

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 679 522**

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: **28.04.2014 PCT/US2014/035749**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.11.2014 WO14179238**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.04.2014 E 14792360 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.04.2018 EP 2992316**

54 Título: **Estaciones de matrices de detectores de muones**

30 Prioridad:  
**29.04.2013 US 201361817264 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.08.2018**

73 Titular/es:  
**DECISION SCIENCES INTERNATIONAL CORPORATION (100.0%)  
12345 First American Way, Suite 130  
Poway, California 92064, US**

72 Inventor/es:  
**SOSSONG, MICHAEL, JAMES y  
KUMAR, SANKARAN**

74 Agente/Representante:  
**FORTEA LAGUNA, Juan José**

ES 2 679 522 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**

Estaciones de matrices de detectores de muones

5 CAMPO TÉCNICO

**[0001]** Este documento de patente se refiere a sistemas, dispositivos y procesos que usan la formación de imágenes y detección basados en la tomografía de muones.

10 ANTECEDENTES

**[0002]** Un muon es una partícula cargada con una carga negativa unitaria y un espín similar a un electrón, pero con una masa más de doscientas veces mayor que un electrón. Los muones pueden ser generados por rayos cósmicos que golpean la atmósfera y dichos muones generados por rayos cósmicos penetran en la superficie de la Tierra.

**[0003]** El documento US 2010/0065745 A1 divulga una detección de materiales con elevada z usando una base de datos de referencia.

20 SUMARIO

**[0004]** Las técnicas, sistemas y dispositivos de detección por tomografía de muones se describen para implementar estaciones de inspección de materiales basadas en muones generados por rayos cósmicos que existen y tienen lugar de forma natural en la superficie de la Tierra para inspeccionar e identificar materiales objetivo en diversos lugares, por ejemplo, tales como puntos de control de carreteras, almacenes, hangares de aeropuerto, puertos marítimos y otros puntos de inspección.

**[0005]** En un aspecto, un sistema para la detección por tomografía de muones incluye una primera estructura de carcasa que incluye una primera matriz de sensores de detección de muones, la primera estructura de carcasa posicionada a lo largo de un primer lado adyacente a una zona de detección que tiene un volumen para contener un objeto o vehículo de destino, en el que los sensores de detección de muones de la primera matriz miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan a la zona de detección; una segunda estructura de carcasa que incluye una segunda matriz de sensores de detección de muones, la segunda estructura de carcasa posicionada a lo largo de un segundo lado opuesto al primer lado y adyacente a la zona de detección y a una altura fija de la primera estructura de carcasa, en la que los sensores de detección de muones de la segunda matriz miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan desde la zona de detección a través de la segunda matriz; estructuras de soporte para posicionar la primera estructura de carcasa a la altura fija; y una unidad de procesamiento para recibir datos de las posiciones y las direcciones medidas de la primera y segunda matrices de sensores de detección de muones y analizar los comportamientos de dispersión de los muones causados por la dispersión de muones en materiales del objeto de destino dentro de la zona de detección para obtener un perfil tomográfico o una distribución espacial de los centros de dispersión dentro de la zona de detección. En algunas implementaciones, se pueden usar otras configuraciones de detector a modo de ejemplo, que incluyen, pero no se limitan a, tener un par de matrices de detectores a cada lado del objeto de destino, por ejemplo, tal como arriba y debajo del objeto y/o en múltiples lados opuestos del objeto de destino, por ejemplo, como tener un par lateral además de un par encima y por debajo del objeto.

**[0006]** Estas y otras características se describen con mayor detalle en los dibujos, la descripción y las reivindicaciones.

50 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

**[0007]**

55 La FIG. 1A muestra un diagrama ilustrativo de una estación de inspección de materiales por tomografía de muones a modo de ejemplo para vehículos automóviles.

La FIG. 1B muestra un diagrama ilustrativo de una unidad de detección inferior de la estación de inspección de materiales por tomografía de muones a modo de ejemplo.

60 La FIG. 2 muestra un diagrama ilustrativo de una estación de inspección de materiales por tomografía de muones a modo de ejemplo para aeronaves.

La FIG. 3A muestra un diagrama ilustrativo de una estación de inspección de materiales por tomografía de muones a modo de ejemplo para un almacén o instalación de almacenamiento.

65

La FIG. 3B muestra un diagrama ilustrativo de otra estación de inspección de materiales por tomografía de muones a modo de ejemplo para un almacén o instalación de almacenamiento.

La FIG. 3C muestra un diagrama ilustrativo de otra estación de inspección de materiales por tomografía de muones a modo de ejemplo para un almacén o instalación de almacenamiento.

**[0008]** Los símbolos de referencia y designaciones similares de los diversos dibujos indican elementos similares.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

**[0009]** La tomografía de rayos cósmicos es una técnica que explota la dispersión múltiple de Coulomb de muones generados por rayos cósmicos altamente penetrantes para llevar a cabo 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 e irradiando con mucha menos facilidad que los electrones. Dichas partículas producidas por rayos cósmicos pierden energía lentamente 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 a nivel del mar es de aproximadamente 1 muon por  $\text{cm}^2$  por minuto.

**[0010]** A medida que un muon se desplaza a través de material, la dispersión de Coulomb de las cargas de las partículas subatómicas perturba su trayectoria. La desviación total depende de varias propiedades del material, pero los efectos dominantes son el número atómico,  $Z$ , de los núcleos y la densidad del material. Las trayectorias de los muones se ven más fuertemente afectadas por materiales que proporcionan una mejor protección contra los rayos gamma, como el plomo y el tungsteno, y por materiales nucleares especiales (SNM), como el uranio y el plutonio, que por materiales que constituyen objetos más comunes como agua, plástico, aluminio y acero. Cada muon porta información sobre los objetos que ha penetrado. La dispersión de múltiples muones puede medirse y procesarse para sondear las propiedades de estos objetos. Un material con un alto número atómico  $Z$  y una alta densidad puede detectarse e identificarse cuando el material está ubicado dentro de materia de bajo  $Z$  y medio  $Z$ .

**[0011]** La dispersión de Coulomb desde los núcleos atómicos en la materia da como resultado un número muy grande de desviaciones de ángulo pequeño de partículas cargadas a medida que transitan la materia. Se puede usar una función de distribución correlacionada para caracterizar aproximadamente el desplazamiento y el cambio de ángulo de la trayectoria, que depende de la densidad y de la carga atómica del material. Como ejemplo, esta función de distribución se puede aproximar como una distribución gaussiana. El ancho de la función de distribución es proporcional a la inversa del momento de la partícula y la raíz cuadrada de la densidad real del material medida en longitudes de radiación. La función de distribución correlacionada de los muones producidos por rayos cósmicos puede proporcionar información sobre los materiales en las trayectorias de los muones sin dosis de radiación por encima de la radiación de la Tierra y la detección adecuada de dichos muones producidos por rayos cósmicos se puede implementar de una manera especialmente sensible a materiales seleccionados para ser detectados, como buenos materiales de protección contra la radiación.

**[0012]** Un sistema de tomografía de muones se puede configurar para realizar la tomografía de un objeto de destino bajo inspección basándose en la dispersión de muones por el objeto de destino. Por ejemplo, los sistemas de tomografía de muones se pueden usar para detectar ciertos objetos específicos, por ejemplo, como materiales que pueden usarse para amenazar al público, incluidos los materiales nucleares de contrabando. Los sistemas detectores de tomografía de muones se pueden usar conjuntamente o como alternativa a otros detectores de materiales nucleares, como los detectores de rayos gamma o rayos X. Los detectores de rayos gamma y rayos X funcionan dirigiendo rayos gamma y rayos X a un objetivo y midiendo la radiación penetrada de rayos gamma y rayos X. La protección de materiales nucleares puede reducir las tasas de recuento en los detectores de rayos gamma y rayos X y reducir el rendimiento de detección de los detectores de rayos gamma y rayos X. Los sistemas de detección de tomografía de muones pueden configurarse para detectar materiales y objetos nucleares protegidos.

**[0013]** Se divulgan estaciones de inspección de materiales para inspeccionar e identificar materiales en paquetes, contenedores, vehículos, etc. usando técnicas, sistemas y dispositivos de detección por tomografía de muones implementados en diversos lugares, por ejemplo, puntos de control de carreteras, almacenes, hangares de aeropuertos, puertos marítimos y otros puntos de inspección. Por ejemplo, las estaciones de inspección de materiales divulgadas se pueden usar para inspeccionar vehículos de destino, incluidos vehículos automóviles, aeronaves y barcos para determinar la presencia o ausencia de materiales objetivo.

**[0014]** En algunas implementaciones, las estaciones de inspección de materiales pueden incluir una matriz de sensores de detección de muones en una estructura de detección superior e inferior configurada en una alineación particular para detectar materiales objetivo, por ejemplo, que incluye objetos de amenaza nuclear. Por ejemplo, dichos objetos de amenaza nuclear pueden variar desde armas nucleares completamente ensambladas hasta

pequeñas cantidades de materiales nucleares altamente protegidos. Las estaciones de inspección de materiales descritas permiten la detección de material nuclear protegido y sin proteger usando un solo sistema de detección en una estructura de carcasa para proporcionar una forma rentable de detectar dispositivos y materiales nucleares y de otro tipo determinado.

