

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 769 530**

51 Int. Cl.:

**G01N 23/04** (2008.01)

**G01V 5/00** (2006.01)

**G01T 1/29** (2006.01)

**G01N 23/20** (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2006 E 08016552 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019 EP 2017605**

54 Título: **Sistemas de inspección de tomografía de rayos X**

30 Prioridad:

**16.12.2005 GB 0525593**

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

**26.06.2020**

73 Titular/es:

**CXR LIMITED (100.0%)  
5th Floor, One New Change  
London EC4M 9AF, GB**

72 Inventor/es:

**MORTON, EDWARD JAMES**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 769 530 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 inspección de tomografía de rayos X

- 5 La presente invención se refiere al escaneado de rayos X. Tiene una aplicación particular en el examen de seguridad de equipaje, paquetes y otros objetos sospechosos, aunque se podría utilizar igualmente en otras aplicaciones adecuadas.
- 10 Los escáneres de tomografía computarizada (TC) de rayos X se han utilizado en el examen de seguridad en aeropuertos durante varios años. Un sistema convencional comprende un tubo de rayos X que se hace rotar alrededor de un eje con un detector de rayos X arqueado también rotado a la misma velocidad alrededor del mismo eje. La cinta transportadora sobre la que se transporta el equipaje se coloca dentro de una abertura adecuada alrededor del eje central de rotación, y se mueve a lo largo del eje a medida que se hace rotar el tubo. Un haz en abanico de radiación X pasa desde la fuente a través del objeto que se va a inspeccionar al conjunto de detectores de rayos X.
- 15 El conjunto de detectores de rayos X registra la intensidad de rayos X que pasan a través del objeto que se va a inspección en varias ubicaciones a lo largo de su longitud. Un conjunto de datos de proyección se registra en cada uno de una serie de ángulos fuente. A partir de estas intensidades de rayos X registradas, es posible formar una imagen tomográfica (en sección transversal), habitualmente por medio de un algoritmo de retroproyección filtrada.
- 20 Para producir una imagen tomográfica precisa de un objeto, como una bolsa o paquete, puede mostrarse que existe un requisito de que la fuente de rayos X pase a través de cada plano a través del objeto. En la disposición descrita anteriormente, esto se consigue mediante el escaneado rotacional de la fuente de rayos X, y el movimiento longitudinal de la cinta transportadora sobre la que se transporta el objeto.
- 25 En este tipo de sistema, la velocidad a la que pueden recogerse los escaneos tomográficos de rayos X es dependiente de la velocidad de rotación del túnel que sostiene la fuente de rayos X y el conjunto de detectores. En un túnel de TC moderno, todo el conjunto del detector de tubos y el túnel completarán de dos a cuatro revoluciones por segundo. Esto permite que se recojan hasta cuatro u ocho escaneos tomográficos por segundo, respectivamente.
- 30 A medida que el estado de la técnica se ha desarrollado, el anillo único de detectores de rayos X se ha reemplazado por múltiples anillos de detectores. Esto permite que se escaneen muchos cortes (habitualmente 8) simultáneamente y que se reconstruyan utilizando métodos de retroproyección filtrada adaptados a partir de las máquinas de escaneo único. Con un movimiento continuo de la cinta transportadora a través del sistema de imágenes, la fuente describe un movimiento de escaneado helicoidal sobre el objeto. Esto permite que se aplique un método más sofisticado de reconstrucción de imagen de haz cónico que, en principio, puede ofrecer una reconstrucción de imágenes volumétrica más precisa.
- 35 En un desarrollo adicional, los escáneres de haz de electrones de barrido se han demostrado en aplicaciones médicas mediante lo cual se elimina el movimiento de escaneado mecánico de la fuente de rayos X y los detectores, que se reemplazan por un anillo continuo (o anillos) de detectores de rayos X que rodean el objeto bajo inspección con una fuente de rayos X en movimiento que se genera como resultado de barrer un haz de electrones alrededor de un ánodo arqueado. Esto permite que las imágenes se obtengan más rápidamente que en los escáneres convencionales. Sin embargo, debido a que la fuente de electrones se encuentra en el eje de rotación, tales escáneres de haz de barrido no son compatibles con los sistemas de cinta transportadora que pasan cerca por sí mismos, y paralelos, al eje de rotación. El documento US 2002/0097836 da a conocer un sistema que incluye una fuente para emitir haces de radiación secuenciales desde un objetivo en un conjunto de direcciones sustancialmente paralelas, un detector para detectar radiación después de la interacción con el contenido de un contenedor y generar un conjunto de señales que corresponden a cada una de las direcciones paralelas y un controlador para caracterizar el contenido basándose en las señales.
- 40 El documento US 2002/0097836 da a conocer un aparato y método para generar haces electrónicamente dirigibles de radiación de penetración secuencial en los que partículas cargadas desde una fuente se forman para dar un haz y se aceleran a un objetivo. La radiación electromagnética generada por el objetivo se emite con una distribución angular que es una función del grosor de objetivo y la energía de las partículas.
- 45 El documento US 2003/0076924 da a conocer un sistema de rayos X de escaneado tomográfico en el que se transmite radiación de rayos X a través de y se dispersan desde un objeto bajo inspección para detectar armas, narcóticos, explosivos u otros bienes de contrabando.
- 50 El documento US 5.974.111 da a conocer un dispositivo de inspección de rayos X para detectar un material específico de interés en artículos de diversos tamaños y formas, que incluye un sistema de fuente de rayos X ubicado en una región de inspección y construido para exponer el artículo examinado a al menos un haz de radiación de rayos X, y uno o más sistemas de detección de rayos X.
- 55 El documento US 6.269.142 da a conocer un método de imágenes de haz interrumpido por ventilador, que produce imágenes de rayos X retrodispersados a partir de sistemas de escaneo de línea convencionales, tal como aquellos

usados para inspección de equipaje y mercancías.

El documento US 6.546.072 da a conocer un aparato y método para potenciar una imagen de radiación de penetración dispersada por objetos ocultos dentro de un contenedor.

5 El documento US 2005/0031075 da a conocer un sistema y método para verificar la identidad de un objeto dentro de un artículo encerrado. El sistema incluye un subsistema de adquisición que utiliza un detector y fuente de radiación estacionaria, un subsistema de reconstrucción, un subsistema de detección asistida por ordenador (CAD) y un subsistema de visualización 2D/3D.

10 El documento JP 2004-347328 da a conocer un método de imágenes radiográficas en el que dos clases de datos fotográficos de un sujeto adquiridos por radiografía de energía dual se usan como variables, y se usa una función aproximada para derivar directamente una imagen de efecto fotoeléctrico y una imagen dispersada de efecto Compton a partir de las dos variables.

15 La presente invención proporciona un sistema de escaneado de rayos X que comprende una fuente de rayos X dispuesta para generar rayos X desde una pluralidad de posiciones de fuente alrededor de una región de escaneado, un conjunto de detectores cilíndricos compuesto por una pluralidad de conjuntos circulares de detectores de dispersión dispuestos para detectar rayos X dispersados dentro de la región de escaneado, y un sistema de recogida de datos que comprende una memoria que tiene una pluralidad de áreas estando cada una asociada con un volumen secundario respectivo de un volumen de imágenes, medios de entrada de datos dispuestos para recibir datos de entrada desde los detectores de retrodispersión en una secuencia predeterminada, en el que el sistema comprende además una tabla de consulta que tiene entradas almacenadas en la misma que, para cada una de las posiciones de fuente, asocian cada uno de los detectores de retrodispersión con un volumen secundario respectivo del volumen de imágenes, y medios de procesamiento dispuestos para generar a partir de los datos de dispersión de rayos X de datos de entrada asociados con cada uno de los volúmenes secundarios del volumen de imágenes, y para almacenar los datos de dispersión de rayos X en las áreas de memoria apropiadas usando la tabla de consulta, en el que los medios de procesamiento están dispuestos para almacenar los datos de dispersión de rayos X en la memoria para cada uno de una pluralidad de escaneos tomográficos de un objeto a medida que el objeto se mueve a través de una región de imágenes, y para extraer los datos de dispersión de rayos X desde la memoria después de cada uno de los escaneos de modo que los datos de dispersión de rayos X durante un escaneo posterior pueden almacenarse en la memoria.

25 La figura 1 es una sección longitudinal de un sistema de escaneado de seguridad de tomografía en tiempo real que forma parte de una primera realización de la invención;

35 la figura 1a es una vista en perspectiva de una fuente de rayos X del sistema de la figura 1;

la figura 2 es una vista en planta del sistema de la figura 1;

40 la figura 3 es una vista lateral esquemática del sistema de la figura 1;

la figura 4 es un diagrama esquemático de un sistema de adquisición de datos que forma parte del sistema de la figura 1;

45 la figura 5 es un diagrama esquemático de un sistema de detección de amenazas que forma parte del sistema de la figura 1;

50 la figura 6 es un diagrama esquemático de un sistema de clasificación de equipaje que incluye el sistema de escaneado de la figura 1;

la figura 7 es un diagrama esquemático de un sistema de clasificación de equipaje;

las figuras 8a, 8b y 8c son diagramas esquemáticos de sistemas de clasificación de equipaje;

55 la figura 9 es un diagrama esquemático de un sistema de clasificación de equipaje en red según una realización adicional de la invención;

la figura 10 es una vista en planta esquemática de un sistema de escaneado autónomo;

60 la figura 11 es una vista lateral esquemática del sistema de la figura 10;

la figura 12 es una vista lateral esquemática de un sistema de escaneado modular;

la figura 13 es un diagrama de un evento de dispersión de rayos X;

65 la figura 14 es una sección longitudinal a través de un sistema de escaneado de seguridad según la primera realización

de la invención;

la figura 15 es una sección longitudinal adicional a través del sistema de la figura 14 que muestra cómo se detectan diferentes eventos de dispersión;

5

la figura 16 es una sección transversal a través del sistema de la figura 14;

la figura 17 es un diagrama esquemático de un sistema de adquisición de datos del sistema de escaneado de la figura 14;

10

la figura 18 es una vista parcial de un escáner de energía dual que forma parte de una realización adicional de la invención;

15

la figura 19 es una vista parcial adicional del escáner de la figura 18;

la figura 20 es una vista esquemática de una fuente de rayos X de energía dual que forma parte de una realización adicional de la invención;

20

la figura 21 es una vista esquemática de un conjunto de detectores de un escáner que forma parte de una realización adicional de la invención;

la figura 22 es una vista esquemática de un conjunto de detectores de un escáner que forma parte de una realización adicional de la invención;

25

la figura 23 es un diagrama de circuito de un circuito de adquisición de datos de la realización de la figura 21; y

la figura 24 es un diagrama de circuito de un circuito de adquisición de datos adicional.

30

Haciendo referencia a las figuras 1 a 3, un sistema de escaneado de equipaje de vestíbulo 6 comprende una unidad de escaneado 8 que comprende una fuente de rayos X multifocal 10 y un conjunto de detectores de rayos X 12. La fuente 10 comprende un gran número de puntos de fuente 14 en ubicaciones espaciadas respectivas en la fuente, y está dispuesta en un conjunto circular completo de 360° alrededor del eje X-X del sistema. Se apreciará que también pueden utilizarse conjuntos que cubren menos del ángulo completo de 360°.

35

Haciendo referencia a la figura 1a, la fuente de rayos X 10 está compuesta por un número de unidades de fuente 11 que están espaciadas alrededor de la región de escaneado 16 en una disposición sustancialmente circular, en un plano perpendicular a la dirección de movimiento de la cinta transportadora. Cada unidad de fuente 11 comprende un supresor metálico conductor 13 que tiene dos lados y un elemento emisor 15 que se extiende a lo largo entre los lados de supresor. Un número de elementos de rejilla en forma de alambres de rejilla 17 están soportados por encima del supresor 13 perpendicular al elemento emisor 15. Un número de elementos de enfoque en forma de alambres de enfoque 19 están soportados en otro plano en el lado opuesto de los alambres de rejilla al elemento emisor. Los alambres de enfoque 19 son paralelos a los alambres de rejilla 17 y están separados entre sí con el mismo espaciado que los alambres de rejilla, estando cada alambre de enfoque 19 alineado con uno respectivo de los alambres de rejilla 17.

45

Los alambres de enfoque 19 están soportados sobre dos carriles de soporte 21 que se extienden paralelos al elemento emisor 15, y están espaciados del supresor 13. Los carriles de soporte 21 son eléctricamente conductores de modo que todos los alambres de enfoque 19 están conectados eléctricamente entre sí. Uno de los carriles de soporte 21 está conectado a un conector 23 para proporcionar una conexión eléctrica para los alambres de enfoque 19. Cada uno de los alambres de rejilla 17 se extiende hacia abajo por un lado del supresor 12 y está conectado a un respectivo conector eléctrico 25 que proporcionan conexiones eléctricas separadas para cada uno de los alambres de rejilla 17.

50

Un ánodo 27 está soportado por encima de los alambres de rejilla 17 y los alambres de enfoque 19. El ánodo 27 está formado como una varilla, habitualmente de cobre con recubrimiento de plata o tungsteno, y se extiende paralelo al elemento emisor 15. Los alambres de rejilla y de enfoque 17, 19 se extienden, por lo tanto, entre el elemento emisor 15 y el ánodo 27. Un conector eléctrico 29 proporciona una conexión eléctrica al ánodo 27.

55

Los alambres de rejilla 17 están todos conectados a un potencial negativo, aparte de dos que están conectados a un potencial positivo. Estos alambres de rejilla positivos extraen un haz de electrones de un área del elemento emisor 15 y, enfocando mediante los alambres de enfoque 19, dirigen el haz de electrones a un punto del ánodo 27, que forma el punto de fuente de rayos X para ese par de alambres de rejilla. Por lo tanto, el potencial de los alambres de rejilla puede cambiarse para seleccionar qué par de alambres de rejilla está activo en un momento dado y, por lo tanto, para seleccionar qué punto en el ánodo 27 es el punto de fuente de rayos X activo en cualquier momento.

60

65

Por lo tanto, la fuente 10 puede controlarse para producir rayos X desde cada uno de los puntos de fuente 14 en cada una de las unidades de fuente 11 individualmente y, haciendo referencia de nuevo a la figura 1, los rayos X de cada

punto de fuente 14 se dirigen hacia el interior a través de la región de escaneado 16 dentro de la fuente circular 10. La fuente 10 está controlada por una unidad de control 18 que controla los potenciales eléctricos aplicados a los alambres de rejilla 17 y por lo tanto controla la emisión de rayos X desde cada uno de los puntos de fuente 14.

