

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 656 667**

51 Int. Cl.:

G01N 23/04 (2006.01)

G01N 23/20 (2006.01)

G01V 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.08.2013 PCT/US2013/056035**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.04.2014 WO14051895**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.08.2013 E 13842125 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 2888579**

54 Título: **Escaneo primario y secundario en inspección de tomografía muónica**

30 Prioridad:

21.08.2012 US 201261691642 P

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

28.02.2018

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;
MCKENNEY, SHAWN;
WHALEN, ROBERT;
BLANPIED, GARY;
LEHOVICH, ANDRE y
KURNADI, PRISCILLA**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 656 667 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

Escaneo primario y secundario en inspección de tomografía muónica

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

5 Este documento de patente reivindica el beneficio de prioridad de la Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos No. 61/691.642, titulada "PRIMARY AND SECONDARY SCANNING IN MUON TOMOGRAPHY INSPECTION," presentada el 21 de agosto de 2012.

Campo técnico

10 Este documento de patente se refiere a la detección de partículas que incluye tomografía muónica basada en rayos cósmicos de muones y aplicaciones en la inspección de objetos, cargamentos, vehículos, contenedores y otros diversos usos, incluyendo seguridad y monitoreo de punto de acceso.

Antecedentes

15 Materiales con altos pesos atómicos tales como materiales nucleares pueden detectarse mediante diversos métodos. Una tecnología notable es la tomografía muónica que explota 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 se ve continuamente bombardeada por partículas estables energéticas, principalmente protones que provienen del espacio lejano. Estas partículas interactúan con átomos en la atmósfera superior para producir lluvias de partículas que incluyen piones de corta vida que decaen produciendo muones de larga vida. Los muones interactúan con la materia principalmente a través de la fuerza de Coulomb sin interacción nuclear. Los muones irradian energía mucho menos fácilmente que los electrones y pierden energía debido a la dispersión a través de interacciones electromagnéticas. Por consiguiente, muchos de los muones producidos por rayos cósmicos llegan a la superficie de la Tierra como radiación altamente cargada penetrante. El flujo de muones a nivel del mar es aproximadamente 1 muón por cm^2 por minuto.

25 La tomografía muónica utiliza muones producidos por rayos cósmicos como partículas de sonda y mide la dispersión de dichos muones que penetran a través de un objeto destino bajo inspección. A medida que un muón se mueve por el material del objeto destino, la dispersión coulombiana de las cargas de partículas subatómicas perturba su trayectoria. El desvío total depende de diversas propiedades del material, pero el efecto dominante es el número atómico, Z , de núcleos. Las trayectorias se ven más fuertemente afectadas por materiales que proporcionan buena protección contra rayos gamma (tales como plomo y tungsteno por ejemplo) y por material nuclear especial (SNM), es decir, uranio y plutonio, que por materiales que componen objetos más ordinarios tales como agua, plástico, aluminio y acero. Cada muón porta información sobre los objetos que ha penetrado y pueden usarse mediciones de la dispersión de múltiples muones para sondear las propiedades de estos objetos. Por ejemplo, puede detectarse e identificarse un material con un alto número atómico Z y alta densidad cuando el material está ubicado dentro de materia con número Z bajo o Z medio.

35 US2008/315091 divulga un método y sistema para la inspección basada en tomografía muónica. Un objeto, tal como por ejemplo, un vehículo o contenedor con cargamento, se escanea por medio de sensores muónicos y se usan técnicas de sustracción para detectar si un objeto destino está presente en el objeto.

Compendio

40 Las técnicas y sistemas para usar muones producidos por rayos cósmicos para inspeccionar objetos basados en una dispersión inicial de todos los objetos y una dispersión adicional de objetos que se determina mediante el escaneo inicial para incluir posiblemente una o más regiones sospechosas. En una implementación, un sistema puede incluir un escáner primario para realizar el escaneo inicial o primario y un escáner secundario más pequeño para el escaneo adicional o secundario para proporcionar una inspección eficiente y precisa de objetos mientras se mantiene el rendimiento deseado de la inspección. En otra implementación que no forma parte de la invención como se reivindica, puede usarse un único escáner para realizar tanto el escaneo inicial como el escaneo adicional mientras se mantiene un rendimiento suficiente de una fila de objetos bajo inspección. Una realización de la presente invención se dirige a un método para inspeccionar objetos basados en tomografía muónica usando muones producidos por rayos cósmicos de acuerdo con la reivindicación 1.

Otra realización de la presente invención se dirige a un sistema para inspeccionar objetos basados en tomografía muónica usando muones producidos por rayos cósmicos de acuerdo con la reivindicación 6.

50 Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1A ilustra un ejemplo de un sistema de escáner de tomografía muónica para el monitoreo de punto de acceso y otras aplicaciones de inspección utilizando muones producidos por rayos cósmicos para obtener imágenes de un objeto.

La FIG. 1B ilustra una vista lateral de un sistema de escáner de tomografía muónica que utiliza muones producidos por rayos cósmicos para detectar un objeto.

La FIG. 2 ilustra una vista en perspectiva detallada de un sistema de escáner de tomografía muónica.

5 La FIG. 3 muestra un ejemplo de un sistema de inspección de vehículos basado en un escáner de tomografía muónica primario para un escaneo inicial y para mantener un flujo de vehículos bajo inspección y un escáner de tomografía muónica secundario que proporciona un escaneo detallado fuera de la fila sobre una región sospechosa identificada por el escáner primario.

La FIG. 4 muestra un ejemplo de la operación de los escáneres primarios y secundarios en la FIG. 3.

La FIG. 5 muestra un ejemplo de detalles de operación de inspección del sistema en la FIG. 3.

10 La FIG. 6 muestra un ejemplo del flujo operacional basado en el sistema en la FIG. 3 o sistemas similares.

La FIG. 7 muestra un ejemplo que no forma parte de la invención como se reivindica, de usar un único escáner para realizar tanto el escaneo inicial de todos los objetos en la fila para su inspección como el escaneo adicional de objetos que el escaneo inicial determina que tienen posiblemente una o más regiones sospechosas.

15 Las FIGS. 8A y 8B muestran un ejemplo que no forma parte de la invención como se reivindica, de una secuencia de escaneos al realizar el escaneo inicial/primario y un escaneo adicional/secundario.

Descripción detallada

20 Los escáneres de tomografía muónica basados en muones producidos por rayos cósmicos dependen de la densidad natural de los muones que vienen del cielo que no pueden ser aumentados artificialmente. Por lo tanto, bajo este límite de muones que provienen del cielo, un escáner de tomografía muónica necesita dejar que un objeto se exponga al influjo natural de muones que provienen del cielo durante un periodo mínimo de tiempo para asegurarse de que un número suficiente de muones penetre a y se dispersen por el objeto bajo inspección para generar una imagen de tomografía muónica con suficientes detalles para permitir la identificación del objeto y/o discriminación de los objetos circundantes. Esta operación se denomina escaneo con imágenes y la duración de dicho escaneo se dictamina por el tiempo de la exposición a muones necesario para una calidad particular de imágenes de tomografía muónica. Los tiempos de escaneo largos proporcionan imágenes más detalladas que las imágenes obtenidas con tiempos de escaneo más cortos. En sistemas prácticos de inspección, este aspecto del escáner de tomografía muónica impone un equilibrio entre el rendimiento de la inspección y la confiabilidad de la inspección. Una pequeña fracción de vehículos contendrá configuraciones sospechosas de protección, materiales que emiten radiación u otros materiales que aumentan las sospechas de presencia de una amenaza. Como ejemplo, si el 90% de los vehículos no contienen configuraciones sospechosas y pueden ser autorizados en 30 segundos y 10% de los vehículos contienen configuraciones sospechosas que requieren un minuto para autorizar, el rendimiento promedio es 33 segundos por escaneo. 10% de los escaneos continúan en 60 segundos, pero el rendimiento promedio se ve mínimamente afectado.

35 Una implementación de dicho escáner de tomografía muónica inspeccionaría vehículos uno a la vez en un punto de control de vehículos, siendo cada vehículo sometido al mismo tiempo de escaneo, lo suficientemente largo para proporcionar una imagen lo suficientemente detallada para discriminar afirmativamente y/o identificar materiales nucleares (y/o protección) con un alto nivel de confianza. Esto puede bajar de manera innecesaria el rendimiento de la inspección de vehículos ya que es poco probable que una gran mayoría de los vehículos transporte materiales nucleares sospechosos y por lo tanto no necesitan someterse al mismo nivel de escrutinio que unos pocos vehículos que puedan transportar protección sospechosa o materiales nucleares. Dicho sistema de inspección no es deseable, particularmente en puntos de control con alto tráfico diario.

45 Las técnicas y los sistemas descritos en este documento que no forman parte de la invención como se reivindica, proporcionan dos niveles de escaneo para mantener un flujo de tráfico deseado de objetos para su inspección. Todos los objetos en fila para su inspección se someten a un primer escaneo por un escáner muónico por un tiempo de escaneo corto predefinido para determinar si un objeto contiene una región sospechosa. Solo cuando se determina que un objeto tiene una o más regiones sospechosas basadas en el primer escaneo, se realiza entonces un escaneo adicional para realizar una determinación final. Por lo tanto, se proporciona un método para inspeccionar objetos basado en tomografía que usa muones producidos por rayos cósmicos para operar un escáner de tomografía muónica que incluye detectores de partícula cargadas de detección de posición para realizar un escaneo con imágenes de un objeto en fila de objetos bajo inspección por una duración de toma de imágenes para obtener una imagen de tomografía muónica del objeto entero. Este método procesa la imagen de tomografía muónica del objeto entero para obtener información sobre una o más regiones sospechosas dentro del objeto y genera una señal de autorización cuando el procesamiento de la imagen de tomografía muónica revela que no hay una región sospechosa dentro del objeto para dejar el escáner de tomografía muónica listo para recibir un próximo objeto para su inspección. Cuando el procesamiento de la imagen de tomografía muónica revela una o más regiones sospechosas dentro del objeto, el escáner de tomografía muónica se opera para escanear el objeto durante un

tiempo de escaneo adicional que es lo suficientemente largo para tomar una decisión afirmativa sobre si dicha o dichas regiones sospechosas dentro del objeto constituyen una amenaza.

En una implementación que no forma parte de la invención como se reivindica, el escáner de tomografía muónica inspeccionaría un vehículo a la vez con un tiempo de escaneo más corto que el tiempo de escaneo largo descrito anteriormente con un nivel alto de confianza. Este tiempo de escaneo más corto puede determinarse basado en circunstancias de la aplicación, por ejemplo, la probabilidad de que un vehículo podría ocultar una amenaza. Varios escenarios simples pueden no requerir largos tiempos de escaneo para alcanzar el nivel necesario de confianza para autorizarlo. Este uso de un tiempo de escaneo más corto puede aumentar el rendimiento de inspección del vehículo del punto de control de vehículos. La reducción en tiempos de escaneo resultará en imágenes de calidad más baja pero dichas imágenes de calidad más baja pueden diseñarse para ser suficientes para identificar objetos o configuraciones sospechosas a un nivel de confianza predeterminado. Si el nivel de confianza que indica que no hay ningún posible paquete de amenaza presente excede un requisito de confianza predefinido para su autorización, el vehículo es autorizado. Si no se ha recolectado suficiente información para proporcionar alta confianza de que no hay configuraciones sospechosas presentes, el escaneo continúa. Si se identifican configuraciones sospechosas, estas regiones se escanean con un tiempo de escaneo extendido, si se necesita, para proporcionar una imagen de calidad más alta que permite que se autorice al vehículo o se detecte una amenaza. Este escaneo extendido se realiza de manera de no afectar significativamente el rendimiento de la inspección del vehículo en un punto de control, haciendo esperar al vehículo durante un tiempo oportuno para el escaneo extendido si es necesario. Este equilibrio entre el rendimiento de la inspección y el nivel de confianza puede optimizarse basado en las circunstancias específicas de un punto de control de un vehículo.

