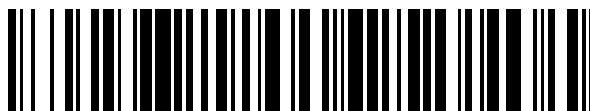


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 496 594**

51 Int. Cl.:

**G01J 3/44** (2006.01)

**G01N 21/65** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2007 E 07868185 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.07.2014 EP 2002228**

54 Título: **Método y sistema para la detección rápida y sensible, a una distancia de seguridad, de contaminantes en una superficie**

30 Prioridad:

**22.03.2006 US 784465**

**20.03.2007 US 688434**

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

**19.09.2014**

73 Titular/es:

**EXELIS INC. (100.0%)  
1650 Tysons Boulevard, Suite 1700  
McLean, VA 22102, US**

72 Inventor/es:

**PONSARDIN, PATRICK LOUIS;  
KLETECKA, CHRISTOPHER SCOTT y  
REZAC, JEROMY PAUL**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 496 594 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**

Método y sistema para la detección rápida y sensible, a una distancia de seguridad, de contaminantes en una superficie

5

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a espectroscopia aplicada y a la detección e identificación química. Más específicamente, la presente invención se refiere a dispositivos, sistemas y métodos para detectar, a una distancia de seguridad, sustancias peligrosas que pueden estar sobre una superficie.

10

En el campo de la detección química, es deseable detectar rápidamente las sustancias en una escena contaminada e informar sobre los tipos y las ubicaciones de las sustancias con el propósito de prevenir que terceras personas entren en contacto con o se vean influenciadas por la sustancia detectada. También es un factor clave en la mejora de la gestión de las consecuencias al proporcionar a los tomadores de decisiones la información necesaria para dimensionar y dirigir los esfuerzos de respuesta.

15

Las técnicas de espectroscopia se usan para analizar sustancias y se han desarrollado técnicas para el ensayo no destructivo de sustancias depositadas sobre una superficie en fases sólida y líquida. Dichas técnicas incluyen la espectroscopia de infrarrojos de transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia de rayos X, cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC-MS) y espectroscopia Raman de infrarrojos (Raman de IR). Los detectores de peligros en superficies, disponibles en la actualidad, son dispositivos de tipo "apuntar y disparar", en los que el operario del dispositivo sostiene una sonda de detección sobre una ubicación específica a muy corta distancia y permanece en esa ubicación específica durante una cantidad de tiempo para proporcionar un tiempo de integración suficiente en el detector o, en el caso de GC-MS, para captar suficientes compuestos de superficie en fase de vapor para llevar a cabo el análisis. De esta manera, estos dispositivos requieren que el operario se acerque a una distancia muy cercana a una sustancia potencialmente dañina y mantenga la proximidad a esa sustancia durante un tiempo suficientemente largo para obtener una única medición. Por lo tanto, la tarea de realizar una exploración de una amplia zona o región para buscar sustancias potencialmente dañinas es desalentadora y requiere estrategias de muestreo juiciosas para maximizar la eficiencia del procedimiento. El aspecto más difícil asociado con la búsqueda de contaminantes dispersados sobre una superficie reside en la variedad de especies químicas a las que es expuesto un detector durante una búsqueda.

20

25

30

La contaminación superficial puede ser el resultado de un accidente o de una dispersión intencionada del contaminante y, por lo tanto, la contaminación superficial puede consistir en un único producto químico o múltiples productos químicos a granel o dispersados en una amplia zona. En el caso de parches persistentes de contaminación compuestos de capas delgadas, pequeñas gotitas o pequeñas partículas, ninguno de los métodos indicados anteriormente proporciona capacidades de detección adecuadas.

35

Por ejemplo, un sistema FTIR disponible comercialmente para una respuesta de emergencia requiere 20 segundos para llevar a cabo un único análisis de identificación de muestra, tiempo durante el cual la muestra debe ser retirada físicamente de la superficie y presentada al detector. Otro ejemplo es un sistema Raman de IR, disponible comercialmente, para una respuesta de emergencia que requiere una distancia máxima de 15 mm y tiempos de medición típicamente de entre 1 y 5 segundos con un máximo de 20 segundos para algunas muestras.

40

La espectroscopia Raman de UV tiene muchas propiedades únicas que pueden ser empleadas ventajosamente en la detección e identificación rápida, a una distancia de seguridad, de peligros depositados sobre una superficie. El alto grado de contenido de información inherente en la espectroscopia Raman proporciona la capacidad de diferenciar productos químicos estructuralmente similares, con bajas tasas de falsas alarmas. El contenido de información está asociado con los grados de libertad vibratorios asociados con cualquier molécula. Esta riqueza de modos de vibración se manifiesta en picos de Raman ricos y estrechos que proporcionan una huella espectral de un material Raman activo determinado. Sin embargo, la dispersión Raman espontánea tiene una sección transversal intrínsecamente débil. La intensidad y la calidad de un espectro Raman depende de (1) la longitud de onda, el ancho de línea y la pureza espectral de la luz de excitación, (2) el grado en el que la excitación o la luz dispersada son absorbidas, la cantidad de fluorescencia interferente que se emite, y la potencial existencia de una emisión interferente debida a una descomposición inducida por láser de los materiales de la superficie, (3) la estabilidad térmica y fotoquímica de la muestra bajo excitación, y (4) el número o los productos químicos interrogados simultáneamente (congestión espectral). Por lo tanto, para maximizar la facilidad de uso en las aplicaciones prácticas, los detectores Raman de UV se concentran en una longitud de onda corta que resulta en secciones transversales de dispersión más grandes, un menor fondo de fluorescencia natural (sin necesidad de foto-blanqueo), una región espectral ciega a la luz solar inferior a 300 nm (importante para un detector a distancia de seguridad) y mejora de la resonancia de la sección transversal de dispersión Raman para algunas transiciones

45

50

55

60

vibratorias. Además, las fuentes de luz UV con una longitud de onda menor de 300 nm prácticamente no presentan riesgos de daños oculares al personal que utiliza protecciones oculares de plástico estándar o de vidrio no cristalino.

5 Se necesita un sistema de detección de peligros sobre una superficie que pueda interrogar, de manera segura, superficies desde mayores distancias y que puede hacerlo con un alto grado de flexibilidad ajustando el campo de detección de interés. Este sistema de detección de peligros, a una distancia de seguridad, sobre una superficie necesita también analizar rápidamente la radiación óptica devuelta desde la sustancia con el propósito de proporcionar un alto procesamiento de datos que permita búsquedas en perímetros grandes. La espectroscopia Raman de UV proporciona la base para este detector de alto rendimiento.

10 El artículo "Laser interrogation of surface agents (LISA) for chemical agent reconnaissance" (Chemical and Biological Sensing III, 2 de Abril de 2002; Proceedings of the SPIE, Vol 4722, páginas 50-59) describe un sistema para la interrogación láser de agentes sobre una superficie (LISA) que aprovecha la dispersión Raman para proporcionar una detección e identificación, a una distancia de seguridad, de agentes químicos depositados sobre una superficie. El artículo describe un transmisor láser y un telescopio que captura la luz en una unidad en el extremo de entrada del haz de fibras ópticas y un espectrógrafo que comprende una óptica dispersiva y un fotodetector en la forma de una CCD en el extremo de salida del haz de fibras (Figura 1). La configuración óptica mostrada en la Figura 2 describe el uso de un láser UV y traslación accionada por motor del espejo primario para ajustar automáticamente el foco de los medios de captura de la luz dispersada que constituye un buscador de rango láser. La Figura 3 ilustra los espectros Raman obtenidos con la radiación láser UV incidente y la página 53 describe la técnica de uso de una biblioteca de espectros Raman con algoritmos adaptativos para identificar los productos químicos peligrosos mediante una comparación de los espectros Raman detectados con los espectros en la biblioteca.

## 25 RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención está dirigida a un sistema y un método para una detección rápida y sensible, a una distancia de seguridad, de un peligro sobre una superficie con un alto procesamiento de datos, de alta resolución espacial y de alto grado de flexibilidad para apuntar, según las reivindicaciones 1-17 adjuntas.

30 Según una realización de la invención, el sistema comprende una primera unidad de mano que dirige un haz de excitación sobre una superficie que está situada a una distancia de la primera unidad y un subsistema óptico que captura la radiación dispersada desde la superficie como resultado del haz de luz. La primera unidad está conectada, a través de un enlace que incluye un haz de fibras ópticas, a una segunda unidad, denominada unidad de procesamiento. La unidad de procesamiento comprende un espectrógrafo acoplado a las fibras para convertir la radiación dispersada en datos espectrales, y un procesador que analiza la señal recogida y detecta la sustancia peligrosa. La segunda unidad puede estar contenida dentro de una carcasa o aparato portable en el cuerpo, de manera que la primera unidad y la segunda unidad, conjuntamente, forman un conjunto de detección portable por una persona. La óptica de recogida, de enfoque ajustable, recoge la radiación Raman dispersada desde distancias más seguras, tales como desde más de 0,25 m. Para ayudar a conseguir la distancia focal deseada desde la superficie a ser interrogada, puede proyectarse un punto de luz visible sobre la superficie para indicar el rango de distancia de seguridad óptimo y para indicar la ubicación del campo de visión de captación.

45 El sistema según cierta realización de la presente invención usa un haz de fibras de transmisión UV para acoplar, de manera eficiente, la imagen de la radiación dispersada recogida al espectrógrafo. Un haz redondo de múltiples fibras es posicionado en el plano focal del telescopio y las fibras del haz se reordenan para formar una única fila que es usada como la rendija de entrada del espectrógrafo. El espectrógrafo forma imágenes de la rendija de entrada sobre un detector de luz pixelado después de que la luz es dispersada espacialmente por una rejilla.

50 El sistema y el método de la presente invención usan un detector de luz pixelado situado en la salida del espectrógrafo para detectar, por ejemplo, un retorno de Raman. Pueden acumularse varios retornos de Raman con el propósito de mejorar la relación señal a ruido (SNR) de un marco de medición determinado. Se acumulan un número configurable de retornos en el detector para proporcionar un único marco de medición, y cada columna vertical de píxeles del detector es agrupada para mejorar aún más la SNR. La matriz resultante de valores digitales extraídos desde el detector contiene la firma de Raman usada por la unidad de procesamiento para realizar una detección e identificación de sustancias. Para acomodar diversos modos de funcionamiento del detector, el número de retornos de Raman acumulados en cada marco de medición es variable. Por ejemplo, durante una búsqueda rápida, una superficie es explorada rápidamente y las altas tasas de marcos por segundo (es decir, menos acumulaciones de retornos de Raman por marco) son importantes para mantener una alta probabilidad de detección. A pesar de la reducción asociada de SNR para cada marco, la probabilidad de detección se mejora ya que cada marco está compuesto de exposiciones totales breves, garantizando una mayor probabilidad de obtener

una firma Raman de alta pureza (baja congestión espectral) desde un compuesto objetivo que está siendo buscado durante la exploración. Los marcos de corta exposición permiten que el detector sea capaz de tratar la secuencia rápida compuesta de una gran diversidad de sustancias sobre una superficie presentadas al detector, como resultado de una exploración rápida de la superficie. En contraste, durante un modo de confirmación o

5 identificación, el detector permanece sobre la superficie interrogada de manera que la firma de Raman tenga una mayor pureza, ya que se presenta menos variedad al detector) y las tasas más bajas de marcos por segundo (más retornos de Raman por marco) son importantes para proporcionar una alta especificidad de identificación mejorando la SNR de la firma Raman.

10 El sistema y el método de la presente descripción pueden usar una exploración continua de la superficie para detectar parches de contaminación. En contraste con el detector de tipo "apuntar y disparar", este sistema detector de la presente invención permite exploraciones superficiales rápidas que van desde una exploración estática hasta una exploración a una velocidad de decenas de centímetros por segundo, dependiendo del escenario. Esto es posible debido a que el detector puede proporcionar marcos de medición Raman de buena calidad a una tasa de

15 10 a 25 Hz, mientras se mantiene un rango de distancia de seguridad práctico (es decir, 1 m). La capacidad de generar estas altas tasas de marcos por segundo permite la captura de los datos de Raman en la forma de una señal de "vídeo Raman". Tal como se ha descrito anteriormente, son posibles varios modos de funcionamiento. Se usa un modo de búsqueda para proporcionar una velocidad máxima de exploración mientras se explora un gran perímetro. El alto procesamiento de datos asociado con el modo de búsqueda es compatible con las técnicas de exploración adaptativas que usan los resultados en tiempo real para dirigir y optimizar una estrategia de búsqueda y exploración.

