

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 718 884**

51 Int. Cl.:

**G01V 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.05.2015 E 15166576 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.01.2019 EP 2942649**

54 Título: **Sistema de tomografía computarizada para carga y contenedores transportados**

30 Prioridad:

**06.05.2014 US 201461989503 P**  
**23.04.2015 US 201514695038**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**05.07.2019**

73 Titular/es:

**ASTROPHYSICS INC. (100.0%)**  
**21481 Ferrero Parkway**  
**City of Industry, CA 91789, US**

72 Inventor/es:

**BEDFORD, SIMON PETER;**  
**ZAYEK, FRANCOIS;**  
**MOORE, RICHARD HARDWICK y**  
**QUIVIRA, FERNANDO**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 718 884 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

Sistema de tomografía computarizada para carga y contenedores transportados

## 5 Antecedentes

El examen e inspección de carga, incluyendo paquetes, equipaje, correo, palés, contenedores, materiales y objetos discretos tal como maquinaria o vehículos, en aplicaciones de aduanas y seguridad se realiza comúnmente usando sistemas de imágenes por rayos X. Donde se maneja carga en palés o materiales se consolidan en palés o en grandes contenedores, es a menudo ventajoso inspeccionar o examinar los palés y contenedores usando sistemas de imágenes por rayos X sin la necesidad de descomponer estas estructuras a elementos constituyentes. De forma similar es a menudo ventajoso examinar grandes objetos discretos, grupos de objetos o materiales a granel sin descomponer o desmontar en aplicaciones de aduanas, seguridad o pruebas no destructivas. Típicamente, para carga u otros artículos y materiales de palé o dimensiones similares, se usan sistemas de imágenes por rayos X usando generadores de rayos X en el intervalo de 180 kV a 450 kV para adquirir imágenes por rayos X de barrido lineal de proyección o bien en formas de vista única o bien, cada vez más, de vista dual. Tales sistemas de imágenes pueden operar con capacidad de formación de imágenes de energía dual y proporcionar cierta información limitada con respecto al número atómico efectivo y densidad o grosor de los materiales formados en imagen. Sin embargo, la tecnología comercial actual está limitada inherentemente en la discriminación de objetos y materiales, ya que la información de imagen de proyección proporcionada se obtiene a partir de la interacción de un haz de rayos X policromático con todos los materiales a lo largo de la trayectoria de línea de visión a través del objeto entre la fuente de rayos X y cada detector individual. La imagen de proyección de rayos X resultante por lo tanto tiene una utilidad limitada ya que múltiples objetos o características en una región dada de la imagen no se resuelven individualmente con respecto a profundidad, sino que se solapan entre sí y forman un desorden de imágenes. La tendencia reciente del uso de sistemas de barrido lateral por rayos X de vista dual, que proporcionan una vista casi ortogonal adicional, alivia parcialmente esta limitación de desorden. Sin embargo, para muchas cargas, objetos o materiales, sigue siendo improbable que los contenidos, componentes o composición de interés se aislen suficientemente en una de estas dos vistas para una identificación visual fácil o para soportar de forma efectiva la detección o análisis usando sistemas automatizados diseñados para señalar peligros, armas, artículos de contrabando u otras características. De manera similar, ambos visualmente y usando métodos análisis de imagen diseñados para explotar sinérgicamente la información independiente de las vistas duales, sigue siendo muy difícil identificar adecuadamente, detectar y analizar objetos objetivo y características. Tanto para detección inspeccionada visualmente y automatizada o sistemas de análisis, no pueden conseguirse habitualmente una alta probabilidad de detección o discriminación y una tasa de alarma falsa baja usando sistemas de barrido lateral por rayos X de vista única o dual en un nivel adecuado de rendimiento para la mayoría de aplicaciones.

Para algunas aplicaciones de examen e inspección, tal como seguridad de equipaje facturado en aviación, el estado de la técnica para sistemas operacionales ha avanzado al uso de sistemas de tomografía computarizada para proporcionar información volumétrica en tres dimensiones de alta resolución y ha superado en gran medida las limitaciones mencionadas anteriormente. Típicamente, se emplean sistemas CT de exploración helicoidal que usan una grúa rotatoria que monta una fuente de rayos X y uno o más matrices de detectores. Comúnmente múltiples filas de detectores forman anillos parciales sobre un arco de detectores de habitualmente aproximadamente 60 grados. La bolsa o artículo a inspeccionar pasa en una cinta transportadora linealmente a través de la abertura en la grúa rotatoria y puede realizarse el examen con alta detección y rendimiento de falsa alarma baja con muchos cientos de bolsas por hora en los sistemas más avanzados. Sin embargo, esta tecnología no es fácilmente escalable a las dimensiones de carga en palés o contenedores. Los diseños mecánicos requeridos para proporcionar una abertura de grúa adecuada rotando a una velocidad angular suficiente y para montar sistemas de generadores de rayos X de alta tensión y alta potencia tienen un coste prohibitivo.

De manera similar, se han hecho avances significativos en el desarrollo de sistemas CT estacionarios para inspección y seguridad de equipaje facturado en diversas formas usando matrices de fuentes de rayos X conmutables situadas alrededor del túnel de inspección en un plano esencialmente normal a la dirección de recorrido de la cinta transportadora. Pueden intercalarse matrices de detectores en el mismo plano de imagen o simplemente fuera del plano y se logra adquisición de datos adecuados para la reconstrucción CT conmutando rápidamente entre fuentes de rayos X y lectura de elementos detectores predeterminados. Sin embargo, estas configuraciones de sistema tampoco son fácilmente escalables a las características de carga en palés ya que un factor de coste primario para sistemas de examen a gran escala es el subconjunto de generador de rayos X. Matrices de alta tensión, alta potencia y fuentes de rayos X conmutables no están disponibles comercialmente y, si se desarrollan, probablemente sean prohibitivamente caras para estas aplicaciones.

En el examen por rayos X de seguridad y aduanas actual, formación de imágenes, la información visualizada, capacidad de detección y análisis está ligada al tipo de sistema usado. Por ejemplo, para carga en palés, el estado actual de tecnología ampliamente desplegada permite que el operador vea imágenes de transmisión proyectadas habitualmente en perspectivas de una o dos vistas como mucho, con las limitaciones de formación de imágenes y análisis asociados con técnicas de transmisión de rayos X analizadas anteriormente. Para equipaje de facturación y de mano, hay disponibles técnicas de formación de imágenes más sofisticadas, como se describe anteriormente,

proporcionando imágenes CT volumétricas en 3D donde información de imágenes puede verse mediante diversos medios incluyendo forma de superficie convertida, forma de segmento, fácilmente manipuladas mediante rotación alrededor de un eje arbitrario y mostradas y visualizadas usando muchas otras herramientas. Los datos en 3D volumétricos proporcionados por tales sistemas también soportan métodos de análisis de imagen automatizados efectivos que pueden destacar peligros, objetos objetivo y otras características. Sin embargo, las técnicas CT proporcionadas para equipaje de facturación y de mano no se ha adoptado ampliamente para grandes cargas y cargas en palés esencialmente porque los sistemas de sensores físicos necesarios para proporcionar tal información no han estado disponibles de una forma lo suficientemente rentable con características operacionales y rendimiento adecuados.

Hwei Gao et al. en "Straight-Line-Trajectory-Based X-Ray Tomographic Imaging for Security Inspections: System Design, Image Reconstruction and Preliminary Results", IEEE Transacciones sobre Ciencia Nuclear, Vol. 60, N.º 5, octubre de 2013, divulga formación de imágenes por tomografía de rayos X basada en trayectoria de línea recta para inspección de seguridad con una plataforma de rotación montada en una plataforma de traslación y un detector de grandes áreas mostrando experimentalmente como una matriz de detectores de paneles que constan de 60 columnas y 192 filas.

El documento US 2009/0285353 A1 muestra un túnel de inspección de equipaje que tiene una fuente de rayos X montada en la parte inferior configurada para proporcionar un haz en abanico a través del túnel, una fuente de rayos X montada en el lateral dispuesta como una altura mayor que la cinta transportadora y configurada para proporcionar un haz en abanico a través del túnel, y una pluralidad de detectores dispuestos a través de los arcos de cada uno de los haces en abanico, en el que un operador puede manipular los datos de imagen y rotar parcialmente la bolsa para discernir los objetos ubicados dentro.

Realizaciones de la invención actual eluden las limitaciones de diseño de la tecnología de examen e inspección de CT comercial actual y proporcionan información de imágenes volumétricas en tres dimensiones rentable y operacionalmente efectiva para palés y objetos más grandes más allá de las dimensiones de la tecnología disponible en la actualidad. Otras realizaciones proporcionan visualización mejorada de conjuntos de datos en dos y tres dimensiones de CT e imágenes por rayos X de transmisión para facilitar la identificación de objetos, y análisis de contenidos, componentes o composiciones de interés.

#### Sumario

La presente invención incluye un sistema de imágenes para la formación de imágenes de los contenidos, componentes y/o composición de carga o contenedores transportados, y métodos relacionados. Realizaciones adicionales incluyen un sistema para la creación de un modelo tridimensional basándose en datos de imagen de carga o contenedores transportados, y métodos relacionados. En particular, se proporciona un sistema de imágenes para la formación de imágenes de contenidos, componentes o composición de carga o contenedores transportados de acuerdo con la reivindicación independiente adjunta 1. Además, se proporciona un método de sistema de imágenes para la formación de imágenes de contenidos, componentes o composición de carga o contenedores transportados de acuerdo con la reivindicación independiente adjunta 10.

Un sistema de imágenes de acuerdo con una realización presente incluye una fuente de rayos X o rayos gamma que emite un haz de rayos X o rayos gamma, un túnel que tiene una pluralidad de detectores y una plataforma trasladable. Cada uno de los detectores recibe una porción del haz. La plataforma trasladable soporta carga o un contenedor transportado y se mueve a través del túnel de modo que la carga o contenedor transportado cruza las porciones del haz recibido por una pluralidad de los detectores. La plataforma trasladable también puede rotar y moverse a través del túnel en múltiples ángulos.

El sistema de imágenes también puede incluir un ordenador y una interfaz gráfica. El ordenador puede recibir información recopilada por la pluralidad de detectores de las porciones del haz cuando la carga o el contenedor transportado cruza las porciones del haz. El ordenador también puede reconstruir una imagen en tres dimensiones de la carga o contenedor transportado basándose en la información. La interfaz gráfica puede mostrar la imagen en tres dimensiones.

Realizaciones adicionales incluyen un sistema para la creación de un modelo tridimensional basándose en datos de imagen de carga o contenedores transportados, tal como los datos de imagen en la información recopilada por la pluralidad de detectores. El sistema incluye un procesador y una memoria. La memoria tiene instrucciones almacenadas para la recepción de datos que representan información recopilada de un ángulo de haz vertical amplio, para el procesamiento de datos para generar un modelo volumétrico en tres dimensiones y para la impresión del modelo volumétrico en tres dimensiones.

Estas y otras realizaciones pueden incluir características adicionales, tal como las descritas a continuación.

## Breve descripción de los dibujos

El expediente de patente o solicitud contiene al menos un dibujo realizado en color. Se proporcionarán copias de esta publicación de patente o solicitud de patente con dibujos en color en la Oficina tras la solicitud y pago de la tasa necesaria.

Estas y otras características y ventajas de la presente invención se entenderán mejor mediante referencia a la siguiente descripción detallada cuando se considera en conjunción con los siguientes dibujos. Estos dibujos no deberían interpretarse como que limitan la presente invención, sino que se conciben para ser únicamente ilustrativos.

La Figura 1 es un diagrama que muestra una geometría de formación de imágenes por rayos X general y funciones de movimiento de carga de una realización de la invención.

La Figura 2A es un diagrama que muestra un diseño de placa de detector de rayos X de un haz en abanico central de la Figura 1 y la Figura 2B en sección transversal vertical.

La Figura 2B es un diagrama que muestra colimación del sistema de imágenes por rayos X de la Figura 1.

La Figura 3 es un diagrama que muestra un diseño de arriba a abajo de la realización de la Figura 1, incluyendo un sistema de movimiento de carga.

La Figura 4 es una vista en perspectiva de la realización de la Figura 3, incluyendo el sistema de movimiento de carga.

La Figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra elementos del sistema de movimiento de carga de la Figura 4.

La Figura 6 es un diagrama de flujo de proceso de exploración para una realización de la invención.

La Figura 7 es un diagrama que muestra una geometría de formación de imágenes por rayos X general y funciones de movimiento de carga de otra realización de la invención que incorpora detectores de imágenes de área.

La Figura 8 es un diagrama que muestra una geometría de formación de imágenes por rayos X general y funciones de movimiento de carga de una realización alternativa de la invención que incorpora la instalación para elevar una fuente de rayos X verticalmente en alineación con un pre-colimador y secciones verticales de las matrices de detectores.

La Figura 9 es un diagrama de bloques que representa una interfaz de control de operador y un sistema informático para la adquisición, procesamiento, reconstrucción, almacenamiento y visualización de datos de rayos X de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 10 es una ilustración de un panel de control de operador de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 11 es una ilustración de un panel de control de operador remoto de acuerdo con una realización la invención.

La Figura 12 muestra imágenes de transmisión de rayos X adquiridas usando la realización ilustrada en las Figuras 1-4 después de una única pasada de traslación de un palé desde la entrada hasta la salida del sistema en un ángulo fijo de las matrices de detectores.

La Figura 13 muestra presentaciones de imágenes de datos de rayos X volumétricos reconstruidos adquiridos usando la realización ilustrada en las Figuras 1-4. Se proporcionan perspectivas de visualización similares a la Figura 13 y la imagen volumétrica reconstruida se obtiene a partir de cuatro pasadas del palé en cuatro ángulos discretos de las matrices de detectores.

La Figura 14 es un diagrama de flujo que muestra un método de reconstrucción y pre y post procesamiento de acuerdo con realizaciones de la invención.

La Figura 15 es un diagrama que muestra la geometría de haz en abanico paralela de la realización de la Figura 1 después de proyectar datos desde un único haz en abanico en un espacio de detector virtual.

La Figura 16 es un diagrama que ilustra la proyección de haz en abanico detectores en el espacio de detector virtual y remuestreo uniforme, de acuerdo con la realización de la Figura 15.

La Figura 17 es un esquema en 2D de la proyección de una sombra o huella de vóxel (elemento de volumen) en elementos detectores para calcular la contribución durante proyección hacia delante, de acuerdo con la realización de la Figura 15.

## Descripción detallada

Realizaciones de esta invención se refieren a transmisión de rayos X y sistemas de tomografía computarizada para la formación de imágenes de los contenidos, componentes y/o composición de objetos transportados, además de métodos para analizar y visualizar la información de imagen resultante y métodos relacionados. Más específicamente, realizaciones se refieren a rayos X e inspección de tomografía computarizada por rayos X de contenedores transportados y objetos para determinar la presencia o ausencia de materiales peligrosos tal como explosivos, armas y inflamables, para identificar la presencia o ausencia de contrabando tal como drogas ilegales y/o para inspeccionar materiales en aplicaciones de pruebas no destructivas. Realizaciones también ilustran sistemas y métodos para crear un conjunto de datos de imagen en tres dimensiones espacialmente bien resuelto a partir de una pluralidad de imágenes, cada una obtenida a partir de una fuente de rayos X, haz en abanico de rayos X y una matriz de detectores de rayos X para ayudar en la identificación de los objetos o materiales de interés anteriormente mencionados.

Se entiende por los expertos en la materia que conjuntos de datos de imagen por rayos X de tres dimensiones espacialmente resueltos soportan la implementación efectiva de métodos de segmentación de objetos automatizados junto con métodos de discriminación de peligro/no peligro o alerta/no alerta de objetos automatizados basándose en el número Hounsfield, número CT o características de densidad de un objeto, región o volumen. Tales métodos pueden usarse en las realizaciones de la invención y pueden extenderse a la caracterización de escenas, objetos y materiales usando reconstrucción de energía dual de conjuntos de datos de imagen por rayos X en tres dimensiones que pueden proporcionar tanto número atómico volumétrico como información de densidad como se conoce en la técnica.

La geometría de imágenes de una realización de un sistema de tomografía computarizada para examen de carga en palés se muestra en la Figura 1. Una fuente de rayos X 1 proporciona un haz de rayos X 3 (en esta realización, el haz de rayos X es un haz con forma de cono o haz en cono y cubre un ángulo vertical amplio) con un ángulo de irradiación de aproximadamente 60 grados horizontalmente y 80 grados verticalmente de tal forma que pueden iluminarse siete matrices de detectores con forma de L 2a-2g. Los ángulos de irradiación, forma y tamaño del haz de rayos X y número de matrices de detectores pueden modificarse siempre que todas las matrices de detectores se iluminen por el haz de rayos X. El sistema puede incluir aproximadamente entre 1 y 30 matrices de detectores. En las realizaciones similares a las mostradas en la Figura 1, el coste de matriz de detectores y sistema de adquisición de datos asociado es una consideración significativa y es más rentable operar con entre tres y nueve matrices de detectores. Sin embargo, el número de matrices de detectores deseado puede variar basándose en costes de adquisición de hardware, problemas de costes de aplicación y requisitos de rendimiento de sistema. La fuente de rayos X puede ser preferentemente un sistema de generador de rayos X bipolar de alta tensión y alta potencia con una tensión entre 320 kV y 600 kV. La fuente de rayos X también puede ser un diseño monobloque de menor tensión y menor potencia que opera habitualmente en 180 kV a 300 kV. Generadores de rayos X modificados o personalizados que incorporan una ventana de rayos X amplia adecuada para irradiar las matrices de detectores como se ha señalado anteriormente están disponibles de proveedores comerciales y sus características de operación y configuración pueden variarse según se requieran. Además, pueden usarse fuentes alternativas de rayos X o rayos gamma tal como Betatrones, Aceleradores Lineales y Fuentes de Radioisótopos para cumplir con requisitos operacionales tal como penetración de objeto.

En la realización mostrada en la Figura 1, cada matriz de detectores 2a-2g se compone de 1280 elementos detectores, proporcionando cada uno señales de rayos X de alta y baja energía usando una configuración de detectores intercalados como se conoce por expertos en la materia. Típicamente, tales detectores intercalados se optimizarían para alta eficiencia cuántica para la recopilación de fotones de energía en el canal de alta energía y para separación de energía adecuada entre canales de energía alta y baja mientras que conserva una eficiencia cuántica de energía baja adecuada. La separación de energía se consigue generalmente variando el material centelleador de detector de rayos X y/o grosor y/o que incorpora un material de filtro fino, tal como un filtro hecho de cobre o acero, entre los detectores de energía alta y baja. Como un ejemplo, la matriz de detectores 2d se muestra en la Figura 2A como una sección transversal vertical a través de un haz en abanico central 3d (el haz en abanico central 3d mostrado en la Figura 1 es un haz central del haz de rayos X 3, que se ha dividido en haces en abanico 3a-3g separados mediante los pre-colimadores 13, analizado con respecto a la Figura 2B a continuación). Una matriz de detectores 2d incluye 20 placas de detector individuales 10 alineadas normales al punto focal de fuente 11 y dispuestas alrededor de un túnel de escáner 20. Las paredes del túnel 20 pueden ser las paredes de un edificio o pueden ser las paredes de una estructura separada dentro de o fuera de un edificio. Cada una de las placas de detector individuales 10 se compone de 64 elementos detectores, incluyendo cada uno, por ejemplo, un cristal centelleador y un diodo para cada uno de los canales de energía baja y alta más un material de filtro que perada los dos canales, o elementos similares conocidos en el campo, culminando en el total de 1280 elementos detectores por matriz de detectores. Aunque se usan 1280 elementos detectores en esta realización, el número de elementos detectores en una matriz lineal de detectores, así como el número de elementos detectores por placa de detector, y el número de placas de detector por lineal matriz de detectores puede variarse. Por ejemplo, para sistemas de capaces de formación de imágenes de carga en palés, pueden usarse aproximadamente 640 o 2560 elementos detectores, o cualquier número de elementos detectores entre aproximadamente 640 y 2560. Más detectores proporcionan mejor resolución espacial en 2D y 3D, pero aumenta el coste del sistema. Por lo tanto, un experto en la materia puede variar el número de elementos detectores basándose en estas y otras consideraciones, incluyendo más allá de un intervalo de 640 a 2560.