En otra implementación, pueden usarse dos escáneres de tomografía muónica en el punto de control del vehículo. El primer escáner se opera como el escáner "primario" para escanear vehículos con tiempos de escaneo lo suficientemente cortos para mantener un nivel deseado de rendimiento de vehículos. El segundo escáner se opera como el escáner "secundario" para proporcionar escaneo adicional cuando se necesita. Por ejemplo, si el escaneo por el primer escáner indica que un vehículo puede ser sospechoso, el mismo se somete entonces a un escaneo extendido en la ubicación del escáner primario si el flujo de tráfico lo permite o en el escáner "secundario" si se requiere que el primer escáner escanee el siguiente vehículo para mantener el flujo de tráfico, por lo tanto no está disponible para el escaneo extendido. El uso de dos escáneres asegura que el nivel deseado del rendimiento de inspección del vehículo pueda mantenerse usando el primer escáner "primario" para realizar el escaneo primario mientras al mismo tiempo los vehículos sospechosos son escaneados por el segundo escáner para permitir la clasificación de amenaza/no amenaza con un alto nivel de confianza. Los dos escáneres necesitan ser idénticos ya que el escáner secundario puede necesitar escanear solo una porción del vehículo cuando el escáner primario ha identificado un posible problema. Esto permite que los módulos del detector del escáner secundario sean más pequeños, reduciendo así el tamaño del sistema de escáneres en su totalidad y resultando en ahorros de costo y espacio. Esta implementación de dos escáneres puede usarse en varias aplicaciones, incluyendo, por ejemplo, puntos de control con un alto nivel de tráfico vehicular.

Los escáneres de tomografía muónica 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 varias aplicaciones incluyendo a modo no taxativo inspeccionar paquetes, contenedores, vehículos, barcos o aeronaves en puntos de control de seguridad, pasos de frontera y otros lugares para objetos de amenaza nuclear que puedan variar de armas nucleares completamente ensambladas a pequeñas cantidades de materiales nucleares altamente protegidos.

Por ejemplo, un sistema de detección de partículas puede incluir un área de espera de objetos para colocar un objeto (tal como un vehículo, contenedor de cargamento o paquete) a inspeccionar, un primer conjunto de detectores de muones de detección de posición ubicados en un primer lado del área de espera de objetos para medir las posiciones y direcciones de los muones incidentales hacia el área de espera de objetos, un segundo conjunto de detectores de muones de detección de posición ubicado en un segundo lado del área de espera de objetos y una unidad de procesamiento de señales, que puede incluir, por ejemplo, un microprocesador, para recibir datos de las señales medidas de los muones entrantes del primer conjunto de detectores de muones de detección de posición y señales medidas de los muones salientes del segundo conjunto de detectores de muones de detección de posición. Como ejemplo, cada uno del primer y segundo conjunto de detectores de partículas puede implementarse para incluir tubos de deriva dispuestos para permitir al menos tres mediciones posicionales de partículas cargadas en una primera dirección y al menos tres mediciones posicionales de partículas cargadas en una segunda dirección diferente de la primera dirección. La unidad de procesamiento de señales se configura para analizar comportamientos de dispersión de los muones causados por materiales dentro del área de espera de objetos en base a las posiciones y direcciones entrantes y salientes medidas de los muones para obtener un perfil tomográfico o la distribución espacial de centros de dispersión dentro del área de espera de objetos. El perfil tomográfico obtenido o la distribución espacial de centros de dispersión puede usarse para revelar la presencia o ausencia de uno o más objetos en el área de espera de objetos tal como materiales con números atómicos altos incluyendo materiales o dispositivos nucleares. Cada detector de muones de detección de posición puede implementarse en varias configuraciones, incluyendo usar celdas de deriva tales como tubos de deriva rellenos con un gas que puede ionizarse mediante muones. Dicho sistema puede usarse para utilizar muones producidos por rayos cósmicos naturales para detectar uno o más objetos en el área de espera de objetos.

Como se explicará en mayor detalle a continuación, en realizaciones ilustrativas 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 detección simultánea de partículas de neutrones. Dichos detectores de partículas cargadas pueden emplearse en el rastreo y toma de imágenes usando partículas cargadas que no sean aquellas producidas por los rayos cósmicos incidentes en la atmósfera de la Tierra. En general, estos detectores de partículas cargadas son aplicables a cualquier partícula cargada de una fuente apropiada. Por ejemplo, los muones pueden producirse por rayos cósmicos o un haz de baja intensidad de muones de un acelerador.

En aplicaciones para el monitoreo de punto de acceso y otros usos de tipos de inspección, las realizaciones ilustrativas proporcionan un abordaje para permitir la detección de material nuclear robusto a un costo reducido y con efectividad aumentada. Más aun, el abordaje puede proporcionar un monitor de punto de acceso de radiación que es capaz de determinar si un vehículo o cargamento dado está libre de amenazas nucleares midiendo la ausencia de un posible paquete protegido y la ausencia de residuos de radiación.

Los escáneres de tomografía muónica de las realizaciones ilustrativas que se muestran en los dibujos adjuntos emplean el rastreo de partículas cargadas producidas por rayos cósmicos con tubos de deriva. Como se explicará en mayor detalle a continuación, los escáneres de tomografía muónica pueden utilizar tubos de deriva para permitir el rastreo de partículas cargadas de diferentes tipos, tales como muones que atraviesan un volumen así como la detección de rayos gamma proporcionando una mezcla de gas apropiada contenida por los tubos de deriva. De manera ventajosa, estos sistemas de monitoreo de punto de acceso pueden proporcionar de manera efectiva la función combinada de un aparato de radiografía de rayos cósmicos con un contador de radiación gamma pasivo o activo para proporcionar un detector sólido de amenazas nucleares. Esto elimina la necesidad de dos instrumentos separados para detectar muones y rayos gamma por separado. Al implementar el sistema, puede incluirse una fuente de rayos gamma o neutrones en el sistema para permitir una interrogación del vehículo activa más que solo pasiva y así proporcionar un aumento detectable en la tasa de recuento de rayos gamma.

En el sistema de rayos cósmicos pueden implementarse métodos tomográficos diseñados para construir una imagen o modelo de un objeto de múltiples proyecciones tomadas de diferentes direcciones para proporcionar una reconstrucción tomográfica discreta del volumen de interés basado en los datos proporcionados por los muones. En algunas implementaciones, las técnicas de simulación Monte Carlo pueden usarse para estudiar aplicaciones y acortar los tiempos de escaneo. También pueden usarse otros métodos de procesamiento estocástico para implementar las imágenes de tomografía muónica.

La función de radiografía de rayos cósmicos de los sistemas de detección de partículas de las realizaciones puede comprenderse más fácilmente con referencia a los ejemplos de los sistemas de detección adaptados para detectar partículas cargadas producidas por rayos cósmicos tales como aquellas que se muestran en las FIGS. 1A, 1B y 2.

La FIG. 1A 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 de detección de posición 7 dispuestos por encima de un volumen 5 para tomar imágenes para proporcionar la posición y ángulos (es decir, direcciones en el espacio tridimensional) de vías de muones entrantes 9. Los detectores de muones 7 están configurados para medir la posición y ángulos de vías de muones entrantes 9 con respecto a dos direcciones diferentes, por ejemplo, en dos coordinadas ortogonales por los ejes x e y. Los muones atraviesan el volumen 5 donde puede estar ubicado el objeto 2 y se dispersan en cierta medida dependiendo del material 2 que ocupe el volumen a través del cual pasan. Se configura otro conjunto de dos o más planos 4 de detectores de muones de detección de posición 8 para registrar posiciones y direcciones de muones salientes. Los tubos de deriva en los detectores 7 y 8 se disponen para permitir al menos tres mediciones posicionales de partículas cargadas en una primera dirección y al menos tres mediciones posicionales de partículas cargadas en una segunda dirección que es diferente a la primera dirección y puede ser ortogonal a la primera dirección. Los detectores laterales (no se muestran) pueden usarse para detectar más vías de muones orientadas horizontalmente. El ángulo de dispersión de cada muón se computa desde 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).

Una unidad de procesamiento de señales, por ejemplo, una computadora, se proporciona 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 se configura para analizar la dispersión de los muones en el volumen 5 en base a las posiciones entrantes y salientes medidas y direcciones de los muones para obtener un perfil tomográfico o la distribución espacial de la densidad de dispersión que refleja la resistencia de la dispersión o 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. 1A muestra que los detectores de tubos de deriva 7 y 8 están ubicados en los lados superior e inferior del volumen 5. En algunas implementaciones, los detectores del tubo de deriva adicionales pueden implementarse en lados del volumen 5 para formar una caja o estructura de cuatro lados en la cual puede ingresar un paquete, un vehículo o contenedor de cargamento para ser escaneado por el sistema.

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 procesamiento para el sistema 1 en la FIG. 1A y otros sistemas descritos en esta solicitud pueden incluir reconstruir 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 señales de los detectores 8 y determinar la distribución espacial de la densidad de dispersión del volumen 5. Estos y otros resultados de procesamiento pueden usarse para construir el perfil tomográfico y medir varias propiedades del volumen 5.

Por ejemplo, la reconstrucción de la trayectoria de una partícula cargada que atraviesa un detector que tiene un conjunto de celdas de deriva puede incluir (a) obtener señales de choque que representan identificadores de celdas de deriva que chocan con partículas cargadas y tiempos de choque correspondientes; (b) agrupar choques de celdas de deriva a tiempo identificados como siendo asociados con una vía de una partícula cargada particular que atraviesa a dicho detector; (c) estimar inicialmente un valor de tiempo cero para un momento de tiempo en el cual dicha partícula cargada particular choca con una celda de deriva; (d) determinar radios de deriva basados en estimados de los valores de tiempo cero, datos de conversión del tiempo de deriva y el tiempo del choque; (e) ajustar vías lineales para radios de deriva que corresponden a un valor de tiempo cero particular y (f) buscar y seleccionar un valor de tiempo cero asociado con el mejor ajuste de vía realizado para una partícula cargada particular y error informático en tiempo cero y parámetro de rastreo. Dicha reconstrucción de la vía basada en el ajuste de cero tiempo proporciona una trayectoria lineal reconstruida de la partícula cargada que atraviesa el detector de partículas cargadas sin tener que usar detectores rápidos (tales como tubos fotomultiplicadores con paletas de centelleo) o algún otro detector rápido que detecta el pasaje del muón a través del aparato a los nanosegundos más próximos para proporcionar el tiempo cero.

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 de detección de posición para dispersar una partícula cargada que pase por allí; (b) medir la dispersión de una partícula cargada en los detectores de detección de posición, en donde medir la dispersión comprende obtener al menos tres mediciones posicionales de la partícula cargada de dispersión; (c) determinar al menos una trayectoria de la partícula cargada de las mediciones posicionales y (d) determinar al menos una medición de impulso de la partícula cargada de dicha o dichas trayectorias. Esta técnica puede usarse para determinar el impulso de la partícula cargada basada en la trayectoria de la partícula cargada que se determina a partir de la dispersión de la partícula cargada en los detectores de detección de posición en sí sin el uso de placas metálicas adicionales en el detector.