El sistema de detección e identificación de las realizaciones de la presente invención emplea una arquitectura distribuida para maximizar el rendimiento a nivel de sistema. Para aplicaciones portables por una persona, puede

25 ser ventajoso separar el sistema en varias unidades. Una unidad puede ser una unidad de mochila o unidad de maleta que funciona con baterías que contiene una versión reducida del direccionamiento del haz, la recogida de la dispersión y el análisis del espectro en una configuración ágil. Una segunda unidad, denominada estación base, contiene la capacidad de procesamiento para un análisis más intensivo de los espectros recogidos. Por consiguiente, la unidad que funciona con baterías puede hacerse más ligera transportando un pequeño dispositivo de procesamiento que puede ejecutar un algoritmo de análisis de espectro menos intensivo computacionalmente.

30

En todavía otra realización, puede desplegarse una pluralidad de detectores de exploración de superficie para aumentar un esfuerzo de búsqueda en grandes áreas o regiones o edificios. Todos los detectores informan acerca de los eventos de detección a una unidad centralizada de control de escena que puede coordinar las tareas de

35 búsqueda.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama gráfico de un sistema de detección de peligros, a una distancia de seguridad, sobre una superficie según una realización de la presente invención.

40 La Figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema de detección de peligros, a una distancia de seguridad, sobre una superficie según una realización de la invención.

La Figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema de detección de peligros, a una distancia de seguridad, sobre una superficie según una realización de la invención.

45 Las Figuras 4A, 4B, 4C y 4D ilustran diversas configuraciones de un dispositivo de mano que forma una parte del sistema de detección de peligros, a una distancia de seguridad, sobre una superficie según las realizaciones de la invención.

La Figura 5 ilustra gráficos para un único marco de medición de los datos derivados a partir de la exploración de una superficie según las realizaciones de la presente invención.

50 La Figura 6 es una vista en perspectiva de un sistema de detección de peligros, a una distancia de seguridad, sobre una superficie según una realización de la invención.

La Figura 7 es un diagrama que muestra una operación del sistema de detección de peligros, a una distancia de seguridad, según la realización de la invención mostrada en la Figura 3.

La Figura 8 es un diagrama que ilustra un escenario de uso del sistema de detección de peligros, a una distancia de seguridad, para la exploración de diversas superficies y la búsqueda de parches de

55 contaminación según una realización de la invención.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

Con referencia primero a las Figuras 1 y 2, se describe un sistema 10 de detección de peligros, a una distancia de seguridad, según una realización de la invención. El sistema 10 de detección comprende una unidad 100 de mano y una unidad 200 de procesamiento. La unidad 100 de mano se denomina también, en la presente memoria, una

60 primera unidad o una unidad o dispositivo "de tipo varilla" y la unidad 200 de procesamiento se denomina también,

en la presente memoria, una segunda unidad o una unidad de adquisición/procesamiento de datos. La unidad 100 de mano está conectada mediante un cable 300 umbilical a la unidad 200 de procesamiento. Tal como se usa en la presente memoria, la expresión "distancia de seguridad" en conexión con un sistema de detección e identificación de peligros, a una distancia de seguridad, significa una distancia o un rango de más de 0,25 metros entre el aparato de detección y la superficie que está siendo interrogada y sobre la cual puede haber una sustancia peligrosa o contaminante.

El sistema 10 consigue una detección rápida y sensible de peligros sobre una superficie, a una distancia de seguridad, con alto procesamiento de datos, alta resolución espacial y alto grado de flexibilidad para señalar. Este modo de operación distintivo permite estrategias nuevas y eficientes de búsqueda de contaminación sobre una superficie. En contraste con las técnicas de tipo "apuntar y disparar" existentes, el sistema 10 permite la adquisición de filmaciones "de vídeo Raman" de un único píxel de una escena contaminada, tal como se muestra en la Figura 1.

La unidad 100 de mano es mantenida en la mano de un usuario y se usa para dirigir un haz de luz sobre una superficie para analizar con técnicas de espectroscopia una sustancia en fase sólida o líquida sobre la superficie, con el propósito de determinar la composición de la sustancia. La sustancia puede ser una sustancia o un contaminante peligroso, tal como una sustancia química, biológica o explosiva sobre el suelo, pared u otros objetos, y la sustancia puede estar presente a granel o ligeramente dispersada sobre una superficie. De esta manera, tal como se describe más detalladamente más adelante, el sistema 10 puede estar diseñado para su uso por una sola persona o por un equipo de dos personas. Los operarios pueden llevar equipo de protección contra riesgos. En general, la unidad 100 de mano es usada para interrogar una superficie sospechosa a una distancia de seguridad de aproximadamente 0,5 a 3 metros, y para devolver datos relacionados con el espectro acerca de la amenaza a la unidad 200 de procesamiento que analiza los datos relacionados con el espectro en la línea de visión directa, determina si existe o no presencia de una amenaza perjudicial, y emite rápidamente una notificación del tipo de amenaza, por ejemplo, en un tiempo menor o igual a 100 ms. La unidad 200 de procesamiento puede comprender además un dispositivo de visualización, tal como una pantalla táctil o una pantalla de visualización frontal ("heads-up display"), como un tipo de interfaz de usuario con el sistema 10. El dispositivo de visualización puede proporcionar una notificación visual (y, opcionalmente, de audio) con una explicación textual de los detalles asociados con la sustancia peligrosa detectada. La pantalla de visualización puede ser de un tipo que es compatible, de manera adecuada, para su uso por una persona que usa un traje ambiental.

Los elementos del sistema 10 se describen con más detalle en conexión con el diagrama de bloques de la Figura 2. La unidad 100 de mano comprende una fuente 110 de luz láser, una óptica 120 de recogida de enfoque variable, un indicador 130 de punto focal, una alarma 150 y un controlador 140. La fuente 110 de luz láser emite un haz de luz de interrogación y la óptica 120 de recogida captura la energía óptica devuelta y dirige esa energía a través del cable 300 umbilical a un espectrógrafo 210 en la unidad 200 de procesamiento. A continuación, se describe el indicador 130 de punto focal.

La fuente 110 de luz láser en la unidad de mano genera un haz de luz de interrogación dirigido a una superficie de interés. La óptica 120 de recogida captura la energía óptica devuelta desde la superficie de interés. El haz de luz puede ser cualquier tipo adecuado de luz que sea útil para analizar las características de una sustancia líquida y/o sólida sobre una superficie. Por ejemplo, la fuente 110 de luz láser puede producir un haz de luz en el espectro ultravioleta (UV), tal como un láser Nd:YAG o Nd:YLF. Además, la fuente 110 de luz láser puede producir luz UV que es sustancialmente monocromática (una única longitud de onda o limitada a un estrecho rango de longitudes de onda). Además, la fuente 110 de luz láser puede producir luz Raman, de manera que la energía óptica devuelta consisten en energía óptica Raman dispersada que es analizada usando técnicas de espectroscopia.

El cable 300 comprende un haz 310 de fibras ópticas para acoplar la energía óptica capturada por el dispositivo 100 de mano a la unidad 100 de procesamiento. El cable 300 comprende también al menos un conductor 320 eléctrico (y más probablemente una pluralidad de conductores eléctricos) usado para comunicar comandos desde la unidad 200 de procesamiento a la unidad 100 de mano y otros datos desde la unidad 100 de mano a la unidad 200 de procesamiento.

La unidad 200 de procesamiento puede adoptar una diversidad de formas. La Figura 2 muestra que la unidad 200 de procesamiento comprende un espectrógrafo 210, una cámara 220 de dispositivo de carga acoplada intensificada (ICCD) que sirve como un detector pixelado, un controlador 230 para el láser y la electrónica asociada, un procesador 240 de algoritmo, un procesador 250 de adquisición y control de datos, una interfaz 260 de usuario (que comprende una pantalla de visualización), y una fuente 270 de alimentación. Tal como es conocido en la técnica, el espectrógrafo comprende una rejilla de difracción para dispersar la radiación dispersada sobre el ICCD 220. El ICCD 220 puede estar integrado en el espectrógrafo 210. La fuente 270 de alimentación puede ser

una batería recargable capaz de almacenar una cantidad de carga suficiente para permitir a intervalos de uso relativamente largos en campo antes de requerir una recarga. De manera alternativa o adicional, la fuente 270 de alimentación puede ser capaz de recibir energía de una toma de corriente estándar. El procesador 240 de algoritmos puede ser un ordenador que contiene memoria en la que se almacenan uno o más programas que hacen que el ordenador lleve a cabo diversos algoritmos de análisis de espectroscopia y procedimientos de control. El procesador 240 puede comparar los datos espectrales con los datos espectrales para una pluralidad de sustancias conocidas con el propósito de determinar si los datos espectrales son o no los de una sustancia conocida o externa. También hay un dispositivo 280 de alarma que, cuando es activado por una señal de disparo de alarma, produce una notificación de alerta audible y/o visual. El dispositivo 280 de alarma puede estar integrado en la interfaz 260 de usuario.

El procesador 250 de adquisición y control de datos situado en la unidad 200 de procesamiento proporciona un control global del sistema, incluyendo la gestión de entradas y salidas a través de la interfaz 260 de usuario, así como las señales de control hacia y desde la unidad 100 de mano. El procesador 240 de algoritmos ejecuta los algoritmos que analizan la salida del espectrógrafo 210 para determinar si la energía óptica devuelta (por ejemplo, espectro Raman) es o no el resultado de la interacción de la luz láser UV con una sustancia peligrosa. El procesador 240 de algoritmos comprende una memoria que almacena una base de datos o biblioteca de firmas que se usan en el análisis de espectroscopia que realiza sobre los datos de espectro Raman.

El haz de luz dirigido a la superficie a ser explorada puede comprender impulsos discretos de luz UV para crear la señal Raman desde la muestra de superficie. En otra realización, la fuente 110 de luz láser puede ser una fuente de luz UV de onda continua (CW). La intensidad de la señal Raman puede ser maximizada acondicionando las características del haz de excitación. La ubicación de la parte generadora de luz de la fuente 110 de luz en la unidad 100 de mano permite conformar apropiadamente el haz de excitación transmitido y maximizar la cantidad de energía suministrada. Sin embargo, la fuente 110 de luz en la unidad 100 de mano puede ser la etapa final de conversión UV que es bombeada por un láser que, en realidad, reside en la unidad 200 de procesamiento y está acoplada a la etapa de conversión de UV a través de una fibra óptica en el cable 300 umbilical.

Un haz de excitación UV de alta calidad es importante ya que permite un enfoque ajustado del haz de excitación sobre la superficie interrogada. Un enfoque de láser ajustado (por ejemplo, menos de un milímetro de diámetro) sobre todo en rango de distancia de seguridad del sistema es útil por varias razones. En primer lugar, el diámetro del punto de excitación constituye el objeto de imagen de la óptica de recogida. Debido a que la óptica 120 de recogida en la unidad 100 de mano usa una alta apertura numérica para recoger la mayor cantidad posible de radiación, el pequeño tamaño del punto de excitación hace posible acoplar, de manera eficiente, esa imagen en el resto de la cadena de receptor óptico. Una segunda razón para restringir el punto de excitación a un diámetro pequeño es el deseo de limitar el número total de especies químicas a interrogar simultáneamente. La firma de Raman total recogida es el resultado de una superposición de las firmas de Raman individuales asociadas con cada producto químico excitado. Un punto de excitación grande puede proporcionar un mayor número de firmas de Raman, ya que hay una mayor probabilidad de encontrar más especies químicas, resultando en una firma de Raman total menos distintiva (más congestionada espectralmente). Al interrogar una única especie química en cada momento usando un haz enfocado de manera precisa, pueden generarse firmas de Raman de alta pureza. Una tercera razón para restringir el punto de excitación a un diámetro pequeño reside en la cantidad de señal asociada con cada firma de Raman que se genera. Un punto de excitación pequeño proporciona un suministro eficiente de la mayor parte de los fotones de excitación disponibles al objetivo de interés, en el caso en el que el objetivo es una pequeña gota o partícula. Esto permite que la firma de Raman de la sustancia química objetivo sea dominante en la firma de Raman total y escalar esa firma por encima del fondo de ruido del detector, mejorando, de esta manera, el límite de detección del detector. Por último, otra razón para restringir el punto de excitación a un diámetro pequeño es proporcionar una geo-localización precisa del contaminante ya que puede realizarse una correlación directa entre el evento de detección y la localización del haz de interrogación. En resumen, este pequeño punto de interrogación constituye la noción de una firma de Raman de un "único pixel" que es fundamental para el concepto de detector de "vídeo de Raman" descrito más adelante.

