

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 880 930**

51 Int. Cl.:

G01N 23/04 (2008.01)

G01V 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.06.2017** **PCT/US2017/037344**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.12.2017** **WO17218599**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.06.2017** **E 17813977 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.04.2021** **EP 3469342**

54 Título: **Integración de escáneres de inspección para el procesamiento y escaneo eficaces de contenedores de carga en un puerto**

30 Prioridad:

13.06.2016 US 201662349647 P

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

26.11.2021

73 Titular/es:

DECISION SCIENCES INTERNATIONAL CORPORATION (100.0%)
12345 First American Way, Suite 130
Poway, California 92064, US

72 Inventor/es:

GALLAGHER, BRIAN;
SOSSONG, MICHAEL JAMES;
SALTUS, MARK y
WHALEN, ROBERT

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 880 930 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

Integración de escáneres de inspección para el procesamiento y escaneo eficaces de contenedores de carga en un puerto

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

[0001] Este documento de patente reivindica los beneficios y la prioridad de la solicitud de patente provisional de EE. UU. n.º 62/349.647, presentada el 13 de junio de 2016.

Campo técnico

[0002] Este documento de patente se refiere a la inspección de objetos, cargas, vehículos, contenedores y otros para el control de seguridad y portales u otras aplicaciones.

Antecedentes

[0003] El envío por medio de contenedores por buques o barcos constituye una parte significativa del flujo de mercancías para el comercio y otros propósitos. Las terminales de contenedores en los puertos proporcionan una interfaz entre los barcos y el transporte terrestre de los contenedores y es esencial manejar los contenedores entrantes y salientes en un puerto de manera eficaz y rápida. Las terminales de contenedores modernas usan diversas máquinas y vehículos para manejar contenedores en relación con funcionamientos o procesos de terminal de contenedores, incluyendo, por ejemplo, funcionamientos de barco para descargar contenedores desde un barco o cargar contenedores en un barco, funcionamientos de astillero que involucran el almacenamiento o la recuperación de contenedores en el área de depósito y funcionamientos de interior que involucran el manejo y la gestión de contenedores asociados con transportes terrestres tales como camiones o trenes y otros funcionamientos.

[0004] La inspección de contenedores entrantes en un puerto es un proceso crítico para la seguridad y el cumplimiento de las regulaciones gubernamentales en el envío de mercancías. Sin embargo, dicha inspección puede causar demoras no deseadas en el manejo de los contenedores entrantes para su distribución por transporte terrestre.

[0005] El documento US 2011/027059 A1 divulga un sistema de almacenamiento y distribución en el puerto para facilitar la transferencia y/o el almacenamiento de contenedores de envío internacional entre los buques portacontenedores y los vehículos de transporte terrestre en el que se proporciona una estructura reticular de recorrido guía aérea que permite que las unidades de transferencia aérea se acoplen a y transporten contenedores selectivamente como se requiera entre los diversos barcos, vehículos y el área de almacenamiento sin requerir múltiples transferencias de contenedores entre diferentes equipos de manejo. El sistema proporciona el escaneo de contenedores y está totalmente automatizado o parcialmente controlado manualmente.

[0006] El documento US 2015/241593 A1 divulga técnicas, sistemas y dispositivos para construir una relación de dispersión y detención de partículas cargadas de rayos cósmicos (incluyendo electrones de rayos cósmicos y/o muones de rayos cósmicos) sobre una gama de materiales de baja masa atómica, y para detectar e identificar el contenido de un volumen de interés (VOI) expuesto a partículas cargadas de rayos cósmicos en base a la relación construida de dispersión y detención. En un aspecto, se divulga un proceso para construir una relación de dispersión-detención para una gama de materiales de baja densidad expuestos a partículas cargadas de rayos cósmicos. Esta técnica determina primero un parámetro de dispersión y un parámetro de detención para cada material dentro de la gama de materiales de baja densidad expuestos a partículas cargadas de rayos cósmicos. A continuación, la técnica establece una relación de dispersión-detención de partículas cargadas de rayos cósmicos para la gama de materiales de baja densidad en base a los pares determinados de parámetros de dispersión y detención asociados con la gama de materiales de baja densidad.

Breve explicación

[0007] Este documento de patente divulga una tecnología en relación con sistemas, dispositivos y procedimientos para integrar un mecanismo de escaneo de contenedores como parte del proceso de manejo para procesar contenedores en los apilamientos del área de depósito antes de entregar los contenedores para su distribución por transporte terrestre.

[0008] Los sistemas de escaneo implementados se pueden implementar en diversas configuraciones para minimizar los costes de sistema y de instalación del sistema al tiempo que permiten un flujo de contenedores sin obstáculos a través del puerto, desde la descarga de un barco hasta la salida en un camión o tren a través de la puerta principal del puerto. Los puertos grandes, tales como los de Singapur, Rotterdam o Norfolk, manejan millones de contenedores por año (Rotterdam maneja 3,3 millones de Unidades Equivalentes a Veinte

pies, TEU, anualmente), lo que representa una tasa de tránsito promedio de varios contenedores por minuto, y una tasa mucho más alta en las horas punta. Pueden requerir varios sistemas capaces de escanear simultáneamente múltiples contenedores. Los puertos más pequeños pueden necesitar menos sistemas, o más pequeños, para seguir el ritmo del flujo de tráfico.

[0009] El procedimiento de implementación basado en la tecnología divulgada coloca los sistemas de escaneo en el punto donde, después de que las grúas automatizadas de los barcos hayan descargado el contenedor del buque y lo hayan depositado en un vehículo guiado automatizado (AGV), el AGV lo deposita para ser recogido por grúas de área de depósito automatizadas para apilar en apilamientos de área de depósito, a la espera de ser recogido por camiones o trenes. Los tiempos de tránsito de las grúas de área de depósito desde la recogida hasta el apilado y el regreso para la siguiente recogida son generalmente de entre uno y unos pocos minutos, lo que se adapta a los tiempos de escaneo típicos de los sistemas de escaneo.

[0010] Al implementar la tecnología divulgada, se puede configurar una terminal de contenedores para realizar el escaneo de contenedores como parte del procesamiento de contenedores entrantes de un barco en un puerto e incluye un área de atraque que incluye grúas de barco que pueden funcionar para descargar contenedores de un barco; y un área de depósito de apilado que incluye apilamientos de área de depósito en localizaciones de apilado designadas. Cada apilamiento de área de depósito incluye un primer extremo más cercano al barco y al menos una grúa de área de depósito para recibir contenedores del barco, al menos una grúa de área de depósito para manejar los contenedores que se depositan en el primer extremo y un segundo extremo más alejado del barco para enviar contenedores para transporte grupal. La terminal de contenedores incluye escáneres de contenedores distribuidos en los apilamientos de área de depósito. Cada escáner de contenedores está localizado en el primer extremo de cada apilamiento de área de depósito más cercano al barco, cada escáner de contenedores está configurado para escanear cada contenedor que se deposita en el apilamiento de área de depósito antes de colocar los contenedores escaneados en otra parte del apilamiento de área de depósito para su envío terrestre, y cada escáner de contenedores está configurado para obtener información sobre el contenedor escaneado que indica si el contenedor contiene uno o más regiones u objetos sospechosos. En esta terminal de contenedores, una unidad de procesamiento de señales está acoplada de manera comunicable a los escáneres de contenedores. La unidad de procesamiento de señales incluye una memoria configurada para almacenar datos e instrucciones, y al menos un procesador, en la que las instrucciones, cuando se ejecutan, hacen que el al menos un procesador proporcione información para cada contenedor escaneado para autorización para su envío terrestre, en la que la información proporcionada incluye un número de identificación, el manifiesto del contenedor e información del escaneo que indica si el contenedor escaneado contiene uno o más regiones u objetos sospechosos.

[0011] Al implementar la tecnología divulgada, se puede usar un procedimiento para escanear contenedores como parte del procesamiento de contenedores entrantes desde un barco en una terminal de contenedores de un puerto. Este procedimiento puede incluir la descarga de contenedores de un barco en un extremo de un apilamiento de área de depósito más cercano al barco; obtener información sobre cada contenedor, incluyendo el número de identificación del contenedor y el manifiesto del contenedor; antes de colocar un contenedor en el apilamiento de área de depósito para su envío terrestre, hacer funcionar un escáner de contenedores en el extremo del apilamiento de área de depósito más cercano al barco para escanear el contenedor y obtener información sobre el contenedor escaneado para indicar si el contenedor contiene uno o más regiones u objetos sospechosos; al finalizar el escaneo, colocar el contenedor escaneado en el apilamiento de área de depósito para almacenarlo para su posterior envío terrestre o en un camión o tren para su envío terrestre inmediato; y proporcionar información del contenedor escaneado para obtener autorización para su envío terrestre. La información proporcionada incluye el número de identificación del contenedor, el manifiesto del contenedor y la información del escaneo que indica si el contenedor escaneado contiene uno o más regiones u objetos sospechosos.

[0012] Al implementar la tecnología divulgada, se puede usar un procedimiento para permitir el escaneo de los contenedores de envío que transitan por un puerto en busca de material de amenaza o material de contrabando sin ralentizar el flujo de contenedores a través del puerto, desde el barco hasta la salida por tierra o hacia un barco en el caso de transbordo. Este procedimiento puede incluir, por ejemplo, trasladar un contenedor que llega en un vehículo guiado automatizado (AGV) desde un barco a al menos un sistema de escaneo, en el que el al menos un sistema de escaneo está localizado en el extremo de un apilamiento de área de depósito de contenedores más cercano a un muelle; recibir una identificación del contenedor y, si está disponible, un manifiesto del contenedor; escanear el contenedor para analizar el contenido del contenedor en busca de la presencia de material de amenaza o material de contrabando; enviar un paquete de datos integrados a una instalación de seguridad o aduanas remota, y trasladar el contenedor fuera del sistema de escaneo para su recogida por una grúa de área de depósito. El paquete de datos integrados incluye: (a) la identificación del contenedor, (b) el manifiesto del contenedor, (c) datos sin procesar relacionados con el contenido del contenedor o imágenes procesadas del contenido del contenedor; (d) evaluación del contenido del contenedor en términos de la presencia de material de amenaza potencial o materiales de contrabando, o (e) una señal clara o señal de alerta sobre la cual las aduanas o seguridad pueden actuar.

[0013] Los rasgos característicos anteriores y sus implementaciones se describen en detalle en los dibujos, la descripción y las reivindicaciones. En particular, la invención trata de un procedimiento para escanear contenedores como parte del procesamiento de contenedores entrantes desde un barco en una terminal de contenedores de un puerto, como se define en la reivindicación 1, y una terminal de contenedores correspondiente como se define en la reivindicación 13.

Breve descripción de los dibujos

[0014]

La FIG. 1 muestra un ejemplo del diseño general de una terminal de contenedores en un puerto moderno.

La FIG. 2 muestra esquemáticamente un ejemplo de una terminal portuaria de contenedores equipada con sistemas de escaneo implementados para escanear cada contenedor sin impedir el flujo de tráfico en base a la tecnología divulgada.

La FIG. 3A ilustra un ejemplo de un sistema de escáner de tomografía de muones para el control de portales y otras aplicaciones de inspección que utilizan muones producidos por rayos cósmicos para obtener imágenes de un objeto.

La FIG. 3B ilustra una vista lateral de un sistema de escáner de tomografía de muones que utiliza muones producidos por rayos cósmicos para detectar un objeto.

La FIG. 4 ilustra una vista en perspectiva detallada de un sistema de escáner de tomografía de muones.

La FIG. 5 ilustra una vista en sección transversal de parte de un módulo de tubo de deriva configurado para detectar partículas cargadas de rayos cósmicos y rayos gamma de acuerdo con un modo de realización;

Las FIGS. 6 y 7 ilustran, respectivamente, datos de intervalos experimentales típicos y resultados teóricos de dispersión de Coulomb múltiple de medir 1000 cm² de uranio durante 1 minuto con un sistema de rayos cósmicos;

La FIG. 8 representa una tabla que muestra la tasa de pérdida de energía teórica (dE/dx) y la longitud de radiación (X) para diversos materiales; y

Las FIGS. 9 y 10 ilustran sistemas de control de portales adaptados y dispuestos para controlar la carga en vehículos y contenedores de acuerdo con modos de realización alternativos.

Las FIGS. 11, 12 y 13 ilustran técnicas de tomografía de muones basadas en el conocimiento previo y la sustracción de una imagen de fondo de referencia conocida.

Las FIGS. 14A, 14B, 15A, 15B, 16A-16C, 17 y 18 ilustran ejemplos adicionales de técnicas de tomografía de muones basadas en el conocimiento previo y la sustracción de una imagen de fondo de referencia conocida.

La FIG. 19 muestra un ejemplo del poder de detención de partículas cargadas frente a la energía incidente de partículas cargadas.

La FIG. 20 muestra una ilustración de ejemplo de la medición de la pérdida de energía en materiales y cómo la pérdida medida sondea las propiedades de los materiales en el volumen de interés.

La FIG. 21 muestra un funcionamiento del sistema en la FIG. 3A basado en la información medida tanto en partículas cargadas que han penetrado como en partículas cargadas atrapadas.

La FIG. 22 presenta un diagrama de flujo que ilustra un proceso de identificación del material de un volumen de interés (VOI) expuesto a partículas cargadas de rayos cósmicos de acuerdo con algunos modos de realización descritos en el presente documento.

Descripción detallada

[0015] La tecnología divulgada se puede usar para integrar sistemas o módulos de escaneo de contenedores y el flujo de la información resultante en un puerto de contenedores automatizado existente de una manera que permite escanear los contenedores que transitan por el puerto sin ralentizar el rendimiento en flujo de contenedores y, por lo tanto, el flujo del comercio. En las implementaciones, dicha integración se puede configurar para colocar los sistemas de escaneo de contenedores en el proceso de procesamiento de contenedores con modificaciones pequeñas o mínimas en la infraestructura portuaria existente y a un coste

razonablemente bajo.

[0016] La FIG. 1 muestra un ejemplo del diseño general de una terminal de contenedores en un puerto moderno que incluye, entre otros, (1) un área de muelle para manejar funcionamientos de barco para descargar contenedores de un barco o cargar contenedores en un barco, (2) un área de depósito de apilado para diversos funcionamientos que involucran el almacenamiento o recuperación de contenedores, y (3) un área de interior para realizar funcionamientos de interior que involucran el manejo y gestión de contenedores asociados con transportes terrestres tales como camiones o trenes y otros funcionamientos.

[0017] La terminal de contenedores de ejemplo de la FIG. 1 se puede diseñar como un puerto de envío de contenedores automatizado. Un buque o carguero en el muelle transporta contenedores entrantes para ser descargados y distribuidos en el puerto. Se usan grúas de barco automatizadas o grúas de muelle para levantar los contenedores del barco. Se puede usar un sistema de identificación (ID) de contenedores para leer un número ID de contenedor de cada contenedor. Por ejemplo, se puede usar un lector óptico para leer automáticamente la ID de un contenedor y esta ID se usa para marcar el contenedor durante su tránsito a través del puerto. Para transportar contenedores descargados del carguero en el área de muelle al área de depósito de apilado para su procesamiento posterior, se pueden usar diversos vehículos automatizados para mover los contenedores a las localizaciones deseadas en el área de depósito de apilado donde se designan áreas como apilamientos de área de depósito para contener contenedores para su procesamiento posterior. Los ejemplos de dichos vehículos incluyen camiones de área de depósito (YT), carretillas pósito (SC) o vehículos guiados automatizados (AGV). Un AGV es un vehículo automatizado y se guía mediante el uso de mecanismos de navegación adecuados para moverse en el área de muelle y el área de depósito de apilado. En funcionamiento, un AGV se puede colocar debajo de la grúa de barco para recibir un contenedor de la grúa de barco y entregarlo en una localización deseada en un apilamiento de área de depósito particular. Como se muestra en la FIG. 1, el área de depósito de apilado está diseñado para contener o almacenar los contenedores que se apilan en filas para su posterior procesamiento. Cada fila de contenedores se encuentra en una localización designada y está equipada con una o más grúas de área de depósito, cada una de las cuales puede funcionar para moverse a lo largo de una fila de contenedores para recoger o depositar un contenedor en una localización especificada en esa fila. La información sobre las ID de los contenedores y otra información de los contenedores, y la información sobre las localizaciones de las filas de contenedores y las posiciones en cada fila se usan como parte de la automatización de la terminal de contenedores para que las grúas de barco, los AGV y las grúas de área de depósito puedan funcionar de forma autónoma. Una vez que un AGV recibe un contenedor de una grúa de barco, transporta el contenedor a una grúa de área de depósito para una fila seleccionada en base a la información del contenedor. La grúa de área de depósito, a su vez, retira el contenedor del AGV y lo deposita en la fila. Los contenedores de cada fila se tumban extremo con extremo y se apilan. Una vez que se asigna un camión de carretera para recoger un contenedor para su transporte, una grúa de área de depósito en el apilamiento de área de depósito recoge el contenedor y lo carga en el camión, que a continuación procede a la puerta de salida del puerto. Todo el funcionamiento está controlado por uno o más ordenadores, con una mínima presencia humana *in situ*, excepto los conductores de los camiones.

[0018] Los tamaños estándar de los contenedores son de 8 pies de ancho por 8 o 9,5 pies de alto y de 20 o 40 pies de largo. En algunos puertos, dependiendo de la capacidad de flujo de contenedores, cada apilamiento de área de depósito puede estar formada por entre 5 y 10 filas paralelas; las filas se pueden apilar, por ejemplo, hasta 4 o 5 contenedores de altura. En algunos casos, cada fila del apilamiento puede contener aproximadamente de 25 a 50 contenedores, de modo que cada pila de área de depósito puede contener contenedores desde varios cientos hasta quizás dos mil TEU.

[0019] Típicamente, cada AVG maneja un único contenedor a la vez y, de manera similar, cada grúa de área de depósito maneja un único contenedor a la vez. Cada fila en el apilamiento tiene un extremo de muelle más cercano al muelle donde un AGV deposita un contenedor para que una grúa de área de depósito lo coloque en esa fila. Los AGV viajan entre grúas de barco y grúas de área de depósito para transportar contenedores. Cuando una grúa de área de depósito recibe un contenedor de un AGV para colocarlo en el apilamiento, la grúa de área de depósito levanta el contenedor, viaja a una localización especificada automáticamente a lo largo del apilamiento de área de depósito y deposita el contenedor en una fila especificada automáticamente. A continuación, la grúa de área de depósito regresa al extremo de recogida del apilamiento (el extremo más cercano al muelle) para el siguiente contenedor.

[0020] Los contenedores en el apilamiento se pueden procesar adicionalmente para ser enviados por medio de transportes terrestres tales como camiones o trenes. Se puede hacer funcionar una grúa de área de depósito para recoger un contenedor en una fila que está identificado para ser enviado por un camión y colocarlo en el punto de entrega para el transporte terrestre. Por ejemplo, un camión puede recibir el contenedor en el punto de entrega de la fila y a continuación va a la estación de inspección y la puerta de salida de la terminal de contenedores.

[0021] El proceso de manejo de contenedores anterior es para contenedores entrantes de un barco. El manejo de los contenedores salientes para ser enviados por barcos sigue etapas similares en el orden inverso:

los contenedores del suelo se depositan en los puntos de entrega de las filas en el apilamiento y las grúas de área de depósito los colocan en posiciones designadas en el apilamiento; a continuación, las grúas de área de depósito recogen los contenedores que se van a enviar y los entregan a los AGV que los transportan a las respectivas grúas de barco para cargarlos en el barco.

[0022] Los contenedores entrantes en un puerto de entrada de un país están sujetos a inspección por parte de la autoridad apropiada en la jurisdicción receptora. Por ejemplo, la Oficina de Aduanas y Protección Fronteriza (CBP) de EE. UU. requiere que se inspeccionen todos los contenedores entrantes a EE. UU., mientras que los contenedores salientes se inspeccionan sobre una base seleccionada, por ejemplo, determinados contenedores de alto riesgo. En la mayoría de las terminales de contenedores, la inspección de contenedores requiere una estación de escaneo de inspección que se coloca en una localización de inspección designada separada de las filas del apilamiento. Una estación de escaneo de inspección de este tipo usa uno o más mecanismos de escaneo, por ejemplo, un escáner de rayos X, para escanear un camión que lleva un contenedor para determinar si se lo puede autorizar para su envío terrestre. Bajo esta disposición, el proceso de inspección es un proceso adicional al procesamiento de contenedores entrantes en el área de muelle y el área de depósito de apilado y, por tanto, agrega demoras adicionales para sacar los contenedores de la terminal de contenedores.

[0023] La tecnología divulgada se puede usar tanto para integrar físicamente los sistemas o módulos de escaneo de contenedores en la infraestructura del apilamiento de área de depósito existente como para integrar operativamente la inspección de escaneo de contenedores en el tiempo de recorrido de funcionamiento de la grúa de área de depósito sin requerir un tiempo adicional para el escaneo rutinario de contenedores y sin ralentizar el rendimiento en flujo de contenedores. En particular, los AGV y las grúas de área de depósito tienden a funcionar para moverse lentamente por seguridad. En algunas terminales, el tiempo promedio de ida y vuelta de la grúa de área de depósito puede ser típicamente de aproximadamente cuatro minutos, que es más largo que el tiempo promedio de ida y vuelta de los AGV. Debido a que la grúa de área de depósito maneja un contenedor a la vez, pero puede recibir tantos AGV como filas existan en el apilamiento de área de depósito, el funcionamiento de la grúa de área de depósito puede ser la etapa que limita la velocidad en el tránsito de contenedores a través del puerto. La tecnología divulgada utiliza el tiempo de recorrido de funcionamiento de la grúa de área de depósito entre la carga de dos contenedores entrantes posteriores de los AGV para realizar la inspección de escaneo de contenedores dentro del apilamiento de área de depósito para proporcionar un escaneo de inspección de contenedores eficaz.

[0024] La FIG. 2 muestra esquemáticamente un ejemplo de una terminal de contenedores en un puerto equipado con sistemas de escaneo implementados para escanear cada contenedor sin impedir el flujo de tráfico en base a la tecnología divulgada. La FIG. 2 ilustra el diseño de la terminal de contenedores que muestra uno o más buques 200 y grúas de barco 201 en el área de muelle, los AGV 202, las grúas de área de depósito 203 y los apilamientos de área de depósito 204 en el área de depósito de apilado, y los camiones 205 que reciben contenedores para el transporte terrestre de los contenedores entrantes a sus destinos en base al diseño general de la terminal de contenedores en la FIG. 1. En el ejemplo específico de la FIG. 2, los escáneres de contenedores 208 (marcados como "MMPDS") están empotrados como parte de los apilamientos de área de depósito para proporcionar un escaneo de contenedores durante el procesamiento rutinario de los contenedores sin necesidad de una o más estaciones de escaneo de contenedores separadas para inspección y sin agregar tiempo de procesamiento adicional designado para la inspección de escaneo de contenedores. Cada escáner de contenedores 208 está localizado en el extremo del apilamiento de área de depósito en el extremo más cercano al área de muelle. En el ejemplo ilustrado, cada apilamiento de área de depósito incluye cinco columnas de contenedores marcados del 1 al 5. Se pueden integrar uno o más escáneres de contenedores 208 en el apilamiento de área de depósito. Como mínimo, se colocará al menos un escáner de contenedores 208 en el extremo del apilamiento de área de depósito del lado del muelle para realizar el escaneo de contenedores durante el tiempo de recorrido de la grúa de área de depósito 203. Todos los contenedores se depositan primero en los extremos de los apilamientos de área de depósito del lado del muelle y son escaneados por los uno o más escáneres de contenedores 208 en cada apilamiento de área de depósito antes de ser recogidos por la grúa de área de depósito 203 para colocarlos en el apilamiento de área de depósito o para ser cargados en un camión 205. Los camiones que transportan sus contenedores que han sido escaneados se indican por 206 cuando dichos camiones se alinean en la puerta principal de salida 207 del puerto.

[0025] En algunas implementaciones, cada escáner de contenedores 208 puede incluir un mecanismo de traslado de contenedores para coger un contenedor de un AGV 202, introducirlo deslizando en el escáner de contenedores 208 y a continuación deslizarlo fuera por el otro extremo del escáner de contenedores 208 para su recogida por una grúa de área de depósito 203. Esto se hace porque, bajo los diseños actuales de los AGV, un AGV, con una tara pesada (por ejemplo, 26 toneladas métricas), contiene tanto metal denso que su presencia dentro del escáner de contenedores 208 incrementaría significativamente el tiempo de escaneo promedio, mientras también sacando de circulación el AGV por ese tiempo. Varios fabricantes de AGV también fabrican sistemas de traslado de contenedores que se pueden adaptar para el uso que se enseña aquí.