En algunas realizaciones, los módulos de detectores pueden montarse de forma ajustable en las direcciones x, y y z de la Figura 1 para facilitar la alineación inicial de los elementos detectores con respecto a la fuente supuesta y geometría de detector usadas durante reconstrucción. La alineación del sistema de detector y fuente en este caso se soporta en la eficiencia y fidelidad de la reconstrucción volumétrica y resultado de formación de imágenes. Se observa que, en algunas realizaciones, la información volumétrica reconstruida a partir de un objeto de prueba, objeto de referencia fiduciario incorporado en el sistema de imágenes, escena reconstruida o elemento de escena también puede ordenar el ajuste físico de la geometría de detector y fuente. En algunas realizaciones la información volumétrica reconstruida a partir de un objeto de prueba, objeto de referencia fiduciario incorporado en el sistema de imágenes, escena reconstruida o elemento de escena también puede ordenar la fuente supuesta y geometría de detector usadas para la reconstrucción de escenas de imágenes posteriores, mitigando o evitando la necesidad de un ajuste físico de la geometría de detector y fuente.

En una realización adicional, la Figura 1 puede modificarse para constar de únicamente la sección montada en pared de cada una de las siete matrices de detectores lineales 2a-2g, dispensando con toda o cualquier fracción de la parte de techo montada de las matrices de detectores para reducir el coste del sistema. Una configuración de este tipo es particularmente ventajosa cuando se combina con las realizaciones de segmento horizontal, posición de fuente múltiple y CT de fuente en movimiento (descritas a continuación con respecto a la Figura 8) ya que en estas configuraciones puede adquirirse un conjunto de datos de proyección suficiente para la reconstrucción a partir de todos los volúmenes dentro del palé sin el uso de detectores montados en el techo. Estas realizaciones pueden tener la desventaja de que la información de imágenes de transmisión multivista (que pueden proporcionar resolución espacial de imagen superior) puede no estar disponible para un operador para todo el volumen del palé a partir de una única perspectiva de visualización de imagen, como se consigue con la configuración de una única ubicación de fuente de rayos X y detectores montados en el techo de la Figura 1. Sin embargo, las realizaciones de segmento horizontal y posición de fuente múltiple sí proporcionan información de imágenes de transmisión multivista a partir de dos o más posiciones de fuente estáticas y estos conjuntos de imágenes podrían proporcionarse al operador para que vea un volumen restringido del palé desde dos o más perspectivas.

La Figura 2B muestra un sistema de colimación usado para formar los haces en abanico de rayos X 3a-3g compuestos de tres elementos de colimación. (Como una nota, el número de haces en abanico depende del número de matrices de detectores usadas y por lo tanto puede variar como se ha analizado anteriormente.) Primero, un colimador de fuente 12, habitualmente compuesto de un conjunto de tiras de plomo montadas sobre y dentro de una estructura de acero, puede fabricarse como una unidad y puede ajustarse lateralmente, verticalmente y a través de rotación alrededor de un eje horizontal para alineación de haz con las matrices de detectores. El colimador de fuente 12 es habitualmente una colimación relativamente ancha suficiente para formar los haces en abanico 3a-3g y minimizar la anchura requerida de un segundo elemento de colimador, pre-colimadores 13. Los pre-colimadores 13 pueden montarse en una pared de túnel de inspección 21 para formar el haz primario que define colimación y servir para restringir la anchura de haz en abanico a una ligeramente más ancha que los detectores y por lo tanto minimizar la dosis de rayos X al palé y minimizar la dispersión de rayos X que puede degradar de otra manera el rendimiento de la formación de imágenes. Los pre-colimadores 13 pueden ser ajustables lateralmente, verticalmente y en rotación alrededor de un eje horizontal para alineación y pueden fabricarse de tiras de plomo que forman una ranura espaciada por materiales de atenuación de rayos X baja y montados en soportes de acero. Un tercer elemento de colimación, post-colimadores 14, puede montarse en la pared de túnel lateral de detector 22 y techo de túnel 23 que puede fabricarse de forma similar a los pre-colimadores 13 y también puede servir para restringir que la dispersión de los haces primarios 3a-3g alcance a los detectores 2a-2g. Los post-colimadores 14 también pueden ser ajustables para alineación con los haces en abanico de rayos X 3a-3g.

Como se muestra en la Figura 3, el haz en abanico central 3d puede orientarse verticalmente con cada haz en abanico adicional espaciado angularmente mediante una rotación de  $\alpha$  grados horizontalmente alrededor de un eje verticalmente a través del punto focal de fuente 11. El ángulo  $\alpha$  puede estar entre el intervalo de aproximadamente 3 y 15 grados, más preferentemente entre 5 y 10 grados. El ángulo total sobre el que se distribuyen los haces en abanico es  $\beta$  (es decir, el intervalo angular total), que es igual al número de espacios entre los haces en abanico multiplicados por  $\alpha$ . El ángulo  $\beta$  puede estar por debajo de 180 grados o por debajo de 120 grados, o puede estar preferentemente entre el intervalo de aproximadamente 10 y 60 grados, más preferentemente entre 30 y 50 grados. A medida que  $\beta$  aumenta, la longitud del túnel también aumenta. Por lo tanto,  $\beta$  puede limitarse por la huella deseada para el sistema, pero de otra manera, un mayor  $\beta$  permite que se acomoden más matrices de detectores, que acelera la adquisición de datos y permite menos pasadas mientras se cumple con los requisitos de rendimiento de imagen. En la realización de la Figura 3, se espacian igualmente siete haces en abanico con un ángulo  $\alpha$  de 6,55 grados, culminando en el ángulo total a través de todos los haces en abanico de 39,3 grados. Se entenderá que, dependiendo de la resolución espacial, sensibilidad de contraste, tiempo de exploración y requisitos de coste de la aplicación, por ejemplo, pueden construirse más o menos haces en abanico con el conocimiento de que un mayor número de haces en abanico puede adquirir un conjunto de datos de proyección dado con menos pasadas y por lo tanto más rápidamente mientras la calidad de imagen en tres dimensiones obtenida después de la reconstrucción dependerá fuertemente del número total de conjuntos de datos de proyección adquiridos. También se observa que los haces en abanico no necesitan espaciarse igualmente y que en algunas realizaciones en las que, por ejemplo, el espacio de montaje de detectores es limitado, las matrices de detectores pueden espaciarse progresivamente para acomodar un mayor número de matrices. De forma similar se observa que los haces en abanico no necesitan alinearse verticalmente y podrían orientarse igualmente en cualquier ángulo a la vertical o a diversos ángulos a la vertical.

Como se muestra en la Figura 4 (y representa funcionalmente en la Figura 5), un palé de carga o contenedor 33 puede tanto trasladarse como rotarse en un movimiento cuidadosamente controlado a través de los haces en abanico 3a-3g en múltiples pasadas con la carga 33 en diversos ángulos fijos a los haces en abanico 3a-3g. Esto puede lograrse proporcionando una plataforma de traslación y rotación 34 de dos elementos, independientemente operables. La traslación puede lograrse cargando el palé o contenedor 33 desde un sistema de cinta transportadora 31 de rodillos de transmisión por cadena, como se conoce por los expertos en la materia, en la plataforma de traslación y rotación 34. La plataforma de traslación y rotación 34 incluye un carro de traslación 40 para proporcionar movimiento de traslación de la plataforma de traslación y rotación 34 a través del túnel 20, una plataforma rotatoria

41 para controlar la rotación de la plataforma de traslación y rotación 34, y un conjunto de rodillos de motor 42 para trasladar el palé 33 desde la cinta transportadora accionada por cadena 31 convencional en la plataforma de traslación y rotación 34.

5 El carro de traslación 40 proporciona la base en la que se monta el resto de la plataforma de traslación y rotación 34. El carro de traslación 40 puede soportarse en raíles de soporte en V de precisión 37 y accionados linealmente por un servo motor de bucle cerrado 50 usando un sistema de transmisión de piñones y cremallera de precisión 51, como se muestra en la Figura 5. El servo motor 50 puede tener una caja de engranajes asociada y accionarse mediante una servo transmisión 53 separada. El servo motor, caja de engranajes y servo transmisión colectivamente  
10 constituyen la transmisión de traslación 52.

El sistema de servo motor de traslación 51, 52 puede incluir un codificador de precisión 63, como se conoce por expertos en la materia, de tal forma que la posición y perfil de movimiento de la plataforma de traslación puede controlarse con una precisión y exactitud mejor que las dimensiones de resolución espacial requeridas del sistema  
15 de imágenes, aproximadamente 1 mm en la realización actual. En general, la precisión y exactitud a la que se controla la plataforma de traslación 34 depende de la resolución espacial requerida del sistema de imágenes y es preferible que la precisión y exactitud del movimiento de plataforma de traslación no limite o degrade la resolución general del sistema de imágenes. Cuando se requiere información CT en 3D a una resolución espacial dada, la precisión y exactitud de la plataforma de traslación es preferentemente sustancialmente menor que la resolución  
20 espacial CT requerida, más preferentemente alrededor de 1 mm o menor. La precisión y exactitud requeridas pueden determinarse mediante simulación asegurando que el error posicional y de reconstrucción de imágenes simulado de un objeto de prueba teórico es pequeño cuando la posición del objeto de prueba teórico se perturba de su posición nominal en uno o más conjuntos de datos de proyección usados en una reconstrucción simulada aplicando el método de reconstrucción y modelo de geometría de sistema (fuente, detectores y sistema de  
25 detectores) de la realización correspondiente.

El sistema de servo motor de traslación 51, 52 puede ser capaz de trasladar el palé 33 y los conjuntos de soporte a una velocidad por encima de 20 cm por segundo, que proporciona una única pasada de traslación y adquisición de  
30 siete imágenes de proyección en aproximadamente 30 segundos y cuatro pasadas de traslación proporcionando 28 datos de vistas para la formación de imágenes de reconstrucción en 180 grados de rotación de palé en aproximadamente 150 segundos. Estas velocidades permiten que esta realización tenga una velocidad general comparable a la que se obtiene en la actualidad de sistemas de rayos X de formación de imágenes de palé de vista única o dual, sin embargo, una velocidad particular no es esencial al sistema. Pueden proporcionarse diferentes velocidades y diferentes números de pasadas de traslación basándose en el rendimiento de formación de imágenes  
35 CT y requisitos operacionales y de coste. Por ejemplo, puede proporcionarse y operarse un sistema usando únicamente 2 o 3 pasadas de traslación con altas velocidades de traslación de 40 cm a 50 cm por segundo en el que se requiere un proceso de exploración rápido y de alto procesamiento. En estas realizaciones puede requerirse una mayor tasa de adquisición de datos de matriz de detectores lineales junto con un mayor flujo de fuente de rayos X para conservar el rendimiento de formación de imágenes en comparación con un sistema de velocidad de traslación  
40 menor equivalente.

La plataforma rotatoria 41 pueden montarse en el carro de traslación 40. La plataforma rotatoria 41 puede accionarse mediante una transmisión de índice rotatoria 54, que comprende un servo motor y caja de engranajes 55, un codificador 64 y una transmisión de posición 56. El servo motor permite control de precisión de la plataforma  
45 rotatoria 41. La plataforma rotatoria 41 es capaz de soportar el palé 33 y peso del conjunto con suficiente tolerancia de carga suspendida para establecer y controlar la posición angular del conjunto de rodillos de motor 42 y palé 33 a una tolerancia predeterminada específica. En la realización actual, la posición angular tiene un control preciso y exacto mejor de 0,1 grados. Sin embargo, en otras realizaciones, el grado de angular control puede variar basándose en las especificaciones del sistema. Por ejemplo, en un sistema usando únicamente 3 pasadas de traslación, la precisión angular y exactitud puede ser menor porque la resolución de la formación de imágenes CT disminuye. La plataforma rotatoria 41 puede operar a plena carga incluyendo un palé de 1.587,57 kilogramos a  
50 aproximadamente 10 grados por segundo para minimizar el tiempo de exploración general durante formación de imágenes de múltiples pasadas. Además, se observa que aunque describimos la posición angular como exacta y conocida con exactitud y precisión no es necesario o incluso necesariamente óptimo implementar y conseguir ninguna posición angular exacta predeterminada. Dependiendo de los métodos de reconstrucción elegidos, el conocimiento de la posición angular usada durante cada pasada, tal como desde un sistema de lectura de codificador, es suficiente para la reconstrucción.

El conjunto de rodillos de motor 42 se monta en la plataforma rotatoria 41 y consiste en una combinación de rodillo  
60 43 y/o rodillos de motor 44, incorporando estos últimos un mecanismo de freno mecánico interno para garantizar que el palé 33 cargado en el conjunto permanece estacionario en el conjunto durante traslación del carro 40. Los rodillos de motor 44 pueden accionarse mediante una transmisión de rodillos de motor 57. Tales rodillos de motor y sistemas de control pueden ser equipo comercial existente y son conocidos para los expertos en la materia.

65 Puede lograrse la descarga del palé de carga usando un sistema convencional de cinta transportadora 32 de salida de rodillos accionados por cadena, como se muestra en la Figura 4. En una realización adicional, los sistemas de

carga y descarga de cinta transportadora de rodillos accionados por cadena 31 y 32 podrían dispensarse con y un palé cargado directamente mediante una carretilla elevadora u otros métodos en una simple plataforma rígida montada en la plataforma rotatoria. Para sistemas de fuente de rayos X de alta tensión, habitualmente 450 kV o mayor, habitualmente se requieren puertas de blindaje contra rayos X motorizadas de entrada 35 y puertas de blindaje contra rayos X motorizadas de salida 36 para atenuar los rayos X dispersados a niveles bajos de acuerdo con la práctica aceptada de seguridad de radiación de ionización y regulaciones de protección contra radiación. A menores tasas de fuente de rayos X o cuando se usan otros medios tal como zonas de exclusión de personal, pueden prescindirse las puertas de blindaje contra rayos X motorizadas a favor de cortinas de blindaje, una configuración de túnel abierto u otros métodos de blindaje y protección contra radiación incluyendo un sistema no blindado o abierto en su totalidad.

La Figura 5 adicionalmente ilustra la relación de función entre la plataforma de traslación y rotación 34 y otros elementos del sistema de tomografía computarizada ilustrado. La plataforma de traslación y rotación 34 se conecta a través de una red de comunicaciones, tal como una red de Ethernet 98, a diversos otros sistemas del sistema de tomografía computarizada. Además de los sistemas en la Figura 5, la red de comunicaciones 98 interconecta diversos ordenadores para el procesamiento y formación de imágenes de la información recibida desde los haces de rayos X 3, como se muestra en la Figura 9.

La red 98 conecta el sistema de traslación y rotación 34 y varias otras unidades de accionamiento, sensores e interruptores limitadores para permitir control centralizado de los diversos sistemas. Por ejemplo, la red 98 se conecta a una unidad de accionamiento de puerta corredera 58, que incluye motores y cajas de engranajes individuales para cada una de las puertas de blindaje contra rayos X motorizadas de entrada y de salida 35, 36. La red 98 se conecta a una unidad de accionamiento de extensión de cinta transportadora 59, que incluye motores y cajas de engranajes individuales para cada uno de los sistemas de carga y descarga de cinta transportadora de rodillos accionados por cadena 31, 32. En algunas realizaciones, la red 98 puede conectarse a una unidad de traslación de fuente 60, que incluye una transmisión de traslación de fuente, servo motor y caja de engranajes para subir y bajar la fuente de rayos X como se representa en la realización de la Figura 8. La red 98 también se conecta a un controlador de lógica programable (PLC) 61 y otros módulos de entrada/salida de control que pueden conectarse a diversos sensores e interruptores limitadores 62. Los sensores pueden ser fotosensores que detectan, por ejemplo, cuándo se acerca el palé 33 a la puerta de blindaje de entrada 35, cuándo el palé 33 está colgando sobre los lados, parte frontal o trasera de la plataforma de traslación y rotación 34, o cuándo el palé 33 excede las limitaciones de altura para entrar en el túnel de sistema 20. Pueden incluirse interruptores limitadores que controlan la apertura o cierre de las puertas de blindaje de entrada o salida 35, 36 y que controlan la proximidad de la plataforma de traslación y rotación a su posición inicial próxima a la puerta de blindaje de entrada 35 y el sistema de cinta transportadora de carga 31. El PLC 61 también puede conectarse a un panel de control de operador remoto 93, como se muestra en la Figura 9.

La Figura 6 muestra un diagrama de flujo de proceso de exploración de un método de uso de la realización de las Figuras 1-5. El sistema se inicializa (S1) y pueden comprobarse diversos sistemas dentro del sistema de tomografía computarizada en busca de fallos. Por ejemplo, durante la inicialización, pueden comprobarse las transmisiones de movimiento que controlan la plataforma rotatoria 41 y los componentes implicados en la formación de imágenes por rayos X en busca de fallos, transmitiéndose cualquiera de tales fallos al operador a través de indicadores de fallos. Si no se detectan fallos, el sistema está listo (S2) para cargar un palé (S3). Cualquier puerta de blindaje contra rayos X puede abrirse en ese punto para recibir el palé en el túnel para rayos X. El palé cargado en la plataforma de traslación y rotación 34 a continuación entra en el túnel, las puertas de blindaje contra rayos X se cierran y la fuente de rayos X 1 se enciende. Se completa una primera pasada (S4) en la dirección hacia delante con el palé en una posición de plataforma de rotación de cero grados para iniciar el ciclo de exploración. En la realización de la Figura 1, se adquieren siete imágenes de proyección durante la primera pasada, una por cada matriz de detectores 2a-2g, y la plataforma rotatoria se mueve a una posición de +45,85 grados (S5) después de alcanzar el extremo de salida de los raíles de traslación 37. Se completa una segunda pasada de traslación (S6) en la dirección inversa en esta posición de rotación y se adquieren siete imágenes de proyección adicionales. A continuación, después de alcanzar el extremo de entrada de los raíles de traslación 37, la plataforma rotatoria se mueve a una posición de +91,70 grados (S7) y se completa una tercera pasada de traslación (S8) en la dirección hacia delante. Finalmente, la plataforma rotatoria se mueve a una posición de +137,55 grados (S9) y se completa una cuarta pasada de traslación (S10) en la dirección inversa para proporcionar 28 imágenes de proyección en 176,85 grados. Después de la cuarta pasada, el ciclo finaliza (S11) y la fuente de rayos X 1 se apaga. Las puertas de blindaje contra rayos X pueden abrirse para permitir que el palé salga del túnel. El palé puede descargarse a continuación (S12) de la plataforma rotatoria. Antes de finalizar, si se necesita, el operador puede detener el sistema durante cualquiera de las etapas anteriores para abordar cualquier problema que pueda surgir o, si se ha recopilado suficiente información de imágenes, para autorizar el palé.