5 Otros diseños de fuente de rayos X adecuados se describen en el documento WO 2004/097889.

10 La fuente de rayos X de rayos X multifocal 10 permite que el circuito de control electrónico 18 se utilice para seleccionar cuál de los muchos puntos de fuente de rayos X individuales 14 dentro de la fuente de rayos X multifocal está activo en cualquier momento en el tiempo. Por lo tanto, escaneando electrónicamente el tubo de rayos X multifocal, se crea la ilusión del movimiento de fuente de rayos X sin partes mecánicas que se muevan físicamente. En este caso, la velocidad angular de la rotación de fuente puede aumentarse a niveles que simplemente no pueden lograrse cuando se utilizan conjuntos de tubos de rayos X rotatorios convencionales. Este escaneado rotatorio rápido se traduce en un proceso de adquisición de datos acelerado de forma equivalente y, a continuación, una reconstrucción de imágenes rápida.

15 El conjunto de detectores 12 también es circular y está dispuesto alrededor del eje X-X en una posición que está ligeramente desplazada en la dirección axial desde la fuente 10. La fuente 10 está dispuesta para dirigir los rayos X que la misma produce a través de la región de escaneado 16 hacia el conjunto de detectores 12 en el lado opuesto de la región de escaneado. Las trayectorias 18 de los haces de rayos X pasan, por lo tanto, a través de la región de escaneado 16 en una dirección que es sustancialmente, o casi, perpendicular al eje X-X de escáner, cruzándose entre sí cerca del eje. El volumen de la región de escaneado que se escanea y se obtienen imágenes está, por lo tanto, en la forma de un corte delgado perpendicular al eje de escáner. La fuente se escanea de modo que cada punto de fuente emite rayos X durante un período respectivo, estando los periodos de emisión dispuestos en un orden predeterminado. A medida que cada punto de fuente 14 emite rayos X, las señales de los detectores 12, que son dependientes de la intensidad de los rayos X incidentes sobre el detector, se producen, y los datos de intensidad que proporcionan las señales se registran en la memoria. Cuando la fuente ha completado su escaneo, las señales de detector pueden procesarse para formar una imagen del volumen escaneado.

20 Una cinta transportadora 20 se mueve a través del volumen de imágenes, de izquierda a derecha, como se ve en la figura 1, paralela al eje X-X del escáner. Las pantallas de dispersión de rayos X 22 están ubicadas alrededor de la cinta transportadora 20 aguas arriba y aguas abajo del sistema de rayos X principal para evitar una dosis del operario debido a los rayos X dispersados. Las pantallas de dispersión de rayos X 22 incluyen cortinas de tiras de caucho de plomo 24 en sus extremos abiertos de manera que el artículo 26 bajo inspección es arrastrado a través de una cortina al entrar, y una al salir, de la región de inspección. En el sistema integrado mostrado, el sistema de control electrónico principal 18, un sistema de procesamiento 30, un suministro de potencia 32 y soportes de refrigeración 34 se muestran montados debajo de la cinta transportadora 20. La cinta transportadora 20 está dispuesta para hacerse funcionar normalmente con un movimiento de escaneado continuo a velocidad constante de cinta transportadora, y habitualmente tiene un conjunto de armazón de fibra de carbono dentro del volumen de imágenes.

30 Haciendo referencia a la figura 4, el sistema de procesamiento 30 incluye un sistema de adquisición de datos electrónico y un sistema de reconstrucción de imágenes en tiempo real. El conjunto de detectores 12 de detectores de rayos X 12 comprende bancos de detectores de rayos X individuales 50 configurados en un patrón lineal simple (por ejemplo, 1 x 16). Múltiples patrones de anillo (por ejemplo, 8 x 16) también son posibles. Cada detector 50 emite una señal dependiente de la intensidad de los rayos X que detecta. Un bloque de multiplexación 52 multiplexa las señales de datos de salida de cada uno de los detectores de rayos X de entrada 50, realiza un filtrado de datos, correcciones de ganancia y desplazamiento y formatea los datos para dar un flujo en serie de alta velocidad. Un bloque de selección 53 toma la entrada de todos los bloques de multiplexación 52 y selecciona solo la parte de los datos de rayos X completos que se requieren para la reconstrucción de imagen. El bloque de selección 53 también determina la intensidad de haz de rayos X no atenuado, lo, para el punto de fuente de rayos X apropiado (que variará para cada punto de fuente de rayos X dentro del tubo de rayos X multifocal), procesa los datos de intensidad de rayos X,  $I_x$ , del bloque de multiplexación 52 formando el resultado de  $\log_e(I_x/I_0)$  y luego se convoluciona con un filtro 1-D adecuado. Los datos de proyección resultantes se registran como una sinograma, en la que los datos se disponen en un conjunto con un número de píxeles a lo largo de un eje, en este caso horizontalmente, y un ángulo fuente a lo largo de otro eje, en este caso verticalmente.

35 A continuación, los datos se pasan desde el bloque de selección 53 en paralelo a un conjunto de elementos de procesador de suma de retroproyección 54. Los elementos de procesador 54 se mapean en el hardware, utilizando tablas de consulta con coeficientes calculados previamente para seleccionar los datos de rayos X convolucionados necesarios y los factores de ponderación para la retroproyección y suma rápidas. Un bloque de formateo 55 toma los datos que representan azulejos de imagen reconstruidos individuales de los múltiples elementos de procesador 54 y formatea los datos de imagen de salida final a una forma adecuada para generar una imagen tridimensional formateada adecuadamente en una pantalla de visualización. Esta salida puede generarse lo suficientemente rápido para que las imágenes se generen en tiempo real, para verlas en tiempo real o fuera de línea, por lo que el sistema se denomina sistema de tomografía en tiempo real (RTT).

65 En esta realización, el bloque de multiplexación 52 está codificado en el software, el bloque de selección 53 y el bloque

de formateo 55 están ambos codificados en el firmware, y los elementos de procesador mapeados en el hardware. Sin embargo, cada uno de estos componentes podría ser hardware o software dependiendo de los requisitos del sistema particular.

5 Haciendo referencia a la figura 5, cada una de las imágenes de salida final para cada artículo de equipaje se procesa entonces por un procesador de detección de amenazas 60 dentro del sistema de procesamiento 30 que está dispuesto para determinar si el artículo de equipaje visualizado representa una amenaza. En el procesador de detección de amenazas 60, los datos de imagen tomográfica de rayos X de entrada 62 se pasan a un conjunto de extractores de parámetros de bajo nivel 63 (nivel 1). Los extractores de parámetros 63 identifican características en la imagen tales como áreas de nivel de gris constante, textura y estadísticas. Algunos de los extractores trabajan sobre los datos de imágenes o cortes bidimensionales individuales, algunos trabajan sobre las imágenes tridimensionales y algunos trabajan sobre los datos de la sonograma. Siempre que sea posible, cada extractor trabaja en paralelo sobre el mismo conjunto de datos de entrada, y cada extractor está dispuesto para realizar una operación de procesamiento diferente y para determinar un parámetro diferente. Al final del procesamiento, los parámetros determinados por los extractores de parámetros 63 pasan a un conjunto de árboles de decisión 64 (nivel 2). Los detalles de los parámetros extraídos se dan a continuación. Los árboles de decisión 64 toman cada uno un número (habitualmente todos) de los parámetros de bajo nivel y construyen información de nivel más alto respectiva, tal como información con respecto a volúmenes contiguos, con estadísticas asociadas. En el nivel superior (nivel 3), un buscador de bases de datos 65 mapea los parámetros de nivel más alto producidos en el nivel 2 en una probabilidad 'roja' Pr (amenaza) de que haya una amenaza presente y una probabilidad 'verde' Pr (segura) de que el artículo bajo inspección sea seguro. Estas probabilidades se utilizan por el sistema de procesamiento 30 para asignar el artículo escaneado a una categoría de seguridad apropiada, y para producir una salida de control de clasificación automática. Esta salida de control de clasificación automática puede ser una primera salida 'verde' que indica que el artículo está asignado a una categoría segura, una segunda salida 'roja' que indica que el artículo está asignado a una categoría 'no segura' o una tercera salida 'ámbar' que indica que la clasificación automática no puede llevarse a cabo con suficiente fiabilidad para asignar el artículo a la categoría 'segura' o 'no segura'. Específicamente si Pr (segura) está por encima de un valor predeterminado, (o Pr (amenaza) está por debajo de un valor predeterminado), entonces la salida de clasificación automática se producirá teniendo una primera forma de señal, indicando que el artículo debe asignarse al canal verde. Si Pr (amenaza) está por encima de un valor predeterminado, (o Pr (segura) está por debajo de un valor predeterminado), entonces la salida de clasificación automática se producirá teniendo una segunda forma de señal, indicando que el artículo debe asignarse al canal rojo. Si Pr (amenaza) (o Pr (segura)) está entre los dos valores predeterminados, entonces la salida de clasificación automática se produce teniendo una tercera forma de señal, indicando que el artículo no se puede asignar al canal rojo o verde. Las probabilidades también pueden emitirse como señales de salida adicionales.

35 Los parámetros que se determinarán por los extractores de parámetros 63 se refieren generalmente al análisis estadístico de píxeles dentro de regiones separadas de la imagen bidimensional o tridimensional. Para identificar regiones separadas en la imagen, se utiliza un método de detección de borde estadístico. Esto comienza en un píxel y luego verifica si los píxeles adyacentes son parte de la misma región, moviéndose hacia afuera a medida que la región crece. En cada etapa se determina una intensidad promedio de la región, calculando la intensidad media de los píxeles dentro de la región, y se compara la intensidad del siguiente píxel adyacente a la región con ese valor medio, para determinar si está lo suficientemente cerca como para que el píxel se añada a la región. En este caso, se determina la desviación estándar de la intensidad de píxel dentro de la región, y si la intensidad del nuevo píxel está dentro de la desviación estándar, entonces se añade a la región. Si no es así, entonces no se agrega a la región, y esto define el borde de la región como el límite entre píxeles en la región y píxeles que se han comprobado y no se han añadido a la región.

Una vez que la imagen se ha dividido en regiones, entonces pueden medirse los parámetros de la región. Un parámetro de este tipo es una medida de la varianza de la intensidad de píxel dentro de la región. Si es alta, esto podría ser indicativo de un material apelmazado, que podría encontrarse, por ejemplo, en una bomba casera, mientras que si la varianza es baja, esto sería indicativo de un material uniforme como un líquido.

Otro parámetro que se mide es el sesgo de la distribución del valor de píxel dentro de la región, que se determina midiendo el sesgo de un histograma de valores de píxel. Una distribución gaussiana, es decir no sesgada, indica que el material dentro de la región es uniforme, mientras que una distribución altamente sesgada indica no uniformidad en la región.

60 Como se describió anteriormente, estos parámetros de bajo nivel se pasan a los árboles de decisión 64, donde se construye información de nivel más alto y se determinan parámetros de nivel más alto. Uno de tales parámetros de nivel más alto es la relación del área de superficie con respecto al volumen de la región identificada. Otra es una medida de similitud, en este caso, correlación cruzada, entre la forma de la región y las formas de plantilla almacenadas en el sistema. Las formas de plantilla están dispuestas para corresponderse con la forma de los artículos que representan una amenaza a la seguridad, como pistolas o detonadores. Estos parámetros de alto nivel se utilizan como se describió anteriormente para determinar un nivel si represente una amenaza el objeto representado.

65 Haciendo referencia a la figura 6, un sistema de clasificación de equipaje de tomografía en línea en tiempo real

comprende el sistema de escaneado 6 de la figura 1 con la cinta transportadora 20 que pasa a través dl mismo. Aguas abajo del sistema de escaneado 6, se dispone un dispositivo de clasificación 40 para recibir artículos de equipaje de la cinta transportadora 20 y mover los mismos sobre o bien una cinta transportadora de canal seguro o "verde" 42 o una cinta transportadora de canal 44 no seguro o "rojo". El dispositivo de clasificación 40 se controla por las señales de salida de clasificación automática a través de una línea de control 46 desde el sistema de procesamiento 30, que son indicativas de la decisión del sistema de procesamiento 30 sobre si el artículo es seguro o no, y también mediante señales desde un estación de trabajo 48 a la que está conectado a través de la línea 45. Las imágenes del sistema de escaneado 6 y señales del sistema de procesamiento 30, indicativas de las probabilidades de rojo y verde y la decisión nominal del sistema de procesamiento 30, también se alimentan a la estación de trabajo 48. La estación de trabajo está dispuesta para mostrar las imágenes sobre una pantalla 47 de modo que pueden verse por un operario humano, y también para proporcionar una visualización indicativa de las probabilidades de rojo y verde y la decisión de clasificación automática nominal. El usuario en la estación de trabajo puede revisar las imágenes y las probabilidades, y la salida de clasificación automática, y decidir si acepta o anula la decisión del sistema de escaneado, si esto fue para asignar el artículo a la categoría roja o verde, o para introducir una decisión si la decisión de sistema de escaneado fue asignar el artículo a la categoría 'ámbar'. La estación de trabajo 48 tiene una entrada de usuario 49 que permite al usuario enviar una señal al dispositivo de clasificación 40 que puede identificarse por el dispositivo de clasificación como una anulación a la decisión del sistema de escaneado. Si la señal de anulación se recibe por el dispositivo de clasificación, entonces el dispositivo de clasificación anula la decisión del sistema de escaneado. Si no se recibe una señal de anulación, o en su lugar si se recibe una señal de confirmación desde la estación de trabajo que confirma la decisión del sistema de escaneado, entonces el dispositivo de clasificación clasifica el artículo basándose en la decisión del sistema de escaneado. Si el sistema de clasificación recibe una señal 'ámbar' del sistema de escaneado en relación con un artículo, entonces inicialmente asigna ese artículo a la categoría 'roja' para colocar el mismo en el canal rojo. Sin embargo, si recibe una señal de entrada desde la estación de trabajo antes que el mismo clasifique el artículo que indica que debe estar en la categoría 'verde', entonces clasifica el artículo en el canal verde.