5  
 [0015] La FIG. 1A muestra un diagrama ilustrativo de un modo de realización a modo de ejemplo de una estación 100 de inspección de materiales por tomografía de muones para vehículos automóviles. La estación 100 de inspección de materiales está estructurada para incluir una unidad de detección por tomografía de muones superior 110 que incluye una matriz de detectores de muones 150 y una unidad de detección por tomografía de muones inferior 120 que incluye otra matriz de detectores de muones 150. La unidad de detección superior 110 está dispuesta en una posición fija por encima y con relación a la unidad de detección inferior 120, en la que el área entre las disposiciones relativas de las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 forman una zona de detección. En el ejemplo en la FIG. 1A, la unidad de detección superior 110 está acoplada o integrada como parte de la estructura de cubierta superior de la estación de inspección 100. La zona de detección está configurada para un volumen dimensionado para contener vehículos automóviles comerciales y no comerciales que incluyen combinaciones de camión y semirremolque con los siguientes límites máximos de dimensión y peso. Por ejemplo, la zona de detección se puede configurar con un volumen dimensionado para permitir que un semirremolque transporte un contenedor de múltiples tamaños, por ejemplo, incluyendo, pero sin limitación, tamaños estándar tales como 20 pies (6,1 m), 40 pies (12,2 m), 45 pies (13,7 m), 48 pies (14,6 m) y 53 pies (16,2 m) de longitud y 8 pies (2,4 m) de ancho.

10  
 15  
 20  
 [0016] La estación 100 incluye múltiples estructuras de soporte 105 para posicionar y soportar estructuralmente la unidad de detección superior 110 por encima de la unidad de detección inferior 120. Por ejemplo, las dimensiones de las estructuras de soporte 105 se pueden configurar a una altura particular para proporcionar suficiente distancia entre las unidades de detección superiores 110 y 120 para facilitar que los diversos tipos de vehículos de destino u otros objetos de destino quepan dentro de la zona de detección. En algunos modos de realización, las estructuras de soporte 105 pueden configurarse como pilares o postes, como los mostrados en la FIG. 1A. En otros modos de realización, las estructuras de soporte 105 pueden configurarse dentro de paredes o como paredes. En otros modos de realización, las estructuras de soporte 105 pueden configurarse para suspender la unidad de detección superior 110 en la posición fija por encima de la unidad de detección inferior 120.

25  
 30  
 [0017] La estación 100 incluye uno o más carriles 107 para posicionar el vehículo y/o objeto de destino en la zona de detección. El uno o más carriles 107 pueden posicionarse en el plano inferior dentro de la zona de detección para proporcionar al vehículo de destino que se ajuste a una alineación particular con las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 dentro de la zona de detección. Por ejemplo, en algunos modos de realización, el uno o más carriles 107 pueden configurarse como marcas (por ejemplo, líneas pintadas) a lo largo del piso de la estación 100.

35  
 40  
 45  
 [0018] En algunos modos de realización, la unidad de detección inferior 120 se puede instalar a un nivel por debajo de un plano alineado con el suelo (por ejemplo, tal como debajo de una carretera que conduce hasta la zona de detección y continúa a través y fuera de la misma), de manera que un vehículo de destino puede conducir directamente sobre la unidad de detección inferior 120 en la zona de detección sin su conocimiento. Por ejemplo, la unidad de detección inferior 120 puede configurarse para ocultarse a los operadores de vehículos u otros objetivos a inspeccionar. De forma similar, por ejemplo, la unidad de detección superior también puede ocultarse a la vista, por ejemplo, dentro de una estructura de construcción u otro conjunto.

50  
 55  
 [0019] La FIG. 1B muestra un diagrama ilustrativo de la unidad de detección inferior 120 configurada debajo del plano alineado con el suelo en la estación de inspección de materiales por tomografía de muones 100 a modo de ejemplo. En algunas implementaciones, la unidad de detección inferior 120 puede incluir una placa superior 180 sobre la cual se pueden ubicar los vehículos inspeccionados y otros objetos de destino, en la que la matriz de detectores de muones 150 se coloca debajo de la placa 180. Por ejemplo, en la unidad de detección inferior 120, la matriz de detectores de muones 150 puede colocarse por debajo del nivel del suelo, con la placa 180 posicionada al nivel del suelo. La unidad de detección inferior 120 también puede configurarse para tener la placa 180 colocada por encima o por debajo del nivel del suelo, por ejemplo, de modo que los vehículos u otros objetos de destino se puedan mover y colocar en la placa 180 para la medición. Por ejemplo, en algunas implementaciones, la matriz inferior de detectores de muones puede colocarse sobre el suelo dentro de una rampa de cierre con la placa 180 construida sobre ella para vehículos y/u otros objetos de destino que se colocarán para la medición.

60  
 65  
 [0020] Las unidades de detección por tomografía de muones superior e inferior 110 y 120 están estructuradas para incluir matrices de detectores de muones 150. Cada unidad de detección se compone de matrices de detectores que están configuradas para poder detectar la trayectoria de un muon incidente. En un modo de realización a modo de ejemplo, cada una de las unidades de detección superior e inferior incluye tres conjuntos de matrices de detectores orientadas horizontalmente en dirección X de forma alternativa intercaladas verticalmente con tres conjuntos de matrices orientadas horizontalmente en dirección Y, siendo las direcciones X e Y perpendiculares entre sí. También son posibles otros modos de realización que usan combinaciones con menos o más matrices suficientes para rastrear la trayectoria de un muon incidente. Las orientaciones horizontales de las matrices también se pueden variar siempre que las coordenadas X e Y de las trayectorias muónicas se puedan medir con la unidad de detección. Las

unidades de detección por tomografía de muones superior e inferior 110 y 120 están estructuradas para incluir una estructura de carcasa que incluye un panel superior y un panel inferior entre los que se configuran uno o más planos de una matriz de detectores de muones 150.

5 **[0021]** Ejemplos de los detectores de muones 150 se describen en la Solicitud PCT No. PCT/US2008/061352, titulada "IMAGING AND SENSING BASED ON MUON TOMOGRAPHY [Formación de imágenes y detección  
 10 basados en la tomografía de muones]" y presentada el 23 de abril de 2008 (Publicación PCT N.º WO 2009/002602 A2). Por ejemplo, los detectores de muones 150 pueden incluir un primer conjunto de detectores de posición dispuestos en la unidad de detección superior 110 y un segundo conjunto de detectores de posición dispuestos en la  
 15 unidad de detección inferior 120. Cada conjunto de detectores de posición puede incluir una primera doble capa de tubos de deriva dispuestos en una dirección X y una segunda doble capa de tubos de deriva dispuestos en una dirección Y (por ejemplo, perpendiculares entre sí en un plano X-Y a modo de ejemplo, que puede configurarse en paralelo o perpendicular a la gravedad). En cada una de las capas, los tubos de deriva pueden disponerse en dos  
 20 filas, por ejemplo, desplazadas entre sí medio diámetro de tubo. Los módulos de tubo de deriva pueden funcionar para detectar muones de rayos cósmicos y también pueden configurarse para detectar rayos gamma además de muones. Por ejemplo, en los detectores de muones 150, los módulos de tubos de deriva pueden configurarse para ser tubos de deriva de aluminio de 12 pies (3,7 m) de largo, que están configurados para medir la posición y el ángulo de las trayectorias de muones entrantes y salientes en las direcciones de coordenadas X e Y. Por ejemplo, el aluminio en los detectores proporciona una cantidad considerable de masa en la que los rayos gamma y los  
 25 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. En los detectores de muones 150, los tubos se pueden disponer de diferentes maneras. 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, una primera capa podría estar a 0 grados, una segunda capa a 45 grados de la primera y una tercera capa a 90 grados de la primera. Esto permitiría la resolución de múltiples trayectorias que ocurren en el mismo momento. Además, se pueden adoptar otras disposiciones detectoras de posición capaces de dispersar la partícula cargada que pasa a su través y que proporcionan un total de, al menos, tres mediciones de posición individuales en lugar de la disposición a modo de ejemplo de los detectores que se acaban de describir. En algunos ejemplos, se pueden obtener al menos tres mediciones de posición para permitir el ajuste de línea con un  
 30 parámetro libre en el seguimiento de la partícula.

**[0022]** Otros ejemplos de los detectores de muones 150 también se describen en la publicación de la solicitud de patente US 2008/0191133 A1 titulada "RADIATION PORTAL MONITOR SYSTEM AND METHOD [Sistema y procedimiento de control de portal de radiación]" y presentada el 29 de junio de 2007, la solicitud PCT No. PCT/US2007/082573 titulada "PARTICLE DETECTION SYSTEMS AND METHODS [Sistemas y procedimientos de detección de partículas]" y presentada el 25 de octubre de 2007 (Publicación PCT No. WO 2008/123892 A2), y la solicitud PCT No. PCT/US2007/082731 titulada "DETERMINATION OF TRAJECTORY OF A CHARGED PARTICLE [Determinación de la trayectoria de una partícula cargada]" y presentada el 26 de octubre de 2007 (Publicación PCT No. WO 2008/118208 A2).  
 35