La óptica 120 de recogida, de enfoque variable, permite la recogida de la radiación Raman dispersada desde distancias más seguras, es decir, distancias "de seguridad". Aunque no se requiere el ajuste de la distancia de seguridad, el procedimiento de medición es mejorado proporcionando esta capacidad de ajuste ya que el detector tiene una profundidad de campo limitada para un rango de distancia de seguridad determinado. Una manera de ajustar la distancia de enfoque es ajustando la distancia de separación entre los elementos ópticos que forman la óptica 120 de recogida, de enfoque variable. Otra manera de ajustar la distancia de enfoque es ajustando la separación entre un elemento óptico de telescopio más distal y la entrada del haz 310 de fibras que acopla la óptica al espectrógrafo 210. En todos los casos, sólo debe desplazarse un único componente para ajustar el rango de distancia de seguridad del detector. El elemento óptico puede ser desplazado por el operario bajo demanda

usando un mecanismo accionado manualmente, usando un mecanismo motorizado o un mecanismo híbrido. En una realización, la capacidad de ajuste del foco de 0,5 a 3 m es proporcionada desplazando el espejo primario. En otra realización, la óptica de recogida tiene un foco fijo a 1 m para simplificar el diseño mecánico. Los ejemplos de óptica 120 de recogida, de enfoque variable, se describen más detalladamente más adelante en conexión con las Figuras 4A-4D. Además, puede emplearse un sistema de enfoque automático para mover automáticamente uno de los elementos ópticos en la óptica 120 de recogida en base a los conocimientos adquiridos a partir del indicador 130 de punto focal, descrito más detalladamente más adelante.

El indicador 130 de punto focal genera un punto de luz visible proyectado sobre la superficie interrogada para indicar el rango de distancia de seguridad óptimo y para indicar la ubicación del campo de visión de recogida. Una vez que la óptica 120 de recogida es ajustada a la distancia de enfoque deseada, este punto visible actúa como el designador de objetivo, así como el indicador para mantener la distancia de seguridad correcta. Esta característica añade a la señalización la flexibilidad asociada con la unidad 100 de mano y permite exploraciones eficientes de la superficie. Una manera de conseguir esto es mediante la intersección de dos punteros de diodo láser a la distancia de seguridad óptima. El mantenimiento de una separación mínima entre los dos o más puntos proyectados garantiza un enfoque apropiado de la óptica de recogida. Al apuntar los láseres de diodo a través de la óptica del telescopio permite una indicación precisa del rango de distancia de seguridad para todos los ajustes de la distancia de enfoque del telescopio. De manera alternativa, puede usarse luz visible acopla mediante fibras. La salida de las fibras puede ser proyectada a través del telescopio para tomar una imagen del campo de visión de recogida sobre la superficie interrogada. En este caso, se usa un espejo dicróico para separar el canal de recepción Raman UV del canal designador visible. Los ejemplos del indicador 130 de punto focal se describen más adelante en conexión con las Figuras 4A-4D. Una vez más, tal como se ha indicado anteriormente, puede emplearse un sistema de enfoque automático para interpretar la distancia a la superficie en base al punto de luz proyectado por el indicador 130 de punto focal para ajustar automáticamente la óptica 120 de recogida variable.

Según otra realización de la presente invención, que se describe más adelante en conjunción con la Figura 3, se emplea una arquitectura distribuida para maximizar el rendimiento a nivel de sistema. Aunque la realización mostrada en la Figura 2 sitúa en la unidad 200 de procesamiento varias de las funciones principales (es decir, modos de búsqueda e identificación) en un único paquete, para aplicaciones portables por una persona, puede ser ventajosas separar adicionalmente las funciones de procesamiento entre múltiples unidades. Por ejemplo, puede proporcionarse una unidad de mochila o maleta que funciona con baterías para alojar una versión reducida del componente detector (unidad 100 de mano y unidad 200 de procesamiento) para permitir la recogida de las firmas dispersadas en una configuración ágil. También se proporciona una estación base o unidad estacionaria que proporciona funciones de conexión, permitiendo que la unidad que funciona con baterías sea cargada, activada y llevada a un estado estacionario, mientras es alimentada por la estación base. La estación base puede alojar también el equipo de calibración, así como una unidad de procesamiento adicional que es más potente que la de la primera unidad. En este caso, la unidad que funciona con baterías puede hacerse más ligera al transportar un procesador más pequeño que proporciona una función en modo de búsqueda de menor fidelidad usando un algoritmo de análisis de espectroscopia menos intensivo computacionalmente. Esta "capacidad a bordo", aunque proporciona una mayor cantidad de falsas alarmas, permite el modo de búsqueda y proporciona al usuario una capacidad siempre presente en un entorno hostil. La unidad que funciona con baterías puede transmitir en paralelo los marcos Raman a la estación base que ejecuta un algoritmo computacionalmente más intensivo (mayor fidelidad) asociado con el modo de identificación para identificar más precisamente un peligro.

Según esta realización de la invención, el equipo para la interrogación a distancia de seguridad de una sustancia sospechosa de ser peligrosa puede estar configurado en un conjunto 600 portable por una persona o portátil, que comprende una unidad 700 de mano y una unidad 800 portable en el cuerpo. Esta configuración se describe con referencia al diagrama de bloques de la Figura 3. La unidad 700 de mano comprende un láser 710, una óptica 720 de recogida (telescopio), un controlador 730 y un dispositivo 740 de alarma, similares a los componentes mostrados en la Figura 2 y descritos anteriormente. El cable umbilical comprende un haz 910 de fibras ópticas y un haz 920 de conductores eléctricos similar al cable 300 mostrado en la Figura 2. La unidad 800 portátil está conectada a la unidad 700 de mano a través del cable 900 umbilical y comprende el espectrógrafo 810, una ICCD 815, un procesador 820 de control y adquisición de datos, una pantalla 830, una fuente de alimentación 840 (por ejemplo, batería), un transceptor/módem 850 inalámbrico de radio frecuencia (RF) para soportar la comunicación inalámbrica con una estación base 1000 (i) a través de una antena 805 y un dispositivo 860 de alarma. La fuente de alimentación 840 suministra energía para los componentes en la unidad 800 portátil, así como para los componentes en la unidad 700 de mano. La pantalla 830 puede ser un mecanismo de visualización abatible o de acoplamiento a presión visible por el operario, o una pantalla visible en un visor, tal como una pantalla de visualización frontal. La pantalla 830 puede ser usada para mostrar información al usuario relacionada con la detección de sustancias peligrosas. En muchos aspectos, la unidad 800 portátil es similar a la unidad 100 de procesamiento en la primera realización y la unidad 700 de mano es similar a la unidad 200 de mano en la primera

realización.

El conjunto 600 portable por una persona puede comunicarse con una o más estaciones base 1000 (1) a 1000 (N). Una estación de base comprende una antena 1005, un transceptor de RF inalámbrico/módem 1010, un procesador 1020 de análisis, una pantalla 1030 para el operario de la estación base, y una fuente de alimentación 1040 para el equipo. La estación base 1000 (i) puede ser montada o ser usada en un vehículo y alimentada por un sistema de energía del vehículo, como un ejemplo. De manera alternativa, la estación base puede estar en una posición fija. Además, la estación base 1000 (i) puede ser portable por una persona en el sentido de que puede estar contenida en un aparato portátil o puede estar realizada como un ordenador portátil equipado con capacidades de comunicación inalámbrica adecuadas. Además, la estación base 1000 (i) puede comprender o puede tener integrado en la misma un dispositivo de alarma similar a los incluidos en el conjunto 600 portable por una persona. La estación base 1000 (i) puede tener un puerto de acoplamiento o unidad 1050 que es capaz de conectarse al conjunto 600 portable por una persona por medio de un cable de conexión adecuado para cargar la fuente de alimentación 840, activar el conjunto 600 y llevarlo a un estado estacionario a través la energía 1040 del equipo de la estación base. Tal como se ha indicado anteriormente, el procesador 1020 puede interactuar también con componentes relevantes en el conjunto 600 portable por una persona con el propósito de calibrar el espectrógrafo 810 en la unidad 800 portátil. La unidad 1050 de acoplamiento puede incluir un cargador de batería que, cuando la unidad 800 portátil está acoplada, carga la fuente de alimentación 840.

Hay varios posibles escenarios operacionales entre una estación base 1000 (i) y el conjunto 600 portable por una persona. En un escenario, el procesador 820 en la unidad 800 portátil convierte la salida del espectrógrafo 810 en señales de datos de espectro digital, opcionalmente comprime los datos del espectro y transmite estos datos de espectro a través del transceptor 850 de RF a una o más de las estaciones base 1000 (1) a 1000 (N). El procesador 1020 de análisis en una estación base 1000 (i) recibe los datos del espectro desde la unidad 800 portátil y lleva a cabo el análisis de los datos del espectro para detectar e identificar una sustancia peligrosa y muestra los resultados de sus cálculos en la pantalla 1030. Después de realizar su análisis, la estación base 1000 (i) puede transmitir una señal de vuelta a la unidad 800 portátil que indica la naturaleza/identidad de una sustancia detectada. Por ejemplo, si se detecta una sustancia nociva, la señal transmitida puede desencadenar una alerta audible y/o visual en la unidad 800 portátil y/o la unidad 700 de mano para que el usuario tome las precauciones adecuadas para continuar con la exploración, o para que el usuario abandone inmediatamente la zona.

Opcionalmente, el procesador 820 en la unidad 800 portátil puede llevar a cabo un análisis más rápido, pero de menor fidelidad, de los datos del espectro producidos por el espectrógrafo 810 con el fin de alertar al usuario, en tiempo real o casi en tiempo real, de la detección de una sustancia peligrosa, pero potencialmente con una menor confianza. Este es el llamado modo de búsqueda, indicado anteriormente. La unidad 800 portátil transmitirá también los datos del espectro a una estación base 1000 (i) que realiza un análisis de fidelidad más alta, de mayor confianza, pero que puede tomar cierto tiempo adicional. Este es el denominado modo de identificación, indicado anteriormente, y usa una biblioteca de firmas más completa. Este esquema de asignación de procesamiento permite estrategias de búsqueda más avanzadas, tal como se describe a continuación más detalladamente en conexión con las Figuras 7 y 8.

Una ventaja de separar el procesamiento de detección de la recogida de datos, tal como se representa por la configuración de la Figura 3, es que los datos captados pueden ser transmitidos a múltiples estaciones base (de manera simultánea o secuencial) y cada estación base puede realizar su propio análisis y puede ser alertado por el conjunto 600 portable de que se ha detectado una sustancia peligrosa. Si se despliegan una pluralidad de conjuntos portables por una persona, cada conjunto tendría un identificador único que se usaría al transmitir datos a una estación base, de manera que una estación base puede distinguir entre los conjuntos portables por una persona. De esta manera, la información acerca de una sustancia peligrosa puede ser distribuida rápida y ampliamente.

En todavía otra realización de la presente invención, se proporciona un juego de conjuntos 600 de exploración de superficie, portables por una persona, para ampliar el esfuerzo de búsqueda en grandes perímetros o edificios. En este caso, todos los conjuntos 600 portátiles envían informes acerca de los eventos de detección a una unidad de control de escena centralizada que puede coordinar los esfuerzos de búsqueda. Con esta configuración de múltiples detectores, es posible una exploración adaptativa a nivel de escena. Para este propósito, una o más de las estaciones base 1000 (1) a 1000 (N) pueden estar enlazadas a una unidad 1100 de control de escena principal, situada a mayor distancia, que coordina diversos conjuntos estaciones base/portables por una persona. La unidad 1100 de control de escena puede incluir una interfaz de red, tal como un concentrador Ethernet (concentrador E-Net) 1110, un ordenador 1120 de estado, una pantalla 1130 y una fuente de alimentación 1140. Cada una de las estaciones base 1000 (1)-1000 (N) tendría también un componente de interfaz de Ethernet para facilitar la comunicación a través de la red 1200. La unidad 1110 de control de escena puede ser operada por un director en

la escena, por ejemplo, cuya responsabilidad es coordinar la actividad con respecto a la detección real o potencial de una sustancia peligrosa.