En una modificación del sistema de la figura 6, la clasificación puede ser totalmente automática, dando el sistema de procesamiento una de las dos salidas de clasificación, "segura" y "no segura", asignando el artículo al canal verde o rojo. También sería posible para el sistema de procesamiento determinar solo una probabilidad Pr (amenaza) con un valor de umbral y asignar el artículo a una de las dos categorías dependiendo de si la probabilidad está por encima o por debajo del umbral. En este caso, la asignación seguiría aun siendo provisional y el operario todavía tendría la opción de anular la clasificación automática. En una modificación adicional, la asignación automática de categorías del sistema de escaneado se utiliza como la asignación final, sin ninguna entrada de usuario. Esto proporciona un sistema de clasificación completamente automatizado.

En el sistema de la figura 6, la velocidad de escaneo se corresponde con la velocidad de la cinta transportadora, de modo que el equipaje puede moverse a una velocidad constante desde un área de carga donde se carga en la cinta transportadora 20, a través del sistema de escaneado 6, y hacia el dispositivo de clasificación 40. La cinta transportadora 20 se extiende por una distancia L, entre la salida del sistema de escaneado 6 y el dispositivo de clasificación 40. Durante el tiempo que tarda un artículo de equipaje en recorrer la distancia L sobre la cinta transportadora 20, un operario puede ver los datos de imagen del artículo bajo inspección y la asignación de categoría inicial determinada por el sistema de escaneado, y confirmar o rechazar la decisión automatizada del sistema de RTT. Habitualmente, entonces el equipaje sería o bien aceptado en el canal seguro y pasado hacia listo para el transporte o rechazado en el canal no seguro para una investigación adicional.

En este sistema de enfoque múltiple de RTT, la unidad de escaneado de RTT 8 puede hacerse funcionar a la velocidad máxima de la cinta de equipaje, y por lo tanto no se requiere ninguna cola de equipajes u otro mecanismo de desvío para el funcionamiento óptimo del sistema. En sistemas integrados como este, la capacidad de rendimiento limitada de los sistemas de fuentes rotatorias convencionales es una limitación importante. A menudo, esto significa colocar varias máquinas convencionales de TC en paralelo y utilizar sistemas sofisticados de manejo de equipaje para cambiar el artículo para su inspección a la siguiente máquina disponible. Esta complejidad puede evitarse con la disposición de la figura 6.

Haciendo referencia a la figura 7, un sistema de clasificación de equipaje comprende un sistema redundante en el que dos sistemas de escaneado de RTT 70, 72 están situados en serie sobre la misma cinta transportadora 74 de modo que si un sistema se retirase del servicio, entonces el otro podría continuar para escanear el equipaje. En cualquier caso, la cinta transportadora 74 continuaría pasando a través de ambos sistemas de escaneado 70, 72 a la velocidad de cinta de funcionamiento estándar.

Haciendo referencia a la figura 8a en una tercera realización, se proporciona un sistema redundante más complejo en el que dos sistemas de RTT 82, 84 se hacen funcionar en paralelo. Una primera cinta transportadora de entrada principal 86 lleva todos los artículos que van a clasificarse a un primer dispositivo de clasificación 88 que puede transferir artículos a cualquiera de las otras dos cintas transportadoras adicionales 90, 92. Cada una de estas dos cintas transportadoras 90, 92 pasa a través de uno respectivo de los sistemas de escaneado 82, 84, que escaneará los artículos y permitirá que se tome una decisión con respecto a si declarar seguro el artículo o no. Se proporcionará un dispositivo de clasificación adicional 94, 96 en cada una de las dos cintas transportadoras 90, 92 que está dispuesta para clasificar el equipaje en una cinta transportadora de "canal verde" común 98 para el transporte posterior, o una

cinta de "canal rojo" transportadora 100 si no es seguro, donde puede someterse a una investigación adicional. En esta configuración, es posible hacer funcionar la cinta transportadora de entrada 86 y la cinta transportadora de "canal verde" a una velocidad más alta que la velocidad de la cinta transportadora de RTT, habitualmente hasta dos veces su velocidad. Por ejemplo, en este caso, la cinta transportadora de entrada principal 86 y la cinta transportadora de "canal verde" común se mueven a una velocidad de 1 m/s, mientras que las cintas transportadoras de escaneado 82, 84 se desplazan a la mitad de esa velocidad, es decir, 0,5 m/s. Por supuesto, el sistema puede expandirse con más sistemas de RTT paralelos, con la relación de la velocidad de la cinta transportadora entrante principal siendo iguales a las cintas transportadoras de escáner, o sustancialmente iguales, al número de escáneres paralelos, aunque los dispositivos de clasificación pueden no ser fiables a más de una velocidad de la cinta transportadora principal de 1 m/s.

Haciendo referencia a la figura 8b, en una realización adicional un sistema de clasificación de equipaje comprende una serie de escáneres de RTT 81b, 82b, 83b, habitualmente hasta aproximadamente 60 en un sistema, cada uno asociado a un mostrador de facturación respectivo. Un dispositivo de clasificación 84b, 85b, 86b está asociado a cada escáner de RTT, y el equipaje se transporta sobre una cinta transportadora desde cada escáner de RTT a su dispositivo de clasificación asociado. Cada dispositivo de clasificación 84b, 85b, 86b clasifica el equipaje, en respuesta a las señales de su escáner, sobre o bien una cinta transportadora de canal seguro común 88b, o bien una cinta transportadora de canal de rechazo común 87b. Se proporciona un escáner de RTT de apoyo adicional 89b en la cinta transportadora de canal de rechazo 87b, con un dispositivo de clasificación asociado 90b, que puede dejar el equipaje en la cinta transportadora de canal de rechazo 87b, o transferirlo a la cinta transportadora de canal seguro 88b.

En un funcionamiento normal, cada uno de los escáneres primarios 81b, 82b, 83b clasifica el equipaje, y el escáner de apoyo o redundante 89b simplemente proporciona una comprobación adicional de los artículos clasificados en el canal de rechazo. Si ese escáner determina que un artículo de equipaje no representa amenaza, o una amenaza suficientemente baja, entonces lo transfiere al canal seguro. Si uno de los escáneres primarios no está funcionando o tiene un defecto, entonces su dispositivo de clasificación asociado se dispone para clasificar todo el equipaje de ese escáner al canal de rechazo. Luego, el escáner de apoyo 89b escanea todo ese equipaje y controla la clasificación del mismo entre los canales seguro y de rechazo. Esto permite que todos los mostradores de facturación sigan funcionando mientras se repara o reemplaza el escáner defectuoso.

Haciendo referencia a la figura 8c, en un sistema adicional, el equipaje de cada uno de los mostradores de facturación se transfiere a través de una pluralidad de cintas transportadoras separadas en un circuito o carrusel central 81c, en el que circula continuamente. Un número de dispositivos de clasificación 82c, 83c, 84c están dispuestos cada uno para transferir artículos de equipaje desde el circuito 81c a una cinta transportadora respectiva que conduce a un escáner de RTT respectivo 85c, 86c, 87c. Los dispositivos de clasificación 82c, 83c, 84c se controlan por los escáneres para controlar la velocidad a la que los artículos de equipaje se distribuyen a cada uno de los escáneres. Desde los escáneres, las cintas transportadoras transfieren todos los artículos de equipaje a una cinta transportadora de salida común 88c que conduce a un dispositivo de clasificación adicional 89c. Esto se controla por todos los escáneres para clasificar cada uno de los artículos de equipaje entre un canal seguro 90c y un canal de rechazo 91c.

Para rastrear el movimiento de cada artículo de equipaje, se da a cada artículo una identificación de 6 dígitos y su posición en la cinta transportadora se registra cuando entra en el sistema por primera vez. Por lo tanto, los escáneres pueden identificar qué artículo de equipaje está escaneándose a la vez y asociar los resultados del escaneado con el artículo apropiado. Por lo tanto, los dispositivos de clasificación también pueden identificar los artículos de equipaje individuales y clasificarlos basándose en sus resultados de escaneado.

El número de escáneres y las velocidades de las cintas transportadoras en este sistema se disponen de tal manera que, si uno de los escáneres no está funcionando, los escáneres restantes pueden procesar todo el equipaje que se está distribuyendo al circuito 81c desde los mostradores de facturación.

En una modificación a este sistema, los dispositivos de clasificación 82c, 83c, 84c que seleccionan qué artículos se transfieren a cada escáner no están controlados por los escáneres, sino que están dispuestos para seleccionar artículos desde el circuito 81c para distribuirlos a los respectivos escáneres a una velocidad predeterminada.

Haciendo referencia a la figura 9, un sistema en red adicional comprende tres sistemas de escaneado 108 similares a los de la figura 6, y cuatro estaciones de trabajo 148 de operario. Las salidas de imágenes de vídeo de los tres sistemas de escaneado de RTT 108 están conectadas a través de respectivos enlaces de vídeo punto a punto de ancho de banda alto a conjuntos de discos en tiempo real 109 que proporcionan almacenamiento transitorio para los datos de imágenes en bruto, a un conmutador de vídeo redundante 110. Los conjuntos de discos 109 están a su vez conectados a cada una de las estaciones de trabajo 148. El conmutador 110 de vídeo es por lo tanto capaz de transmitir la salida de imagen de vídeo en bruto desde cada uno de los sistemas de escaneado 108 desde su almacenamiento temporal hasta cualquiera de las estaciones de trabajo 148, donde puede utilizarse para crear imágenes de vídeo tridimensionales que pueden verse sin estar conectado. Las salidas del sistema de escaneado para las señales de probabilidad roja/verde y las señales de asignación de clasificación automática están conectadas a un conmutador Ethernet convencional redundante 112, que también está conectado a cada una de las estaciones de trabajo. El conmutador Ethernet está dispuesto para conmutar cada una de las señales de probabilidad y las señales de

5 asignación de clasificación a la misma estación de trabajo 148 que la señal de vídeo asociada. Esto permite que los datos de imagen de las máquinas múltiples junto con la asignación automática y las probabilidades asignadas a la asignación, se conmuten al banco de estaciones de trabajo 148 del operario donde un operario puede monitorizar el rendimiento del sistema de inspección de equipaje y determinar el destino del equipaje asignado a un nivel de amenaza ámbar.

10 Alternativamente, un sistema en red comprende un único sistema de escaneado 108 conectado a un servidor y una estación de trabajo 148. La salida de imagen de vídeo del sistema de escaneado 108 está conectada a un conjunto de discos en tiempo real 109, que proporciona almacenamiento transitorio para los datos de imágenes en bruto. El conjunto de discos 109 está a su vez conectado a la estación de trabajo 148. La señal de probabilidad y las salidas de señal de asignación se envían a la estación de trabajo 148 junto con la salida de imagen de vídeo asociada para monitorizarse por un operario. El sistema de escaneado único en red puede ser parte de un sistema en red con múltiples sistemas de escaneado.

15 Haciendo referencia a las figuras 10 y 11, un escáner en línea adicional tiene una cinta transportadora 160 tan larga como las pantallas de dispersión principal 162. En tales configuraciones de sistema independientes, el artículo para inspección se coloca sobre la cinta transportadora 160 y el artículo se carga en el sistema. El artículo se escanea entonces a través de la máquina de escáner 164 y se generan imágenes. A menudo, en sistemas convencionales, el artículo se somete a un examen previo con un sistema de rayos X de transmisión simple para identificar áreas de amenaza probables antes del examen por tomografía computarizada de planos seleccionados en el objeto. Tales aplicaciones son simples para que se enfrente a las mismas un sistema de enfoque múltiple en tiempo real. Aquí, no se utilizaría ningún examen previo y se obtendría una verdadera imagen tridimensional del artículo completo.

20 En algunos sistemas, el lugar geométrico de los puntos de fuente en la fuente de rayos X multifocal se extenderá en un arco sobre un intervalo angular de solo 180 grados más el ángulo del haz en abanico (habitualmente en el intervalo de 40 a 90 grados). El número de puntos de fuente discretos se selecciona ventajosamente para satisfacer el teorema de muestreo de Nyquist. En algunas realizaciones, como en la de la figura 1, se utiliza un anillo de 360 grados completo de puntos de fuente. En este caso, el tiempo de permanencia por punto de fuente se aumenta en una configuración de haz en abanico de más de 180 para una velocidad de escaneo dada y esto es ventajoso para mejorar la relación señal con respecto a ruido de la imagen reconstruida.

25 El sistema de escáner de la figura 1 es un sistema de escáner integrado, en el que las unidades de control, procesamiento, suministro de potencia y enfriamiento 18, 30, 32, 34 están alojadas en una unidad con el sistema de escaneado 8 y el elemento de examen 22. Haciendo referencia a la figura 12, en una realización adicional se proporciona un sistema modular en el que algunos, o todos, de los soportes de control, procesamiento, suministro de energía y enfriamiento 218, 230, 232, 234 están ubicados remotamente desde la unidad de escaneado 208 que comprende fuente de rayos X multifocal y conjunto de sensores. Es ventajoso utilizar un diseño modular para facilitar una instalación fácil, particularmente en entornos de salas de manipulación de equipaje, donde los sistemas pueden estar suspendidos del techo o en regiones con acceso restringido. Alternativamente, puede configurarse un sistema completo como una unidad integrada con las unidades del subconjunto ubicadas de manera conjunta dentro de un único alojamiento.

30 En algunas realizaciones, incluyendo la de la figura 1, se utiliza un único anillo detector de rayos X. Esto no es costoso de construir y proporciona un rendimiento adecuado de señal con respecto a ruido incluso a altas velocidades de escaneado de imágenes con un algoritmo de reconstrucción de imagen de haz en abanico simple. En otras realizaciones (particularmente para diámetro de círculo de reconstrucción de imagen grande) es preferible utilizar un conjunto de sensores de múltiples anillos con una pluralidad de grupos de sensores circulares o parcialmente circulares dispuestos adyacentes entre sí, espaciados a lo largo del eje del sistema desplazado con respecto a la fuente. Esto permite utilizar un algoritmo de reconstrucción de imágenes de haz cónico más complejo en el sistema de procesamiento. El uso de un sensor de múltiples anillos aumenta el tiempo de permanencia por punto de fuente, lo que da como resultado un tamaño de señal integrado mayor y la consiguiente mejora en la relación señal con respecto a ruido en la imagen reconstruida.

35 Es central para el diseño de las realizaciones descritas anteriormente, que utilizan un sistema de tomografía computarizada basado en fuente de rayos X multifocal, la relación entre la velocidad de rotación angular de la fuente y la velocidad del sistema de cinta transportadora que pasa a través del escáner. En el límite de que la cinta transportadora sea estacionaria, el grosor del corte de imagen reconstruida está determinado por completo por el tamaño del foco de rayos X y el área de elementos individuales del conjunto de detectores de rayos X. A medida que la velocidad de la cinta transportadora aumenta desde cero, el objeto bajo inspección pasará a través del corte de imágenes durante la rotación del haz de rayos X y se introducirá un desenfoque adicional en la imagen reconstruida en la dirección del grosor del corte. Idealmente, la rotación de la fuente de rayos X será rápida en comparación con la velocidad de cinta transportadora, de modo que se minimizará el desenfoque en la dirección del grosor del corte.