[0026] El escáner de contenedores 208 se puede configurar para satisfacer mejor los requisitos operativos y de coste de puertos específicos. Se pueden integrar uno o más escáneres de contenedores 208 en cada pila de área de depósito. Por ejemplo, cada columna dentro de un apilamiento de área de depósito puede tener su propio escáner de contenedores 208 de modo que pueden existir 5 escáneres en cada pila de área de depósito que tiene 5 columnas como se muestra en la FIG. 2. Para otro ejemplo, dos o más columnas en cada pila de área de depósito pueden compartir un escáner de contenedores 208. Como mínimo, se colocará al menos un escáner de contenedores 208 en el extremo del apilamiento de área de depósito del lado del muelle para realizar el escaneo de contenedores durante el tiempo de recorrido de la grúa de área de depósito 203. Un puerto de rendimiento extremadamente alto puede estar equipado con sistemas de escaneo de contenedores capaces de escanear múltiples contenedores en paralelo en el extremo de cada apilamiento de área de depósito, para seguir el ritmo del flujo. En la FIG. 2, por ejemplo, un escáner de contenedores 208 se puede configurar para escanear cinco contenedores alineados en paralelo a la vez. Por ejemplo, un escáner de contenedores 208 de este tipo puede incluir matrices de detectores de muones localizados en planos paralelos por encima y por debajo del volumen que se está escaneando en base a los muones naturales de los rayos cósmicos en la superficie de la tierra como fuente de muones en el escaneo del contenedor. Debido a que los rayos cósmicos llegan desde direcciones aleatorias del cielo, las matrices cubren un área más grande que el área de la superficie horizontal del volumen de inspección para maximizar la detección de partículas que pasan a través del volumen de inspección. Por ejemplo, para escanear un contenedor individual de 8 x 8 x 40 pies en un único escaneo, el área del detector debe tener aproximadamente 18 por 60 pies de extensión horizontal, para capturar una fracción lo suficientemente grande de los rayos que inciden en el volumen para escanear el contenedor de manera eficaz. Un escáner de contenedores grande 208 para dichos funcionamientos de escaneo en paralelo puede escanear múltiples contenedores colocados uno al lado del otro, con un hueco deseado entre los contenedores (por ejemplo, 3 pies); el área del detector tiene aproximadamente 50 o 60 pies de ancho por 60 pies de largo.

[0027] En funcionamiento, el sistema de escaneo automatizado puede dejar cada contenedor dentro del escáner durante diferentes cantidades de tiempo, bajo control separado, dependiendo de uno cualquiera o más del contenido del contenedor, la calidad de la imagen o el nivel de confianza de detección. Un contenedor puede esperar el regreso de la grúa de área de depósito durante una cantidad significativa de tiempo durante el ajetreado procesamiento de contenedores en las horas punta. Este tiempo de espera proporciona una oportunidad para usar la tecnología divulgada en este documento de patente para realizar el escaneo de seguridad de dichos contenedores de modo que el 100% de los contenedores se pueda escanear sin impedir el flujo de tráfico de contenedores del puerto. En algunos casos, algunos contenedores pueden pasar a través del dispositivo en cuatro minutos o menos, de acuerdo con la velocidad de ida y vuelta de la grúa de área de depósito, mientras que el contenedor ocasional que requiere un escaneo prolongado puede permanecer dentro del sistema de escaneo.

[0028] Los puertos más pequeños con apilamientos de área de depósito más pequeños y requisitos de rendimiento promedio y pico más bajos se pueden suministrar con sistemas de escaneo más pequeños que acomodan menos contenedores en paralelo: quizás incluso contenedores individuales, como en el producto MMPDS estándar.

[0029] En puertos más pequeños, incluyendo los puertos que se manejan más contenedores de 20 pies que de 40 pies, se puede usar un escáner más pequeño, tal como un sistema de escaneo de tomografía de muones que está diseñado para escanear un único contenedor de 20 pies. Puede medir solo 40 pies de largo por 18 pies de ancho. También se puede usar para escanear contenedores de 40 pies en dos escaneos de la mitad del contenedor con el análisis de los datos combinados de los dos escaneos que producen una única reconstrucción del contenido de la carga. Esto proporcionaría una implementación de bajo coste para puertos de menor rendimiento. Dichos contenedores de media longitud también se podrían ajustar a escala para escanear múltiples contenedores uno al lado del otro.

[0030] En el funcionamiento de la terminal de contenedores divulgada anteriormente con el escaneo de contenedores en los apilamientos de área de depósito, la información del contenedor puede ser usada por un puerto y una instalación de seguridad/aduanas contigua, pero separada, de la siguiente manera como un ejemplo. Se puede montar un lector óptico u otro lector automatizado en una grúa de barco para leer la ID de un contenedor cuando se descarga de un barco. La ID se puede cotejar con un manifiesto del contenedor electrónico con información sobre el remitente, el destinatario y el contenido. Esta información se usa, o se usa en combinación con el manifiesto del contenedor, por el puerto para rastrear el contenedor a través de su viaje desde el barco hasta el AGV hasta el apilamiento de área de depósito y el camión (o tren) que lo recoge. Cuando el contenedor llega al sistema de escaneo 208 en la FIG. 2 y el escaneo está completo, el sistema agrega el resultado del escaneo a la ID y, opcionalmente, al manifiesto del contenedor, para crear un paquete de información de escaneo. Este paquete de información de escaneo se envía exclusivamente a la instalación de aduanas y seguridad, localizada fuera de la instalación portuaria, lo que aísla al puerto de la implicación en operaciones de aduanas o de seguridad. En el raro caso en el que el resultado del escaneo indique una amenaza inminente para el puerto en sí, el personal de seguridad puede alertar al puerto antes de mover el contenedor y se pueden tomar las acciones apropiadas.

[0031] La infraestructura física necesaria para implementar los sistemas de escaneo en los puertos de contenedores, como se describe anteriormente, puede tener diversas configuraciones. La infraestructura física incluye la ingeniería civil y eléctrica requerida para instalar y alimentar los sistemas de escaneo, así como para protegerlos de los efectos ambientales, según sea necesario. También incluye la incorporación de dispositivos de traslado automatizados para llevar un contenedor desde un AGV hasta el sistema de escaneo y a continuación sacarlo para su recogida por una grúa de área de depósito. La infraestructura informática y de comunicaciones necesaria para implementar los sistemas de escaneo en los puertos de contenedores como se describe anteriormente se considera incluida en la invención. Incluye ordenadores localizados en el sistema de escaneo, en la instalación de seguridad/aduanas remota y, según sea necesario, en la sede operativa del puerto. Incluye programas informáticos de funcionamiento en los ordenadores para controlar el sistema de escaneo y las interfaces a los sistemas del puerto y de seguridad/aduanas. La infraestructura de comunicaciones incluye todas las conexiones alámbricas, ópticas e inalámbricas entre el hardware físico e informático en la implementación y en las interfaces a los sistemas del puerto y de seguridad/aduanas. Hasta ahora, cualquier inspección de contenedores de carga se ha realizado fuera de la salida de un puerto, en un área bajo el control de los servicios de seguridad y/o aduanas de una nación. Esto reconoce la separación entre la responsabilidad del puerto del sector privado de transportar mercancías de la manera más eficaz posible y la responsabilidad del gobierno de cobrar aranceles y excluir el contrabando, incluyendo los dispositivos y materiales peligrosos. Para facilitar el flujo del comercio, la mayoría de los contenedores solo se inspeccionan mediante el examen del manifiesto de carga. Las inspecciones adicionales, por medio de medios técnicos tales como sistemas de escaneo o por medio de desembalaje e inspección manuales, solo se realizan si el manifiesto u otra inteligencia suscita sospechas.

[0032] Para mantener la separación de responsabilidades y evitar la responsabilidad legal por el transporte de contrabando, los puertos son reacios a estar expuestos a cualquier información resultante de las inspecciones de contenedores de carga. Esta es una razón adicional de su resistencia histórica a localizar cualquier sistema de escaneo en el recinto portuario.

[0033] Se describe una configuración de implementación y funcionamiento de un sistema de escaneo que permite la inspección de cada contenedor de carga sin ralentizar el rendimiento en flujo del puerto y sin exponer al puerto a responsabilidad legal. La configuración coloca una matriz de sistemas de escaneo en el puerto, en la localización que ofrece el mayor tiempo de escaneo sin ralentizar el rendimiento en flujo. La configuración también encamina los resultados del escaneo directamente a las entidades aduaneras y de seguridad fuera del puerto, vinculados a la información de identificación (ID) del contenedor, para que el puerto no esté expuesto a esa información. Por tanto, la configuración alerta a aduanas y a seguridad, con mucha antelación a la llegada de un contenedor sospechoso, de la necesidad de realizar una investigación adicional. La configuración también informa a aduanas y a seguridad, mucho antes de la llegada de un contenedor autorizado, que puede continuar su ruta sin demora.

[0034] Una tecnología de escaneo de contenedores adecuada para la terminal de contenedores anterior son los escáneres de tomografía de muones. Lo siguiente divide la información técnica sobre dichos escáneres para el escaneo de contenedores integrados en una terminal de contenedores como se muestra en la FIG. 2. Los materiales con alto peso atómico, tales como los materiales nucleares, se pueden detectar mediante diversos procedimientos. Una tecnología notable es la tomografía de muones, que aprovecha la dispersión de muones producidos por rayos cósmicos altamente penetrantes para realizar una inspección no destructiva del material sin el uso de radiación artificial. La Tierra es continuamente bombardeada por partículas energéticas estables, en su mayoría protones, que provienen del espacio lejano. Estas partículas interactúan con átomos en la atmósfera superior para producir lluvias de partículas que incluyen muchos piones de vida corta que se descomponen produciendo muones de vida más larga. Los muones interactúan con la materia principalmente a través de la fuerza de Coulomb sin interacción nuclear. Los muones irradian energía con mucha menos facilidad que los electrones y pierden energía debido a la dispersión a través de interacciones electromagnéticas. En consecuencia, muchos de los muones producidos por rayos cósmicos llegan a la superficie de la Tierra como radiación cargada altamente penetrante. El flujo de muones al nivel del mar es de aproximadamente 1 muón por cm^2 por minuto.

[0035] La tomografía de muones utiliza muones producidos por rayos cósmicos como partículas de sondeo y mide la dispersión de dichos muones que penetran a través de un objeto objetivo bajo inspección. A medida que un muón se mueve a través del material del objeto objetivo, la dispersión de Coulomb de las cargas de las partículas subatómicas perturba su trayectoria. La deflexión total depende de varias propiedades del material, pero el efecto dominante es el número atómico, Z , de los núcleos. Las trayectorias de los muones se ven más fuertemente afectadas por materiales que proporcionan un buen blindaje contra los rayos gamma (tales como el plomo y el tungsteno, por ejemplo) y por materiales nucleares especiales (SNM), es decir, el uranio y el plutonio, que por materiales que constituyen objetos más comunes, tales como agua, plástico, aluminio y acero. Cada muón transporta información sobre los objetos en los que ha penetrado, y las mediciones de la dispersión de múltiples muones se pueden usar para sondear las propiedades de estos objetos. Por ejemplo, un material con un alto número atómico Z y una alta densidad se puede detectar e identificar cuando el material está

localizado dentro de materia de Z bajo y Z medio.

[0036] Los escáneres de tomografía de muones basados en muones producidos por rayos cósmicos dependen de la densidad natural de los muones del cielo que no se pueden incrementar artificialmente. Por lo tanto, bajo este límite de muones entrantes del cielo, un escáner de tomografía de muones necesita permitir que un objeto se exponga a la afluencia natural de muones del cielo durante un período mínimo de tiempo para garantizar que una cantidad suficiente de muones penetren en y se dispersen por el objeto bajo inspección para generar una imagen de tomografía de muones con detalles suficientes para permitir la identificación del objeto y/o distinguirlo del desorden circundante. Este funcionamiento se denomina escaneo de imágenes y la duración de dicho escaneo está determinada por el tiempo de exposición a los muones necesario para una calidad particular de imágenes de tomografía de muones. Los tiempos de escaneo prolongados proporcionan más detalles de la imagen que las imágenes obtenidas con tiempos de escaneo más cortos. En los sistemas de inspección prácticos, este aspecto del escáner de tomografía de muones impone una compensación entre el rendimiento de la inspección y la fiabilidad de la inspección. Una pequeña fracción de vehículos contendrá configuraciones sospechosas de blindaje, materiales emisores de radiación u otros materiales que incrementan las sospechas de la presencia de una amenaza. Por ejemplo, si el 90% de los vehículos no contienen configuraciones sospechosas y se pueden autorizar en 30 segundos y el 10% de los vehículos contienen configuraciones sospechosas que requieren un minuto para autorizarse, el rendimiento promedio es de 33 segundos por escaneo. El 10% de los escaneos continúan hasta 60 segundos, pero el rendimiento promedio se ve afectado de manera insignificante.

[0037] Una implementación de dicho escáner de tomografía de muones inspeccionaría los vehículos de uno en uno en un punto de control de vehículos, con cada vehículo sujeto al mismo tiempo de escaneo, lo bastante largo como para proporcionar suficiente detalle de imagen para distinguir afirmativamente y/o identificar materiales nucleares (y/o blindaje) con un alto nivel de confianza. Esto puede reducir innecesariamente el rendimiento de la inspección de vehículos, ya que es poco probable que una gran mayoría de los vehículos transporten materiales nucleares sospechosos y, por tanto, no necesitan someterse al mismo nivel de escrutinio que algunos vehículos que pueden llevar materiales de blindaje o nucleares sospechosos. Un sistema de inspección de este tipo no es deseable, en particular en los puestos de control con mucho tráfico diario.

[0038] Los escáneres de tomografía de muones son dispositivos de detección de partículas para detectar la presencia de ciertos objetos o materiales, tales como materiales nucleares, y para obtener información tomográfica de dichos objetos en diversas aplicaciones incluyendo, pero sin limitarse a, la inspección de paquetes, contenedores, vehículos, barcos o aeronaves en los puntos de control de seguridad, cruces fronterizos y otros lugares en busca de objetos de amenaza nuclear que pueden variar desde armas nucleares completamente ensambladas hasta pequeñas cantidades de materiales nucleares altamente blindados.

[0039] Por ejemplo, un sistema de detección de partículas puede incluir un área de retención de objetos para colocar un objeto (tal como un vehículo, contenedor de carga o paquete) para ser inspeccionado, un primer conjunto de detectores de muones sensibles a la posición localizados en un primer lado del área de retención del objeto para medir posiciones y direcciones de muones incidentes hacia el área de retención de objetos, un segundo conjunto de detectores de muones sensibles a la posición localizados en un segundo lado del área de retención de objetos opuesto al primer lado para medir posiciones y direcciones de muones salientes que salen del área de retención de objetos, y una unidad de procesamiento de señales, que puede incluir, por ejemplo, un microprocesador, para recibir datos de señales medidas de los muones entrantes del primer conjunto de detectores de muones sensibles a la posición y señales medidas de los muones salientes del segundo conjunto de detectores de muones sensibles a la posición. Como ejemplo, cada uno de los primer y segundo conjuntos de detectores de partículas se puede implementar para incluir tubos de deriva dispuestos para permitir al menos tres mediciones de posición de partículas cargadas en una primera dirección y, al menos, tres mediciones de posición de partículas cargadas en una segunda dirección diferente de la primera dirección. La unidad de procesamiento de señales está configurada para analizar los comportamientos de dispersión de los muones causados por los materiales dentro del área de retención de objetos en base a las posiciones y las direcciones entrantes y salientes medidas de los muones para obtener un perfil tomográfico o la distribución espacial de los centros de dispersión dentro del área de retención de objetos. El perfil tomográfico o la distribución espacial obtenidos de los centros de dispersión se pueden usar para revelar la presencia o ausencia de uno o más objetos en el área de retención, tales como materiales con elevados números atómicos incluyendo materiales o dispositivos nucleares. Cada detector de muones sensible a la posición se puede implementar en diversas configuraciones, incluyendo el uso de celdas de deriva tales como tubos de deriva llenos de un gas que puede ser ionizado por muones. Dicho sistema se puede usar para utilizar muones naturales producidos por rayos cósmicos para detectar uno o más objetos en el área de retención de objetos.

[0040] Como se explicará con más detalle a continuación, en modos de realización ilustrativos particulares, los sistemas de detección de partículas pueden utilizar tubos de deriva para permitir el rastreo de partículas cargadas, tales como muones, que atraviesan un volumen así como la detección concurrente de partículas de neutrones. Dichos detectores de partículas cargadas se pueden emplear en el rastreo y la formación de imágenes usando partículas cargadas distintas de las producidas por los rayos cósmicos que inciden en la

atmósfera terrestre. En general, estos detectores de partículas cargadas son aplicables a cualquier partícula cargada de una fuente apropiada. Por ejemplo, los muones pueden ser producidos por rayos cósmicos o un haz de muones de baja intensidad de un acelerador.

[0041] En aplicaciones para el control de portales y otros usos de tipo inspección, las modos de realización ilustrativos proporcionan un enfoque para permitir una detección robusta de materiales nucleares a un coste reducido y con eficacia incrementada. Además, el enfoque puede proporcionar un monitor de portales de radiación que es capaz de determinar si un vehículo o carga dado está libre de amenazas nucleares midiendo la ausencia de un paquete blindado potencial y la ausencia de una firma de radiación.

[0042] Los escáneres de tomografía de muones de las modos de realización ilustrativos mostrados en los dibujos adjuntos emplean el rastreo de partículas cargadas producidas por rayos cósmicos con tubos de deriva. Como se explicará con más detalle a continuación, los escáneres de tomografía de muones pueden utilizar tubos de deriva para permitir el rastreo de partículas cargadas de diferentes tipos, tales como muones, que pasan a través de un volumen, así como la detección de rayos gamma proporcionando una adecuada mezcla de gas contenido por los tubos de deriva. Ventajosamente, estos sistemas de control de portales pueden proporcionar eficazmente la función combinada de un aparato de radiografía de rayos cósmicos con un contador de radiación gamma pasivo o activo para proporcionar un detector robusto de amenazas nucleares. Esto elimina la necesidad de dos instrumentos separados para detectar muones y rayos gamma por separado. En la implementación del sistema, se puede incluir una fuente de rayos gamma o neutrones en el sistema para permitir la inspección activa en lugar de solo pasiva del vehículo y, de este modo, proporcionar un incremento detectable en la tasa de recuento de rayos gamma.

[0043] Los procedimientos tomográficos, diseñados para construir una imagen o un modelo de un objeto a partir de múltiples proyecciones tomadas desde diferentes direcciones, se pueden implementar en el sistema de rayos cósmicos para proporcionar una reconstrucción tomográfica discreta del volumen de interés en base a los datos proporcionados por los muones. En algunas implementaciones, las técnicas de simulación de Monte Carlo se pueden usar para estudiar aplicaciones y acortar los tiempos de escaneo. También se pueden usar otros procedimientos de procesamiento estocástico para implementar la formación de imágenes tomográficas de muones.

[0044] La función de radiografía de rayos cósmicos de los sistemas de detección de partículas de los modos de realización se puede entender más fácilmente con referencia a ejemplos de sistemas de detección adaptados para detectar partículas cargadas producidas por rayos cósmicos tales como las mostradas en las FIGS. 3A, 3B y 4 que usan números de referencia propios que no tienen relación con los números de referencia en la FIG. 2 arriba.

[0045] La FIG. 3A ilustra un sistema de detección de muones que utiliza muones producidos por rayos cósmicos para detectar un objeto. El sistema 1 incluye un conjunto de dos o más planos 3 de detectores de muones sensibles a la posición 7 dispuestos encima de un volumen 5 para formar imágenes para proporcionar la posición y los ángulos (es decir, direcciones en el espacio 3-D) de las recorridos de muones entrantes 9. Los detectores de muones 7 están configurados para medir la posición y los ángulos de los recorridos de muones entrantes 9 con respecto a dos direcciones diferentes, por ejemplo, en dos coordenadas ortogonales a lo largo de los ejes x e y. Los muones atraviesan el volumen 5 donde puede estar localizado el objeto 2 y se dispersan en una medida que depende del material 2 ocupando el volumen que atraviesan. Otro conjunto de dos o más planos 4 de detectores de muones sensibles a la posición 8 están configurados para registrar las posiciones y direcciones de los muones salientes. Los tubos de deriva en los detectores 7 y 8 están dispuestos para permitir al menos tres mediciones de posición de partículas cargadas en una primera dirección y al menos tres mediciones de posición de partículas cargadas en una segunda dirección que es diferente de la primera dirección y puede ser ortogonal a la primera dirección. Se pueden usar detectores laterales (no mostrados) para detectar recorridos de muones orientados más horizontalmente. El ángulo de dispersión de cada muón se calcula a partir de las mediciones entrantes y salientes. Cada tubo de deriva puede incluir un gas no inflamable, tal como una mezcla de argón, dióxido de carbono y tetrafluorometano (CF₄).

[0046] Se proporciona una unidad de procesamiento de señales, por ejemplo, un ordenador, en el sistema 1 para recibir datos de señales medidas de los muones entrantes por los detectores 7 y muones salientes por los detectores 8. Esta unidad de procesamiento de señales está configurada para analizar la dispersión de los muones en el volumen 5 en base a las posiciones y direcciones entrantes y salientes medidas de los muones para obtener un perfil tomográfico o la distribución espacial de la densidad de dispersión que refleja la fuerza de dispersión o la longitud de radiación dentro del volumen 5. El perfil tomográfico obtenido o la distribución espacial de la densidad de dispersión dentro del volumen 5 puede revelar la presencia o ausencia del objeto 2 en el volumen 5. La FIG. 3A muestra que los detectores de tubo de deriva 7 y 8 están localizados en los lados superior e inferior del volumen 5. En algunas implementaciones, se pueden implementar detectores de tubo de deriva adicionales en los lados del volumen 5 para formar una caja o estructura de cuatro lados en la que puede entrar un paquete, un vehículo o un contenedor de carga para ser escaneado por el sistema. En algunos modos de realización, el perfil tomográfico o la distribución espacial pueden ser imágenes bidimensionales. En algunos

modos de realización, el perfil tomográfico o la distribución espacial pueden ser imágenes tridimensionales.

[0047] El procesamiento de mediciones de muones producidos por rayos cósmicos en un volumen bajo inspección (por ejemplo, un paquete, un contenedor o un vehículo) por la unidad de procesamiento para el sistema 1 en la FIG. 3A, y otros sistemas descritos en esta solicitud pueden incluir la reconstrucción de la trayectoria de una partícula cargada tal como un muón a través del volumen 5, midiendo el impulso de un muón entrante basado en señales de los detectores 7, midiendo el impulso de un muón saliente basado en las señales de los detectores 8, y determinando la distribución espacial de la densidad de dispersión del volumen 5. Estos y otros resultados de procesamiento se pueden usar para construir el perfil tomográfico y medir diversas propiedades del volumen 5.

[0048] Por ejemplo, la reconstrucción de la trayectoria de una partícula cargada que pasa a través de un detector que tiene un conjunto de celdas de deriva puede incluir (a) obtener señales de impacto que representan identificadores de celdas de deriva impactadas por partículas cargadas y los tiempos de impacto correspondientes; (b) agrupar los impactos de celda de deriva en tiempo identificados como asociados con un recorrido de una partícula cargada particular que pasa a través de dicho detector; (c) estimar inicialmente un valor de tiempo cero para un momento de tiempo en el que dicha partícula cargada particular impacta en una celda de deriva; (d) determinar los radios de deriva en base a estimaciones de los valores de tiempo cero, los datos de conversión del tiempo de deriva y el tiempo del impacto; (e) ajustar recorridos lineales a radios de deriva correspondientes a un valor de tiempo cero particular; y (f) buscar y seleccionar un valor de tiempo cero asociado con el mejor de los ajustes de recorrido realizados para una partícula cargada particular y un error de cálculo en el tiempo cero y el parámetro de rastreo. Dicha reconstrucción del recorrido basada en el ajuste de tiempo cero proporciona una trayectoria lineal reconstruida de la partícula cargada que pasa a través del detector de partículas cargadas sin tener que usar detectores rápidos (tales como tubos fotomultiplicadores con paletas de centelleo) o algún otro detector rápido que detecte el paso del muón a través del aparato a los nanosegundos más cercanos para proporcionar el tiempo cero.

[0049] También, por ejemplo, el procesamiento para medir el impulso de un muón entrante o saliente basado en señales de los detectores puede incluir, por ejemplo, (a) configurar una pluralidad de detectores sensibles a la posición para dispersar una partícula cargada que atraviesa los mismos; (b) medir la dispersión de una partícula cargada en los detectores sensibles a la posición, en la que medir la dispersión comprende obtener al menos tres medidas de posición de la partícula cargada de dispersión; (c) determinar al menos una trayectoria de la partícula cargada a partir de las mediciones de posición; y (d) determinar al menos una medición del impulso de la partícula cargada a partir de la al menos una trayectoria. Esta técnica se puede usar para determinar el impulso de la partícula cargada en base a la trayectoria de la partícula cargada que se determina a partir de la dispersión de la partícula cargada en los detectores sensibles a la posición mismos sin el uso de placas de metal adicionales en el detector.