5 Con relación a las Figuras 4A-4D, en las mismas se describen con detalle las realizaciones de la unidad 100 de mano. En una realización mostrada en la Figura 4A, la unidad 100 de mano puede comprender una carcasa 102 principal y una parte 104 de agarre manual. La carcasa contiene la óptica 120 de recogida y sirve también como un soporte para el láser 110. El láser 110 está montado en la parte inferior de la carcasa 102. Los espejos 112 en ángulo y los elementos 114 ópticos de enfoque dirigen el haz de luz láser para que sea emitido co-linealmente con la referencia de alineación de la óptica 120 de recogida. Hay un medidor 116 de potencia láser que recibe una  
10 pequeña fracción de la luz láser a través de uno de los espejos 112 en ángulo para permitir la supervisión del haz de luz láser transmitido. Los espejos 112 en ángulo pueden girarse o inclinarse para ajustar la trayectoria óptica del haz de luz láser. La carcasa 102 tiene una ventana 108 frontal dimensionada para soportar los elementos ópticos asociados con el láser 110 y la óptica 120 de recogida (telescopio) eliminando, de esta manera, la necesidad de soportes de tipo estrella que interferirían con la detección de la retrodispersión de Raman. La óptica 120 de recogida comprende un espejo 122 primario y un espejo 124 secundario. En esta realización, el espejo 122 primario está fijo y el espejo 124 secundario es móvil a lo largo de un eje óptico o una referencia de alineación óptica del dispositivo. El espejo 124 secundario puede girarse e inclinar también para ajustar la trayectoria óptica para la energía óptica devuelta a través del telescopio 120. La óptica 120 de recogida enfoca cualquier radiación retrodispersada reflejada (por ejemplo, Raman UV) al haz 310 de fibras ópticas que está conectado a la unidad  
15 200 de procesamiento (Figura 2).

En otra realización de la unidad 100 de mano mostrada en la Figura 4B, hay una conexión 118 de brazo articulado conectada a una base de la carcasa 102 que puede girar e inclinar el eje óptico del haz de luz láser. Esto permite  
25 que la fuente de luz láser sea situada en la unidad 200 de procesamiento en lugar de en la unidad 100 de mano. Hay una fibra 311 óptica que suministra el haz de luz láser desde la fuente de UV en la unidad 200 de procesamiento a los elementos 114 ópticos de enfoque en la unidad 100 de mano. Los otros componentes de la unidad 100 de mano mostrada en la Figura 4B pueden tener la misma configuración que los mostrados en la realización de la Figura 4A.

En todavía otra realización de la unidad 100 de mano mostrada en la Figura 4C, se usa una configuración de tranceptor. En este caso, la luz de excitación UV es transmitida a través de la óptica 120 de recogida usando la misma trayectoria que la radiación dispersada recibida. El haz de luz láser UV está acoplado a través de una fibra 311 óptica a los elementos 114 ópticos de enfoque. Al igual que la realización de la Figura 4B, la fuente de luz láser UV reside en la unidad 200 de procesamiento. La óptica 120 de recogida comprende un espejo 122 primario, un espejo 124 secundario, un filtro 128 de corte Raman UV, un espejo 131 y un elemento 133 óptico de enfoque. En esta realización, el espejo 122 primario es móvil y el espejo 124 secundario es fijo. El filtro 128 de corte Raman UV separa el haz de excitación UV transmitido de la radiación dispersada devuelta. La Figura 4C ilustra también el indicador 130 de punto focal que comprende al menos dos diodos 117 láser indicadores de objetivo, separados uno del otro, en el lado de la carcasa 102 y que apuntan hacia el interior para dirigir sus haces respectivos a través de una lente a un espejo 126 dicróico que refleja los haces de luz desde los diodos a una referencia de alineación óptica de la unidad 100 de mano y fuera de la ventana 108 a una superficie con el propósito de ayudar a conseguir la distancia de enfoque apropiada o deseada. La Figura 4C muestra también un interruptor 152 de "hombre muerto" en la empuñadura o mango 104 para deshabilitar la unidad 100 de mano cuando no está en la mano de un usuario.

La Figura 4D muestra una vista lateral de una unidad 100 de mano según todavía otra realización. En lados opuestos de la carcasa 102, los dos diodos 117 de enfoque están posicionados como en las realizaciones anteriores, para ayudar al usuario a mantener manualmente la unidad 100 de mano a la distancia focal apropiada desde la superficie que está siendo interrogada. Los diodos 117 forman un ángulo hacia el interior, uno con respecto al otro, de manera que los haces que emiten se cruzan sobre la superficie en un punto focal de la óptica 120 de recogida a una distancia predeterminada desde la unidad 100 de mano, por ejemplo, de aproximadamente un metro. El punto de intersección corresponde a la distancia de enfoque óptima de la óptica 120 de recogida. Hay grandes mandos 119 giratorios de ajuste de enfoque en el lado del cilindro de la carcasa. Al girar estos mandos giratorios, el espejo 122 primario (para la realización de la Figura 4C) o el espejo 124 secundario (para una realización de la Figura 4B) es desplazado a lo largo del eje óptico del dispositivo y la distancia de enfoque a una distancia de seguridad es modificada en consecuencia. Hay dos interruptores 156 y 158 situados en la parte posterior de la unidad 100 de mano. Para hacer que la unidad 100 de mano sea operativa, estos tres interruptores se accionan en orden. Específicamente, después de que una operación de software en la unidad 200 de procesamiento habilita el sistema, el interruptor 152 de hombre muerto en el mango 104 es presionado primero para cerrar un circuito operativo. A continuación, se acciona el interruptor 156 en la parte posterior de la unidad

100 de mano para activar los diodos 117 de enfoque. Por último, se acciona el interruptor 158 para activar el láser 110 o abrir un obturador físico en el dispositivo 100 que permite que la luz láser sea emitida. Pueden proporcionarse una o más luces 154 (por ejemplo, LEDs) en la parte posterior de la unidad 100 para indicar si la unidad está o no encendida y operativa.

5 Tal como se ha descrito anteriormente, el haz 310 de fibras de transmisión UV acopla, de manera eficiente, la energía óptica devuelta al espectrógrafo 210. El haz 310 de fibras puede comprender un haz redondo de múltiples fibras que es posicionado en el plano focal de la óptica 120 de recogida y, en el otro extremo del haz, las fibras individuales están configuradas para formar una única fila que se usa como la rendija de entrada del espectrógrafo 210. El espectrógrafo 210 proporciona imágenes de la rendija de entrada a un detector de luz pixelado de la cámara 220 ICCD después de que la luz es dispersada espacialmente por una rejilla del espectrógrafo 21.

10 El detector de luz pixelado de la cámara 220 ICCD situado en la salida del espectrógrafo 210 detecta la energía de retorno de Raman. Pueden acumularse varios retornos de Raman con el propósito de mejorar la relación señal a ruido (SNR) de un marco de medición determinado. Una vez acumulado el número seleccionado de retornos en la cámara 220 ICCD u otro dispositivo detector pixelado para proporcionar un único marco de medición, cada columna vertical de píxeles es agrupada para mejorar adicionalmente la SNR. La matriz resultante de valores digitales extraídos desde la cámara 220 ICCD contiene la firma de Raman usada por la unidad 200 de procesamiento para realizar una detección e identificación química. De esta manera, el detector pixelado (por ejemplo, ICCD 220) genera un marco de medición basado en un retorno o una acumulación de una pluralidad de retornos de radiación dispersada desde la superficie

15 Para permitir diversos modos de funcionamiento del sistema 10 de detección, el número de retornos de Raman acumulados en cada marco de medición es variable. Por ejemplo, durante un modo de búsqueda rápida, una superficie es explorada rápidamente y las altas tasas de marcos por segundo (es decir, menos acumulaciones de retornos Raman por cada marco) son importantes para mantener una alta probabilidad de detección. A pesar de la reducción asociada de SNR para cada marco, la probabilidad de detección se mejora ya que cada marco está compuesto de exposiciones totales breves, lo que garantiza una mayor probabilidad de capturar una firma de Raman de alta pureza (baja congestión espectral) desde un compuesto objetivo que está siendo buscado durante la exploración. Los marcos de exposición corta permiten que el sistema 10 de detección cumpla con la secuencia rápida de una gran diversidad de composiciones de superficie presentadas al detector, como resultado de una exploración rápida de la superficie. Por el contrario, durante un modo de funcionamiento de confirmación (denominado también modo de identificación), el detector se mantiene fijo sobre la superficie interrogada (es decir, la firma Raman tiene mayor pureza ya que se presenta una menor diversidad al detector) y las bajas tasas de marcos por segundo (es decir, más acumulaciones de retornos de Raman por marco) son importantes para proporcionar una alta especificidad de identificación mediante la mejora de la SNR de la firma Raman. Durante un modo de funcionamiento de confirmación, puede producir una saturación del detector. En este caso, puede proporcionarse una función de auto-ganancia para cada marco deteniendo la acumulación antes de llegar a la saturación.

20 El sistema 10 puede explorar de manera continua una superficie para detectar parches de contaminación. En contraste con el detector de tipo "apuntar y disparar", este sistema 10 de la presente invención permite exploraciones superficiales rápidas que van desde una exploración estática hasta una exploración a una velocidad de decenas de cm por segundo en función del escenario. Esto es posible debido a que el sistema 10 puede generar marcos de Raman de buena calidad a una tasa de 10 a 25 Hz en el modo de búsqueda, mientras mantiene un rango o distancia de seguridad práctico (es decir, 1 m). Son posibles tasas más altas de marcos por segundo pero, en última instancia, la reducción asociada en la SNR limita el número de marcos por segundo práctico. La capacidad de generar estas altas tasas de marcos por segundo también es fundamental para el concepto de detector de "vídeo Raman", descrito anteriormente. En términos de cobertura de velocidad de exploración, el sistema de la presente invención puede explorar una superficie a una velocidad de hasta decenas de centímetros por segundo. El alto procesamiento de datos asociado con el modo de búsqueda es compatible con las técnicas de exploración adaptativa que usan los resultados en tiempo real para dirigir y optimizar la estrategia de búsqueda. En este caso, puede ser deseable aumentar la probabilidad de detección del detector (en un modo de análisis de fidelidad más baja) a costa de aumentar la probabilidad de falsas alarmas. En este modo de fidelidad más baja, las falsas alarmas tienen consecuencias poco importantes, debido a que sólo desencadenan un escrutinio más estricto que solicita al usuario pasar al modo de identificación. El modo de identificación ofrece una baja probabilidad de falsas alarmas, pero requiere que el usuario detenga la exploración y permanezca en la zona sospechosa. Esta menor probabilidad de falsas alarmas se hace posible mediante la conjunción de dos factores: (1) tal como se ha indicado anteriormente, la permanencia en una zona y las tasas más bajas de marcos por segundo resultan en firmas de Raman de alta pureza con SNR alta, mejorando la capacidad del algoritmo para realizar una correcta identificación, y (2) el número de marcos por segundo más bajo asociado con el modo de

identificación permite que la unidad 200 de procesamiento use algoritmos computacionalmente más intensivos y sofisticados y bibliotecas de espectros Raman más completas para resultar en una coincidencia positiva.

5 La Figura 5 muestra un ejemplo de datos Raman para un único "marco" captado a una frecuencia de repetición de 25 Hz desde un rango de distancia de seguridad de 1 m. Esta figura ilustra la calidad de los datos obtenidos por la configuración de detector con el propósito de permitir el concepto de "vídeo de Raman", descrito anteriormente. La Figura 5 ilustra también que el sistema 10 puede hacerse funcionar para detectar e identificar sustancias con un alto procesamiento de datos de una manera continua e ininterrumpida.

10 La Figura 6 muestra la unidad 200 de procesamiento en la forma de un carro que comprende una carcasa 202, una o más ruedas 205 fijadas a la carcasa 202 y un mango 207 para permitir a una persona mover la unidad 200 de procesamiento. La carcasa 202 puede comprender, además, patas 208 que se usan para mantener la unidad 200 de procesamiento estable. La carcasa 202 comprende, además, un receptáculo 209 para almacenar la unidad 100 de mano cuando no está siendo usada. Hay soportes 212 para envolver el cable 300 alrededor de los mismos  
15 cuando el sistema no está siendo usado, o para permitir una holgura extra en el cable 300 cuando el sistema está siendo usado.

