiones de alimentación al terminal del operario.
- 50 El bloque 1005 proporciona una fuente de alimentación estabilizada necesaria para alimentar las líneas de energía eléctrica de la cadena 1007 de detección.

Con referencia a la Figura 11, se describen aquí, a continuación, los componentes del terminal del operario del sistema de inspección.

5 El terminal del operario está compuesto de un medio 1101 de visualización, en el que se presentan las imágenes reconstruidas del objeto explorado por barrido, y de las instrucciones del operario necesarios para controlar la operación del sistema de inspección, entre los cuales un teclado 1102 y un ratón 1103 son útiles para impartir instrucciones al seleccionar iconos mostrados en el medio de visualización. El terminal del operario puede estar dotado de uno o dos medios de visualización.

10 En el medio de visualización las imágenes del objeto analizado son mostradas en tiempo real, reconstruidas según los datos de atenuación recibidos de las cadenas 111 y 112 de adquisición. La presentación de imágenes reconstruidas puede producirse en blanco y negro, en cuyo caso los niveles de gris se corresponden con los niveles medidos de atenuación, o puede producirse en color, en cuyo caso se utiliza el esquema de color falso en el que se escogen los colores según una paleta específica relacionada con la clase de los materiales identificados.

15 Las imágenes mostradas en el medio de visualización pueden ser bidimensionales y tridimensionales, según el número de cadenas de detección disponibles en el sistema, o según la elección del operario. Las imágenes son corregidas en la distorsión geométrica causada por la fuente de rayos x y la geometría de la cadena de detección.

El teclado 1102 es el medio para que el operario controle el sistema de inspección, al enviar las instrucciones apropiadas. En el teclado hay disponibles al menos las siguientes instrucciones: encender/apagar, iniciar_sesión/finalizar_sesión del operario, control del movimiento de la cinta transportadora, posprocesamiento de la imagen, selección de la imagen mostrada con distintos niveles de energía, indicador de emisión de rayos x.

20 El terminal del operario del sistema de inspección puede complementarse con una impresora 1104, permitiendo una impresión de las imágenes mostradas en la pantalla, y con un archivo óptico 1105 que permite el almacenamiento local y la recuperación de imágenes seleccionadas.

Con referencia a la Figura 12, se describen aquí, a continuación, las operaciones principales del procedimiento de inspección.

25 El bloque 1201 representa la etapa de encendido, en la que se alimenta el sistema y se inicializa y un operario autorizado proporciona un inicio de sesión del sistema. El bloque 1202 representa la etapa en la que se comprueba la duración del tiempo de desconexión. Si el tiempo de desconexión supera un límite predefinido, entonces el bloque 1203 lleva a cabo un procedimiento de estabilización del tubo de rayos x, según se requiere para garantizar una operación normal (libre de un arco de alta tensión) y una vida prolongada del tubo de rayos x. De lo contrario el sistema entra en un bucle 1204 de espera, esperando la instrucción de inicio del movimiento de la cinta por parte del operario. Aunque no se proporciona la instrucción, el sistema ejecuta el bloque 1205, llevando a cabo una prueba de autodiagnóstico para garantizar el rendimiento correcto de los componentes del sistema. Cuando se proporciona la instrucción del operario, el sistema entra en el bloque 1206 en el que se inicia el movimiento de la cinta transportadora.

35 En el siguiente bloque 1207 se llevan a cabo las operaciones necesarias para calibrar la cadena de adquisición. Por ejemplo, esas calibraciones pueden implicar una primera fase sin rayos x, en la que se adquieren automáticamente los desfases de los detectores individuales para una resta posterior de los datos medidos, y una segunda fase con rayos x, en la que se iluminan automáticamente los detectores sin objeto y se adquieren automáticamente los datos individuales de ganancia para una compensación posterior de los datos medidos. Además, se adquieren los datos espectrales de la fuente de rayos x, para ser utilizados en elaboraciones subsiguientes de identificación del material. Por supuesto, las calibraciones descritas anteriormente también pueden ser llevadas a cabo periódica o alternativamente en cada arranque del sistema, aplicando al final una corrección adecuada de los parámetros dependiendo de condiciones medioambientales.

40 En el bloque 1208 el sistema espera al primer objeto que está siendo detectado por el detector 114 de objetos. En caso de que no se detecte un objeto en un cierto intervalo de espera, el bloque 1215 desactiva los rayos x y el movimiento de la cinta transportadora y vuelve al estado inactivo 1204.

Cuando se ha detectado el objeto, el bloque 1209 inicia la generación de rayos x que iluminan el objeto y las cadenas detectoras.

50 En el bloque 1210 se lleva a cabo la adquisición de datos de imagen, mientras prosigue la exploración por barrido de rayos x del objeto.

En el bloque 1211 se lleva a cabo la elaboración de datos de imagen, que tiene como fin la reconstrucción de las imágenes radiográficas.

Para cada vista disponible se realiza la reconstrucción de las secciones de imagen mediante la superposición parcial de los datos proporcionados por cada módulo detector, corregidos en la distorsión geométrica introducida por la

geometría de la fuente de rayos x y la cadena detectora. Entonces, se reconstruyen las imágenes radiográficas completas mediante la combinación de las secciones individuales de imagen.

En el bloque 1212 se aplican los algoritmos de identificación del material en los datos de imagen, como se ilustra con detalle en las descripciones asociadas con las Figuras 13 y 14.

5 En el bloque 1213 se visualizan progresivamente las imágenes reconstruidas.

Para representar visualmente la imagen reconstruida, se utilizarán todos los datos generados en las distintas bandas de energía, y la imagen por defecto mostrada en el medio 1101 de visualización es una combinación de las imágenes con distintas energías, proporcionando la imagen de mejor contraste. La imagen por defecto representada visualmente puede ser una imagen tridimensional del objeto explorado por barrido, si hay más de dos vistas disponibles en el sistema de inspección, de lo contrario se muestra la imagen bidimensional del objeto.

Una vez se reconstruye la imagen, es coloreada utilizando el enfoque de "color falso". Los parámetros de color falso que van a ser utilizados están definidos normalmente por estándares reguladores específicos, dependiendo del campo de aplicación de la especificación. Por ejemplo, el color utilizado puede ser naranja para identificar los materiales orgánicos, verde para materiales inorgánicos, azul para materiales metálicos y amarillo para objetos que son demasiado densos para tener información acerca de su clasificación.

Una vez que la imagen está lista para ser presentada al operario, es enviada al medio de visualización. La presentación de la imagen en el medio de visualización se realiza en tiempo real, añadiendo información en cuanto es recibida por la cadena de detección. Una vez se genera la imagen, se lleva a cabo una prueba para verificar si el objeto mostrado tiene asociada una alarma, según el algoritmo de identificación de materiales descrito en las Figuras 13 y 14. Si el objeto está marcado con una alarma asociada, es resaltado utilizando un cuadrado rojo en torno al mismo. Siempre que los objetos son explorados por barrido mientras la cinta transportadora se encuentra en movimiento, se actualiza continuamente el medio de visualización del operario con nuevos datos adquiridos. Son posibles una congelación de la imagen y un análisis posprocesamiento de los datos adquiridos cuando se detiene el movimiento de la cinta transportadora. Entre las instrucciones posprocesamiento utilizadas normalmente que están disponibles para el operario se encuentran: blanco y negro (mostrándose la imagen con niveles de gris asociados con una paleta de colores), segmentación de la energía en bandas (en la que el operario puede cambiar entre imágenes en las distintas bandas de energía), Girar (en la que el operario gira la imagen en la pantalla un ángulo arbitrario), Invertir (en la que el operario invierte la paleta de colores de la imagen mostrada), Acercamiento óptico (en la que el operario aumenta una porción de la imagen según una ampliación seleccionable).

En el bloque 1214 se verifica si se ha completado la exploración por barrido del objeto. En caso negativo, se repite el procedimiento al volver al bloque 1210 para una adquisición de datos. En caso afirmativo, el procedimiento vuelve al bloque 1208 verificando si se detecta otro objeto. Si no se detectan más objetos por medio del detector 1214 de objetos, entonces se desconectan los rayos x y se detiene el movimiento de la cinta transportadora, volviendo al estado inactivo en el bloque 1204.

En cualquier momento en el que el operario ordene un comando de paro de la cinta, el movimiento de la cinta se para, y el proceso se interrumpe volviendo al estado inactivo en el bloque 1204.

El algoritmo para la identificación de materiales, que es parte del sistema de inspección de la invención, está compuesto de dos ramas que operan secuencialmente.

Se describe la primera rama por medio del diagrama de flujo de la Figura 13, y opera con los datos adquiridos a partir de la cada cadena de detección (cada vista) disponible en el sistema.

Se describe la segunda rama por medio del diagrama de flujo de la Figura 14, y opera con los datos elaborados por la primera rama. Solo está activo cuando hay dos vistas o más en el sistema.

La Figura 15 ilustra el concepto de diversas agrupaciones. Para proporcionar una mejor comprensión de este concepto y del tipo de procesamiento basado en este concepto, se explica en primer lugar la Figura 15.