**[0023]** En un ejemplo, una primera matriz de detectores de muones 150 de detección de la posición situada en la unidad de detección superior 110 por encima de la zona de detección está configurada para medir las posiciones y direcciones de muones incidentes (por ejemplo, que emanan de los rayos cósmicos) que pasan a través de la unidad de detección superior 110 hacia la zona de detección. Una segunda matriz de detectores de muones 150 de detección de la posición ubicada en la unidad de detección inferior 120 por debajo de la zona de detección está configurada para medir las posiciones y las direcciones de los muones salientes que salen de la zona de detección. Ambos conjuntos de datos de posición y dirección medidos de muones se transmiten a una unidad de procesamiento de señales de la estación 100, que puede estar ubicada en una estructura externa, tal como un centro de control 130. En algunas implementaciones, la unidad de procesamiento de señales puede incluir un microprocesador y una memoria acoplada al microprocesador. En algunas implementaciones, la unidad de procesamiento de señales puede configurarse en una comunicación cableada o inalámbrica para recibir los datos medidos desde los detectores de muones 150 en las matrices de las unidades de detección superior e inferior 110 y 120. Por ejemplo, en una configuración inalámbrica, se puede configurar una unidad transmisora dentro de cada una de las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 y se puede configurar una unidad receptora dentro de una  
 45 unidad de procesamiento de señales remota. En algunas implementaciones, por ejemplo, la unidad de procesamiento de señales puede estar ubicada en el centro de control 130 y en comunicación por cable con los detectores de muones 150 a través de un conducto 140, por ejemplo, que puede colocarse bajo tierra o sobre la superficie.  
 50

**[0024]** La unidad de procesamiento de señales está configurada para recibir los datos medidos y procesar los datos medidos en datos analizados. La unidad de procesamiento de señales puede analizar los comportamientos de dispersión de los muones causados por la dispersión de los muones en materiales dentro del vehículo u objeto de destino en la zona de detección basándose en las posiciones y las direcciones medidas de entrada y salida 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 pueden usarse para revelar la presencia o ausencia de uno o más objetos en la zona de detección, por ejemplo, tales como  
 55  
 60  
 65

materiales con elevados números atómicos que incluyen materiales o dispositivos nucleares. La estación 100 puede usarse 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.

5 **[0025]** En algunos ejemplos de detectores de muones 150 de detección de la posición, los detectores de muones se pueden implementar en varias configuraciones incluyendo las celdas de deriva, por ejemplo, como tubos de deriva rellenos de un gas que puede ser ionizado por muones. Como ejemplo, cada una de las matrices primera y segunda de detectores de partículas 150 puede implementarse 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.

10 **[0026]** En algunas aplicaciones, los sistemas de detección de partículas pueden utilizar tubos de deriva para permitir el seguimiento de partículas cargadas, tales como muones, que pasan a través de un volumen. Sin embargo, los expertos en la técnica entenderán que dichos detectores de partículas cargadas pueden emplearse en aplicaciones del seguimiento de partículas cargadas producidas por rayos cósmicos para detectar partículas cargadas distintas de las partículas cargadas producidas por rayos cósmicos. Estos detectores de partículas cargadas son aplicables a cualquier partícula cargada de cualquier fuente apropiada. Por ejemplo, los muones pueden ser producidos por rayos cósmicos o un haz de muones de baja intensidad de un acelerador.

15 **[0027]** La FIG. 2 muestra un diagrama ilustrativo de un modo de realización a modo de ejemplo de una estación de inspección de materiales por tomografía de muones 200 para aeronaves. La estación de inspección de materiales 200 puede configurarse de manera similar a la estación 100. Por ejemplo, la estación 200 puede estructurarse para incluir la unidad de detección por tomografía de muones superior 110 que incluye la matriz de detectores de muones 150 y la unidad de detección por tomografía de muones inferior 120 que incluye otra matriz de detectores de muones 150. Similar a la estación 100 a modo de ejemplo, cada una de las unidades de detección por tomografía de muones superior e inferior 110 y 120 de la estación 200 están estructuradas para incluir matrices de detectores de muones 150, tales como las descritas para la estación 100.

20 **[0028]** La estación 200 está configurada de tal manera que la unidad de detección superior 110 está dispuesta en una posición fija por encima de y con relación a la unidad de detección inferior 120, en la que el área entre las disposiciones relativas de las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 forman una zona de detección. La zona de detección está configurada para un volumen dimensionado para contener vehículos aéreos comerciales y no comerciales que incluyen, entre otros, aeronaves pequeñas y grandes, helicópteros y drones aéreos. La estación 200 incluye una o más estructuras de soporte 205 para posicionar y soportar estructuralmente la unidad de detección superior 110 por encima de la unidad de detección inferior 120. Por ejemplo, las dimensiones de las estructuras de soporte 205 pueden configurarse a una altura particular para proporcionar suficiente distancia entre las unidades de detección superiores 110 y 120 para facilitar que los diversos tipos de vehículos aéreos u otros objetos de destino quepan dentro de la zona de detección. En algunos modos de realización, las estructuras de soporte 205 pueden configurarse como paredes o dentro de ellas, como la mostrada en la FIG. 2. En otros modos de realización, las estructuras de soporte 205 pueden configurarse como pilares o postes, que pueden estar incorporados dentro o como parte de paredes. En otros modos de realización, las estructuras de soporte 205 pueden configurarse para suspender la unidad de detección superior 110 en la posición fija por encima de la unidad de detección inferior 120. En algunas implementaciones, la estación 200 puede incluir uno o más carriles para guiar el posicionamiento del vehículo aéreo de destino en la zona de detección. Por ejemplo, en algunos modos de realización, el uno o más carriles se pueden configurar como líneas pintadas a lo largo del piso de la estación 200.

30 **[0029]** En algunos modos de realización a modo de ejemplo, la estación 200 se pueden incorporar en un hangar existente o nuevo. En algunos modos de realización, la unidad de detección inferior 120 puede instalarse a un nivel por debajo de un plano alineado con el suelo (por ejemplo, debajo del piso del hangar), de modo que un vehículo aéreo de destino pueda desplazarse directamente sobre la unidad de detección inferior 120 (así como debajo de la unidad de detección superior 110) en la zona de detección sin su conocimiento. La configuración de la unidad de detección inferior 120 puede ser similar a la descrita para la estación 100. Por ejemplo, la estación 200 puede configurarse dentro de un hangar de avión de manera que esté oculta a los operadores de los vehículos aéreos u otros objetivos a inspeccionar.

35 **[0030]** La FIG. 3A muestra un diagrama ilustrativo de un modo de realización a modo de ejemplo de una estación de inspección de materiales por tomografía de muones 300 para un almacén u otra instalación de almacenamiento. El almacén 300 está configurado para incluir la capacidad de inspección por tomografía de muones como estación de inspección de almacén y puede configurarse con algunas características similares a las de la estación 100. Por ejemplo, la estación de inspección de almacén 300 puede estructurarse para incluir la unidad de detección por tomografía de muones superior 110 que incluye la matriz de detectores de muones 150 y la unidad de detección por tomografía de muones inferior 120 que incluye otra serie de detectores de muones 150. Similar a la estación 100 a modo de ejemplo, cada una de las unidades de detección por tomografía de muones superior e inferior 110 y 120 de la estación de inspección de almacén 300 está estructurada para incluir, al menos, matrices de detectores de muones 150, tales como las descritas para la estación 100.

**[0031]** La estación de inspección de almacén 300 está configurada de modo que la unidad de detección superior 110 está dispuesta en una posición fija por encima de y relativa a la unidad de detección inferior 120, en la que el área entre las disposiciones relativas de las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 forma una zona de detección. La zona de detección está configurada para un volumen dimensionado para contener contenedores, por ejemplo, tales como los transportados por camiones, que pueden incluir tamaños de 20 pies (6,1 m), 40 pies (12,2 m), 45 pies (13,7 m), 48 pies (14,6 m) y 53 pies (16,2 m) de largo y 8 pies (2,4 m) de ancho. En algunas implementaciones, la estación 300 puede incluir uno o más carriles para guiar el posicionamiento del contenedor en la zona de detección. Por ejemplo, uno o más carriles se pueden configurar como líneas pintadas a lo largo del piso de la estación de inspección de almacén 300.

**[0032]** En algunos modos de realización a modo de ejemplo, la estación de inspección de almacén 300 se pueden incorporar a un almacén existente o nuevo. En algunos modos de realización, la unidad de detección inferior 120 puede instalarse a un nivel por debajo de un plano alineado con el suelo (por ejemplo, debajo del piso del almacén), de manera que un contenedor de destino puede desplazarse directamente sobre la unidad de detección inferior 120 (así como debajo de la unidad de detección superior 110) en la zona de detección sin su conocimiento. Por ejemplo, la estación 300 puede configurarse dentro de un almacén u otra instalación de almacenamiento de modo que esté oculta a los operadores de los vehículos aéreos u otros objetivos a inspeccionar.

**[0033]** La FIG. 3B muestra otro modo de realización de una estación de inspección de materiales por tomografía de muones 300B para un almacén u otra instalación de almacenamiento que usa unidades de detección 110 y 120 más pequeñas que pueden ser menos costosas en comparación con las unidades de detección a modo de ejemplo que cubren la totalidad o grandes secciones del área de almacén, como se muestra en la FIG. 3A. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3B, para explorar todos los contenedores, las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 son unidades de detección móviles que pueden estar motorizadas para desplazarse de forma coordinada a lo largo de las pistas superiores 115 y de las pistas inferiores 125, respectivamente, para colocar sucesivamente diferentes contenedores de carga entre las unidades de detección. En este ejemplo, las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 pueden desplazarse usando un mecanismo de movimiento 136 acoplado a un motor 135 montado en la estructura de almacén de la estación 300B. El mecanismo de movimiento 136 puede ser, por ejemplo, un cable o una cadena que es accionada por el motor 135 para mover las unidades de detección 110 y 120 juntas a diferentes posiciones a lo largo de las pistas 115 y 125. Las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 son desplazadas por el mecanismo de movimiento 136 a través del motor 135, de modo que la posición relativa entre la unidad de detección inferior 110 y la unidad de detección superior 120 sea sustancialmente fija o alineada y permanezca sin cambios debido al movimiento. Por ejemplo, el mecanismo de movimiento 136 y/o el motor 135 pueden configurarse en la zona de techo y en la zona de piso de la estructura de carcasa de la estación 300B y controlarse mediante la unidad de procesamiento de señales, por ejemplo, mediante medios de comunicación por cable o inalámbricos.