40 Un sistema de tomografía computarizada basado en fuente de rayos X multifocal para inspección de equipaje proporciona una buena relación de velocidad de rotación de fuente angular con respecto a velocidad lineal de cinta transportadora para la detección de alta probabilidad de materiales y objetos peligrosos en el artículo bajo inspección.

Como ejemplo, en la realización de la figura 1, la velocidad de cinta transportadora es de 0,5 m/s, como es común en los sistemas aeroportuarios. La fuente puede lograr 240 rotaciones de fuente sobre la cinta transportadora por segundo, por lo que el objeto bajo inspección se moverá una distancia de 2,08 mm a través del corte de imágenes durante el escaneo. En un sistema convencional con rotación de fuente de 4 revoluciones por segundo, el objeto inspeccionado se moverá una distancia de 62,5 mm a través del corte de imágenes durante el escaneo a la misma velocidad de cinta.

El objetivo principal de un sistema de inspección para detección de materiales peligrosos es detectar con precisión la presencia de materiales peligrosos y pasar como no sospechosos todos los demás materiales. Cuanto mayor es el desenfoque en la dirección de corte causado por el movimiento de cinta transportadora durante un escaneo, mayor es el artefacto de volumen parcial en el píxel de la imagen reconstruida y menos precisa es la densidad de imagen reconstruida. Cuanto menor es la precisión en la densidad de imagen reconstruida, más susceptible es el sistema de proporcionar una alarma en materiales no peligrosos y de no generar una alarma real en materiales peligrosos. Por lo tanto, un sistema de tomografía en tiempo real (RTT) basado en tecnología de fuente de rayos X multifocal puede proporcionar una capacidad de detección de amenazas considerablemente mejorada a velocidades de transporte rápidas con respecto a los sistemas convencionales de rayos X rotados mecánicamente.

Debido al uso de un ánodo arqueado extendido en una fuente de rayos X multifocal, es posible conmutar la fuente de electrones de manera que salte alrededor de la longitud completa del ánodo en lugar de escanear secuencialmente para emular la rotación mecánica observada en los sistemas de tomografía computarizada convencionales. Ventajosamente, el foco de rayos X se conmutará para maximizar la distancia de la posición de irradiación de ánodo actual desde todas las posiciones de irradiación previas con el fin de minimizar la carga térmica instantánea en el ánodo. Tal dispersión instantánea del punto de emisión de rayos X es ventajosa para minimizar el efecto de volumen parcial debido al movimiento de la cinta transportadora, mejorando aún más la precisión de los píxeles reconstruidos.

La alta resolución temporal de los sistemas de RTT permite que se alcance un alto nivel de precisión en la detección automatizada de amenazas. Con este alto nivel de precisión, los sistemas de RTT pueden hacerse funcionar en modo sin supervisión, produciendo una indicación de salida de dos estados simple, con un estado correspondiente a una asignación verde o segura y el otro a una asignación roja o no segura. Las bolsas verdes se limpian para el transporte posterior. Las bolsas rojas representan un alto nivel de amenaza y deberían conciliarse con el pasajero y al pasajero prohibírsele viajar.

Se describirán ahora realizaciones de la invención en las que datos relacionados con la dispersión de rayos X así como los relacionados con los rayos X transmitidos se registran y se utilizan para analizar los artículos de equipaje escaneados.

Haciendo referencia a la figura 13, cuando un haz 300 de rayos X pasa a través de un objeto 302, algunos de los rayos X se transmiten directamente a través de este, y salen del objeto desplazándose en la misma dirección en la que entraron. Algunos de los rayos X se dispersan a través de un ángulo de dispersión  $\theta$ , que es la diferencia entre la dirección en la que entran al objeto y la dirección en la que lo dejan. Como es bien sabido, existen dos tipos de dispersión que se producen: dispersión coherente o de Bragg, que se concentra alrededor de ángulos de dispersión de  $5^\circ$ , habitualmente en el intervalo de  $4^\circ$  a  $6^\circ$ , y dispersión incoherente o de Compton en la que los rayos X se dispersan a través de ángulos más grandes. La dispersión de Bragg aumenta linealmente con el número atómico del objeto y obedece a la fórmula:

$$n\lambda = 2d \text{ sen } \theta$$

donde:

n es un número entero,

$\lambda$  es la longitud de onda de los rayos X,

d es la distancia interatómica en el objeto.

Por lo tanto, la cantidad de dispersión de Bragg proporciona información sobre la estructura atómica del objeto. Sin embargo, no varía de manera uniforme con el número atómico.

La cantidad de dispersión de Compton es dependiente de, y varía de manera uniforme con, la densidad de electrones del objeto y, por lo tanto, la cantidad de dispersión en ángulos de dispersión mayores proporciona información sobre la densidad de electrones del objeto y, por lo tanto, sobre su número atómico.

Haciendo referencia a la figura 14, un sistema de escaneado de seguridad de acuerdo con una realización adicional de la invención comprende una fuente de rayos X multifocal 410 que es la misma que la de la figura 1, y un conjunto de detectores circulares 412 y una cinta transportadora 420 que también son los mismos que los de la figura 1. Sin

embargo, en esta realización, el sistema comprende un conjunto cilíndrico adicional de detectores 422 que también se extiende alrededor de la cinta transportadora en el mismo radio que el conjunto de detectores circulares 412 pero en el otro lado axialmente de la fuente 410. Mientras que el conjunto de detectores circulares está dispuesto para detectar rayos X transmitidos a través del objeto 426, el conjunto de detectores cilíndricos 422 está dispuesto para detectar rayos X dispersados en el objeto. El conjunto de detectores de dispersión 422 está compuesto por un número de conjuntos circulares o anillos 422a, 422b de detectores, y los detectores en cada anillo están igualmente espaciados alrededor de la cinta transportadora de modo que están dispuestos en un número de filas rectas que se extienden en la dirección axial del escáner.

Los detectores en el conjunto de detectores de dispersión 422 son detectores de resolución de energía de manera que las interacciones de rayos X individuales con cada detector producen una salida de detector que es indicativa de la energía de los rayos X. Tales detectores pueden fabricarse a partir de materiales semiconductores III-V o II-IV de banda prohibida ancha tales como GaAs, Hgl, CdZnTe o CdTe, un semiconductor de banda prohibida estrecha como Ge, o un detector de centelleo compuesto tal como NaI (Ti) con lectura de tubo fotomultiplicador.

Haciendo referencia a la figura 15, se proporciona un colimador 428 delante de los detectores de dispersión 422. El colimador 428 proporciona una barrera que evita que los rayos X lleguen a cada detector a menos que provenga de una dirección de recepción particular. Para cada detector en el conjunto 422, la dirección de recepción pasa a través del eje longitudinal central X-X del escáner, como puede verse en la figura 16. Sin embargo, la dirección de recepción no es perpendicular al eje X-X, sino que está inclinada a aproximadamente  $5^\circ$  con respecto al plano de los anillos de detector 422a, 422b en la dirección hacia la fuente 410, como puede verse en la figura 15.

Haciendo referencia a la figura 15, se apreciará que los rayos X incidentes en cualquiera de los detectores del conjunto 422 deben haberse dispersado desde un pequeño volumen secundario respectivo dentro del volumen de imágenes delgado que se encuentra en la trayectoria del haz de rayos X y en la línea de la dirección de recepción desde el detector 422. Para cualquiera de los rayos X dispersados de forma coherente, la posición axial del detector que la detecta estará determinada por la distancia desde el punto de fuente de rayos X activo en el que se produjo la dispersión. Los detectores más cercanos a la fuente 410 en la dirección axial detectarán los rayos X dispersados más alejados del punto de fuente de rayos X activo. Por ejemplo, los rayos X dispersados desde el punto x, que está más cerca del punto de fuente de rayos X activo 410a, se detectarán por un detector más lejos de la fuente 410 que los rayos X dispersados desde el punto z que está más lejos del punto de fuente de rayos X activo. Por lo tanto, en cualquier momento, cuando puede identificarse el punto de fuente de rayos X activo, la posición axial del detector que detecta los rayos X dispersados puede utilizarse para determinar la posición de la dispersión a lo largo de la dirección de haz de rayos X.

También se apreciará a partir de la figura 15 que, para que este sistema funcione, es importante que el haz de rayos X debe enfocarse de forma estrecha en la dirección axial del escáner. La extensión del haz en la dirección transversal, por ejemplo, el uso de un haz en abanico extendido en la dirección transversal permitirá aún este posicionamiento de eventos de dispersión coherente.

Haciendo referencia a la figura 16, debido a que el colimador 428 se dirige hacia el eje del escáner, los rayos X de un punto de fuente activo 410a que experimentan dispersión coherente solo se detectarán por la fila de detectores 422a que está en el lado opuesto del eje de escáner con respecto al punto de fuente activo, y posiblemente una o más de las filas cercanas al mismo en cada lado dependiendo de cómo de estrechamente enfocado esté el colimador. Si los rayos X están confinados a un haz de "lápiz" estrecho recto, entonces no se detectarán en absoluto rayos X que estén dispersados incoherentemente a través de ángulos más grandes, ya que se cortarían por el colimador 428. Un ejemplo de tales rayos X se muestra con la flecha 'a' en la figura 16. Sin embargo, si se produce un haz en abanico de rayos X desde el punto de fuente activo 410a, que se extiende a través del corte de volumen de imágenes en la dirección perpendicular al eje de escáner, entonces los rayos X dirigidos más lejos del eje de escáner pueden experimentar dispersión incoherente y alcanzar detectores a cada lado de la fila 422a opuesta al punto de fuente activo. Ejemplos de tales rayos X se muestran mediante las flechas b y c. Se observará que, para alcanzar cualquier detector 422b, el evento de dispersión debe tener lugar en el plano que pasa a través del eje de escáner y ese detector 422b. Esto significa que, para un punto de fuente activo dado y un detector particular, la posición del evento de dispersión de un rayo X detectado puede identificarse como que está en el plano que pasa por el eje del escáner y ese detector. Si se determina la posición exacta del evento de dispersión, entonces se necesita otra información. Por ejemplo, si está disponible la información con respecto a la posición de los objetos dentro del volumen de imágenes, por ejemplo a partir de datos de imágenes tomográficas, entonces la dispersión puede asociarse con el objeto más probable, como se describirá con más detalle a continuación.

A partir de los datos de dispersión de Bragg, para cada evento de dispersión detectado, la combinación de la energía de rayos X y el ángulo de dispersión puede utilizarse para determinar la distancia interatómica  $d$  del material en el que tuvo lugar el evento de dispersión. En la práctica, puede suponerse que el ángulo de dispersión es constante y la energía utilizada para distinguir entre diferentes materiales. Para la dispersión de Compton, el nivel de dispersión de cada volumen del volumen de escaneado proporciona una indicación de la densidad del material en ese volumen. La relación de Compton con respecto a la dispersión coherente también puede determinarse y utilizarse como un parámetro adicional para caracterizar el material del objeto representado.

Debido al corto tiempo de permanencia para cada punto de fuente de rayos X, el número de rayos X dispersados detectados para cada punto de fuente siempre será muy bajo, habitualmente menor que cinco. Para formar una señal de dispersión razonable coherente, es necesario recoger datos de dispersión para todos los puntos de fuente dentro de un escaneo tomográfico y luego acumular los resultados para cada volumen secundario del volumen de imágenes. Para un escáner con 500 puntos de fuente y un promedio de un resultado de dispersión de difracción coherente por volumen secundario por escaneo, entonces a continuación de la acumulación del conjunto de datos, cada volumen secundario tendrá 500 resultados asociados al mismo, correspondientes a 500 eventos de dispersión dentro de ese volumen secundario. Un volumen secundario habitual ocupa un área dentro del plano de imágenes de unos pocos centímetros cuadrados, con un grosor de volumen de unos pocos milímetros.

Haciendo referencia a la figura 17, el sistema de adquisición de datos dispuesto para acumular datos desde el conjunto de detectores de dispersión 422 del escáner de las figuras 14 a 16 comprende un analizador multicanal 500 asociado con cada uno de los detectores 422. Cada MCA 500 está dispuesto para recibir las señales de salida del detector, y asignar cada uno de los rayos X detectados a uno de un número de intervalos o canales de energía de rayos X, y enviar una señal indicativa del intervalo de energía en el que están los rayos X detectados. Un multiplexor 502 está dispuesto para recibir las salidas de cada uno de los MCA 500. También se proporciona una tabla de consulta 504 que tiene entradas en la misma que, para un punto de fuente y detector dados, identifican el volumen secundario dentro del volumen de imágenes en el que se dispersaron los rayos X. El sistema comprende además una memoria de imágenes 506 que incluye un número de áreas de memoria 508, cada una de las cuales está asociada a un volumen secundario respectivo dentro del plano de imágenes de escáner.

Los datos se cargan en cada área de memoria 508 automáticamente por el multiplexor 502 bajo la dirección de la tabla de consulta 504. La tabla de consulta se carga con coeficientes antes del escaneado que mapean cada combinación de detector 422 y MCA 500 a una ubicación de imagen respectiva 508, una entrada de tabla de consulta por posición de fuente de rayos X. Esos píxeles, es decir, detectores 422, que están en la dirección hacia adelante, es decir, sustancialmente en la dirección en la que el fotón se desplaza desde la fuente antes de cualquier interacción, se supone que registran fotones de dispersión coherentes en ángulos de haz pequeños de aproximadamente 4-6 grados. Se supone que los píxeles 422 que no están en la dirección hacia adelante registran fotones dispersados incoherentes debido al efecto de dispersión de Compton. Por lo tanto, la memoria de imágenes 506 es realmente "tridimensional", dos dimensiones representan la ubicación en la imagen, mientras que la tercera dimensión contiene espectros de energía dispersada tanto para dispersión coherente (lo 8 bits) como incoherente (hi 8 bits). La tabla de consulta 504 también instruirá al multiplexor 502 en cuanto al tipo de datos que se recogen para cada MCA 500 en cada proyección, de modo que se llene el espacio de memoria apropiado.