[0050] También, por ejemplo, la distribución espacial de la densidad de dispersión del volumen se puede determinar a partir de datos tomográficos de partículas cargadas mediante: (a) obtener datos predeterminados de tomografía de partículas cargadas correspondientes a los ángulos de dispersión y el impulso estimado de las partículas cargadas que atraviesan el volumen del objeto; (b) proporcionar la distribución de probabilidad de la dispersión de partículas cargadas para su uso en un algoritmo de maximización de expectativas (ML/EM), estando basada la distribución de probabilidad en un modelo estadístico de dispersión múltiple; (c) determinar la estimación de probabilidad sustancialmente máxima de la densidad del volumen del objeto usando el algoritmo de maximización de expectativas (ML/EM); y (d) generar la densidad de dispersión del volumen del objeto reconstruido. La densidad de dispersión del volumen del objeto reconstruido se puede usar para identificar la presencia y/o el tipo de objeto que ocupa el volumen de interés a partir del perfil de densidad del volumen reconstruido. Diversas aplicaciones incluyen la tomografía de muones producida por rayos cósmicos para diversas aplicaciones de inspección de seguridad nacional en las que los vehículos o la carga pueden ser escaneados por un rastreador de muones.

[0051] La parte de procesamiento tomográfico de la unidad de procesamiento de señales se puede implementar en un ordenador en la misma localización que los detectores 7 y 8. De forma alternativa, la parte de procesamiento tomográfico de la unidad de procesamiento de señales se puede implementar en un ordenador remoto que esté conectado a una red informática tal como una red privada o una red pública tal como Internet. El ordenador remoto puede estar localizado en una instalación de seguridad o de aduanas remota. El ordenador remoto puede recibir un paquete de datos integrados que puede incluir datos sin procesar del escáner de tomografía de muones de modo que la parte de procesamiento tomográfico de la unidad de procesamiento de señales pueda procesar los datos sin procesar y generar imágenes bidimensionales o tridimensionales. El ordenador remoto también puede recibir un paquete de datos integrados que puede incluir uno o más de los siguientes elementos: la identificación del contenedor, el manifiesto del contenedor, cualquiera de los datos sin procesar relacionados con el contenido del contenedor o imágenes procesadas del contenido del contenedor, evaluación del contenido del contenedor, una señal clara en respuesta a la determinación de que los materiales de amenaza potencial o materiales de contrabando no están presentes en el contenedor, o una señal de alerta en respuesta a la evaluación de que los materiales de amenaza potencial o materiales de

contrabando están presentes en el contenedor. La señal clara o la señal de alerta permite que las aduanas o el personal de seguridad tomen determinadas medidas. Por ejemplo, en caso de una señal clara, el contenedor puede ser trasladado fuera del sistema de escaneo para su recogida por una grúa de área de depósito.

5 **[0052]** Por tanto, se puede usar la dispersión múltiple de muones producidos por rayos cósmicos para detectar selectivamente material de Z alto en un fondo de carga normal. Ventajosamente, esta técnica es pasiva, no administra ninguna dosis de radiación por encima del fondo y es selectiva de materiales densos de Z alto.

10 **[0053]** La FIG. 3B ilustra una vista lateral de otro sistema de detección que utiliza rayos cósmicos para detectar un objeto, el sistema 100 tiene dos planos 103 de detectores de muones 107 localizados encima de la muestra 109 y dos planos 104 de detectores de muones 108 localizados debajo de la muestra 109. En el sistema 100, los dos planos de detectores de muones en cada uno de 103 y 104 están separados por un espaciado de 27 cm.

15 **[0054]** La FIG. 4 ilustra una vista en perspectiva detallada de otro detector de partículas cargadas 200 en el que los detectores sensibles a la posición 203 están dispuestos por encima del plano del portamuestras 211 y los detectores sensibles a la posición 204 están dispuestos por debajo del plano del portamuestras 211. Cada conjunto de detectores sensibles a la posición comprende una primera capa doble 220 de tubos de deriva 203 o 204 dispuestos en la dirección X y una segunda capa doble 221 de tubos de deriva 203 o 204 dispuestos en la dirección Y. En cada una de las capas 220, 221, los tubos de deriva 203 o 204 están dispuestos en dos filas, desplazados entre sí medio diámetro de tubo.

20 **[0055]** Los módulos de tubo de deriva 203 y 204 pueden funcionar para detectar tanto muones producidos por rayos cósmicos como rayos gamma. En el sistema de la FIG. 4, los módulos de tubo de deriva están compuestos de tubos de deriva de aluminio de 12 pies de largo, que están configurados para medir la posición y el ángulo de los recorridos de muones entrantes y salientes en las direcciones de coordenadas X e Y. El aluminio en los detectores proporciona una cantidad considerable de masa en la que los rayos gamma y los electrones energéticos se absorben o se dispersan. Los electrones energéticos producidos en estos procesos se detectan localmente en los tubos de deriva de la misma forma que se detectan los rayos cósmicos más energéticos.

25 **[0056]** Los tubos se pueden disponer de diferentes formas. Por ejemplo, las capas no necesitan tener que estar a 90 grados una de la otra, sino que pueden ser ángulos más pequeños distintos de cero. También a modo de ejemplo, la capa superior podría estar a 0 grados, la capa intermedia a 45 grados de la primera y una tercera capa a 90 grados de la primera. Esto permitiría la resolución de múltiples recorridos que se producen en el mismo instante de tiempo.

30 **[0057]** También, se pueden adoptar otras disposiciones de detectores sensibles a la posición capaces de dispersar la partícula cargada que atraviesa los mismos y que proporcionan un total de, al menos, tres mediciones de posición individuales en lugar de la disposición de detectores de la FIG. 2. Se requieren al menos 3 mediciones de posición para permitir un ajuste de línea con un parámetro libre desde el cual se pueda rastrear la partícula.

35 **[0058]** En una implementación de ejemplo, la electrónica de adquisición de datos 212 está acoplada operativamente a los tubos de deriva. Los tubos de deriva del sistema detector 200 de la FIG. 4 están conectados a respectivos amplificadores electrónicos (no mostrados) que incrementan el voltaje de la señal depositada (asociada con un muón producido por rayos cósmicos que pasa a través de un tubo de deriva). Para cada canal de deriva, la señal amplificada se convierte en una señal digital con una pieza electrónica llamada discriminador (encendido si hay un impacto, apagado si no hay impacto), que conserva el tiempo preciso del impacto. Esta combinación de amplificador y discriminador es la electrónica "frontal". El tiempo y el número de canal en que la señal digital se registra al nanosegundo más cercano por los convertidores de tiempo a digital (TDC). Cada tubo de deriva tiene su propia electrónica frontal y TDC. En algunos modos de realización, los TDC pueden realizar una umbralización automática. La umbralización automática puede realizar ajustes de umbral para los tubos que tienen impactos estadísticamente altos o estadísticamente bajos cambiando apropiadamente el nivel de umbral en el que se detecta un impacto de pulso del tubo. El TDC puede enviar un mínimo de tasas de impacto del tubo, estado de alto voltaje y estado de sincronización para propósitos de control del rendimiento

40 **[0059]** La electrónica frontal se puede construir a medida con el propósito de procesar señales de tubos de deriva. Los circuitos electrónicos de analógico a digital identifican los pulsos de corriente en los cables de los tubos de deriva. Este circuito convierte el pulso a niveles digitales correspondientes al cruce de los umbrales de corriente de la corriente en el cable. Estos niveles digitales se marcan con una marca de tiempo en el TDC y se envían a una CPU para su posterior procesamiento. Los datos se procesan para identificar los acontecimientos de rayos cósmicos. Los acontecimientos de recorrido de muones candidatos se procesan para reconstruir una trayectoria medida para el muón a medida que atravesaba los detectores. Los datos de

acontecimientos, los datos de recorrido y los datos de diagnóstico pertinentes también se almacenan en el disco duro. El procesamiento de mediciones para muones producidos por rayos cósmicos en un volumen bajo inspección (por ejemplo, un paquete, un contenedor o un vehículo) por la unidad de adquisición de datos del sistema de la FIG. 4, u otra unidad de procesamiento de señales vinculada a la misma, pueden ser similares a las expuestas anteriormente para el sistema de la FIG. 3A. Por ejemplo, las mediciones de procesamiento pueden ser reconstruir la trayectoria de un muón a través del volumen, medir el impulso de un muón entrante en base a las señales de los detectores, medir el impulso de un muón saliente en base a las señales de los detectores y determinar la distribución espacial de la densidad de dispersión del volumen.

[0060] De forma ventajosa, el sistema 200 en la FIG. 4 puede detectar selectivamente el blindaje de alta densidad de material radiactivo que ocupa el volumen de la dispersión múltiple de los muones producidos por rayos cósmicos, mientras que también cuenta los rayos gamma emitidos por el material radiactivo. Además de detectar materiales de alta densidad, tales como plomo, oro, tungsteno, uranio y plutonio, el sistema se puede emplear para detectar materiales de densidad media, como acero, hierro y cobre, y también materiales de baja densidad, como agua, plástico, hormigón y aluminio, aunque con una exactitud algo menor que para los materiales de alta densidad. Esta capacidad puede permitir que el escáner detecte, distinga y/o identifique objetos que no sean materiales nucleares y blindaje.

[0061] Además, se pueden usar otros sistemas de escaneo para implementar el funcionamiento de escaneo de contenedores en la terminal de contenedores de la FIG. 2. Ejemplos de los diversos rasgos característicos del escáner de contenedores empotrado 208 en la FIG. 2 se proporcionan en parte en los documentos de patente anteriores del solicitante, publicación de patente de EE.UU. N.º 2016/0041297 A1 titulada "Discriminación de material usando la dispersión y detención de muones y electrones", patente de EE. UU. N.º 8.247.767 B2 titulada "Detección de partículas y aplicaciones en seguridad y control de portales", Patente de Estados Unidos N.º 8.288.721 B2 titulada "Formación de imágenes y detección basadas en tomografía de muones" y Patente de Estados Unidos N.º 8.536.527 B2 titulada "Formación de imágenes basada en partículas cargadas producidas por rayos cósmicos".

[0062] Las siguientes secciones proporcionan ejemplos de rasgos característicos de escáner que se pueden implementar en la terminal de contenedores divulgada.

[0063] La FIG. 5 ilustra una vista en sección transversal de parte de un módulo de tubo de deriva 204 que es adecuado para construir los detectores usados en un sistema de detección de muones que utiliza muones producidos por rayos cósmicos ilustrados en las FIGS. 3A, 3B y 4 para la terminal de contenedores divulgada. El módulo de tubo de deriva en este ejemplo particular es cilíndrico y está lleno de un gas detector tal como argón-isobutano 230 para permitir la detección de las partículas cargadas producidas por rayos cósmicos, tales como los muones. El sistema está configurado para aplicar un alto voltaje positivo de aproximadamente +2-3 kV a un cable de ánodo central 231 que se extiende a lo largo del tubo cilíndrico con el tubo a tierra de modo que también está presente un campo estático de alto voltaje. Cuando la partícula cargada interactúa con los átomos de gas, muchos electrones 233 se liberan de esos átomos a lo largo de la trayectoria en línea recta de la partícula cargada a través de una cuerda del tubo. El campo estático hace que la "cadena" de electrones se desplace hacia el cable del ánodo cargado positivamente que se lee electrónicamente con los TDC (convertidores de tiempo a digital) de la electrónica de adquisición de datos 212.

[0064] Mientras en el tubo de deriva del modo de realización ilustrativo de la FIG. 5, el gas detector es argón-isobutano 230, otras mezclas de gases operativos pueden ser argón/dióxido de carbono o argón/isobutano/dióxido de carbono y pueden incluir hidrocarburos tales como metano, propano, pentano y similares. Un ejemplo de una mezcla de gas operativo es 10% de metano, 90% de argón. Además, se pueden emplear de forma alternativa como gas operativo mezclas de gases no inflamables tales como argón-dióxido de carbono-tetrafluorometano (CF₄). También, se pueden adoptar etano u otros gases en las mezclas de gases. Por ejemplo, una mezcla de 5% de etano, 45% de CF₄ y 50% de argón es un gas operativo no inflamable adecuado. En la mezcla de gases se pueden usar gases inertes distintos del argón.

[0065] También, aunque el tubo de deriva de la FIG. 5 está fabricado de aluminio, se pueden adoptar otros materiales tales como el compuesto de carbono con revestimientos conductores internos en lugar del aluminio. Los tubos de deriva no necesitan tener secciones transversales circulares. Por ejemplo, los tubos de deriva se pueden construir a partir de extrusiones de aluminio con múltiples secciones transversales no circulares.

[0066] De forma alternativa, se pueden adoptar celdas de deriva distintas de los tubos de deriva tales como, por ejemplo, celdas de deriva de con formación triangular.

[0067] Las FIGS. 6 y 7 ilustran respectivamente datos de intervalos experimentales ejemplares y resultados teóricos de dispersión de Coulomb múltiple de medir 1000 cm³ de uranio durante 1 minuto con un sistema de detección de muones producidos por rayos cósmicos. Estas mediciones y cálculos demuestran que la tomografía de partículas cargadas (muones) es mucho más sensible que la radiografía de intervalos previamente empleada en búsquedas de cámaras ocultas en una pirámide egipcia y la medición de sobrecarga

geológica.

[0068] En referencia a la tabla de la FIG. 8, esta tabla ilustra la tasa de pérdida de energía teórica (dE/dx) y la longitud de radiación (X) para diversos materiales. Un minuto de recuento distingue un cubo de hierro de 10 cm de un cubo de plomo de 10 cm con 6 desviaciones estándar sobre la base de sus diferentes valores de X .

[0069] La FIG. 9 ilustra un sistema de detección de partículas 300 adaptado y dispuesto para controlar la carga en vehículos y contenedores en puertos y cruces fronterizos de acuerdo con un modo de realización. El sistema de detección de partículas 300 usa un sistema de tomografía de muones con una pluralidad de tubos de deriva detectores 303 configurados para rastrear los muones producidos por rayos cósmicos 304 dispersados por la carga o el contenido de un vehículo 306 que ocupa el volumen 306 y configurado para detectar simultáneamente cualquier neutrón 314 emitido del contenido del vehículo. El sistema 300 se puede emplear para inspeccionar vehículos ocupados en cruces fronterizos en busca de objetos de amenaza nuclear que pueden variar desde armas nucleares completamente ensambladas hasta pequeñas cantidades de materiales nucleares altamente blindados. El sistema 300 se puede usar para pasar vehículos inocentes en menos de 30 segundos, detectar varios Kgs de uranio altamente enriquecido (HEU) en menos de 60 segundos (con o sin blindaje) y detectar plutonio o dispositivos nucleares de HEU en menos de 60 segundos (con o sin blindaje).

[0070] De forma ventajosa, el uso de los tubos de deriva 303 para contar pasivamente la radiación gamma 312 emitida por el vehículo 306 o contenedor (no mostrado) y rastrear las partículas cargadas producidas por rayos cósmicos 304 dispersas permite al sistema realizar un escaneo pasivo de contenedores o vehículos de pasajeros ocupados con tiempos de escaneo cortos y sin dosis de radiación.

[0071] Un procedimiento de funcionamiento del sistema de detección de partículas (tal como un sistema de control de portales o un sistema de escaneo) 300 de la FIG. 9 de acuerdo con un modo de realización implica detectar con los tubos de deriva 303 partículas cargadas producidas por rayos cósmicos 304 entrantes y salientes junto con cualquier rayo gamma 312. La dispersión múltiple de las partículas cargadas se calcula a continuación para detectar selectivamente un material, en particular material de alta densidad, que ocupa el volumen 305. Los rayos gamma 312 emitidos del volumen pueden ser contados por la electrónica de adquisición de datos para detectar si alguna fuente radiactiva está ocupando el volumen 305.

[0072] En un modo de realización, se proporciona un sistema de control de portales (no mostrado) que es idéntico al del sistema de control de portales 300 de la FIG. 9 con la excepción de que el sistema también incluye una fuente de rayos gamma o neutrones dentro del aparato para permitir la inspección activa en lugar de solo pasiva del vehículo y, de este modo, proporcionar un incremento detectable en la tasa de recuento de rayos gamma. En algunos modos de realización, el funcionamiento de la fuente de rayos gamma o neutrones se puede controlar mediante una unidad de procesamiento de señales.

[0073] Un sistema de detección de partículas (por ejemplo, un sistema de control de portales) de acuerdo con otro modo de realización alternativo se ilustra en la FIG. 10. El sistema 400 es similar al sistema 300 de la FIG. 9 en que está configurado para contar pasivamente la radiación gamma emitida por el vehículo y rastrear las partículas cargadas producidas por rayos cósmicos 404 dispersas. Las matrices de detectores de tubo de deriva 403 tienen 16 pies de largo para permitir la inspección de un camión 405 pero pueden tener otras longitudes dependiendo del objeto que se esté escaneando. Para obtener mayores ganancias de velocidad, el ángulo sólido se puede incrementar llenando los detectores de tubo de deriva 403. Además, el sistema está configurado para usar los residuos de rastreo 404B para las mediciones de impulso.

[0074] En otro modo de realización alternativo, un sistema de control de portales que es idéntico al sistema 300 de la FIG. 9, tiene tubos de deriva que están sellados de forma ventajosa además para reducir el coste y la complejidad del sistema al eliminar la necesidad de un sistema de manipulación de gas.

[0075] Tanto el plutonio como el uranio para armas son fuentes de neutrones, ya sea de la amplificación del fondo de neutrones naturales ("cadenas de fisión") o de fisiones espontáneas individuales dentro del material. El sistema de rastreo de partículas 300 es de construcción similar al sistema 200 de la FIG. 4 y en el sistema 300 los tubos de deriva están dispuestos para formar una caja o estructura de cuatro lados 315 alrededor del volumen que se va a escanear 305.

[0076] En una implementación, los tubos de deriva se pueden diseñar para incluir un medio sensible a neutrones para permitir que los tubos de deriva detecten simultáneamente cualquier neutrón emitido desde un contenedor de envío o vehículo 306. El medio sensible a neutrones puede incluir helio-3, boro o litio y puede estar en forma sólida, líquida o gaseosa. Se puede usar un material hidrogenado, tales como materiales orgánicos hidrogenados (por ejemplo, polietileno y parafina) o agua, para atrapar y confinar los neutrones para que pasen a través de las celdas de deriva múltiples veces y se aislen del material o dispositivos siendo escaneados. Dicho material hidrogenado también puede moderar la energía de los neutrones al ralentizar los neutrones para incrementar su sección transversal de interacción por factores muy importantes. El boro o un

compuesto de boro se pueden enriquecer en el isótopo boro-10 y el litio o un compuesto de litio se pueden enriquecer en el isótopo litio-6. El gas operativo de los tubos de deriva puede comprender una mezcla de argón y al menos un gas seleccionado del grupo que consiste en dióxido de carbono, isobutano, tetrafluorometano y etano para permitir el recuento de rayos gamma de modo que, en uso, el sistema pueda detectar adicionalmente fuentes radiactivas que ocupan el volumen a partir de los rayos gamma emitidos desde las mismas.

[0077] Los tubos de deriva también se pueden configurar para incluir un material sólido de dispersión de rayos gamma para permitir la detección de rayos gamma. Se puede agregar helio-3 a cualquiera de estos gases para permitir la detección simultánea de neutrones por el mismo tubo de deriva. Si el tubo de deriva solo contiene argón y tetrafluorometano, se podría añadir trifluoruro de boro, posiblemente enriquecido de forma ventajosa en el isótopo boro-10, para permitir la detección simultánea de neutrones por el mismo tubo de deriva. De forma alternativa, los detectores de neutrones podrían utilizar tubos de deriva optimizados para ese propósito, distintos de los tubos para la detección de partículas cargadas (muones).

[0078] La detección de neutrones se puede lograr de muchas formas. En el ejemplo ilustrativo de la FIG. 9, el gas operativo de los tubos de deriva de rastreo 303 incluye una presión parcial de helio-3 (^3He) que constituye el medio sensible a neutrones para permitir que los tubos de deriva detecten simultáneamente cualquier neutrón. Por ejemplo, el gas operativo puede ser una combinación de helio-3 (^3He), etano, tetrafluorometano y argón. El detector también puede usar helio-3 (^3He) en combinación con otros conjuntos diferentes de gases de llenado.

[0079] Este uso combinado de función de detección de rayos de muones cósmicos y de detección de neutrones se ilustra en la FIG. 9. Los neutrones se ven en la electrónica normal como pulsos mucho más grandes que los de los muones. Esto se debe a la alta tasa de pérdida de energía de los protones producidos por la interacción de neutrones con helio-3 o de las partículas cargadas masivas producidas por la interacción de neutrones con boro-10 o litio-6. Los tubos de deriva 303 se pueden sellar además para reducir el coste y la complejidad del sistema eliminando la necesidad de un sistema de manipulación de gas. El sistema también se puede usar para detectar rayos gamma 312 de la misma manera que el sistema 200 de la FIG. 4.

[0080] El uso de los tubos de deriva 303 para contar pasivamente las partículas de neutrones y opcionalmente gamma 314 emitidas desde el vehículo 306 o contenedor y rastrear las partículas cargadas producidas por rayos cósmicos 304 (muones) dispersas permite que el sistema funcione como un monitor eficaz de la radiación emitida por objetos de amenaza además de la formación de imágenes de rayos cósmicos proporcionando un sistema detector más compacto y rentable para buscar dispositivos y materiales nucleares en los cruces fronterizos y puertos. La adición del medio sensible a neutrones a los tubos de deriva de rastreo 303 proporciona una detección de neutrones selectiva eficaz sin impacto en el rastreo de muones y permite la detección de fuentes de neutrones sin blindaje en vehículos y contenedores. Esto tiene diversos beneficios frente al uso de sistemas separados para detectar neutrones y radiografiar vehículos. Por ejemplo, el sistema de detector único es más económico que varios sistemas. Como otro ejemplo, el sistema ocupa menos espacio que es limitado. Como tercer ejemplo, el sistema detector puede proporcionar información de posicionamiento sobre la fuente de neutrones, independiente de la señal de muones. Un procedimiento de funcionamiento del sistema de detección de partículas 300 de la FIG. 9 de acuerdo con un modo de realización implica detectar con los tubos de deriva 303 partículas cargadas producidas por rayos cósmicos 304 entrantes y salientes junto con cualquier rayo gamma 312. La dispersión múltiple de las partículas cargadas se calcula a continuación para detectar selectivamente material, en particular material de alta densidad, que ocupa el volumen 305. Cualquier partícula de neutrones emitida desde el volumen 305 es contada por la electrónica de adquisición de datos (no mostrada) para detectar si alguna fuente de neutrones sin blindaje está ocupando el volumen. Cualesquiera rayos gammas 312 emitidos del volumen también pueden ser contados por la electrónica de adquisición de datos para detectar si alguna fuente radiactiva está ocupando el volumen 305.

[0081] De forma alternativa o adicionalmente, el medio sensible a neutrones puede ser una capa sólida o una región de material sensible a neutrones en lugar de un medio gaseoso. Un tubo de deriva que tiene un cable de ánodo incluye una capa sensible a neutrones conductora dispuesta en la pared interior del tubo de deriva. La capa sensible a neutrones puede ser, por ejemplo, un compuesto conductor de litio o boro. La capa sensible a neutrones 604 se puede usar junto con o sin helio-3 (^3He) en el gas detector. En modos de realización alternativos, los tubos de deriva u otras celdas de deriva que incluyen material sensible a neutrones no necesitan ser dispuestos para formar una estructura de cuatro lados como se muestra en la FIG. 9. Por ejemplo, los tubos de deriva sensibles a neutrones se pueden disponer para formar una estructura lateral superior e inferior como la del sistema detector 200 de la FIG. 4. En otro modo de realización más, se proporciona un sistema de detección de partículas (no mostrado) que es idéntico al del sistema de detección de partículas 300 de la FIG. 9 con la excepción de que el sistema también incluye una fuente de rayos gamma y/o neutrones dentro del aparato para permitir la inspección activa en lugar de solo pasiva del vehículo y, de este modo, proporcionar un incremento detectable en la tasa de recuento de rayos gamma y/o neutrones.

[0082] Los modos de realización ilustrativos demuestran que la combinación de radiografía de rayos

cósmicos con recuento pasivo o activo proporciona, por tanto, un detector robusto de amenazas nucleares. La radiografía convencional por sí sola se burla empaquetando material nuclear en paquetes demasiado pequeños para ser resueltos por la radiografía. El recuento pasivo se puede burlar blindando el material con material de z alto. El blindaje hace que las amenazas se hagan visibles radiográficamente y la dispersión del material en muchos casos potencia la firma pasiva. La combinación de estas técnicas permite determinar si un vehículo dado está libre de amenazas midiendo la ausencia de un paquete blindado potencial y la ausencia de una firma de radiación.