**[0034]** En el modo de realización a modo de ejemplo mostrado en la FIG. 3B, las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 pueden abarcar una dimensión de la estructura de carcasa de la estación 300B. A este respecto, las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 pueden desplazarse mediante el mecanismo de movimiento 136 a través de la dimensión perpendicular de la estación 300B, de modo que las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 pueden desplazarse a cualquier lugar dentro del área de la zona del techo y de la región del piso, respectivamente. Tal movimiento de las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 permite a los detectores de muones (en la matriz de detectores de muones 150 de las unidades de detección superior e inferior 110 y 120) realizar exploraciones sucesivas en todo el volumen dentro de la estación 300B. Por ejemplo, una vez que los detectores han llegado al final de las pistas, pueden desplazarse en la dirección inversa para repetir las exploraciones o detenerse hasta que se lleven nuevos contenedores de carga al almacén.

**[0035]** En otros modos de realización a modo de ejemplo, tales como el que se muestra en la FIG. 3C, una estación de inspección de materiales por tomografía de muones 300C para un almacén u otra instalación de almacenamiento puede incluir una pluralidad de unidades de detección superior e inferior alineadas en posición 110 y 120 que pueden configurarse en las pistas superiores e inferiores correspondientes 115 y 125 y capaces de desplazarse por medio de un mecanismo de movimiento 136 correspondiente. En este ejemplo, cada una de las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 alineadas puede desplazarse en una dirección determinada por la configuración del mecanismo de movimiento 136 correspondiente y las pistas 115 y 125 correspondientes de la estación 300C. Por ejemplo, cada uno de los mecanismos de movimiento 136 y las pistas 115 y 125 correspondientes de la estación 300C pueden accionar el movimiento de las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 alineadas en posición correspondientes a cualquier ubicación dentro de su propia área regional del techo y del piso, respectivamente, independientemente de otras unidades de detección móviles superior e inferior. Por ejemplo, las áreas regionales de las unidades móviles de detección superior e inferior pueden configurarse para cubrir todo el volumen dentro de la estación 300C, de modo que las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 puedan realizar exploraciones sucesivas de contenedores u otros materiales almacenados dentro de la estación 300C.

**[0036]** En algunos modos de realización, los detectores de muones (en la matriz de detectores de muones 150 de las unidades de detección superior e inferior 110 y 120) son estacionarios para cada medición. Por ejemplo, las

unidades de detección superior e inferior móviles alineadas en posición pueden desplazarse a múltiples posiciones de detección a lo largo de las pistas 115 y 125 y detenerse en las posiciones de detección para realizar una medición, por ejemplo, medición del desplazamiento y del cambio de ángulo de las trayectorias de muones, que se puede dispersar de forma diferente en base a los materiales del interior de los contenedores u otros objetos de destino. En algunas implementaciones, se puede realizar una medición de calibración antes, simultáneamente y/o después de que se realice la medición del contenedor u otro objeto de destino. Por ejemplo, uno o más marcadores de referencia pueden colocarse en posiciones conocidas a lo largo de la trayectoria de desplazamiento de las unidades de detección móviles superior e inferior alineadas en posición para proporcionar datos de calibración, que pueden usarse para identificar falsos positivos o falsos negativos en los datos analizados del contenedor u otro objeto de destino. En algunos ejemplos, los marcadores de referencia se pueden configurar como un bloque de acero ubicado en o debajo del piso o sobre o encima del techo del almacén u otra instalación de almacenamiento. También, por ejemplo, se pueden colocar uno o más sensores de posición en las unidades de detección superior e inferior 110 y 120 para supervisar la alineación de los detectores y sus posiciones relativas. En algunos ejemplos, los sensores de posición pueden incluir sensores ópticos, acelerómetros o sensores de velocidad que detectan un cambio en la alineación entre las unidades de detección superior e inferior 110 y 120.

**[0037]** En otros modos de realización a modo de ejemplo, las mediciones se pueden realizar cuando los detectores están continuamente en movimiento. Por ejemplo, el movimiento relativo de las unidades de detección 110 y 120 con respecto a los contenedores u objetos de destino puede determinarse y contabilizarse por medio de la unidad de procesamiento de señales cuando se procesan los datos medidos en datos analizados.

**[0038]** Los ejemplos anteriores de uso de una combinación del mecanismo de movimiento 136 y el motor 135 pueden ser reemplazados por medio de motores móviles que acoplan de forma móvil las unidades de detección a las pistas 115 y 125 sin el cable o la cadena 136, de modo que los motores móviles se mueven en las pistas 115 y 125 junto con las unidades de detección.

**[0039]** En algunas implementaciones, el mecanismo de movimiento 136 a modo de ejemplo y/o el motor 135 con las pistas superiores 115 y las pistas inferiores 125 también se pueden incluir en la estación de inspección de materiales por tomografía de muones 100 a modo de ejemplo para vehículos y la estación 200 para aeronaves.

**[0040]** Los ejemplos anteriores ilustran casos específicos de las estaciones de matrices de detectores de muones. En general, un par de unidades de detección posicionadas en lados opuestos del volumen de la zona de detección pueden usarse para medir objetos en el volumen, por ejemplo, tales como arriba y abajo de los objetos de destino, o a lo largo de lados opuestos de los objetos sustancialmente paralelos a la gravedad. También, por ejemplo, mientras que en los casos anteriores se muestra que los objetos que se están midiendo son estacionarios, las mediciones de los objetos de destino también podrían realizarse usando la tecnología divulgada mientras los objetos de destino se desplazan dentro del volumen entre las unidades de detección.

#### Ejemplos

**[0041]** Los siguientes ejemplos son ilustrativos de varios modos de realización de la presente tecnología. Se pueden presentar otros modos de realización a modo de ejemplo de la presente tecnología antes de los siguientes ejemplos enumerados, o después de los siguientes ejemplos enumerados.

**[0042]** En un ejemplo de la presente tecnología (ejemplo 1), un sistema para la detección por tomografía de muones que tiene sensores de detección de muones móviles incluye una primera estructura de carcasa que incluye una primera matriz de uno o más sensores de detección de muones, la primera estructura de carcasa posicionada a lo largo de un primer lado adyacente a una zona de detección que tiene un volumen para contener un objeto de destino, en la que el uno o más sensores de detección de muones de la primera matriz miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan a través de la primera matriz a la zona de detección; una segunda estructura de carcasa que incluye una segunda matriz de uno o más sensores de detección de muones, la segunda estructura de carcasa situada a lo largo de un segundo lado opuesto al primer lado y adyacente a la zona de detección y a una altura fija de la primera estructura de carcasa, en la que uno o más sensores de detección de muones de la segunda matriz miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan desde la zona de detección a través de la segunda matriz; una o más estructuras de soporte para colocar la primera estructura de carcasa a la altura fija; un mecanismo de movimiento acoplado a la primera y segunda matrices de uno o más sensores de detección de muones para desplazar la primera y segunda matrices de uno o más sensores de detección de muones en diferentes posiciones mientras se mantiene una posición relativa entre sí; y una unidad de procesamiento para recibir datos de las posiciones y las direcciones medidas de la primera y segunda matrices de uno o más sensores de detección de muones, la unidad de procesamiento configurada para analizar los comportamientos de dispersión de los muones causados por la dispersión de los muones en materiales del objeto de destino dentro de la zona de detección para obtener un perfil tomográfico o una distribución espacial de los centros de dispersión dentro de la zona de detección.