Una vez que los datos de dispersión se han recogido para un escaneo dado, los datos se transfieren y se sincronizan mediante un secuenciador de proyección 510, con el sistema principal de adquisición de datos de RTT 512, que se describe anteriormente con referencia a la figura 4. Por lo tanto, los datos de imagen reconstruidos y los datos de dispersión se pasan simultáneamente al sistema de detección de amenazas, que puede utilizarlo para determinar los parámetros adecuados para el análisis.

Para cada escaneo, los datos de imagen tomográfica de los detectores de transmisión 412 producen datos relacionados con la atenuación de rayos X para cada píxel de la imagen, que a su vez corresponde a un volumen secundario respectivo del volumen de imágenes tomográficas. Esto se obtiene como se describió anteriormente con referencia a la figura 4. Los datos de los detectores de dispersión 422 proporcionan, como se describió anteriormente, datos relacionados con la cantidad de dispersión coherente dentro de cada volumen secundario, y datos relacionados con la cantidad de dispersión incoherente dentro de cada volumen secundario. Por lo tanto, estos datos pueden analizarse en un procesador de detección de amenazas similar al de la figura 5. En este caso, los parámetros de los datos que se extraen pueden relacionarse con los datos de imagen o los datos de dispersión o combinaciones de dos o más tipos de datos. Ejemplos de parámetros que se extraen de los datos son la relación de dispersión coherente a incoherente, tipos de material como los determinados a partir de datos de dispersión coherentes, densidad de material como la determinada a partir de datos de dispersión incoherentes, correlación de valores de píxeles de imagen de TC con datos de dispersión. También pueden determinarse parámetros para los datos de dispersión correspondientes a los descritos anteriormente para los datos de transmisión.

Haciendo referencia a la figura 18, en una realización adicional de la invención, los detectores de transmisión 512 que se utilizan para generar los datos de imágenes tomográficas están dispuestos para medir la transmisión de rayos X a través de diferentes intervalos de energía. Esto se logra teniendo dos conjuntos de detectores 512a, 512b, formando cada uno un anillo alrededor de la cinta transportadora. Los dos juegos están en ubicaciones axiales diferentes a lo largo de la dirección de desplazamiento de la cinta transportadora, en este caso adyacentes entre sí en la dirección axial. El primer conjunto 512a no tiene filtro en su parte delantera, pero el segundo conjunto 512b tiene un filtro metálico 513 colocado entre el mismo y la fuente de rayos X 510. El primer conjunto de detectores 512a por lo tanto detecta rayos X transmitidos en un amplio intervalo de energía, y el segundo conjunto 512b detecta rayos X solo en una parte más estrecha de ese intervalo en el extremo de alta energía.

A medida que el artículo que va a escanearse se mueve a lo largo de la cinta transportadora, cada volumen delgado

o corte del mismo puede escanearse una vez utilizando el primer conjunto de detectores 512a y luego escanearse de nuevo utilizando el segundo conjunto 512b. En la realización mostrada, la misma fuente 510 se utiliza para escanear dos volúmenes adyacentes simultáneamente, con datos para que cada uno de ellos se recoja mediante uno de los conjuntos de detectores 512a, 512b respectivos. Después de que un volumen del artículo haya pasado por ambos conjuntos de detectores y se haya escaneado dos veces, pueden formarse dos conjuntos de datos de imagen utilizando los dos intervalos de energía de rayos X diferentes, incluyendo cada imagen datos de transmisión (y por lo tanto atenuación) para cada píxel de la imagen. Los dos conjuntos de datos de imagen pueden combinarse sustrayendo el del segundo conjunto de detectores 512a del primero 512b, dando como resultado datos de imagen correspondientes para el componente de rayos X de baja energía.

Los datos de transmisión de rayos X para cada intervalo de energía individual, y la diferencia entre los datos para dos intervalos diferentes, como la alta energía y la baja energía, pueden registrarse para cada píxel de la imagen. Los datos pueden utilizarse para mejorar la precisión de las imágenes de TC. También puede utilizarse como un parámetro adicional en el algoritmo de detección de amenazas.

Se apreciará que pueden utilizarse otros métodos para obtener datos de transmisión para diferentes intervalos de energías de rayos X. En una modificación del sistema de las figuras 18 y 19, pueden utilizarse filtros equilibrados en los dos conjuntos de detectores. Los filtros se seleccionan de manera que haya una ventana estrecha de energías que se pasa por ambos de los mismos. Los datos de imagen para los dos conjuntos de detectores pueden combinarse para obtener datos de transmisión para la ventana de energía estrecha. Esto permite que se obtengan imágenes químicas específicas. Por ejemplo, es posible crear imágenes específicas de huesos utilizando filtros equilibrados alrededor de la energía de calcio de borde de K. Claramente, estos datos químicos específicos pueden utilizarse de manera efectiva en un algoritmo de detección de amenazas.

En una realización adicional, en lugar de utilizar filtros separados, se utilizan dos conjuntos de detectores que son sensibles a rayos X de energía diferente. En este caso, se utilizan detectores apilados, que comprenden un detector frontal delgado que es sensible a rayos X de baja energía pero que permite que pasen rayos X de mayor energía a través del mismo y un detector de apoyo grueso sensible a los rayos X de alta energía que pasan a través del detector frontal. De nuevo, los datos de atenuación para los diferentes intervalos de energía pueden utilizarse para proporcionar datos de imagen específicos de energía.

En una realización adicional, se toman dos escaneos de cada corte del objeto con dos energías de haz de rayos X diferentes, logradas utilizando diferentes tensiones de tubo en la fuente de rayos X, por ejemplo 160 kV y 100 kV. Las diferentes energías dan como resultado espectros de energía de rayos X que están desplazados entre sí. Como los espectros son relativamente planos en una parte del intervalo de energía, los espectros serán similares en gran parte del intervalo. Sin embargo, parte del espectro cambiará significativamente. Por lo tanto, la comparación de imágenes para los dos voltajes de tubo puede utilizarse para identificar partes del objeto donde la atenuación cambia significativamente entre las dos imágenes. Por lo tanto, esto identifica las áreas de la imagen que tienen una alta atenuación en la parte estrecha del espectro que cambia entre las imágenes. Esta es, por lo tanto, una forma alternativa de obtener datos de atenuación específicos de energía para cada uno de los volúmenes secundarios dentro del volumen escaneado.

Haciendo referencia a la figura 20 en una realización adicional de la invención, se producen dos espectros de energía de rayos X diferentes proporcionando un ánodo 600 en el tubo de rayos X que tiene áreas objetivo 602, 604 de dos materiales diferentes. En este caso, por ejemplo, el ánodo comprende una base de cobre 606 con un área objetivo 602 de tungsteno y una 604 de uranio. La fuente de electrones 610 tiene un número de puntos de fuente 612 que pueden activarse individualmente. Se proporciona un par de electrodos 612, 614 en lados opuestos de la trayectoria del haz de electrones 616 que puede controlarse para encender y apagar un campo eléctrico para controlar la trayectoria del haz de electrones de modo que golpee una u otro de las áreas objetivo 602, 604. El espectro de energía de los rayos X producidos en el ánodo variará dependiendo de cuál de las áreas de destino es golpeada por el haz de electrones 616.

Esta realización utiliza una fuente de rayos X similar a la de la figura 1a, con las diferentes áreas objetivo formadas como bandas paralelas que se extienden a lo largo del ánodo 27. Para cada punto de fuente de electrones activo, pueden producirse dos espectros de rayos X diferentes dependiendo de qué material objetivo se utilice. La fuente puede disponerse para conmutar entre las dos áreas objetivo para cada punto de fuente de electrones mientras está activo. Alternativamente, el escaneo a lo largo del ánodo 27 puede realizarse dos veces, una para un material objetivo y una para el otro. En cualquier caso, pueden necesitarse más alambres de enfoque de haz de electrones para garantizar que solo uno u otro de los materiales de destino sea irradiado por el haz de electrones de una vez.

Dependiendo del ángulo en el que se extrae el haz de rayos X del ánodo, los haces de las dos áreas objetivo 602, 604 pueden estar dispuestos en algunos casos para pasar a través del mismo volumen de imágenes y detectarse por un conjunto de detectores común. Alternativamente, pueden disponerse para pasar a través de cortes adyacentes del volumen de imágenes y detectarse mediante conjuntos de detectores separados. En este caso, las partes del artículo representado pueden escanearse dos veces a medida que el artículo pasa a lo largo de la cinta transportadora de una manera similar a la disposición de la figura 18.

Haciendo referencia a la figura 21, en una realización adicional, se proporcionan dos conjuntos de detectores en un único escáner, adyacentes entre sí en la dirección axial, uno 710 correspondiente a la de la figura 1 y que está dispuesto para formar una imagen de RTT, y el otro, 712, que tiene una resolución más alta y está dispuesto para producir una imagen de proyección de alta resolución del objeto escaneado. En esta realización, el conjunto de detectores 712 de alta resolución comprende dos conjuntos lineales paralelos 714, 716, cada uno dispuesto para detectar rayos X a una energía diferente, de modo que puede producirse una imagen de proyección de energía dual. En la realización de la figura 22, el conjunto de alta resolución 812 comprende dos conjuntos apilados, un conjunto delgado en la parte superior dispuesto para detectar rayos X de energía más baja pero transparente a rayos X de energía más alta y un conjunto más grueso dispuesto debajo para detectar rayos X de energía más alta. En ambos casos, los dos conjuntos de detectores están dispuestos lo suficientemente cerca uno de otro en la dirección axial para poder detectar rayos X a partir de un único conjunto lineal de puntos de fuente.

Para proporcionar una imagen de proyección, los datos deben capturarse de todos los detectores en el conjunto de alta resolución 712, 812 cuando solo está activo un punto de fuente. Haciendo referencia a la figura 23, para hacer esto, cada detector 718, 818 en el conjunto de alta resolución está conectado a un integrador 750. El integrador comprende un amplificador 752 en paralelo con un condensador 754. Se proporciona un conmutador de entrada 756 entre el detector 718 y el amplificador 752, se proporciona un conmutador de reinicio 758 a través de los terminales de entrada del amplificador, y un conmutador de reinicio adicional 759 conectado a través del condensador 754, y se proporciona un conmutador de multiplexación 760 entre el integrador y un convertidor de analógico a digital ADC.

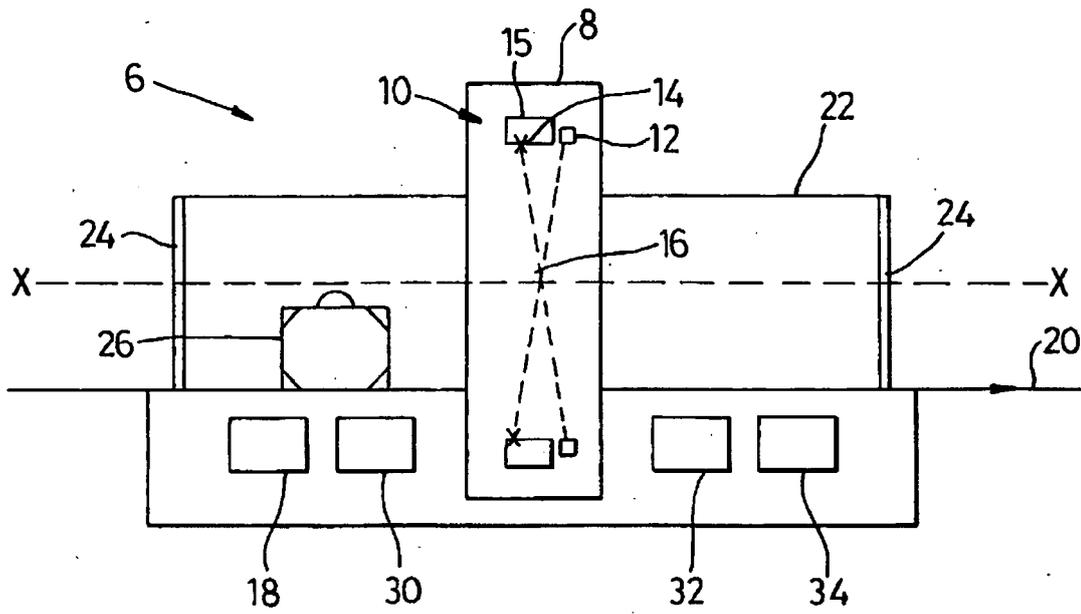
En funcionamiento, aunque no se requiere que el detector 718 esté activo, todos los conmutadores excepto el conmutador de multiplexación 760 están cerrados. Esto garantiza que el condensador 754 no está cargado y permanece de ese modo. Entonces, al comienzo del período cuando se requiere que el detector reúna datos, los dos conmutadores de reinicio 758, 759 se cierran de modo que cualquiera de los rayos X detectados por el detector 718 provocará un aumento en la carga en el condensador 754, que da como resultado la integración de la señal del detector 718. Cuando ha finalizado el período de recogida de datos, se abre el conmutador de entrada 756, de modo que el condensador permanecerá cargado. Entonces, para que la señal integrada se lea desde el integrador, el conmutador de salida 760 se cierra para conectar el integrador al ADC. Esto proporciona una señal analógica al ADC determinada por el nivel de carga en el condensador 754, y por lo tanto indicativo del número de rayos X que ha detectado el detector 718 durante el período durante el que se conectó al integrador. El ADC entonces convierte esta señal analógica en una señal digital para introducir al sistema de adquisición de datos. Para producir una sola imagen de proyección, todos los detectores de alta resolución se utilizan para recoger datos al mismo tiempo, cuando uno de los puntos de fuente de rayos X está activo.

Haciendo referencia a la figura 24, en una realización adicional, cada detector 718 está conectado a dos integradores 750a, 750b en paralelo, cada uno de los cuales es idéntico al de la figura 23. Las salidas de los dos integradores están conectadas a través de sus conmutadores de salida 760a, 760b a un ADC. Esto permite que cada integrador esté dispuesto para integrar la señal del detector 718 en un punto diferente en el escaneo de la fuente de rayos X, y por lo tanto para recoger datos para una imagen separada, estando las dos imágenes desde diferentes ángulos con diferentes puntos de fuente de rayos X. Por ejemplo, esto puede utilizarse para producir imágenes de proyección a partir de direcciones ortogonales que pueden utilizarse para construir una imagen tridimensional de alta resolución, a partir de la cual puede determinarse la posición de las características en el paquete visualizado en tres dimensiones.