[0083] Un sistema de detección de muones que utiliza muones producidos por rayos cósmicos para detectar un objeto para implementar la terminal de contenedores divulgada se puede configurar para usar diversas técnicas de formación de imágenes. El rastreo de partículas cargadas de traspaso, tales como los muones, proporciona un mecanismo para determinar el contenido de un contenedor. También se pueden usar otros mecanismos. Por ejemplo, se pueden usar técnicas de sustracción para potenciar el procesamiento de los datos de tomografía de muones. Cuando se realizan reconstrucciones en conjuntos de datos de exposición corta (por ejemplo, varios vóxeles atravesados por menos de unos pocos muones), es común que la gran dispersión integrada de objetos gruesos de Z medio se coloquen en un único vóxel. Para exposiciones más largas que producen varios muones que atraviesan todo el objeto grande de Z medio a través de varios vóxeles, la densidad nuclear se puede distribuir apropiadamente en el volumen del objeto. Con umbrales de densidad de amenaza baja, es común que estas reconstrucciones de exposición corta se consideren amenazantes, lo que extiende el tiempo promedio que se tarda en autorizar escenas inocuas. La implementación de determinados algoritmos de sustracción de fondo mitiga este problema, reduciendo en gran medida el tiempo promedio para autorizar escenas inocuas.

[0084] En un aspecto, se describe un sistema de detección de partículas que incluye, un primer conjunto de detectores de muones sensibles a la posición localizados en un primer lado de un área de retención del objeto para medir posiciones y direcciones de muones incidentes hacia el área de retención de objetos, un segundo conjunto de detectores de muones sensibles a la posición localizados en un segundo lado del área de retención de objetos opuesto al primer lado para medir posiciones y direcciones de muones salientes que salen del área de retención de objetos, y una unidad de procesamiento de señales, que puede incluir, por ejemplo, un microprocesador, para recibir datos de señales medidas de los muones entrantes del primer conjunto de detectores de muones sensibles a la posición y señales medidas de los muones salientes del segundo conjunto de detectores de muones sensibles a la posición. Esta unidad de procesamiento de señales está configurada para analizar los comportamientos de dispersión de los muones causados por la dispersión de los muones en los materiales dentro del área de retención de objetos en base a las posiciones y las direcciones entrantes y salientes medidas de los muones para obtener un perfil tomográfico o la distribución espacial de los centros de dispersión dentro del área de retención de objetos. El perfil tomográfico o la distribución espacial obtenidos de los centros de dispersión se pueden usar para revelar la presencia o ausencia de uno o más objetos en el área de retención, tales como materiales con elevados números atómicos incluyendo materiales o dispositivos nucleares. Cada detector de muones sensible a la posición se puede implementar en diversas configuraciones, incluyendo celdas de deriva tales como tubos de deriva llenos de un gas que puede ser ionizado por muones. Se puede usar dicho sistema para utilizar muones naturales producidos por rayos cósmicos como fuente de muones para detectar uno o más objetos en el área de retención de objetos. En una implementación, la unidad de procesamiento de señales puede funcionar para sustraer una imagen de muones cósmicos de referencia que representa un fondo de un objeto, carga, contenedor o vehículo bajo inspección en el área de retención de objetos a partir de una imagen de muones cósmicos obtenida del objeto, de la carga o del vehículo bajo inspección para obtener una imagen sustraída; y procesar la imagen sustraída para determinar si el objeto, la carga o el vehículo bajo inspección contiene un objeto objetivo que está ausente de la imagen de muones cósmicos de referencia.

[0085] En otro aspecto, se proporciona un procedimiento para usar muones cósmicos naturales como fuente de radiación para obtener imágenes tomográficas de muones de un objeto, carga o vehículo bajo inspección. Este procedimiento incluye obtener una o más imágenes de muones cósmicos de un objeto, contenedor, carga o vehículo bajo inspección; sustraer una imagen de muones cósmicos de referencia de un objeto, contenedor, carga o vehículo de referencia que representa un fondo del objeto, carga o vehículo bajo inspección a partir de una imagen de muones cósmicos obtenida del objeto, contenedor, carga o vehículo bajo inspección para obtener una imagen sustraída; y procesar la imagen sustraída para determinar si el objeto, contenedor, carga o vehículo bajo inspección contiene un objeto objetivo que está ausente de la imagen de muones cósmicos de referencia.

[0086] En otro aspecto, un procedimiento de inspección que usa tomografía de muones, que comprende: escanear un vehículo o contenedor de carga usando sensores de muones para obtener datos de imágenes de tomografía de muones; crear una reconstrucción del vehículo o contenedor de carga a partir de los datos de imágenes de tomografía de muones; sustraer una reconstrucción de un modelo de fondo conocido para el vehículo o contenedor de carga de la reconstrucción del vehículo o contenedor de carga para obtener una imagen sustraída; y analizar la imagen sustraída para detectar si un objeto objetivo está presente en el vehículo o contenedor de carga.

[0087] El uso de conocimiento previo acelera considerablemente la identificación de objetos de amenaza. Cuando no se asumió el conocimiento previo y se usó el conocimiento del impulso del 50%, la detección del 90% con cero falsos positivos en el conjunto de datos usado para estas curvas de características de operador receptor (ROC) requiere tiempos de recuento de ~60 segundos. Cuando se promedia y se sustrae un promedio de muchas reconstrucciones de una camioneta vacía durante un tiempo dado de las escenas de carga, la tasa de falsos positivos para tiempos de escaneo cortos se reduce significativamente. Un dispositivo implementado tendría información equivalente sobre modelos de vehículos comunes en una base de datos. Los histogramas de los valores máximos reconstruidos obtenidos usando la sustracción de 3 sigma (la reconstrucción de la camioneta vacía promedio más 3 veces la desviación estándar en un conjunto de reconstrucciones estadísticamente independientes para un tiempo de escaneo dado se sustrae vóxel a vóxel) se muestran a continuación en la FIG. 11 y las curvas ROC se muestran en la FIG. 12. Con este procedimiento, la curva ROC de 30 segundos se vuelve casi perfecta. Las curvas de los tiempos de inspección requeridos se muestran en la FIG. 13 que compara los tiempos de inspección promedio sin conocimiento previo (línea continua), sustracción recta (línea de trazos) y sustracción de 3 sigma (línea de puntos y trazos) para la mezcla de escenas descritas anteriormente.

[0088] La curva discontinua muestra los resultados que se obtienen cuando se sustrae el promedio de muchas escenas de camionetas vacías de cada recorrido antes de calcular la curva ROC. Esto reduce el nivel promedio de la señal de las escenas inocuas y da como resultado una reducción en un factor de dos en el tiempo promedio de escaneo. La curva de puntos y trazos se obtiene sustrayendo la señal promedio más tres desviaciones estándar (tres sigmas) de la reconstrucción en cada tiempo. Esto sobresustrae en regiones de alta densidad donde las fluctuaciones estadísticas que dan lugar a falsos positivos son más probables. Este procedimiento reduce los tiempos de inspección en casi un factor adicional de dos.

[0089] La ambigüedad en la atribución de la señal de dispersión a vecindarios de voxel apropiados produce efectos consecuentes en tiempos de exposición discretos, pero no se caracteriza fácilmente a lo largo del tiempo. Una solución es desarrollar modelos de fondo independientes para tiempos de exposición discretos. Los modelos de fondo que dependen del tiempo de exposición se pueden sustraer a continuación de una reconstrucción que se realiza en una escena.

[0090] Para cada tiempo de exposición discreto, se crea un conjunto de reconstrucciones de fondo en base a escaneos de escenas inocuas. Este conjunto de fondos debe incluir tantas reconstrucciones de escenas inocuas como sea posible, pero es eficaz con tan solo 50-100 escenas escaneadas. Se pueden implementar diferentes formas de combinar la información del conjunto de datos de fondo. Los ejemplos incluyen la construcción del modelo de fondo promediando el valor reconstruido de cada vóxel de cada reconstrucción en el conjunto de datos de fondo, encontrando el valor reconstruido mediano y encontrando el valor del percentil 95. El modelo de fondo se puede construir sobre la base de conocimiento previo, ya sea usando una reconstrucción modelada o usando una reconstrucción medida de una escena inocua, tal como un vehículo o contenedor vacío.

[0091] Para combinar apropiadamente los resultados de los escaneos de escenas inocuas en un modelo de fondo, la posición y orientación del vehículo o contenedor escaneado se deben conocer en relación con el sistema de coordenadas del escáner. La precisión de esta medición debe ser del mismo orden que la resolución esperada del rastreo de muones en el volumen de interés, por ejemplo, de 1 cm a 2 cm.

[0092] Una vez que se desarrolla un modelo de fondo, la sustracción se puede realizar en el procesamiento de formación de imágenes. El valor de un vóxel en el modelo de fondo se sustrae del valor reconstruido para ese vóxel en una escena considerada. El cálculo de la probabilidad de presencia de una amenaza procede como sin modelo de fondo. Los umbrales se aplican a las densidades de dispersión sustraídas del fondo y la probabilidad de presencia de una amenaza se calcula a partir del número y el grado en que los vóxeles se encuentran por encima del umbral.

[0093] Se han realizado cálculos completos de transporte de partículas físicas en varias configuraciones de carga dentro de una camioneta Ford Econoline simulada. En estos cálculos, se generaron conjuntos de datos de dispersión de muones basados en interacciones de muones con material en la escena. Las escenas incluyeron una camioneta vacía, la camioneta con varias cargas y estas mismas escenas con un objeto de amenaza de alta densidad (cubo de tungsteno de 10 cm) colocado en la escena. Se desarrollaron modelos de fondo basados en 100 escaneos simulados de la camioneta vacía durante varios tiempos de exposición discretos. Estos modelos de fondo se aplicaron a continuación a 100 reconstrucciones de cada una de las otras escenas y se generaron curvas ROC con corrección de fondo.

[0094] Las FIGS. 14A y 14B muestran una exposición de camioneta simulada con un bloque de tungsteno de 10 cm debajo del motor antes y después de la sustracción de fondo. La proporción entre la intensidad de la señal del objeto de amenaza y el fondo incrementa considerablemente si se aplica el conocimiento previo de los componentes del vehículo. El modelo de fondo de la FIG. 14B se basa en el modelo de fondo del percentil

95.

[0095] Las curvas ROC calculadas para conjuntos con y sin aplicación del modelo de fondo del percentil 95 se muestran en las FIGS. 15A y 15B. Las exposiciones simuladas fueron para la camioneta con bloque de tungsteno de 10 cm escondido en carga mixta de hormigón, acero y aluminio antes y después de la sustracción de fondo. Las curvas ROC para las escenas de fondo sustraído, incluso con carga complicada sin sustraer, muestran una probabilidad mucho mayor de detección y una probabilidad mucho menor de falsas alarmas en cada tiempo de exposición discreto.

[0096] Estas curvas ROC se analizaron para calcular los tiempos de exposición promedio para un escaneo de confianza del 95% y se compararon con los tiempos calculados sin la aplicación de modelos de fondo. Los tiempos de escaneo promedio frente a la probabilidad de detección se representan en la FIG. 13. Los cálculos se realizaron a partir de varios cientos de escaneos simulados con diversas cargas, incluyendo equipos de madera contrachapada, hormigón y acero pesado. Esta aplicación de conocimiento previo reduce en gran medida el tiempo promedio de escaneo para una probabilidad de detección dada. Por ejemplo, la aplicación del modelo del percentil 95 reduce los tiempos de escaneo promedio para un escaneo de confianza del 95% de más de un minuto a menos de 30 segundos.

[0097] Se realizó un estudio de la eficacia del uso de conocimientos previos en una reconstrucción mediante un sistema de tomografía de muones. En este estudio, se colocó un motor de automóvil de 6 cilindros en el escáner y se desarrolló un modelo de fondo del percentil 95 a partir de 100 escaneos de 1 minuto. Los escaneos se realizaron con una masa de 10 kg de plomo colocada en el motor, se aplicó el modelo y se desarrollaron las curvas ROC.

[0098] Las FIGS. 16A, 16B y 16C muestran una reconstrucción de muones real a partir de datos tomados en un sistema de tomografía de muones en este estudio. La FIG. 16A muestra un ejemplo de la imagen de tomografía de muones del fondo para el modelo de fondo. La FIG. 16B muestra la imagen de tomografía de muones de la escena con el objeto de plomo. La FIG. 16C muestra la escena reconstruida después de la aplicación del modelo de fondo.

[0099] El conjunto de datos de tomografía de muones se dividió en intervalos de 1, 2 y 4 minutos, y se analizó cada uno de forma independiente. La imagen promedio del recorrido largo con solo el motor se sustrajo de cada uno de los recorridos cortos individuales, y se histografió el valor máximo de vóxel de $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ para todos los recorridos con y sin el plomo. Estos histogramas, se muestra un ejemplo en la FIG. 17, se usaron para calcular las curvas ROC, mostradas en la FIG. 18.

[0100] Los tiempos de escaneo promedio para la detección automática de amenazas con un 95% de confianza se redujeron de un tiempo de exposición superior a 10 minutos sin conocimiento previo del componente de fondo de la escena a un tiempo de exposición significativamente reducido de menos de 4 segundos cuando se aplicó el modelo de fondo promedio a realizar la sustracción de fondo. Se ha demostrado que la aplicación de un modelo de componentes de fondo inocuos a las reconstrucciones tridimensionales reduce en gran medida el tiempo promedio de escaneo para autorizar escenas de objetos de amenaza de Z alto, sin disminuir la efectividad del escáner. El modelo del percentil 95 es eficaz y su funcionamiento da cuenta de forma eficaz de la concentración de la señal de dispersión en regiones pequeñas con tiempos de exposición cortos.

[0101] La tomografía de muones se puede usar para detectar ciertos materiales ocultos, tales como materiales con Z alto y materiales nucleares, detectando los contenedores de blindaje que se usan para ocultar dichos materiales. Además, la tomografía de muones puede detectar objetos construidos con materiales inocuos, tal como el acero, que tienen conformaciones distintivas, tales como proyectiles de artillería. Este enfoque de detección usa conformaciones de objetos presentes en las imágenes de tomografía de muones para identificar determinados objetos objetivo. Este enfoque de reconocimiento de conformaciones permite que las imágenes de tomografía de muones se usen en una amplia gama de aplicaciones de detección más allá de la detección de materiales de Z alto o Z medio.

[0102] Además de rastrear las partículas cargadas de traspaso, tales como los muones y la sustracción de fondo divulgada anteriormente, también se puede configurar un sistema de detección para implementar la terminal de contenedores divulgada para medir la pérdida de energía de las partículas cargadas que pasan a través de un contenedor para determinar el contenido dentro del contenedor. A este respecto, se puede proporcionar un procedimiento para detectar un volumen expuesto a partículas cargadas para medir la pérdida de energía de las partículas cargadas que entran y penetran en el volumen o se detienen dentro del volumen sin penetrar a través del volumen. En base a la pérdida de energía medida, este procedimiento se puede usar para determinar una distribución espacial de las partículas cargadas que entran y penetran en el volumen o se detienen dentro del volumen sin penetrar a través del volumen. El procedimiento incluye el uso de la distribución espacial de la pérdida de energía de las partículas cargadas para reconstruir la distribución tridimensional de materiales en el volumen de inspección. El procedimiento también incluye medir las partículas cargadas que

entran y penetran a través del volumen y las que se detienen en el volumen. Las mediciones de la pérdida de energía de las partículas cargadas se combinan con la desviación angular de las partículas cargadas para reconstruir la distribución espacial de uno o más materiales en el volumen.

5 **[0103]** Una unidad de procesamiento de señales puede determinar la pérdida de energía del haz de partículas cargadas en base a la información de la trayectoria detectada. También, la unidad de procesamiento puede mapear la dosis de radiación (por ejemplo, producir un mapa de pérdida de energía) así como generar una imagen anatómica.

10 **[0104]** Además de los cambios de trayectoria inducidos por la dispersión de Coulomb múltiple en las partículas cargadas que atraviesan un volumen de interés y la detención de las partículas cargadas dentro del volumen de interés, la pérdida de energía de las partículas cargadas que han penetrado (por ejemplo, muones) se puede caracterizar y usar en la reconstrucción tomográfica. Las técnicas para adquirir información de pérdida de energía de un sistema de rastreo de partículas cargadas se proporcionan a continuación y usan esta información en una reconstrucción tomográfica de los materiales y su distribución dentro del volumen de interés.

15 **[0105]** La tomografía de partículas cargadas genera imágenes tridimensionales usando la información contenida en la dispersión de Coulomb múltiple que se produce cuando una partícula cargada atraviesa la materia. Cuando una partícula cargada atraviesa la materia, se encuentra con las fuerzas de Coulomb de cada nucleón que pasa. Cuanto mayor sea el número atómico de núcleos que encuentra la partícula cargada, más integrada puede ser la dispersión. Además de la detección de su trayectoria, la partícula cargada pierde una fracción de su energía de acuerdo con su energía incidente y el material a través del cual pasa. La interacción de pérdida de energía es principalmente un efecto de las interacciones de la partícula con electrones en el material, en lugar de la señal de dispersión que está dominada por interacciones con protones.

20 **[0106]** Haciendo referencia al sistema de la FIG. 3A, además de detectar el movimiento de partículas cargadas dentro y fuera del volumen de interés 5, se puede detectar y analizar la pérdida de energía de las partículas cargadas que atraviesan el volumen. Las partículas cargadas entran en el volumen de interés 5 e interactúan con los objetos presentes en las trayectorias de las partículas cargadas. Cuando las partículas cargadas se dispersan en respuesta a la interacción con los objetos, las partículas cargadas pierden energía en base a las características de los objetos.

25 **[0107]** La FIG. 19 muestra un ejemplo del poder de detención de partículas cargadas frente a la energía incidente de partículas cargadas. Se muestra un ejemplo de potencia de detención ($= (dE/dx)$) para muones positivos en el cobre como una función de la energía cinética T (intervalo de 12 órdenes de magnitud).

30 **[0108]** La pérdida de energía es alta para los muones con su energía cinética en o por debajo de la masa en reposo del muón (muones no relativistas). Alrededor de la energía cinética media del muón de rayos cósmicos de 4 GeV, la pérdida de energía es descrita por la teoría de Bethe que describe principalmente pérdidas por ionización y excitación con algunas correcciones añadidas. La pérdida de energía media es de aproximadamente 2 MeV cm²/g. La pérdida de energía depende de manera diferente del tamaño atómico y la carga que la dispersión de Coulomb múltiple. Por tanto, una medición de la pérdida de energía, cuando se combina con una medición de dispersión de Coulomb múltiple, proporciona información adicional sobre los materiales en un volumen de interés.

35 **[0109]** La FIG. 20 muestra una ilustración de ejemplo de la medición de la pérdida de energía en materiales y cómo la pérdida medida sondea las propiedades de los materiales en el volumen de interés. El conocimiento de la trayectoria de la partícula cargada proporciona información sobre la posición y distribución de los materiales que causan la pérdida de energía.

40 **[0110]** Al medir la pérdida de energía en un detector de rastreo de partículas cargadas como los que se muestran en las FIGS. 3A, 3B y 4, el impulso de una partícula cargada se puede medir en un detector de rastreo de acuerdo con su dispersión múltiple en el material que comprende el detector. Al evaluar el grado de concordancia entre los datos producidos por una partícula cargada y un ajuste en línea recta, se puede inferir una estimación del impulso de la partícula. La medición del impulso se puede realizar de forma independiente para las trayectorias entrantes y salientes, proporcionando una medición de la energía perdida al atravesar el volumen de interés.

45 **[0111]** Se pueden implementar programas de reconstrucción para usar vóxeles para definir un volumen de interés e incorporar la pérdida de energía en las reconstrucciones tomográficas. Por ejemplo, los números enteros n_x , n_y y n_z se pueden usar para definir los lados x , y y z de un volumen rectangular de ejemplo. Cada vóxel incluye los lados dx , dy y dz con cada lado representado por una proporción del lado dividido por el número n (es decir, $dx=x/n_x$, etc.). Otro parámetro que se puede usar en la reconstrucción es un factor de ponderación asignado a los vóxeles que dan como resultado una imagen cuando se genera una curva 2D o 3D del factor de ponderación frente a la localización de los vóxeles en el espacio.

[0112] El factor de ponderación se puede considerar como una densidad promedio de materia en cada vóxel. Esto se basa en el factor de ponderación que representa una medida de la longitud de radiación promedio de la materia en cada vóxel. La longitud de la radiación depende de la densidad y la carga elemental de la materia y es una constante medible para cada elemento que se puede obtener a partir de simulaciones de compuestos de composición elemental conocida. Se pueden implementar algoritmos de reconstrucción para asignar factores de ponderación a los vóxeles en base a la sonda del volumen de interés que se está utilizando.

[0113] Para los muones y electrones cargados, los factores de ponderación pueden incluir la dispersión, la pérdida de energía, la detención y la cascada como procesos distintos que se pueden usar para la formación de imágenes de un volumen de inspección. Los factores de ponderación se agregan a los vóxeles atravesados por las partículas cargadas y la suma de los factores de ponderación se relaciona con la densidad o la longitud de radiación. Se pueden implementar rutinas simples para usar la trayectoria entrante y cualquier trayectoria saliente de las partículas cargadas que son medidas por detectores (por ejemplo, detectores 120 y 130) localizados en 2 lados del volumen de interés. Se pueden implementar rutinas más complicadas para usar ajustes dinámicos del tamaño de los vóxeles en base a la densidad después del paso de una pequeña muestra de las partículas cargadas; y el suavizado o agrupamiento basado en la densidad de vóxeles vecinos.

[0114] En la tomografía de partículas cargadas (MT), se generan representaciones tridimensionales de la densidad de dispersión, una medición de la densidad y el número atómico (densidad de protones) del material en el volumen de interés a partir de los datos de dispersión de partículas cargadas. La fidelidad de esta reconstrucción está determinada por el número de partículas cargadas que pasan a través de cada elemento de resolución (vóxel) y la cantidad de información disponible de cada partícula cargada. El ángulo de dispersión, su localización y la distancia de aproximación más cercana entre las proyecciones entrantes y salientes de la trayectoria de la partícula cargada se incluyen en una función de probabilidad. Esta función se puede maximizar de acuerdo con el conjunto de datos de dispersión para reconstruir las propiedades del material y la distribución en el volumen de interés. La suma de la pérdida de energía de la partícula cargada a la función de probabilidad proporciona una medida relacionada, pero parcialmente independiente, de la densidad de electrones y la distribución de los materiales en el volumen de interés.

[0115] La función de actualización se define para cada conjunto de partículas cargadas que atraviesan el volumen de interés en un tiempo dado. Esto se considera una iteración. A continuación, cada iteración se agrega a un número total hasta el final del escaneo. La función de actualización depende del número de vóxeles, las medidas que determinan uno o más factores de peso. Cada vóxel se actualiza con algún valor calculado a partir de las partículas cargadas (por ejemplo, muones y/o electrones) que pasan a través del vóxel, los ángulos de dispersión y los desplazamientos. La información de las cascadas se puede agregar a esta función de actualización en cada iteración. De esta manera, todos los datos se consideran en el mismo cálculo de probabilidad en lugar de calcular cada uno (dispersión y cascada) por separado. Otra información que se puede considerar incluye información de detención y pérdida de energía.

[0116] En la implementación, el sistema de la FIG. 3A se puede usar para obtener datos medidos que contienen información sobre partículas cargadas que han penetrado (por ejemplo, muones que han penetrado) y partículas cargadas detenidas que están atrapadas dentro del volumen de interés. En base a dicha información, la unidad de procesamiento produce imágenes tomográficas del volumen en base a diferentes medidas y a continuación produce una imagen final usando una o una combinación de al menos dos imágenes tomográficas.

[0117] La FIG. 21 muestra un funcionamiento del sistema en la FIG. 3A basado en la información medida tanto en partículas cargadas que han penetrado como en partículas cargadas atrapadas. En base a las mediciones de las partículas cargadas que han penetrado y detenidas, la unidad de procesamiento combina dos o tres tipos de datos medidos de cambios de trayectoria de partículas cargadas que han penetrado (por ejemplo, muones que han penetrado), la información sobre partículas cargadas detenidas que están atrapadas dentro del volumen de interés (por ejemplo, muones atrapados) y la información sobre la pérdida de energía de partículas cargadas que han penetrado (por ejemplo, muones que han penetrado) para construir una imagen tomográfica del volumen de interés. Este proceso usa información de diferentes procesos dentro del volumen de interés para mejorar la fidelidad y resolución de la imagen final para el volumen de interés y reducir la falsa detección. En una implementación, se pueden introducir tres tipos de mediciones en un algoritmo de procesamiento para construir un único mapa tomográfico de material de probabilidad máxima del volumen. Como tal, con los tres tipos de mediciones disponibles a partir del sistema en la FIG. 3A, la imagen tomográfica generada del volumen de interés puede ser más precisa y exacta que la imagen a partir de cualquiera de las mediciones por sí solas.