Por ejemplo, la realización de la Figura 1 puede usarse con un ciclo de exploración que puede extenderse dinámicamente o terminarse por un operador de exploración para optimizar el procesamiento de sistema en un entorno operacional. Se entenderá que en algunos casos una pasada de traslación inicial puede proporcionar suficiente información de imágenes para autorizar un palé o artículo de carga y puede no ser necesario continuar el proceso de exploración. Esta realización por lo tanto proporciona que, después de una pasada (S4), el operador de

examen puede ver las imágenes de proyección adquiridas en un intervalo limitado de ángulos de visión y esto puede ser suficiente para autorizar sin ambigüedades el palé basándose solo en la formación de imágenes de transmisión si existe mínimo desorden de imágenes. De forma similar puede proporcionarse al examinador una reconstrucción en tres dimensiones del palé basándose en los datos limitados disponibles después de únicamente una pasada.

5 Necesariamente, la resolución espacial en la dirección y definida en la Figura 4 se limitará en este caso. Si el operador decide que se requiere una segunda pasada, esto puede completarse (S6) y un conjunto adicional de siete vistas de proyección proporcionadas al operador junto con la reconstrucción en tres dimensiones del palé usando datos de 14 imágenes de proyección. El operador puede elegir autorizar el palé en este punto o proceder a una

10 tercera pasada (S8) cuando este proceso puede repetirse de nuevo con siete vistas de proyección adicionales disponibles para el operador y ahora estará disponible una reconstrucción en tres dimensiones mejorada del palé usando 21 imágenes de proyección. Finalmente el operador puede elegir completar cuatro pasadas (S10) y adquirir 28 vistas de proyección para inspección y para su uso en la reconstrucción.

También se observa que otras realizaciones pueden extender los datos de proyección adquiridos más allá de 28

15 vistas, extendiendo el ángulo de rotación del palé más allá de 180 grados, a 183,40, 229,25, 275,10 y 320,95 grados por ejemplo, para mejorar calidad de imagen reconstruida. Como alternativa realizaciones adicionales pueden proporcionar un total de 56 vistas a través de la adquisición de ángulos de visión intermedios sobre aproximadamente 180 grados a 3,28, 49,13, 94,98 y 140,83 grados de rotación por ejemplo. Realizaciones

20 adicionales pueden proporcionar un sistema que opera con menos de cuatro pasadas, dependiendo de la resolución espacial deseada, coste, etc. Se observa que los ángulos de visión particulares indicados pueden variarse según se determina por el número de matrices de detectores y su geometría relativa incorporada en un sistema, el número total de vistas y pasadas de traslación requeridas o el intervalo angular, por ejemplo 90, 180 o 360 grados, requerido para calidad de imagen reconstruida adecuada. De forma similar los ángulos de visión implementados en un proceso de explotación no necesitan espaciarse uniformemente o extenderse de forma contigua a través de todo el intervalo

25 angular de rotación de palé usado, por ejemplo los ángulos de visión pueden cubrir de cero a 45 grados y 67,5 a 112,5 grados pero no el intervalo de ángulos intermedios. Adicionalmente puede ser deseable extender el número de ángulos de visión más allá de 56 vistas a 112, 224 o más y para adquirir estas vistas a través de cualquier ángulo de rotación angular del palé hasta 360 grados para aumentar la calidad de imagen reconstruida.

En la Figura 7, se muestra una realización adicional del sistema de tomografía computarizada en la que la colección de matrices de detectores lineales con forma de L de la Figura 1 se sustituyen por uno o más detectores de

30 imágenes de área 72 que cubren un ángulo sólido deseado y colocan en el techo de túnel 23' y/o pared trasera 22'. Tales detectores de imágenes de área pueden ser, por ejemplo, pantallas fluoroscópicas acopladas con sistemas intensificadores de imágenes por rayos X o detectores de imágenes de panel plano de sílice amorfo como se conoce en la técnica. Usando el haz de rayos X 3', (teniendo el haz de rayos X forma de cono en esta realización, aunque son posibles otras formas) la irradiación de las áreas sensible de detector de área es alcanzable sustancialmente sin huecos en cobertura. Se entenderá que a partir de una adquisición de datos y perspectiva de reconstrucción CT, la adquisición de conjuntos de datos de proyección en 2D de estos detectores de área es equivalente a los datos

35 obtenidos usando el sistema ilustrado en la Figura 1 en el que el número de matrices de detectores lineales se maximiza para rellenar aproximadamente todo el ángulo sólido entre la primera y última matrices, pero puede ser superior en aspectos de continuidad, e igual en términos de rechazo de dispersión con los subsistemas de colimación apropiados. De este modo, puede ser una configuración deseable usar el método de adquisición de datos de traslación-rotación descrito anteriormente para adquirir datos de forma efectiva de cientos de vistas por pasadas usando detectores de área de este tipo.

Como una realización alternativa, se entenderá también que, con un palé estacionario entre la fuente 1' y detectores de imágenes de área 72 en la Figura 7, la imagen adquirida desde la geometría de haz en cono divergente es sustancialmente equivalente, suponiendo que todo o una gran porción del palé se ilumina, en términos de la extensión de contenido de información a una imagen en 2D adquirida de una única matriz de detectores lineales en

50 forma de L durante una pasada de traslación. Mientras la última proporciona un conjunto de datos de proyección de haces paralelos se entiende que una pluralidad de imágenes de haz en cono divergente en 2D adquiridas en un intervalo suficiente de ángulos de rotación discretos de un palé estacionario usando un detector de área proporciona sustancialmente información equivalente al conjunto de datos adquiridos de una pluralidad de imágenes de proyección de haces paralelos adquiridos usando las múltiples pasadas, matriz de detectores de múltiples líneas, metodología de traslación-rotación descrita anteriormente. También se observa que en esta realización el conjunto de datos de proyección adquiridos desde diversos ángulos de rotación de palé, mientras está en una posición de traslación fija, pueden registrarse inherentemente con respecto a traslación y pueden no requerir la etapa de registro descrita a continuación.

En una realización adicional, mostrada en la Figura 8, se proporciona un elevador eléctrico 80 para subir y bajar verticalmente una fuente de rayos X 1" y un conjunto de colimador de fuente (no mostrado pero unido a la fuente), mientras se mantiene la alineación de haz en abanico con los pre-colimadores y matrices de detectores 2a"-2g" montados en el techo de túnel 23" y/o pared trasera 22". El elevador eléctrico 80 puede proporcionar desplazamiento vertical, que puede leerse a través de un sistema de codificador, siendo la precisión y exactitud del desplazamiento

60 suficiente para no degradar la resolución espacial de las imágenes reconstruidas. La precisión y exactitud puede determinarse mediante simulación como se describe anteriormente. Puede usarse un desplazamiento vertical exacto

dentro de 1 a 2 mm y la linealidad de movimiento en la dirección vertical también puede ser aproximadamente de 1 a 2 mm.

5 La traslación vertical de la fuente de rayos X 1" proporciona la instalación para realizar reconstrucción volumétrica, incluyendo el uso de métodos de reconstrucción iterativa, en un intervalo de modos alternativos o complementarios incluyendo modos de segmento horizontal, de posición de fuente múltiple y de exploración de fuente de movimiento.

10 En modo de segmento horizontal, se adquieren datos de rayos X emitidos sustancialmente horizontalmente de la fuente de rayos X 1" y registran por elementos detectores en la correspondiente posición vertical en cada una de las matrices de detectores lineales 2a"- 2g" de la Figura 8. Este método toma ventaja de mayor velocidad, métodos de reconstrucción con menor cálculo intensivo conocidos en la técnica, incluyendo métodos iterativos, para producir un único segmento de imagen reconstruido de dos dimensiones. Como alternativa la reconstrucción puede realizarse de forma volumétrica en un intervalo de haz en cono vertical limitado (menos de la altura del palé) centrado en el plano horizontal. El ángulo de haz en cono vertical puede estar en el intervalo de aproximadamente 20 a 15 aproximadamente 80 grados, aproximadamente 30 a aproximadamente 80 grados, aproximadamente 40 a aproximadamente 80 grados, aproximadamente 50 a aproximadamente 80 grados, aproximadamente 60 a aproximadamente 80 grados de la horizontal.

20 En la práctica la señal de detectores que reciben iluminación de rayos fuera del plano horizontal puede reconstruirse también usando métodos de reconstrucción en 2D correlacionando rayos individuales con conjuntos de datos horizontales en 2D fuera de plano usando métodos de ajuste óptimo o de estimación similares. Tales pseudo conjuntos de datos horizontales en 2D pueden reconstruirse a continuación usando métodos de reconstrucción en 2D conocidos en la técnica, incluyendo métodos iterativos, para proporcionar una pluralidad de segmentos reconstruidos apilados en un intervalo angular vertical significativo de la fuente de rayos X, habitualmente de 10 a 25 grados. Tales conjuntos de datos reducidos, en comparación con reconstrucción de ángulo vertical amplio, puede permitir calidad de imagen mejorada a partir de procesamiento de reconstrucción iterativo y ser ventajoso donde los requisitos de cálculo son altos y el tiempo de reconstrucción es limitante. En las realizaciones de modo CT de segmento horizontal, pueden completarse 1, 2, 3, 4 o cualquier número de pasadas de traslación en cada posición de altura de fuente con ángulo de rotación de palé variable para cada pasada para conseguir la calidad de imagen 30 de reconstrucción requerida.

Tanto los modos de exploración de posición de fuente múltiple como de CT de fuente en movimiento de esta invención proporcionan métodos para mejorar el muestreo de vóxeles reconstruidos (elementos de volumen) a través de todo el volumen de palé de tal forma que el subconjunto de rayos que pasan a través de un vóxel dado se 35 distribuyen más altamente a través de todas las direcciones y la suma de las longitudes de trayectoria de rayos a través del palé se minimiza para un vóxel dado. Se entenderá que los rayos a través de cualquier vóxel en el plano horizontal de la fuente de rayos X estática 1 ubicada como se muestra en la Figura 1 se distribuyen uniformemente a través de aproximadamente 180 grados después de cuatro pasadas con una longitud de trayectoria de rayos total mínima a través del palé, ya que todos los rayos son incidentes normales al eje vertical del volumen de palé. Para 40 vóxeles más altos en el palé las direcciones de rayo muestreadas se vuelven progresivamente más restringidas y las longitudes de trayectoria correspondientemente más largas en suma. Los modos de exploración de posición de fuente múltiple y de CT de fuente en movimiento proporcionados por la Figura 8 proporcionan un medio para reducir la longitud de trayectoria de rayos total a través de un vóxel dado y garantizan que cada vóxel se muestrea en direcciones de rayos distribuidas tan extensivamente como sea posible. Estos métodos, por lo tanto, proporcionan 45 una calidad de imagen de reconstrucción en 3D mejorada en todo el volumen de palé, y una reconstrucción mejorada sobre los subvolúmenes de palé más desafiantes, a costa de mayor complejidad del sistema y coste.

La realización de posición de fuente múltiple de esta invención ubica la fuente de rayos X a una altura fija para cada pasada de traslación, por ejemplo en cero, un tercio, dos tercios y la altura completa de las matrices de detectores 50 lineales en la pared trasera del túnel de exploración durante cada una de las cuatro pasadas de traslación. En realizaciones adicionales, puede realizarse cualquier número de pasadas de traslación en cada posición de fuente según se dicta mediante los requisitos de calidad de imagen reconstruida y restricciones operacionales. En la realización de exploración CT de fuente de movimiento de esta invención, la fuente de rayos X se traslada verticalmente a una velocidad conocida o con un perfil de movimiento conocido durante cada pasada de palé de 55 traslación por ejemplo entre cero y un cuarto, un cuarto y una mitad, una mitad y tres cuartos y tres cuartos y altura completa con respecto a las matrices de detectores lineales en la pared trasera del túnel de exploración durante cada una de las cuatro pasadas de traslación. Se entenderá que cualquier combinación de dos o más posiciones de fuente estáticas o la traslación de posición de fuente durante la traslación de palé entre cualquiera dos o más ubicaciones de fuente puede ser ventajosa y se consideran realizaciones de esta invención. Se entenderá también 60 que pueden usarse más de una fuente fija como una realización alternativa para elevar linealmente una única fuente y adquirir conjunto de datos en más de una ubicación de fuente.

Se entiende que las realizaciones de exploración de segmento horizontal, posición de fuente múltiple y CT de fuente en movimiento descritas anteriormente pueden aplicarse a todo o parte del volumen completo de un palé para 65 adquirir información de imágenes volumétrica en 3D según se requiera.

La Figura 9 es un diagrama de bloques que representa una interfaz de control de operador, adquisición de señal y datos, procesamiento de datos, subsistemas de reconstrucción y archivo de datos de una realización de la invención. Por ejemplo, el operador puede iniciar y controlar el proceso de exploración mostrado en la Figura 5 desde la estación de trabajo del operador 90. La estación de trabajo 90 puede constar de un panel de control especializado 91 que incluye funciones de inicio y parada, funciones de manipulación de imágenes para datos de imagen en 2D y 3D y luces de estado y alarma tal como indicadores de potencia de sistema, sistema listo y rayos X encendidos como se emplea habitualmente en la técnica y para cumplir con requisitos de seguridad y regulatorios. A continuación se describe en detalle un panel de control de operador 91 ilustrativo con respecto a la Figura 10.

La interfaz gráfica 92 mostrada en la Figura 9 puede constar de uno o más monitores de visualización que representan el estado de sistema y alarmas e imágenes manipuladas de acuerdo con funciones de visualización de imágenes para datos de imagen en 2D y 3D como es habitual en la técnica. El panel de control remoto adicional 93 también puede proporcionarse, como se muestra en las Figuras 9 y 11, proporcionando control local de ciertas funciones a un operador situado, por ejemplo, en el área de cinta transportadora de carga. Tal panel de control remoto 93 se analiza a continuación con respecto a la Figura 11.

La Figura 9 adicionalmente muestra la detección de señal, amplificación de señal analógica, multiplexación y arquitectura de conversión analógica a digital (ADC) de la Figura 1. Después de que se reciben los rayos X 3 como una señal analógica en las placas de detector 10, la señal puede pasar a través de amplificadores de señal y multiplexores 94 para amplificación y consolidación en un único flujo de datos. La señal puede digitalizarse a continuación usando placas de convertidor de analógico a digital (ADC) de interfaz de PCI Expres montadas en dos PC de adquisición de datos 95, 96 para soportar adquisición de datos a través de siete matrices de detectores de 1280 elementos 2a-2g a aproximadamente 166 Hz adecuadas para una velocidad de sistema de imágenes traslación de 20 cm/s. Se observa que sustancialmente pueden usarse tasas de adquisición de datos más rápidas o lentas dependiendo de la resolución espacial de formación de imágenes de transmisión en 2D y de imagen reconstruida en 3D y otros requisitos de formación de imágenes. Las señales recibidas desde las siete matrices de detectores 2a-2g pueden dividirse entre los dos PC de adquisición de datos 95, 96 para ayudar en el procesamiento de velocidades, con señales de tres matrices de detectores yendo a un PC y señales de las restantes cuatro matrices de detectores yendo al otro. Sin embargo, puede usarse cualquier configuración para procesar las señales.

Puede usarse un PC de visualización 97 adicional para proporcionar visualización de video de imágenes y para interactuar con la manipulación de imagen y funciones de control del panel de control de operador 91. El PC de visualización 97 puede conectarse a través de una interfaz de USB, conexión de Ethernet u otro medio adecuado al panel de control de operador 91 y a través de cualquier placa de video estándar y formato de salida de señal de video a los monitores de visualización que componen la interfaz gráfica 92. Los datos se transfieren al PC de visualización 97 a través de la red de Ethernet 98 desde cada uno de los PC de adquisición de datos 95, 96 y se transfieren adicionalmente a un PC de archivo de datos especializado 99 para almacenamiento a largo plazo.

Haciendo referencia a la Figura 9, un PC de reconstrucción 89 puede recibir también datos desde el PC de adquisición de datos 95, 96 a través de la Ethernet 98 y puede reconstruir esos conjuntos de datos en aproximadamente 1 a 60 segundos para cuatro pasadas de traslación, 1280 elementos detectores por matriz a una tasa de barrido lineal de 166 Hz. Tiempos de reconstrucción más lentos de hasta muchos minutos o decenas de minutos pueden ser aceptable en aplicaciones que requieren una calidad de imagen volumétrica alta y, por lo tanto, muchas pasadas de traslación o vistas. La reconstrucción volumétrica se implementa preferentemente en una arquitectura paralelizada para velocidad usando hardware de PC de placa de procesador gráfica comercialmente disponible como muchos cientos de procesadores en paralelo. El PC de reconstrucción 89 puede visualizar el conjunto de datos en 3D reconstruidos directamente a través de salida de placa de video a un monitor de visualización y el PC de reconstrucción 89 puede recibir órdenes de visualización de operador y de manipulación de imágenes desde el panel de control de operador 91 a través de comunicación por Ethernet desde el PC de visualización 97. Mientras se usa una red de Ethernet 98 para conectar los diversos ordenadores y componentes en esta realización, también pueden usarse otros medios adecuados para la transmisión de datos a través de estos diversos componentes.

Para reconstruir los conjuntos de datos recibidos desde el PC de adquisición de datos 95, 96, el PC de reconstrucción 90 puede incluir diversos programas de software.

La Figura 10 es una ilustración del panel de control de operador 91 de acuerdo con una realización de la invención. El panel de control de operador 91 proporciona diversas funciones y características para la operación y visualización de resultados para el sistema de tomografía computarizada. Por ejemplo, el panel de control de operador 91 controla la potencia de sistema 100 y proporciona una función de parada de emergencia de sistema 103 para interrumpir la operación del sistema para abordar cualquier problema que pueda surgir. El panel de control de operador 91 también puede controlar el movimiento de la plataforma de traslación y rotación 34. En una realización, como se muestra en la Figura 10, el panel de control de operador 91 incluye un botón izquierdo 104 que controla el movimiento hacia la izquierda de la plataforma de traslación y rotación 34. La presión inicial del botón izquierdo 104 ejecutará una primera pasada (S4) de la plataforma de traslación y rotación 34 a través de los haces de rayos X 3 como se describe con respecto a la Figura 6 anterior. Si el operador determina que se necesita una segunda

pasada, el operador puede presionar el botón derecho 105 para iniciar la rotación de la plataforma 34 y su movimiento hacia la derecha para completar de la segunda pasada (S6). El operador puede continuar usando los botones izquierdo y derecho 104, 105 tantas veces como sea necesario para conseguir la calidad de imagen de reconstrucción requerida para visualización. Si se ha recopilado suficiente información de imágenes, el operador también puede detener el sistema en cualquiera de las etapas anteriores usando el botón de parada 106.