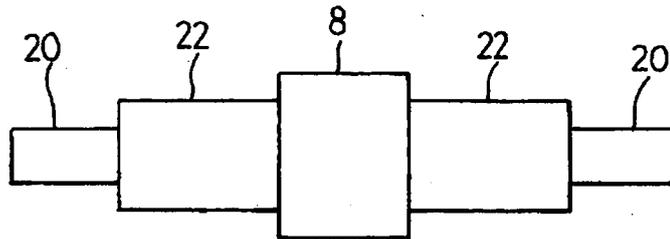
La imagen de alta resolución puede ser útil cuando se combina con la imagen de RTT, ya que puede ayudar a identificar artículos para los que se necesita una resolución más alta, como alambres finos.

**REIVINDICACIONES**

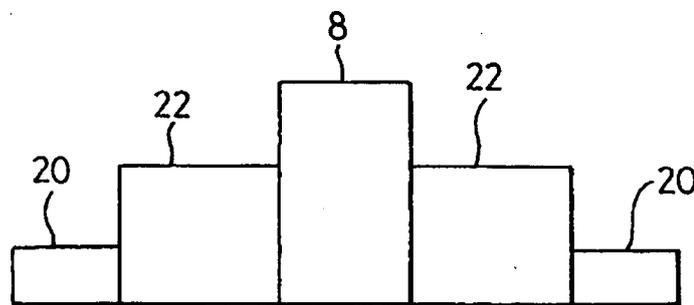
1. Sistema de escaneado de rayos X que comprende una fuente de rayos X dispuesta para generar rayos X desde una pluralidad de posiciones de fuente alrededor de una región de escaneado, un conjunto de detectores cilíndricos (422) compuesto por una pluralidad de conjuntos circulares (422a, 422b) de detectores de dispersión dispuestos para detectar rayos X dispersados dentro de la región de escaneado, y un sistema de recogida de datos que comprende una memoria (506) que tiene una pluralidad de áreas (508) estando cada una asociada con un volumen secundario de un volumen de imágenes, medios de entrada de datos dispuestos para recibir datos de entrada desde los detectores de retrodispersión en una secuencia predeterminada, en el que el sistema comprende además una tabla de consulta que tiene entradas almacenadas en la misma que, para cada una de las posiciones de fuente, asocian cada uno de los detectores de retrodispersión con un volumen secundario del volumen de imágenes, y medios de procesamiento dispuestos para generar a partir de los datos de dispersión de rayos X de datos de entrada asociados con cada uno de los volúmenes secundarios del volumen de imágenes, y para almacenar los datos de dispersión de rayos X en las áreas de memoria apropiadas (508) usando la tabla de consulta,
- 5
- 10
- 15
- en el que los medios de procesamiento están dispuestos para almacenar los datos de dispersión de rayos X en la memoria (506) para cada uno de una pluralidad de escaneos tomográficos de un objeto a medida que el objeto se mueve a través de una región de imágenes, y para extraer los datos de dispersión de rayos X desde la memoria después de cada uno de los escaneos de modo que los datos de dispersión de rayos X durante un escaneo posterior pueden almacenarse en la memoria.
- 20
2. Sistema de imágenes de rayos X según la reivindicación 1 en el que los medios de procesamiento están dispuestos para combinar los datos de dispersión de rayos X a partir de los escaneos tomográficos para producir una imagen tridimensional del objeto.
- 25