- [0043] El ejemplo 2 incluye el sistema del ejemplo 1, en el que el objeto de destino incluye uno de un vehículo automóvil, un tren, un vehículo aéreo, un vehículo marítimo o un contenedor capaz de ser transportado por el vehículo automóvil, el tren, el vehículo aéreo o el vehículo marítimo.
- 5 [0044] El ejemplo 3 incluye el sistema del ejemplo 1, que incluye, además, una o más estructuras de guía configuradas en la zona de detección para alinear el objeto de destino en una orientación o posición particular en la zona de detección.
- [0045] El ejemplo 4 incluye el sistema del ejemplo 1, en el que el sistema se implementa en un hangar de aeronaves.
- 10 [0046] El ejemplo 5 incluye el sistema del ejemplo 4, en el que la primera estructura de carcasa está configurada encima del techo o tejado del hangar de aeronaves.
- [0047] El ejemplo 6 incluye el sistema del ejemplo 4, en el que la segunda estructura de carcasa está configurada debajo del piso del hangar de aeronaves.
- 15 [0048] El ejemplo 7 incluye el sistema del ejemplo 4, en el que la primera y la segunda estructuras de carcasa están configuradas en una pared del hangar de aeronaves.
- 20 [0049] El ejemplo 8 incluye el sistema del ejemplo 1, en el que el sistema se implementa en un almacén.
- [0050] El ejemplo 9 incluye el sistema del ejemplo 8, en el que la primera estructura de carcasa se configura por encima del techo o tejado del almacén.
- 25 [0051] El ejemplo 10 incluye el sistema del ejemplo 8, en el que la segunda estructura de carcasa se configura debajo del piso del almacén.
- [0052] El ejemplo 11 incluye el sistema del ejemplo 8, en el que la primera y la segunda estructuras de carcasa están configuradas en una pared del almacén.
- 30 [0053] El ejemplo 12 incluye el sistema del ejemplo 8, en el que los sensores de detección de muones de la primera matriz y de la segunda matriz están posicionados dentro de la primera y la segunda estructuras de carcasa, respectivamente, para detectar las posiciones y las direcciones de los muones a través de contenedores almacenados en el almacén.
- 35 [0054] El ejemplo 13 incluye el sistema del ejemplo 8, en el que el mecanismo de movimiento incluye un primer dispositivo de transporte y un segundo dispositivo de transporte para permitir el movimiento de la primera matriz y de la segunda matriz del uno o más sensores de detección de muones de la primera estructura de carcasa y de la segunda estructura de carcasa, respectivamente.
- 40 [0055] El ejemplo 14 incluye el sistema del ejemplo 1, en el que la unidad de procesamiento produce una imagen basada en el perfil tomográfico o la distribución espacial.
- [0056] El ejemplo 15 incluye el sistema del ejemplo 1, en el que la unidad de procesamiento está en comunicación cableada o inalámbrica con uno o más sensores de detección de muones de la primera matriz y de la segunda matriz.
- 45 [0057] El ejemplo 16 incluye el sistema del ejemplo 1, en el que la unidad de procesamiento está ubicada en un sitio alejado de los componentes del sistema.
- 50 [0058] El ejemplo 17 incluye el sistema del ejemplo 1, en el cual el sistema está integrado en un edificio o conjunto estructural, de manera que el sistema está oculto a simple vista.
- [0059] En un ejemplo de la presente tecnología (ejemplo 18), una estación de inspección de vehículos que tiene capacidad incorporada de inspección por tomografía de muones, incluyendo una estructura de carcasa estructurada para, al menos parcialmente, encerrar un vehículo y permitir que el vehículo se desplace dentro y fuera de la estructura de carcasa, incluyendo la estructura de carcasa una zona de detección para contener el vehículo; una primera unidad de detección que incluye una primera matriz de uno o más sensores de detección de muones, la primera unidad de detección posicionada a lo largo de un primer lado de la estructura de carcasa adyacente a la zona de detección, en la que el uno o más sensores de detección de muones de la primera matriz miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan a través de la primera matriz a la zona de detección; una segunda unidad de detección que incluye una segunda matriz de uno o más sensores de detección de muones, la segunda unidad de detección posicionada a lo largo de un segundo lado de la estructura de carcasa opuesta al primer lado y adyacente a la zona de detección y a una distancia fija de la primera unidad de detección, en el que el uno o más sensores de detección de muones de la segunda matriz miden las posiciones y las direcciones de los
- 55  
60  
65

- muones que pasan desde la zona de detección a través de la segunda matriz; una plataforma situada en la zona de detección entre la primera y la segunda unidades de detección y configurada para incluir una superficie para recibir y soportar un vehículo a inspeccionar, incluyendo la plataforma pistas o marcas de alineación para guiar el vehículo a una posición deseada en la plataforma para ser inspeccionado; y una unidad de procesamiento para recibir datos de las posiciones y las direcciones medidas de la primera y segunda matrices de uno o más sensores de detección de muones, la unidad de procesamiento configurada para analizar los comportamientos de dispersión de los muones causados por la dispersión de muones en los materiales del vehículo de la zona de detección para obtener un perfil tomográfico o una distribución espacial de los centros de dispersión dentro de la zona de detección.
- 5
- 10 **[0060]** El ejemplo 19 incluye la estación del ejemplo 18, que incluye, además, una o más estructuras de guía configuradas en la estructura de carcasa para alinear el vehículo en una orientación o posición particular en la zona de detección.
- 15 **[0061]** El ejemplo 20 incluye la estación del ejemplo 18, en la cual la estructura de carcasa incluye una pluralidad de placas sobre las cuales los vehículos están estacionados cuando se encuentran en la zona de detección, en la que la segunda matriz se coloca debajo de la pluralidad de placas.
- 20 **[0062]** El ejemplo 21 incluye la estación del ejemplo 20, en la que la pluralidad de placas está configurada por encima del nivel del suelo.
- 25 **[0063]** El ejemplo 22 incluye la estación del ejemplo 20, en la que la pluralidad de placas está configurada por debajo del nivel del suelo.
- 30 **[0064]** El ejemplo 23 incluye la estación del ejemplo 20, en la que la pluralidad de placas está configurada a nivel del suelo.
- 35 **[0065]** El ejemplo 24 incluye la estación del ejemplo 18, en la que la estructura de carcasa incluye dos paredes sustancialmente paralelas, y la primera unidad de detección y la segunda unidad de detección están configuradas en las dos paredes, respectivamente.
- 40 **[0066]** El ejemplo 25 incluye la estación del ejemplo 18, en la que la unidad de procesamiento produce una imagen basada en el perfil tomográfico o en la distribución espacial.
- 45 **[0067]** El ejemplo 26 incluye la estación del ejemplo 18, en la que la unidad de procesamiento está en comunicación cableada o inalámbrica con el uno o más sensores de detección de muones de la primera matriz y la segunda matriz.
- 50 **[0068]** El ejemplo 27 incluye la estación del ejemplo 18, en la que la unidad de procesamiento está situada en un sitio alejado de la estructura de carcasa.
- 55 **[0069]** En un ejemplo de la presente tecnología (ejemplo 28), un almacén que tiene capacidad incorporada de inspección de contenedores por tomografía de muones, incluyendo una estructura de carcasa de almacén estructurada para incluir un techo sobre un área de almacenamiento para la colocación de los contenedores de almacenamiento, incluyendo la estructura de carcasa de almacén una zona de detección que abarca, al menos, algunos de los contenedores de almacenamiento; una primera unidad de detección que incluye una primera matriz de uno o más sensores de detección de muones, la primera unidad de detección posicionada a lo largo de un primer lado de la estructura de carcasa adyacente a la zona de detección, en la que el uno o más sensores de detección de muones de la primera matriz miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan a través de la primera matriz a la zona de detección; una segunda unidad de detección que incluye una segunda matriz de uno o más sensores de detección de muones, la segunda unidad de detección posicionada a lo largo de un segundo lado de la estructura de carcasa opuesta al primer lado y adyacente a la zona de detección y a una distancia fija de la primera unidad de detección en la que el uno o más sensores de detección de muones de la segunda matriz miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan desde la zona de detección a través de la segunda matriz; y una unidad de procesamiento para recibir datos de las posiciones y las direcciones medidas de la primera y segunda matrices de uno o más sensores de detección de muones, la unidad de procesamiento configurada para analizar los comportamientos de dispersión de los muones causados por la dispersión de los muones en los materiales de los contenedores de almacenamiento dentro de la zona de detección para obtener un perfil tomográfico o una distribución espacial de los centros de dispersión dentro de la zona de detección.
- 60 **[0070]** El ejemplo 29 incluye el almacén del ejemplo 28, en el que la primera unidad de detección está configurada encima del techo o tejado de la estación de inspección de contenedores de almacenamiento, y la segunda unidad de detección está configurada debajo del piso de la estación de inspección de contenedores de almacenamiento.
- 65 **[0071]** El ejemplo 30 incluye el almacén del ejemplo 28, en el que la estructura de carcasa incluye dos paredes sustancialmente paralelas, y la primera unidad de detección y la segunda unidad de detección están configuradas en las dos paredes, respectivamente.

5 **[0072]** El ejemplo 31 incluye el almacén del ejemplo 28, que incluye, además, un primer dispositivo de transporte y un segundo dispositivo de transporte para permitir el desplazamiento de la primera unidad de detección y de la segunda unidad de detección, respectivamente, al unísono y a lo largo de una trayectoria en la estructura de carcasa, en el que la ubicación de la zona de detección cambia de acuerdo con el desplazamiento de la primera unidad de detección y de la segunda unidad de detección.

10 **[0073]** El ejemplo 32 incluye el almacén del ejemplo 31, que incluye, además, un marcador de calibración formado de un material conocido y configurado en la trayectoria, en el que la unidad de procesamiento recibe datos de calibración de las posiciones y las direcciones medidas de los muones que pasan a través del material conocido del marcador de calibración y la primera y segunda matrices de uno o más sensores de detección de muones.

15 **[0074]** El ejemplo 33 incluye el almacén del ejemplo 31, que incluye, además, un primer sensor de posición acoplado a la primera unidad de detección y un segundo sensor de posición acoplado a la segunda unidad de detección, en el que el primer y segundo sensores de posición proporcionan datos sobre la posición relativa entre la primera unidad de detección y la segunda unidad de detección.

20 **[0075]** El ejemplo 34 incluye el almacén del ejemplo 28, en el que la unidad de procesamiento produce una imagen basada en el perfil tomográfico o la distribución espacial.

**[0076]** El ejemplo 35 incluye el almacén del ejemplo 28, en el que la unidad de procesamiento está en comunicación cableada o inalámbrica con el uno o más sensores de detección de muones de la primera matriz y de la segunda matriz.

25 **[0077]** El ejemplo 36 incluye el almacén del ejemplo 28, en el que la unidad de procesamiento está situada en un sitio alejado de la estructura de carcasa.