Con referencia a la Figura 6, se describirá el funcionamiento de una realización del sistema 10. El sistema 10 puede ser usado por una única persona o por dos personas. Un despliegue de dos personas implica una primera  
20 persona que atiende a la unidad 200 de procesamiento y una segunda persona que usa la unidad 100 de mano. La persona que opera la unidad 100 de mano se aproxima a una superficie 400 sobre la que hay una sustancia 410 sólida o líquida a ser interrogada. Esta persona mueve la unidad 100 de mano sobre la superficie 400 y usa los haces emitidos por los diodos 117 para enfocar, moviendo la unidad 100 de mano hacia o lejos de la superficie 400, de manera que los haces de los diodos 117 se cruzan o casi se cruzan sobre la superficie 400 en un punto  
25 focal de la óptica 120 de recogida. Usando una distancia focal de aproximadamente un metro, la profundidad de campo resultante del telescopio de recogida para la recogida del 70% es del orden de aproximadamente 7,1 cm (dos pulgadas) en cualquier dirección del punto focal, de manera que el haz de luz de interrogación desde el láser en la unidad 100 de mano puede ser movido (exploración) a través de la superficie fácilmente sin desenfocarse. Una vez que el usuario ha posicionado la unidad 100 de mano enfocada sobre la superficie 400, se activa el láser y la energía óptica devuelta es recogida por la unidad 100 de mano y es acoplada a través del haz de fibras ópticas en el cable 300 umbilical a la unidad 200 de procesamiento. La unidad 200 de procesamiento analiza la energía óptica devuelta y genera datos de visualización que describen la naturaleza de la sustancia detectada. Además, la  
30 unidad 200 de procesamiento puede generar una señal de disparo acoplada al dispositivo de alarma en una o ambas de entre la unidad 200 de procesamiento y la unidad 100 de mano cuando la sustancia detectada es de tipo dañino para activar una notificación de alerta audible y/o visual para los usuarios. Esto alertará a los usuarios para que tengan mucho cuidado al llevar a cabo una investigación adicional, y/o para que abandonen inmediatamente la zona. Puede haber diferentes niveles de alarmas generadas por la unidad 200 de procesamiento en función del grado de riesgo asociado con la sustancia detectada.

40 Como alternativa a la configuración mostrada en la Figura 6, la unidad 100 de mano puede estar fijada a un extremo distal de un dispositivo 500 de brazo mecánico, tal como se muestra en la Figura 4B. El dispositivo 118 de brazo comprende un extremo proximal y un extremo distal y puede incorporar un acoplamiento óptico de luz de espacio libre entre la primera unidad y la segunda unidad. El extremo proximal del dispositivo 118 de brazo se fija a la parte superior de la unidad 200 de procesamiento en la forma mostrada en la Figura 6, y la unidad 100 de  
45 mano se fija al extremo distal del dispositivo 118 de brazo. El dispositivo 500 de brazo mecánico puede ser controlado, de manera remota, desde una la unidad 200 de procesamiento para dirigir la unidad 100 de mano hacia una superficie deseada para interrogar esa superficie.

Con referencia a la Figura 7, ahora se describe el funcionamiento del conjunto 600 portable por una persona y la  
50 estación 1000 base descrita anteriormente en conexión con la Figura 3. La unidad 800 portable en el cuerpo está contenida dentro de un aparato o carcasa portátil, tal como una mochila. De manera alternativa, el aparato 800 portátil puede adoptar otras formas, tales como portable en la cabeza, portable en el brazo, portable en la cintura (riñonera), etc. Un cable 900 umbilical conecta la unidad 700 de mano a la unidad 800 portátil. El conjunto 600 portable por una persona tiene cierta capacidad de procesamiento y se comunica a través de un enlace, tal como  
55 un enlace inalámbrico, con la estación 1000 base remota donde puede realizarse un procesamiento más extenso. En general, para reducir el peso y el volumen del equipo que un usuario debe transportar, la unidad 800 portable en el cuerpo puede incluir un espectrógrafo para procesar las señales de energía óptica devuelta, así como cierta capacidad de procesamiento, pero el procesamiento de datos completo se realiza en la estación 1000 base remota. La unidad 800 portable puede estar diseñada para ser ligera, tal como con un peso menor de aproximadamente 20  
60 kg (45 libras).

La Figura 8 ilustra un ejemplo del tipo de escenario para el cual puede usarse el sistema mostrado en la Figura 7. Se determina la existencia de un posible riesgo o contaminación en un sitio (interior o exterior). Un operario carga con el conjunto 600 portable y una o más estaciones base 1000 (1) 1000 (N) es posicionada/son posicionadas a una distancia segura del posible peligro, por ejemplo, fuera de un edificio contaminado o en un piso diferente. Los operarios, que pueden usar equipos de protección y el conjunto 600 portable por una persona se desplazan la escena sospechosa de estar contaminada con sustancias nocivas. Puede haber múltiples personas desplegadas con conjuntos 600 portables por una persona. Cada conjunto 600 portable por una persona se comunica con una o más de las estaciones base 1000 (1) a 1000 (N). La unidad 700 de mano es usada para interrogar la superficie sospechosa a una distancia de seguridad de al menos aproximadamente 1 metro sin entrar en contacto con la superficie u objeto sospechoso. El conjunto 600 portable por una persona transmite datos de espectro relativos a la superficie interrogada a la estación base para su procesamiento. Si la estación base 1000 (i) (o conjunto 600 portable por una persona) detecta una contaminación de la superficie, la sustancia es identificada y la estación base puede transmitir una señal al conjunto 600 portable por una persona en un tiempo relativamente corto (por ejemplo, dentro de unos pocos segundos o menos) con un grado relativamente alto de confianza. El operario puede proceder a confeccionar un mapa de la sustancia peligrosa detectada, aprovechando la alta flexibilidad de la línea de visión. El sistema de detección e identificación coordinada de riesgos representado en las Figuras 7 y 8 permite que una estación de control central (escena) coordine un barrido de detección de superficies en una zona de interés.

La Figura 8 muestra también las líneas de elementos gráficos para indicar qué partes de la escena han sido ya exploradas en busca de sustancias. Por ejemplo, sobre la superficie 1200 horizontal (por ejemplo, el suelo), las líneas 1210 de elementos gráficos indican qué partes de la superficie 1200 han sido exploradas ya por el detector. Un parche de detección de sustancias peligrosas se muestra con el número de referencia 1220. De manera similar, en una superficie 1300 vertical (por ejemplo, una pared), las líneas 1310 de elementos gráficos se dibujan para indicar qué partes de la superficie 1300 vertical han sido exploradas ya por el detector.

Otra plataforma física que puede ser útil para el despliegue de la tecnología de detección a una distancia de seguridad es un vehículo terrestre tripulado o un vehículo terrestre no tripulado móvil. La característica y las funciones del conjunto 600 portable por una persona pueden ser integradas o montadas en cualquier tipo de vehículo. La ventaja del despliegue de la tecnología en un vehículo terrestre móvil no tripulado es que el vehículo puede capturar datos de espectro para su análisis por el vehículo o por una estación base remota de manera que no es necesario que una persona se acerque a una sustancia potencialmente peligrosa.

El sistema y los métodos descritos en la presente memoria pueden materializarse en otras formas específicas sin apartarse del alcance de la invención, según se define en las reivindicaciones. Por lo tanto, las realizaciones anteriores deben ser consideradas en todos los aspectos como ilustrativas y no pretenden ser limitativas.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un sistema (10) de detección e identificación de riesgos, a una distancia de seguridad, capaz de detectar e identificar contaminantes sobre una superficie, que comprende:
- 10 a. una primera unidad (100) que emite un haz de luz monocromática, dirige el haz sobre una superficie que está situada a una distancia desde la primera unidad y captura la radiación dispersada desde el haz desde un punto focal sobre la superficie conforme el haz desplazado a una velocidad de exploración variable sobre la superficie;
- 15 b. una segunda unidad (200) que comprende un espectrógrafo (210) que convierte dicha radiación dispersada en datos espectrales, y un detector pixelado para acumular los datos a un número de marcos de medición por segundo seleccionado según la velocidad a la que el haz es desplazado sobre la superficie y un procesador (240) que analiza los datos espectrales con el propósito de detectar un contaminante sobre la superficie; y
- c. un enlace (300) entre la primera unidad y la segunda unidad de unidad para acoplar la radiación dispersada desde la primera unidad a la segunda unidad
- 20 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que la primera unidad (100) es un dispositivo de mano portable que comprende una fuente (110) de luz monocromática que produce el haz de luz monocromática.
3. El sistema de la reivindicación 2, en el que la fuente de luz monocromática es un láser (110) ultravioleta (UV) alimentado por batería.
- 25 4. El sistema de la reivindicación 1, en el que la segunda unidad (200) comprende una fuente de luz monocromática que genera el haz de luz monocromática, y en el que dicho enlace (300) comprende una fibra óptica que suministra el haz a la primera unidad (100) desde la cual el haz es emitido y es dirigido hacia la superficie.
- 30 5. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicha primera unidad (100) comprende un subsistema (120) óptico de recogida que recoge la radiación dispersada desde el punto focal sobre la superficie para acoplarla a través de dicho enlace (300) a dicha segunda unidad.
- 35 6. El sistema de la reivindicación 5, en el que dicha primera unidad (100) comprende un indicador (130) de objetivo visible que indica el punto focal del subsistema de óptica de recogida y la ubicación del haz sobre la superficie.
7. El sistema de la reivindicación 6, en el que el indicador de objetivo visible comprende al menos dos diodos (117) láser montados en una carcasa de dicha primera unidad (100) y posicionados de manera que sus haces se crucen sobre la superficie en el punto focal de la óptica de recogida.
- 40 8. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicha fuente (110) de luz monocromática genera dicho haz de luz monocromática en el espectro ultravioleta (UV) para inducir a las sustancias sobre dicha superficie a emitir radiación Raman dispersada desde dicha superficie.
- 45 9. El sistema de la reivindicación 8, en el que dicho procesador (240) compara los datos espectrales con los datos espectrales de sustancias conocidas para determinar si la sustancia sobre la superficie es o no un contaminante conocido.
- 50 10. El sistema de la reivindicación 1, en el que el haz emitido desde la primera unidad (100) es desplazado a través de la superficie a una velocidad de exploración de hasta decenas de centímetros por segundo.
- 55 11. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicha fuente (110) de luz monocromática genera el haz de luz monocromática con el propósito de iluminar un punto en el punto focal sobre la superficie que es de menos de un milímetro de diámetro.
12. El sistema de la reivindicación 10, en el que dicha segunda unidad (200) comprende además un detector pixelado para generar datos de detector indicativos de los componentes espectrales de la radiación dispersada, en el que el procesador está configurado para formar un marco de medición que comprende los datos de detección de un retorno o una acumulación de una pluralidad de retornos de la radiación dispersada desde la superficie.
- 60 13. El sistema de la reivindicación 12, en el que dicha segunda unidad (200) genera marcos de medición a una velocidad de más de 10 marcos de medición por segundo.

14. El sistema de la reivindicación 12, en el que el procesador (240) ajusta la velocidad de datos ajustando un número de retornos de radiación dispersada acumulados durante el marco de medición.
- 5 15. El sistema de la reivindicación 1, en el que el procesador (240) controla la segunda unidad para operar en uno de entre un primer modo y un segundo modo de funcionamiento, en el que en el primer modo, el procesador acumula un primer número de retornos de radiación dispersada durante el marco de medición para una exploración rápida de la superficie y un análisis de menor fidelidad y, en el segundo modo, el procesador acumula un segundo número de retornos de radiación dispersada mayor que el primer número de retornos, para el marco de medición para una exploración menos rápida de la superficie y un análisis de mayor fidelidad.
- 10 16. El sistema de la reivindicación 5, en el que el subsistema de óptica de recogida comprende uno o más elementos ópticos que son móviles para ajustar su punto focal.
- 15 17. Un método de detección e identificación de contaminantes sobre una superficie usando un sistema (10) de detección e identificación de sustancias peligrosas, a una distancia de seguridad, en el que dicho método comprende las etapas de:
- 20 a. con una primera unidad (100), emitir un haz de luz monocromática, dirigir el haz a una superficie situada a una distancia desde la primera unidad y capturar la radiación dispersada desde el haz desde un punto focal sobre la superficie conforme el haz es desplazado a una velocidad de exploración variable sobre la superficie;
- 25 b. con una segunda unidad (200), que comprende un espectrógrafo (210), convertir la radiación dispersada a datos espectrales, un detector pixelado para acumular los datos a un número de marcos de medición por segundo seleccionado según la velocidad a la que el haz es desplazado sobre la superficie, y un procesador (240) que analiza los datos espectrales con el propósito de detectar un contaminante sobre la superficie; y
- c. acoplar la radiación dispersada desde la primera unidad a la segunda unidad usando un enlace (300) entre la primera unidad y la segunda unidad.