[0118] De acuerdo con la invención, se usa un escáner de partículas cargadas para determinar el contenido dentro de un contenedor, usándose las partículas cargadas que entran pero se detienen dentro de un contenedor para potenciar el funcionamiento de formación de imágenes del contenedor. En este sentido, un proceso

[0119] se implementa en un escáner de partículas cargadas para identificar un material de un volumen de interés (VOI) expuesto a partículas cargadas, tales como partículas cargadas de rayos cósmicos. El VOI puede incluir, por ejemplo, el contenido de un contenedor. El proceso incluye determinar una métrica de dispersión de partículas cargadas de rayos cósmicos que interactúan con el VOI para representar un primer conjunto de partículas cargadas de rayos cósmicos que entran y salen del VOI. El proceso incluye determinar una métrica de detención de partículas cargadas de rayos cósmicos que interactúan con el VOI para representar un segundo conjunto de partículas cargadas de rayos cósmicos que entran y se detienen dentro del VOI. El proceso incluye calcular una proporción entre la métrica de dispersión y la métrica de detención para obtener una proporción de dispersión a detención para el VOI. El proceso incluye comparar el par determinado de proporción de dispersión a detención y la métrica de dispersión frente a una proporción de dispersión a detención establecida frente a la relación de métrica de dispersión para una gama de materiales para determinar si el material del VOI coincide con un material en la gama de materiales.

[0120] La FIG. 22 presenta un diagrama de flujo que ilustra un proceso de identificación de un material u objeto de un VOI expuesto a partículas cargadas de rayos cósmicos para su uso en la terminal de contenedores divulgada. El proceso de identificación del material incluye determinar una métrica de dispersión de partículas cargadas de rayos cósmicos que interactúan con el VOI para representar un primer conjunto de partículas cargadas de rayos cósmicos que entran y salen del VOI (502). Por ejemplo, el proceso de determinación de la métrica de dispersión puede incluir el uso de la expresión (2) para obtener la métrica de dispersión. El proceso de identificación del material incluye determinar una métrica de detención de partículas cargadas de rayos cósmicos que interactúan con el VOI para representar un segundo conjunto de partículas cargadas de rayos cósmicos que entran y se detienen dentro del VOI (504). Por ejemplo, el proceso de la métrica de detención puede incluir el uso de la expresión (1) para obtener la métrica de detención. El proceso de identificación del material incluye calcular una proporción entre la métrica de dispersión determinada y la métrica de detención determinada para obtener una proporción de dispersión a detención para el VOI (506). El proceso de identificación de material incluye comparar el par determinado de proporción de dispersión a detención y la métrica de dispersión frente a una relación establecida entre la proporción de dispersión a detención y la métrica de dispersión para una gama de materiales u objetos conocidos para determinar si el material del VOI coincide con un material de la gama de materiales conocidos (508). Al identificar el material del VOI como un material conocido, el proceso puede incluir la estimación de un espesor del material u objeto del VOI en base a una relación establecida entre la proporción de dispersión a detención y una métrica de detención normalizada por unidad de espesor para la gama de materiales conocidos (510).

[0121] En algunos modos de realización, la potencia de detención se puede calcular usando la expresión:

$$\text{Potencia de detención} = [(\text{número sin procesar de recorridos detenidos/área/tiempo}) \times \langle p \rangle] / [(\text{número de recorridos dispersos/área/tiempo}) \times \text{espesor de la muestra}]$$

donde $\langle p \rangle$ es el impulso promedio de los rayos cósmicos incidentes.

[0122] En algunas implementaciones, la métrica de dispersión se calcula usando la siguiente expresión:

$$\lambda = (\langle \theta \rangle \langle p \rangle)^2 / [\text{espesor de la muestra}]$$

donde $\langle \theta \rangle$ es el ángulo de dispersión de la muestra promedio. Cabe señalar que esta expresión de la métrica de dispersión permite la eliminación del espesor de la muestra como algo desconocido. Esto se debe a que la expresión del poder de detención, como se muestra arriba, también está normalizada por el espesor de la muestra, de modo que la proporción de los dos elimina la variable de espesor. En algunos modos de realización, la proporción entre el poder de detención y la dispersión permite la identificación del material, y el ángulo de dispersión medio se puede usar para inferir el espesor de la muestra.

[0123] El proceso de identificación del material puede incluir un proceso de compensación o mitigación para los efectos geométricos del objeto que se detecta para mejorar la exactitud de la detección. Para objetos con conformación de planos horizontales (por ejemplo, láminas, placas), sustancialmente todas las partículas cargadas producidas por rayos cósmicos atraviesan el mismo espesor (o son detenidas por el mismo espesor) cuando penetran en los objetos. Sin embargo, los objetos cuya extensión horizontal es comparable o más pequeña que su espesor vertical pueden tener un número sustancial de partículas cargadas de rayos cósmicos con trayectorias que cortan las esquinas, y las longitudes de trayectoria de dichas partículas cargadas de rayos cósmicos pueden ser mucho más cortas que las longitudes de trayectoria de partículas cargadas de rayos cósmicos que penetran en todo el espesor de los objetos. Este efecto puede sesgar la dispersión observada y la potencia de detención. Sin embargo, este sesgo se puede mitigar repitiendo la reducción de datos, seleccionando subconjuntos de diferentes tamaños (es decir, máscaras) del VOI para el análisis. Una máscara mucho más pequeña que la extensión horizontal completa de un objeto incluirá una fracción más pequeña de

trayectorias de partículas cargadas de rayos cósmicos cortando las esquinas y, por tanto, tendrá un error sistemático menor. Variar el tamaño de la máscara puede cuantificar el error, además de proporcionar mejores estimaciones tanto del espesor como de las dimensiones horizontales.

[0124] En las implementaciones, se usa un procedimiento para caracterizar una gama de materiales en base a la dispersión y la detención de partículas cargadas de rayos cósmicos incidentes que pasan a través de cada material. El procedimiento comprende para un material dado dentro de la gama de materiales: (a) crear un volumen de interés (VOI) del material, (b) determinar una métrica de dispersión de partículas cargadas de rayos cósmicos que interactúan con el VOI para representar un primer conjunto de partículas cargadas de rayos cósmicos que entran y salen del VOI, (c) determinar una métrica de detención de partículas cargadas de rayos cósmicos que interactúan con el VOI para representar un segundo conjunto de partículas cargadas de rayos cósmicos que entran y se detienen dentro del VOI, y (d) calcular una proporción entre la métrica de dispersión y la métrica de detención para obtener una proporción de dispersión a detención para el material. El procedimiento también incluye establecer una relación de dispersión-detención de partículas cargadas de rayos cósmicos para la gama de materiales en base a los pares determinados de la proporción de dispersión a detención y la métrica de dispersión asociada para la gama de materiales.

[0125] Si bien este documento contiene muchos detalles, estos no se deben interpretar como limitaciones del alcance de una invención o de lo que se pueda reivindicar, sino más bien como descripciones de rasgos característicos específicos de modos de realización particulares de la invención. Determinados rasgos característicos que se describen en el presente documento en el contexto de modos de realización separados también se pueden implementar en combinación en un único modo de realización.

[0126] De forma similar, aunque los funcionamientos se representan en los dibujos en un orden particular, esto no se debe entender como requiriendo que dichos funcionamientos se realicen en el orden particular mostrado o en orden secuencial, o que se realicen todos los funcionamientos ilustrados para lograr unos resultados deseables. Además, la separación de diversos componentes del sistema en los modos de realización descritos en este documento de patente no se debe entender que requiera dicha separación en todos los modos de realización.

[0127] Los modos de realización divulgados y otros modos de realización, módulos y funcionamientos descritos en este documento se pueden implementar en circuitos electrónicos digitales, o en programa informático, firmware o hardware, incluyendo las estructuras divulgadas en este documento y sus equivalentes estructurales, o en combinaciones de uno o más de ellos. Los modos de realización divulgados y otros se pueden implementar como uno o más productos de programas informáticos, es decir, uno o más módulos de instrucciones de programas informáticos codificados en un medio legible por ordenador para su ejecución por o para controlar el funcionamiento de un aparato de procesamiento de datos. El medio legible por ordenador puede ser un dispositivo de almacenamiento legible por máquina, un sustrato de almacenamiento legible por máquina, un dispositivo de memoria, una composición de materia que efectúa una señal propagada legible por máquina, o una combinación de uno o más de ellos. El término "aparato de procesamiento de datos" abarca todos los aparatos, dispositivos y máquinas para procesar datos, incluyendo, a modo de ejemplo, un procesador programable, un ordenador o múltiples procesadores u ordenadores. El aparato puede incluir, además del hardware, código que crea un entorno de ejecución para el programa informático en cuestión, por ejemplo, código que constituye el firmware del procesador, un apilamiento de protocolos, un sistema de gestión de bases de datos, un sistema operativo o una combinación de uno o más de ellos. Una señal propagada es una señal generada artificialmente, por ejemplo, una señal eléctrica, óptica o electromagnética generada por una máquina, que se genera para codificar información para su transmisión a un aparato receptor adecuado.

[0128] Un programa informático (también conocido como programa, software, aplicación de programa informático, secuencia de comandos o código) se puede escribir en cualquier forma de lenguaje de programación, incluyendo los lenguajes compilados o interpretados, y se puede implementar en cualquier forma, incluso como programa autónomo o como módulo, componente, subrutina u otra unidad adecuada para su uso en un entorno informático. Un programa informático no se corresponde necesariamente con un archivo en un sistema de archivos. Un programa se puede almacenar en una parte de un archivo que contiene otros programas o datos (por ejemplo, uno o más scripts almacenados en un documento de lenguaje de marcado), en un único archivo dedicado al programa en cuestión o en múltiples archivos coordinados (por ejemplo, archivos que almacenan uno o más módulos, subprogramas o partes de código). Se puede implementar un programa informático para que se ejecute en un ordenador o en varios ordenadores localizados en un sitio o distribuidos en múltiples sitios e interconectados por una red de comunicación.

[0129] Los procesos y flujos lógicos descritos en este documento pueden ser realizados por uno o más procesadores programables que ejecutan uno o más programas informáticos para realizar funciones operando con datos de entrada y generando salida. Los procesos y flujos lógicos también se pueden realizar y el aparato también se puede implementar como un circuito lógico de propósito especial, por ejemplo, un FPGA (matriz de puertas programables en campo) o un ASIC (circuito integrado específico de la aplicación).

[0130] Los procesadores adecuados para la ejecución de un programa informático incluyen, a modo de ejemplo, microprocesadores tanto de propósito general como especial, y uno o más procesadores de cualquier tipo de ordenador digital. En general, un procesador recibirá instrucciones y datos de una memoria de solo lectura o una memoria de acceso aleatorio o ambas. Los elementos esenciales de un ordenador son un procesador para ejecutar instrucciones y uno o más dispositivos de memoria para almacenar instrucciones y datos. En general, un ordenador también incluirá, o estará operativamente acoplada para recibir o transferir datos a, o ambos, uno o más dispositivos de almacenamiento masivo para almacenar datos, por ejemplo, discos magnéticos, discos magneto ópticos o discos ópticos. Sin embargo, un ordenador no necesita tener dichos dispositivos. Los medios legibles por ordenador adecuados para almacenar instrucciones y datos de programas informáticos incluyen todas las formas de memoria no volátil, medios y dispositivos de memoria, incluyendo, a modo de ejemplo, dispositivos de memoria semiconductores, por ejemplo, EPROM, EEPROM y dispositivos de memoria flash; discos magnéticos, por ejemplo, discos duros internos o discos extraíbles; discos magneto ópticos; y discos CD ROM y DVD-ROM. El procesador y la memoria se pueden complementar o incorporar en circuitos lógicos de propósito especial.

[0131] Solo se divulgan algunas implementaciones. Se pueden realizar variaciones y perfeccionamientos de las implementaciones descritas y otras implementaciones en base a lo que se describe e ilustra en este documento.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para escanear contenedores como parte del procesamiento de contenedores entrantes desde un barco en una terminal de contenedores de un puerto, comprendiendo el procedimiento:
 - 5 descargar contenedores de un barco en un extremo de un apilamiento de área de depósito (204) más cercano al barco;
 - 10 obtener información sobre cada contenedor, incluyendo el número de identificación del contenedor y el manifiesto del contenedor;
 - 15 antes de colocar un contenedor en el apilamiento de área de depósito (204) para su envío terrestre, hacer funcionar un escáner de contenedores (208) en el extremo del apilamiento de área de depósito (204) más cercano al barco para escanear el contenedor y obtener información sobre el contenedor escaneado para indicar si el contenedor contiene uno o más regiones u objetos sospechosos,
 - 20 en el que el contenedor se introduce deslizando en un extremo del escáner de contenedores (208) para escanear el contenedor y a continuación se desliza fuera de otro extremo del escáner de contenedores (208) al finalizar el escaneo,
 - 25 en el que el escáner de contenedores (208) incluye un escáner de tomografía de partículas cargadas de funcionamiento basado en muones de rayos cósmicos, y
 - 30 en el que el funcionamiento del escáner de contenedores (208) para escanear el contenedor comprende:
 - 35 determinar una métrica de dispersión de partículas cargadas de rayos cósmicos que interactúan con el contenido del contenedor para representar un primer conjunto de partículas cargadas de rayos cósmicos que entran y salen del contenido del contenedor;
 - 40 determinar una métrica de detención de partículas cargadas de rayos cósmicos que interactúan con el contenido del contenedor para representar un segundo conjunto de partículas cargadas de rayos cósmicos que entran y se detienen dentro del contenido del contenedor;
 - 45 calcular una proporción de la métrica de dispersión respecto a la métrica de detención para obtener una proporción entre dispersión y detección para el contenido del contenedor; y
 - 50 comparar el par determinado de proporción entre dispersión y detención y la métrica de dispersión frente a una proporción entre dispersión y detención establecida frente a la relación de métrica de dispersión para una gama de materiales para determinar si el contenido del contenedor coincide con un material en la gama de materiales;
 - 55 al finalizar el escaneo, colocar el contenedor escaneado en el apilamiento de área de depósito (204) para su almacenamiento para su posterior envío terrestre o en un camión (205) o tren para su envío terrestre inmediato; y
 - 60 proporcionar información del contenedor escaneado para autorización para su envío terrestre, en el que la información proporcionada incluye el número de identificación del contenedor, el manifiesto del contenedor e información del escaneo que indica si el contenedor escaneado contiene uno o más regiones u objetos sospechosos.
 2. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que la obtención de información sobre cada contenedor se realiza mientras los contenedores se descargan del barco en un extremo del apilamiento de área de depósito (204).
 3. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que: el escáner de contenedores (208) en el extremo del apilamiento de área de depósito (204) más cercano al barco escanea un contenedor a la vez.
 4. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que: el escáner de contenedores (208) en el extremo del apilamiento de área de depósito (204) más cercano al barco escanea dos o más contenedores en paralelo a la vez.
 5. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que: el funcionamiento del escáner de contenedores (208) en el extremo del apilamiento de área de depósito (204) más cercano al barco incluye escanear un contenedor durante un tiempo entre dos recogidas contiguas por una grúa de área de depósito (203) que

maneja contenedores en el apilamiento de área de depósito (204) para evitar agregar tiempo para escanear el contenedor.

- 5 6. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que el escáner de tomografía de partículas cargadas incluye tubos de deriva para detectar rayos gamma y partículas cargadas producidos por rayos cósmicos entrantes y salientes.
- 10 7. El procedimiento como en la reivindicación 6, que comprende además: hacer funcionar una fuente de rayos gamma para proporcionar un incremento detectable en la tasa de recuento de rayos gamma.
- 15 8. El procedimiento como en la reivindicación 6, que comprende además: detectar, usando tubos de deriva, neutrones emitidos desde el contenedor, en el que los tubos de deriva incluyen un material sensible a neutrones.
- 20 9. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que el funcionamiento del escáner de contenedores (208) para escanear el contenedor comprende:
obtener una o más imágenes de muones cósmicos del contenedor bajo inspección;
sustraer una imagen de muones cósmicos de referencia de un contenedor de referencia que representa un fondo del contenedor bajo inspección de una imagen de muones cósmicos obtenida del contenedor bajo inspección para obtener una imagen sustraída; y
procesar la imagen sustraída para determinar si el contenedor bajo inspección contiene un objeto objetivo que está ausente en la imagen de muones cósmicos de referencia.
- 25 10. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que el funcionamiento del escáner de contenedores (208) para escanear el contenedor comprende:
medir la pérdida de energía de las partículas cargadas que entran y penetran en un volumen y las partículas cargadas que se detienen dentro del volumen sin penetrar a través del volumen; y
determinar, en base a la pérdida de energía medida, una distribución espacial de las partículas cargadas que entran y penetran en un volumen y las partículas cargadas que se detienen dentro del volumen sin penetrar a través del volumen.
- 30 11. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que la información proporcionada del contenedor escaneado se incluye en un paquete de datos integrados que se envía a una instalación remota de aduanas o de seguridad, en el que el paquete de datos integrados incluye: (a) la identificación del contenedor, (b) el manifiesto del contenedor, (c) datos sin procesar relacionados con el contenido del contenedor o imágenes procesadas del contenido del contenedor; (d) evaluación del contenido del contenedor en términos de la presencia de material de amenaza potencial o materiales de contrabando, o (e) una señal clara o señal de alerta sobre la cual las aduanas o seguridad pueden actuar.
- 35 12. El procedimiento como en la reivindicación 11, en el que solo se comparten con el puerto la identificación del contenedor y el manifiesto del contenedor, y la evaluación del contenido del contenedor en términos de la presencia de material de amenaza potencial o materiales de contrabando se comparte solo con la instalación remota de aduanas o de seguridad.
- 40 13. Una terminal de contenedores para realizar el escaneo de contenedores como parte del procesamiento de contenedores entrantes desde un barco en un puerto, que comprende:
un área de atraque que incluye grúas de barco (201) que pueden funcionar para descargar contenedores de un barco;
- 45 55 un área de depósito de apilado que incluye apilamientos de área de depósito (204) en ubicaciones de apilado designadas, incluyendo cada apilamiento de área de depósito (204) un primer extremo más cercano al barco y al menos una grúa de área de depósito (203) para recibir contenedores del barco, al menos una grúa de área de depósito (203) para manejar contenedores que se depositan en el primer extremo y un segundo extremo más alejado del barco para enviar contenedores para transporte terrestre;
- 60 65 escáneres de contenedores (208) distribuidos en los apilamientos de área de depósito (204), cada escáner de contenedores (208) ubicado en el primer extremo de cada apilamiento de área de depósito (204) más cercano al barco, cada escáner de contenedores (208) configurado para escanear cada contenedor que se deposita en el apilamiento de área de depósito (204) antes de colocar contenedores

- 5 escaneados en otra parte del apilamiento de área de depósito (204) para su envío terrestre, cada contenedor configurado para incluir un extremo en el que se introduce deslizando un contenedor y otro extremo fuera del cual se desliza el contenedor al finalizar el escaneo del contenedor, cada escáner de contenedores (208) configurado para obtener información sobre el contenedor escaneado indicando si el contenedor contiene una o más regiones u objetos sospechosos, y cada escáner de contenedores (208) incluye un escáner de tomografía de partículas cargadas de funcionamiento basado en muones de rayos cósmicos; y
- 10 una unidad de procesamiento de señales acoplada de manera comunicable a los escáneres de contenedores (208), en la que la unidad de procesamiento de señales comprende una memoria configurada para almacenar datos e instrucciones, y al menos un procesador, en la que las instrucciones, cuando se ejecutan, realizan una operación de escaneo provocando que el al menos un procesador realice operaciones de un escáner de contenedores (208) de la reivindicación 1 para escanear un contenedor y proporcionar información para la autorización del contenedor para su envío
- 15 terrestre, en la que la información proporcionada incluye un número de identificación, el manifiesto del contenedor e información de la operación de escaneo que indica si el contenedor escaneado contiene uno o más regiones u objetos sospechosos.