30 **[0078]** En un ejemplo de la presente tecnología (ejemplo 37), un procedimiento de inspección de materiales en una instalación de almacenamiento mediante tomografía de muones, que incluye la exploración de un contenedor de almacenamiento almacenado en una instalación de almacenamiento usando sensores de muones para obtener datos de formación de imágenes de tomografía de muones, incluyendo la instalación de almacenamiento una estructura de carcasa que tiene una primera unidad de detección y una segunda unidad de detección posicionadas en una alineación fija la una con respecto a la otra; desplazando la primera unidad de detección y la segunda unidad de detección desde una primera posición a una segunda posición en la estructura de carcasa; explorando un marcador de calibración de un material conocido ubicado en la instalación de almacenamiento utilizando sensores de muones para obtener datos de formación de imágenes de tomografía de muones; y determinando, mediante la utilización de una unidad de procesamiento, la presencia o ausencia de un material objetivo en el contenedor de almacenamiento basándose en los datos obtenidos de formación de imágenes de tomografía de muones del contenedor de almacenamiento explorado y el marcador de calibración explorado, en el que la primera unidad de detección incluye una primera matriz de sensores de muones configurada en un primer plano y la segunda unidad de detección incluye una segunda matriz de sensores de muones configurada en un segundo plano paralelo al primer plano, de modo que los sensores de muones de la primera matriz miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan a través de la primera matriz y los sensores de muones de la segunda matriz miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan desde la zona de detección a través de la segunda matriz, y en los que la unidad de procesamiento recibe datos de las posiciones y las direcciones medidas de los sensores de muones y analiza los comportamientos de dispersión de muones causados por la dispersión de los muones en los materiales del contenedor de almacenamiento.

45

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (100, 200, 300) para la detección por tomografía de muones que tiene sensores de detección de muones móviles, que comprende:
- 5 una primera estructura de carcasa (110) que incluye una primera matriz (150) de uno o más sensores de detección de muones, la primera estructura de carcasa (110) posicionada a lo largo de un primer lado adyacente a una zona de detección que tiene un volumen para contener un objeto de destino, en la que el uno o más sensores de detección de muones de la primera matriz (150) miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan a través de la primera matriz a la zona de detección;
- 10 una segunda estructura de carcasa (120) que incluye una segunda matriz (150) de uno o más sensores de detección de muones, la segunda estructura de carcasa (120) posicionada a lo largo de un segundo lado opuesto al primer lado y adyacente a la zona de detección y a una altura fija desde la primera estructura de carcasa, en la que el uno o más sensores de detección de muones de la segunda matriz (150) miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan desde la zona de detección a través de la segunda matriz;
- 15 una o más estructuras de soporte (105) para posicionar la primera estructura de carcasa a la altura fija;
- 20 un mecanismo de movimiento (136) acoplado a la primera y segunda matrices de uno o más sensores de detección de muones para desplazar la primera y segunda matrices de uno o más sensores de detección de muones en diferentes posiciones mientras se mantiene una posición relativa entre sí; y
- 25 una unidad de procesamiento para recibir datos de las posiciones y las direcciones medidas de la primera y segunda matrices (150) de uno o más sensores de detección de muones, la unidad de procesamiento configurada para analizar los comportamientos de dispersión de los muones causados por la dispersión de los muones en materiales del objeto de destino dentro de la zona de detección para obtener un perfil tomográfico o una distribución espacial de los centros de dispersión dentro de la zona de detección.
- 30 2. El sistema según la reivindicación 1, que comprende además:
- una o más estructuras de guía configuradas en la zona de detección para alinear el objeto de destino en una orientación o posición particular en la zona de detección.
- 35 3. Un hangar de aeronave (200) que comprende el sistema según la reivindicación 1, en el que la primera estructura de carcasa (110) está configurada encima del techo o tejado del hangar de la aeronave.
- 40 4. El hangar de aeronave (200) según la reivindicación 3, en el que la segunda estructura de carcasa (120) está configurada debajo del piso del hangar de la aeronave.
5. El hangar según la reivindicación 3, en el que la primera estructura de carcasa (110) y la segunda estructura de carcasa (120) están configuradas en una pared del hangar de la aeronave.
- 45 6. Un almacén (300, 300A, 300B) que comprende el sistema según la reivindicación 1, en el que la primera estructura de carcasa (110) está configurada encima del techo o tejado del almacén.
7. El almacén (300, 300A, 300B) según la reivindicación 1, en el que la segunda estructura de carcasa (120) está configurada debajo del suelo del almacén (300, 300A, 300B).
- 50 8. El almacén (300, 300A, 300B) según la reivindicación 1, en el que la primera estructura de carcasa (110) y la segunda estructura de carcasa (120) están configuradas en una pared del almacén (300, 300A, 300B).
9. El almacén (300, 300A, 300B) según la reivindicación 1, en el que los sensores de detección de muones de la primera matriz (150) y la segunda matriz (150) están posicionados dentro de la primera estructura de carcasa (110) y de la segunda estructura de carcasa (120), respectivamente, para detectar las posiciones y las direcciones de muones a través de contenedores almacenados en el almacén (300, 300A, 300B).
- 55 10. El almacén según la reivindicación 1, en el que el mecanismo de movimiento (136) incluye un primer dispositivo de transporte y un segundo dispositivo de transporte para permitir el movimiento de la primera matriz y de la segunda matriz del uno o más sensores de detección de muones en la primera estructura de carcasa y en la segunda estructura de carcasa, respectivamente.
- 60 11. El sistema según la reivindicación 1, en el que la unidad de procesamiento produce una imagen basada en el perfil tomográfico o la distribución espacial de los centros de dispersión dentro de la zona de detección.
- 65

12. El sistema según la reivindicación 1, en el que la unidad de procesamiento está situada en un sitio (130) alejado de los componentes del sistema.

5 13. El sistema según la reivindicación 1, que comprende además:

10 uno o más marcadores de referencia formados de un material conocido y colocados en posiciones conocidas a lo largo de una trayectoria de desplazamiento de un par de sensores de detección de muones alineados posicionalmente de la primera y segunda matrices (150), en el que la unidad de procesamiento recibe datos de calibración de las posiciones y las direcciones medidas de los muones que pasan a través del material conocido del marcador de referencia para permitir la identificación de un falso positivo o un falso negativo en los comportamientos de dispersión analizados de los muones.

14. Un procedimiento de inspección de materiales en una instalación de almacenamiento que utiliza la tomografía de muones, que comprende:

15 explorar un contenedor de almacenamiento almacenado en una instalación de almacenamiento utilizando sensores de muones para obtener datos de formación de imágenes de tomografía de muones, la instalación de almacenamiento incluyendo una estructura de carcasa que tiene una primera unidad de detección y una segunda unidad de detección posicionadas en una alineación fija una con respecto a la otra;

20 desplazar la primera unidad de detección y la segunda unidad de detección desde una primera posición a una segunda posición en la estructura de carcasa mientras se mantiene la alineación fija entre la primera unidad de detección y la segunda unidad de detección;

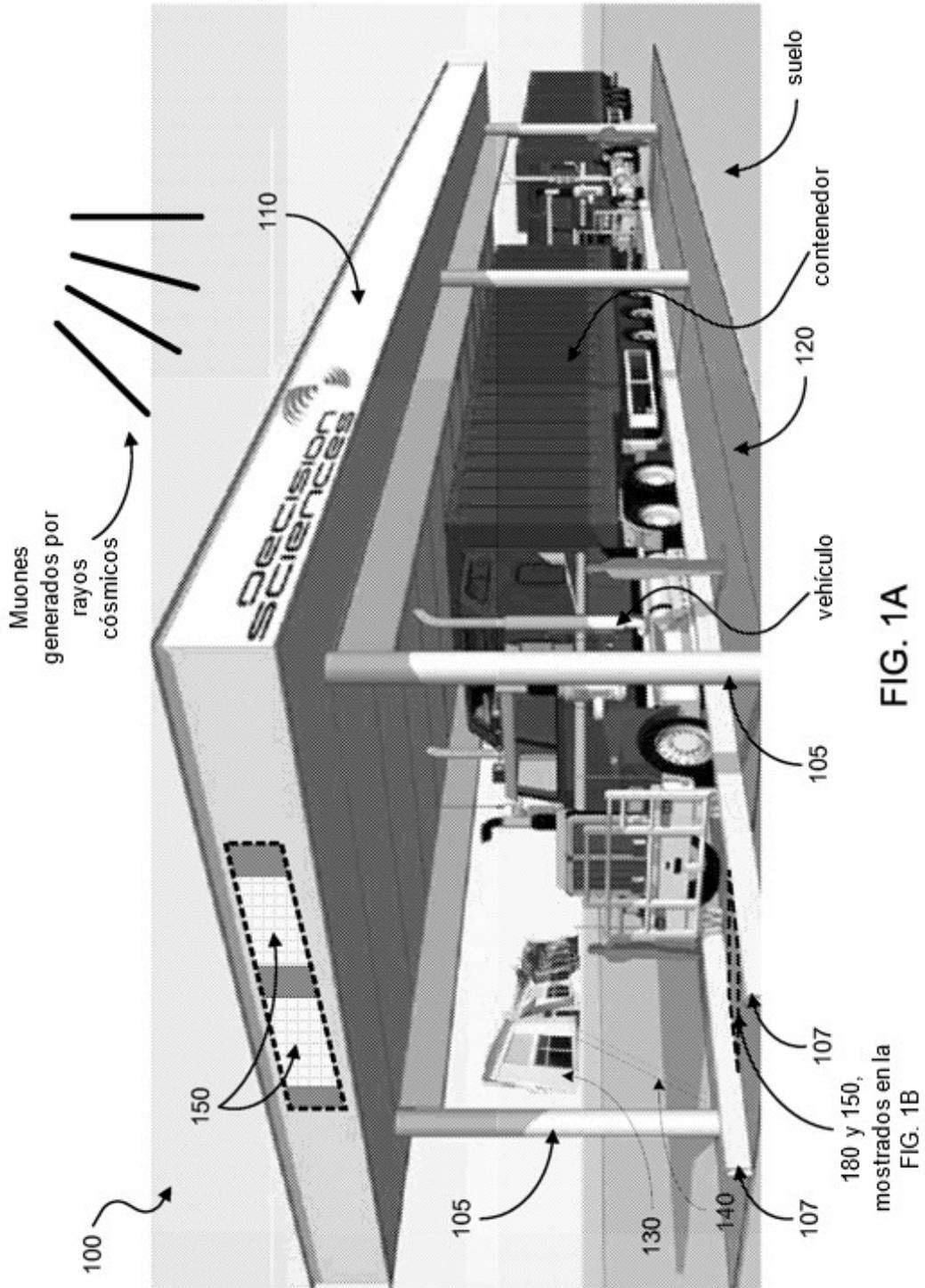
25 explorar un marcador de calibración de un material conocido ubicado en la instalación de almacenamiento utilizando sensores de muones para obtener datos de formación de imágenes de tomografía de muones; y