El panel de control de operador 91 también permite que el operador visualice las imágenes reconstruidas a partir de las señales de rayos X 3 de modo que el operador puede localizar peligros potenciales, armas, artículos de contrabando u otros artículos de interés. Pueden incluirse diversos botones u otros medios para controlar funciones de ampliación 107 y brillo de imagen 108. Pueden incluirse características adicionales de ampliación para permitir que el operador amplíe un cuadrante particular de la imagen por rayos X. Por ejemplo, en esta realización, tales características de ampliación se incluyen como parte de un teclado alfanumérico 110, en el que los números 1 a 9 representan diferentes áreas de la pantalla que el operador puede ampliar usando esos botones. El panel de control de operador 91 puede adicionalmente incluir diversos modos de visualización 109 para habilitar que el operador visualice mejor las imágenes. Los modos de visualización 109 pueden incluir modos de color, orgánico, inorgánico, negro y blanco, negro y blanco invertidos, pseudo color y/o ecualización de histograma (imagen perfecta). También pueden incluirse modos de trazo de borde y alta penetración y pueden usarse en conjunto con otros modos de visualización.

El panel de control de operador 91 también puede proporcionar información de diagnóstico e información de rastreo con respecto a identificación de peligros. Puede incluirse un botón de diagnóstico 111 para permitir que el operador vea información de diagnóstico, incluyendo información de estado de software y hardware, en la interfaz de usuario gráfica 92. Operadores individuales pueden tener la capacidad de entrar/salir 112 de la operación de examen de sistema de tal forma que también pueden rastrearse estadísticas e información de operación con respecto a operadores individuales. Operadores individuales pueden usar el ajuste alfabético 113 del teclado alfanumérico 110 para introducir la información de acceso.

El panel de control de operador 91 también puede incluir un selector de vista rotatorio, multi posición o continuamente rotatorio, 101 para usar en el movimiento entre vistas visualizadas en modo de formación de imágenes de transmisión en 2D o rotación de datos de imagen en 3D alrededor de uno o más ejes. El panel de control 100 también puede incluir medios tal como un botón 102 o similar para provocar la visualización de vistas en modo de formación de imágenes de transmisión en 2D para "balancear" o rotar la perspectiva de vista visualizando secuencialmente vistas a diferentes ángulos de visión con una frecuencia de actualización fija o ajustable para proporcionar el efecto de movimiento de la imagen balanceándose o rotando en la pantalla. Tal visualización y vista de imágenes de transmisión en 2D puede incluir mover manualmente secuencialmente a través de vistas adquiridas desde más de 1 pasada o "balancear" o rotar automáticamente secuencialmente a través de vistas adquiridas desde más de una pasada usando corrección geométrica adecuada de cada vista, como se conoce en la técnica para vistas individuales, para proporcionar transiciones visuales óptimamente suaves entre vistas. En algunas realizaciones, puede proporcionarse una interfaz separada o panel de control para permitir manipulación y rotación de imágenes en 3D.

También pueden incluirse diversas funcionalidades adicionales en el panel de control de operador 91. El operador puede tener medios para imprimir 114 o guardar 115 capturas de pantalla de las imágenes visualizadas en la actualidad. El operador también puede ser capaz de recuperar imágenes anteriormente archivadas 116 y revisar imágenes vistas recientemente 117. El operador puede ser capaz de reiniciar todos los de modos de visualización de imágenes a sus ajustes iniciales 118. El panel de control 91 puede incluir luces indicadoras 120 que indican diversos estados del sistema. Por ejemplo, las luces indicadoras 120 pueden proporcionar información con respecto a si el sistema está encendido, si el ajuste alfabético 113 está activado, si el panel de control 91 se está comunicando con el PC de visualización 97 (véase, por ejemplo, el botón etiquetado Panel de Control de Operador Avanzado ("AOCP")) y si los rayos X están energizados. El panel de control 91 también puede incluir un panel táctil de ratón 121. En algunas realizaciones, el panel de control de operador 91 puede incluir una funcionalidad de botón sospechoso 122 que permite que el operador proporcione una respuesta a un peligro simulado incorporado en la imagen adquirida (es decir, que soporta capacidad de proyección de imagen de peligro estándar en la industria).

La Figura 11 es una ilustración del panel de control de operador remoto 93 de acuerdo con una realización de la invención. El panel de control remoto 93 puede proporcionar control de anulación manual 130 de sistemas de cinta transportadora y puertas e iniciación local 131 del proceso de exploración de la Figura 6. Por ejemplo, el panel de control remoto 93 puede permitir el control de la plataforma de traslación y rotación 34 y las cintas transportadoras de entrada y salida 31, 32 para mover la plataforma 34 y el palé 33 hacia delante 132, hacia atrás 133 o para devolver la plataforma de traslación y rotación 34 a su posición inicial 134 en las puertas de entrada de blindaje contra rayos X 35 y el palé 33 a las cintas transportadoras de entrada y salida 31, 32, mostradas en la Figura 4. El panel de control remoto 93 puede permitir el control de apertura y cierre de las puertas de blindaje contra rayos X 135, 136. La parada de emergencia de sistema 137 y funciones de reinicio también pueden proporcionarse junto con indicación de estado, tal como un indicador 138 que indican si el sistema está en modo de anulación automático o manual, y luces de alarma 139, que pueden indicar si se ha producido un fallo. En algunas realizaciones, el panel de control remoto 93 puede permitir que el operador ejecute pruebas 140 de diversos aspectos del sistema, incluyendo

probar la función de luz de alarma de rayos X activados y prueba de señal de alarma audible designada para señalar cuando los rayos X están activados.

La Figura 12 muestra imágenes de transmisión de rayos X adquiridas usando la realización ilustrada en las Figuras 1-4 después de una única pasada de traslación (S4) de un palé 33 desde la entrada hasta la salida del sistema en un ángulo fijo de las matrices de detectores 2a- 2g. Cada una de las siete imágenes 131-137 en la Figura 12 representa los datos de una única matriz de detectores 2a-2g, en la que la imagen 131 se adquiere desde la señal en la matriz de detectores 2a, la imagen 132 se adquiere desde la señal en la matriz de detectores 2b, la imagen 133 se adquiere desde la señal en la matriz de detectores 2c, etc. Por lo tanto, cada una de las imágenes se desplaza entre sí por un ángulo. La imagen 134, adquirida de la señal en la matriz de detectores 2d, proporciona una sección transversal vertical del palé 33 en un ángulo perpendicular a la dirección de traslación del palé 33. Cada una de las imágenes 131-137 puede estar en un formato de color como se muestra de tal forma que la codificación de color sigue las convenciones de normas de la industria para visualización de imágenes de transmisión de rayos X en las que el número atómico efectivo calculado de un píxel dado se representa como un color específico con materiales orgánicos visualizados en naranja, materiales inorgánicos visualizados en verde y metales visualizados en azul.

La Figura 13 muestra presentaciones de imágenes de datos de rayos X volumétricos reconstruidos adquiridos usando la realización ilustrada en las Figuras 1-4. Las perspectivas de visualización 141-147 similares a la Figura 12 se proporcionan para esta información de 3D y la imagen volumétrica reconstruida se obtiene a partir de cuatro pasadas del palé 33 en cuatro ángulos discretos de las matrices de detectores 2a-2g como se ha analizado anteriormente.

Para habilitar la reconstrucción de la imagen volumétrica en tres dimensiones que representa el palé o contenedor a partir de datos de barrido lineal, que se adquieren habitualmente con un periodo de adquisición de línea de datos constante, cada vista de proyección puede registrarse desplazándose a izquierda o derecha en el tiempo o colocando cada vista de proyección con respecto a la temporización relativa de la plataforma de traslación y rotación 34 que alcanza una posición de referencia fija durante traslación. En la realización actual, la posición de referencia fija se define como la posición del centro de rotación de la plataforma de traslación y rotación 34 cuando esta se alinea con el haz en abanico central 3d. Pueden usarse otras posiciones de referencia adecuadas. El registro se logra proporcionando una señal de temporización o posición exacta mejor que el periodo o desplazamiento de posición de una línea de adquisición de datos de barrido lineal desde el sistema de Controlador de Lógica Programable (PLC) 61 a la placa de ADC en el PC de adquisición de datos, haciendo referencia a las Figuras 9 y 12. La señal de temporización de PLC se obtiene a partir de una lectura de referencia de temporización o posición de la servo transmisión de sistema de traslación 53, como se conoce en la técnica. Puntos de referencia físicos fácilmente visibles en las imágenes de proyección y fijados a la plataforma de traslación y rotación 34, tal como pasadores de posicionamiento fiduciaros, pueden usarse para calibrar visualmente y verificar el registro. Las señales de temporización o posición pueden proporcionarse en una posición o tiempo de plataforma de traslación, tal como cuando el centro de rotación de la plataforma 34 alcanza un haz en abanico 3 dado, o en una pluralidad de posiciones que incluyen una señal de temporización o posición que corresponde a cada periodo de barrido lineal durante el intervalo completo de movimiento de la plataforma de traslación 34. También se observa que no necesita registrarse el conjunto de datos de proyección antes de la reconstrucción si se proporciona información de temporización o posición equivalente al proceso de reconstrucción y se logra registro espacial como parte del proceso de reconstrucción.

El muestreo de rayos X eficiente del contenido de palé se facilita mediante la novedosa geometría de la realización de la Figura 1 y las otras realizaciones descritas anteriormente. La geometría novedosa de la Figura 1 puede denominarse geometría de proyección de haz en cono (LSCB) muestreada de barrido lineal y las integrales de línea de rayos X muestreadas a través del palé 33 se agregan en  $p, n \times m$  conjuntos de datos de proyección adquiridos desde un detector de área virtual 150, como se muestra en la Figura 15, durante el movimiento lineal relativo 151 de la fuente 1. Se adquieren datos de barrido lineal desde un haz en abanico 3a (se usa haz en abanico 3a como un ejemplo para esta realización, pero el haz en abanico puede ser cualquiera de los haces en abanico 3a-3g) en un instante dado y el desplazamiento lineal relativo de la fuente proporciona adquisición del conjunto de datos de proyección en 2D completo  $p$ . La abertura de cono irradiada del detector de área virtual 150 en esta geometría de muestra es de aproximadamente  $40^\circ$  por  $65^\circ$  agregando todas las vistas; sin embargo se consigue un ahorro de sensores de detectores (es decir, elementos detectores) a través de colimación de haz en abanico de barrido lineal del flujo de cono de rayos X, combinada con el movimiento relativo especificado del volumen de palé y/o fuente.

A diferencia de métodos CT convencionales, LSCB plantea el muestreo radial incompleta del volumen de palé, aceptando el problema de reconstrucción matemáticamente mal planteado calculado en estas realizaciones mediante Subconjuntos Ordenados-Sustitutos Paraboloides Separables (OSSPS). Este método, en cada iteración, encuentra una función objetiva sustituta que, cuando se maximiza, garantiza la optimización del objetivo original; esto se hace para aliviar la complejidad de tratar con la función de objetivo original. En la realización de las Figuras 1 y 15, el volumen de palé, físicamente en movimiento, se muestrea simultáneamente como planos  $p$ , un plano para cada matriz de detectores de barrido lineal (vista). Cada plano  $p$  o detector de área virtual 150 es un sistema de estimación de flujo de rayos X independiente de haz paralelo de  $m$  filas, que muestrea la emisión no uniforme pero

normalizada desde el punto focal de rayos X 1 durante el movimiento relativo. De forma similar, una pluralidad de  $n$  muestras de líneas integrales se adquiere verticalmente a través de cada matriz de detectores 2a-2g. Un movimiento de volumen de palé relativo regular de 20 cm/s nominalmente y una tasa de datos de barrido lineal de matriz de detectores de 166 Hz nominalmente sitúa el plano P en posición para la muestra de  $m+1$ ésima fila  $y$ , por lo tanto, en paralelo,  $p \times m$  conjuntos de datos de proyección se adquieren muestreando el volumen de palé, donde  $p$  es siete como se proporciona en la realización de la Figura 1. La tasa de adquisición de datos de barrido lineal de 166 Hz puede proporcionar de 2 a 3 veces sobremuestreo para cada elemento de detector de las matrices de detectores de barrido lineal 2a-2g.

La Figura 14 muestra un diagrama de flujo que representa un método de reconstrucción de acuerdo con realizaciones de la invención. En una etapa de preprocesamiento (S20) anterior para la reconstrucción (S21), los datos de proyección desde espacio de geometría de detector con forma de L nativo descrito en la Figura 1 pueden proyectarse en una matriz de detectores virtual plana 160 para simplificar la implementación de método de reconstrucción y para eficiencia de velocidad y de cálculo de reconstrucción como se muestra en la Figura 16. El flujo de rayos X medido se correlaciona geográficamente con elementos discretos ( $m', n', p'$ ) en un plano computacional 160 de tal forma que la distribución de detectores lineal no uniforme 150 de la matriz de detectores física se convierte a una distribución de detectores lineal uniforme 160. Esta discretización en intervalos se logra para preservar un muestreo adecuado y proporcionar una estructura computacional. En una realización adicional, dadas las coordenadas de los detectores nativos proyectados al espacio virtual, puede construirse una función de interpolación para representar los datos como una combinación de funciones base definidas en una malla de soporte compacta en dos dimensiones tal como triángulos o cuadriláteros. Una vez que los datos se han interpolado en una distribución uniforme de elementos detectores virtuales 160, puede realizarse la reconstrucción. Elementos de magnificación integral de línea, ángulo de incidencia integral de línea, dispersión integral de línea de línea u otros factores geométricos se evalúan preferentemente, rastreados e incorporan en la reconstrucción correlacionando con el plano de detector virtual 160 de esta manera.

Para la reconstrucción (S21), realizaciones pueden emplear un método de reconstrucción iterativo estadístico que actualiza vóxeles simultáneamente. Se prefieren métodos de actualización simultánea debido a su escalabilidad y facilidad de implementación en un hardware de unidad de procesamiento gráfica (GPU); cada vóxel puede actualizarse mediante un único hilo de GPU. Incluso si el número de iteraciones necesarias para converger puede ser mayor que un método de actualización secuencial, implementaciones paralelizadas pueden reducir enormemente el tiempo de ejecución de cada iteración. Debido a la naturaleza estadística de la reconstrucción método, se supone un modelo para los datos y ruido de detector. La suposición más general que puede usarse es la de estadísticas de Poisson para protones de rayos X observados.

Los métodos de reconstrucción estadísticos pueden estimar los coeficientes de atenuación que maximizan la densidad condicional dado el conjunto de datos observados (una estimación de Máximo a Posteriori o de Probabilidad Penalizada). En una suposición previa uniforme, este problema de estimación puede reducirse a Probabilidad Máxima (ML) en la que la función de probabilidad, la probabilidad de adquisición de las mediciones dadas las estimadas de parámetro, se maximiza. Estos tipos de problemas de optimización no son simples de resolver, y en general no tienen soluciones de forma cerrada. Por lo tanto se prefieren métodos iterativos, y pueden usarse los métodos de Subconjuntos Ordenados Convexos (OSC) simplificado o el más completo de Subconjuntos Ordenados - Sustitutos Paraboloides Separables (OSSPS). Los métodos de reconstrucción se describen mediante la Ecuación 1 (OSC) y Ecuación 2 (OSSPS) a continuación y pueden dividirse en dos etapas: la proyección hacia delante (S22) y la retroproyección (S23) (etapa de actualización). Durante la reconstrucción (S21), OSSPS o OSC refina una distribución de atenuación de volumen de palé candidato mediante la comparación por etapas. Cada volumen se proyecta hacia delante (S22) para estimar el conjunto de proyección que generaría. Este subconjunto se compara con los datos medidos reales para cada la posición de proyección dada en el conjunto de datos de detector virtual. El término de diferencia se retroproyecta al espacio de imagen (S23) y escala apropiadamente para actualizar la estimada actual. Puede usarse un criterio de parada para terminar la iteración cuando se asegura la convergencia.

La proyección hacia delante (S22) puede implementarse en una base de rayo a rayo en la que el origen es la fuente 1 y el objetivo es un elemento de detector particular 173, como se muestra en la Figura 17. Un rayo dado se atenúa a medida que viaja a través del objeto desde la fuente 1 al elemento de detector dado 173 en la placa de detector 10. En algunas realizaciones, tal como el proyector accionado por distancia ilustrado en la Figura 17, la huella o sombra 171 que el vóxel 172 proyecta en el elemento de detector dado 173 determina las ponderaciones de contribución en el modelo lineal discretizado. Tal discretización es una aproximación de la línea integral de la distribución de coeficiente de atenuación a lo largo de un rayo y el resultado de la integración representa la absorción total. Esto puede usarse para calcular el número de fotones esperados detectados por el elemento de detector particular 173. En la ecuación 1 y 2, los valores de proyección hacia delante se usan tanto en el término de diferencia (numerador) y el término de escalado (denominador).

La etapa de retroproyección (S23) consiste en el uso de los datos medidos y los datos calculados de la proyección hacia delante (S22) para actualizar la estimada de imagen. Se encuentran rayos que intersectan el vóxel 172 para buscar los elementos detectores que contribuyen al vóxel particular 172. En el proyector accionado por distancia de

la realización de la Figura 17, se usa en su lugar la huella 170 del detector 173 en el espacio de volumen de imagen 174. La diferencia entre mediciones y proyecciones calculadas se retroproyecta usando la contribución de detector al vóxel 172 como la ponderación de retroproyección. La misma etapa de retroproyección (S23) se produce en el denominador. La diferencia de imagen se escala a continuación mediante un factor de normalización y añade a la estimada actual.

Además de la implementación paralelizada, el proceso de reconstrucción (S21) puede acelerarse usando un enfoque de conjuntos ordenados en la realización de la Figura 1. Con conjuntos ordenados, las proyecciones se particionan en subconjuntos; por lo tanto, se calcula una actualización usando únicamente los rayos en el conjunto actual en lugar de usar el conjunto de datos completo. Existen múltiples criterios que pueden usarse para ensamblar las particiones; por ejemplo, en estas realizaciones cada subconjunto se comprende de los datos para una única pasada, es decir, ángulo de rotación de palé, con siete planos de datos p para la realización de la Figura 1. Pueden usarse otros criterios de subconjunto para la optimización de calidad de imagen. Para una iteración dada, las actualizaciones de imagen pueden implementarse secuencialmente en un número de sub-iteraciones iguales al número de subconjuntos. El subconjunto actual se usará para actualizar la estimada de imagen que se usa como una estado de inicio para el siguiente subconjunto. La siguiente iteración comenzará después de que todos los subconjuntos se hayan procesado e incluido en una actualización. La imagen actualizada a partir del último subconjunto se usará como una estimada inicial para la siguiente iteración. El método puede continuar sus iteraciones hasta que se alcanza la convergencia. Un criterio de tal convergencia puede ser para cuando el error cuadrático medio entre dos estimadas de imagen consecutivas cae por debajo de un umbral. Otro criterio adecuado de parada puede ser parar cuando el mayor cambio de vóxel a través de estimadas de imagen consecutivas es lo suficientemente pequeño para ser visualmente imperceptible (por ejemplo unas pocas unidades Hounsfield).