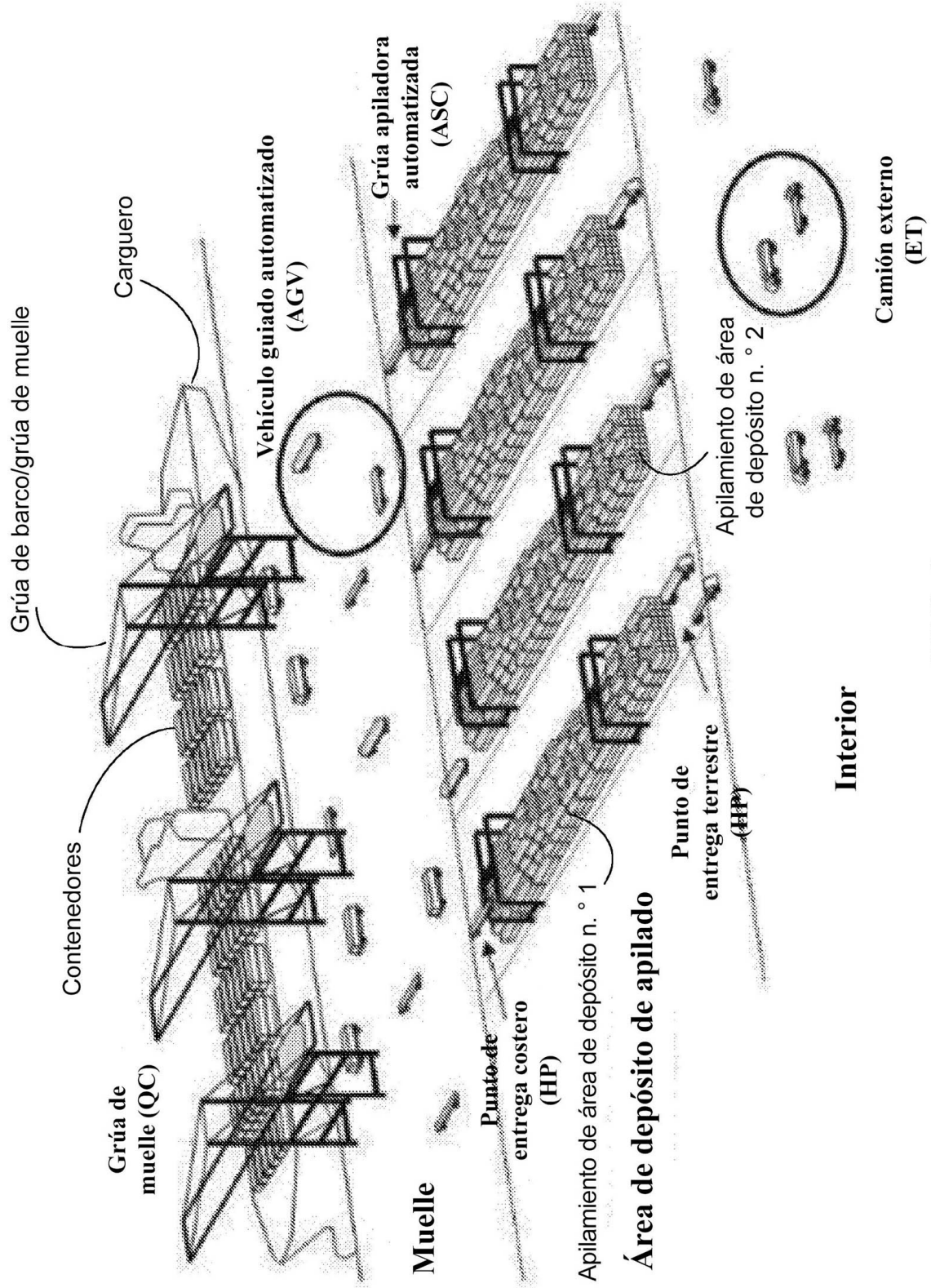


FIG. 1

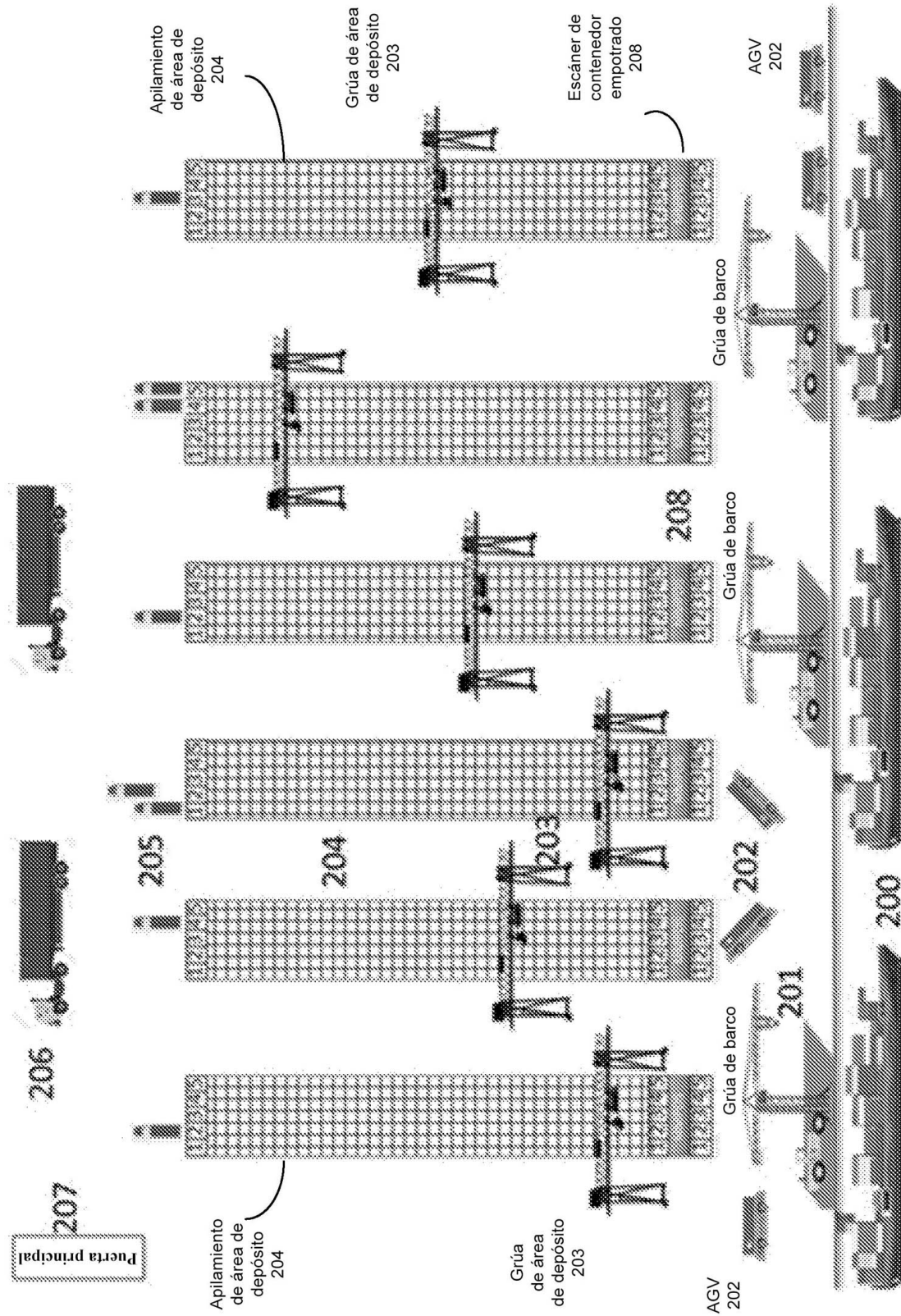


FIG. 2

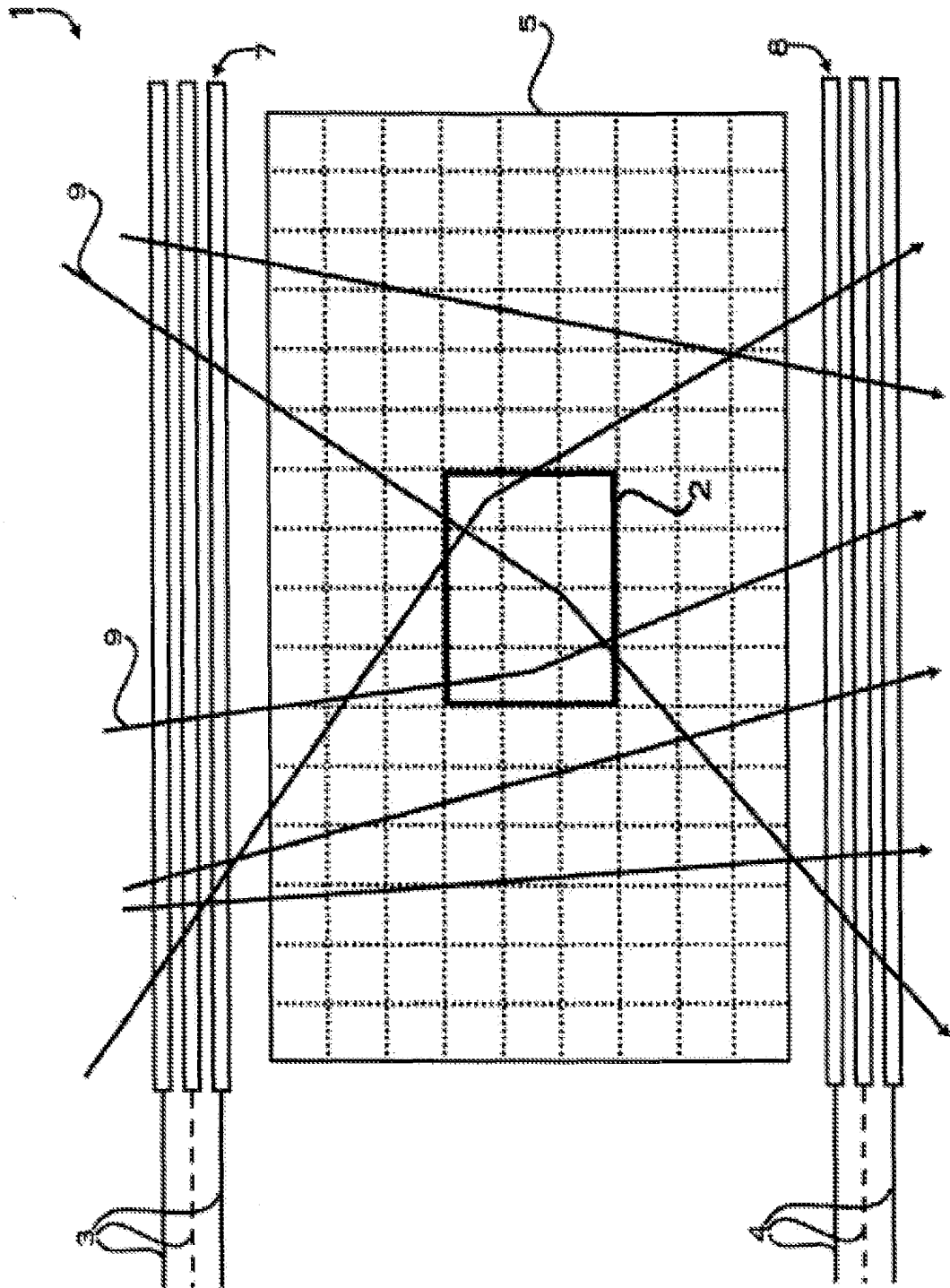


FIG. 3A

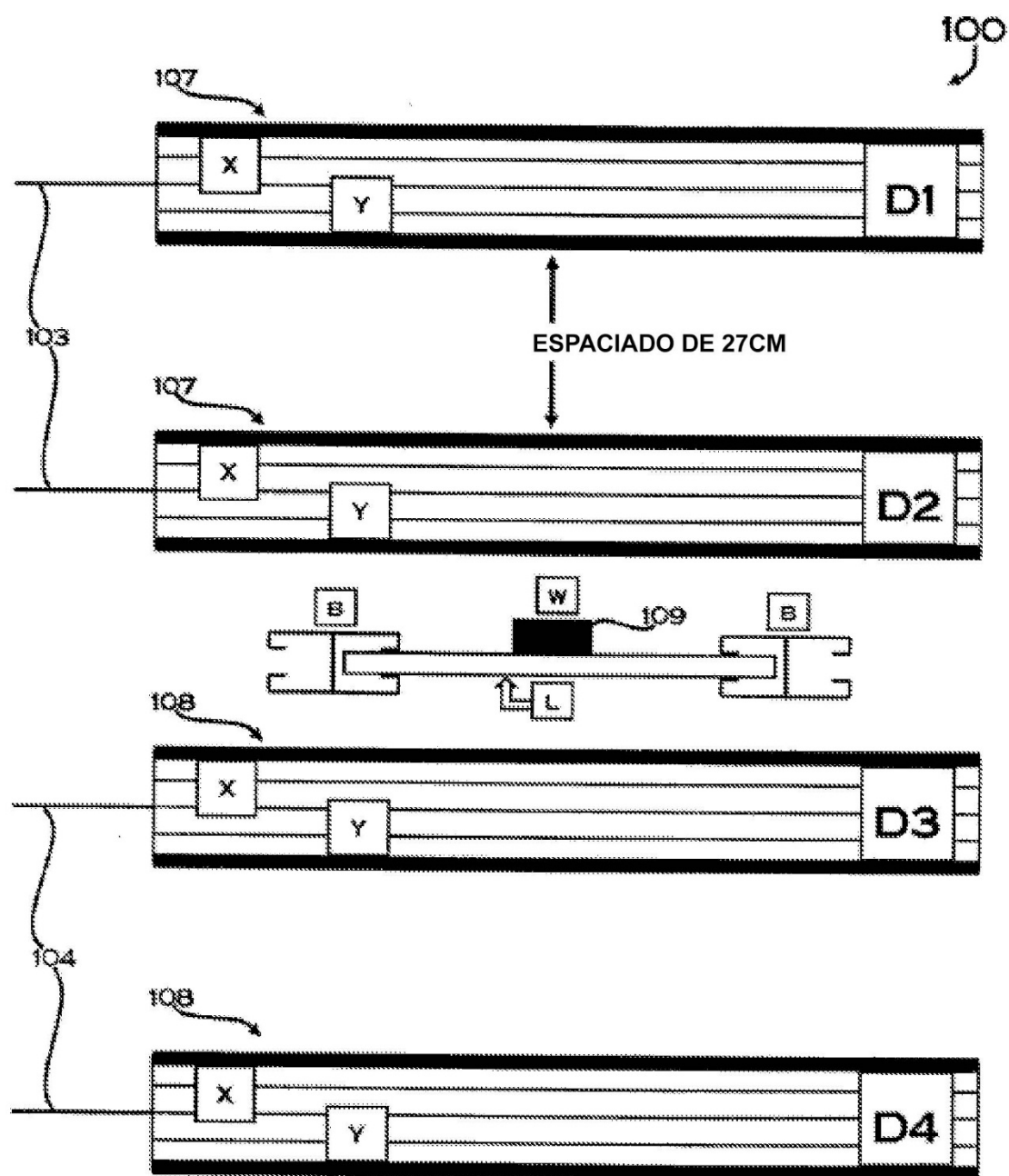


FIG. 3B

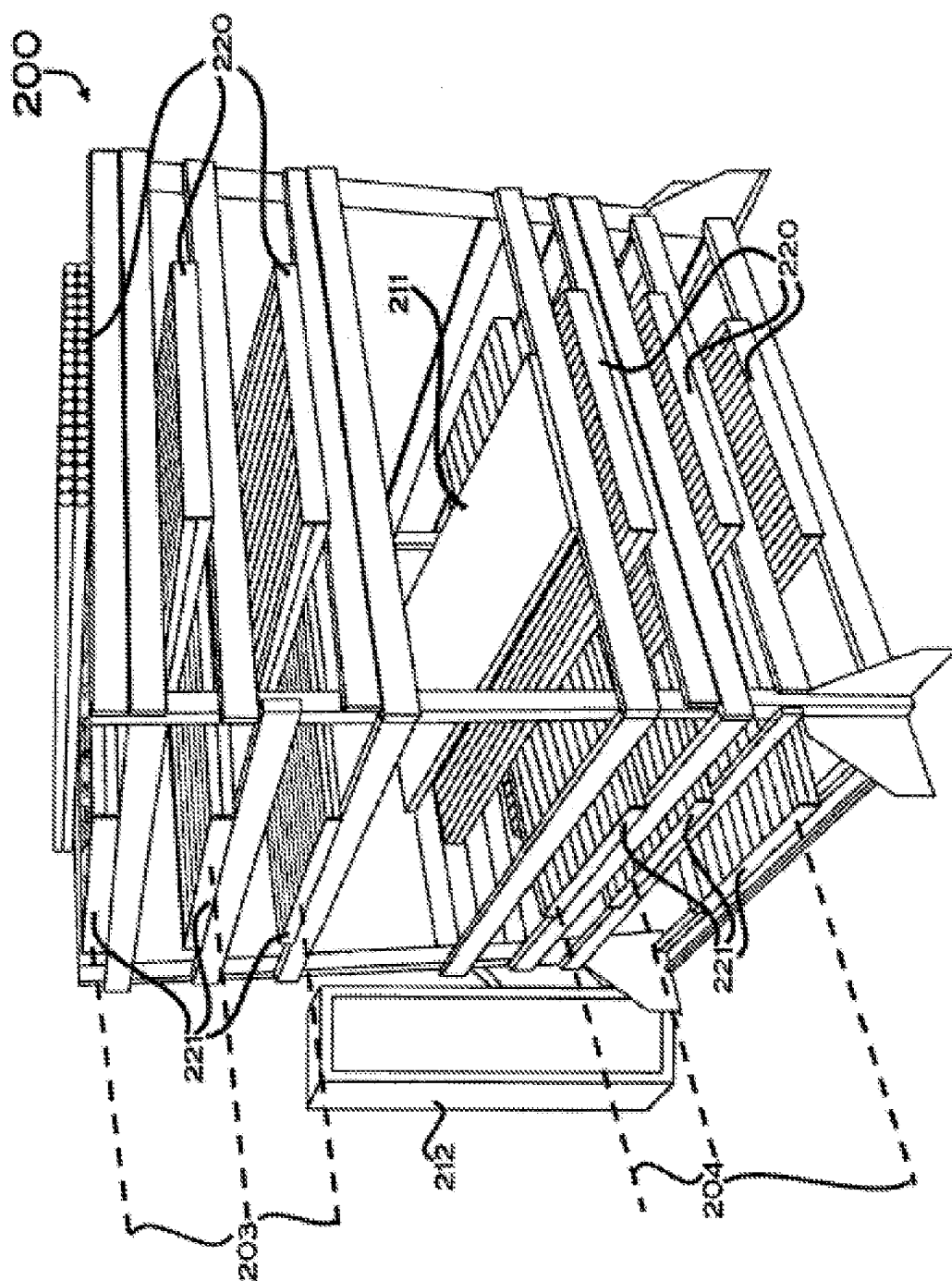


FIG. 4

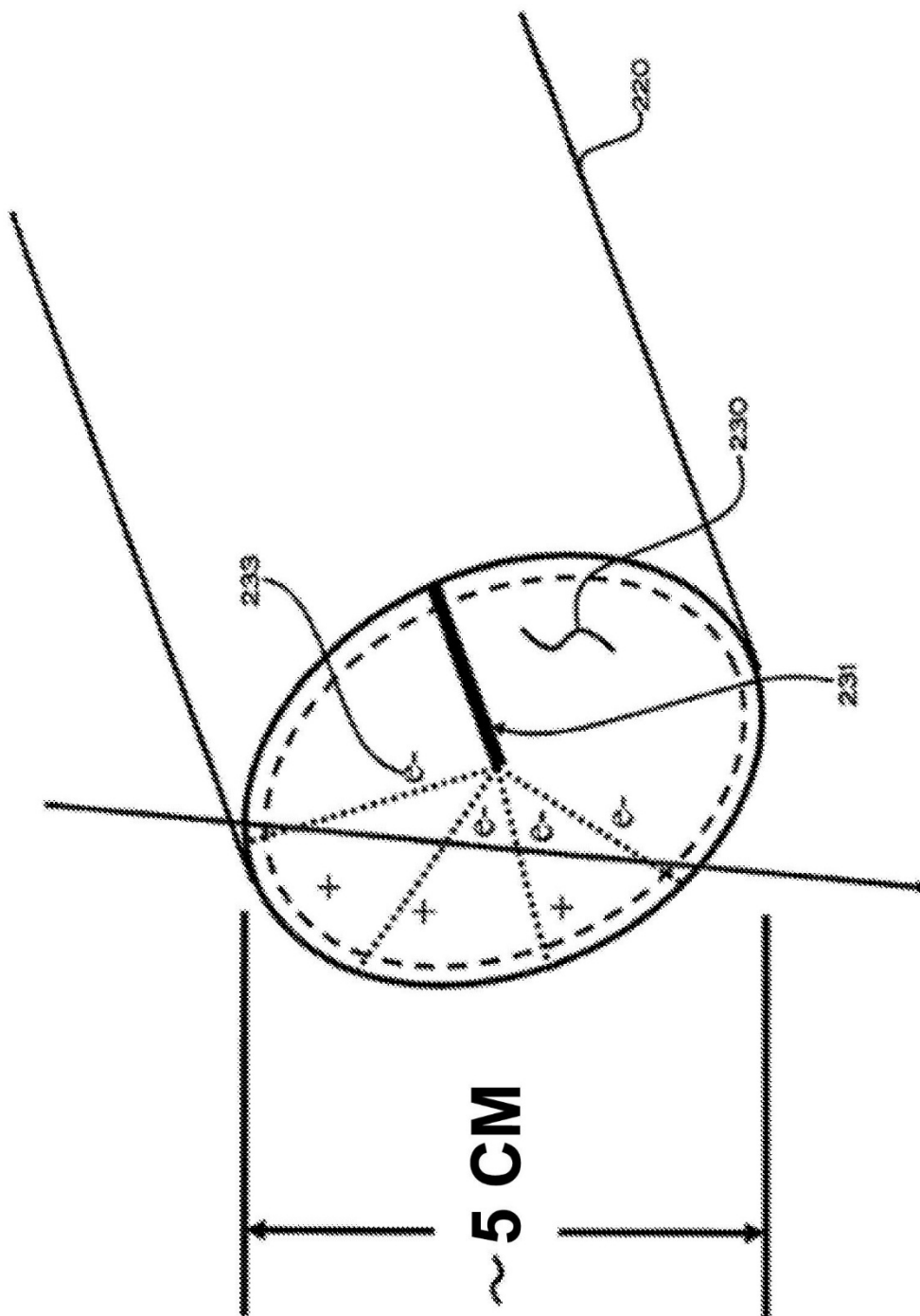


FIG. 5

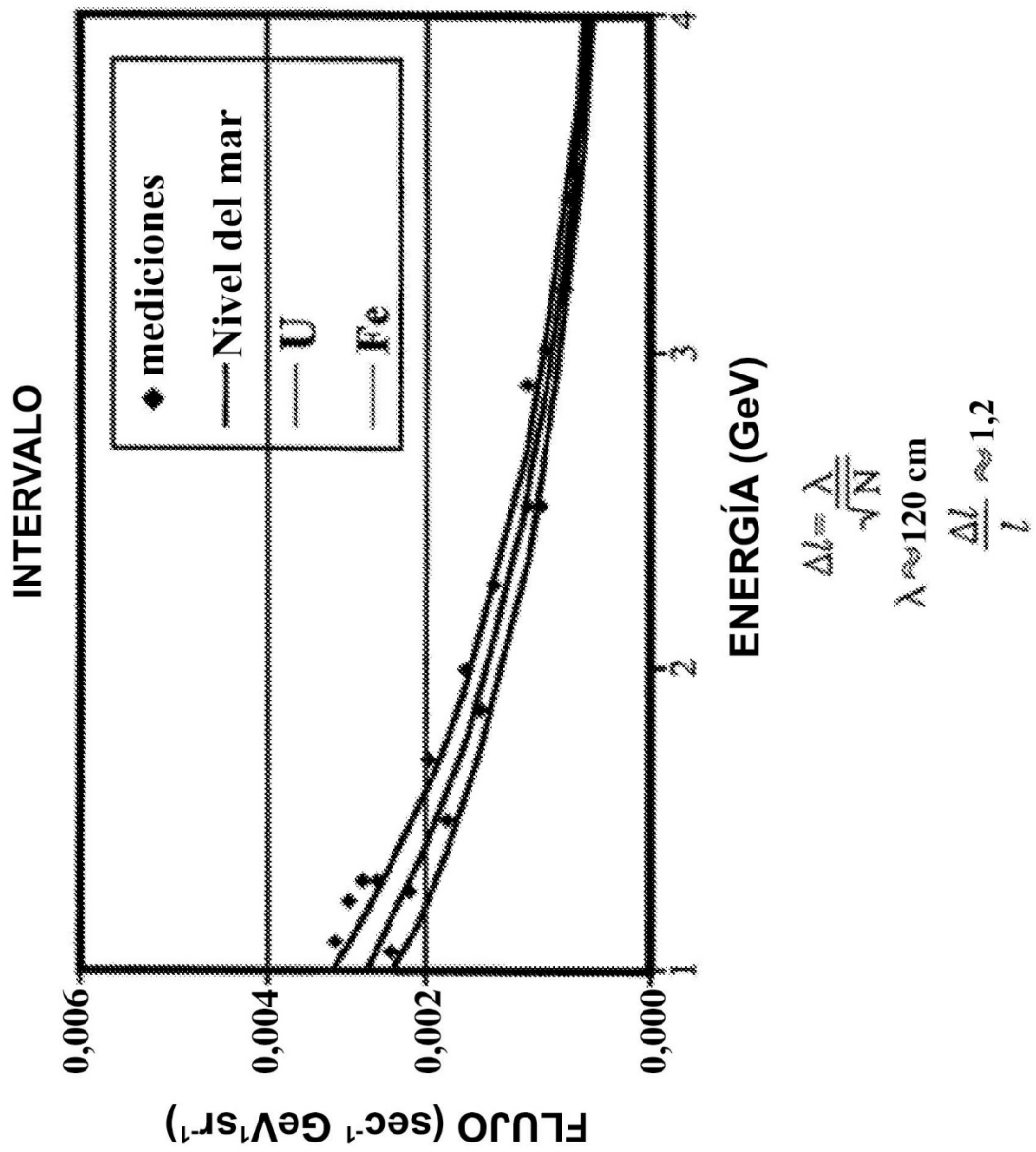
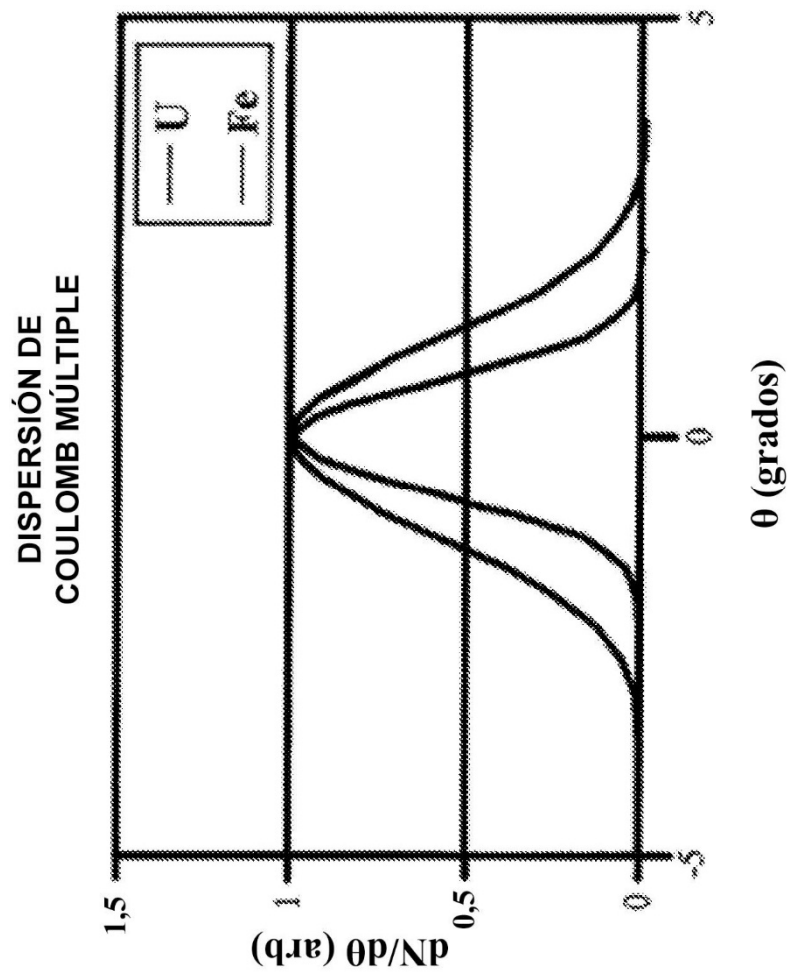


