

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 107**

51 Int. Cl.:

G01N 21/65 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2008 E 08167370 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.10.2012 EP 2053384**

54 Título: **Sistema y método de espectroscopia Raman no tripulado a distancia**

30 Prioridad:

23.09.2008 US 235893
24.10.2007 US 982306 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.03.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

REZAC, JEROMY P;
LAVALLEY, JEREMY PAUL;
HIGDON, NOAH SCOTT y
MCKECHNIE, THOMAS STUART

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 397 107 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y método de espectroscopia Raman no tripulado a distancia.

Campo de la invención

5 La presente invención está relacionada con espectroscopia Raman, y más particularmente con sistemas y métodos para la integración de funcionalidad de espectroscopia Raman con un vehículo terrestre no tripulado, tal como un robot.

Antecedentes de la invención

10 El peligro de la exposición a agentes químicos o biológicos puede ser grave. Ya sea el resultado de una liberación involuntaria, a modo de, por ejemplo, un accidente, o una entrega intencionada, es deseable identificar de forma rápida y precisa (1) el tipo de agente que ha sido liberado y (2) la zona precisa de contaminación. La detección precoz y precisa de estas sustancias peligrosas puede ser un factor significativo a la hora de reducir posibles víctimas y limitar la propagación adicional del agente, por ejemplo, por el viento, contacto humano y animal, etc.

15 En los últimos años, ha habido un creciente interés por el desarrollo y la implementación de la tecnología de sensores nucleares, biológicos y químicos (NBC) para identificar rápidamente sustancias, contaminantes y agentes desconocidos, incluso en concentraciones muy bajas. Las tecnologías anteriores diseñadas para medir la contaminación química depositada en una superficie utilizan vehículos y equipos asociados de prueba que recuperaban una muestra física de la sustancia contaminante y, a continuación, utilizaban un proceso extremadamente largo y engorroso basado en un sistema mecánico con ruedas de muestreo para probar los agentes químicos.

20 En vista de la complejidad de tales soluciones, se deseaban nuevas tecnologías más simples. Una tecnología emergente en respuesta a este deseo se conoce, en general, como "detección apartada de la superficie", y se refiere a una categoría de tecnologías que permiten detectar una sustancia sin tener que entrar en contacto físicamente con la sustancia. El objetivo de estos sistemas de detección es el de proporcionar la capacidad de detectar, identificar, localizar, cuantificar, advertir e informar de amenazas químicas y biológicas y, por lo tanto, dar a las fuerzas militares o al personal civil una alerta suficientemente temprana para evitar una contaminación (adicional).

25 Una de las tecnologías que permite la detección apartada de la superficie es la espectrometría Raman. La espectrometría Raman es una técnica que se utiliza para caracterizar materiales y posteriormente para identificar este tipo de material. Normalmente, un transmisor láser sirve como una fuente de luz espectralmente estrecha con alta irradiancia. El láser ilumina una sustancia conocida o desconocida, tal como compuestos químicos, agentes biológicos, entre otros. Una parte de la luz incidente es dispersada según Raman por la sustancia. Esta luz se dispersa en todas direcciones espaciales y también es desplazada espectralmente en distintas longitudes de onda discretas. Estos desplazamientos de longitud de onda corresponden a energías vibratorias únicas asociadas con los enlaces moleculares de la sustancia.

35 En los sistemas convencionales de espectroscopia Raman, la luz dispersada según Raman es captada por un telescopio y es acoplada en un sistema óptico dispersivo. El telescopio enfoca la luz captada sobre, por ejemplo, un manojo de fibras ópticas. En el extremo opuesto del manojo de fibras, las fibras individuales se orientan linealmente para formar una hendidura de entrada para un espectrógrafo de rejilla. Una distribución de detectores electro-ópticos registra el espectro óptico de la luz dispersada según Raman. Este espectro sirve como una "huella digital" de la sustancia conocida o desconocida. Un ordenador de análisis almacena la "huella digital" junto con información que identifica la sustancia conocida, o más a menudo, emplea algoritmos de coincidencia de patrones para identificar la sustancia desconocida a partir de una biblioteca de espectros de sustancias analizadas anteriormente y "huellas digitales".

45 Los sistemas de espectrometría Raman con base en laboratorio se conocen desde hace muchos años. Recientemente, se han posibilitado los sistemas portátiles de Raman como resultado de que los componentes han disminuido de tamaño. Una descripción de uno de esos sistemas portátiles se encuentra la patente de EE.UU. 6.608.677. Un sensor Raman portátil implementado en una mochila también ha sido recientemente puesto en práctica por ITT (Wilmington, Delaware). Aspectos de ese sistema se describen en la solicitud de patente nº de publicación 2007-0222981, titulada Método, aparato y sistema para detección apartada rápida y sensible de contaminantes en la superficie. Hasta la fecha también se han puesto en práctica sensores Raman montados sobre camiones. También puede hacerse referencia a la patente de EE.UU. 6.788.407 para una explicación adicional de la espectrometría Raman.

50 Los documentos WO 2007/032814 A2 y US 2007/002319 A1 se dirigen a sistemas para llevar a cabo espectroscopia Raman a distancia usando un robot equipado con un brazo robótico o brazo articulado. Sin embargo, estos sistemas no funcionan dentro de un alcance apartado ajustable de 0,5 a 10 metros.

A pesar de estos sistemas conocidos, sigue existiendo la necesidad de proporcionar diferentes formas de sensores Raman para satisfacer las necesidades de personal civil y militar responsable de la identificación y, en última instancia, la manipulación de sustancias y elementos peligrosos.