La Figura 15 muestra cuatro vistas 1, en particular las vistas 1a, 1b, 1c, 1d, que están asociadas con cuatro bandas distintas de energía E_a , E_b , E_c y E_d . Las vistas 1 pueden ser generadas, por ejemplo, utilizando la fuente 106 de rayos x mostrada en las Figuras 1 y 3. La fuente 106 de rayos x emite predominantemente en una dirección vertical. En estas vistas 1a, 1b, 1c y 1d existen, respectivamente, manchas 11 a, 11b, 11c y 11d que son regiones homogéneas que muestran el mismo grado de atenuación. Las áreas de tales manchas 11a, 11b, 11c y 11d no tienen necesariamente exactamente la misma extensión y la misma posición. Las manchas correspondientes 11 en las vistas 1 forman una supermancha 12. La supermancha 12 está asociada con una firma espectral específica que está formada por el conjunto de recuentos de fotones asociados con las manchas 11 a, 11b, 11c y 11d.

La Figura 15 también muestra una segunda serie de cuatro vistas 2, en particular las vistas 2a, 2b, 2c y 2d, que también están asociadas, respectivamente, con bandas de energía E_a , E_b , E_c y E_d . Las vistas 2a, 2b, 2c y 2d pueden ser generadas utilizando la fuente 107 de rayos x de la Figura 1 o utilizando la fuente 106 de rayos x de la Figura 9.

Las vistas 2 son tomadas, en general, desde otro punto de vista que las vistas 1, que está ilustrado en la Figura 15 alineando las vistas 1 en una dirección vertical y al disponer las vistas 2 en una dirección horizontal. En la práctica, la interrelación espacial entre las distintas vistas en generalmente más compleja que lo mostrado en la Figura 15.

5 En las vistas 2 hay manchas respectivas 21a, 21b, 21c y 21d, que forman una supermancha 22, y también manchas 31a, 31b, 31c y 31d, que forman una supermancha 32.

La Figura 13 muestra un diagrama de flujo de la primera rama de procesamiento de elaboración, ejecutada para cada vista disponible 1 o 2 mientras se explora por barrido el objeto 110.

10 El algoritmo descrito proporciona la reconstrucción de la imagen radiográfica por medio de sensores lineales y una exploración por barrido con haz en abanico de rayos x que producen secciones de imágenes de atenuación del objeto (en realidad columnas de imágenes adquiridas secuencialmente en el tiempo), pero también es válido cuando se adquieren los datos de atenuación del objeto en otras modalidades, tales como, por ejemplo, mediante detectores de área grande de exposición a haces colimados de rayos x.

15 En la presente invención la imagen radiográfica es multibanda, lo que significa que es una colección de las vistas 1 o 2, cada una asociada con una banda definida de energía; por lo tanto, el nivel de gris de un píxel de la vista 1 o 2 está relacionado con la atenuación medida del objeto proyectado como un recuento total de fotones que tienen energía en la banda definida de energía.

Las secciones de imagen son transferidas, en todas las bandas proporcionadas de energía, en cuanto están disponibles de la cadena de detección para el procesador para una elaboración.

20 El bloque 1301 identifica la unidad de cálculo que reúne las secciones multibanda de imagen, como los datos básicos que producen progresivamente las imágenes radiográficas multibanda reconstruidas.

25 El bloque 1302 aplica el algoritmo para la identificación y creación de las agrupaciones (también denominadas manchas) de material homogéneo. El algoritmo analiza las secciones adquiridas según son recibidas, elaborando por separado con la máxima resolución bandas de energía. El fin es crear como salida macroáreas o agrupaciones (manchas 11, 21 o 31) asociadas con objetos con características de atenuación homogénea en cada banda de energía.

30 En la primera sección de imagen asociada con cada banda se consideran los píxeles por encima de un umbral predefinido, y los píxeles adyacentes que muestran un nivel de gris uniforme están agrupados entre sí en agrupaciones (manchas 11, 21, 31). Estas agrupaciones están asociadas con objetos potencialmente distintos. El nivel umbral, diferenciado para cada banda de energía, es parte de todas formas de la configuración de calibración del sistema. Las agrupaciones constituyen "gérmenes" de los objetos, en otras palabras grupos de píxeles a partir de los cuales comenzar a identificar los objetos en la imagen.

Cualquier sección subsiguiente de la imagen en cada banda de energía está elaborada para identificar y unir entre sí los nuevos píxeles, que son homogéneos por nivel de gris, con las agrupaciones ya identificadas.

35 En esta fase también se pueden crear nuevas agrupaciones, al igual que terminar o extender espacialmente agrupaciones que fueron creadas ya en las anteriores secciones.

40 De esta forma se forman agrupaciones homogéneas para cada banda de energía, caracterizada por su distribución interna del nivel de gris. Una vez que se adquiere y se elabora todo el conjunto de secciones de imagen, las agrupaciones pueden ser fragmentadas adicionalmente, al final, en objetos/agrupaciones diferenciados utilizando algoritmos de agrupación aplicados en toda la agrupación, tal como, por ejemplo, una agrupación competitiva (UCHIYAMA, T. y ARBIB, M.A.: Color Image Segmentation Using Competitive Learning, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 16, n° 12, 1994, p. 1197-1206) y/o una agrupación difusa (HATHAWAY, R.J., BEZDEK, J.C., HU, Y.: Generalized Fuzzy c-Means Clustering Strategies Using Lp Norm Distances, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 8, n° 5, 2000, p. 576-582) o, de forma alternativa, especialmente cuando las imágenes se ven afectadas por ruido elevado, por algoritmos no lineales de filtrado tales como, por ejemplo, una difusión anisótropa (PERONA, P. y MALIK, J.: Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion, Perona y Malik, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 12, n° 7, 1990, p. 629-639).

50 Este puede ser el caso en situaciones en las que dos objetos distintos fabricados de material homogéneo con una pequeña diferencia en su absorción en una banda dada de energía están yuxtapuestos a lo largo de la dirección de exploración por barrido. En este caso, la diferencia en los niveles de gris entre la última sección que contiene el primer objeto y la primera sección que contiene el segundo puede ser demasiado pequeña para detectar un nuevo objeto y el sistema, en una primera fase, crea una única mancha que contiene ambos objetos. En esta situación, una agrupación a posteriori de esta gran mancha puede revelar la presencia de dos regiones homogéneas y, por lo tanto, separar los dos objetos para un procesamiento adicional.

También se puede determinar la extensión de la agrupación al analizar la homogeneidad de los píxeles por medio de una prueba de límite estadístico (prueba t), o mediante modelos de clasificación estadística, tales como modelos mixtos (BISHOP, C.M.: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006), que producen la correspondencia con el nivel de gris de combinaciones lineales de funciones adecuadas.

- 5 Cuando después de recibir una nueva sección no se añaden más píxeles a una agrupación, se cierra esa agrupación en la imagen de esa banda particular de energía.

Entonces, se añade a la lista de agrupaciones (de manchas) y está lista para ser analizada. Por supuesto, el procedimiento del bloque 1302 también puede producirse simultáneamente durante el procedimiento de adquisición de datos del bloque 1301, con una optimización del tiempo de cálculo.

- 10 Por lo tanto, la salida del bloque 1302 es una colección de agrupaciones o manchas, cada una asociada con una banda específica de energía. Estas manchas son elaboradas adicionalmente en las etapas subsiguientes.

El bloque 1303 representa la fase en la que las manchas identificadas anteriormente están agrupadas entre sí, para crear la denominada supermancha. La supermancha proporciona la característica espectral, en todo el espectro de rayos x, de la región espacial en la que está ubicada.

- 15 Por ejemplo, dada una cierta región espacial correspondiente a una mancha en todas las bandas de energía, la supermancha será el resultado de la colección de todos los píxeles en las distintas bandas de energía que pertenecen a esa región espacial.

El bloque 1304 representa la fase en la que se comparan las supermanchas identificadas anteriormente con una biblioteca de materiales diana conocidos.

- 20 La comparación consiste en verificar si existe una intersección entre la firma espectral (histograma) de cada supermancha y la del material diana actual, que se extiende sobre un conjunto de macrobandas que cubren todo el espectro de energía de rayos x. Preferentemente, el análisis utiliza una reconfiguración dinámica predefinida de las bandas de energía adaptadas al material diana específico, por ejemplo al agrupar entre sí las bandas adyacentes de energía y al crear el histograma de las atenuaciones medias de píxeles en las distintas bandas de energía.

- 25 El criterio de correspondencia está basado en un intervalo de tolerancia con umbrales predefinidos. Tales umbrales son variables, dependiendo del material diana y de la configuración del sistema. El intervalo de tolerancia es mayor (correspondiente a la aceptación de un mayor número de falsos positivos, dado que serán resueltos posteriormente gracias a la elaboración de los datos producidos por múltiples vistas) cuando el sistema de inspección está configurado como una vista múltiple, mientras el intervalo de tolerancia es más estrecho (correspondiente a una menor aceptación de falsos positivos), cuando el sistema de inspección está configurado como una vista única.