FIG. 6



$$\Delta l = \frac{2}{\sqrt{2N}}$$

$$l = 10 \text{ cm}$$

$$\frac{\Delta l}{l} = 0,14$$

FIG. 7

MATERIAL	dE/dx	χ
	MeV-cm²/gm	CM
H₂O	2,06	36
Fe	1,87	1,76
Pb	1,54	0,56

FIG. 8

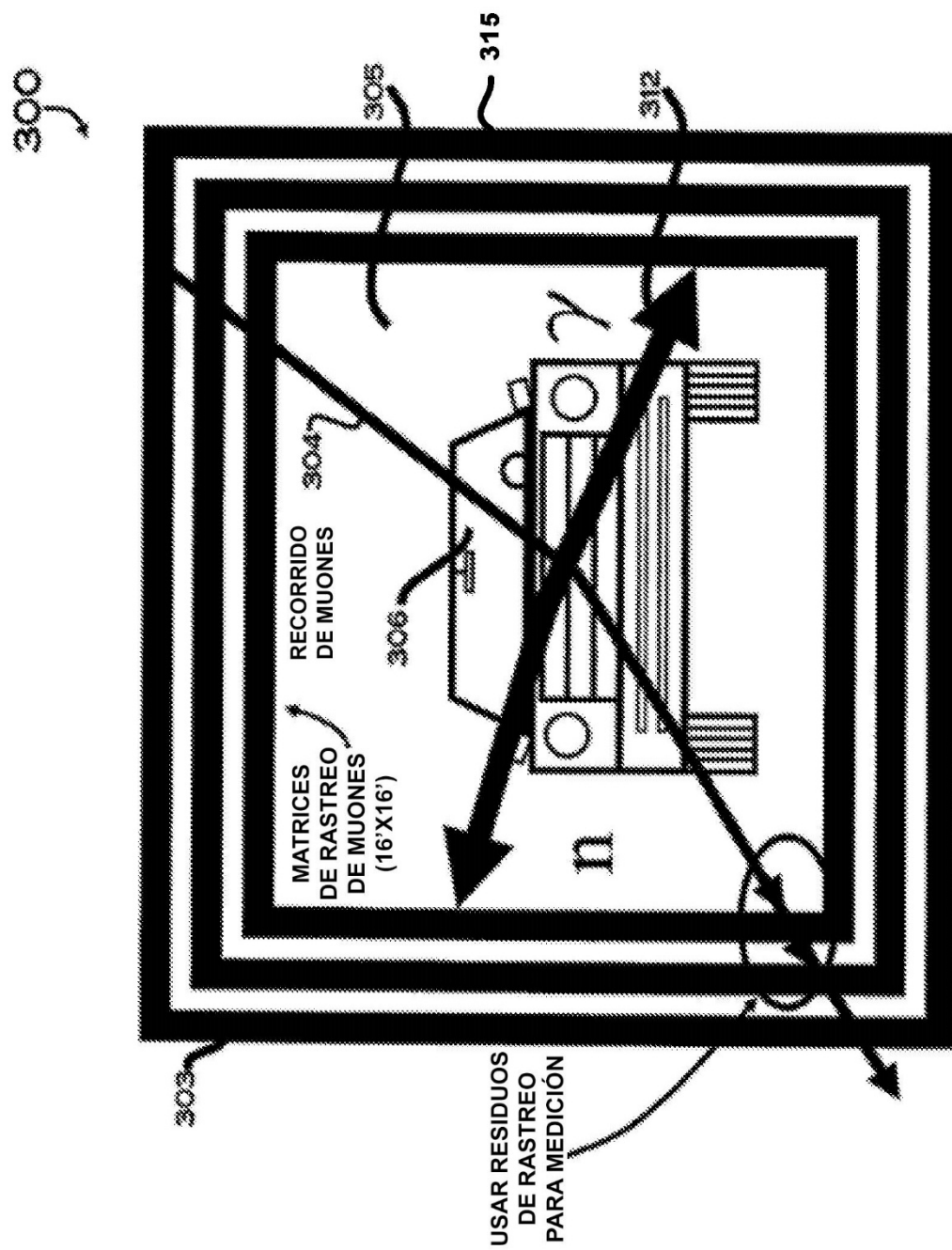


FIG. 9

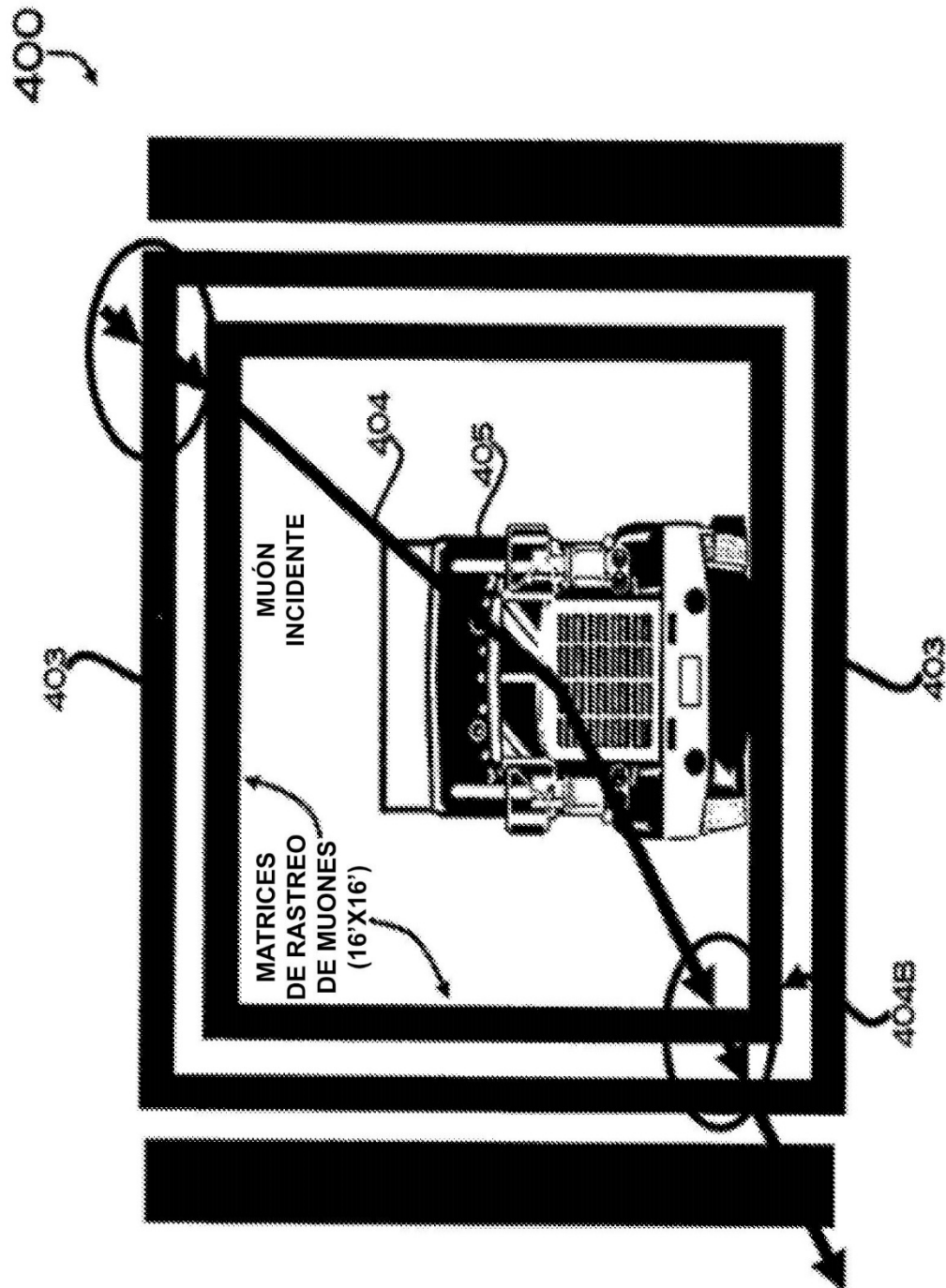
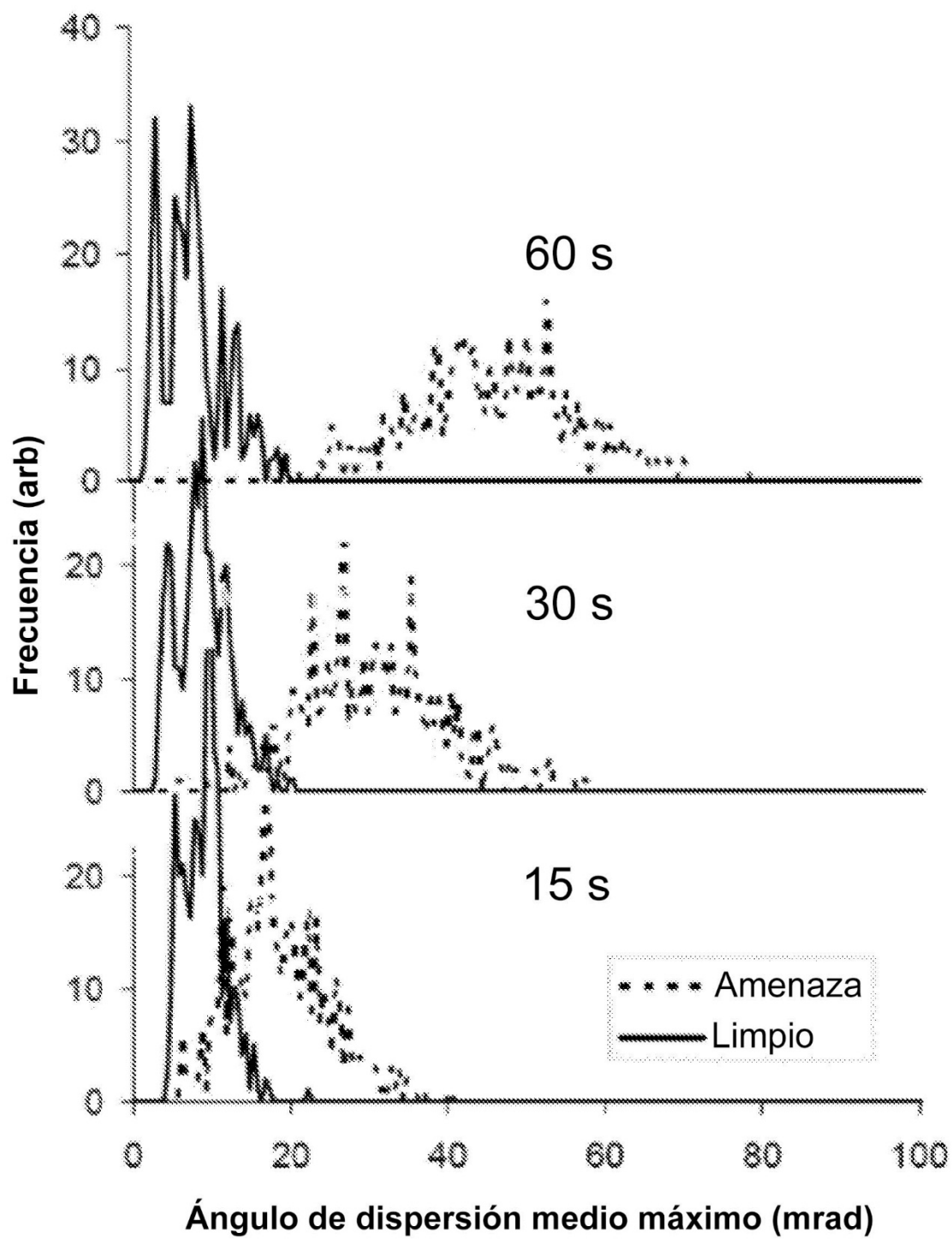