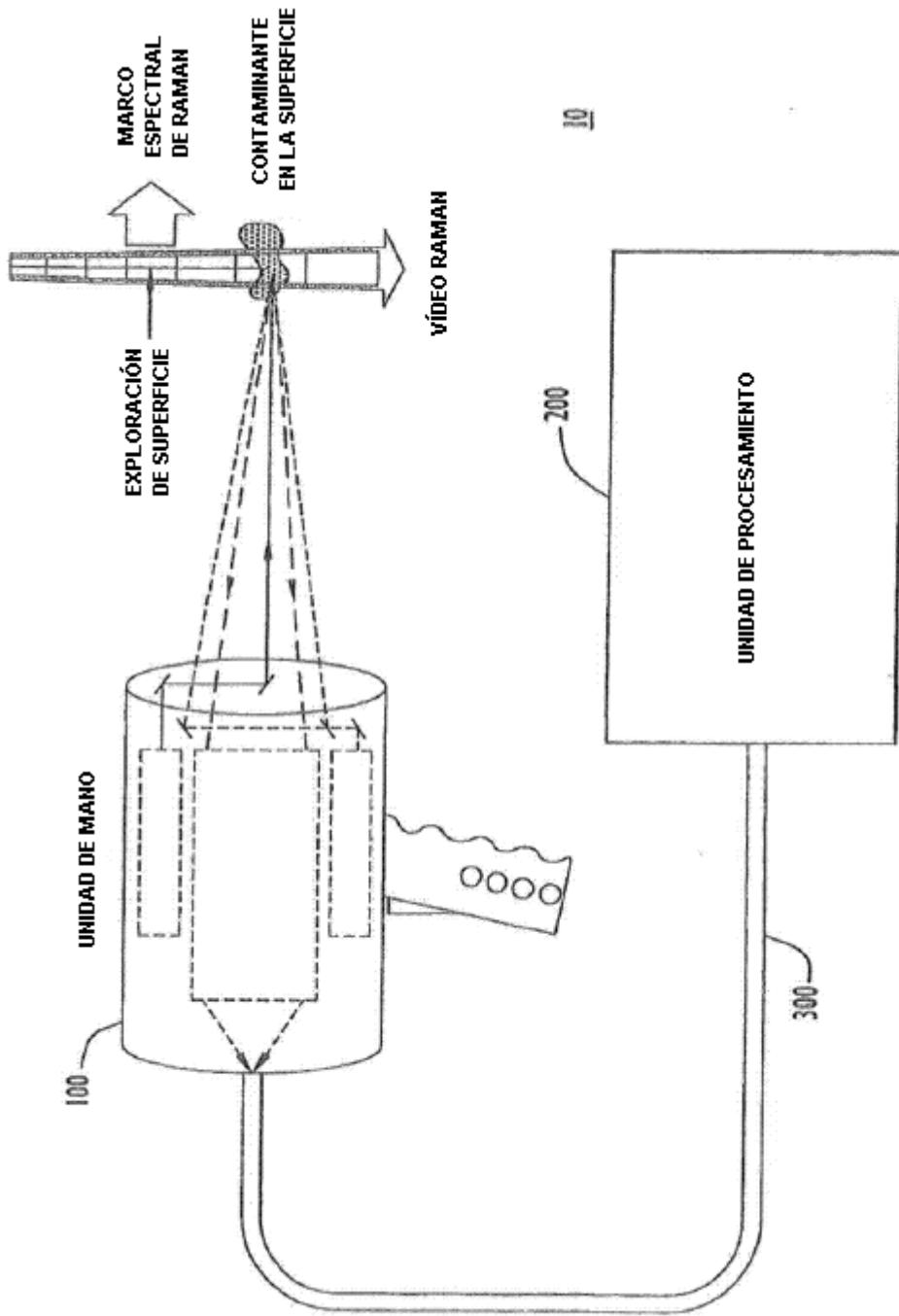


FIG. I

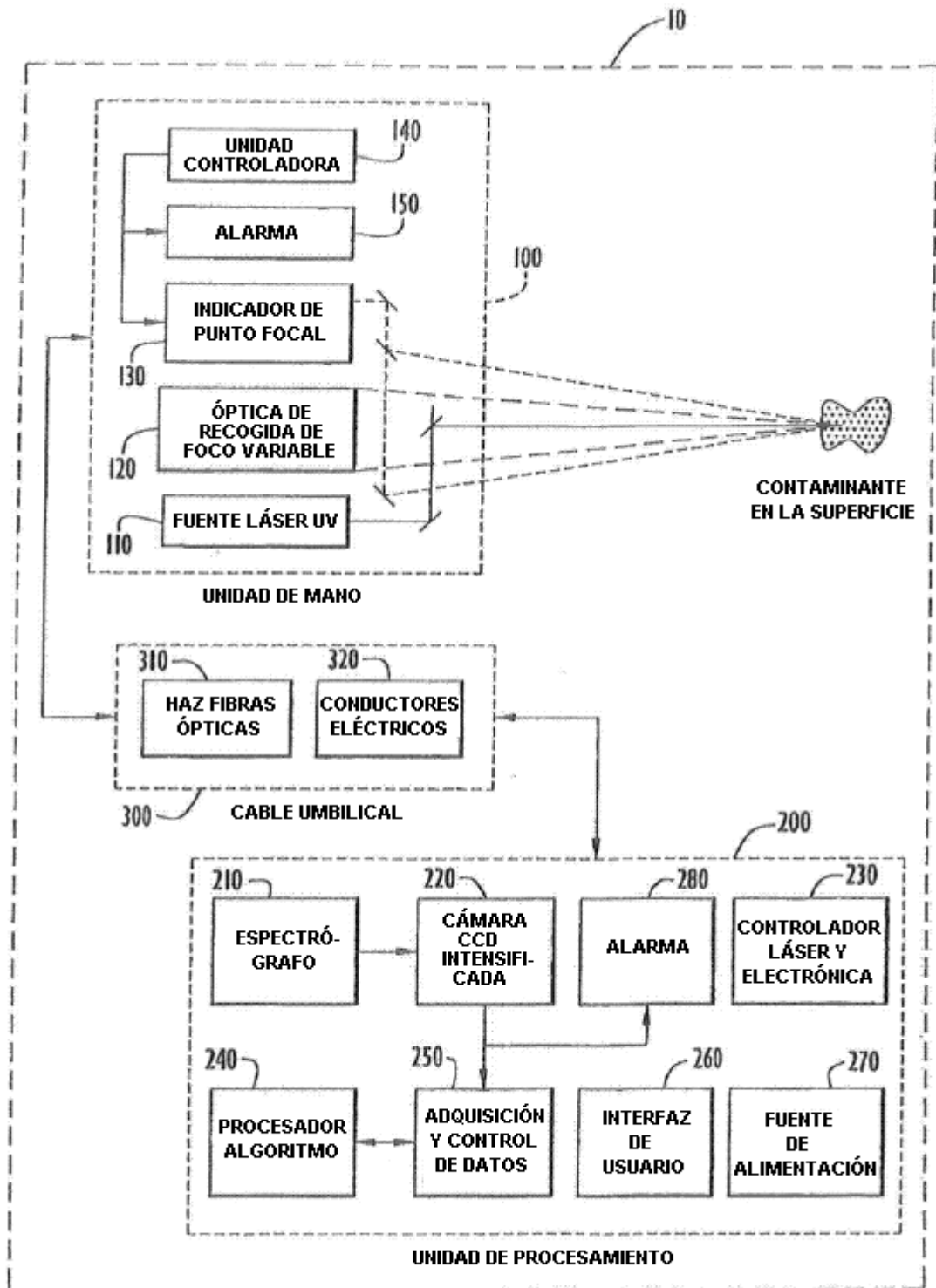
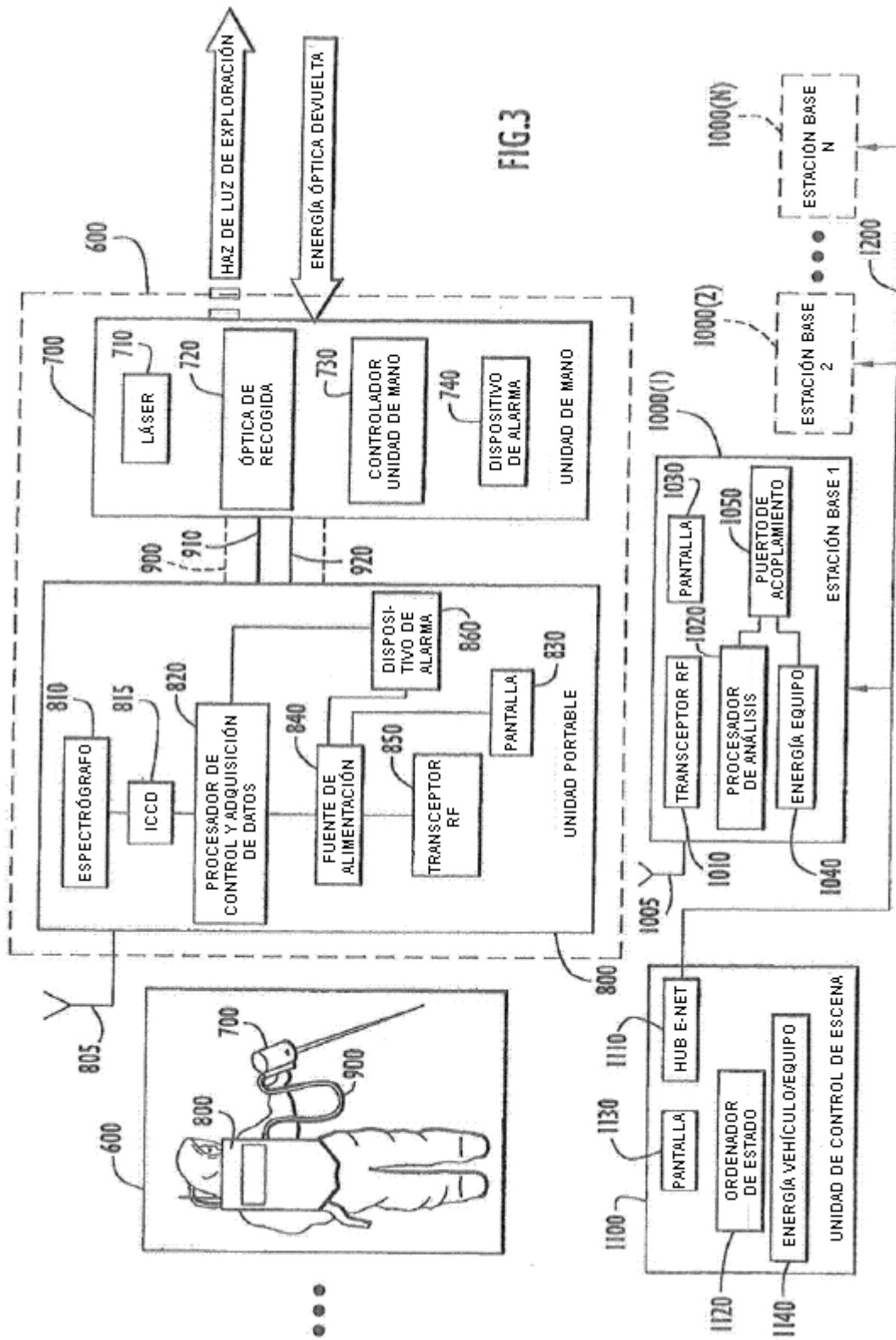