También por ejemplo, la distribución espacial de la densidad de dispersión del volumen puede determinarse a partir de datos tomográficos de partículas cargadas al: (a) obtener datos de tomografía de partículas cargadas predeterminada que corresponden a los ángulos de dispersión e impulso estimado de partículas cargadas que atraviesan el volumen de un objeto; (b) proporcionar la distribución de probabilidad de la dispersión de partículas cargadas para su uso en un algoritmo esperanza-maximización (ML/EM), la distribución de probabilidad basada en un modelo de dispersión múltiple estadístico; (c) determinar el estimado de básicamente máxima probabilidad de densidad de volumen del objeto usando el algoritmo esperanza-maximización (ML/EM) y (d) expulsar la densidad de dispersión de volumen del objeto reconstruido. La densidad de dispersión de volumen del objeto reconstruido puede usarse para identificar la presencia y/o tipo de objeto que ocupa el volumen de interés del perfil de densidad de volumen reconstruido. Varias aplicaciones incluyen tomografía muónica producida por rayos cósmicos para varias aplicaciones de inspección de seguridad nacional en las cuales los vehículos o cargamento pueden escanearse por un localizador de muones.

La parte de procesamiento tomográfico de la unidad de procesamiento de señales puede implementarse en una computadora en el mismo lugar que los detectores 7 y 8. Alternativamente, la parte del procesamiento tomográfico de la unidad de procesamiento de señales puede implementarse en una computadora remota que esté conectada a una red informática tal como una red privada o una red pública tal como la Internet.

Por lo tanto, puede usarse múltiple dispersión de muones producidos por rayos cósmicos para detectar selectivamente material de número Z alto en el fondo de un cargamento normal. De manera ventajosa, esta técnica es pasiva, no proporciona ninguna dosis de radiación por encima de lo registrado y es selectiva de materiales densos de número Z alto.

La FIG. 1B ilustra un lado 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 ubicados por encima de la muestra 109 y dos planos 104 de detectores de muones 108 ubicados por 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 espacio de 27 cm.

La FIG. 2 ilustra una vista en perspectiva detallada de otro detector de partículas cargadas 200 en el cual los detectores de detección de posición 203 están dispuestos por encima del plano de soporte de muestra 211 y los detectores de detección de posición 204 están dispuestos por debajo del plano de soporte de muestra 211. Cada conjunto de detectores de detección de 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 por medio diámetro de tubo unos de otros.

Los módulos del tubo de deriva 203 y 204 son operables para detectar muones producidos por rayos cósmicos y rayos gamma. En el sistema de la FIG. 2 los módulos del tubo de deriva están compuestos por 12 tubos de deriva de aluminio de 12 pies de largo que están configurados para medir la posición y ángulo de las vías de muones entrantes y salientes en las direcciones de coordenadas E Y. El aluminio en los detectores proporciona una cantidad de masa considerable en la cual se absorben o dispersan los rayos gamma y los electrones energéticos. Los electrones energéticos producidos en estos procesos se detectan localmente en los tubos de deriva de la misma manera en que se detectan los rayos cósmicos más energéticos.

Los tubos pueden disponerse de diferentes maneras. Por ejemplo, las capas no precisan estar 90 grados una de otra, pero pueden ser ángulos no nulos más pequeños. También, a modo de ejemplo, la capa superior podría estar a 0 grados, la capa media a 45 grados de la primera y una tercera capa a 90 grados de la primera. Esto permitiría que ocurra la resolución de múltiples vías en la misma instancia de tiempo.

También, pueden adoptarse otros arreglos de detectores de detección de posición capaces de dispersar la partícula cargada que pasa por allí y proporcionar un total de al menos tres mediciones posicionales individuales en lugar de la disposición de los detectores de la FIG. 2. Se requieren al menos 3 mediciones de posición para permitir un ajuste de fila con un parámetro libre a partir del cual uno puede rastrear la partícula.

En una implementación ejemplar, los sistemas electrónicos de adquisición de datos 212 se acoplan operativamente a los tubos de deriva. Los tubos de deriva del sistema de detector 200 de la FIG. 2 están conectados a los amplificadores electrónicos respectivos (no se muestran) que aumentan el voltaje de la señal depositada (asociada con un muón producido por rayos cósmicos que atraviese un tubo de deriva). Para cada canal de deriva, la señal amplificada se enciende en una señal digital con una pieza de sistema electrónico denominada un discriminador (encendida si hay un choque, apagada si no hay choque) que conserva el tiempo preciso del choque. Esta combinación de amplificador y discriminador los sistema electrónicos para el usuario. El tiempo y número de canal que la señal digital a la cual está registrada al nanosegundo más próximo por los convertidores de tiempo a digital (TDC). Cada tubo de deriva tiene su propio sistema electrónico para el usuario y TDC.

Los sistemas electrónicos para el usuario pueden ser hechos a medida con el propósito de procesar señales de tubos de deriva. El circuito de sistema electrónico análogo a digital identifica pulsos de corriente en los cables de los tubos de deriva. Este circuito convierte el pulso a niveles digitales que corresponden al cruce de umbrales de corriente de la corriente en el cable. Estos niveles digitales tienen asignados intervalos de tiempo en el TDC y son entregados a un CPU para un procesamiento adicional. Los datos son procesados para identificar los eventos de rayos cósmicos. Los eventos de rastreo de muones candidatos son procesados para reconstruir una trayectoria medida para el muón a medida que atraviesa los detectores. Los datos de eventos, datos de rastreo y datos diagnósticos pertinentes también se almacenan en el disco duro. El procesamiento de las 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. 2 u otra unidad de procesamiento de señales unida a la misma, puede ser similar a aquella explicada anteriormente para el sistema de la FIG. 1A. Por ejemplo, las mediciones de procesamiento pueden reconstruir la trayectoria de un muón a través del volumen, midiendo el impulso de un muón entrante basado en señales de los detectores, midiendo el impulso de un muón saliente basado en señales de los detectores y determinar la distribución espacial de la densidad de dispersión del volumen.

De manera ventajosa, el sistema 200 en la FIG. 2 puede detectar de manera selectiva una protección de alta densidad de material radioactivo que ocupe el volumen de múltiple dispersión de los muones producidos por rayos cósmicos mientras también cuenta rayos gamma emitidos a partir del material radioactivo. Además de detectar materiales de alta densidad, tales como plomo, oro, tungsteno, uranio y plutonio, el sistema puede emplearse para detectar materiales de densidad media, tales como acero, hierro y cobre y también materiales de baja densidad, tales como agua, plástico, concreto y aluminio, aunque con una precisión un poco más baja que para materiales de alta densidad. Esta capacidad puede permitir que el escáner detecte, discrimine y/o identifique objetos que no sean materiales nucleares y protecciones.

En función de los ejemplos específicos anteriores en escáneres de tomografía muónica, las FIGS. 3, 4, 5 y 6 ilustran ejemplos de detalles en sistemas de inspección y métodos para usar muones producidos por rayos cósmicos para inspeccionar objetos basados en un escáner primario y un escáner secundario para proporcionar una inspección eficiente y precisa de objetos mientras mantiene un rendimiento deseado de la inspección. En varias implementaciones, el escáner secundario se usa para realizar un escaneo enfocado en una o más áreas que se identifican como sospechosas por el escáner primario y de esta manera pueden configurarse como un escáner más pequeño como el escáner primario. También, para puntos de control con tráfico vehicular bajo a medio, un único escáner puede ser suficiente y el objeto puede devolverse al único escáner para un escaneo adicional en lugar de ser enviado al escáner secundario. Sin embargo la descripción que incluye solo un único escáner no forma parte de la invención como se reivindica, pero describe ejemplos que pueden ser útiles para comprender la invención reivindicada.

La FIG. 3 muestra un ejemplo de un sistema de inspección de vehículos en un punto de control de alto tráfico vehicular basado en un escáner de tomografía muónica primario para un escaneo inicial y para mantener un flujo de vehículos bajo inspección y un escáner de tomografía muónica secundario que proporciona un escaneo detallado fuera de la fila sobre una región sospechosa identificada por el escáner primario. En la FIG. 3, el sistema incluye dos escáneres de tomografía muónica 310 y 320 que están ubicados en dos lugares separados. El escáner primario 310 está ubicado en una ruta de tráfico de inspección principal 312 por la cual los vehículos (301, 302, 303, etc.) bajo inspección están alineados en secuencia para moverse en una dirección común desde el lado izquierdo del escáner primario 310 al lado derecho. En una realización, el escáner primario 310 puede configurarse para incluir detectores de partículas cargadas de detección de posición como se muestra en las FIGS. 1A y 1B para realizar un escaneo con imágenes de un vehículo bajo inspección por una primera duración de toma de imágenes para obtener una primera imagen de tomografía muónica del vehículo. Como se ilustra, el escáner primario 310 se configura para que tenga un área de toma de imágenes lo suficientemente grande cubierta por los detectores de partículas cargadas de detección de posición para obtener una imagen completa del vehículo entero. Para puntos de control de tráfico vehicular de bajo a moderado, la segunda inspección, si es necesaria, se realiza por el primer y único escáner 310 en el punto de control a un tiempo oportuno para que el tráfico en el punto de control no se vea afectado. Debido a que el volumen de tráfico en este caso es más bajo, se anticipa que el segundo escaneo puede realizarse sin que el vehículo tenga que esperar durante un tiempo excesivamente largo. De ser posible, se realizará un escaneo extendido en el escáner primario. La transferencia al escáner secundario se determina a partir de los requisitos del flujo de tráfico.

El segundo escáner 320 en la FIG. 3 es un escáner secundario que incluye detectores de partículas cargadas de detección de posición para realizar un escaneo con imágenes y está ubicado fuera de la ruta del tráfico principal 312 para que su operación no interfiera con el flujo de tráfico en la ruta de tráfico principal 312. Tal como se muestra en la FIG. 3, el segundo escáner 320 puede ubicarse en una segunda ruta de tráfico 322 para vehículos seleccionados que se determina que necesitan un escaneo adicional basado en la inspección inicial en la ruta de tráfico principal 312 por el escáner primario 310. Particularmente, el segundo escáner 320 puede configurarse de manera diferente del escáner primario 310 para proporcionar diferentes capacidades de toma de imágenes debido a que cumple una función de inspección muy diferente de la del escáner primario 310. En un aspecto, el segundo escáner 320 se configura para realizar su escaneo por una segunda duración de toma de imágenes más larga que la primera duración de toma de imágenes realizada por el escáner primario 310 para proporcionar datos de imágenes más detallados del vehículo. Como tal, el segundo escáner 320 opera más lento que el escáner primario 310. En otro aspecto, el segundo escáner 320 es más pequeño en tamaño para obtener una segunda imagen de tomografía muónica de solo cada región sospechosa del vehículo sin tomar imágenes del vehículo entero. Por lo tanto, los detectores de partículas cargadas de detección de posición en el segundo escáner 320 son menos en número y se usan para obtener una imagen de solo una porción del vehículo. Esto reduce el tamaño y costo del segundo escáner 320. En los puntos de control sin un segundo escáner, el primer escáner 310 se usará para realizar la confirmación del segundo escáner en un vehículo si es necesario.

Durante el uso del sistema en la FIG. 3, el escáner primario 310 realiza una inspección en todos los vehículos para mantener un rendimiento lo suficientemente alto en la ruta de tráfico principal 312 para la operación de inspección general. El segundo escáner más pequeño 320 permite el escaneo extendido para casos donde dicho escaneo interfiere con el flujo de tráfico por la estación de inspección primaria. En los puntos de control sin un segundo escáner, el primer escáner se usará para realizar la confirmación del escaneo extendido lento y detallado, si es necesario.