Sumario de la invención

5 La presente invención proporciona un sistema que incluye un vehículo terrestre no tripulado (UGV del inglés *unmanned ground vehicle*) (410) con un sensor Raman, el sistema comprende un vehículo terrestre no tripulado (UGV), con un brazo robótico. Una cámara está montada sobre un brazo robótico (425) montado junto con un láser y un telescopio asociado de tal manera que apunten sustancialmente en un mismo sentido en el que apunta la cámara. Un módulo de adquisición y control de datos está montado en el UGV y está configurado para recibir datos de espectro Raman desde el telescopio. Una estación base a distancia que tiene una pantalla y un módulo de procesamiento y análisis de datos está configurado para recibir datos del módulo de adquisición y control de datos que está montado en el UGV.

15 Por lo tanto, la presente invención proporciona una implementación única de un sensor de espectroscopia Raman en el que los componentes del sistema están montados sobre, o, preferiblemente, están estrechamente integrados con, un vehículo terrestre no tripulado (UGV) o robot que funciona de manera autónoma o que es controlado por un usuario a distancia. Con este tipo de configuración, los usuarios del sensor Raman pueden evitar tener que estar en las inmediaciones de las sustancias o elementos peligrosos. Más en particular, con realizaciones según la presente invención, se proporciona al personal la capacidad de realizar la explotación del sitio a distancia pero delicada incluyendo la inspección de edificios, equipos, vehículos, aeronaves y otras superficies artificiales o naturales en busca de la presencia de sustancias desconocidas o elementos que incluyen, aunque no se limitan a los siguientes, material explosivo (p. ej., TNT y RDX), explosivos caseros y sus precursores y sustancias químicas, incluyendo agentes de guerra química (CWA del inglés *chemical warfare agents*), y productos químicos tóxicos industriales (TIC del inglés *toxic industrial chemical*). Una ventaja importante de las realizaciones de la presente invención es la capacidad de buscar y detectar dispositivos explosivos improvisados (IED del inglés *improvised explosive devices*) sin tener que poner a la gente en la misma ubicación en la que podrían estar ocultos los explosivos.

25 Otra de las ventajas de realizaciones de la presente invención incluyen el hecho de que la tecnología (1) es sin contacto (p. ej., es un sistema apartado), (2) permite la asignación de la contaminación de la superficie, y (3) proporciona una rápida respuesta (normalmente sólo segundos para realizar detección).

30 En una realización, la presente invención proporciona un UGV que incluye un brazo robótico que puede ser orientable por sí mismo o por medio de la dirección del propio UGV. El UGV es controlado preferiblemente a distancia a través de un enlace de radiofrecuencia (RF).

El brazo robótico incluye preferiblemente una cámara, y las imágenes de la cámara son preferiblemente transmitidas (en el enlace de RF) de vuelta a una estación de control desde el que un operario puede controlar el UGV. De esta forma, el operario puede dirigir adecuadamente el UGV y apuntar la cámara hacia los objetivos de interés.

35 Además de lo expuesto, el UGV preferiblemente también incluye componentes de un sensor Raman. Específicamente, junto con la cámara en el brazo robótico, se monta preferiblemente un láser y un telescopio asociado. Como se mencionó anteriormente, en la espectroscopia Raman el láser irradia una ubicación deseada y el telescopio reúne los espectros dispersados según Raman. Estos espectros, según la presente invención, se pasan a través de un cordón umbilical que incluye, por ejemplo, un manojo de fibras ópticas, a un sensor que está a bordo del UGV. El sensor puede incluir un espectrógrafo, un módulo de adquisición y control de datos, un módulo de acondicionamiento de potencia y un módulo de RF que puede ser el mismo que el módulo de RF que controla el UGV, o bien un módulo de RF independiente que está dedicado a controlar y comunicarse con los componentes del sensor Raman.

45 Preferiblemente también se proporciona una estación base para que un operario a distancia supervise y controle los aspectos del sensor Raman del UGV. En este sentido, la estación base incluye preferiblemente un módulo de procesamiento y análisis de datos y una pantalla, tal como una pantalla táctil para facilitar el manejo del sistema. La estación base puede estar integrada con la estación de control del UGV o puede ser diferente. De hecho, se contempla que el operario del UGV pueda no ser el mismo operario del sensor Raman. En este sentido, los dos operarios distintos ni siquiera tienen que estar en la misma ubicación.

50 En una realización preferida, se implementa un mecanismo de enfoque automático de telescopio que funciona eficazmente incluso dentro de los límites establecidos por la falta de espacio y el peso permitido en el brazo robótico.

En otra posible realización, los componentes del sensor Raman del UGV se configuran para ser compatibles con una versión portátil/mochila de un sensor Raman, de tal manera que dependiendo de las circunstancias, por ejemplo, el tipo de terreno o el medio ambiente, la amenaza percibida, etc., el personal puede tener la opción de utilizar un UGV o que el personal se aproxime directamente a un objetivo de interés.

La siguiente es una lista de algunas características preferidas de una realización de la presente invención:

Un sensor compacto a distancia;

Calentamiento de menos de 20 minutos;

Alcance apartado ajustable a distancia (0,5 a 10 metros);

5 Alta flexibilidad en la dirección para señalar la línea de visión utilizando apunte manual o mediante el uso del brazo controlado a distancia del UGV;

Asignación de contaminación;

Enlace por radiofrecuencia (RF) con una estación base a distancia (fuera de la zona que se estudia);

Identificación y detección rápidas (<30 segundos) de contaminantes en la superficie;

Funcionamiento simple de bajo mantenimiento;

10 Alta selectividad/probabilidad de detección con baja tasa de falsas alarmas;

Robusto para el entorno operativo; y

Capaz de detectar y manejar sustancias desconocidas.