FIG.2



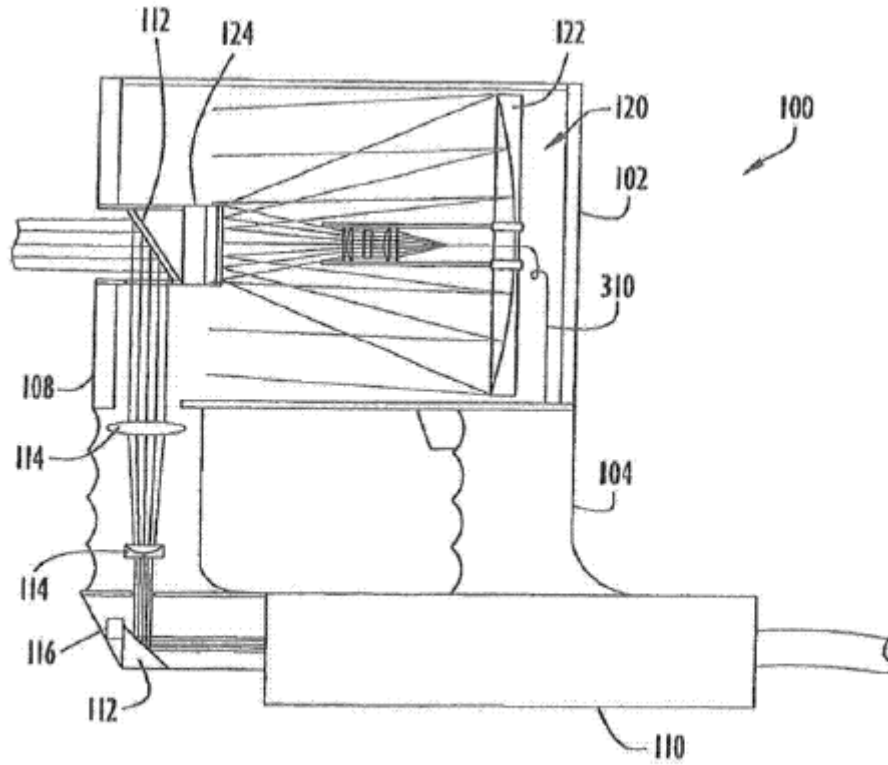


FIG.4A

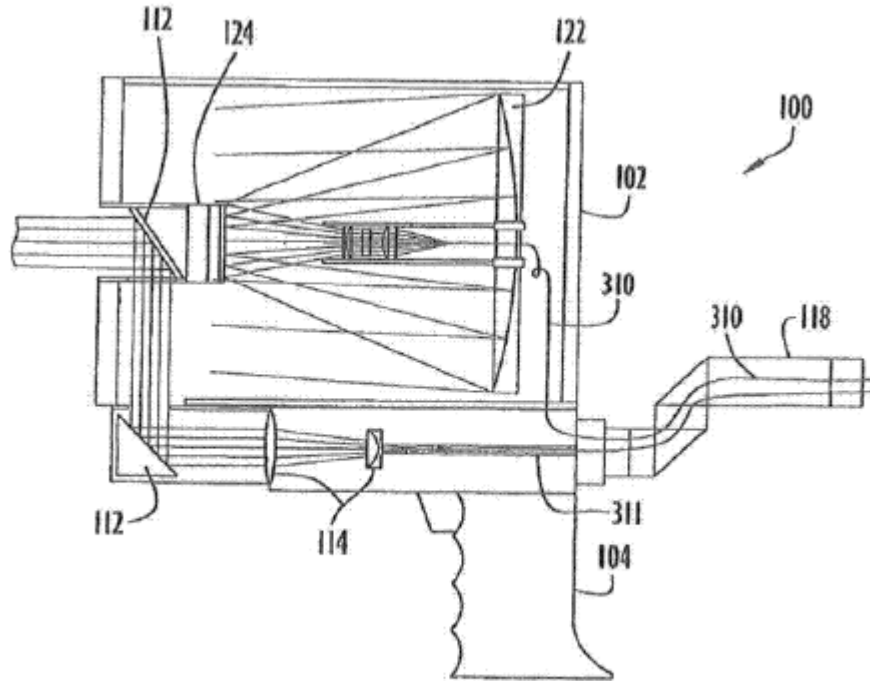


FIG.4B

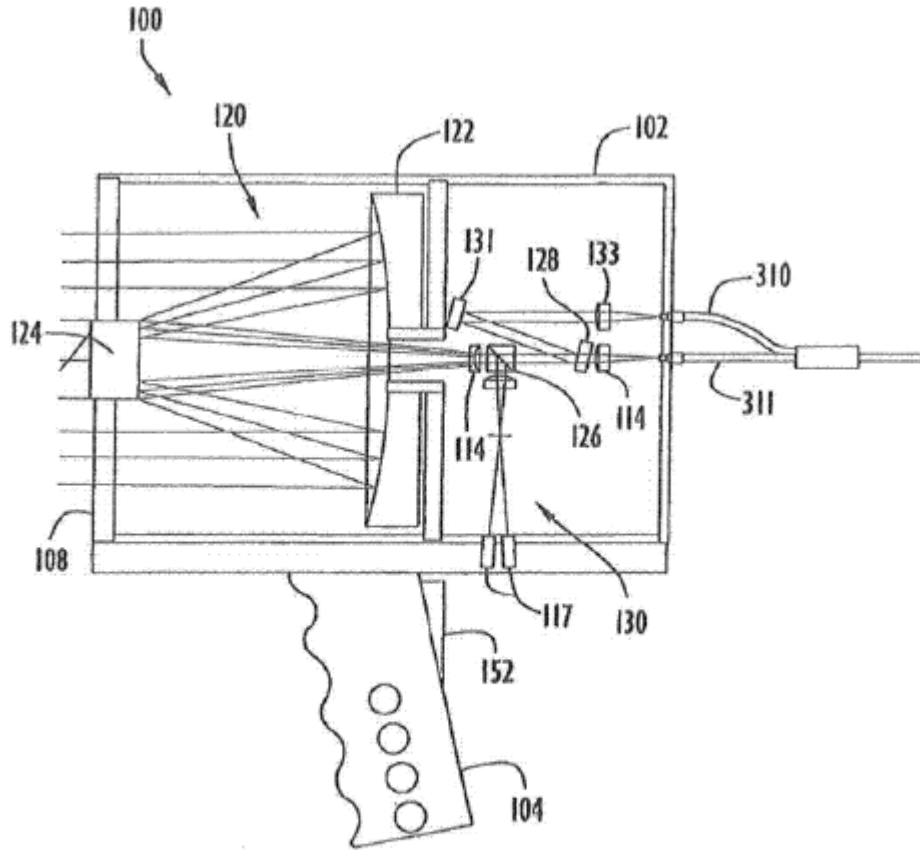


FIG.4C

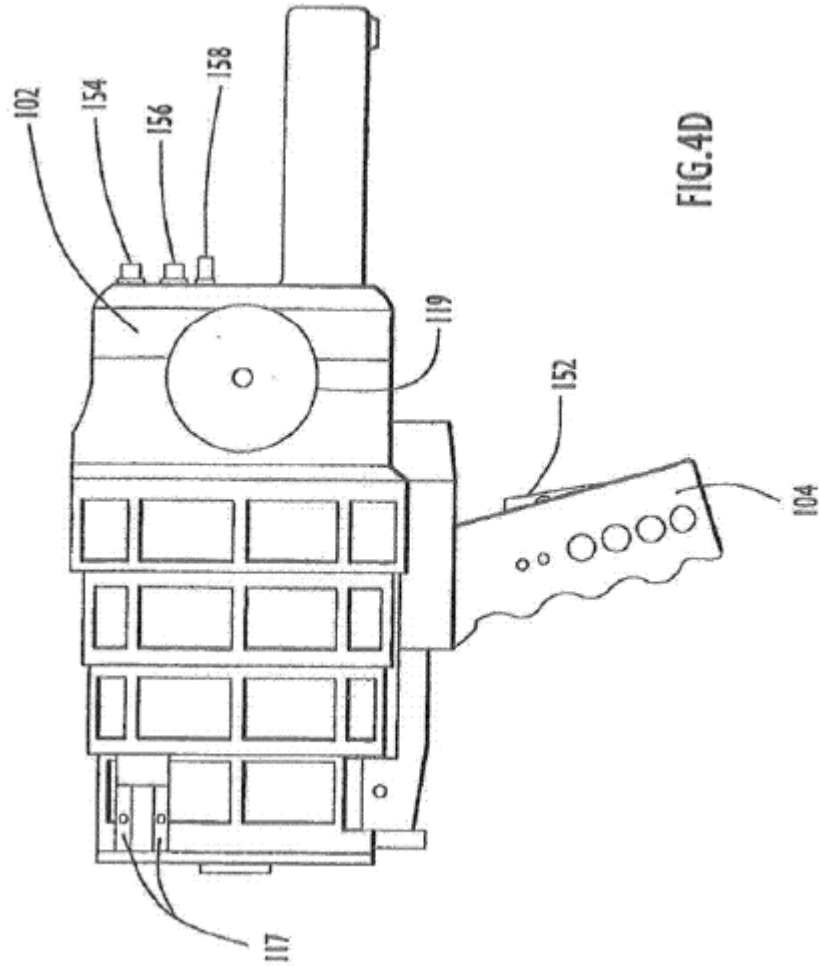


FIG. 4D

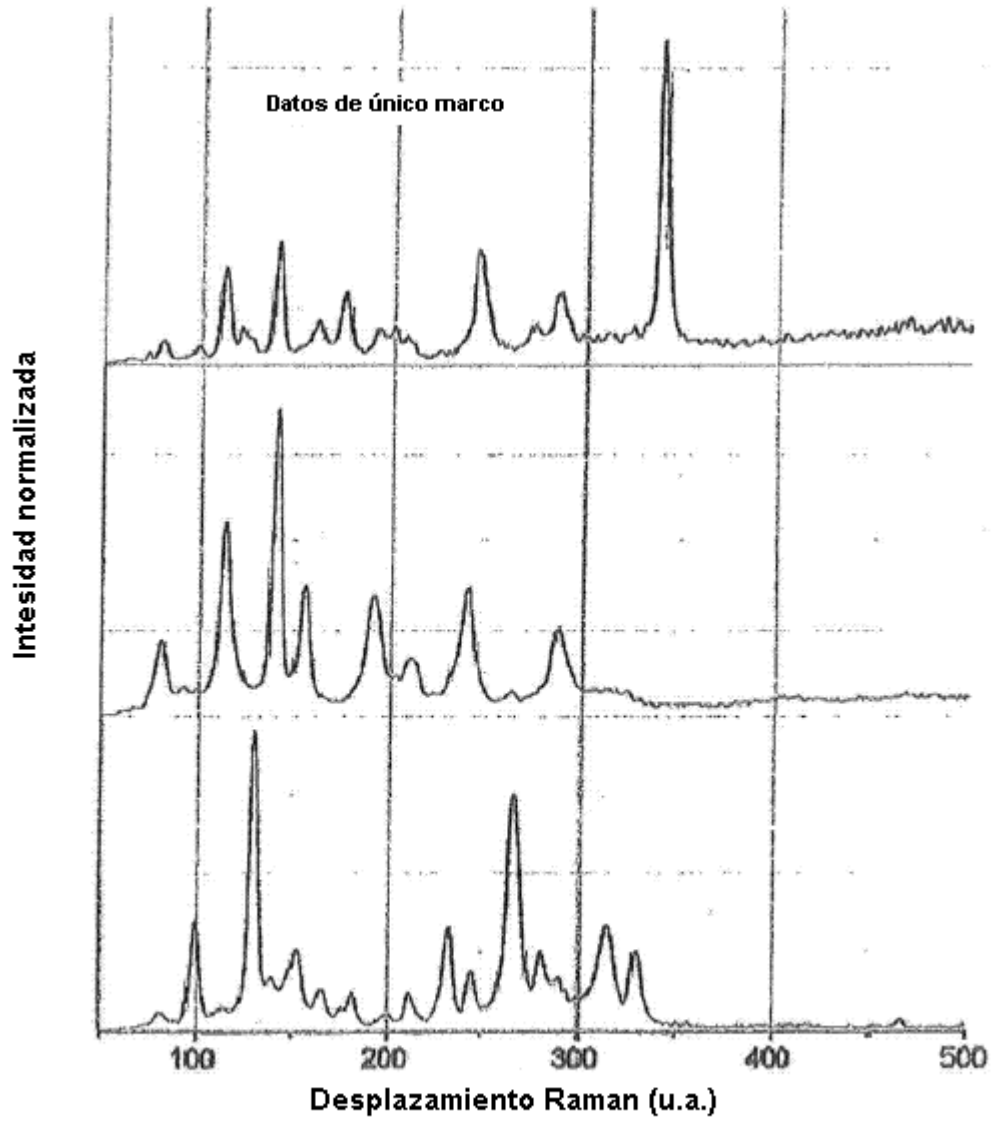