La FIG. 3 muestra adicionalmente un mecanismo de control de inspección representado por la estación de control 330. La estación de control 330 procesa la primera imagen de tomografía muónica del vehículo del escáner primario 310 y genera una señal de autorización cuando el procesamiento de la primera imagen de tomografía muónica revela una región no sospechosa dentro del vehículo. Si un vehículo es autorizado por el escáner primario 310, el escáner primario 310 se configura para que esté pronto para recibir un próximo vehículo para su inspección. Sin embargo, si el escaneo por el escáner primario 310 indica una o más regiones sospechosas en un vehículo, la estación de control 330 inicia el modo de escaneo extendido para un escaneo adicional del vehículo indicado de ese modo. Durante el escaneo extendido, se evalúa el tráfico que espera ser escaneado. Si existe dicho tráfico en espera, la estación de control 330 emite una instrucción para retirar el vehículo del escáner primario 310 de la ruta de tráfico principal 312 para colocar el vehículo sospechoso en el segundo escáner 320 para una inspección adicional mientras se encuentra en uso el escáner primario 310 para continuar inspeccionando los vehículos posteriores que están en fila en la ruta de tráfico principal 312 esperando su inspección. El tiempo de escaneo más largo por el segundo escáner 320 permite imágenes mejores y más detalladas de cada región sospechosa a ser obtenidas del vehículo sospechoso 304. Debido a que el segundo escáner 320 es operado por separado, la operación lenta del segundo escáner 320 no entorpece el tráfico en la ruta de tráfico principal 310 bajo inspección por el escáner primario 310. Después de la inspección por el segundo escáner 320, se determina un estado final del vehículo sospechoso 305: el vehículo sospechoso 305 es autorizado debido a que el escaneo extendido revela que no hay una amenaza en la región sospechosa identificada por el escáner primario 310 o el segundo escáner 320 indica que el vehículo sospechoso 305 contiene materiales o dispositivos sospechosos y será sometido a procesamiento adicional. En los puntos de control de único escáner la estación de control 330 ordenará, en cambio,

que el vehículo en cuestión vuelva a ser escaneado con el único escáner disponible en un tiempo oportuno cuando haya mínimo impacto al tráfico en el punto de control.

La FIG. 4 muestra un ejemplo de la operación de los escáneres primario y secundario en la FIG. 3. El escáner primario 310 incluye detectores principales 411 colocados por encima del vehículo 302 bajo inspección y detectores inferiores 412 colocados en el suelo. El vehículo 302 es conducido sobre los detectores inferiores 412 durante la operación de escaneo. El escáner secundario 320 incluye de manera similar detectores superiores 421 colocados por encima del vehículo 304 bajo inspección y detectores inferiores 422 colocados en el suelo. Los detectores superior e inferior 421 y 422 son mucho más pequeños que los detectores superior e inferior 411 y 412 del escáner primario 310 debido a que el escáner secundario 320 se usa para escudriñar una región sospechosa 430 dentro del vehículo sospechoso 304 que es identificada por el escáner primario 310. En los puntos de control de único escáner el vehículo 302 se moverá, en cambio, hacia atrás al escáner 310 para el segundo escaneo.

La FIG. 5 muestra un ejemplo de detalles de operación de inspección del sistema en la FIG. 3. En este ejemplo, un cargamento o vehículo puede someterse a escaneo adicional por el escáner primario 310 o el segundo escáner 320 cuando el escaneo inicial por el escáner primario 310 no puede autorizar el cargamento o no dejar pasar el cargamento. La estación de control 330 puede proporcionar una interfaz del usuario para generar un indicador en verde de "autorizado" del cargamento cuando el escaneo primario no encuentra una región sospechosa, un indicador en rojo de "alarma" de cargamento cuando el escaneo primario identifica una región sospechosa o un indicador de "no autorizado" en amarillo de cargamento cuando no puede generarse ninguno de los dos indicadores anteriores por alguna razón. Cuando se genera un indicador de "no autorizado" de un cargamento, el vehículo en cuestión puede retenerse en el escáner primario para un procesamiento adicional o puede enviarse al segundo escáner para un escaneo adicional. Cuando se genera un indicador "alarma" de cargamento, el vehículo en cuestión es dirigido al segundo escáner para escaneo e inspección adicionales.

La FIG. 6 muestra un ejemplo del flujo operacional basado en el sistema en la FIG. 3 o sistemas similares. Este flujo operacional incluye operar un primer escáner de tomografía muónica (el escáner primario 310) que incluye detectores de partícula cargadas de detección de posición para realizar escaneo con imágenes de un objeto bajo inspección por una primera duración de toma de imágenes para obtener una primera imagen de tomografía muónica del objeto entero; procesar la primera imagen de tomografía muónica del objeto entero para obtener información sobre una o más regiones sospechosas dentro del objeto; generar una señal de autorización cuando el procesamiento de la primera imagen de tomografía muónica revela que no hay región sospechosa dentro del objeto para dejar el escáner de tomografía muónica listo para recibir el próximo objeto para inspección; cuando el procesamiento de la primera imagen de tomografía muónica revela una o más regiones sospechosas dentro del objeto, retirar el objeto del primer escáner de tomografía muónica para colocar el objeto en un segundo escáner de tomografía muónica separado (escáner secundario 320), si está disponible, que incluye detectores de partículas cargadas de detección de posición para realizar un escaneo con imágenes del objeto por una segunda duración de toma de imágenes más larga que la primera duración de toma de imágenes para obtener una segunda imagen de tomografía muónica de solo cada región sospechosa del objeto sin tomar imágenes del objeto entero. Mientras se opera el segundo escáner de tomografía muónica para inspeccionar adicionalmente el objeto con dicha o dichas regiones sospechosas, se opera el primer escáner de tomografía muónica para recibir un próximo objeto para inspeccionar. En puntos de control de un único escáner sin el escáner secundario 320, el objeto se coloca de vuelta en el escáner primario 310 si se desea una segunda inspección.

El desempeño anterior de escaneo adicional de un objeto que puede contener una o más regiones sospechosas al usar un segundo escáner puede implementarse usando el mismo escáner. En ausencia del segundo escáner, cualquier escaneo adicional de un objeto puede causar un retraso en el escaneo de otros objetos en fila para su inspección. Para mantener el flujo de tráfico continuo de los objetos en fila para su inspección por el escáner, puede aplicarse una técnica de control diferente para minimizar el impacto al rendimiento del escáner mientras se permite aún el desempeño del escaneo adicional.

La FIG. 7 muestra un ejemplo de un sistema de único escáner que no forma parte de la invención reivindicada, para implementar el escaneo adicional de solo objetos que fallan al escaneo inicial. En este sistema, se usa un único escáner 310 para todas las operaciones de escaneo sin un segundo escáner. El escaneo del objeto para el tiempo de escaneo adicional se lleva a cabo más adelante mientras se coloca uno o más objetos posteriores en fila en el escáner de tomografía muónica 310 para someterlos al escaneo con imágenes sin retraso. Todos los objetos se someten primero al escaneo inicial por el único escáner 310. Si el escaneo inicial determina que un objeto no posee ninguna región sospechosa, no se realiza ningún escaneo adicional en ese objeto y el próximo objeto en fila se mueve hacia el escáner 310 para el escaneo inicial. Si se determina un objeto para incluir una o más regiones sospechosas, este objeto puede moverse fuera de la fila de los objetos a una posición de espera 710 mientras continúa el escaneo con imágenes de dicho o dichos objetos posteriores en fila. Después de un periodo de espera para una inspección adicional cuando el flujo de tráfico en fila lo permita, el objeto en la posición de espera se mueve hacia atrás al escáner de tomografía muónica 310 para completar el escaneo del objeto para el tiempo de escaneo adicional para tomar una decisión afirmativa sobre si dicha o dichas regiones sospechosas dentro del objeto constituyen una amenaza. Dependiendo de la condición del flujo de tráfico en la fila para la inspección, el escaneo adicional puede realizarse sobre un objeto sin retirar primero el objeto de la fila.

Las FIGS. 8A y 8B muestran un ejemplo que no forma parte de la invención como se reivindica, de una secuencia de escaneos al realizar el escaneo inicial/primario y un escaneo adicional/secundario al operar un único escáner (tal como el sistema en la FIG. 7). En 801 el escáner de tomografía muónica que incluye detectores de partículas cargadas de detección de posición se opera para realizar un escaneo con imágenes de un objeto en fila de objetos bajo inspección por una primera duración de toma de imágenes para obtener una primera imagen de tomografía muónica del objeto entero. En 802, la imagen de tomografía muónica del objeto entero se procesa para obtener información sobre una o más áreas sospechosas dentro del objeto. Si no se detectan regiones sospechosas, se genera una señal de autorización (803 y 804). Si se detectan una o más regiones sospechosas, la condición de flujo de tráfico en el escáner se determina para ver si se puede realizar un escaneo adicional (803 y 805). Si la condición de tráfico no permite el escaneo adicional, el objeto se retira de la fila y se coloca en un periodo de espera (ver FIG. 7) mientras otros objetos en la fila se continúan escaneando sin retraso y se toma una decisión afirmativa en el objeto (806 y 807). Si la condición de tráfico permite el escaneo adicional, el objeto se mantiene en el escáner para el escaneo adicional mientras se mantienen filas de objetos posteriores en la fila esperando (808). Luego en 810, si hay una o más regiones sospechosas en el objeto, se sospecha una amenaza y se genera una alerta para que actúe la seguridad (811), por ejemplo, retirando el objeto fuera de la fila para investigar adicionalmente el objeto sospechoso mientras se permite que el escáner continúe escaneando el próximo objeto en la fila (812).

En referencia nuevamente a la FIG. 3, el concepto de sistema para la inspección del vehículo puede implementarse a otros sistemas de inspección tales como un sistema de inspección automatizado similar a las cintas de equipaje del aeropuerto donde los objetos bajo inspección se colocan en una cinta de transporte para mover los objetos a través del escáner primario 310. Cuando el escáner primario determina que un objeto es sospechoso, el objeto se retira de la cinta de transporte al escáner secundario 320 para inspección y procesamiento adicionales.

Aunque este documento contiene muchos detalles, estos no deberían considerarse como limitaciones al alcance de una invención o lo que se puede reivindicar, sino como descripciones de características específicas a realizaciones particulares de la invención. Ciertas características que se describen en este documento en el contexto de realizaciones separadas también pueden implementarse en combinación en una única realización. Por el contrario, varias características que se describen en el contexto de una única realización pueden implementarse también en múltiples realizaciones de forma separada o en cualquier subcombinación adecuada. Más aún, aunque se describieron anteriormente características como que actúan en ciertas combinaciones e incluso inicialmente reivindicadas como tales, una o más características de una combinación reivindicada puede en algunos casos quitarse de la combinación y la combinación reivindicada puede dirigirse a una subcombinación o una variación de una subcombinación.

Solo se divulgan unas pocas implementaciones. Pueden realizarse variaciones y mejoras de las implementaciones descritas y otras implementaciones basadas en lo que se describe e ilustra en este documento.