Estas y otras características de realizaciones de la presente invención y sus consiguientes ventajas serán apreciadas en su totalidad con una lectura para la siguiente descripción detallada junto con los dibujos asociados.

15 **Breve descripción de los dibujos**

La Figura 1 es un diagrama esquemático funcional de un sistema de espectrometría Raman que puede ser empleado con realizaciones de la presente invención.

Las Figuras 2 y 3 son gráficos de espectros Raman para el explosivo TNT.

20 La Figura 4 muestra, en forma de diagrama de bloques, una realización de la presente invención. La Figura 5 representa un vehículo terrestre no tripulado con el que se puede integrar la presente invención.

La Figura 6 representa un sistema de enfoque automático según la presente invención.

Descripción detallada

25 La Figura 1 es un diagrama esquemático funcional de un sistema 100 de espectrometría Raman que puede ser empleado con realizaciones de la presente invención. Como se muestra, un transmisor láser 110 sirve como una fuente de luz espectralmente estrecha con alta irradiancia. Ilumina un agente químico depositado en una superficie como se indica mediante el bloque funcional 112. Una parte de la luz incidente es dispersada según Raman por el compuesto químico, según lo indicado por el bloque funcional 114. Esta luz se dispersa en todas direcciones espaciales y también es desplazada espectralmente en distintas longitudes de onda discretas. Estos desplazamientos de longitud de onda corresponden a las energías vibratorias únicas asociadas con los enlaces moleculares del producto químico dado.

30 La luz dispersada según Raman es captada por un telescopio, bloque 116, y es acoplada en sistema óptico dispersivo. Más específicamente, un telescopio enfoca la luz captada sobre un manojo de fibras ópticas 118. En el extremo opuesto del manojo de fibras, las fibras individuales se orientan linealmente para formar una hendidura de entrada para un espectrógrafo de rejilla 120. Una distribución de detectores electro-ópticos 122 (incluyendo, por ejemplo, un dispositivo de carga acoplada intensificada (ICCD) registra el espectro óptico de la luz dispersada según Raman 124. Este espectro sirve como una "huella digital" para el producto químico. Un ordenador de análisis 126 emplea algoritmos de coincidencia de patrones para identificar el producto químico a partir de una biblioteca de espectros de compuestos conocidos, y en última instancia identifica un compuesto específico 128.

35 La detección de materiales explosivos, en particular, se ha vuelto cada vez más importante en los últimos años. Tanto las autoridades civiles como militares tienen una gran necesidad de identificar rápidamente artefactos explosivos, de modo que puedan ponerse en marcha alertas, evacuaciones, desactivaciones o los esfuerzos de erradicación.

40 En este sentido, recientemente se ha determinado que el uso de excitación láser UV maximiza la eficiencia de la dispersión Raman de explosivos químicos. Técnicas tales como espectroscopia de desglose inducida por láser (LIBS del inglés *Laser Induced Breakdown Spectroscopy*) no es una tecnología tan selectiva o madura como la espectroscopia Raman, mientras que otras, como la fluorescencia inducida por láser (LIF del inglés *Laser Induced Fluorescence*) no son tan específicas, e incluso limitadas, en la medida en que algunos materiales explosivos no son fluorescentes. La principal ventaja de la espectroscopia UV Raman sobre la espectroscopia convencional Raman de excitación visible es la sensibilidad. Las longitudes de onda de excitación UV se dispersan intrínsecamente más

firmemente que las longitudes de onda de la luz visible. Además, muchos productos químicos explosivos absorben con gran fuerza la radiación UV, y esto aumenta la eficiencia por dispersión Raman en muchos órdenes de magnitud a través de un efecto llamado mejora de resonancia. La mejora de resonancia es particularmente fuerte en funcionalidades químicas tales como anillos aromáticos y grupos nitro, ambos son características comunes de compuestos explosivos. En última instancia, la fuerza de la señal captada UV-Raman depende de varios factores, entre ellos la concentración en el objetivo, la absorción dependiente de la longitud de onda y las propiedades del objetivo. La relación entre estos parámetros se explica con más detalle más adelante utilizando el material explosivo TNT como un ejemplo.

Un análisis detallado de los espectros UV-Raman de varias muestras de TNT indican que la eficiencia de la dispersión Raman para excitación láser (UV) de 262 nm es ~105 veces mayor que la encontrada para excitación convencional (verde) de 532 nm, lo que es indicativo de una fuerte mejora de resonancia. En la Figura 2 se muestra el espectro Raman de 262 nm para una solución de 11 mM de TNT de grado militar en acetonitrilo. Con esta concentración, las moléculas de acetonitrilo superan en número a las moléculas de TNT ~1800:1, sin embargo, las bandas Raman de TNT (traza continua) llevan intensidades que son comparables con las que pertenecen al acetonitrilo (traza de puntos). Claramente, la dispersión desde TNT está fuertemente mejorada con excitación de 262 nm. En comparación con la conocida sección transversal de dispersión de 262 nm para acetonitrilo, se ha determinado que la sección transversal de dispersión de 262 nm para TNT es $3 \times 10^{-25} \text{ cm}^2/\text{molécula}$. Por contra, el espectro Raman de 532 nm de la misma muestra rinde unas bandas Raman de TNT no detectables, lo que es consistente con la dispersión mucho más débil esperada en esta longitud de onda ($\sim 1 \times 10^{-30} \text{ cm}^2/\text{molécula}$ o 300.000 veces más débil). De manera notable, la concentración de 11 mM y la longitud de ruta de 1 mm utilizadas para esta muestra es equivalente a una película de TNT de 1,5 μm de grosor, lo que sugiere que películas delgadas de materiales explosivos se miden mejor con UV Raman.