- 30 Si la intersección es nula, la salida del bloque 1304 es "prueba negativa", eso significa que no hay correspondencia de la supermancha con ese material diana.

- 35 Si la intersección no es nula, la salida del bloque 1304 es "prueba positiva", eso significa que hay una correspondencia con ese material diana. En tal caso, se asocia la supermancha con el material diana relevante con un índice de confianza tal como, por ejemplo, la desviación absoluta o relativa de la atenuación media prevista.

Entonces, el control va al bloque 1305 verificando si se han analizado todos los materiales diana previstos.

Si la lista de materiales diana que van a ser evaluados no está vacía, entonces el bloque 1309 proporciona un cambio al siguiente material diana, y devuelve el control al bloque 1304 en el que se repite la prueba.

- 40 Cuando la lista de materiales diana que van a ser evaluados está vacía, lo que significa que se han analizado todos los materiales diana, entonces el control va al bloque 1306 en el que se evalúan los datos analíticos de correlación por medio de un sistema experto.

- 45 El evaluador del sistema experto revisa las asociaciones de supermanchas con materiales diana y sus índices de confianza, al igual que los datos espaciales y espectrales de la misma supermancha, analizando finalmente las supermanchas que son contiguas o se solapan con la supermancha actual, y aplica correcciones apropiadas en el número y forma de las mismas supermanchas, para conseguir una correspondencia de espectro con el material diana. Por lo tanto, significa que el sistema experto puede modificar la lista de supermanchas válidas.

- 50 Además, la revisión puede implicar un ajuste/estrechamiento de los umbrales de los valores de atenuación para proporcionar una correspondencia espectral mejor y reducir los casos de falsos positivos. Además, la revisión puede implicar la redistribución de las configuraciones de banda de energía utilizadas para la correlación con el material diana, para obtener una correspondencia espectral mejor también con respecto a los grosores reales del material.

Además, la revisión puede implicar la aplicación de criterios de ponderación en los índices de correlación en las bandas de energía asociadas con el material diana específico, y también un reconocimiento de patrones basado en

rasgos particulares característicos de los patrones bien espaciales (por ejemplo, estructuras planas o esféricas) o bien espectrales.

Por lo tanto, el sistema experto deduce para cada supermancha válida una confirmación de prueba “positiva” o “negativa”.

- 5 Si la salida del bloque 1306 es “positiva” entonces el bloque 1308 marca la supermancha con un código de alarma asociado con el material diana específico.

Si la salida del bloque 1306 es “negativa” (o al final del bloque 1309 de asociación de alarmas), el control va al bloque 1307 verificando si la lista de supermanchas que van a ser analizadas está vacía.

- 10 Si la lista no está vacía, vuelve al bloque 1304 para repetir la prueba con otra supermancha. De lo contrario, si la lista está vacía, el algoritmo termina en el bloque 1310.

El algoritmo descrito en la Figura 13 deberá ser repetido para cada vista disponible.

- 15 Por lo tanto, la salida del algoritmo es una lista de supermanchas con una alarma asociada, cada una asociada con sus características espectrales y espaciales, para cada vista disponible en el sistema de inspección. Por supuesto, los procedimientos de los bloques 1304 y 1306 también pueden producirse simultáneamente con el procedimiento de creación de supermancha del bloque 1303 para reducir el tiempo de cálculo.

Con referencia a la Figura 14, se ilustra aquí, a continuación, el diagrama de flujo acerca de la segunda rama del procedimiento de elaboración, que se produce únicamente cuando hay disponibles dos o más vistas en el sistema de inspección.

- 20 Esta rama de elaboración recibe en el bloque 1401 procedente de la rama anterior, descrita en la Figura 13 la información asociada con las supermanchas identificadas: extensión y posición espacial, al igual que los datos espectrales de atenuación y el estado de alarma.

En el bloque 1402 el algoritmo busca una relación espacial entre las supermanchas disponibles en distintas vistas.

- 25 El algoritmo prosigue, para cada supermancha que pertenece a la primera vista, al identificar en la segunda vista aquellas supermanchas que producen un cono de proyección que se intersecta con el cono de proyección producido por la primera supermancha, y luego al establecer una relación espacial entre supermanchas de las dos vistas.

Mediante la intersección de los conos de proyección asociados con todas las supermanchas relacionadas, se puede deducir un primer volumen y una primera posición tridimensional aproximados de los objetos que están siendo inspeccionados.

- 30 Naturalmente, en el caso de que una supermancha en la primera vista esté relacionada espacialmente con más supermanchas en la segunda vista, también se puede deducir la información de que hay más objetos solapados y es probable que los datos espectrales de la supermancha en la primera vista se vean afectados por los datos espectrales de todos los objetos combinados entre sí.

Por lo tanto, el bloque 1402 sale con una lista de salida de todas las supermanchas relacionadas espacialmente pertenecientes a distintas vistas.

- 35 El bloque 1403 lleva a cabo el análisis espectral de supermanchas correlacionadas espacialmente en las dos vistas, para verificar la correlación entre los datos espectrales de las mismas dos supermanchas. El análisis se lleva a cabo al analizar los datos espectrales de cada supermancha en una primera vista y de las supermanchas correlacionadas espacialmente en las otras vistas. Estos pueden ser uno o más de uno. El análisis se lleva a cabo primero en pares. Por ejemplo, con referencia a la Figura 15, en el caso de una única supermancha 12 en una primera vista 1 relacionada espacialmente con dos supermanchas 22 y 32 en una segunda vista, puede significar que el análisis será llevado a cabo en primer lugar con el par 12 y 22 y luego con el par 12 y 32.

En un caso en el que el análisis en pares no proporcione una correlación, también se puede extender el análisis a cualquier combinación múltiple de datos espectrales de supermanchas.

- 45 En el anterior ejemplo los datos espectrales de la supermancha 12 pueden ser comparados con los datos espectrales combinados de las supermanchas 22 y 32.

- 50 Durante el análisis el perfil de histograma espectral de la supermancha en la primera vista puede ser comparado con el de la supermancha en la segunda vista, preferentemente con la máxima resolución de las bandas de energía. Este análisis puede ser llevado a cabo por medio de técnicas estándar de correlación del histograma espectral en todas las bandas previstas de energía, tal como “correspondencia entre bloques” (GONZALES, R. C., WOODS, R. E. Digital Image Processing, 3ª edición, Pearson Education, 2008).

De forma alternativa, también se puede llevar a cabo este análisis mediante “correspondencia estadística” (BISHOP, C. M.: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006). En tal caso la firma espectral (histograma) de las supermanchas que están siendo analizadas estará definida en términos estadísticos, como por ejemplo al definir una probabilidad a priori del valor de coeficiente de absorción para las distintas bandas de energía.

- 5 Si los datos de espectros de las supermanchas son compatibles, entonces las supermanchas están correlacionadas espectralmente; de lo contrario no están correlacionadas espectralmente.

Si se encuentra la correlación espectral entonces la salida del bloque 1403 es “prueba de correlación positiva”, lo que significa que hay una correspondencia entre las firmas espectrales de las supermanchas en las dos vistas, y hay asociado un índice de confianza con tal correlación. Por lo tanto, el bloque 1403 sale con una lista de salida de todas las supermanchas pertenecientes a distintas vistas que están correlacionadas tanto espacialmente como espectralmente y aquellas que están correlacionadas espacialmente pero no están correlacionadas espectralmente.

10

Entonces, se da el control al bloque 1404, evaluador de supermanchas, en el que se lleva a cabo el análisis para confirmar si una supermancha está asociada con un material diana específico. En particular, se puede generar una alarma en los controles de seguridad si la mancha resulta estar asociada con una sustancia peligrosa específica, tal como, por ejemplo, aquellas necesarias para crear componentes explosivos improvisados (AEI).

15

Este análisis se lleva a cabo mediante un sistema inteligente híbrido que combina deducciones típicas de un sistema experto en función de un análisis proposicional y una correspondencia estadística.

El evaluador del sistema experto revisa los datos acerca de las supermanchas correlacionadas y no correlacionadas disponibles de las múltiples vistas; eso quiere decir los datos espaciales y espectrales de supermanchas individuales, los índices de supermanchas individuales de correlación con materiales diana, y los índices recíprocos de correlación entre supermanchas de múltiples vistas, y deduce una evaluación “positiva” o “negativa” en función de cláusulas lógicas de primer orden que son insertadas “a priori”, y también en función de cláusulas lógicas adaptables que están derivadas de la experiencia con un enfoque autoadaptable y/o procedente de una elaboración adicional de datos espaciales y espectrales de supermanchas. Por ejemplo, una cláusula lógica puede ser “si las supermanchas 12 y 22 están correlacionadas tanto espacial como espectralmente y no están asociadas con un material peligroso, entonces no son consideradas peligrosas”.

20

25

Otra cláusula lógica puede ser “si las supermanchas 12 y 22 están correlacionadas tanto espacial como espectralmente y están asociadas ambas con un material peligroso, entonces son consideradas peligrosas”.