La formación de imágenes y el proceso de reconstrucción puede también mejorarse incluyendo una etapa de regularización (S24). La regularización (S24) se ha usado en la técnica para aplicar características deseadas en la estimada de imagen, incluyendo la reducción de ruido y artefactos resultantes de datos limitados. Desde una perspectiva bayesiana, la regularización puede considerarse conocimiento anterior sobre la imagen que puede incorporarse a través de la estimación de Máximo a Posteriori. El método de OSSPS se ha obtenido a partir del objetivo de probabilidad penalizada y permite el uso de penalizaciones cuadráticas así como no cuadráticas. Las penalizaciones cuadráticas funcionan para suavizar la imagen intercambiando menos ruido para pérdida de contraste de objeto. Sin embargo, se prefieren penalizaciones no cuadráticas que preservan el borde por su capacidad para reducir el ruido mientras conserva un contraste alto en forma de bordes. En particular, el anterior de Huber puede aplicarse como el término de penalización, aunque pueden sustituirse otras funciones.

$$\mu_{s+1}^n(k) = \mu_s^n(k) + \mu_s^n(k) \frac{\sum_{i \in S(s)} l_{ik} (b_i e^{-\langle l_i, \mu_s^n \rangle} - Y_i)}{\sum_{i \in S(s)} l_{ik} \langle l_i, \mu_s^n \rangle b_i e^{-\langle l_i, \mu_s^n \rangle}}$$

Ecuación 1: fórmula de actualización para OSC.

$\langle l_i, \mu_s^n \rangle$  Modelo de adquisición discretizado

$b_i e^{-\langle l_i, \mu_s^n \rangle}$  Número de fotones esperados

$Y_i$  Número de fotones medidos

$l_{ik}$  Ponderaciones de contribución

$\mu_s^n(k)$  Distribución de coeficientes de atenuación en iteración n, sub-iteración s y vóxel k

$$\mu_{s+1}^n(k) = \mu_s^n(k) + \frac{|S| \sum_{i \in S(s)} l_{ik} (b_i e^{-\langle l_i, \mu_s^n \rangle} - Y_i) - \beta \sum_i w_{ki} \psi(\mu_s^n(k) - \mu_s^n(j))}{|S| \sum_{i \in S(s)} l_{ik} \gamma_i c_i(\langle l_i, \mu_s^n \rangle) - 2\beta \sum_i w_{ki} \omega_\psi(\mu_s^n(k) - \mu_s^n(j))}$$

Ecuación 2: fórmula de actualización para OSSPS con términos de regularización.

$\beta \sum_i w_{ki} \psi(\mu_s^n(k) - \mu_s^n(j))$  Término de regularización de numerador

$c_i(\langle l_i, \mu_s^n \rangle)$  Función de curvatura

$\gamma_i$  Proyección de una imagen de unas

$\sum_i w_{ki} \omega_\psi(\mu_s^n(k) - \mu_s^n(j))$  Término de regularización de denominador

$\omega_{ki}$  Función de entorno

$\omega_\psi(t) = \psi(t)/t$  Función de derivada de la penalización

Además del método de reconstrucción descrito en las realizaciones anteriores, la reconstrucción volumétrica de los conjuntos de datos adquiridos de las realizaciones descritas en este documento también puede lograrse a través del desarrollo de una variedad de otros métodos de reconstrucción única/analítica o iterativos conocidos por los expertos en la materia. Sin embargo, la técnica anterior no proporciona en la actualidad el beneficio de la reconstrucción de ángulo de haz en cono grande adecuado para examinar efectiva y eficientemente todo el volumen, o una parte sustancial de todo el volumen, de un palé como se describe. Sin embargo, muchas variantes de ambos de estos métodos de reconstrucción genéricos están disponibles y pueden ser adecuados para el desarrollo y uso con las realizaciones descritas. Estos métodos y variantes se incorporan por lo tanto mediante referencia.

Métodos iterativos incluyen Retroproyección Iterativa (IBP) general, Técnica de Reconstrucción Algebraica (ART), ART Simultánea (SART), Técnica de Reconstrucción Iterativa Simultánea (SIRT), SIRT de Subconjuntos Ordenados (OS-SIRT), Técnica de Reconstrucción Algebraica Multiplicativa (MART), Maximización-Expectación de Probabilidad Máxima (ML-EM), Maximización-Expectación de Subconjuntos Ordenados (OS-EM), Algoritmo Convexo de Subconjuntos Ordenados (OSC), Descenso de Coordenadas Iterativo (ICD), ICD de Subconjuntos Ordenados (OS-ICD) y Reconstrucción Iterativa Basada en Modelos (MBIR).

Como se ha mencionado anteriormente, métodos de reconstrucción única o analítica pueden ser adecuados para y desarrollarse para las realizaciones descritas en este documento. Sin embargo, el método de Retroproyección Filtrada (FBP) se conoce por estar limitado en el rendimiento de formación de imágenes cuando se intenta con conjuntos de datos incompletos, es decir un número de vistas y/o detectores limitados como se detalla por el criterio de Nyquist aplicado a la transformada de Radon, resultando en artefactos de imagen inaceptables y/o ruido de imagen inaceptable. Esto convierte al método de FBP, que es computacionalmente eficiente de otra manera, subóptimo para las realizaciones de esta invención en la mayoría de los casos. De manera similar, cuando se intenta reconstrucción volumétrica con un ángulo de haz en cono de moderado a grande, significando una divergencia angular de una geometría de adquisición coplanar en la que la fuente o fuentes y elemento o elementos detectores se encuentran en un plano, el rendimiento de formación de imágenes volumétrico de Retroproyección Filtrada se descompone fuera del plano. Como una regla general, los datos fuera del plano pueden reconstruirse adecuadamente únicamente a través de un ángulo de haz en cono bajo caracterizado en la técnica como alrededor de ocho a quince grados o menos desde el plano horizontal. En contraste, los métodos de reconstrucción iterativa implementados en las realizaciones anteriores pueden proporcionar un rendimiento de formación de imágenes volumétrico adecuado para las realizaciones descritas con ángulos de haz en cono que exceden de 20, 30, 40, 50, 60, 70 u 80 grados desde el plano horizontal, habilitando de este modo la inspección y análisis rentables, eficientes y exactos de un palé. Adicionalmente, la reconstrucción iterativa, que se ha vuelto menos costosa de implementar como resultado de avances recientes en plataformas de PC y GPU de bajo coste, opera más robustamente con conjuntos de datos que constan de números de vistas bajos y proporciona resultados de formación de imágenes volumétrica mejorada con artefactos de imagen reducidos.

Mientras los métodos de reconstrucción anteriores se describen con respecto a la realización de las Figuras 1 a 4, se entenderá que el método puede aplicarse por los expertos en la materia a las realizaciones descritas anteriormente.

Mientras la presente invención se ha descrito en conexión con ciertas realizaciones ilustrativas, debe apreciarse que la invención no se limita a las realizaciones divulgadas, sino que en su lugar pretende cubrir diversas modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, aunque algunas de las realizaciones anteriores describen el uso del sistema de tomografía computarizada con carga en palés, otros contenedores tal como contenedores de Elemento Unitario de Carga (ULD) de aeronaves, equipaje facturado y equipaje de mano también pueden usarse con realizaciones de la invención actual, tal como haciendo modificaciones a la fuente de rayos X, el tamaño del túnel y/o matrices de detectores para acomodar el correspondiente tamaño del contenedor de ULD, equipaje facturado o equipaje de mano. De manera similar, la geometría de muestreo de objeto objetivo altamente eficiente de detector también puede usarse en aplicaciones más allá de seguridad y examen e inspección de aduanas, por ejemplo en pruebas no destructivas y formación de imágenes de maquinaria o otros productos o materiales en los que se inspeccionan objetos de gran escala, conjuntos de objetos o materiales a granel.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de imágenes para la formación de imágenes de contenidos, componentes o composición de carga o contenedores transportados, comprendiendo el sistema:

5 una fuente de rayos X o rayos gamma (1) que tiene un punto focal de fuente (11) y que se configura para emitir un haz (3), siendo el haz (3) un haz de rayos X o rayos gamma, respectivamente, y que cubre un ángulo vertical; un túnel (20) que tiene una pluralidad de detectores (10), dispuestos en matrices lineales espaciadas separadas horizontalmente (2a-2g), en el que cada matriz lineal (2a-2g) se configura para recibir, respectivamente, una  
 10 porción (3a-3g) del haz (3), teniendo cada porción (3a-3g) forma de abanico y configurándose para cubrir el ángulo vertical del haz, en el que las matrices lineales (2a-2g) se separan por un ángulo horizontal ( $\alpha$ ) entre aproximadamente 3 hasta aproximadamente 15 grados alrededor de un eje verticalmente a través del punto focal de fuente (11);  
 15 una plataforma trasladable y rotatoria (34) configurada para soportar carga o un contenedor transportado (33) y para moverse a través del túnel (20) de modo que la carga o el contenedor transportado (33) cruza las porciones (3a-3g) del haz (3) recibido por las matrices lineales (2a-2g) cuando la fuente de rayos X o rayos gamma (1) está emitiendo el haz (3),  
 en el que la plataforma (34) se configura para rotar de modo que la plataforma (34) es trasladable horizontalmente a través del túnel (20) en múltiples ángulos,  
 20 en el que, cuando la fuente (1) está emitiendo el haz (3) y la plataforma (34) está soportando carga o un contenedor transportado (33), la plataforma (34) se configura para trasladar (S4) la carga o el contenedor transportado (33) completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) recibido por las matrices lineales (2a-2g) en un primer ángulo, y para trasladar (S6) la carga o el contenedor transportado (33) completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) recibido por las matrices lineales (2a-2g) en un segundo ángulo; y  
 25 un ordenador (95, 96, 89) configurado para recibir datos de barrido lineal desde cada una de las matrices lineales (2a-2g) de la pluralidad de detectores (10), en el que los datos de barrido lineal corresponden a información recopilada por las matrices lineales (2a-2g) de las porciones (3a-3g) del haz (3) cuando la carga o el contenedor transportado (33) se está trasladando (S4, S6) completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) en el primer ángulo y en el segundo ángulo,  
 30 en el que el ordenador (89) se configura para reconstruir un modelo volumétrico en tres dimensiones de la carga o el contenedor transportado (33) procesando los datos de barrido lineal de las matrices lineales (2a-2g) recibidas cuando la carga o el contenedor transportado (33) se traslada (S4) completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) en el primer ángulo y procesando los datos de barrido lineal de las matrices lineales (2a-2g) recibidas cuando la carga o el contenedor transportado (33) se traslada (S6) completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) en el segundo ángulo.

2. El sistema de imágenes de la reivindicación 1, comprendiendo además una interfaz gráfica (92) configurada para visualizar el modelo volumétrico en tres dimensiones o información (141-147) obtenida a partir del modelo volumétrico en tres dimensiones.

3. El sistema de imágenes de la reivindicación 1 o 2, en el que la fuente (1) es una fuente de rayos X y el haz (3) es un haz de rayos X.

4. El sistema de imágenes de la reivindicación 1 o 2, en el que la pluralidad de detectores (10) comprende hasta aproximadamente 30 matrices de detectores (2a-2g).

5. El sistema de imágenes de la reivindicación 1 o 2, en el que la pluralidad de detectores (10) comprende de 3 a 9 matrices de detectores (2a-2g).

6. El sistema de imágenes de la reivindicación 1 o 2, en el que la fuente (1) se configura para emitir el haz (3) con un ángulo de haz en cono vertical que es lo suficientemente amplio para cubrir verticalmente la carga o el contenedor transportado (33) cuando la carga o el contenedor trasladado (33) se traslada completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) en el primer ángulo y el segundo ángulo.

7. El sistema de imágenes de la reivindicación 6, en el que el ángulo de haz en cono vertical está en un intervalo de aproximadamente 20 a aproximadamente 80 grados de la horizontal.

8. El sistema de imágenes de la reivindicación 1 o 2, en el que las porciones con forma de abanico (3a-3g) del haz (3) se espacian horizontalmente igualmente.

9. El sistema de imágenes de la reivindicación 1 o 2, en el que las porciones con forma de abanico (3a-3g) del haz (3) no se espacian horizontalmente igualmente.

10. El sistema de imágenes de la reivindicación 9, en el que las matrices de detectores (2a-2g) se espacian progresivamente para acomodar un mayor número de matrices.

11. El sistema de imágenes de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el intervalo angular total ( $\beta$ ) en el que se extienden las matrices lineales (2a-2g) está entre aproximadamente 10 y aproximadamente 180 grados.

12. Un método de formación de imágenes de contenidos, componentes y/o composición de carga o contenedores transportados (33) mediante un sistema de imágenes que comprende una fuente de rayos X o rayos gamma (1) que tiene un punto focal de fuente (11), un túnel (20) que comprende una pluralidad de detectores (10), en el que la pluralidad de detectores (10) se disponen en matrices lineales espaciadas separadas horizontalmente (2a-2g), en el que las matrices lineales (2a-2g) se separan por un ángulo horizontal ( $\alpha$ ) entre aproximadamente 3 hasta aproximadamente 15 grados alrededor de un eje verticalmente a través del punto focal de fuente (11), una plataforma trasladable y rotatoria (34) configurada para soportar carga o un contenedor transportado (33), un ordenador (89, 95, 96) y una interfaz gráfica (92), comprendiendo el método:

cargar (S3) carga o un contenedor transportado (33) en la plataforma (34);  
emitir un haz (3) desde la fuente (1), siendo el haz (3) un haz de rayos X o rayos gamma, y que cubre un ángulo vertical, respectivamente;  
recibir una porción (3a-3g) del haz (3) en cada una de las matrices lineales (2a-2g), teniendo cada porción (3a-3g) forma de abanico y cubriendo el ángulo vertical del haz (3);  
mover la plataforma (34) a través del túnel (20) de modo que la carga o el contenedor transportado (33) se traslada completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) recibido por las matrices lineales (2a-2g);  
trasladar (S4) la carga o el contenedor transportado (33) completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) recibido por las matrices lineales (2a-2g) en un primer ángulo cuando la fuente (1) está emitiendo el haz (3) y la plataforma (34) está soportando carga o el contenedor transportado (33);  
rotar (S5) la plataforma (34) de modo que la plataforma es trasladable a través del túnel en un segundo ángulo;  
trasladar (S6) la carga o el contenedor transportado (33) completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) recibido por las matrices lineales (2a-2g) en el segundo ángulo cuando la fuente (1) está emitiendo el haz (3) y la plataforma (34) está soportando carga o el contenedor transportado (33);  
recopilar información de las porciones (3a-3g) del haz (3) recibido por las matrices lineales (2a-2g) cuando la carga o el contenedor transportado (33) se está trasladando (S4, S6) completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) en el primer ángulo y el segundo ángulo, perteneciendo la información a la carga o el contenedor transportado (33);  
recibir datos de barrido lineal en el ordenador (89, 95, 96) desde cada una de las matrices lineales (2a-2g), en el que los datos de barrido lineal corresponden a la información recopilada de las porciones (3a-3g) del haz (3) cuando la carga o el contenedor transportado (33) se está trasladando (S4, S6) completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) en el primer ángulo y el segundo ángulo;  
reconstruir un modelo volumétrico en tres dimensiones procesando los datos de barrido lineal recibidos desde las matrices lineales (2a-2g) cuando la carga o el contenedor transportado (33) se traslada (S4) completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) en el primer ángulo y procesando los datos de barrido lineal de las matrices lineales (2a-2g) recibidas cuando la carga o el contenedor transportado (33) se traslada (S6) completamente a través de las porciones (3a-3g) del haz (3) en el segundo ángulo.

13. El método de la reivindicación 12, en el que las porciones con forma de abanico (3a-3g) del haz (3) se espacian horizontalmente igualmente.

14. El método de la reivindicación 12, en el que las porciones con forma de abanico (3a-3g) del haz (3) no se espacian horizontalmente igualmente.

15. El método de la reivindicación 14, en el que las matrices de detectores (2a-2g) se espacian progresivamente para acomodar un mayor número de matrices.