Las señales Raman fuertemente mejoradas proporcionadas por excitación láser de 262-nm proporcionan la sensibilidad necesaria para detectar e identificar TNT en niveles de contaminación de traza. La fuerte absorción a 262 nm limita el número de moléculas que contribuyen a la señal Raman medida a las que se encuentran en la primera capa de 90 nm de TNT, independientemente del grosor de la muestra. El hecho de que la solución de 11-mM descrita anteriormente y una muestra sólida a granel de TNT rinde unos niveles comparables de señal valida la afirmación de que la absorción limita la 'profundidad de interacción', que se define aquí como el espesor de muestra que rinde el 90% de la señal de retorno capturada a partir de una muestra de grosor infinito. El punto clave es que la mayoría de la señal captada, como la que se muestra en la Figura 2, se puede obtener de una película extremadamente delgada de TNT (< 100 nm).

Recientemente, Lincoln Laboratory informó de que se pueden encontrar explosivos químicos en concentraciones superiores a $20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ en las superficies exteriores de los vehículos que entran en contacto con las manos y los pies de los individuos que están implicados con explosivos, por ejemplo, los IED. Basándose en estos hallazgos, Lincoln Laboratory concluyó que un espectrómetro Raman UV equipado con un láser de 1 W funcionando a 266 nm y una abertura de captura de 30 cm sería incapaz de captar fotones Raman en niveles detectables, incluso en distancias apartadas de menos de 10 m. Sin embargo, dado que las secciones transversales de dispersión UV-Raman para TNT no se encontraban disponibles en el momento de la publicación, los autores utilizaron un valor de $1 \times 10^{-30} \text{ cm}^2/\text{molécula}$. Sobre todo, los autores reconocen que una fuerte mejora de resonancia puede de hecho superar las malas prestaciones predichas por su modelo. Los datos de la Figura 2 indican que la sección transversal de dispersión a 266 nm es, de hecho varios órdenes de magnitud mayor ($\sim 1 \times 10^{-25} \text{ cm}^2/\text{molécula}$), lo que confirma su hipótesis sobre los efectos del impacto de una fuerte mejora de resonancia en las prestaciones: el espectrómetro Raman descrito por Lincoln Laboratory, captaría de hecho ~105 fotones Raman/segundo a una distancia apartada a 5 m, que es significativamente más de lo predicho en un principio. En particular, una impresión de 4 cm^2 con una carga de masa de TNT distribuida uniformemente de $20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ tiene ~30 nm de grosor, que es de magnitud comparable a la profundidad de interacción para TNT a 262 nm. Esto sugiere que la tecnología UV-Raman empleada en la presente invención es muy adecuada para detectar TNT en los niveles de contaminación encontrados en el exterior de vehículos como informó Lincoln Laboratory. De hecho, ya se han confirmado las capacidades de detección de TNT con espectroscopia UV-Raman. La Figura 3 muestra el espectro Raman de 262 nm de TNT registrado con un espectrómetro Raman empleado por realizaciones de la presente invención. Los datos de la Figura 3 se captaron en un segundo a una distancia apartada de un metro.

Mientras que la detección de TNT y otros materiales explosivos mediante espectroscopia Raman es cada vez más precisa, como se describe más arriba, continúa el problema de que el personal preferiblemente debe evitar estar en las inmediaciones de los explosivos en el primer lugar. Los sistemas de detección apartados de la técnica anterior, incluyendo sensores Raman, necesitan que el personal se aproxime a dispositivos o superficies misteriosos que vayan a ser analizados. La presente invención supera este escenario potencialmente peligroso al separar espacialmente el sensor del operario.

La Figura 4 muestra, en forma de diagrama de bloques, una realización de la presente invención. Como se muestra, el sistema comprende un vehículo terrestre no tripulado subyacente (UGV) 410 que incluye una cámara 420 de UGV montada sobre un brazo 425 que se extiende desde un cuerpo del UGV 410 y una estación a distancia 430 de control de UGV/brazo de cámara. La estación 430 de control de UGV/brazo de cámara está preferiblemente en comunicación con el UGV 410 a través de un enlace de radiofrecuencia (RF) 435 y puede funcionar para ordenar al

UGV 410 y al brazo 425 que se muevan en una dirección seleccionada, girar, parar, etc., todo desde una ubicación a distancia. Mientras que tal enlace de RF 435 proporciona el mayor grado de libertad para el UGV 410 y un operario, puede ser preferible en determinadas circunstancias tener una conexión cableada entre el UGV 410 y la estación 430 de control de UGV/Brazo de Cámara.

5 Por ejemplo, se puede utilizar un cable de fibra óptica para controlar a distancia el UGV 410, el brazo 425 y la cámara 420, entre otros elementos del UGV 410. Un posible UGV que puede ser utilizado en relación con la presente invención es la plataforma robótica MATILDA II mostrada en la Figura 5 y disponible desde Mesa Robotics, Inc. (Madison, Alabama). A pesar de que no se muestra en la Figura 5, el robot MATILDA II también incluye una estación 430 manejada a distancia de control de UGV/brazo de cámara, que puede ser manejada por un operario del UGV.