Otra cláusula lógica puede ser “si las supermanchas 12 y 22 están correlacionadas espacialmente pero no están correlacionadas espectralmente y 21 está asociada con un material diana peligroso, entonces se revisa 12 en busca de una correlación con el mismo material diana”.

30

La revisión puede implicar correcciones geométricas y/o volumétricas, fragmentándose al final en más supermanchas, para conseguir una correspondencia de espectro con el “material diana”.

Además, la revisión puede implicar un ajuste/estrechamiento de los umbrales de valores de atenuación para proporcionar una mejor correspondencia espectral y reducir los casos de falsos positivos. Además, la revisión puede implicar la redistribución de las configuraciones de bandas de energía utilizadas para la correlación con el material diana, para obtener una mejor correspondencia espectral también con respecto a los grosores reales del material.

35

Además, la revisión puede implicar aplicar criterios de ponderación en los índices de correlación en las bandas de energía asociadas con el material diana específico.

Por lo tanto, el bloque 1404 produce como una salida “prueba de evaluación positiva” en el caso de que se confirme que la supermancha que está siendo evaluada está correlacionada positivamente con un material diana.

40

Si la prueba de evaluación del bloque 1404 es positiva, entonces el bloque 1406 establece una alarma asociada con la supermancha que está siendo evaluada en busca del material diana específico.

Si la prueba de evaluación del bloque 1404 es negativa, o posterior al bloque 1406, entonces se transfiere el control al bloque 1405, en el que se verifica si la lista de supermanchas que van a ser inspeccionadas está vacía.

45

Si la lista no está vacía, el algoritmo toma la siguiente supermancha que va a ser analizada y vuelve al bloque 1404.

Si la lista está vacía, el algoritmo termina en el bloque 1407.

Gracias al procedimiento de la invención es posible, por lo tanto, identificar de forma precisa y oportuna cualquier correlación espacial y espectral entre supermanchas identificadas en múltiples vistas y su correlación respectiva con materiales diana conocidos, con una cantidad mínima de falsos positivos y de falsos negativos.

50

La eficacia y la flexibilidad del algoritmo garantizan un breve periodo de cálculo y la capacidad de soportar una velocidad de la cinta transportadora superior a 0,5 m por segundo.

5 Entre las características auxiliares del sistema de inspección de la invención existe la posibilidad de que se disponga de forma ventajosa en una configuración móvil, facilitando el transporte sobre ruedas en distintas ubicaciones en el interior de un edificio, con facilidad de instalación y de calibración.

También puede disponerse fácilmente para su instalación en una estación móvil, tal como un camión o un contenedor, facilitando el uso en diversas situaciones y eventos temporales tales como estadios, o estaciones, salones de actos, o cualquier otro lugar muy concurrido por personas.

10 En particular, en el campo de inspecciones de seguridad, también se prevé que múltiples sistemas de inspección se comuniquen entre sí permitiendo la recogida de múltiple información y detección de los componentes precursores separados necesarios para la fabricación de contrabando de un artefacto explosivo improvisado.

15 El sistema de inspección también puede estar dispuesto en los tamaños y dimensiones necesarios para controles industriales, tales como, por ejemplo, líneas de producción para la industria alimentaria o farmacéutica, o cualquier otra aplicación de fabricación en la que sea importante una identificación oportuna de la composición del material del producto.

20 Una ventaja adicional del sistema de inspección es proporcionar una solución para las inspecciones de seguridad y de línea caracterizada por una determinación precisa y libre de errores de la composición química de las sustancias que están siendo inspeccionadas, ya sean sólidas o líquidas. Por ejemplo, en el campo de las inspecciones de seguridad la presente invención proporciona una determinación verdadera mucho más allá del nivel de la técnica anterior, que alcanza actualmente hasta un 90%, y una terminación falsa muy por debajo del nivel de la técnica anterior, que alcanza actualmente más de un 5%.

Otra ventaja del sistema de inspección es que la determinación de la composición química y la identificación de sustancias diana específicas se produce de forma oportuna, normalmente compatible con una velocidad de cinta transportadora de al menos hasta 0,5 m por segundo.

25 El sistema de inspección también proporciona una ayuda significativa para el operario, gracias a la automatización mayor en la configuración y en la calibración del sistema al igual que en la identificación y ubicación de los materiales diana, y su visualización y marcado para el mismo operario.

30 Finalmente, se debería hacer notar que en toda la descripción y en las reivindicaciones de la presente memoria, el singular incluye el plural a no ser que el contexto requiera lo contrario. En particular, cuando se utiliza el artículo indefinido, se debe comprender que la memoria contempla la pluralidad al igual que la singularidad, a no ser que el contexto requiera lo contrario.

Se deben comprender que las características, los números enteros, las peculiaridades, los compuestos o los grupos descritos junto con un aspecto, una realización o un ejemplo particular de la invención son aplicables a cualquier otro aspecto, realización o ejemplo descrito en el presente documento a no ser que sea incompatible con el mismo.

35

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para llevar a cabo una inspección no invasiva de objetos con rayos x, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- 5 - proporcionar al menos una fuente (106, 107, 210) de rayos x que emite un haz de rayos x policromáticos que inciden sobre el objeto que está siendo inspeccionado;
- proporcionar al menos un detector (301) de rayos x compuesto de elementos detectores (401) ubicados lado a lado y con capacidad de interceptar la radiación modificada por el objeto (110) que está siendo inspeccionado y producir, para cada elemento detector (401) datos de atenuación asociados con al menos dos bandas de energía;
- 10 - proporcionar una unidad (113) de cálculo para llevar a cabo un procedimiento de elaboración de los datos de atenuación adquiridos procedentes del al menos un detector (301) y para reconstruir imágenes radiográficas (1, 2) de los objetos (110) que están siendo inspeccionados al igual que información acerca de su volumen y composición, en el que
- para cada elemento detector (401), los datos de atenuación están disponibles en forma de intensidades de radiación asociadas con una banda de energía en un intervalo de al menos cuatro bandas de energía del espectro de rayos x del haz de rayos x y que constituye la firma espectral de los datos de atenuación generados por el elemento detector (401), y en el que
- 15 - el procedimiento de elaboración incluye las etapas de identificación de agrupaciones (11, 21, 31) de material homogéneo del objeto (110), y de comparación por parte de un sistema experto entre tal firma espectral de dichas agrupaciones (11, 21, 31) y la firma espectral de al menos un material diana,
- 20 caracterizado porque

se aplica un primer procedimiento de elaboración de los datos de atenuación, llevando a cabo:

- 25 a) una agrupación (1302) de áreas espaciales homogéneas, denominadas manchas (11, 21, 31) en cada imagen (1, 2) de banda de energía;
- b) una agregación (1303) de más manchas (11, 21, 31) pertenecientes a regiones espaciales correspondientes en distintas bandas de energía formando supermanchas (12, 22, 32) que proporcionan la firma espectral completa de esa región espacial;
- 30 c) una evaluación (1306) por parte de un sistema experto de la correspondencia entre la firma espectral de la supermancha (12, 22, 32) y la de un material diana líquido o sólido o gaseoso predefinido.

35 2. El procedimiento según la Reivindicación 1, en el que los datos de atenuación están disponibles en forma de recuentos de fotones, asociados cada uno con una banda de energía en un intervalo de al menos cuatro bandas de energía del espectro de rayos x del haz de rayos x y que constituyen la firma espectral de los datos de atenuación generados por el elemento detector (401).

40 3. El procedimiento según la Reivindicación 1 o 2, en el que las al menos cuatro bandas de energía están modificadas dinámicamente durante el procedimiento de elaboración para aumentar la fiabilidad de la coincidencia entre la firma espectral medida del objeto (110) que está siendo inspeccionado y la firma espectral del material diana predefinido.

45 4. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 3, en el que se colima el haz de rayos x policromáticos por medio de un colimador primario (212) ubicado entre la fuente (106, 107, 210) de rayos x y el objeto (110) y al dirigir el haz de rayos x al objeto (110) según un ángulo predefinido.

50 5. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 4, en el que el detector (301) comprende al menos una cadena detectora (111) de rayos x, compuesta por elementos detectores (401) organizados según al menos un conjunto lineal.

55 6. El procedimiento según la Reivindicación 5, en el que el sistema de inspección está dotado de dos o más cadenas detectoras (111, 112) iluminadas por dos o más fuentes (106, 107, 210) de rayos x y los datos adquiridos son elaborados para generar imágenes radiográficas bidimensionales y tridimensionales reconstruidas para múltiples bandas de energía.

7. El procedimiento según la Reivindicación 6,

en el que se aplica un segundo procedimiento de elaboración en caso de que haya disponible más de una cadena detectora (111, 112) en el sistema de inspección, que lleva a cabo:

5 a) una correlación espacial (1402) entre las supermanchas (12, 22, 32) identificadas a partir de distintas cadenas detectoras (111, 112);

b) una correlación espectral (1403) entre las supermanchas (12, 22, 32) identificadas a partir de distintas cadenas detectoras (111, 112);

10 c) una revisión (1404) por parte de un sistema experto de la correspondencia entre la firma espectral de la supermancha (12, 22, 32) y la de un material diana líquido o sólido o gaseoso predefinido en función de la información derivada de las más de una cadenas detectoras (111, 112).

8. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 7,

15 en el que el sistema experto, por medio de reglas proposicionales que introducen limitaciones flexibles e inflexibles en las soluciones y elaboraciones estadísticas permitidas en los datos de atenuación, efectúa una clasificación robusta con respecto a la correspondencia de la firma espectral de la supermancha (12, 22, 32) y la de un material diana líquido o sólido o gaseoso predefinido.

9. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 8,

20 en el que la al menos una cadena detectora (111, 112) está compuesta de detectores individuales de rayos x de tipo directo que pertenecen a las familias de CdTe o CdZnTe o Si, o cualquier otro material con una captura de fotones similar con rendimientos de discriminación de energía, y está dotada de un colimador secundario (405) que lleva a cabo un blindaje de la radiación difundida.

10. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 9,

25 en el que el objeto (110) que está siendo inspeccionado y el detector (301) de rayos x son movidos de forma mutua mientras que la fuente (106, 107, 210) de rayos x emite radiación.

11. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 10,

30 en el que se implementa la tasa de muestreo de los recuentos de fotones de la cadena detectora a una frecuencia adecuada para soportar el movimiento de la cinta transportadora con una velocidad superior a 0,5 m por segundo.

12. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 11,

35 en el que el sistema de inspección está instalado en una ubicación permanente, o es amovible sobre ruedas, o es transportable con una estación móvil de remolque, o está adaptado para una línea de producción industrial.

13. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 12,

40 en el que se utiliza el sistema de inspección en aplicaciones que implican inspecciones de seguridad en edificios de aviación, militares y civiles y en áreas muy concurridas, e inspecciones industriales entre las cuales figuran las industrias alimentaria y farmacéutica.

14. Un aparato para llevar a cabo una inspección no invasiva con rayos x de objetos, que comprende:

- al menos una fuente (106, 107, 303) de rayos x que emite un haz de rayos x policromáticos que incide sobre el objeto (110) que está siendo inspeccionado;

45 - al menos un detector (301) de rayos x compuesto de elementos detectores (401) ubicados lado a lado y con capacidad para interceptar la radiación modificada por el objeto (110) que está siendo inspeccionado y para producir, para cada elemento detector (401), datos de atenuación asociados con al menos dos bandas de energía;

50 - una unidad (113) de cálculo para llevar a cabo un procedimiento de elaboración de los datos de atenuación adquiridos del al menos un detector y para reconstruir imágenes radiográficas de los objetos que están siendo inspeccionados al igual que información acerca de su volumen y composición,

caracterizado porque

55 el aparato está dispuesto para llevar a cabo un procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 13.