30 determinar, usando una unidad de procesamiento, la presencia o ausencia de un material objetivo en el contenedor de almacenamiento en base a los datos obtenidos para la formación de imágenes de tomografía de muones del contenedor de almacenamiento explorado y el marcador de calibración explorado,

35 en el que la primera unidad de detección incluye una primera matriz de sensores de muones configurada en un primer plano y la segunda unidad de detección incluye una segunda matriz de sensores de muones configurada en un segundo plano paralelo al primer plano, de modo que los sensores de muones de la primera la matriz miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan a través de la primera matriz y los sensores de muones de la segunda matriz miden las posiciones y las direcciones de los muones que pasan desde la zona de detección a través de la segunda matriz, y

40 en el que la unidad de procesamiento recibe datos de las posiciones y las direcciones medidas de los sensores de muones y analiza los comportamientos de dispersión de los muones causados por la dispersión de los muones en los materiales del contenedor de almacenamiento.

45



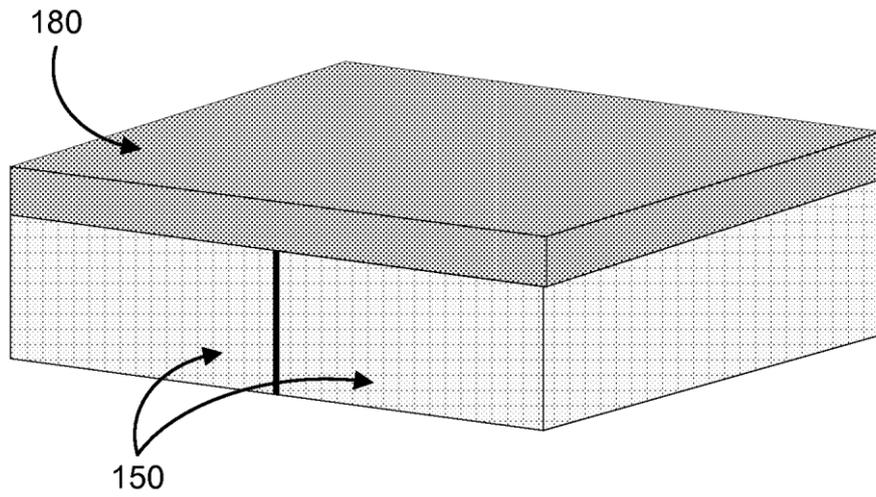


FIG. 1B

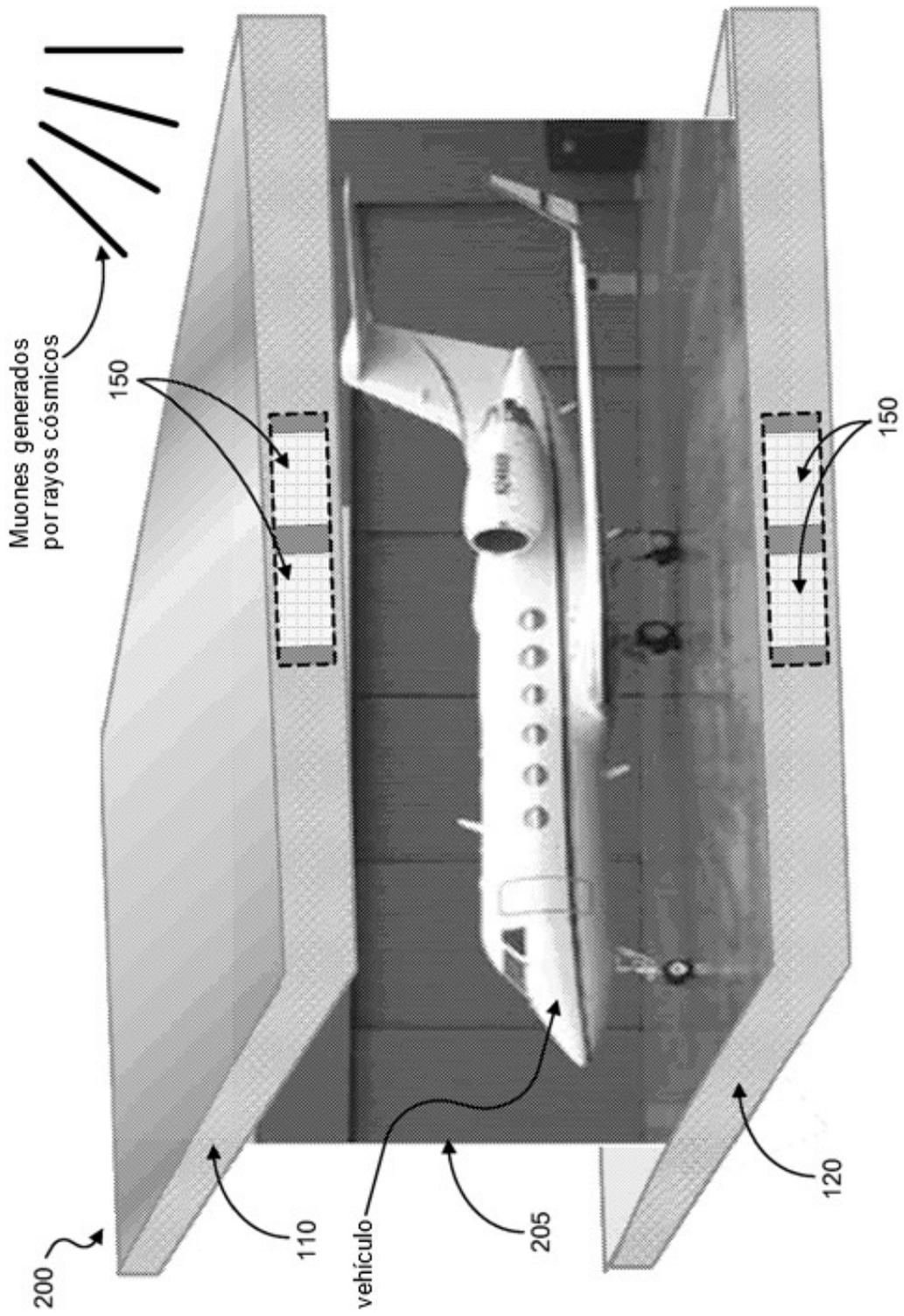


FIG. 2

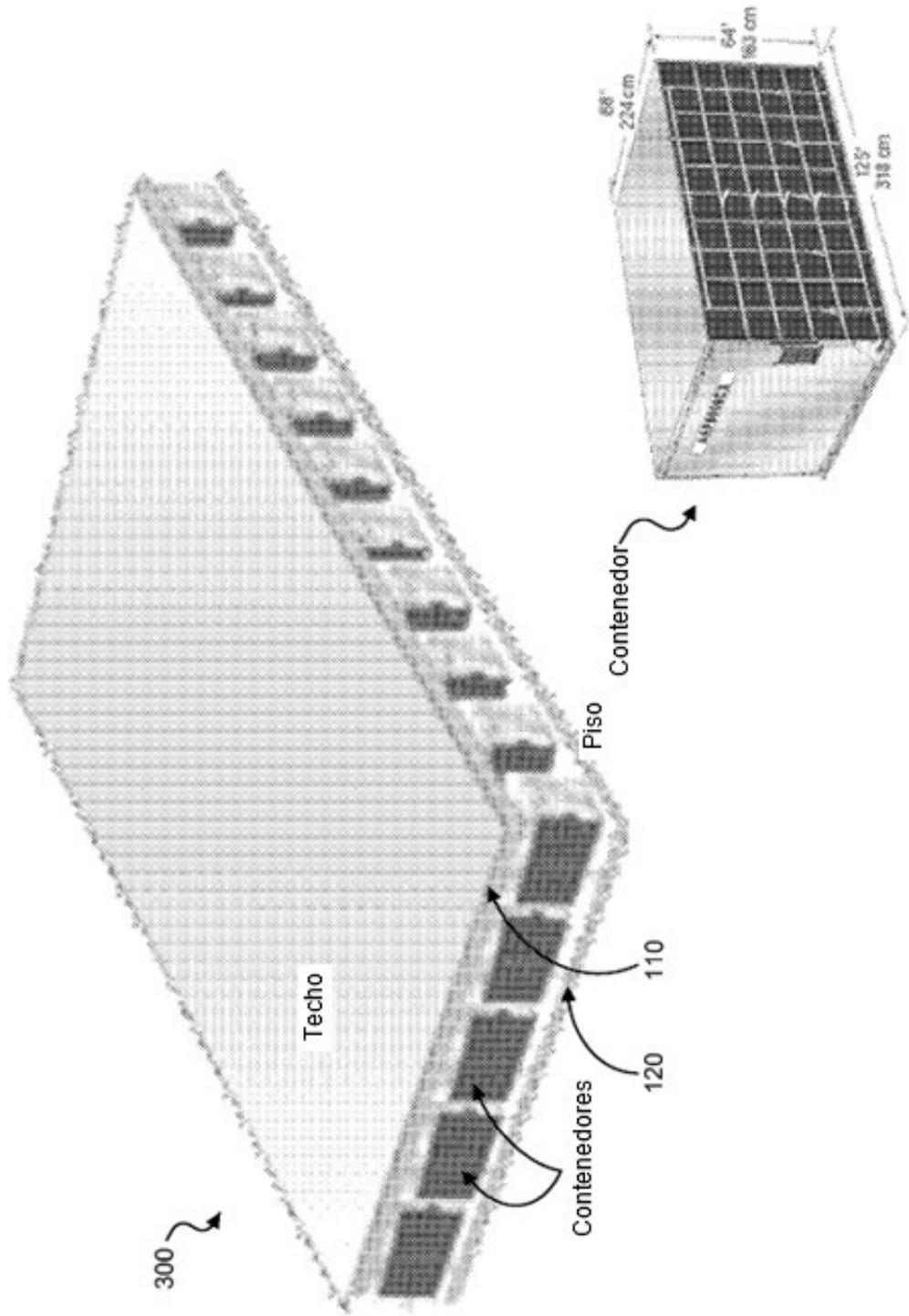


FIG. 3A

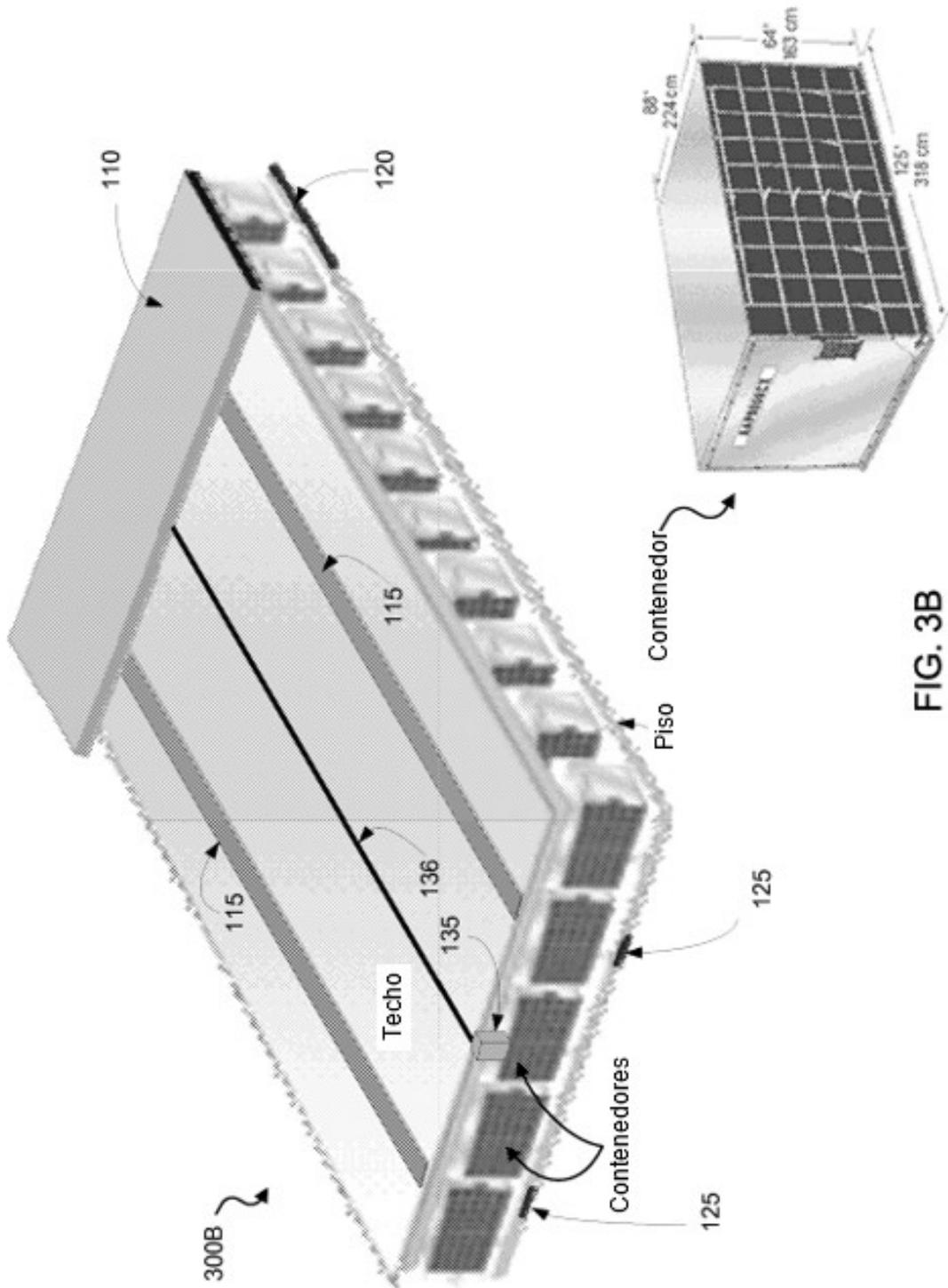


FIG. 3B

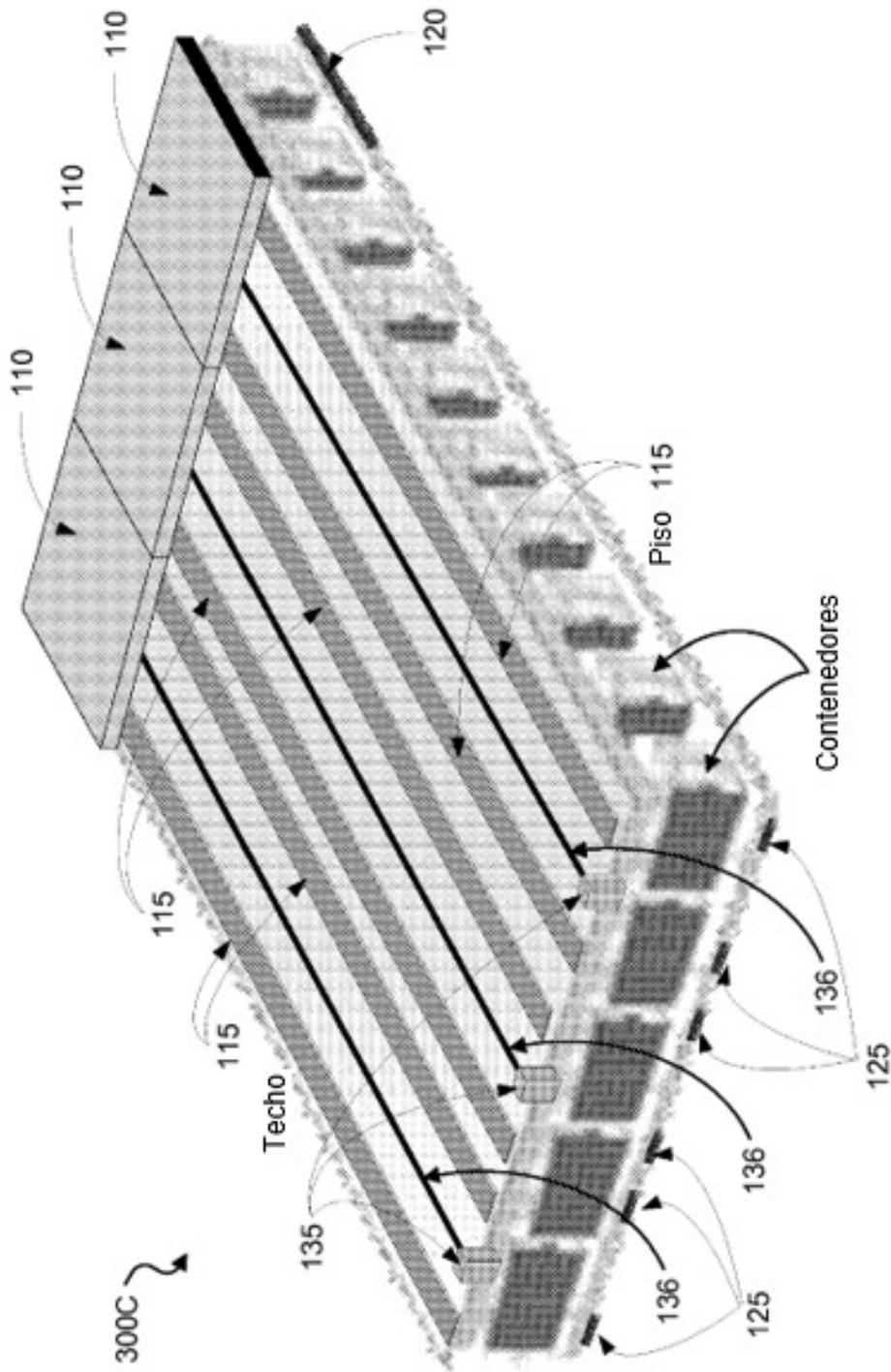


FIG. 3C