10 Haciendo referencia nuevamente a la Figura 4, integrados con el UGV 410 según una realización de la presente invención hay unos componentes asociados con un espectrómetro o sensor Raman. Estos componentes incluyen un módulo de Láser/Telescopio 450 que se monta en el mismo UGV, o más preferiblemente, en el brazo 425 del robot como se muestra. El cordón umbilical (p. ej., cable o conjunto de cables) 455 que comprende, por ejemplo, el manojito de fibras descrito anteriormente, conecta el módulo de Láser/Telescopio 450 a un módulo de Sensor 460. El módulo de sensor 460 comprende varios componentes, entre ellos un espectrógrafo 462 para recibir espectros Raman ópticos desde el telescopio del módulo de Láser/Telescopio 450, una unidad 464 de adquisición y control de datos que captura los datos espectrales utilizando, por ejemplo, una cámara de dispositivo acoplado de carga intensificada (ICCD), una unidad 466 de acondicionamiento de potencia para proporcionar una adecuada potencia eléctrica a los diversos componentes y módulos asociados con el espectrómetro Raman y el equipo relacionado, y una unidad de RF 468 que está configurada para el intercambio inalámbrico de comunicaciones con una estación base 480.

15 La estación Base 480, en sí, comprende una unidad de RF 482 que mantiene comunicaciones inalámbricas 471 con la unidad de RF 468, un módulo 484 de procesamiento y análisis de datos y una pantalla 486. Si bien el módulo 484 de procesamiento y análisis de datos se muestra como parte de la estación base 480, la funcionalidad de este módulo puede asimismo situarse en el UGV 410. El propósito principal del módulo 484 de procesamiento y análisis de datos es para realizar coincidencias de patrones espectrales frente a una biblioteca de espectros Raman conocidos, y tratar de identificar una sustancia que está siendo irradiada o que ha sido irradiada por el láser del UGV 410. La pantalla 486 puede entonces alertar a un operario de la posible identificación de la sustancia, y proporcionar información adicional, tal como por ejemplo los pasos a seguir a la luz del tipo de sustancia identificada, o información sobre a quién contactar para iniciar la corrección.

20 Según una posible implementación, si una señal espectral recibida es una "desconocida persistente" (p. ej., no es un miembro de la biblioteca actual), el sistema proporciona al operario las opciones de: (1) añadir la firma a la biblioteca como una importante desconocida, (2) ignorar la firma detectada o (3) posponer cualquier decisión hasta la siguiente aparición de la desconocida. La información relativa a la información espectral recibida podrá ser presentada a un operario a través de la pantalla 486, y se puede solicitar al operario que proporcione información al sistema, a través, por ejemplo, de las posibilidades de pantalla táctil de la pantalla 486.

25 Cabe señalar que la Figura 4 representa la estación 430 de control de UGV/brazo de cámara I y la estación base 480 como componentes separados. Sin embargo, puede ser preferible que se implemente un único mecanismo de control integrado para que el sistema facilite su control, por ejemplo, utilizando un conjunto de controles, una pantalla, etc. Tal control integrado es designado por el número de referencia 490. Con una pantalla, por ejemplo, un operario puede ser capaz de ver con precisión lo que está interrogando el láser. Más específicamente, las imágenes desde la cámara UGV 420 pueden transmitirse a una pantalla, dicha pantalla también se puede manejar para representar lo que está irradiando el módulo de Láser/Telescopio 450. Por lo tanto, si, por ejemplo, se identifica una sustancia explosiva, el operario puede identificar más fácilmente el objeto sobre el que se han encontrado trazas de material explosivo, y por lo tanto comunicar esa información a un experto de destrucción de explosivos. Estas imágenes pueden ser almacenadas además para uso futuro, por ejemplo, para formación. Por otra parte, la pantalla puede mostrar un vídeo en tiempo real de dónde está mirando el robot e incluir superposición o vistas en mosaico en la pantalla que muestran los resultados del interrogatorio Raman.

30 En una realización alternativa, la estación 430 de control del UGV/brazo y la estación base 480 se mantienen deliberadamente como unidades funcionales distintas, lo que permite la posibilidad de que diferentes operarios manejen los componentes correspondientes del sistema, incluso cuando esos operarios no están en la misma ubicación.

35 La distancia o alcance al que el sistema de espectroscopia Raman en el UGV en la práctica puede detectar sustancias es un factor en la configuración del sistema de espectroscopia Raman no tripulado a distancia de la presente invención. Si bien un láser de 20 mW es efectivo a 3 metros (con 1 segundo lugar de residencia en un objetivo) para detectar contaminantes en la superficie, es preferible que el alcance del sistema esté más bien en el orden de diez metros. Por lo tanto, preferiblemente se utiliza un láser más potente con el fin de asegurar que se pueda entregar suficiente potencia a un objetivo seleccionado. En una posible implementación, puede emplearse un láser de 500 mW 263 nm disponible de, por ejemplo, Photonics Industries (Bohemia, Nueva York) para obtener la

energía necesaria para un mayor alcance. Por supuesto, también pueden utilizarse otros láseres y potencias suficientes para entregar potencia adecuada a un contaminante objetivo.

Además, para el alcance de esta magnitud (diez metros), el componente del telescopio del módulo de Láser/Telescopio 450 es capaz de enfocar preferiblemente en un alcance de 0,5 a 10 metros. En una posible implementación, puede utilizarse un mecanismo de enfoque activado eléctricamente junto con diodos internos de señalización y la cámara 420 del UGV para ajustar el enfoque a distancia. Es decir, mediante la supervisión de un campo de visión de la cámara del UGV 420, un operario puede enfocar a distancia los componentes ópticos del módulo de Láser/Telescopio 450. Como alternativa, puede implementarse un sistema de enfoque automático (auto-enfoque) para liberar de ese modo al operario de tener que controlar manualmente el enfoque del telescopio. Esto puede ahorrar tiempo y aumentar la precisión de la detección. Una explicación detallada de un sistema de enfoque automático que puede emplearse en relación con la presente invención se proporciona más adelante en esta memoria.