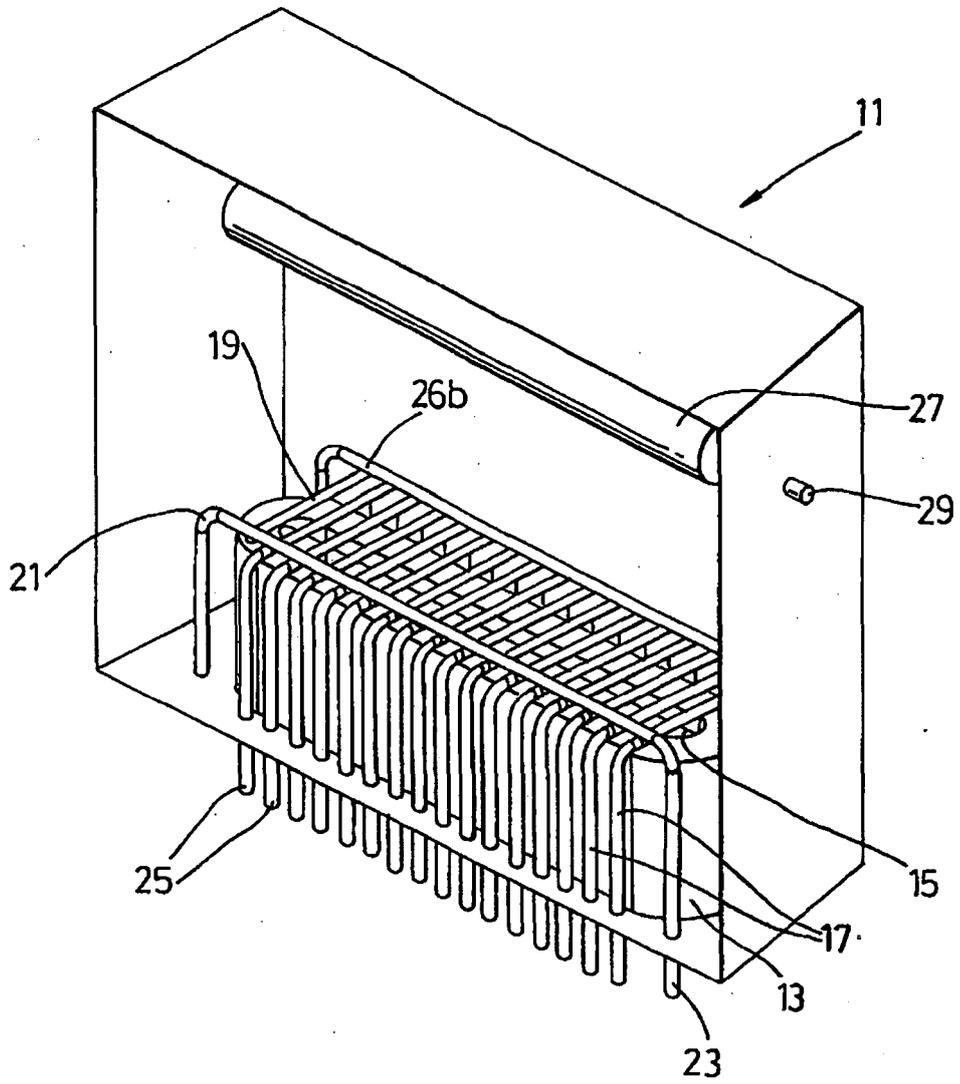
*Fig. 1*



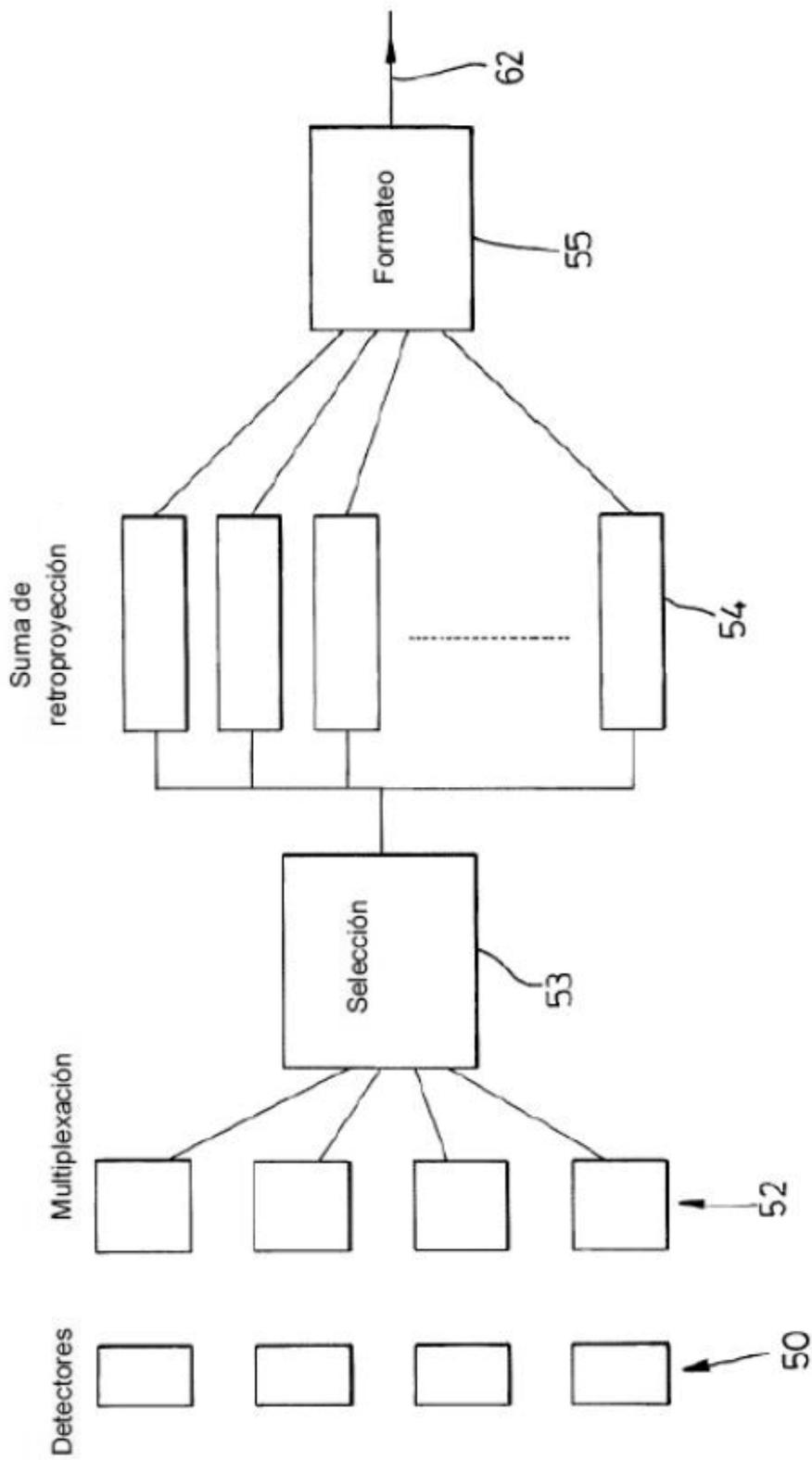
*Fig. 2*



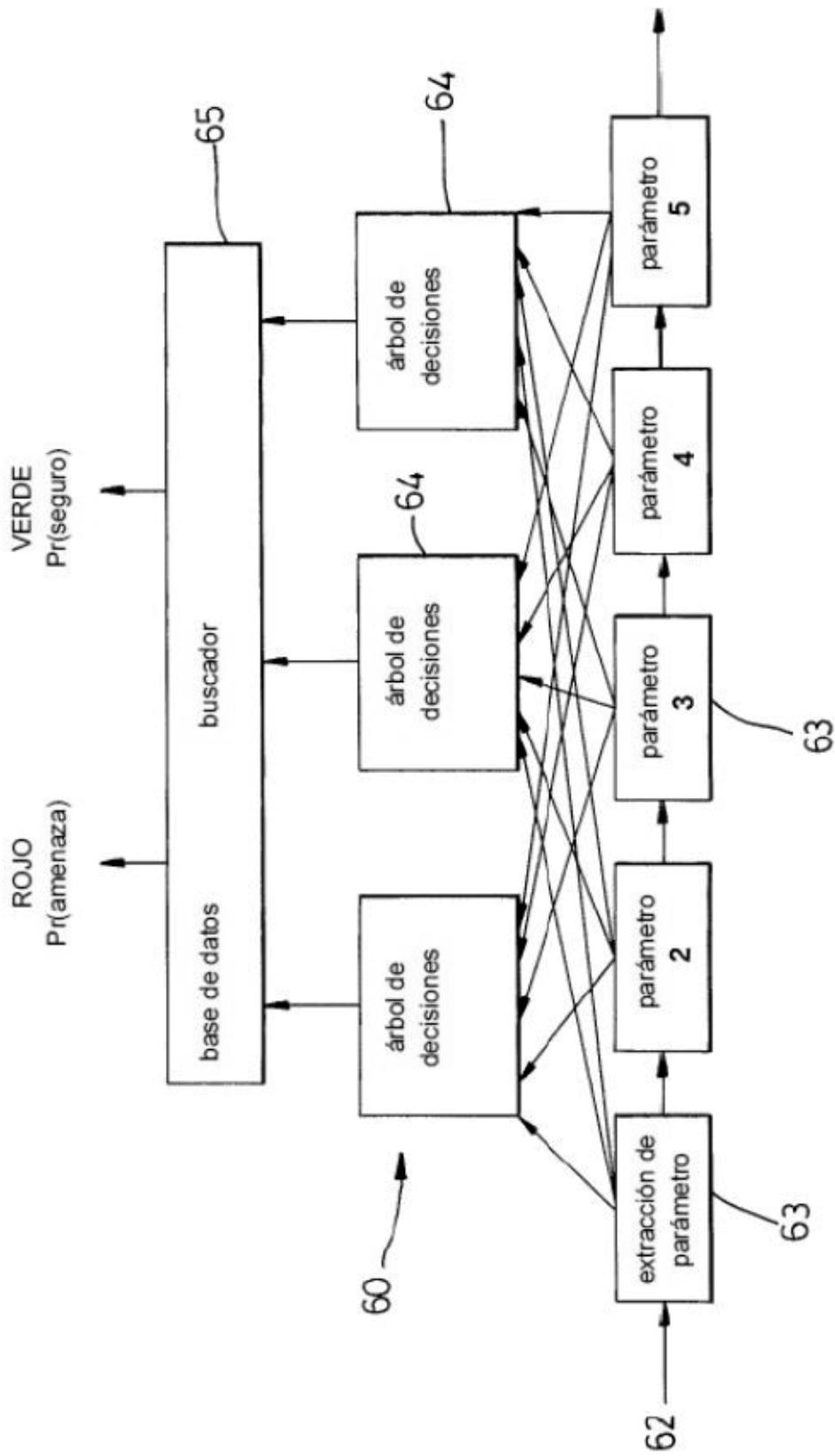
*Fig. 3*



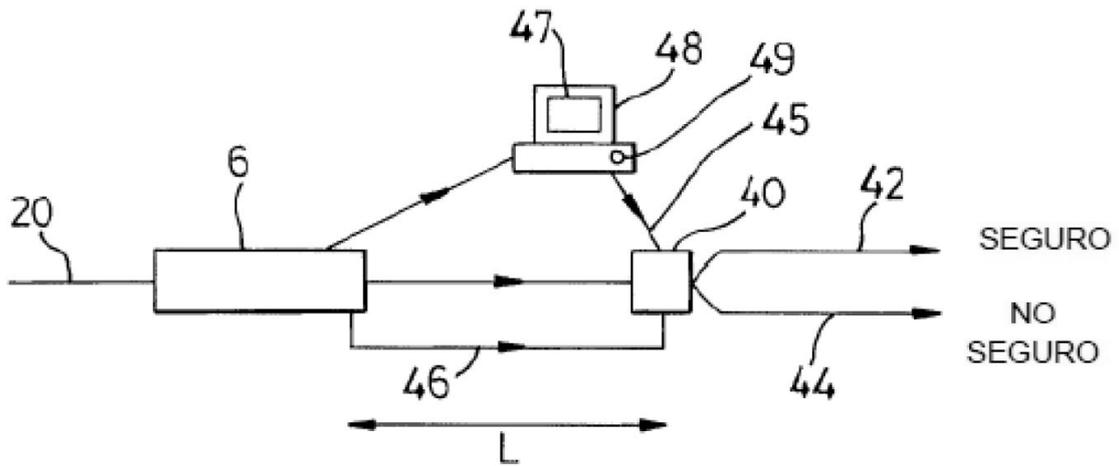
*Fig. 1a*



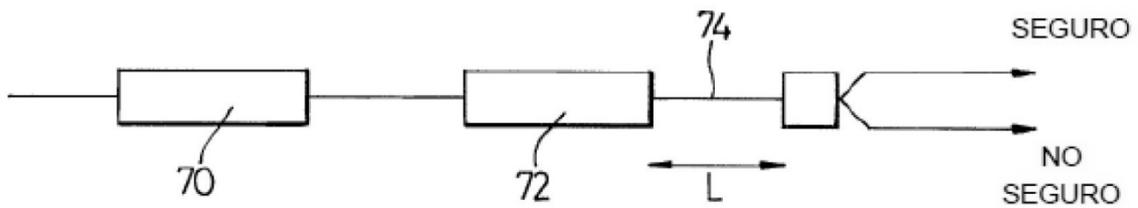
**Fig. 4**



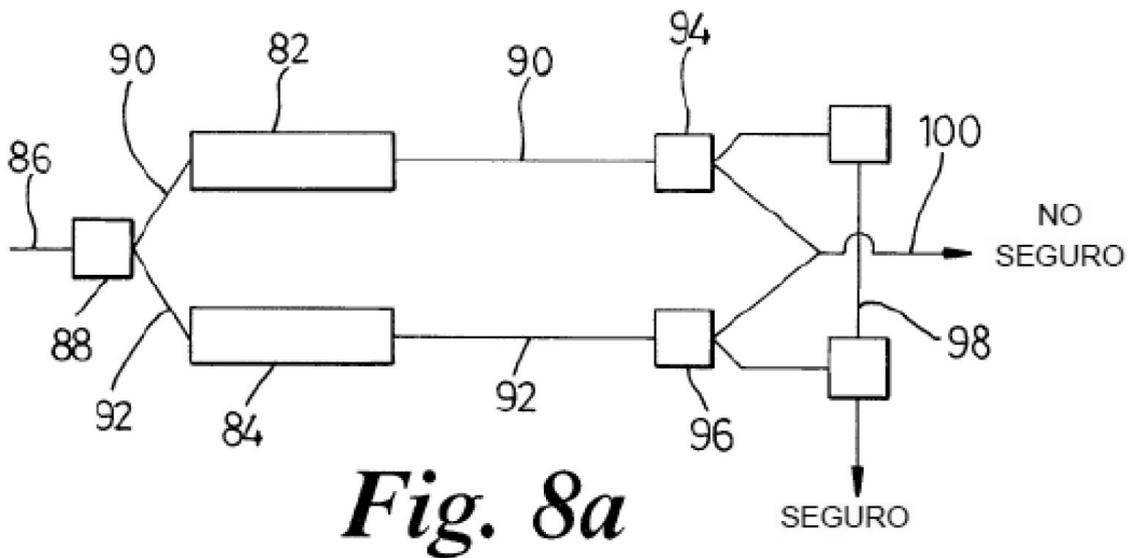
*Fig. 5*



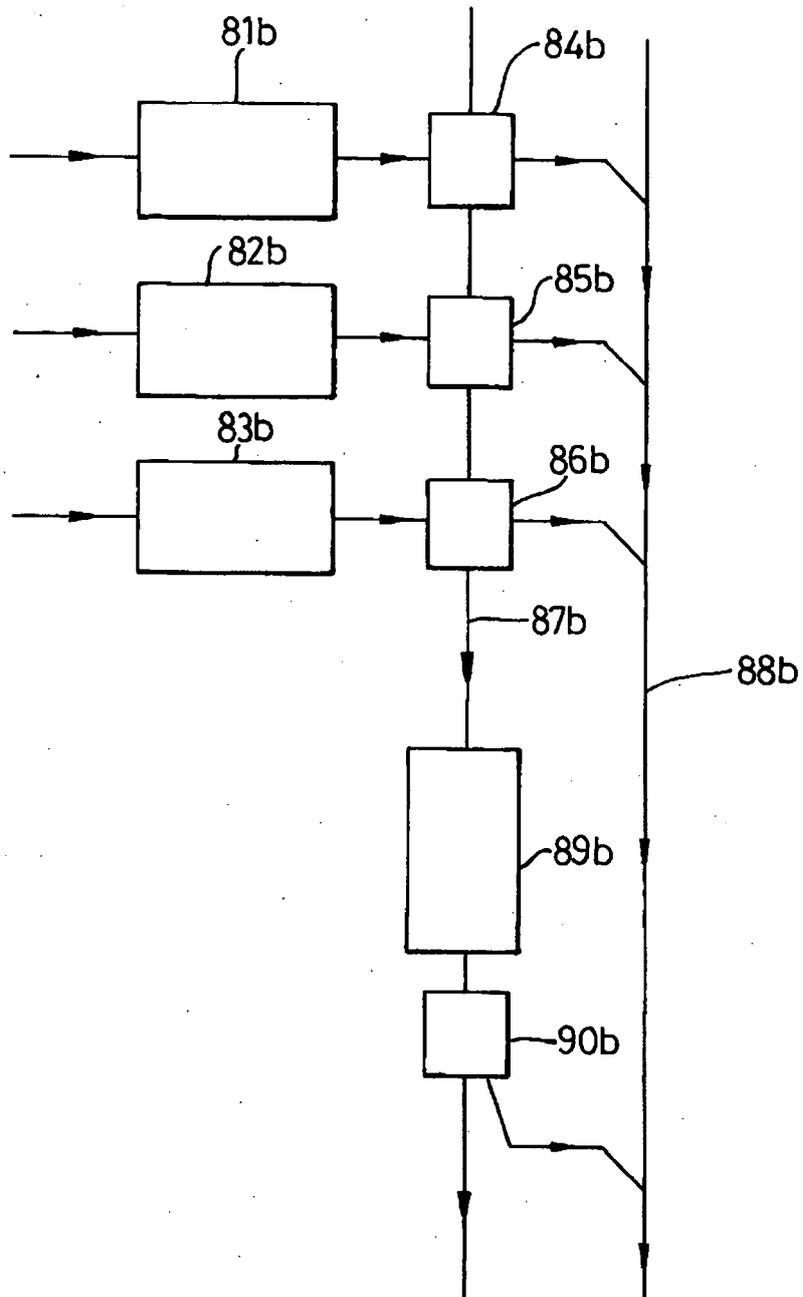
*Fig. 6*



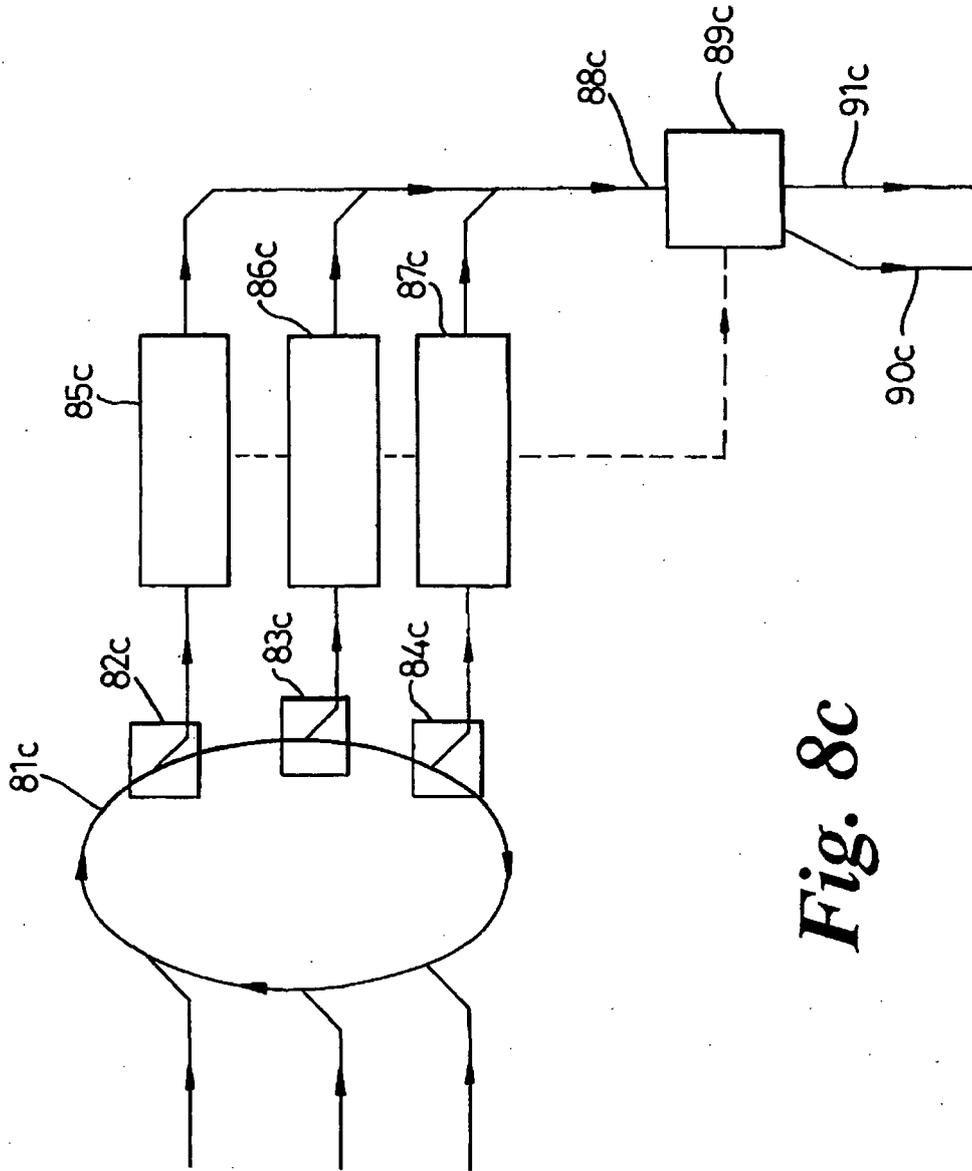
*Fig. 7*



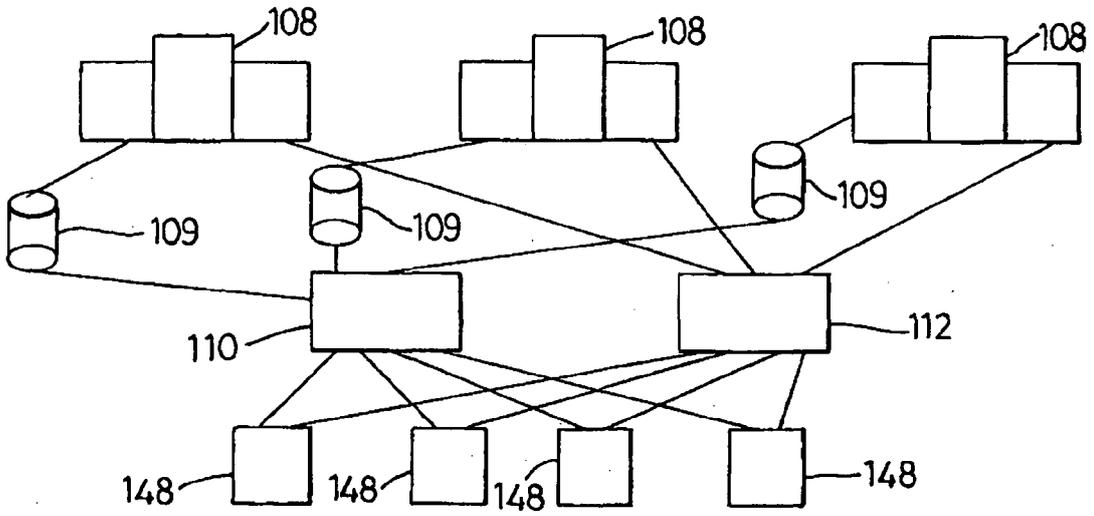
*Fig. 8a*



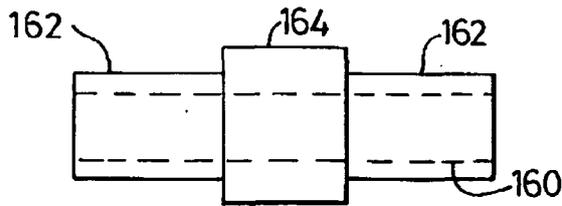
*Fig. 8b*



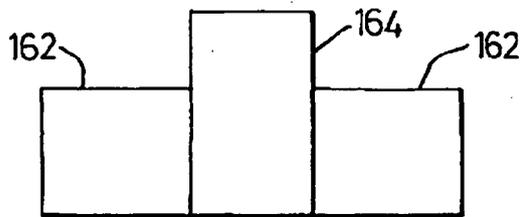
*Fig. 8c*



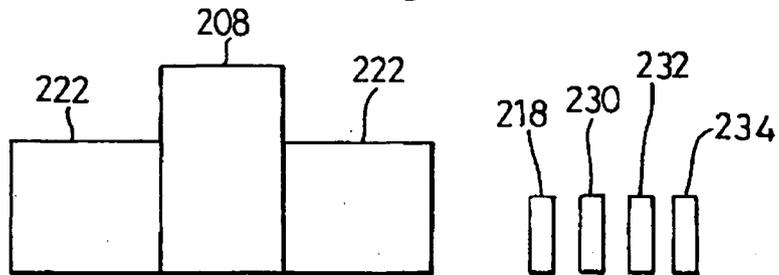
**Fig. 9**



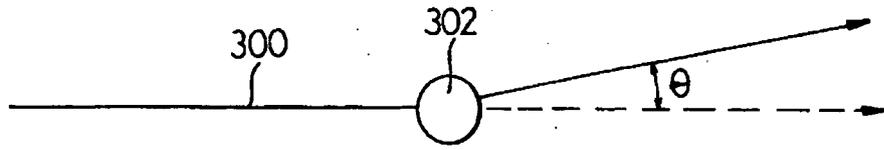