FIG. 10

**FIG. 11**

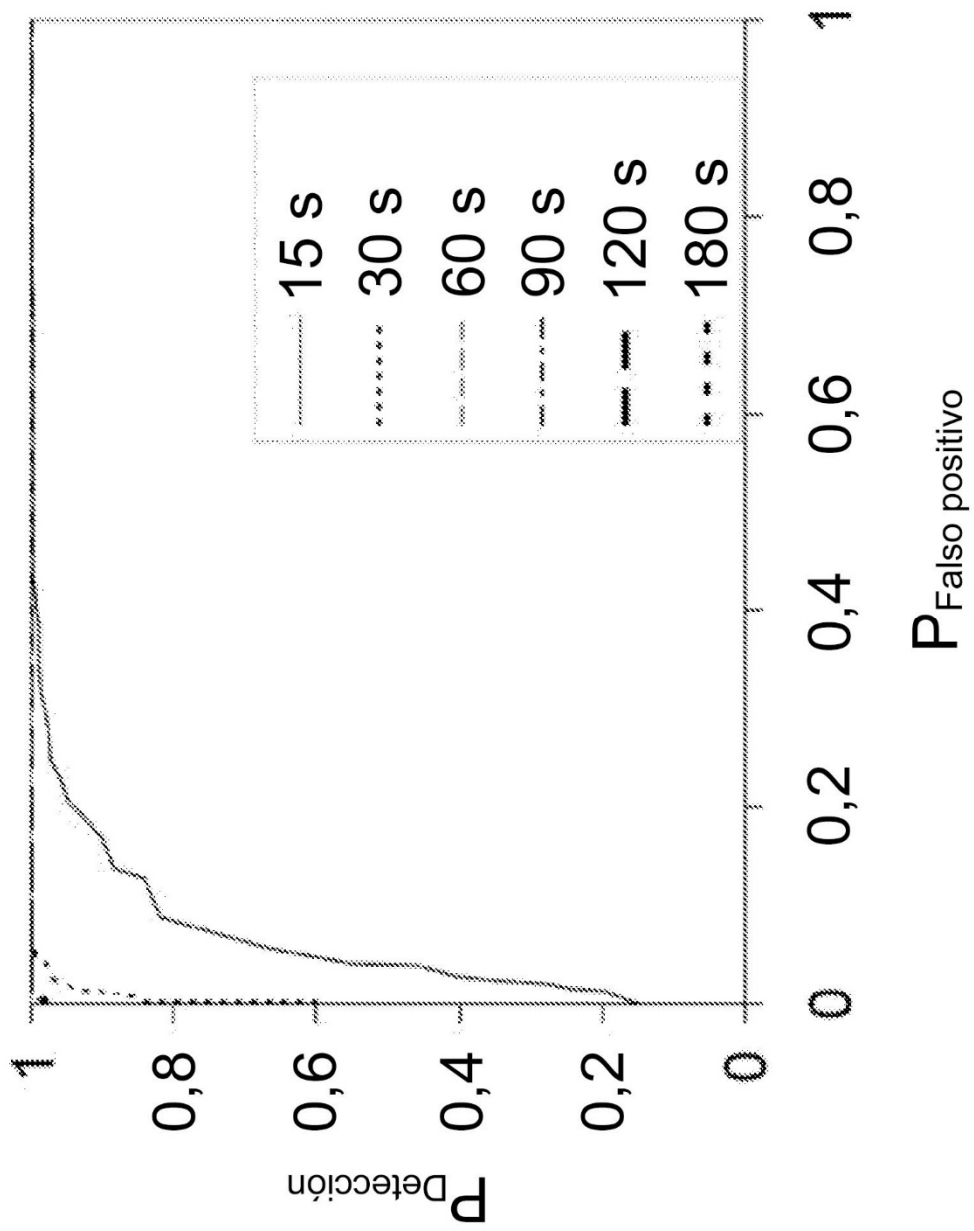


FIG. 12

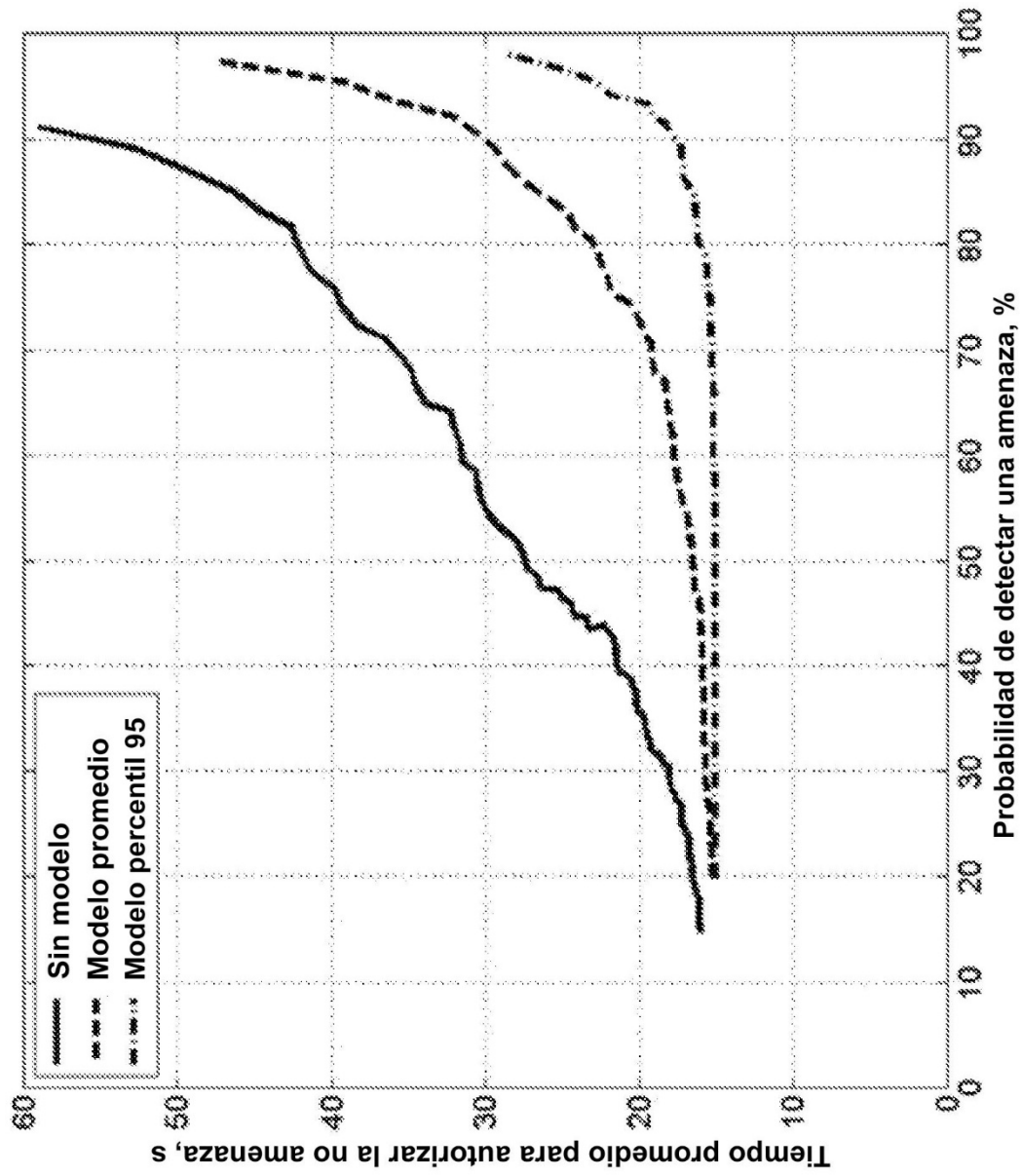


FIG. 13

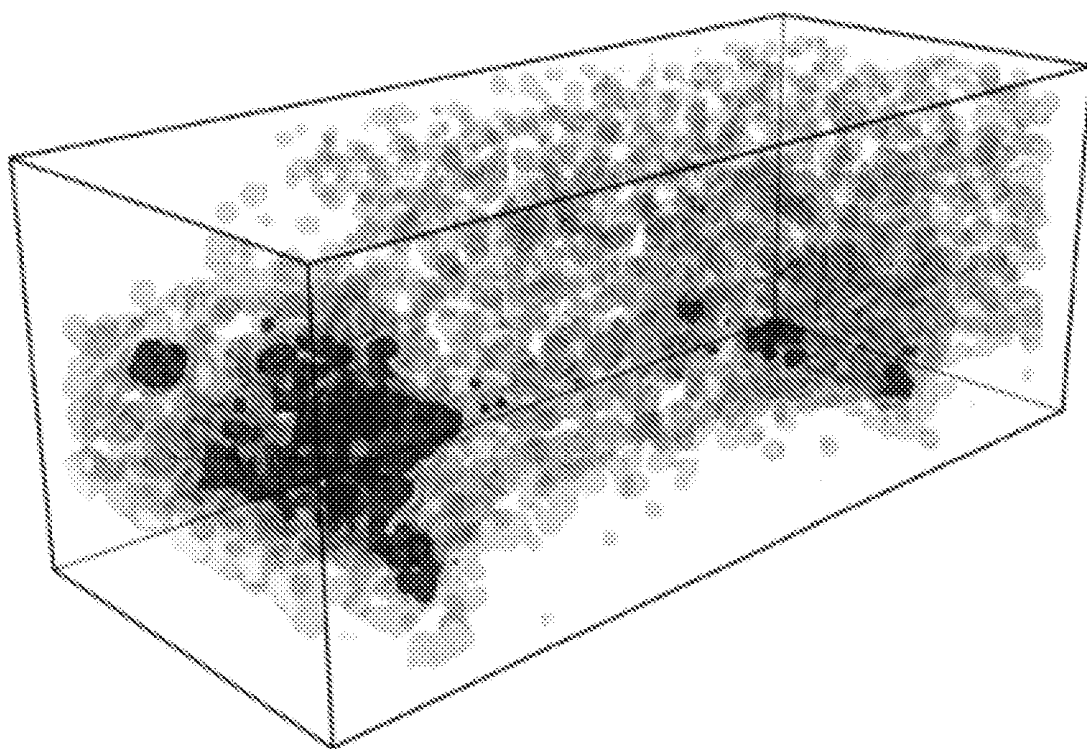


FIG. 14A

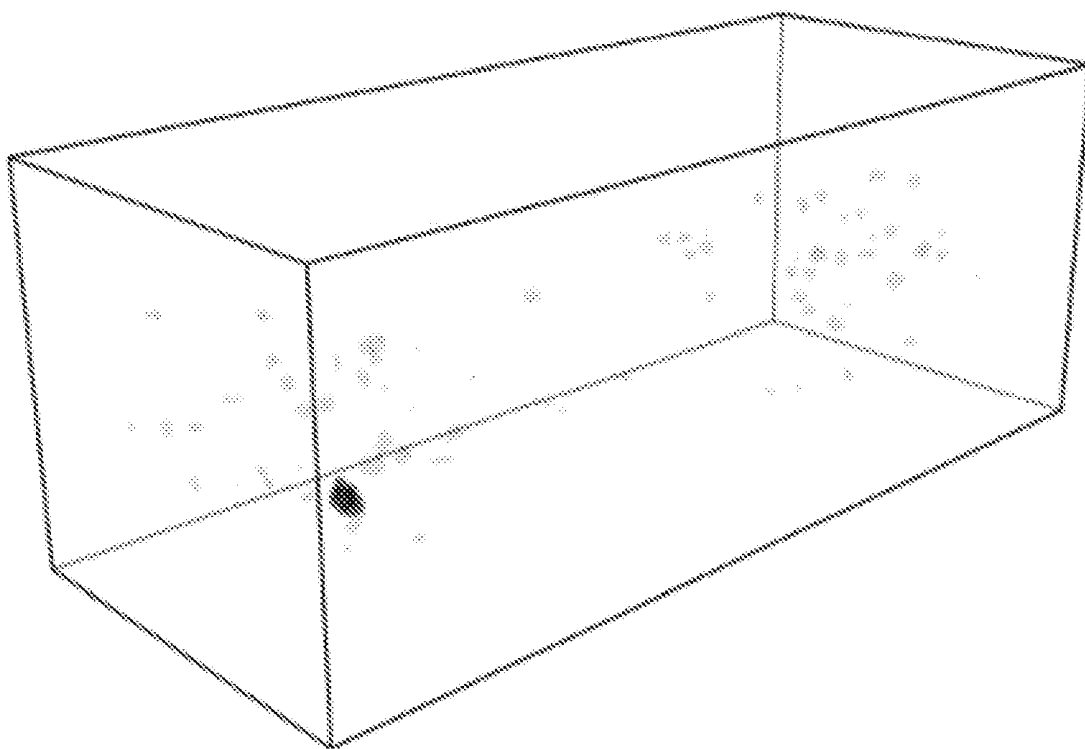


FIG. 14B

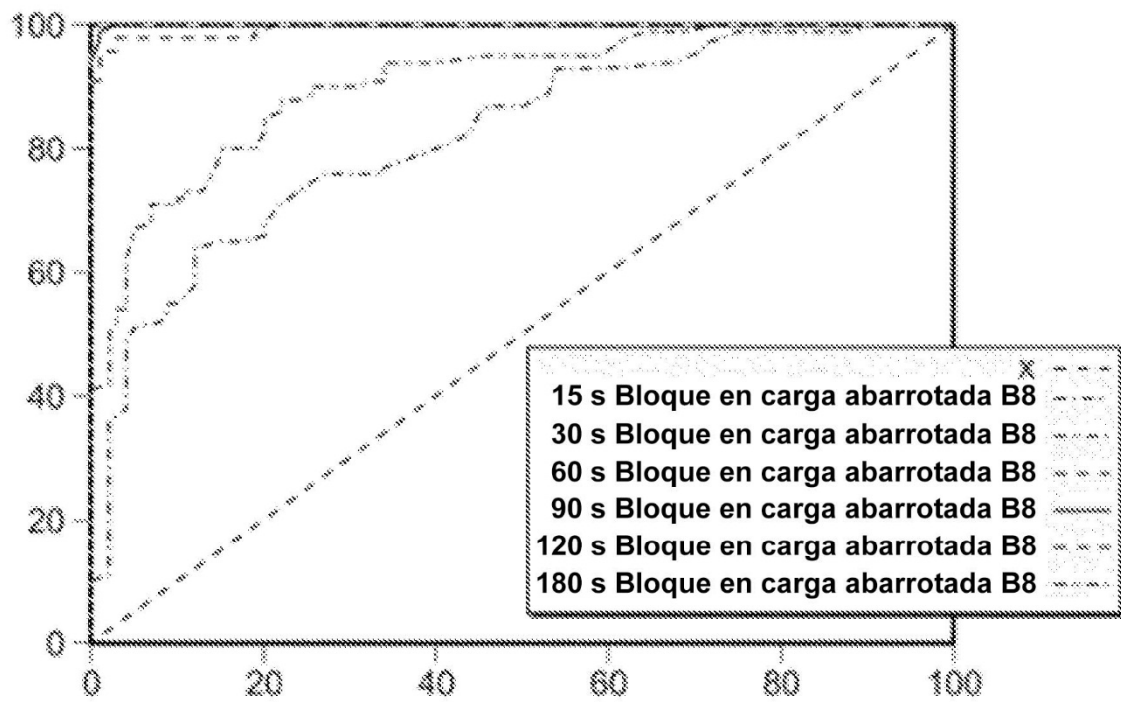


FIG. 15A

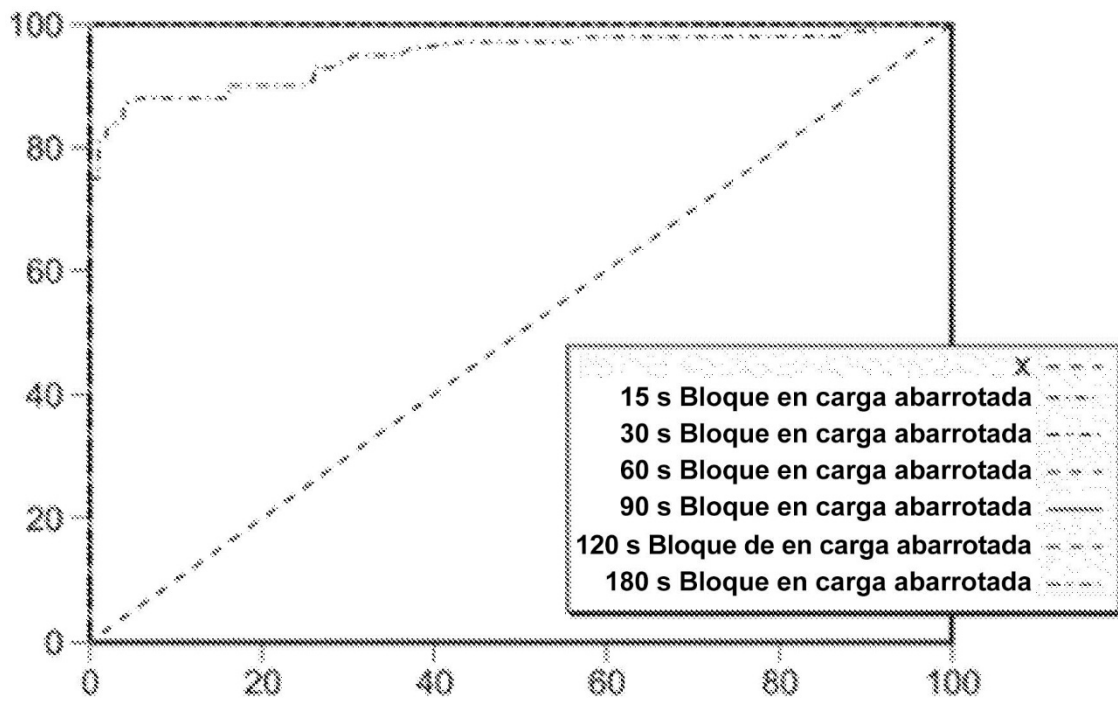


FIG. 15B



FIG. 16A

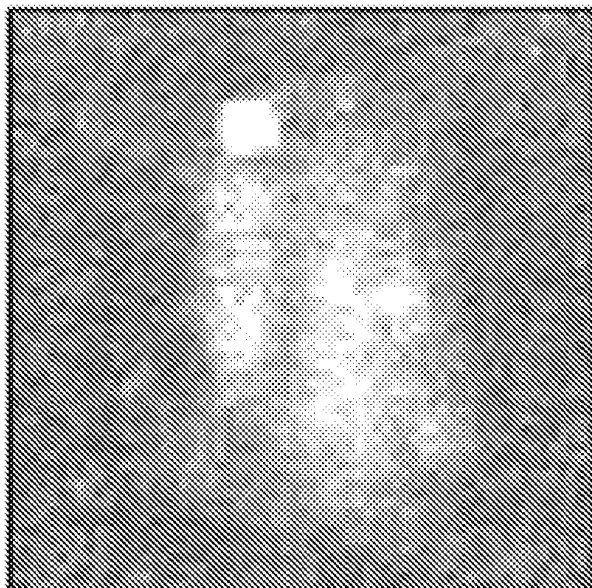


FIG. 16B

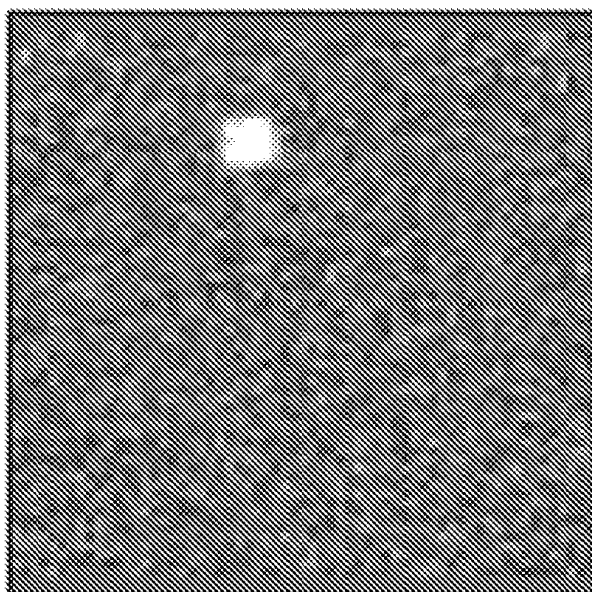


FIG. 16C

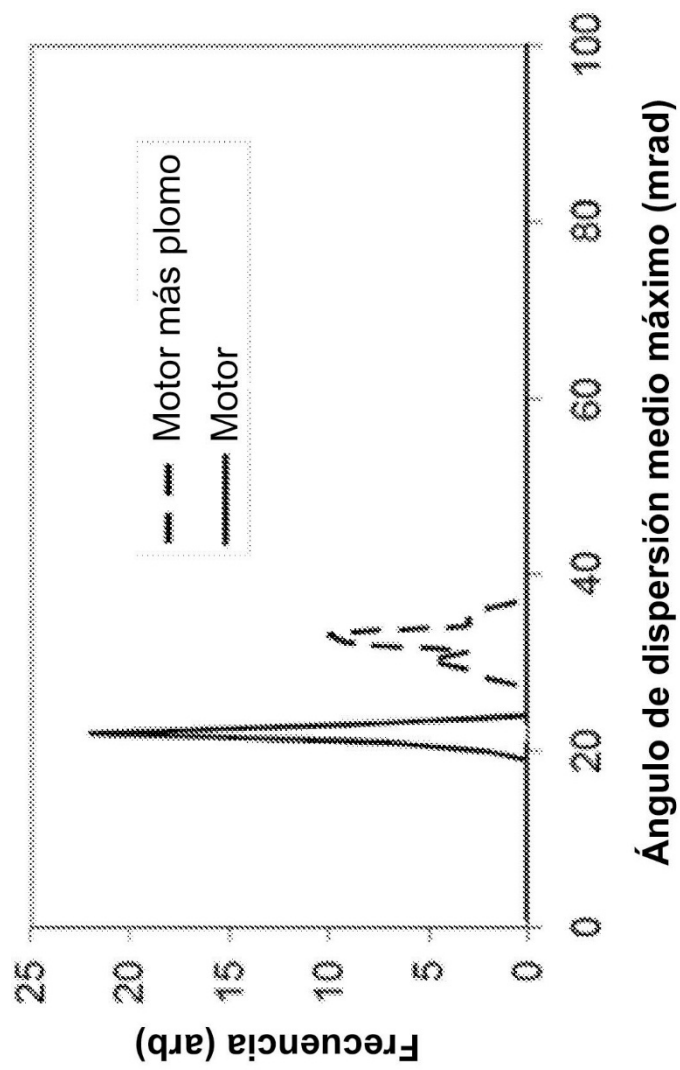


FIG. 17

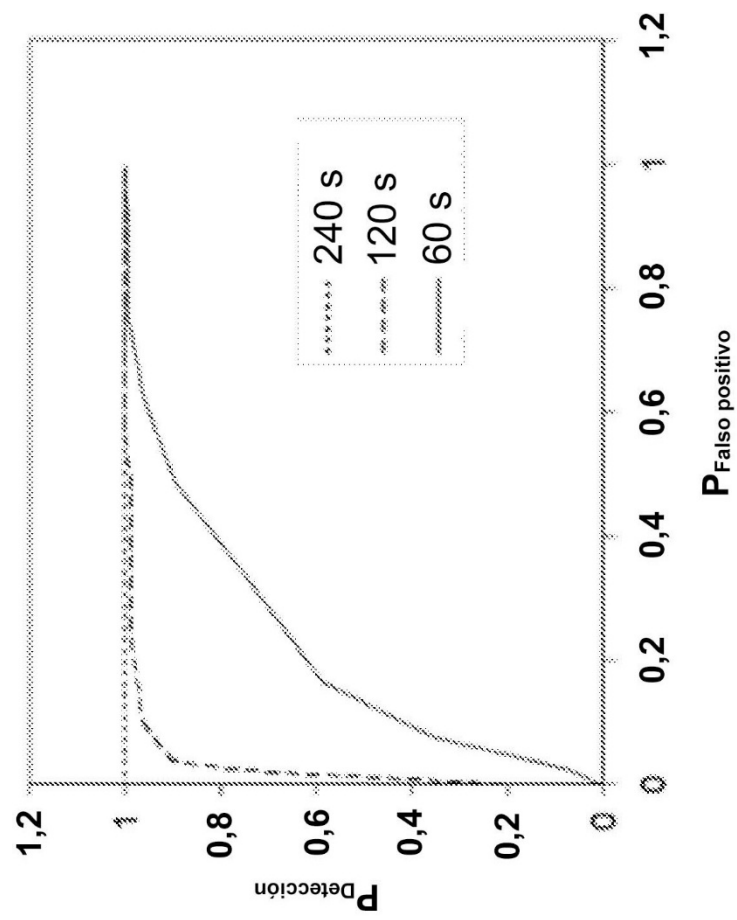


FIG. 18

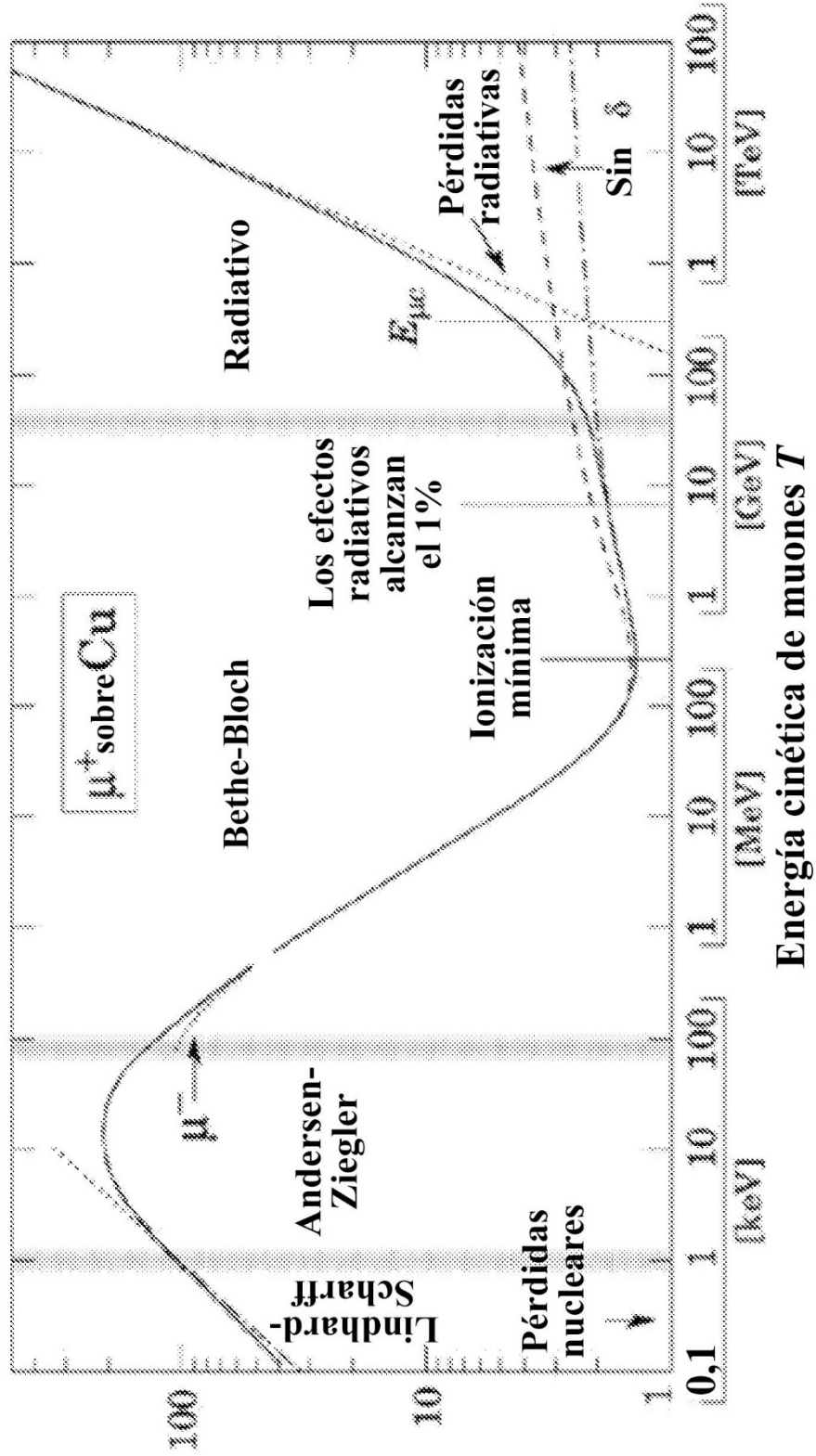


FIG. 19

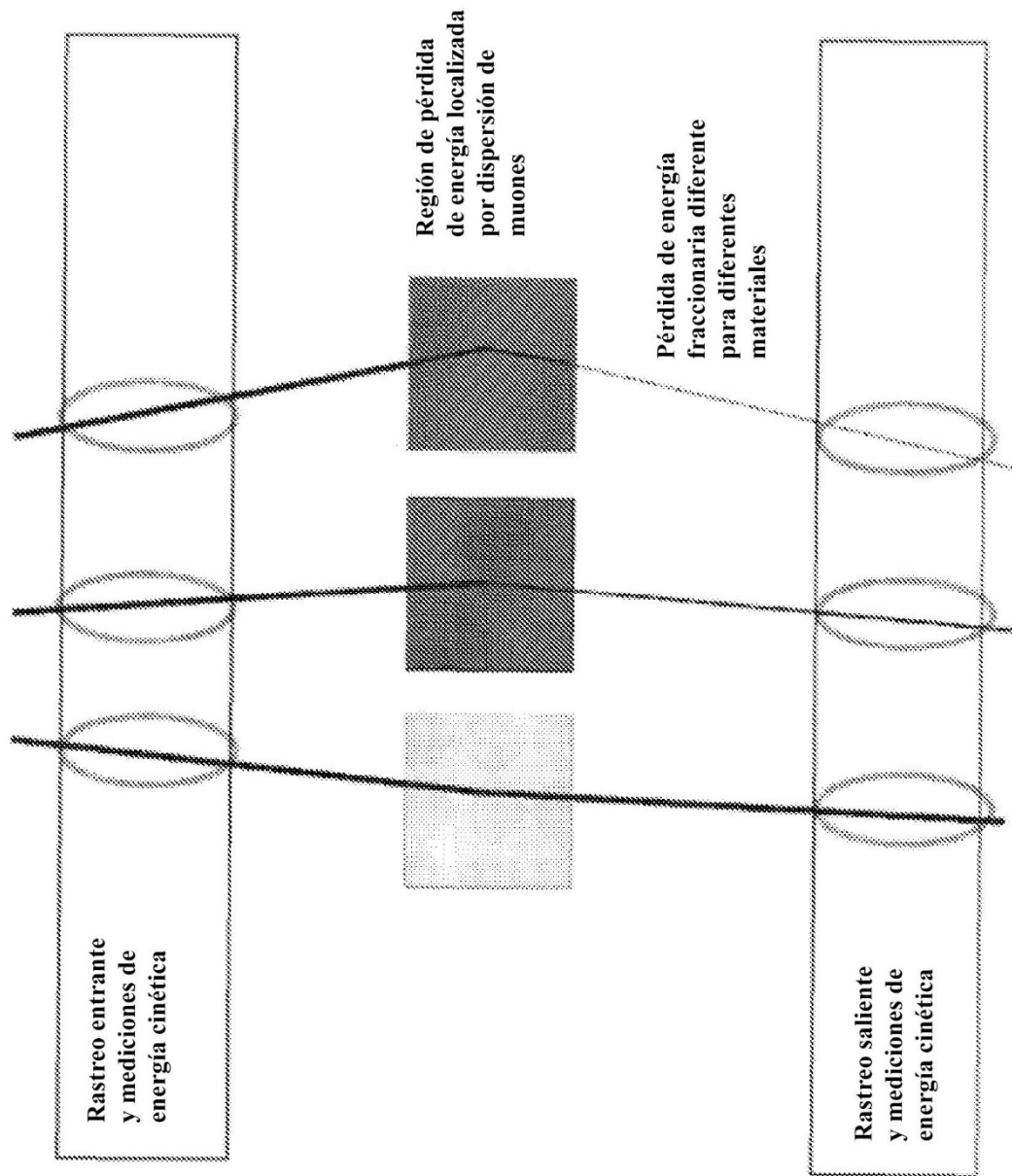
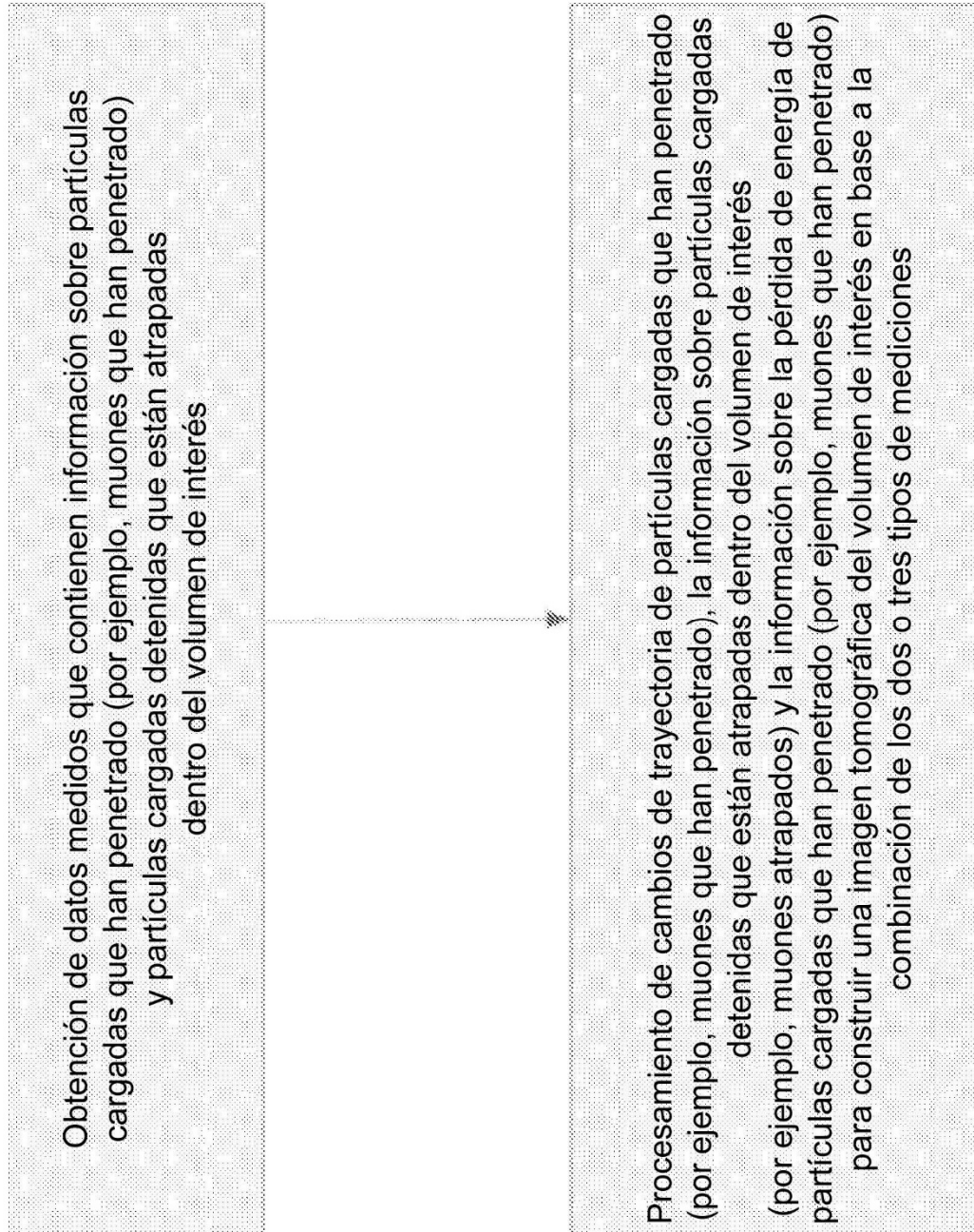


FIG. 20

**FIG. 21**

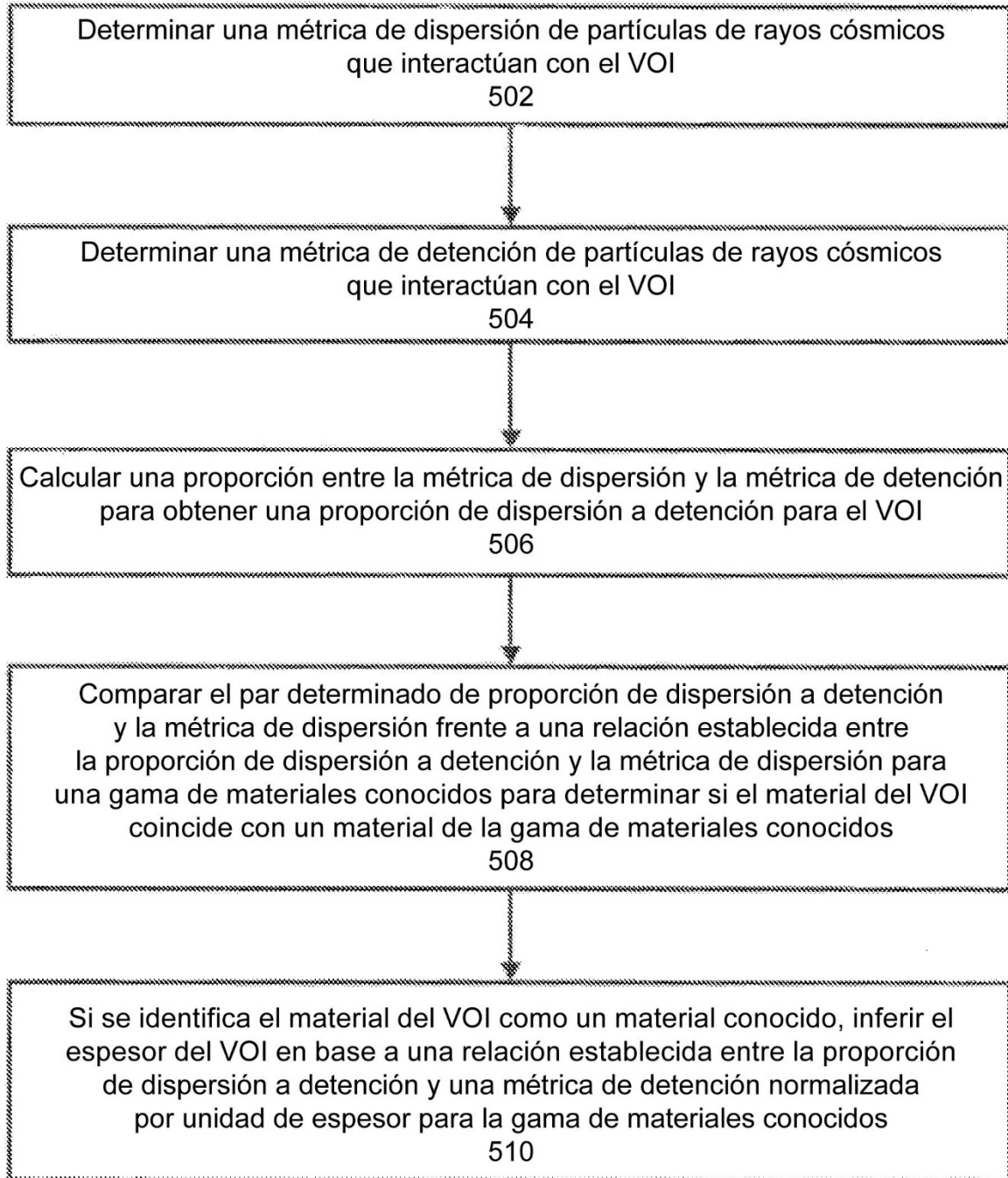


FIG. 22