FIG.5

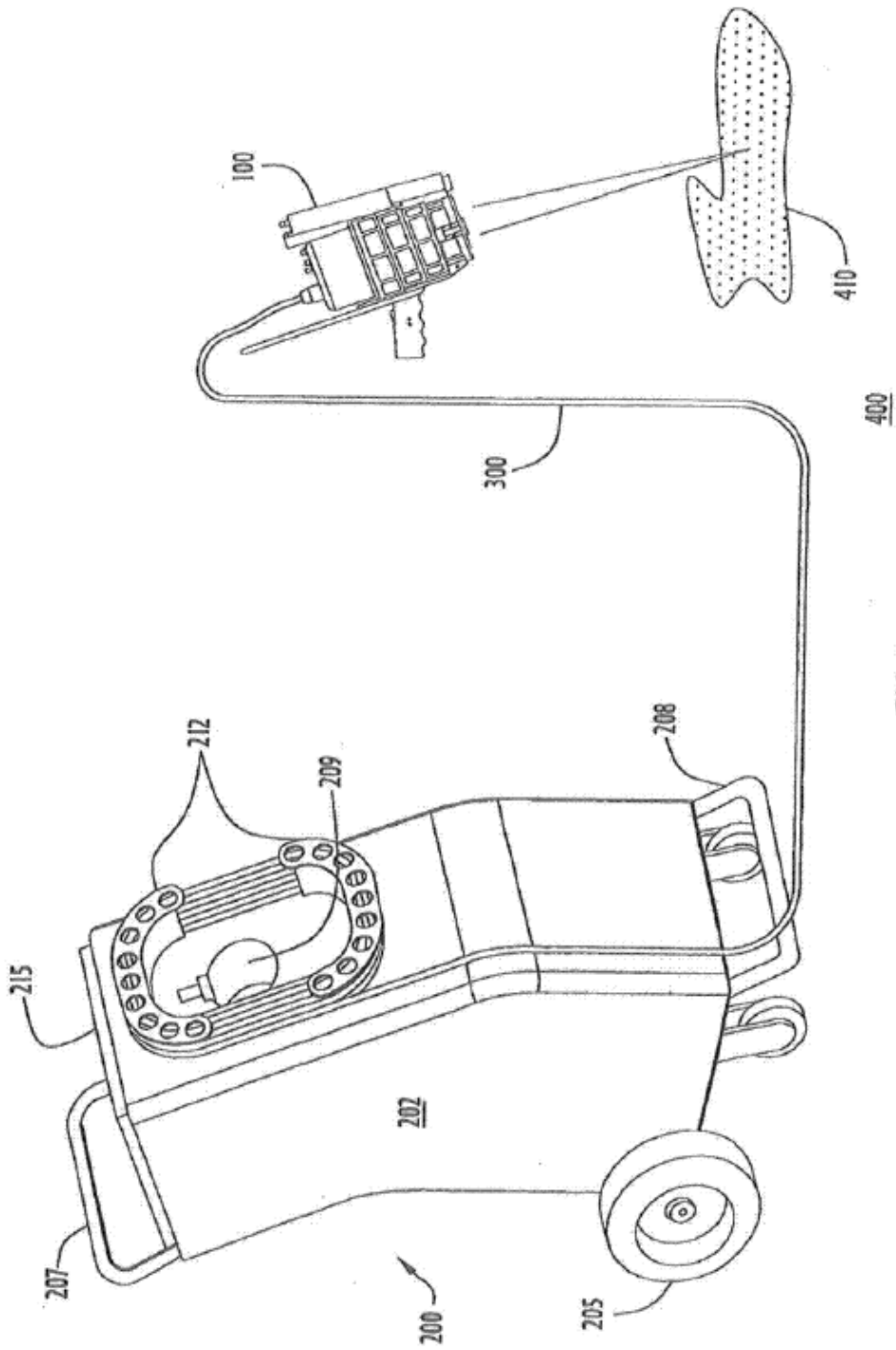
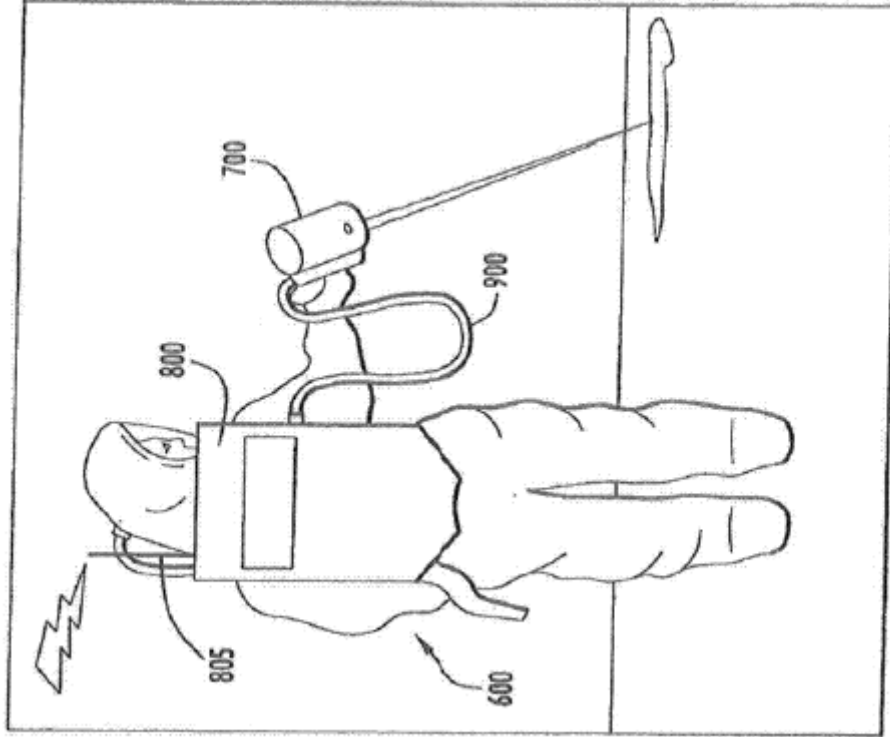
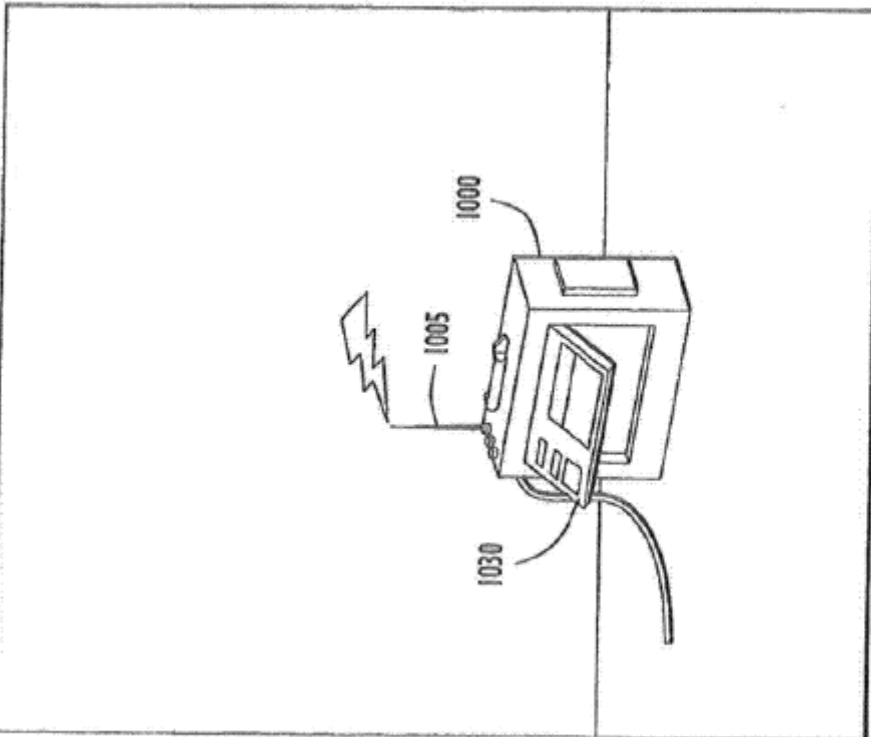


FIG. 6



UBICACIÓN 2



UBICACIÓN 1

FIG.7

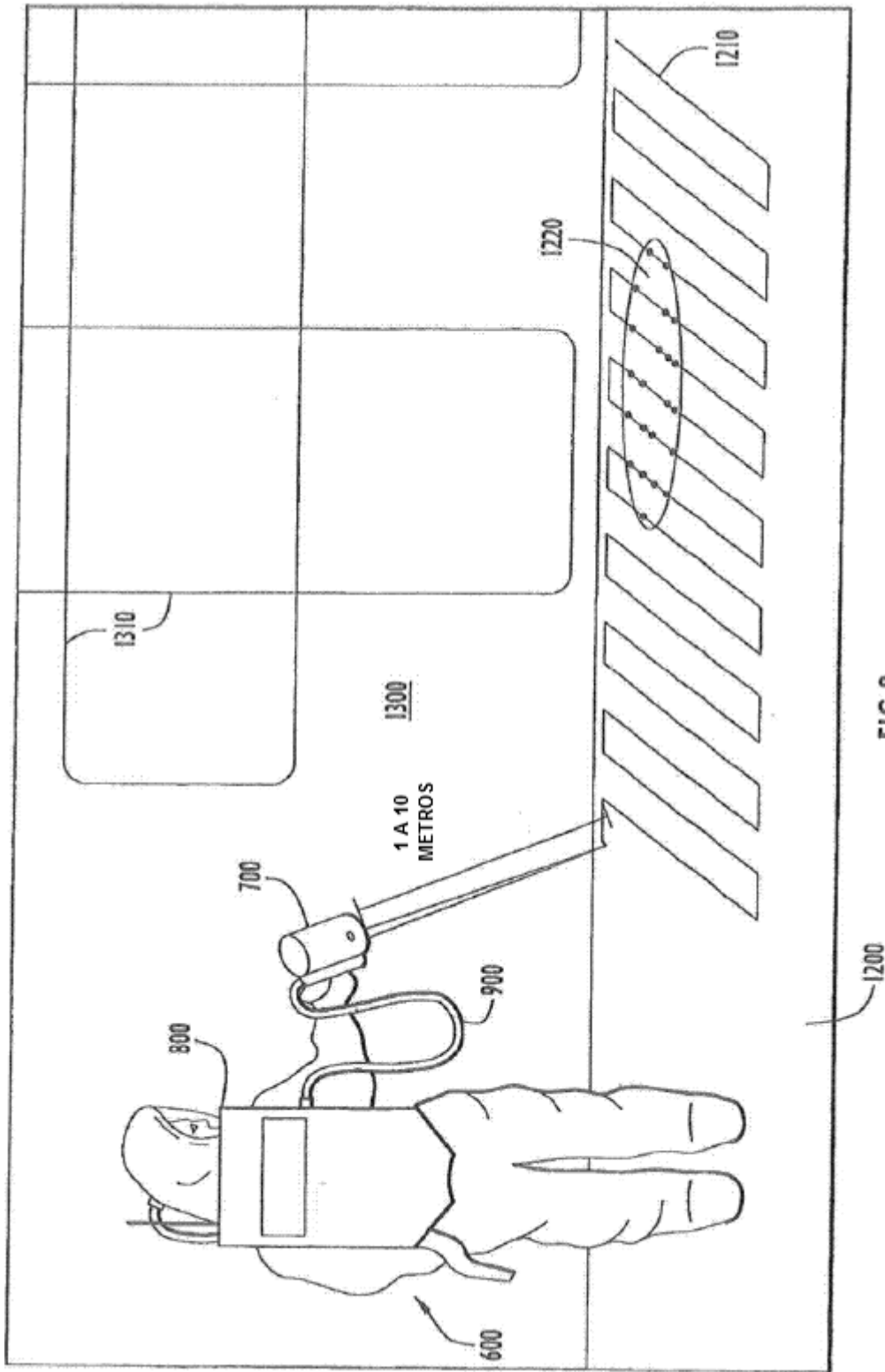


FIG. 8