REIVINDICACIONES

1. Un método para inspeccionar objetos basados en tomografía muónica usando muones producidos por rayos cósmicos que comprende:

5 operar un primer escáner de tomografía muónica (310) que incluye detectores de partículas cargadas de detección de posición (7, 8) para realizar un escaneo con imágenes de un objeto (301, 302, 303) bajo inspección por una primera duración de toma de imágenes para obtener una primera imagen de tomografía muónica del objeto entero;

procesar la primera imagen de tomografía muónica del objeto entero para obtener información dentro del objeto;

estando dicho método caracterizado porque comprende además

10 generar una señal de autorización cuando el procesamiento de la primera imagen de tomografía muónica revela que no hay una región sospechosa dentro del objeto para dejar el escáner de tomografía muónica (310) listo para recibir el próximo objeto para inspección;

15 cuando el procesamiento de la primera imagen de tomografía muónica revela una o más regiones sospechosas dentro del objeto, retirar el objeto del primer escáner de tomografía muónica para colocar el objeto en un segundo escáner de tomografía muónica separado (320) que incluye detectores de partículas cargadas de detección de posición para realizar un escaneo con imágenes del objeto por una segunda duración de toma de imágenes más larga que la primera duración de toma de imágenes para obtener una segunda imagen de tomografía muónica de solo cada región sospechosa del objeto sin tomar imágenes del objeto entero, en donde el segundo escáner de tomografía muónica (320) se configura para que tenga un área de toma de imágenes más pequeña cubierta por los detectores de partículas cargadas de detección de posición del segundo escáner de tomografía muónica (320) para
20 obtener una imagen de solo una porción del objeto; y

mientras se opera el segundo escáner de tomografía muónica (320) para inspeccionar adicionalmente el objeto con dicha o dichas regiones sospechosas, se opera el primer escáner de tomografía muónica (310) para recibir un próximo objeto para inspeccionar.

2. El método como en la reivindicación 1 que comprende:

25 incluir el primer y segundo escáneres de tomografía muónica (310, 320) como parte de un sistema de inspección de vehículos o cargamentos en donde el primer escáner de tomografía muónica se coloca en una ruta de tráfico principal (312) en la cual los vehículos o cargamentos (301, 302, 303) a inspeccionar se alinean para atravesar el primer escáner de tomografía muónica (320) uno a la vez y el segundo escáner de tomografía muónica (320) se coloca fuera de la ruta de tráfico principal (312); y

30 dirigir un vehículo o cargamento en la ruta de tráfico principal (312), que se ha determinado para incluir una o más regiones sospechosas por el primer escáner de tomografía muónica, para dejar la ruta de tráfico principal (312) e ingresar al segundo escáner de tomografía muónica (320) para inspección adicional mientras continúa operando el primer escáner de tomografía muónica (310) para inspeccionar vehículos o cargamentos posteriores en la ruta de tráfico principal.

35 3. El método como en la reivindicación 1 que comprende además:

configurar el primero y segundo escáneres de tomografía muónica (310, 320) para que tengan la capacidad de detectar una emisión de radiación de un objeto que es diferente de muones.

4. El método como en la reivindicación 3 que comprende además:

40 configurar el primer escáner de tomografía muónica (310) para que tenga la capacidad de detectar rayos gamma además de la detección de muones.

5. El método como en la reivindicación 4 que comprende además:

configurar el segundo escáner de tomografía muónica (320) para que tenga la capacidad de detectar rayos gamma además de la detección de muones.

45 6. Un sistema para inspeccionar objetos basados en tomografía muónica usando muones producidos por rayos cósmicos que comprende:

una ruta de tráfico de inspección principal (312) por la cual los vehículos (301, 302, 303) bajo inspección están alineados en secuencia para moverse en una dirección común;

50 un primer escáner de tomografía muónica (310) ubicado en la ruta de tráfico de inspección principal (312) para inspeccionar los objetos (301, 302, 303) en secuencia, el primer escáner de tomografía muónica (310) configurado para incluir detectores de partículas cargadas de detección de posición (7, 8) para realizar un escaneo como imágenes de un objeto bajo inspección por una primera duración de toma de imágenes para obtener una primera

imagen de tomografía muónica del objeto; y el primer escáner de tomografía muónica (310) configurado además para que tenga un área de toma de imágenes lo suficientemente grande cubierta por detectores de partículas cargadas de detección de posición (7, 8) para obtener una imagen completa del objeto entero; caracterizado porque comprende además

5 un segundo escáner de tomografía muónica separado (320) que incluye detectores de partículas cargadas de detección de posición (7, 8) para realizar un escaneo con imágenes del objeto para una segunda duración de toma de imágenes más larga que la primera duración de toma de imágenes para obtener una segunda imagen de tomografía muónica de solo cada región sospechosa del objeto sin tomar imágenes del objeto entero, en donde el
10 segundo escáner de tomografía muónica (320) se configura para que tenga un área de toma de imágenes más pequeña cubierta por los detectores de partículas cargadas de detección de posición (7, 8) para obtener una imagen de solo una porción del objeto y el segundo escáner de tomografía muónica (320) está ubicado en un segundo lugar fuera de la ruta de tráfico de inspección principal (312) sin movimiento que interfiera de los objetos en la ruta de tráfico de inspección principal (312); y

15 un mecanismo de control de inspección configurado para procesar la primera imagen de tomografía muónica del objeto, para generar una señal de autorización cuando el procesamiento de la primera imagen de tomografía muónica revela que no hay una región sospechosa dentro del objeto para dejar el primer escáner de tomografía muónica (310) listo para recibir un próximo objeto para su inspección y para emitir una instrucción para retirar el objeto del primer escáner de tomografía muónica (310) para colocar el objeto en el segundo escáner de tomografía muónica (320) para inspección adicional si la primera imagen de tomografía muónica revela una o más regiones
20 sospechosas dentro del objeto (301, 302, 303), mientras opera el primer escáner de tomografía muónica (310) para recibir un próximo objeto para inspeccionar.

7. El sistema como en la reivindicación 6, en donde:

el primero y segundo escáneres de tomografía muónica (310) están configurados para que tengan la capacidad de detectar una emisión de radiación de un objeto que es diferente de muones.

25 8. El sistema como en la reivindicación 7, en donde:

el primer escáner de tomografía muónica (310) se configura para que tenga la capacidad de detectar rayos gamma además de la detección de muones.

9. El sistema como en la reivindicación 8, en donde:

30 el segundo escáner de tomografía muónica (320) se configura para que tenga la capacidad de detectar rayos gamma además de la detección de muones.

10. El sistema como en la reivindicación 7, en donde:

el segundo escáner de tomografía muónica (320) se configura para que tenga la capacidad de detectar la emisión de radiación como el primer escáner de tomografía muónica.

11. El sistema como en la reivindicación 6, en donde:

35 cada uno del primero y segundo escáneres de tomografía muónica (310, 320) incluye:

un primer conjunto de detectores de partículas cargadas de detección de posición (7) ubicado en un primer lado de un área de retención de objetos para medir las posiciones y direcciones de partículas cargadas incidentes hacia el área de retención de objetos;

40 un segundo conjunto de detectores de partículas cargadas de detección de posición (8) ubicado en un segundo lado del área de retención de objetos opuesta al primer lado para medir las posiciones y direcciones de partículas cargadas salientes que salen del área de retención de objetos; y

45 una unidad de procesamiento de señales para recibir datos de señales medidas de las partículas cargadas entrantes del primer conjunto de detectores de partículas cargadas de detección de posición (7) y señales medidas de las partículas cargadas salientes del segundo conjunto de detectores de partículas cargadas de detección de posición (8), en donde la unidad de procesamiento de señales se configura para analizar la dispersión de las partículas cargadas en los materiales dentro del área de retención de objetos basado en las posiciones y direcciones entrantes y salientes medidas de partículas cargadas para obtener un perfil tomográfico o la distribución espacial de los centros de dispersión dentro del área de retención de objetos.

12. El sistema como en la reivindicación 6, en donde:

50 el mecanismo de control de inspección se configura para obtener información sobre un flujo de tráfico de objetos a inspeccionar en la ruta de tráfico de inspección principal (312) y, en base a la información obtenida en el flujo de tráfico, para determinar si retener el objeto en el primer escáner de tomografía muónica (310) para realizar un

escaneo adicional del objeto en el primer escáner de tomografía muónica (310) si la imagen de la tomografía muónica revela una o más regiones sospechosas dentro del objeto.

13. El sistema como en la reivindicación 12, en donde:

5 cuando la información obtenida sobre el flujo de tráfico indica un tráfico bajo, el mecanismo de control de inspección se configura para retener el objeto en el primer escáner de tomografía muónica (310) para realizar un escaneo adicional del objeto en el primer escáner de tomografía muónica si la imagen de tomografía muónica revela una o más regiones sospechosas dentro del objeto; y

10 cuando la información obtenida sobre el flujo de tráfico indica tráfico alto, el mecanismo de control de inspección se configura para emitir la instrucción para retirar el objeto del primer escáner de tomografía muónica (310) para colocar el objeto en el segundo escáner de tomografía muónica (320) para inspección adicional si la primera imagen de tomografía muónica revela una o más regiones sospechosas dentro del objeto, mientras opera el primer escáner de tomografía muónica (310) para recibir el próximo objeto a inspeccionar.

14. El sistema como en las reivindicaciones 6 a 13, en donde

cada uno de los primero y segundo escáneres de tomografía muónica (310, 320) está configurado para:

15 reconstruir una trayectoria de un muón a través del objeto basado en señales de los detectores de partículas cargadas de detección de posición (7, 8);

medir un impulso entrante y un impulso saliente de un muón basado en señales de los detectores de partículas cargadas de detección de posición (7, 8);

determinar una distribución espacial de una densidad de dispersión dentro del objeto y

20 usar información de la trayectoria, impulso y distribución espacial de la densidad de dispersión en el objeto para construir un perfil tomográfico dentro del objeto.

15. El sistema como en la reivindicación 6, en donde:

los detectores de partículas cargadas de detección de posición (7, 8) en cada uno de los primeros y segundos escáneres de tomografía muónica (310, 320) incluyen:

25 primeros detectores de partículas de detección de posición (7) en un lado del objeto para recibir y medir los muones entrantes hacia el objeto; y

segundos detectores de partículas cargadas de detección de posición (8) en un lado opuesto del objeto para recibir y medir los muones salientes que atraviesan el objeto,

30 en donde cada uno de los primero y segundos escáneres de tomografía muónica (310, 320) se configura para usar mediciones de muones por los primeros detectores de partículas cargadas de detección de posición y los segundos detectores de partículas cargadas de detección de posición para obtener una imagen de tomografía muónica del objeto.