En una posible implementación, los componentes de espectroscopia Raman del sistema pueden ser componentes modulares que pueden ser compartidos con un sensor Raman de versión portátil. Una descripción de ese sistema portátil de detección Raman se puede encontrar en la solicitud de patente de EE.UU. nº de publicación 2007-0222981, como se ha mencionado anteriormente. El sistema portátil de detección descrito en esta memoria incluye una unidad de mano, una unidad de procesamiento y un cable umbilical que conecta la unidad de mano con la unidad de procesamiento. En una realización que se describe en esta memoria, por lo menos algunas partes de la unidad de procesamiento están contenidas en una mochila que uno se puede poner.

Según realizaciones de la presente invención, los componentes seleccionados del sistema de espectroscopia Raman montados o integrados con el UGV 410 son modulares de tal manera que también se pueden utilizar con un sistema portátil de detección Raman. Más específicamente, la unidad de mano descrita en la solicitud de patente de EE.UU. nº 11/688.434 puede configurarse de tal manera que tenga similar funcionalidad que el módulo 450 de Láser/Telescopio mostrado en la Figura 4. Del mismo modo, el cordón umbilical 455 de la presente invención puede configurarse de forma similar al cable umbilical descrito en la solicitud de patente de EE.UU. nº 11/688.434. Por último, el módulo de sensor 460 puede configurarse para tener una funcionalidad similar a la unidad de procesamiento descrita en la solicitud de patente de EE.UU. nº de publicación 2007-0222981. También se pueden proporcionar similares recintos respectivos para los varios componentes posiblemente modulares identificados anteriormente. Con tal modularidad, un sistema en conjunto para detectar sustancias desconocidas podría incluir un sistema en combinación que comprende tanto un sensor de UGV como un sensor portátil, en donde el personal en el campo puede seleccionar fácilmente y permitir cualquier tipo de sistema (UGV o portátil) en función de la amenaza percibida, o cualquier otra consideración.

En una realización preferida, componentes tales como el módulo de Láser/Telescopio 450, el cordón umbilical 425 y el módulo de sensor 460 están a disposición del personal como Unidades Reemplazables en Línea (EFP del inglés *Line Replaceable Units*), con el fin de permitir que las reparaciones de campo sean relativamente simples. Debido a que los componentes, tales como el módulo de Láser/Telescopio 450 y el módulo de sensor 460, tienen mayores probabilidades de estar expuestos a los elementos durante una considerable cantidad de tiempo, los recintos de estos componentes preferiblemente tienen sellos ambientales apropiados (para protección contra la lluvia, cabinas de rocío de descontaminación, etc.), están reforzados para EMI/EMC (Interferencia electromagnética y compatibilidad electromagnética) (especialmente para aplicaciones militares) y tienen aislamiento apropiado contra choques/vibraciones.

El enlace inalámbrico 471 puede ser un enlace de datos de RF de amplio espectro y gran ancho de banda. El enlace Inalámbrico 435 también puede estar integrado con el enlace inalámbrico 471, o puede ser un enlace manejado por separado (p.ej., diferente frecuencia, diferente técnica de modulación, etc.).

La estación base 480 puede ser un dispositivo centralizado, y tener la capacidad de supervisar, no sólo un UGV, sino posiblemente varios UGV. Cuando se utilizan simultáneamente varios UGV y solo hay disponible un operario, entonces puede ser preferible el funcionamiento autónomo del UGV. En cualquier caso, una salida de la estación base 480 también se puede conectar a través de una red electrónica, por ejemplo, Ethernet (por cable o RF), a una estación de trabajo del comandante de escena que integra las actividades de todos dispositivos en el campo de UGV o portátiles.

En relación con el UGV 410, es preferible emplear un robot que sea lo suficientemente pequeño como para uso en interiores de edificios y túneles y al mismo tiempo maximizar su capacidad de carga útil. El robot MATILDA II identificado anteriormente tiene una capacidad de carga útil del orden de 57 kg (125 libras) de peso y puede funcionar durante seis horas con sus baterías. El bastón y mochila portátiles descritos en la solicitud de patente de EE.UU. nº de publicación 2007-0222981 pesan aproximadamente 20,8 kg (46 libras) incluyendo una batería de 1 hora. El brazo robótico 425 del robot MATILDA pesa aproximadamente 20,4 kg (45 libras) y tiene una capacidad de carga útil de 15,9 kg (35 libras). El peso del módulo de láser/Telescopio 450 es del orden de 2,25 a 9 kg (5 a 20 libras). Por lo tanto, el brazo robótico 425, el módulo de Láser/Telescopio 450 y el módulo de sensor 460 pesan menos de 47,6 kb (105 libras), dejando 9 kg (20 libras) para baterías adicionales.

Las baterías pueden ser baterías militares estándar (p. ej. 5590, 2590), o pueden ser baterías más avanzadas con mayor densidad de energía. La selección de la batería influye la duración en tiempo que el UGV 410 puede ser capaz de funcionar, pero por otro lado no es crítico para la presente invención.

5 De lo anterior, los expertos en la técnica apreciarán que los componentes de un espectrómetro Raman montado sobre o integrado con un UGV según la presente invención produce un sensor compacto remoto con alcance apartado ajustable de 0,5 a 10 metros, lo que permitirá a los operarios analizar superficies en las inmediaciones del UGV 410. En una implementación, el brazo 425 del UGV se utiliza para apuntar el módulo de Láser/Telescopio 450. Al capturar datos de ubicación del UGV y datos de posición del brazo 425, tal como con el uso de GPS y codificadores de posición bien conocidos, también es posible generar coordenadas de dispositivos y ubicaciones sospechosos individuales, así como para ayudar a generar un mapa de la extensión de la contaminación superficial o ubicaciones de posibles artefactos explosivos. Estos mapas o datos de asignación pueden ser integrados con otros sistemas de información geográfica que pueden ayudar aún más al personal en el rastreo y extracción de agentes y dispositivos indeseables.