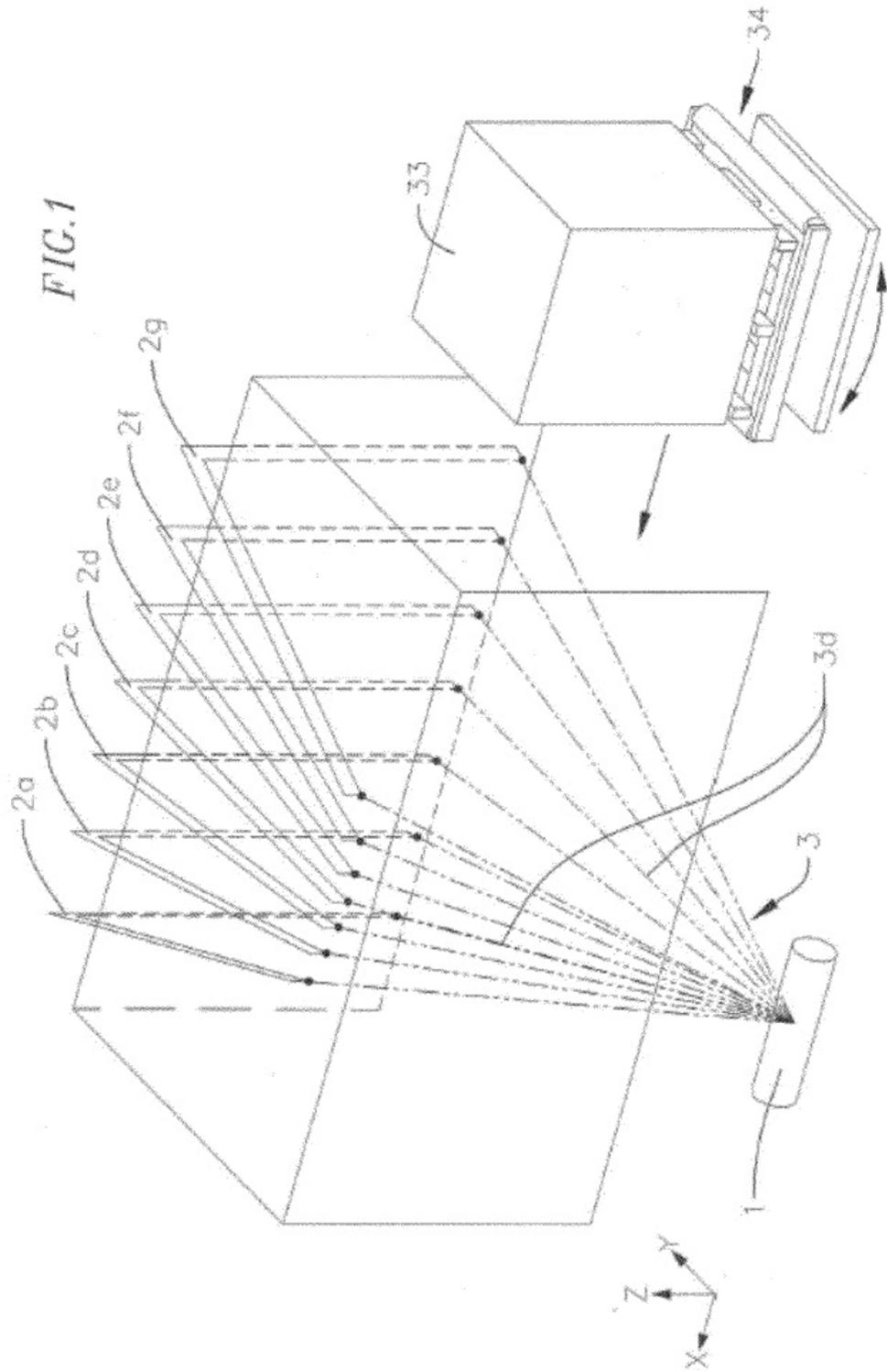
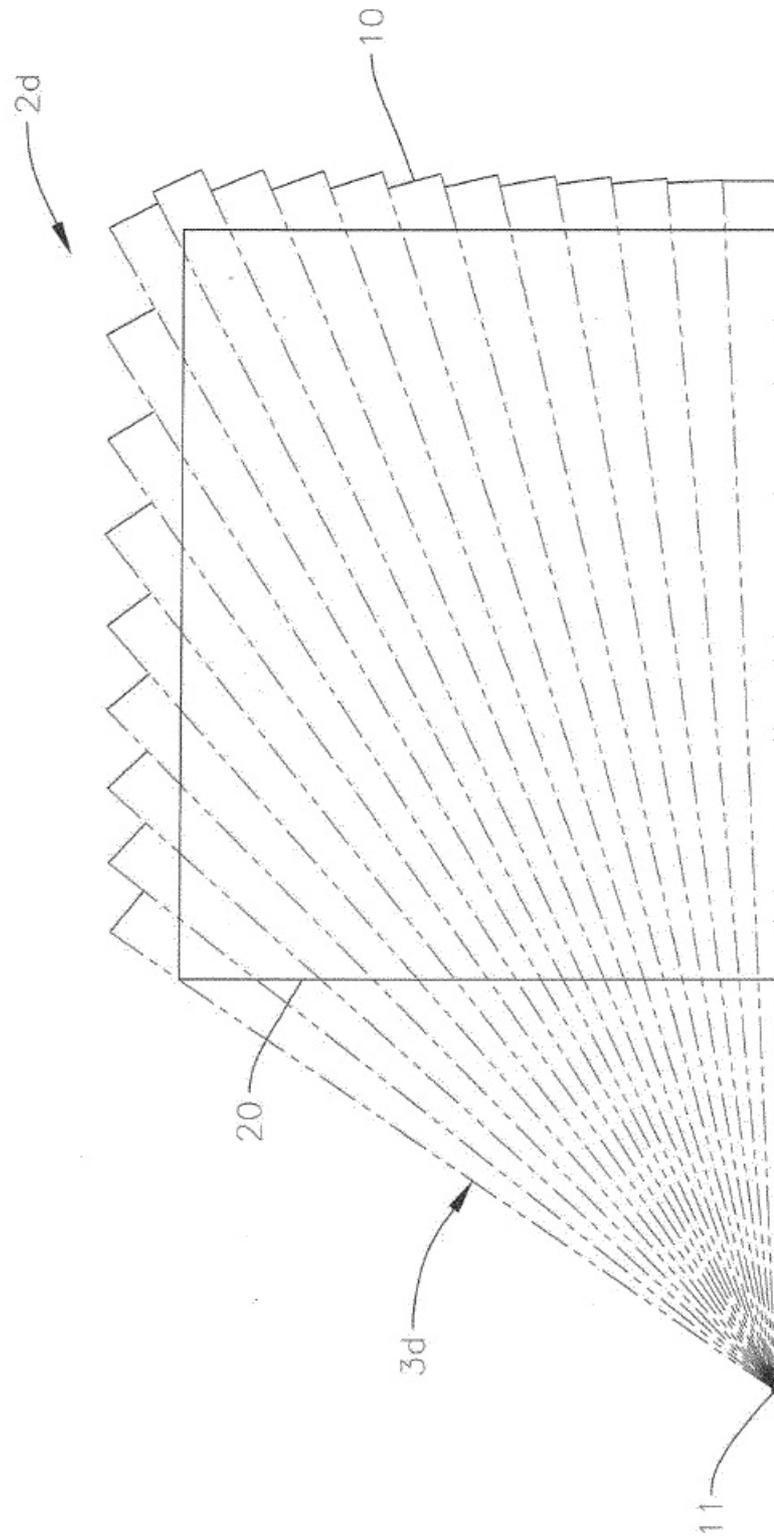
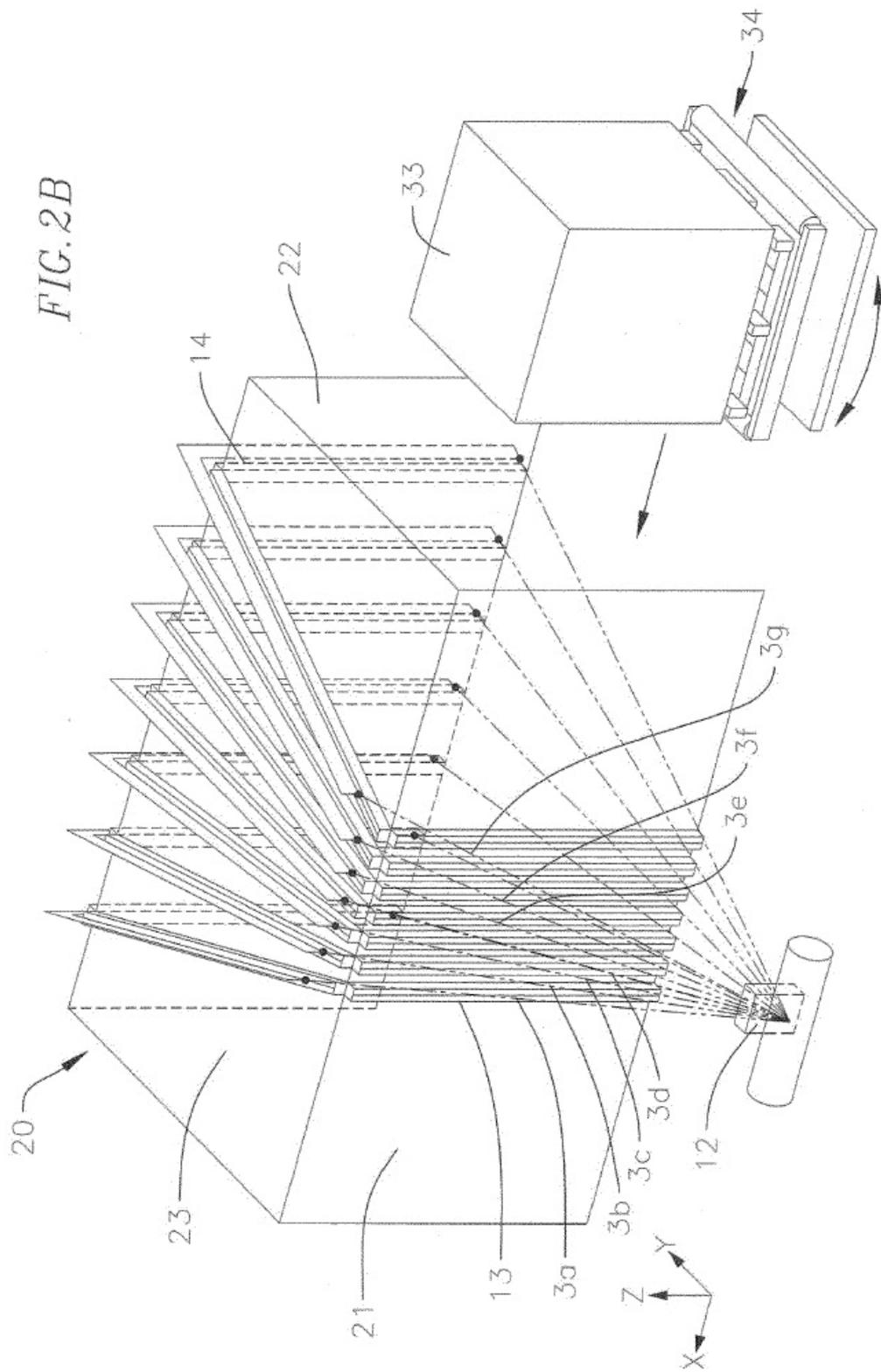