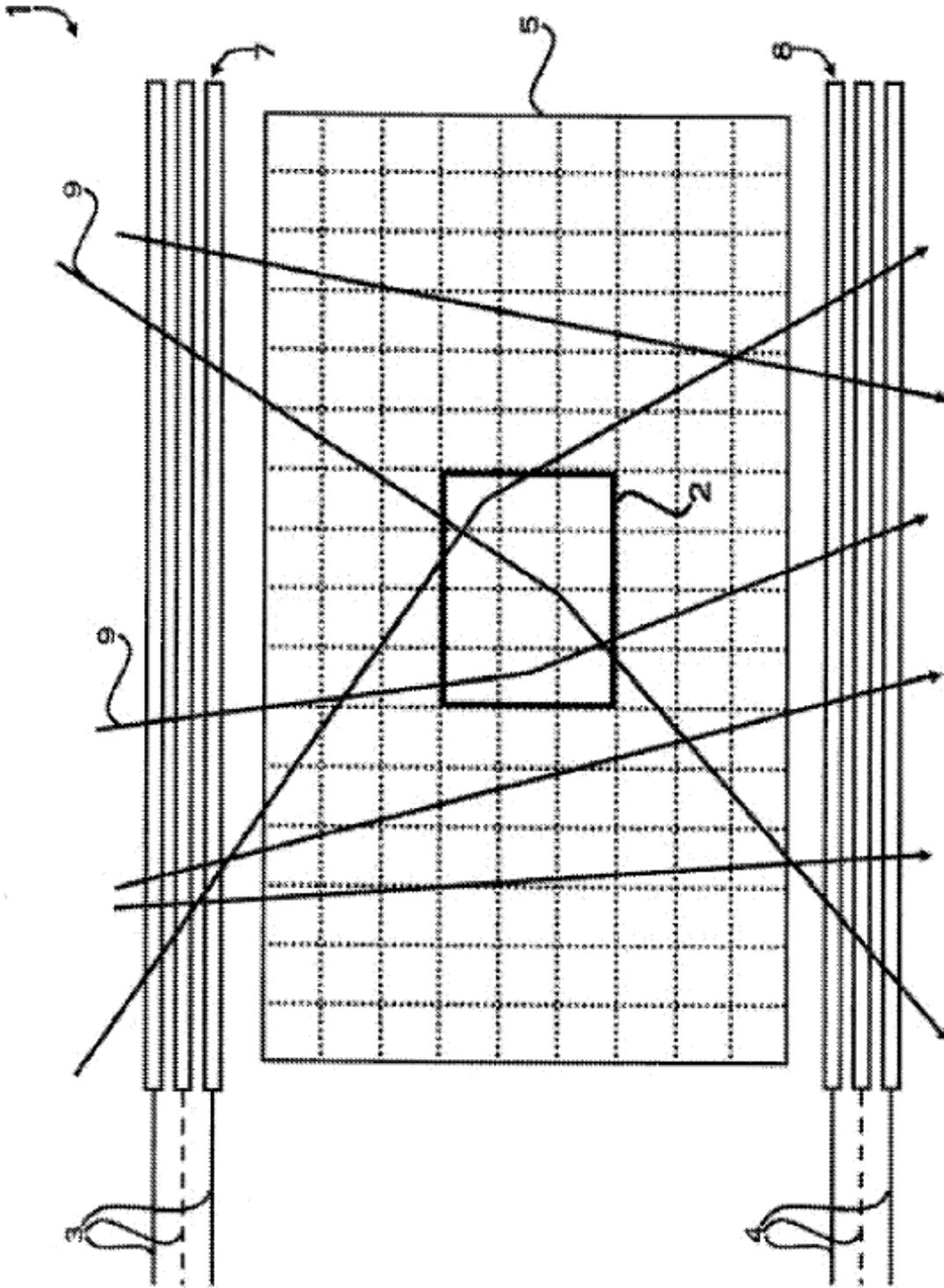


FIG. 1A

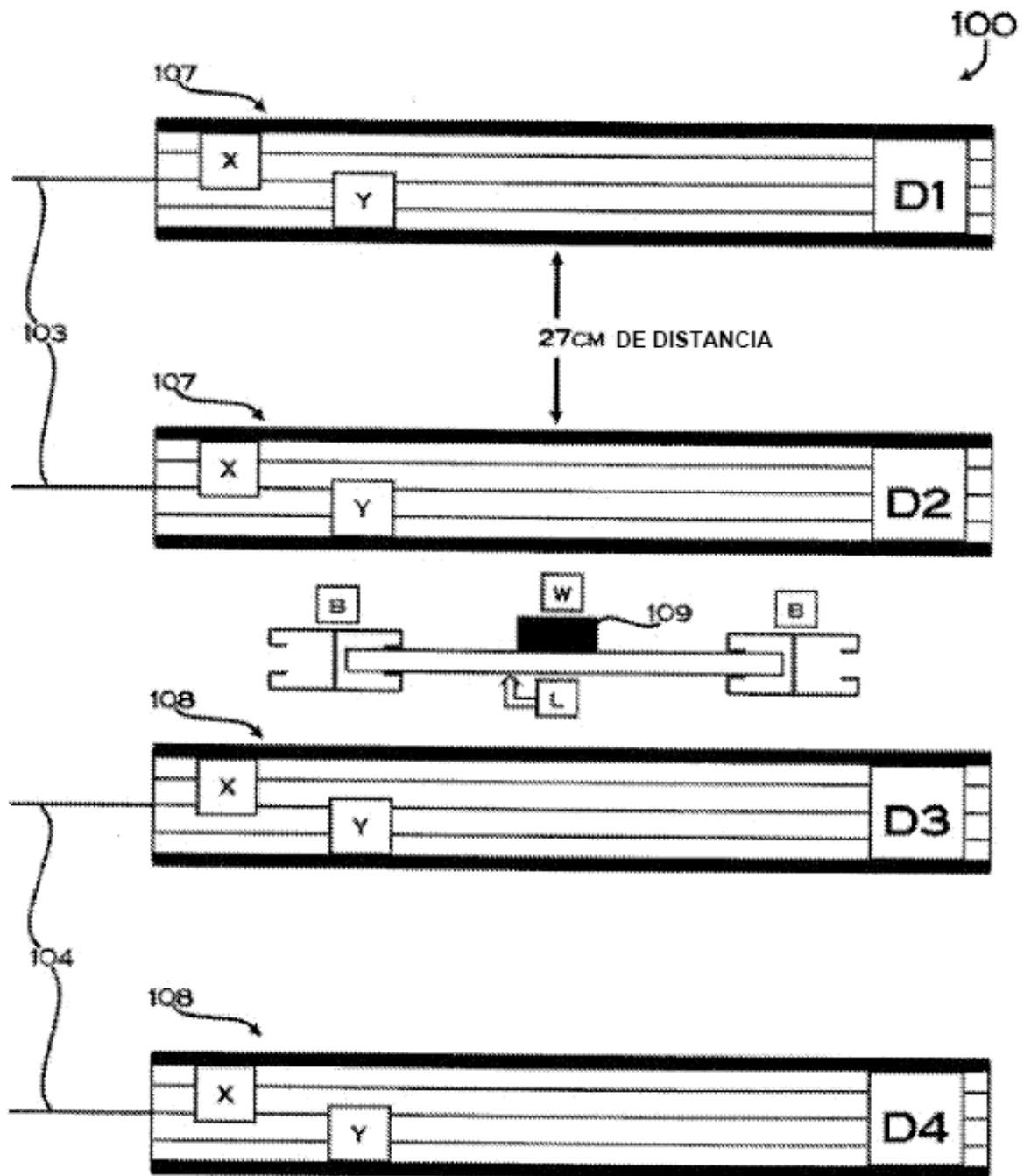


FIG. 1B

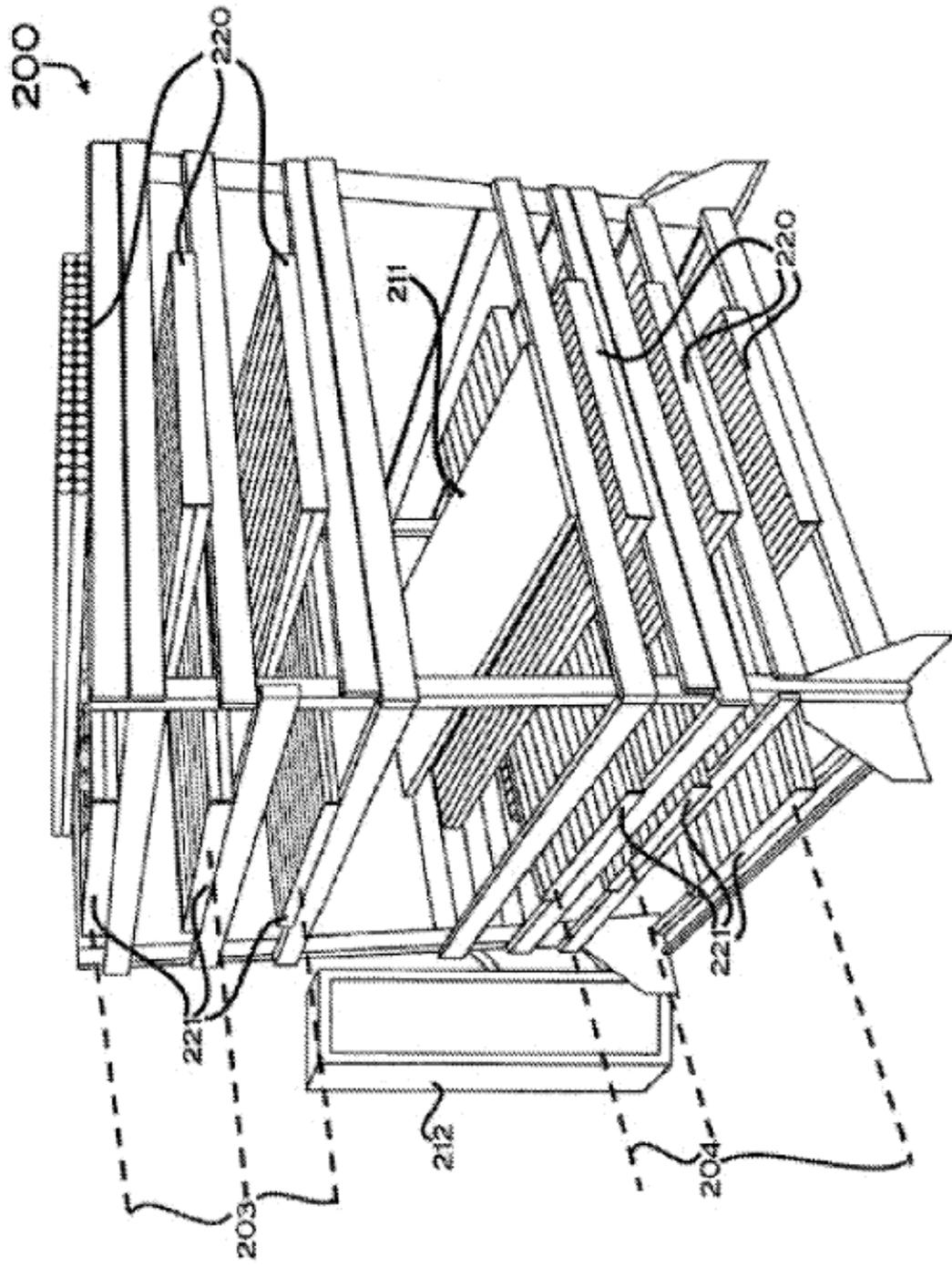


FIG. 2