FIG 1

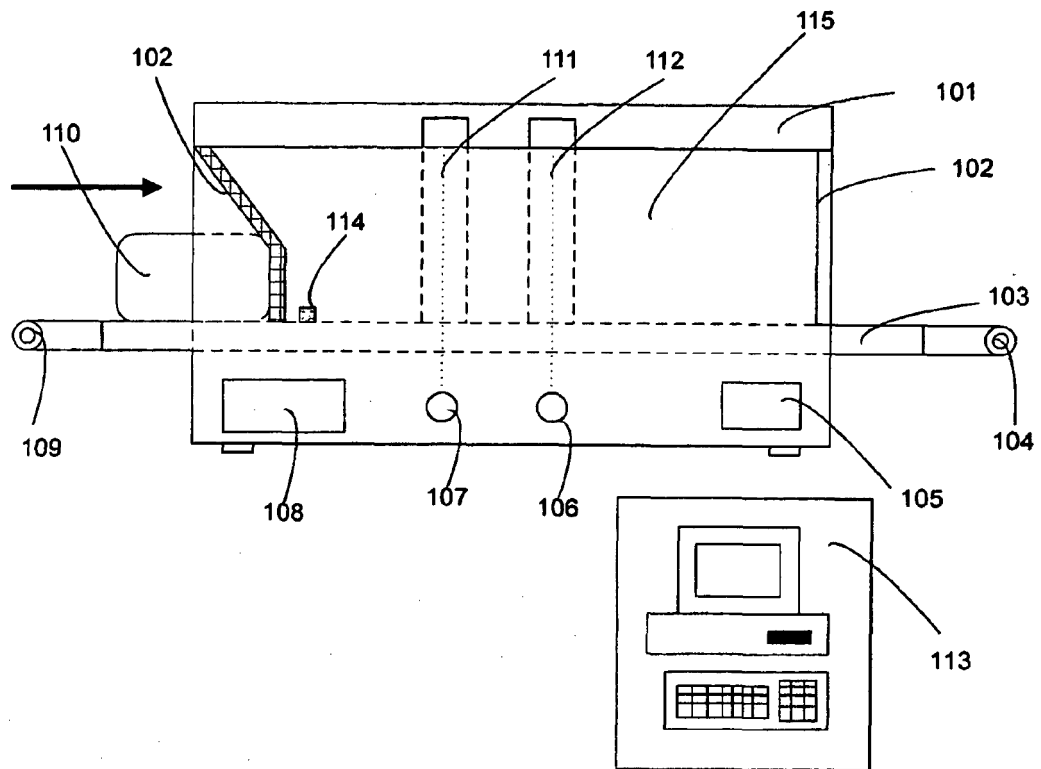


FIG 2

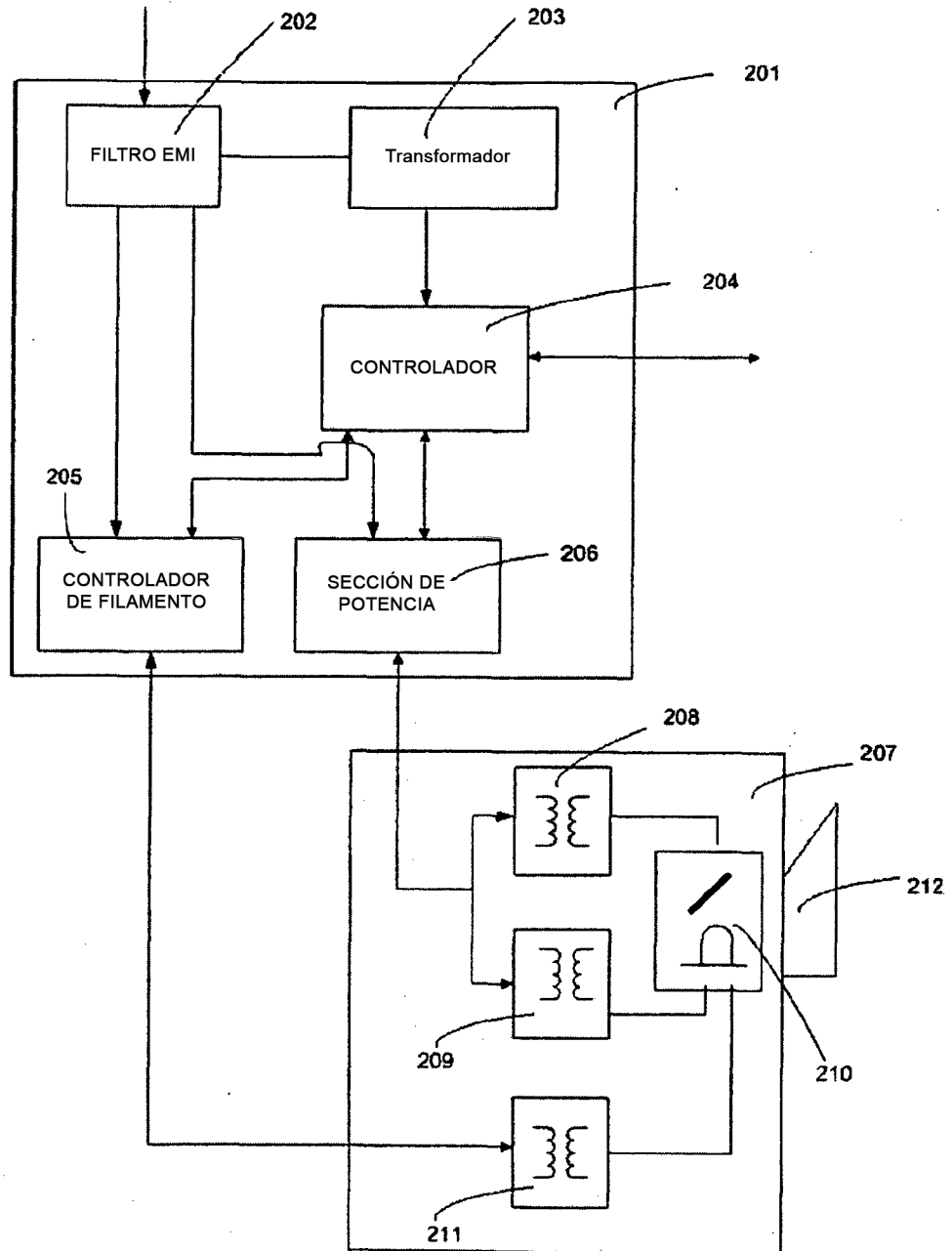


FIG 3

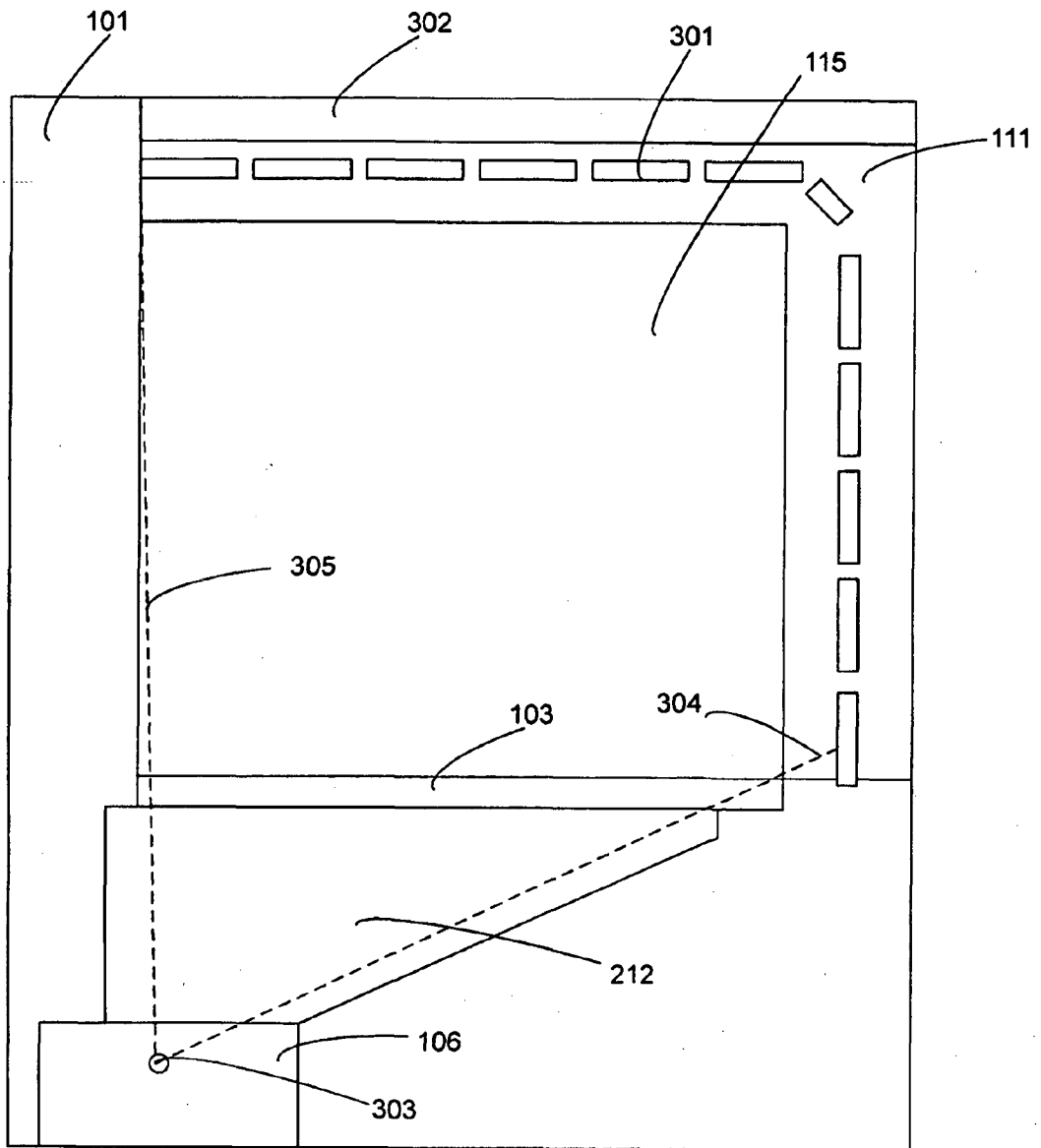


FIG 4

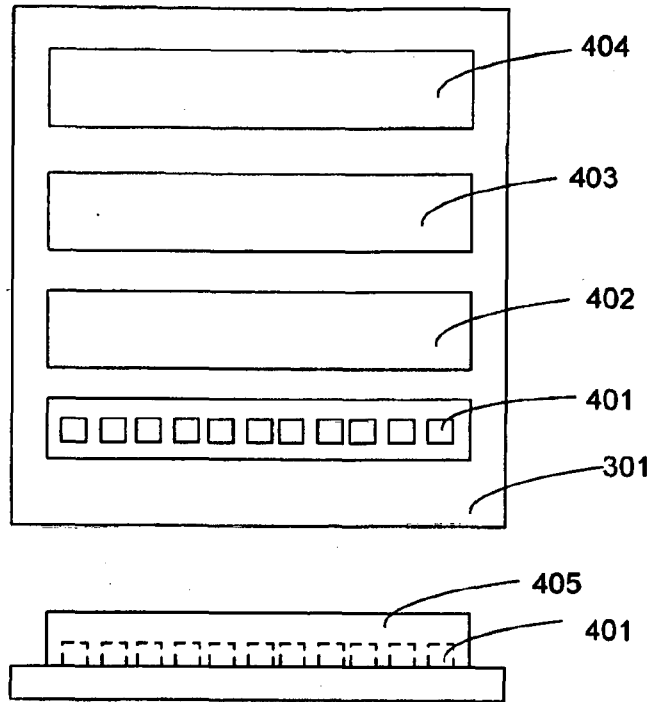


FIG 5