FIG. 2A





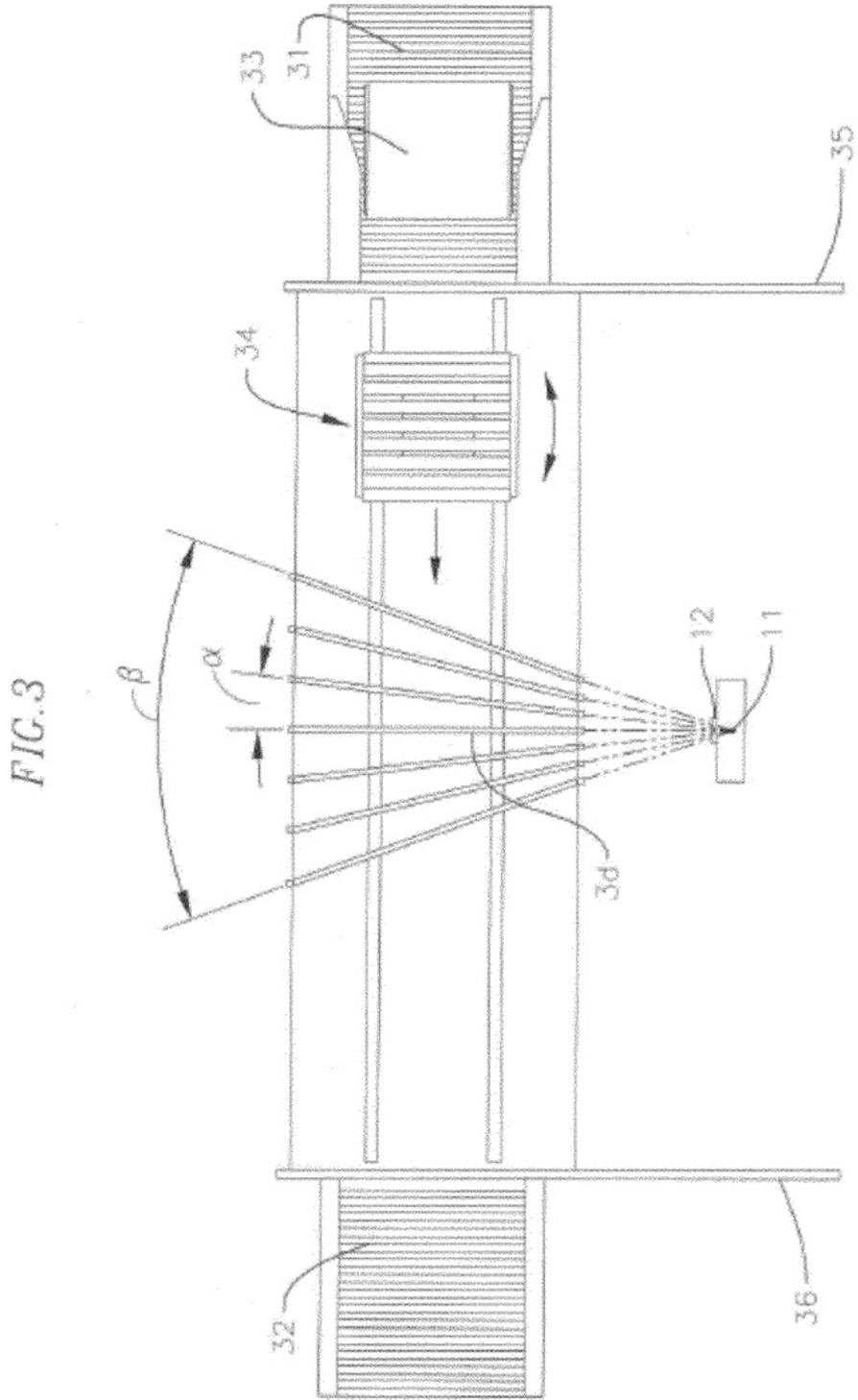


FIG. 4

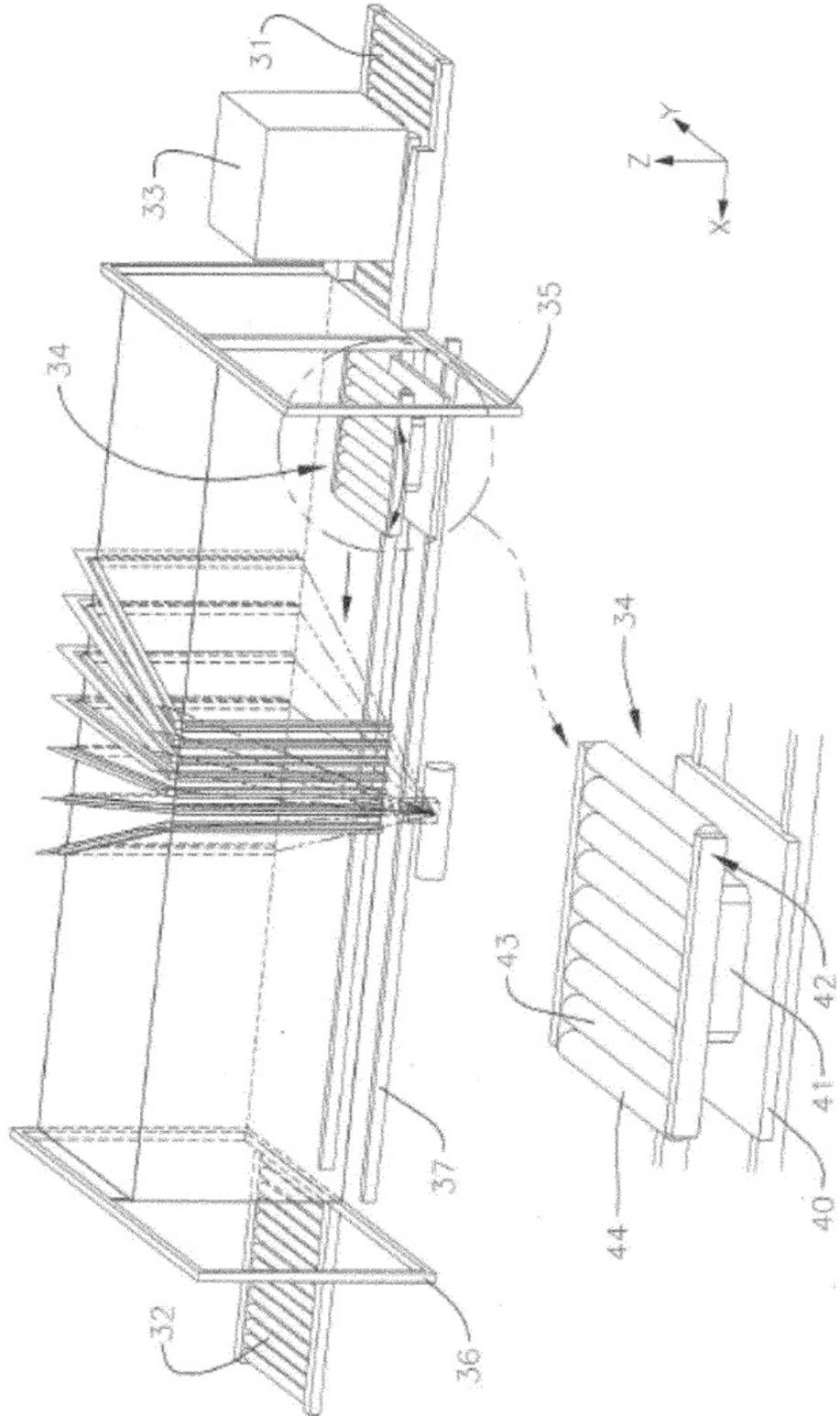


FIG.5

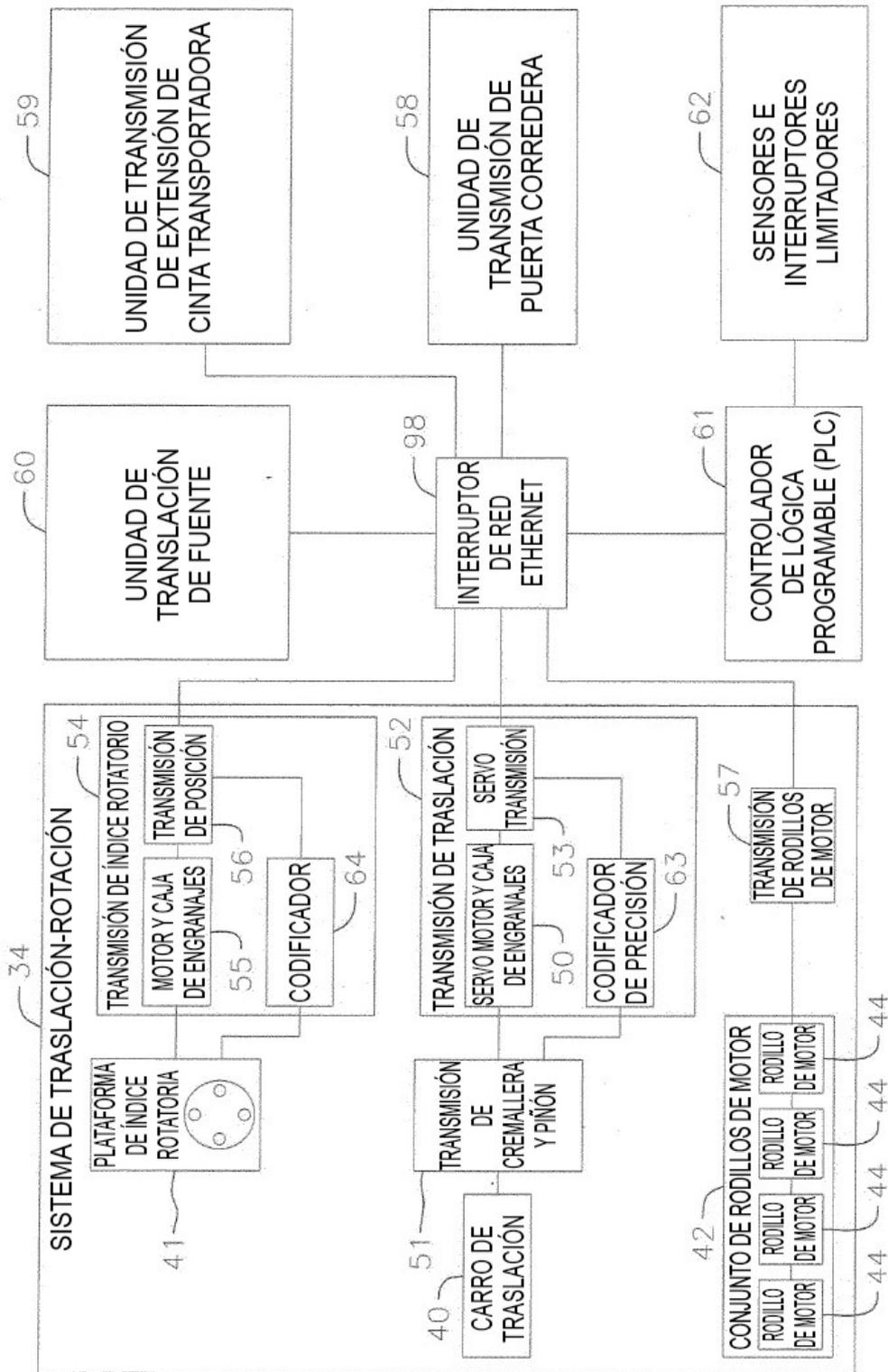
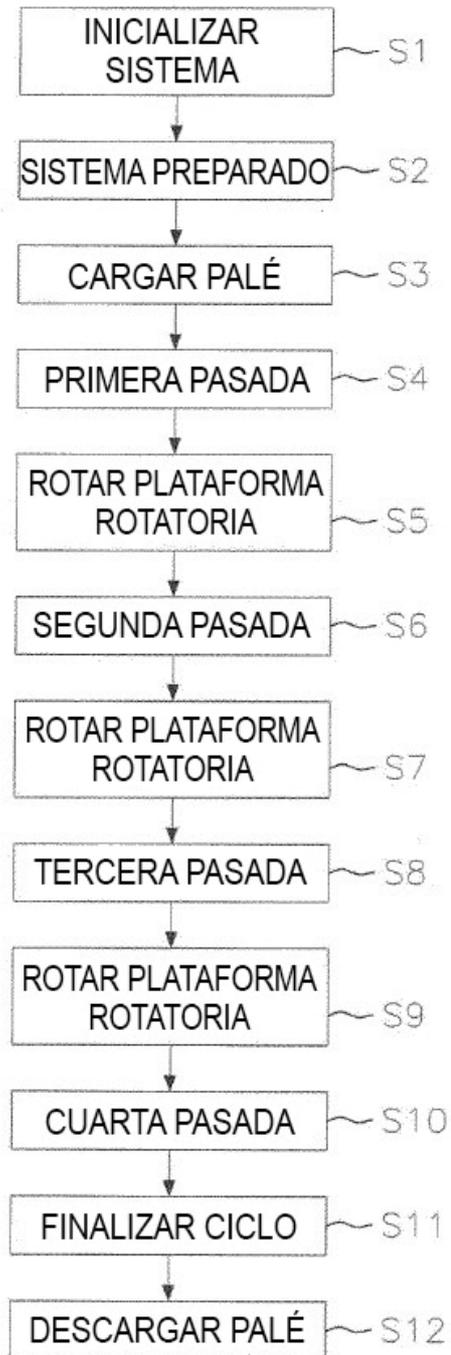
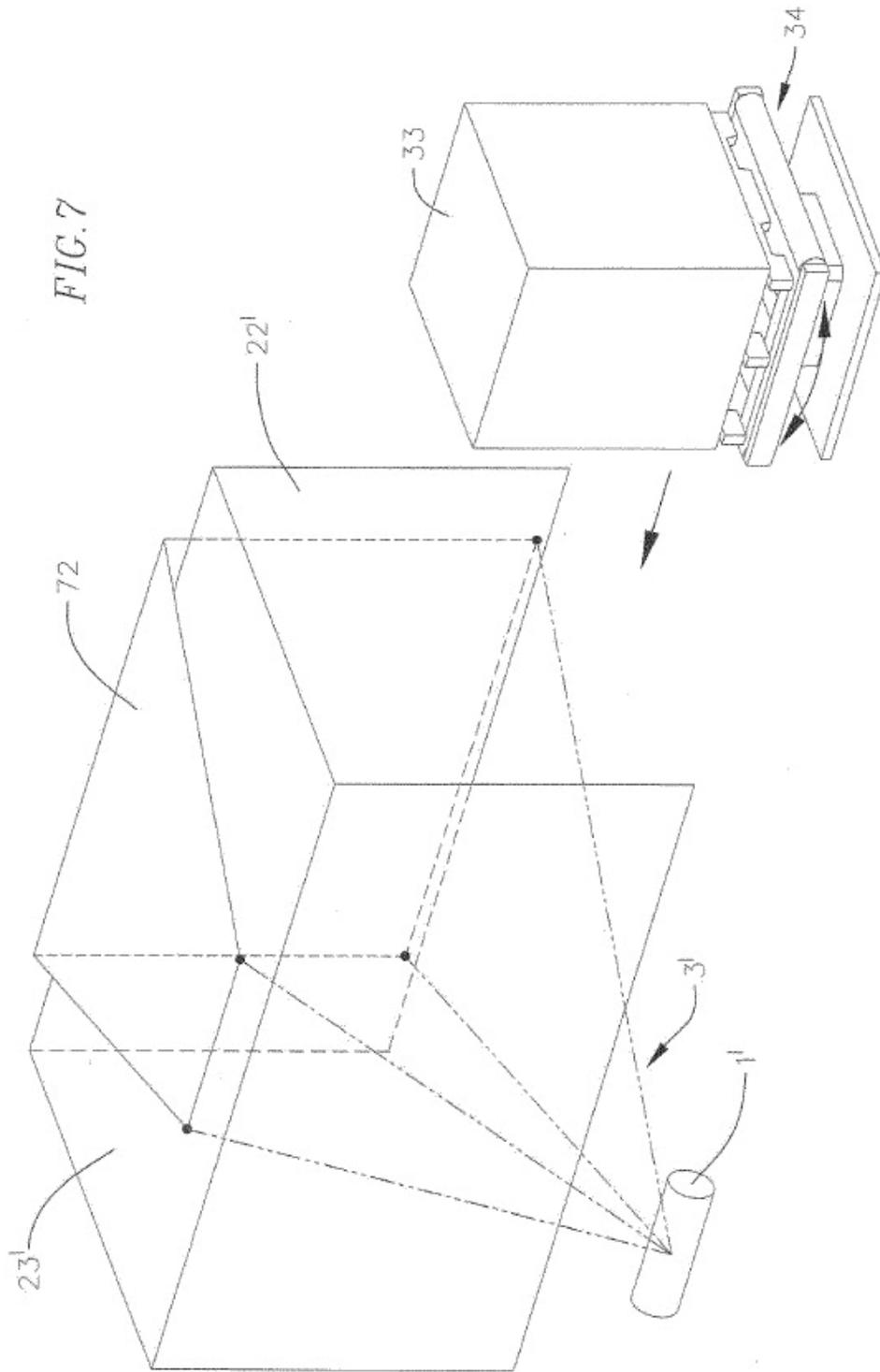


FIG.6





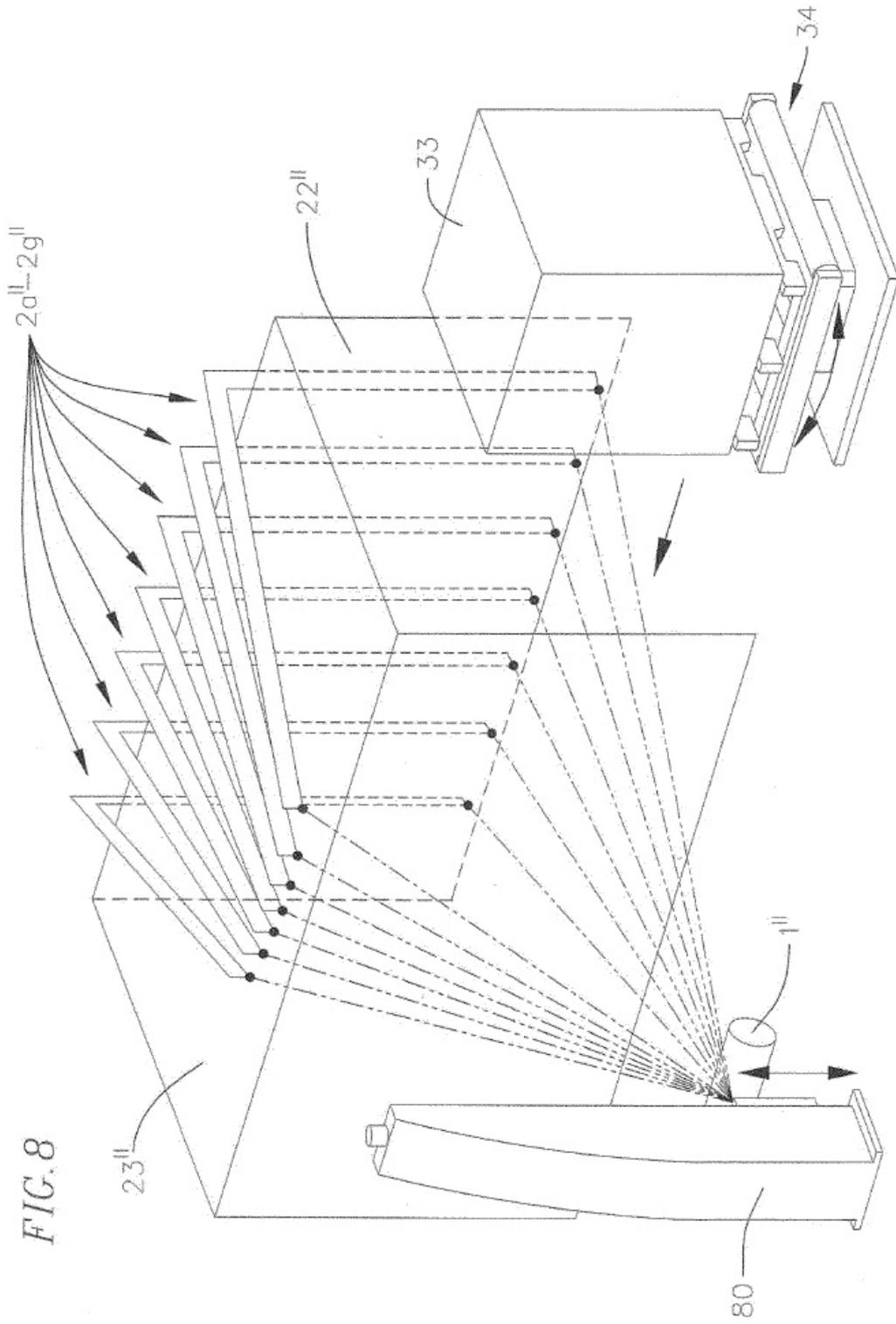
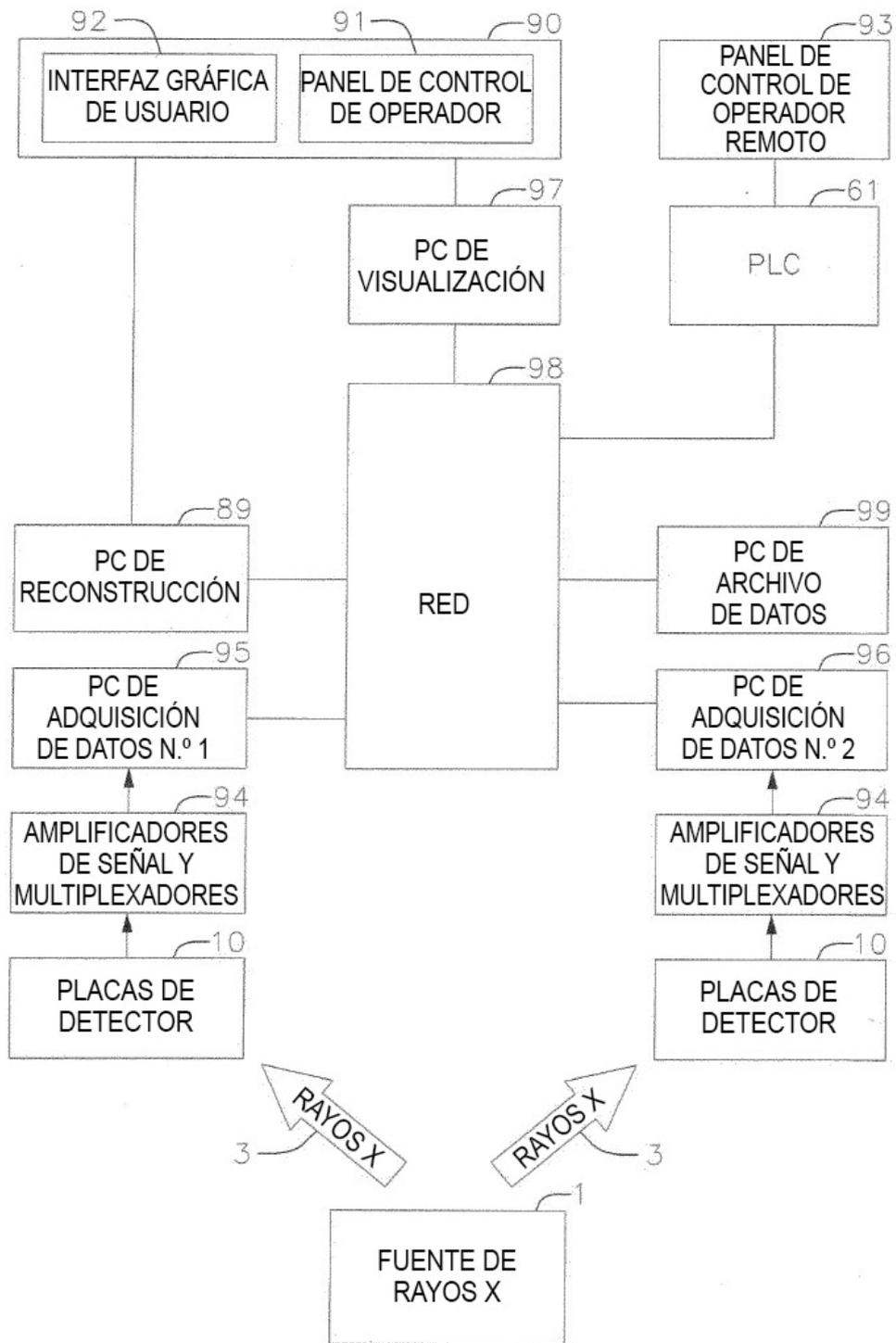
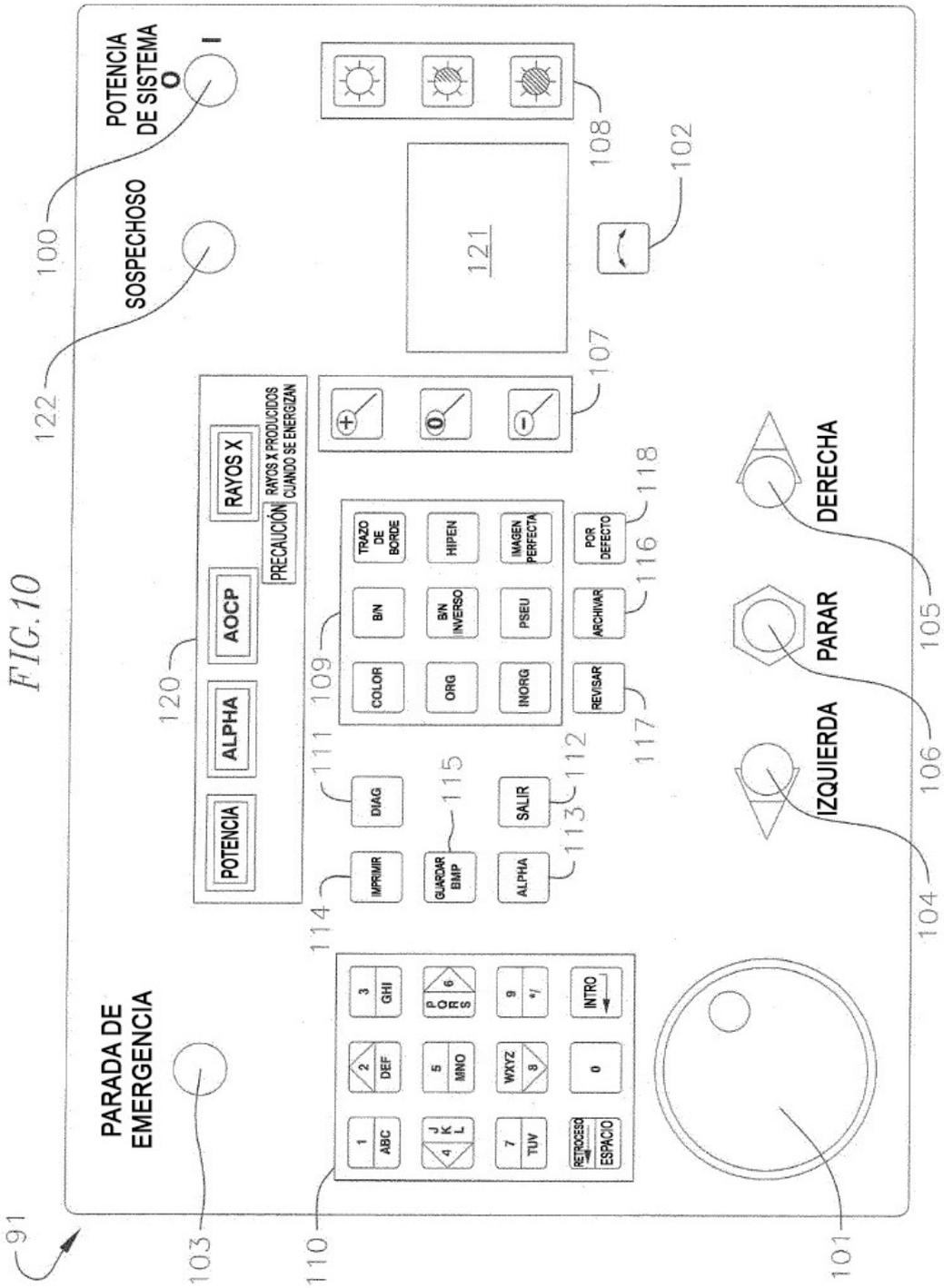