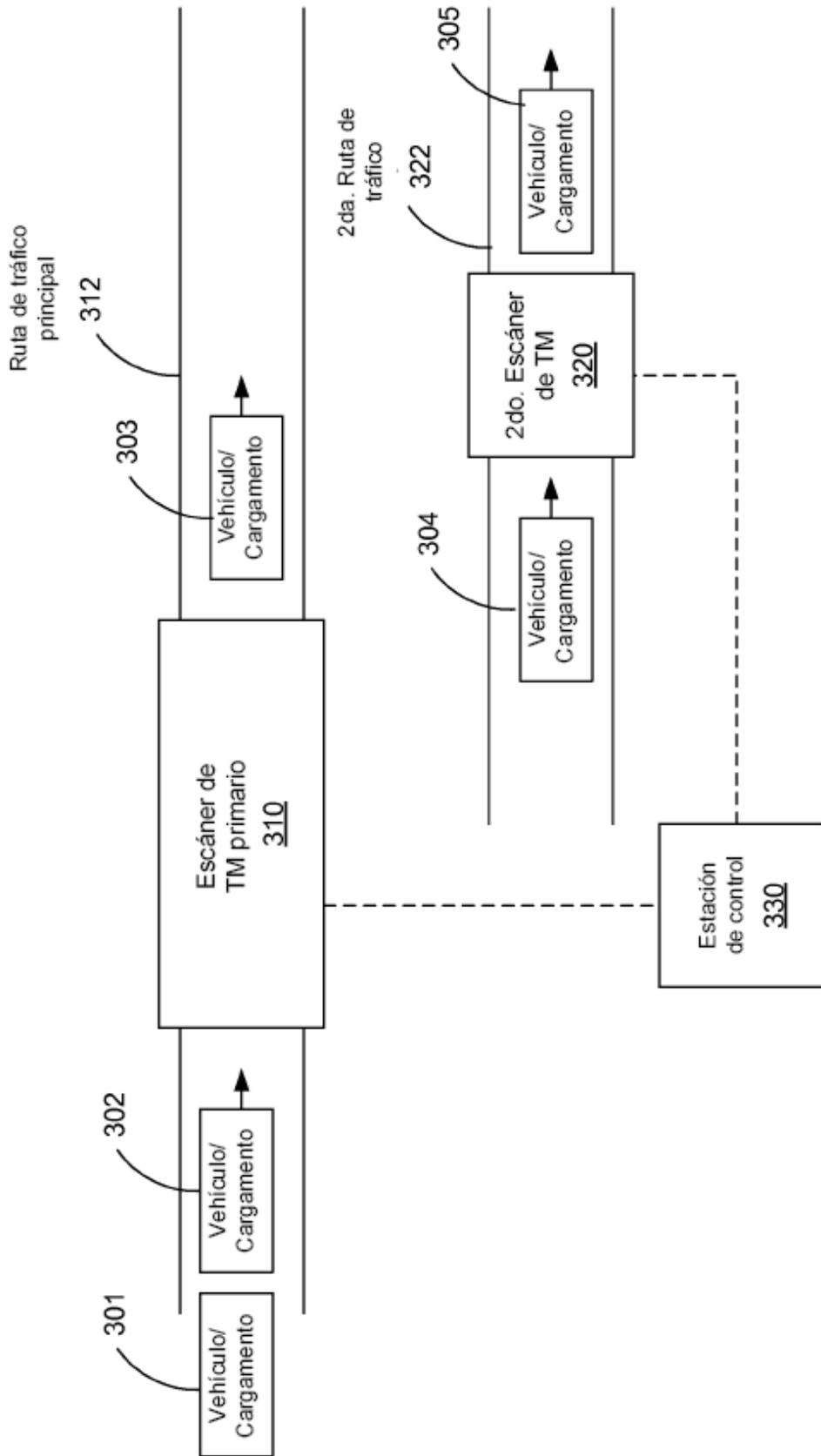


FIG. 3

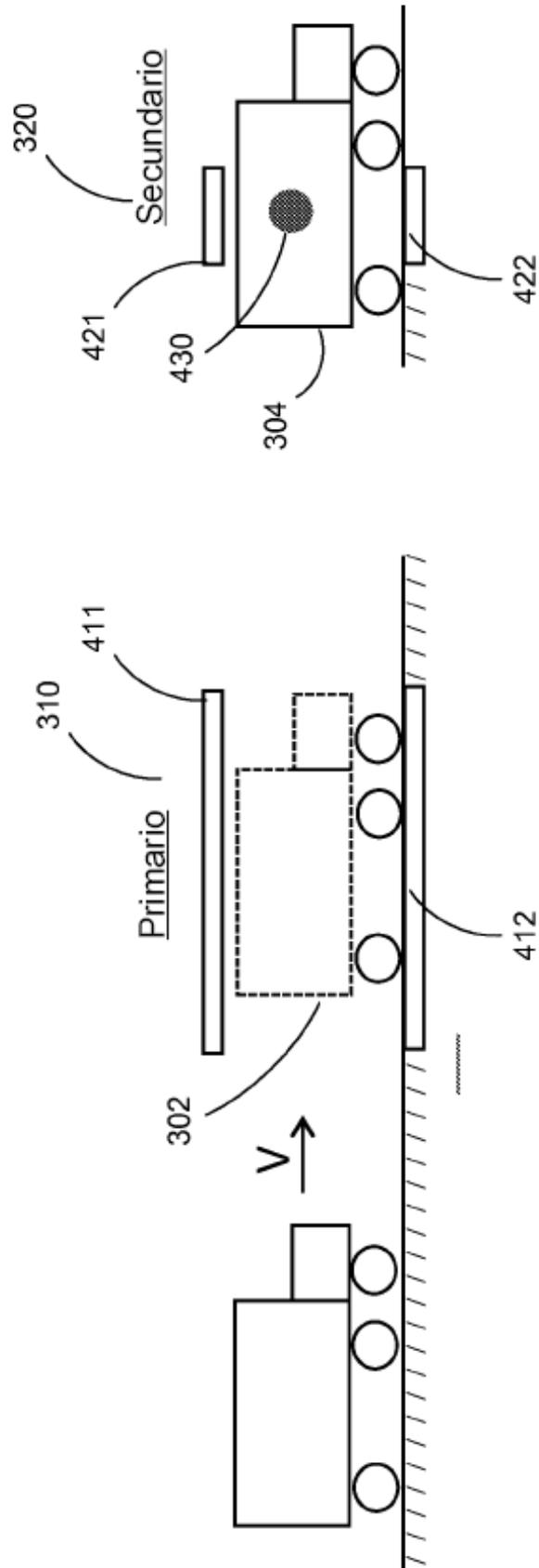


FIG. 4

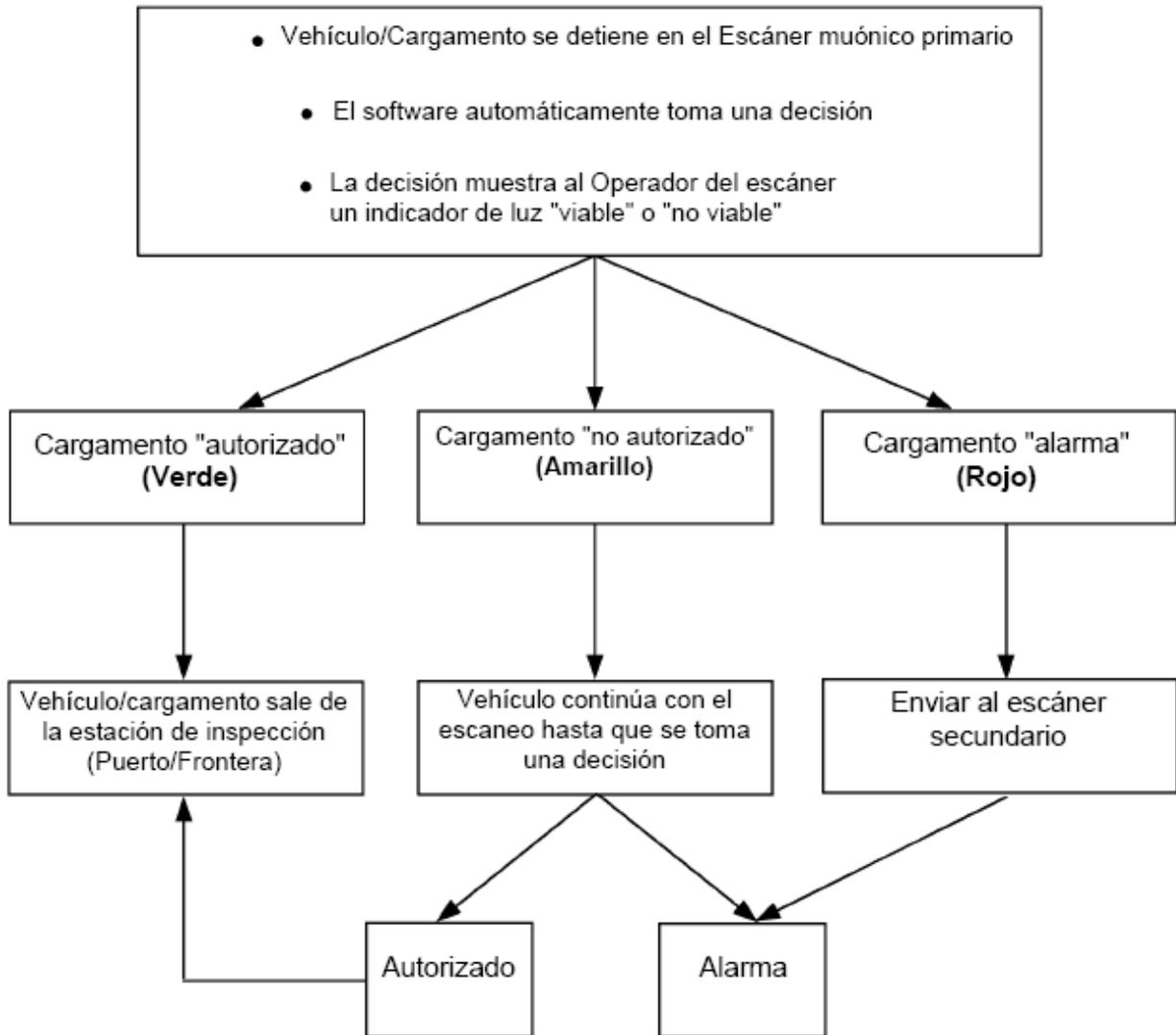
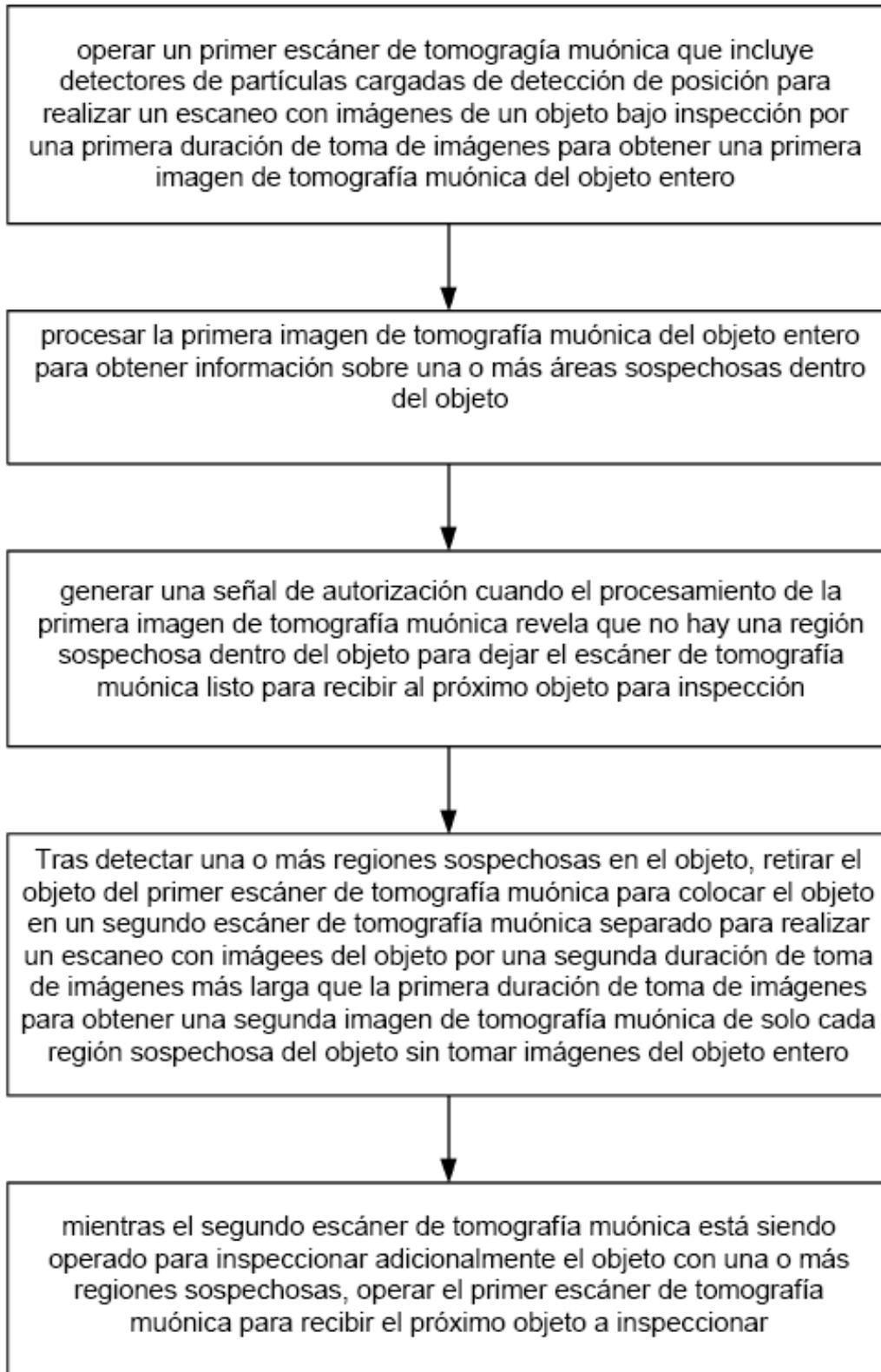