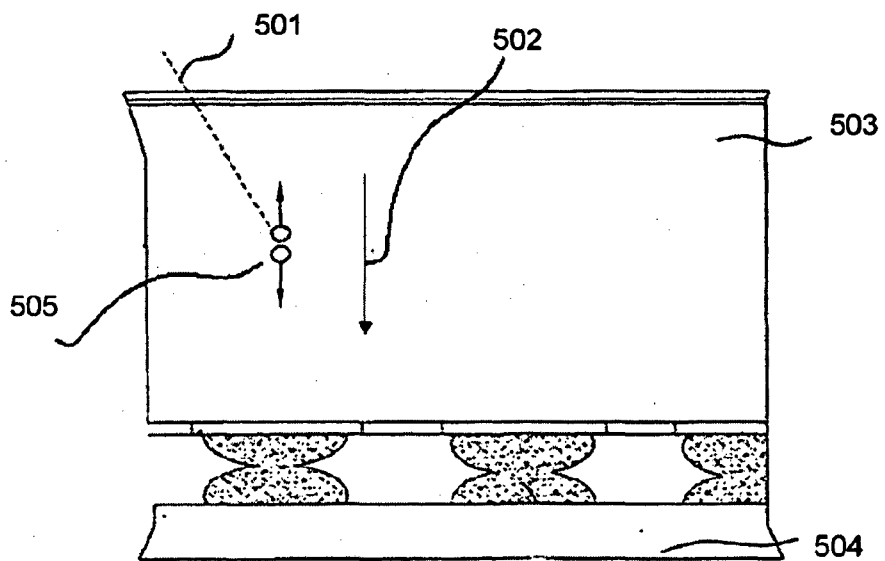


FIG 6

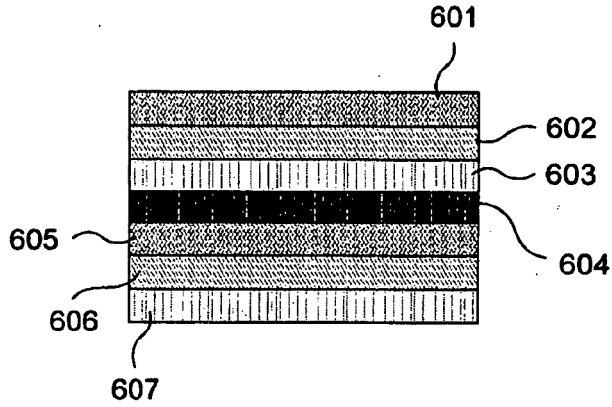


FIG 7

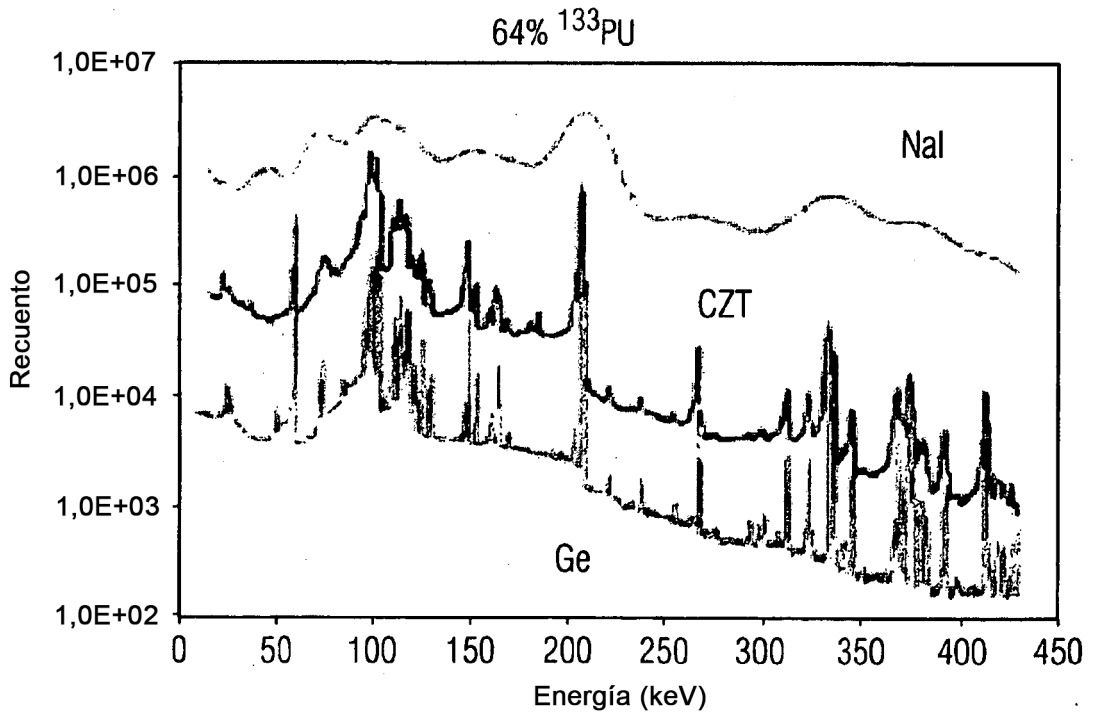


FIG 8

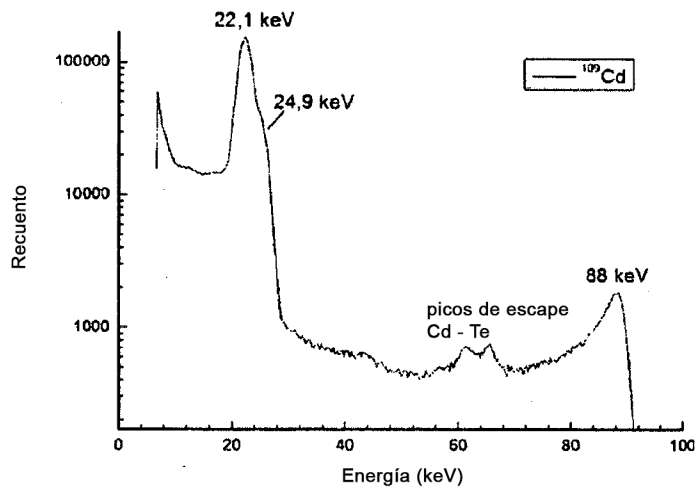
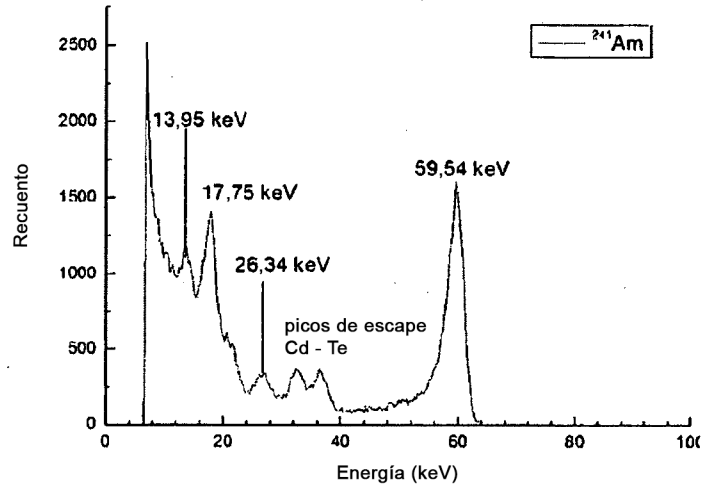