FIG. 9





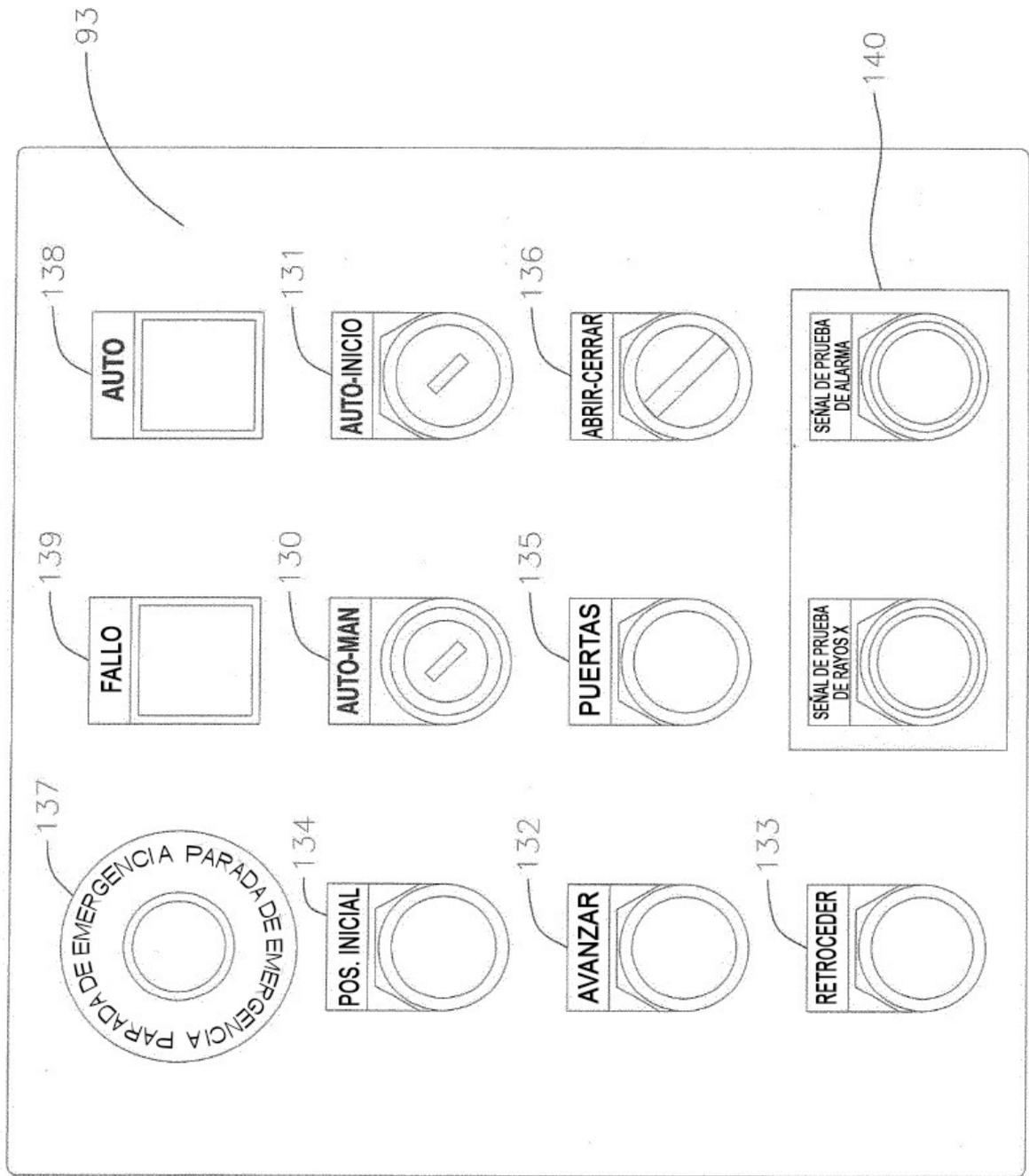


FIG. 11

FIG.12

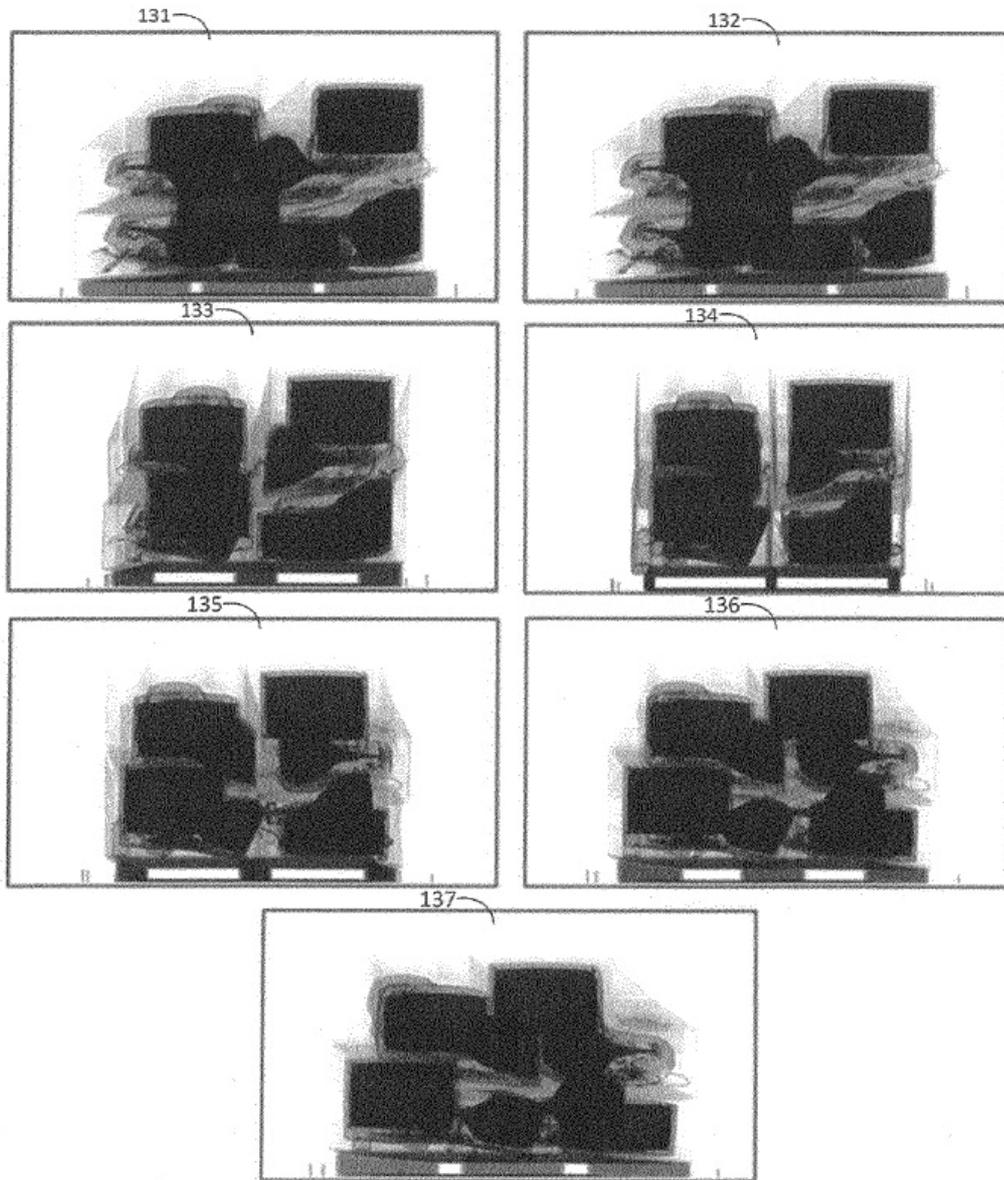


FIG.13

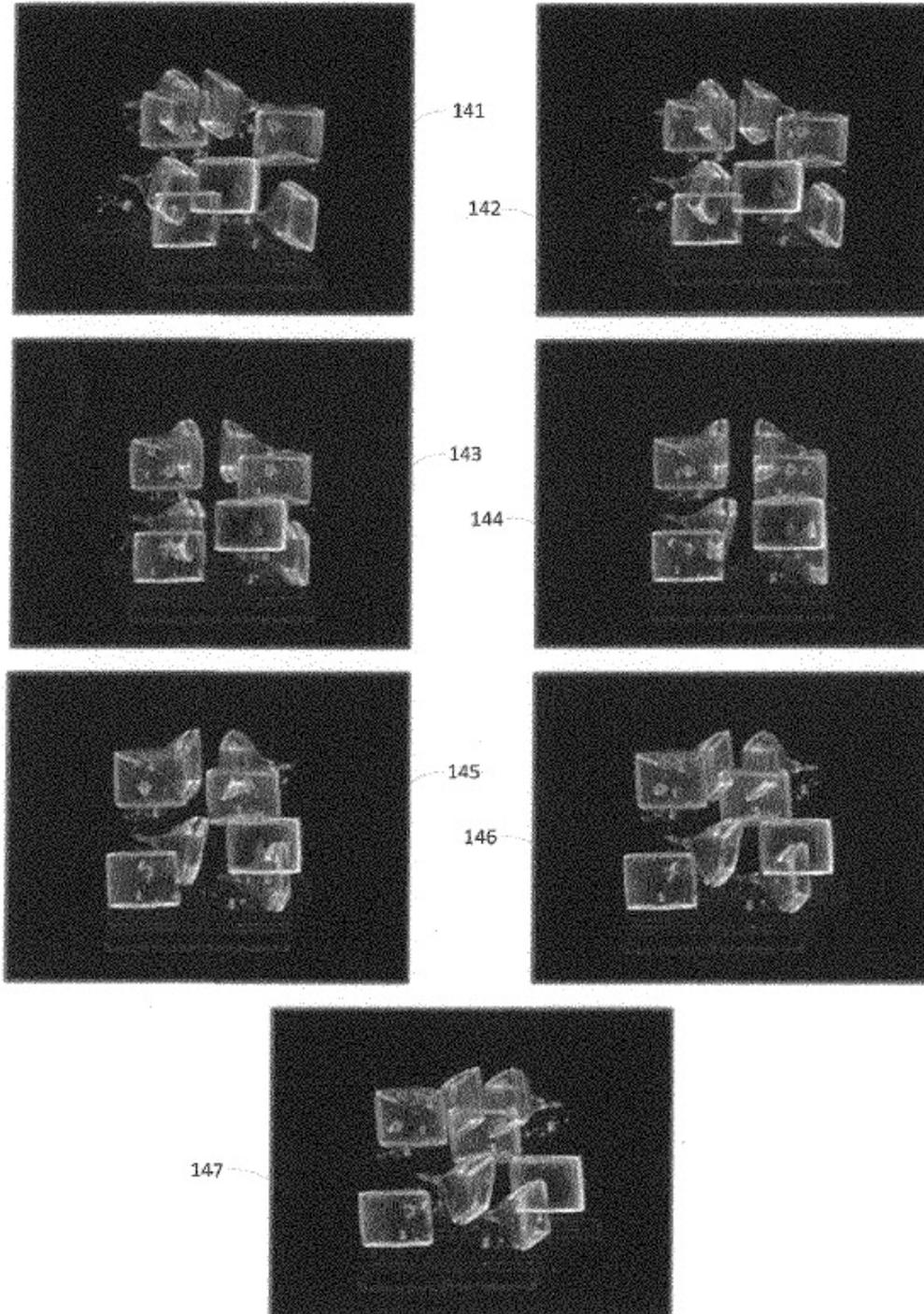


FIG.14

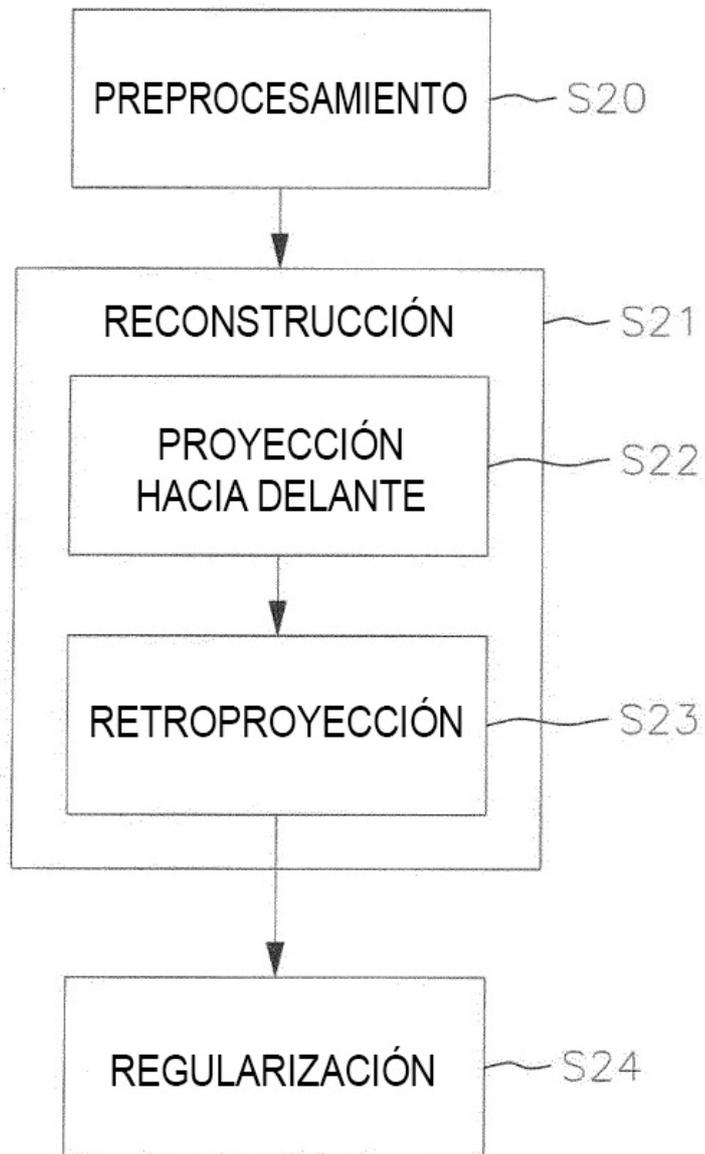
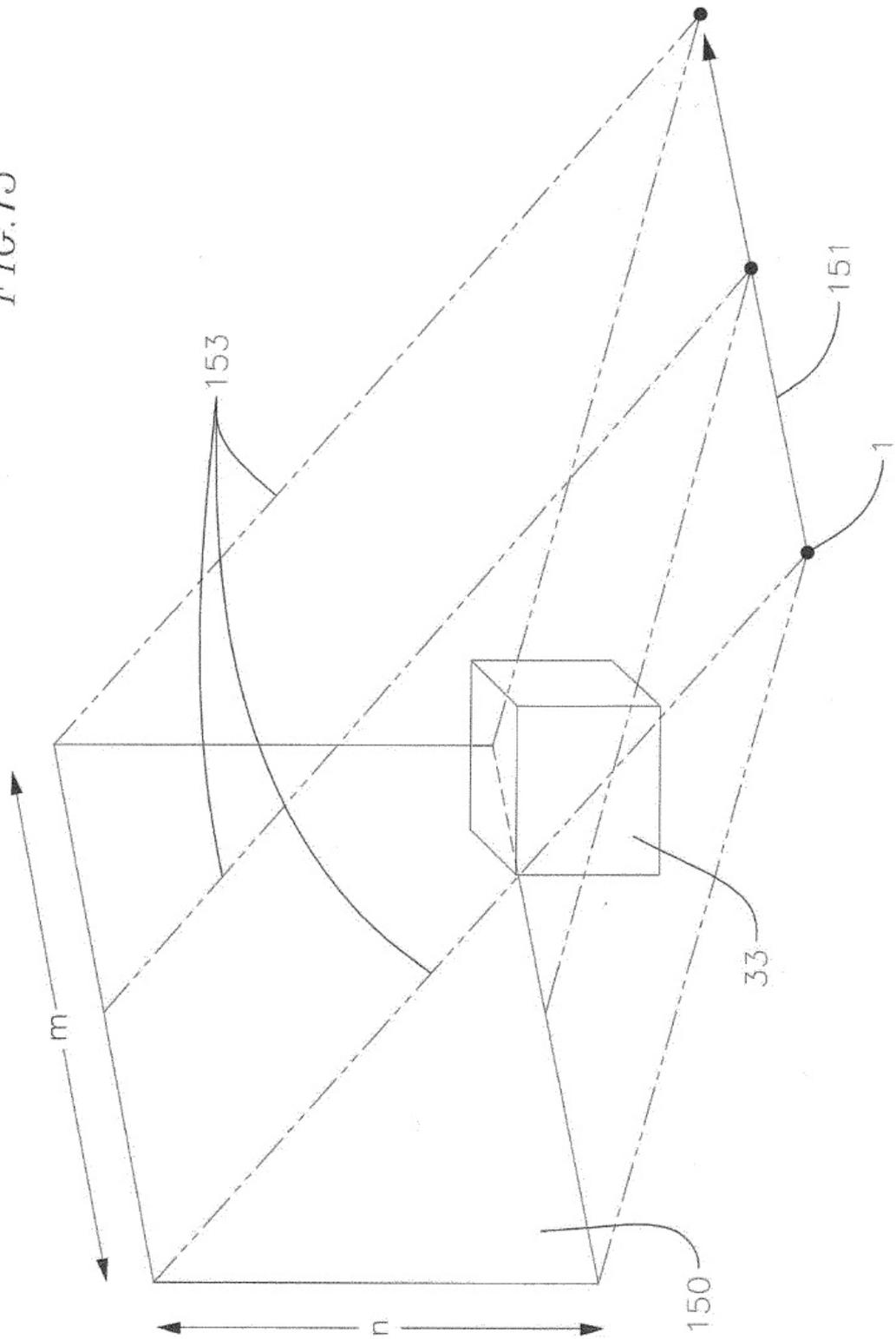


FIG.15



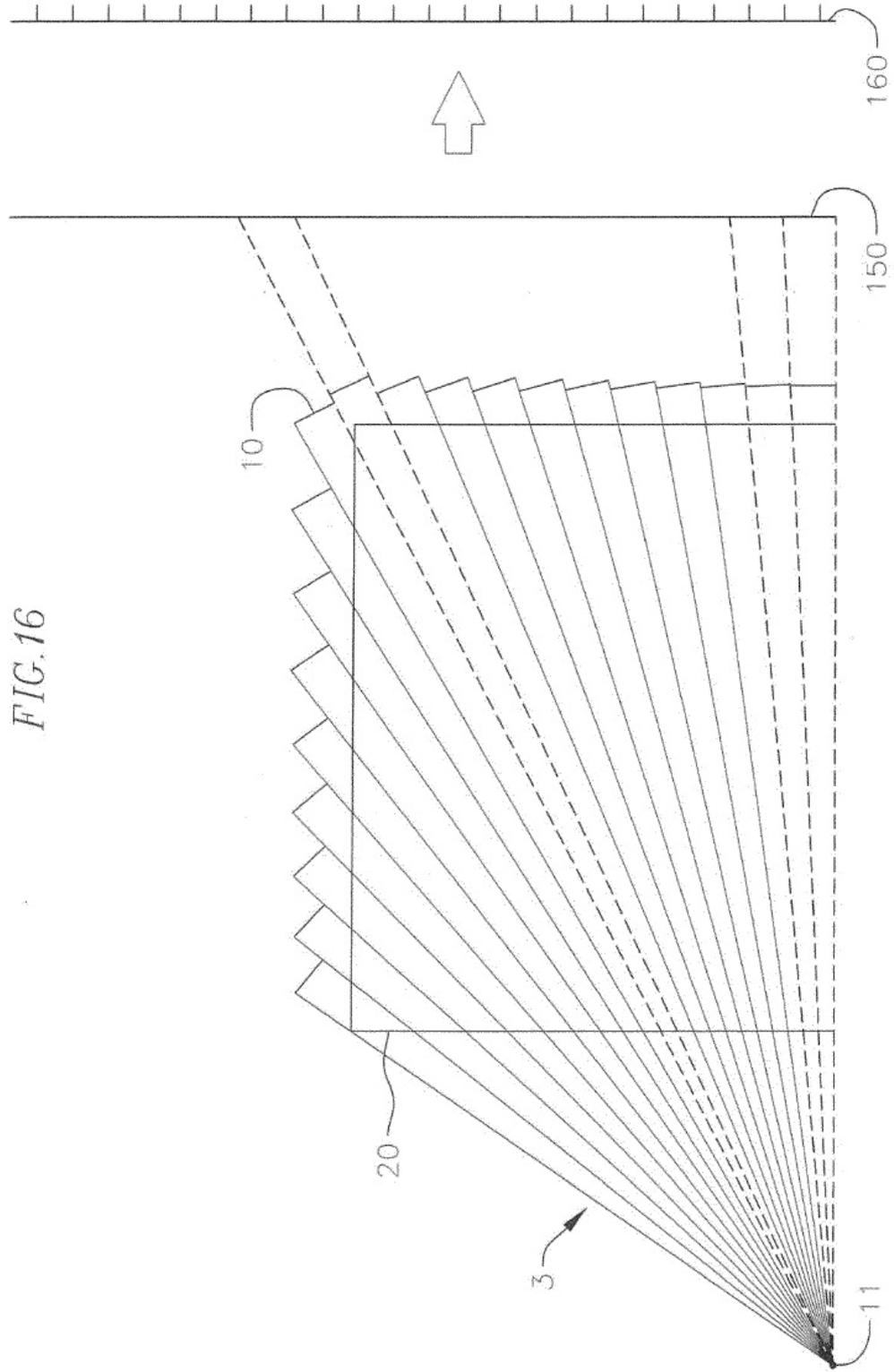


FIG. 16