FIG. 5

**FIG. 6**

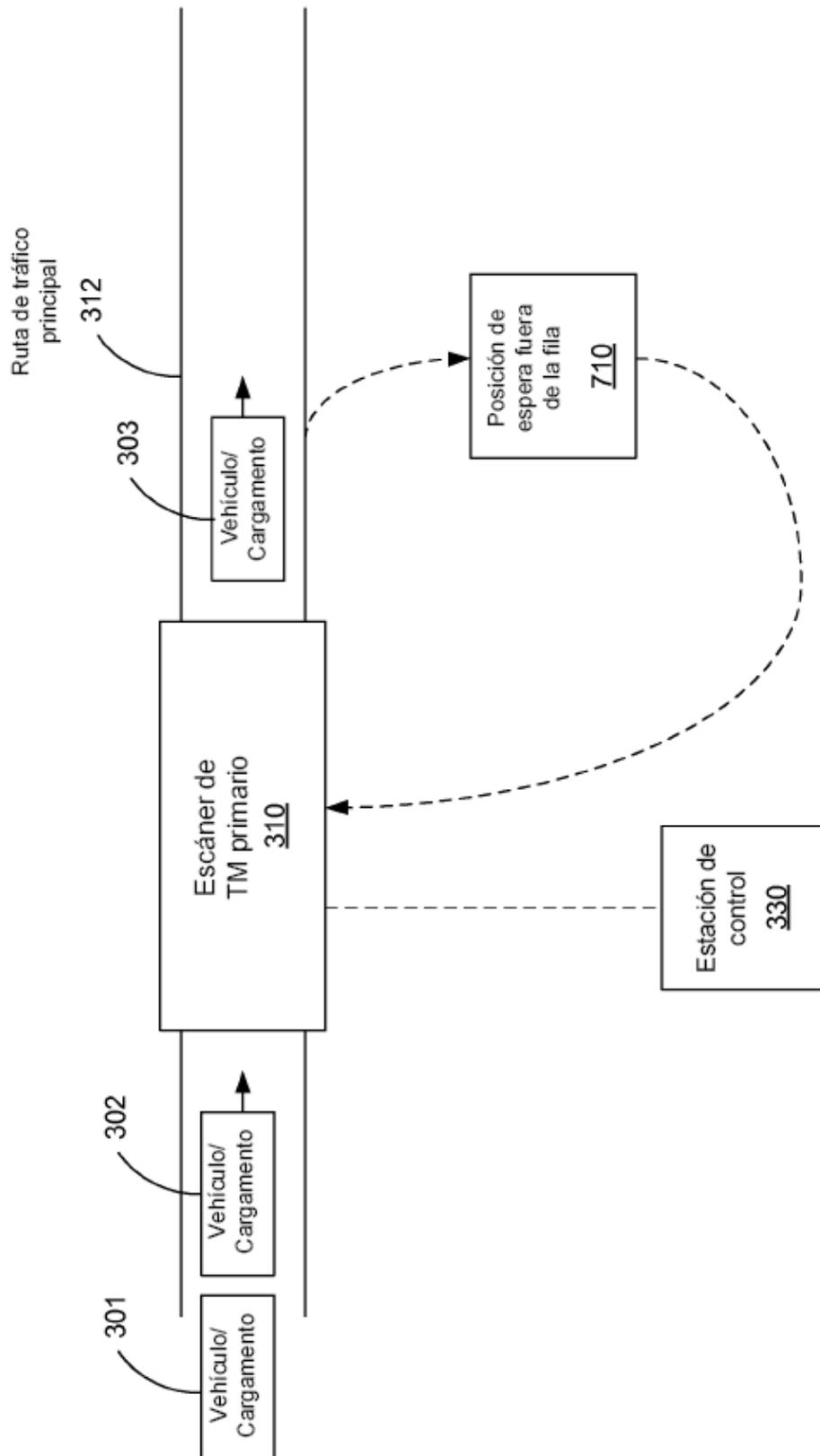


FIG. 7

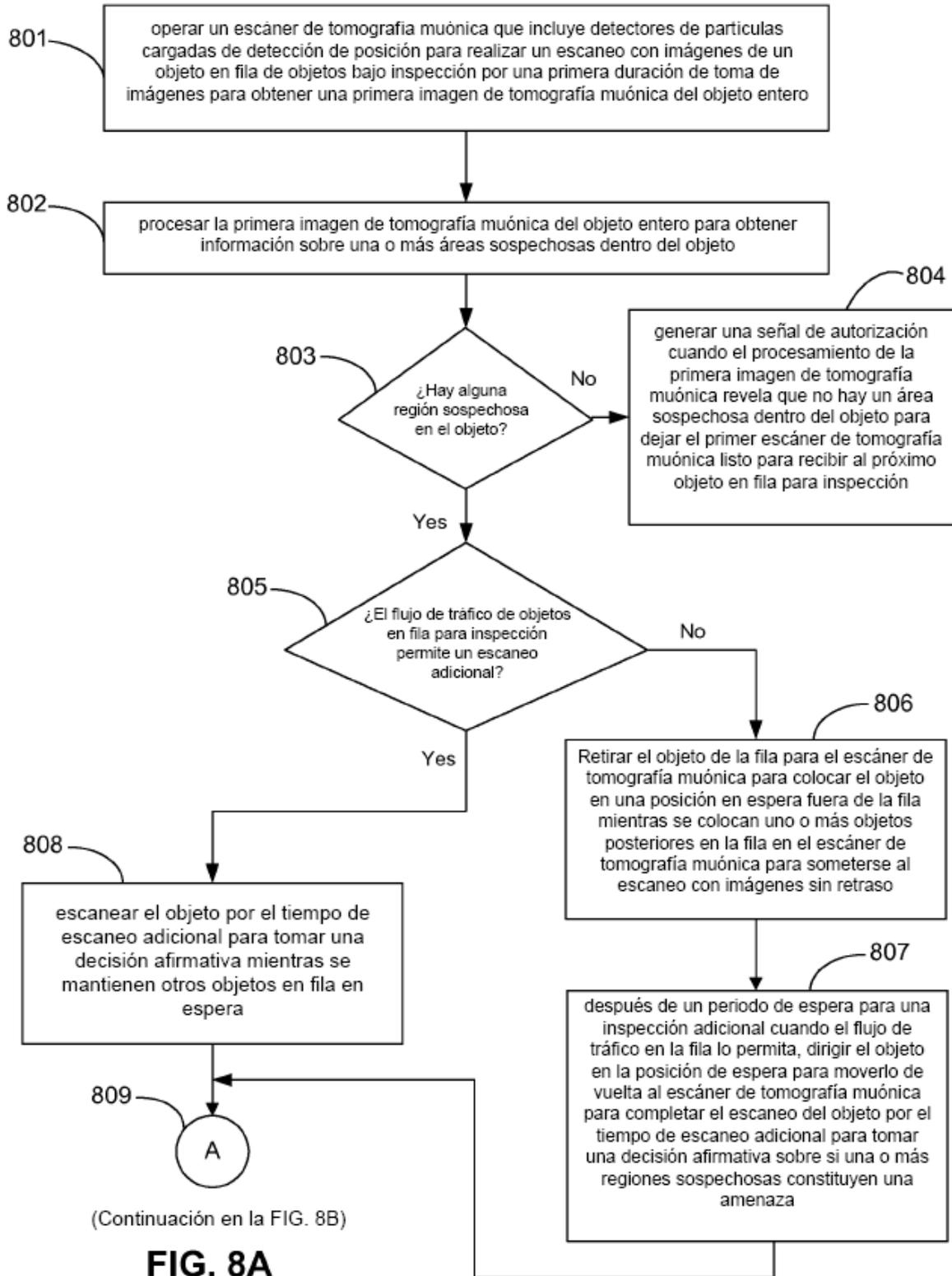


FIG. 8A

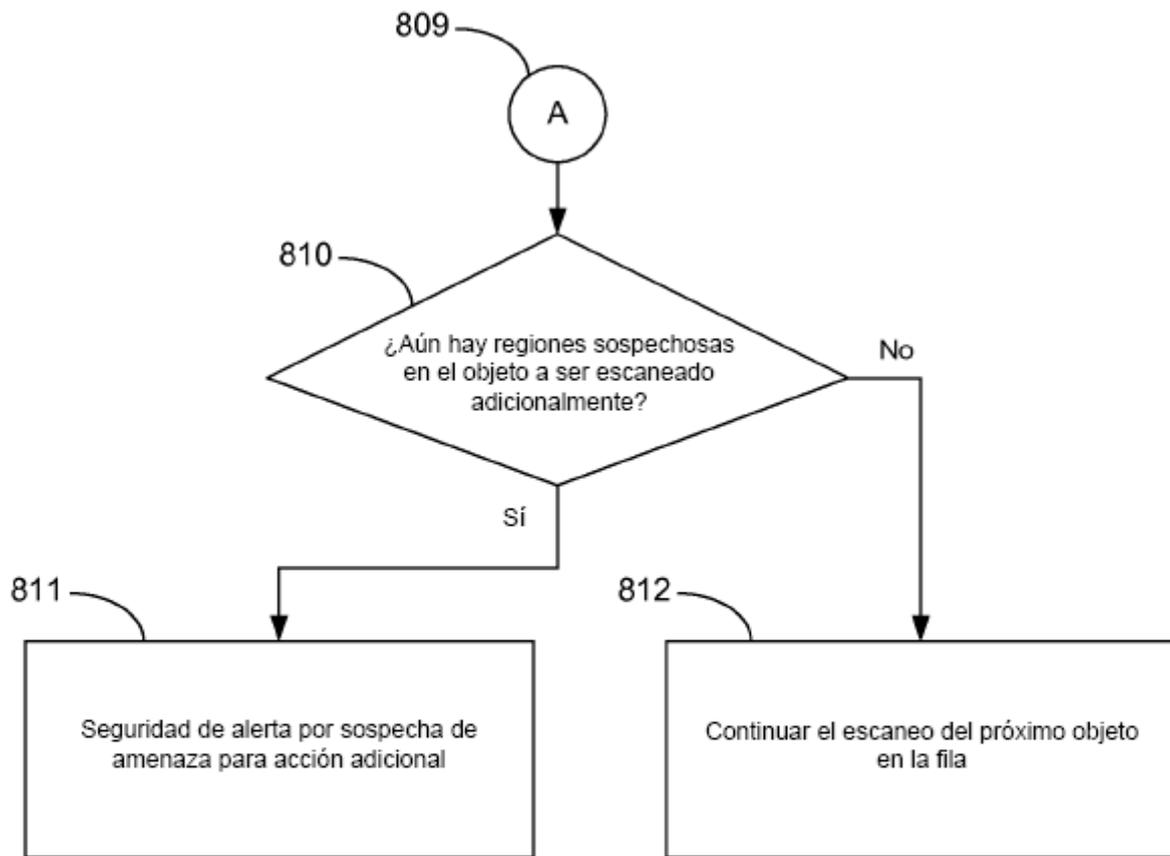


FIG. 8B