15 En una realización preferida, y como ya se mencionó, el UGV y el sensor Raman son controlados a distancia a través de un enlace de RF a un sitio a distancia, lo que garantiza que el personal no se pone en un peligro innecesario. El operario puede estar en un lugar cercano, o puede estar ubicado en un lugar significativamente lejano.

20 También, debido a que se puede realizar coincidencia espectral de patrones en segundos, es posible identificar agentes desconocidos dentro, normalmente, de menos de 30 segundos. Esto permite que el UGV haga varios cientos o incluso miles de interrogatorios durante la vida útil de un único juego de baterías. Los datos del espectro recogidos también son normalmente muy singulares, y de este modo el sistema como un todo puede proporcionar alta selectividad/probabilidad de detección con baja tasa de falsas alarmas.

25 Como se mencionó anteriormente, puede ser deseable implementar un sistema de enfoque automático con la óptica del telescopio para habilitar un alcance apartado de 0,5 m a 10 m para el sistema de detección Raman de la presente invención. Sin embargo, debido a la escasez de espacio en el brazo robótico, la limitada cantidad de peso que se puede agregar al brazo robótico 425 y, en general, el UGV en conjunto, es deseable tener un aparato de enfoque compacto pero capaz con suficiente fidelidad para proporcionar un alcance de funcionamiento total entre 0,5 y 10 m.

30 Más específicamente, la profundidad de enfoque de un sistema óptico es proporcional al cuadrado de la óptica de captura $F/\#$. Cuando varía la distancia del objetivo, debido al movimiento del operario o variaciones de altura del objetivo - para mantener un buen enfoque por todo el alcance de distancias al objetivo, $F/\#$ tiene que ser grande. Sin embargo, la luz captada es inversamente proporcional al cuadrado de la $F/\#$. Por lo tanto, hay una incompatibilidad fundamental entre la necesidad de grandes $F/\#$ para proporcionar gran profundidad de enfoque y la necesidad de pequeñas $F/\#$ para permitir la captura de más luz dispersada según Raman.

35 Sin embargo, implementando un sistema de enfoque automático capaz de mantener un enfoque preciso a medida que varía la distancia al objetivo, desaparece la necesidad de gran profundidad de enfoque y, por ende, gran $F/\#$. Las ópticas de captación de pequeñas $F/\#$ pueden ser utilizadas ahora para captar más dispersión Raman, dando el correspondiente aumento a la relación S/N global del sistema de sensor Raman.

40 Según una realización de la presente invención, y con referencia a la Figura 6, un espejo primario de la óptica del telescopio está configurado para moverse en una fase de traslación (no se muestra) que permite un enfoque preciso en todas las distancias de objetivo en el alcance de interés.

45 La distancia al objetivo es evaluada con el uso de una lente pequeña (tal vez sólo unos pocos milímetros de diámetro) que toma imágenes del punto de rayo láser UV en el objetivo sobre una distribución lineal de detectores 610. (También podría utilizarse cualquier otro rayo láser co-alineado a cualquier otra longitud de onda.) Como la lente está situada en el eje de la óptica de captación, el paralaje entra en juego. La distancia al objetivo es asignada por la ubicación del punto de imagen de la distribución lineal 610. En la Figura 6, a medida que varía la distancia en el intervalo, A - B, el punto de imagen sobre la distribución lineal oscila entre A' y B'. La longitud focal de la lente 615 de toma de imágenes, en general, se elegiría de manera tal que el intervalo A' - B" abarque una porción significativa de la anchura de la distribución.

50 La ubicación del punto de imagen en la distribución lineal se determina sencillamente por el píxel que recibe la señal más grande. Puede implementarse un algoritmo de centro de gravedad para aumentar la precisión de la medición de la distancia del objetivo. A fin de permitir una asignación continua de las coordenadas del píxel de imagen a la distancia del objetivo, preferiblemente se ejecuta primero un procedimiento de calibración. En el procedimiento, el sistema es llevado manualmente al mejor enfoque en varias distancias diferentes del objetivo (normalmente entre 3 y 6 m), repartidos en el alcance de interés. Para cada distancia del objetivo, se anotan dos cantidades: la coordenada del píxel más brillante en la distribución lineal 610, y la lectura del codificador de posición en la fase de traslación. A continuación se desarrolla una ecuación que proporciona una asignación general entre coordenadas de píxel y la correspondiente distancia del objetivo.

La ecuación de asignación podría normalmente ser una ecuación polinomial, pero también se pueden utilizar muchas otras formulaciones. Dependiendo de la precisión necesaria de enfoque a lo largo del alcance de distancia al objetivo, la ecuación puede ser de 2º, 3º u orden superior.

5 En una realización, el espejo primario se conectó a una fase de traslación lineal equipada con codificador de posición. Se generó una ecuación polinomial de 2º orden relacionada con las coordenadas de pixel con un correspondiente número de cuenta del codificador. La tasa de muestreo de distancia del objetivo, y la velocidad del chip procesador que evalúa el polinomio de enfoque deben ser lo suficientemente rápidos como para soportar la tasa de respuesta del enfoque deseado. Como ejemplo, el muestreo se puede realizar de 250 a 400 Hz.