**Fig. 10**



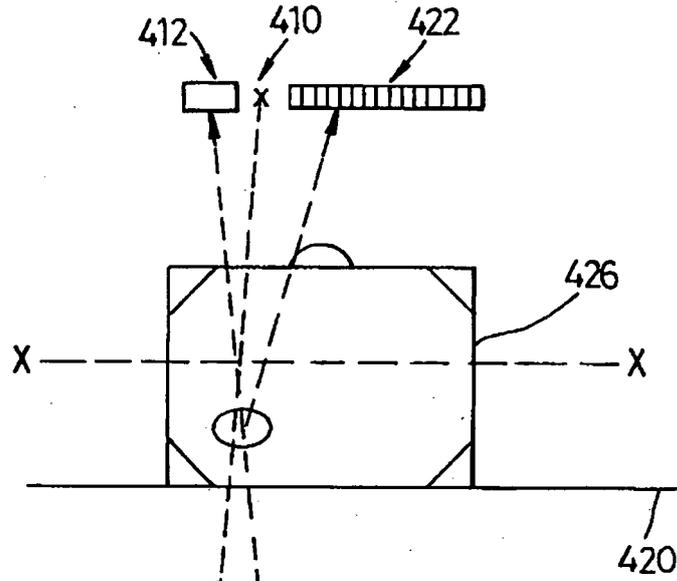
**Fig. 11**



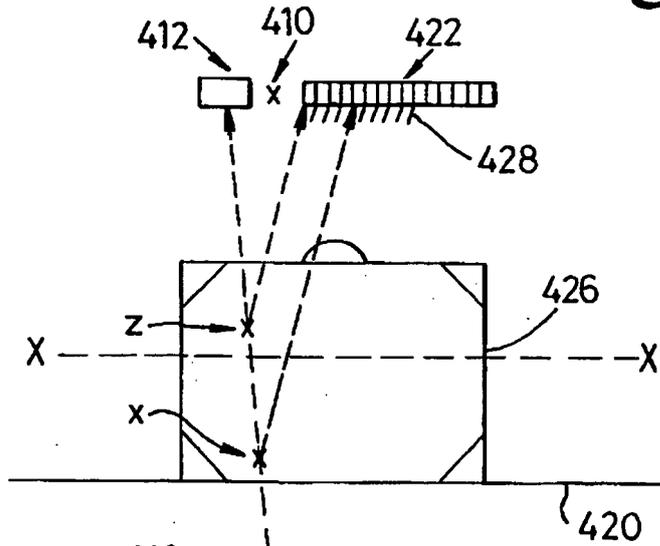
**Fig. 12**



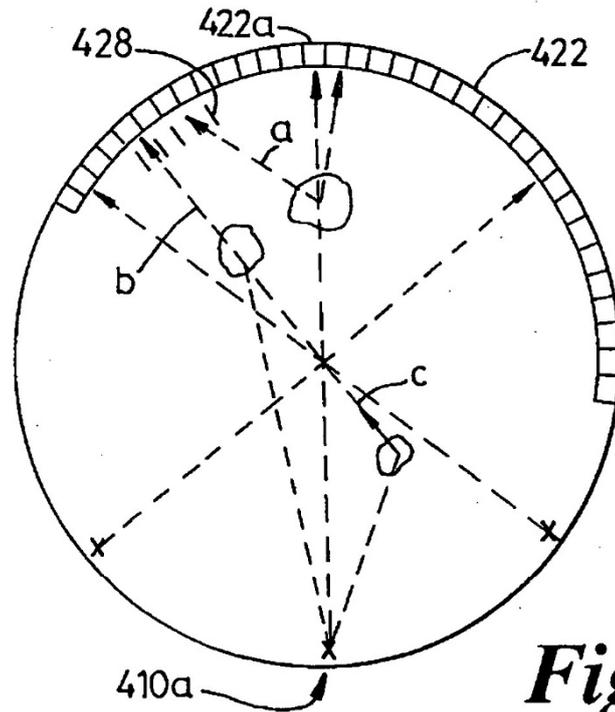
**Fig. 13**



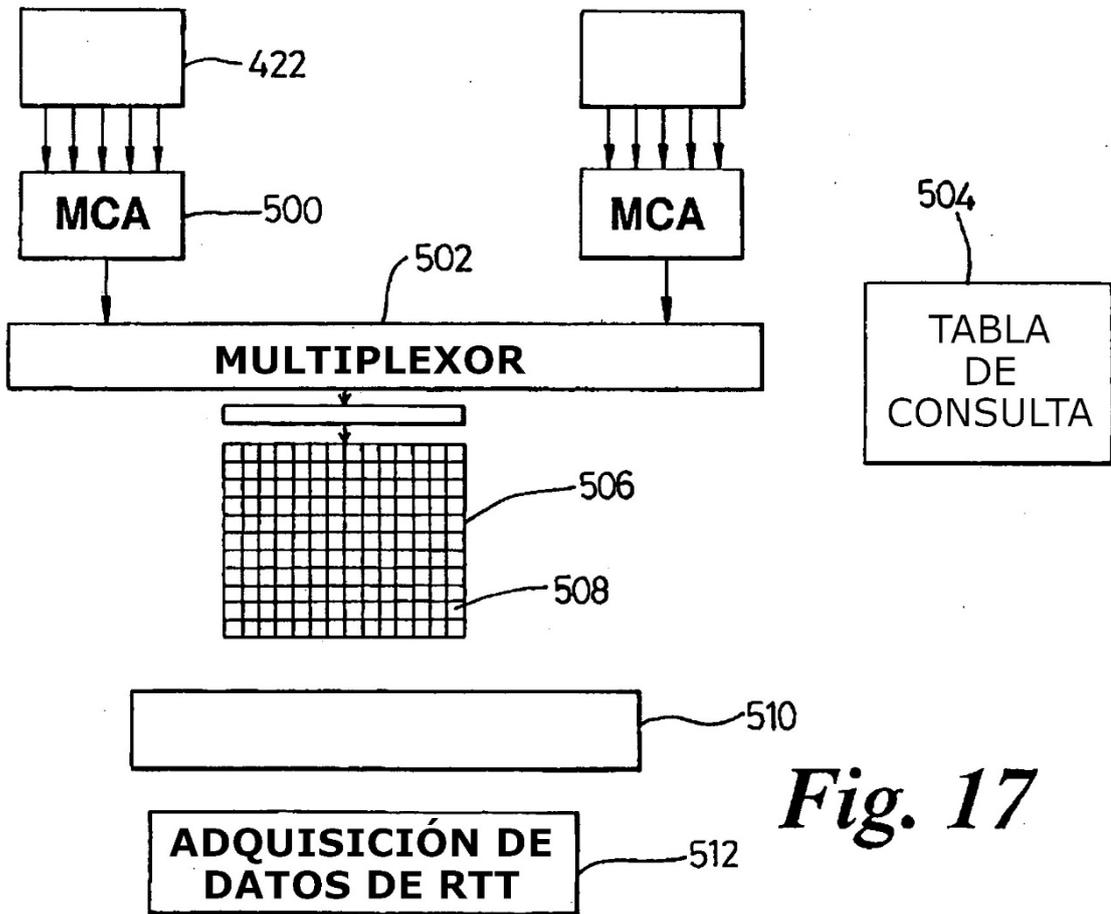
**Fig. 14**



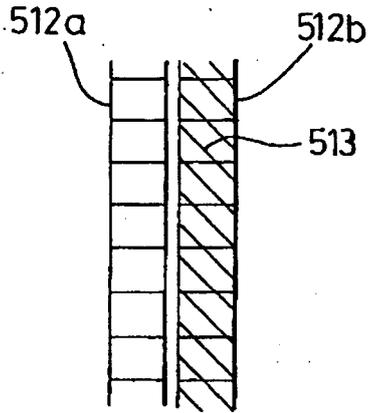
**Fig. 15**



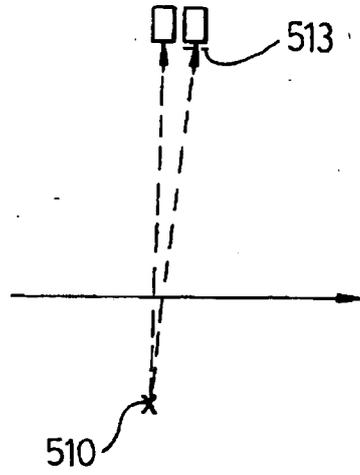
**Fig. 16**



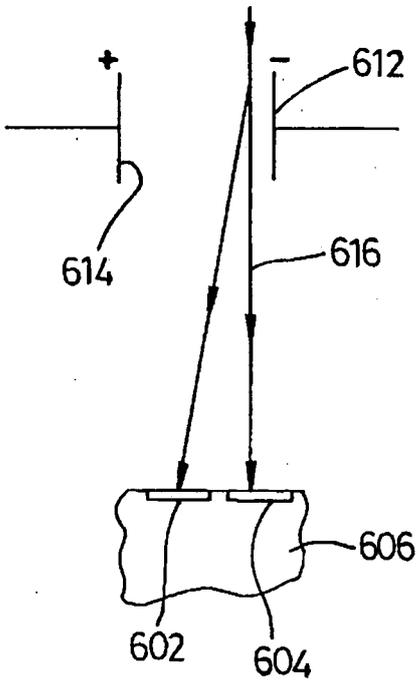
**Fig. 17**



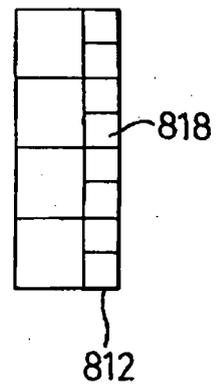
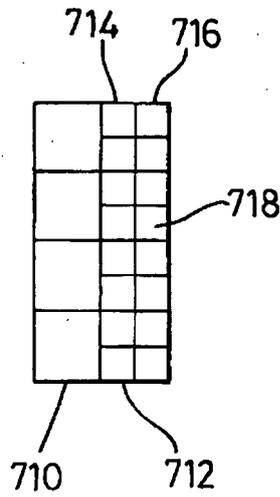
**Fig. 18**



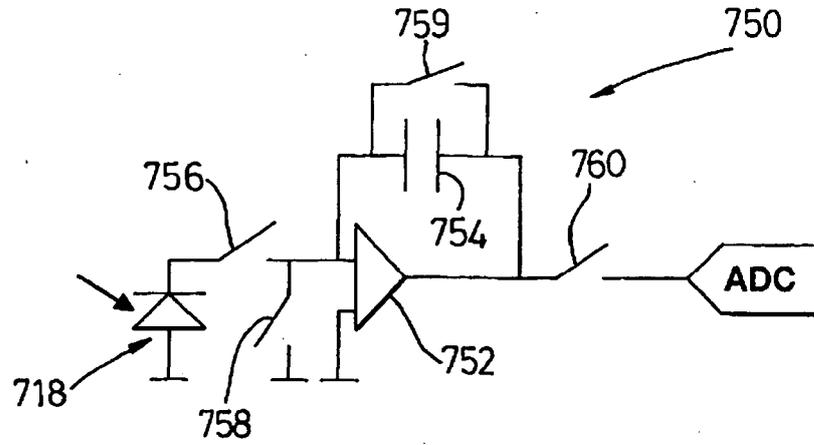
**Fig. 19**



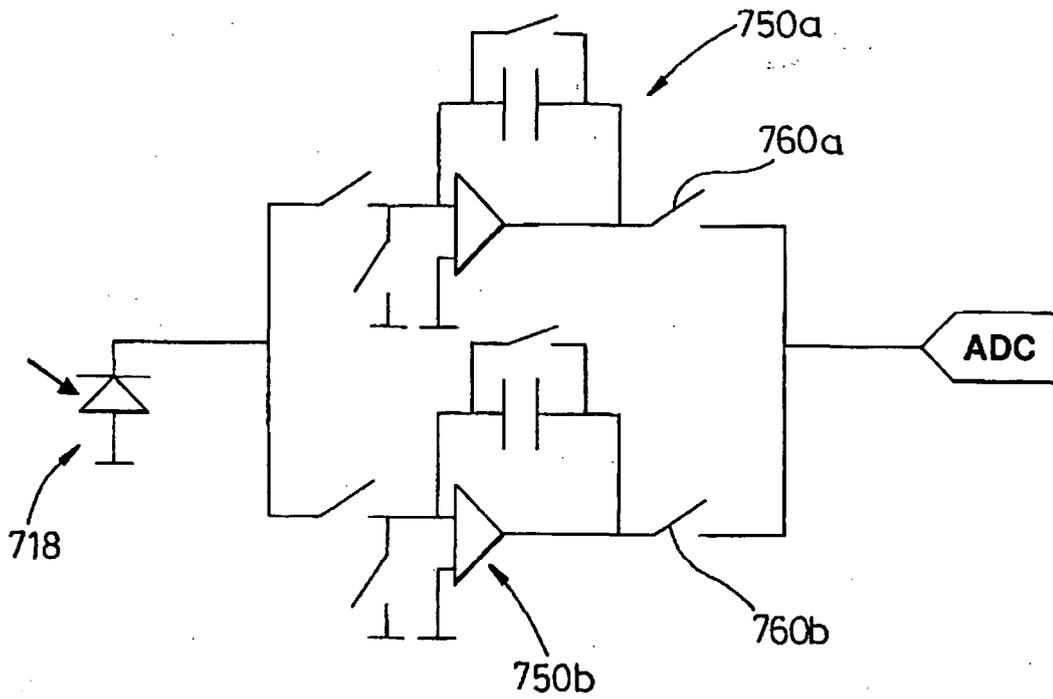
**Fig. 20**



**Fig. 21 Fig. 22**



**Fig. 23**



**Fig. 24**