FIG 9

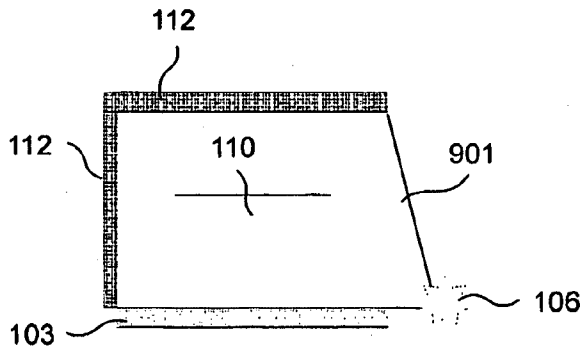


FIG 10

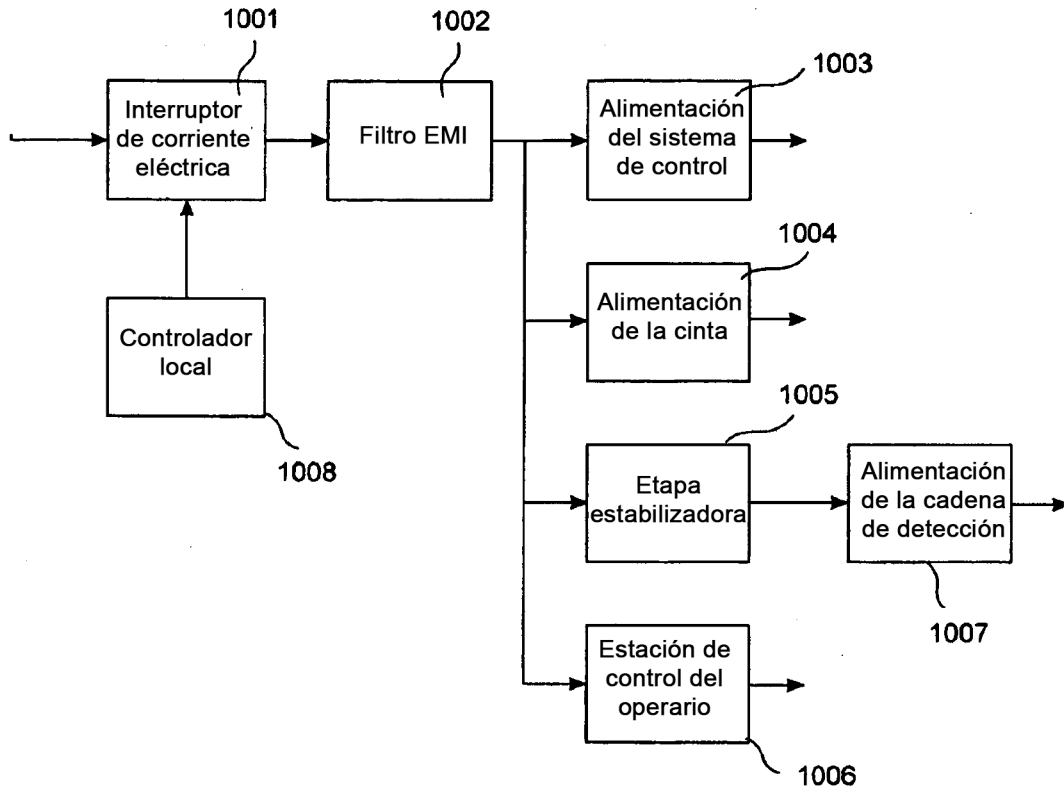


FIG 11

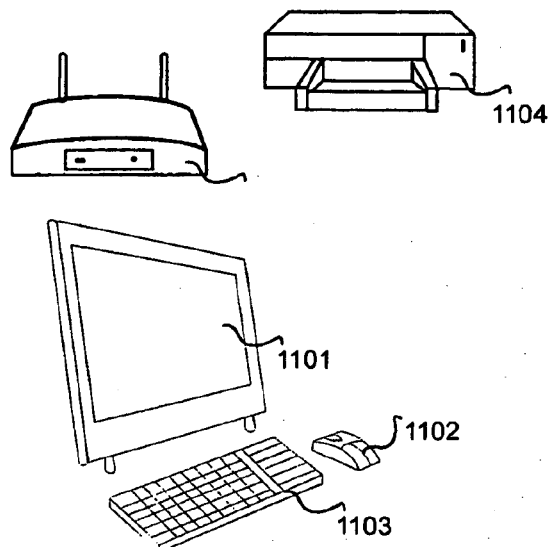


FIG 12

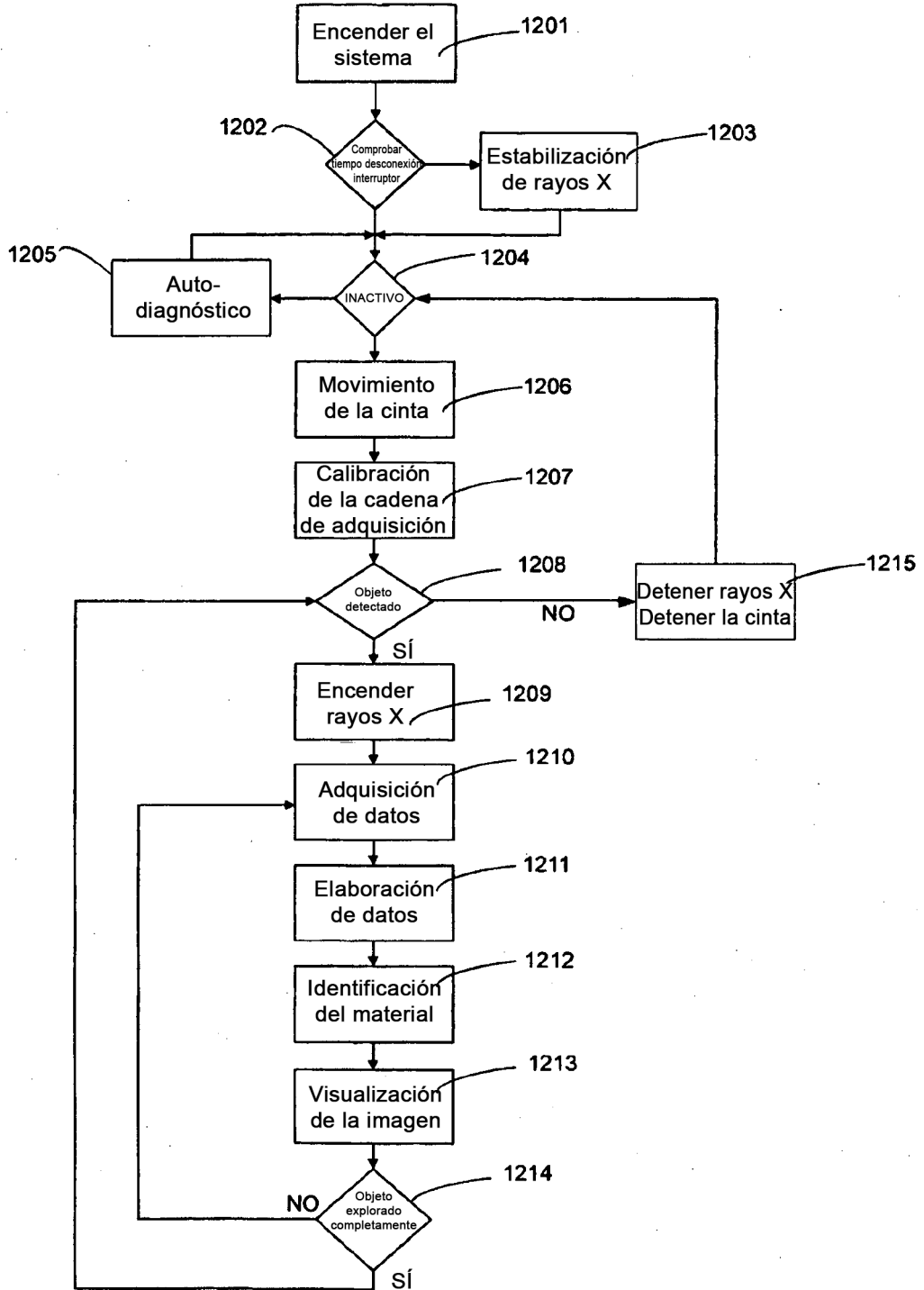


FIG 13

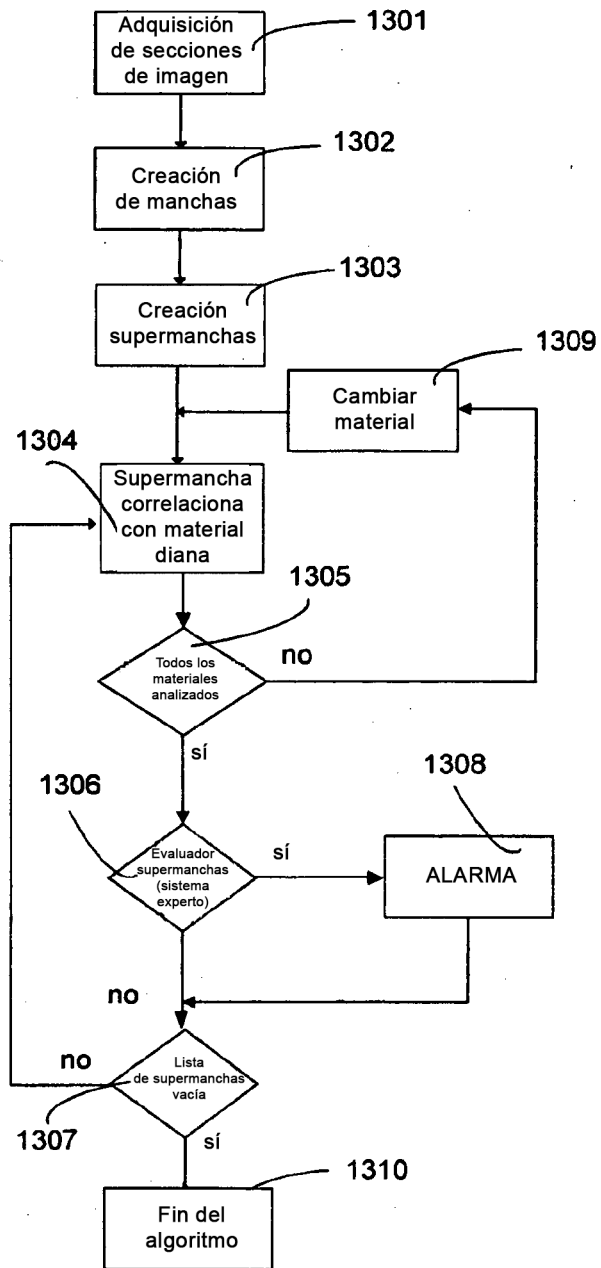


FIG 14

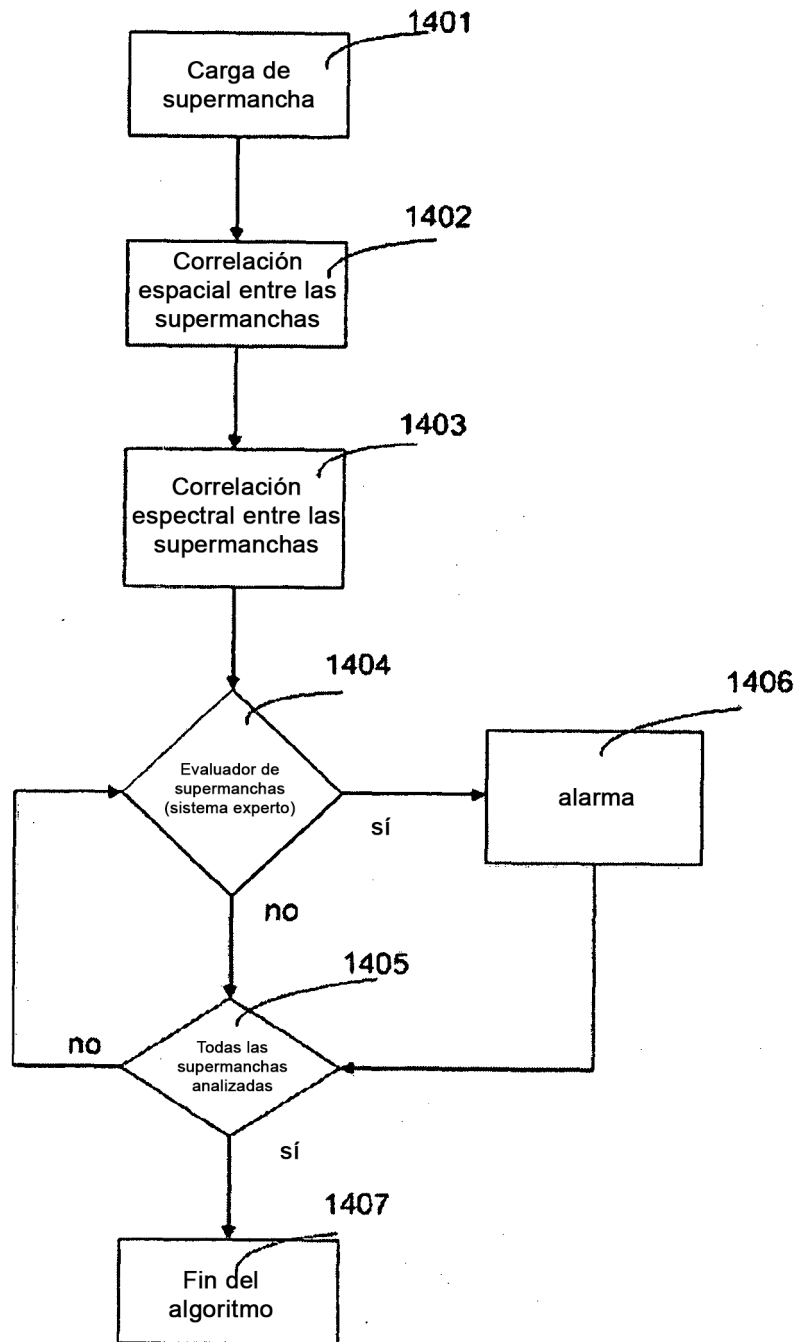


FIG 15