10 El F/# de la lente de toma de imágenes puede ajustarse de modo que las superficies muy reflectantes provoquen casi la saturación del detector. Las superficies más oscuras, tal como el negro asfalto, producen señales más pequeñas. Para permitir que el punto se enfoque precisamente en toda la distribución lineal 610, la distribución está preferiblemente inclinada con un ángulo conocido como el ángulo Scheimpflug. Para la distribución mostrada en la Figura 6, el ángulo Scheimpflug es el ángulo de inclinación de la distribución lineal 610 que da mejor enfoque puntual para todas las ubicaciones en el plano de desviación de objetivo que contiene los puntos A y B. En general, el ángulo Scheimpflug en el espacio de imagen está dado por el ángulo de inclinación del plano de objetivo dividido por el aumento de la lente.

15 Puede haber beneficio, sin embargo, con la inclinación de la distribución lineal 610 con un ángulo diferente del ángulo Scheimpflug. Con un ángulo así, el punto de imagen de la distribución lineal 610 puede ser enfocado a grandes distancias y fuera de enfoque para distancias más pequeñas. De esta forma, la irradiancia que cae sobre un píxel en la distribución lineal 610 puede tener una dependencia mucho más plana de la distancia del objetivo en comparación con la inversa del cuadrado de la variación que lo que se esperaría normalmente. Con este esquema, una parte mucho mayor del alcance dinámico de la distribución lineal puede asignarse a variaciones de reflectividad del objetivo en lugar de variaciones de distancia del objetivo.

20 Para aumentar aún más el alcance de reflectividad del objetivo que puede tener cabida, se podría colocar un filtro 630 en la parte delantera de la distribución lineal para reducir la cantidad de luz recibida desde objetivos altamente reflectantes. El filtro puede entonces ser eliminado cuando la reflectividad del objetivo es mucho menor. La decisión de cuándo utilizar el filtro podría tomarse al comparar la señal máxima en la distribución lineal con algún nivel de referencia. El intervalo que tiene cabida de reflectividad del objetivo también podría incrementarse con la ayuda de un segundo láser (quizá un diodo láser visible) como la referencia de enfoque. Este láser podría ejecutarse con potencia reducida cuando la reflectividad del objetivo es alta, y con potencia aumentada para menor reflectividad. Al apartarse de la condición de Scheimpflug, y con el uso de filtros y/o variando la potencia del láser de la forma descrita, podría tener cabida un gran intervalo de reflectividad del objetivo.

25 En una implementación real de la presente realización, se utiliza una lente débil cilíndrica justo delante de la lente de toma de imágenes. (También podría colocarse justo detrás de la lente de toma de imágenes.) Esto produjo una imagen lineal en lugar de una imagen puntual en la distribución lineal (cuyas dimensiones son normalmente 10 µm x 10.000 µm). La imagen lineal orientada con ángulos rectos respecto la longitud de la distribución. Mientras que la lente cilíndrica no causa degradación en la resolución de posición obtenida a partir de la distribución lineal, permite que la tolerancia de alineación de la distribución lineal con respecto a la línea de desplazamiento del punto de imagen sea disminuida de manera significativa, normalmente en un orden de magnitud.

30 En otra realización, se utilizó un motor de accionamiento lineal (con codificador de posición incorporado) para conducir el espejo secundario. El motor fue lo suficientemente pequeño como para caber dentro de la huella del espejo secundario a fin de evitar un bloqueo adicional de la luz. Debido a que el espejo secundario podría normalmente ser uno o dos órdenes de magnitud más ligero que el espejo primario, las tasas de activación se pueden aumentar considerablemente, llevando a una respuesta de enfoque más rápida.

35 El uso de un sistema de enfoque automático como el que se describe en esta memoria tiene varias ventajas. Por ejemplo, quita del operario del sistema la estresante tarea manual de tener que ajustar continuamente el enfoque mientras escanea objetivos. También, puede tener cabida un gran alcance de distancias del objetivo (normalmente entre 0,1 m a 3 m e incluso hasta 10 m) fácilmente y sin el estrés del operario.

40 Además, al tener un sistema de enfoque automático que proporciona un enfoque mucho más preciso que el obtenido manualmente, la profundidad intrínseca del enfoque de la óptica de captura de dispersión Raman puede reducirse considerablemente (normalmente a +/- 1 mm). Esto permite utilizar distancias de objetivo mucho más pequeñas cuando F/# de la óptica de captación es ahora mucho más pequeña y la dispersión Raman captada es mucho mayor. Son posibles grandes aumentos en S/N con el correspondiente aumento de la sensibilidad y la fiabilidad del sistema de detección.

45 Más aún, al permitir que sea captada más dispersión Raman, las tasas de exploración de la zona de destino pueden aumentarse, mientras se mantiene la misma captación de señal. Por ejemplo, un incremento de 10 veces en la dispersión Raman captada permite un aumento proporcional de la tasa de exploración para la misma señal entregada al detector. Esto lleva a una reducción proporcional del tiempo total para explorar un área dada.

Por otra parte, con enfoque automático preciso, las aberraciones residuales debidas al desenfoque emplean mucho menos de un conjunto de aberraciones ópticas. Como resultado, puede que sea posible reducir la dependencia de la óptica relativamente más sofisticada (y costosa) tal como lentes asféricas, etc.

5 También, el enfoque automático permite al punto de láser en el objetivo ser transformado precisamente en imagen en el centro del manojo del conjunto de fibras. Esto permite que el diámetro del manojo de fibras sea reducido con la correspondiente reducción del número de fibras en el manojo. (Por ejemplo, pueden ser viables los manojos de 37 fibras o de 19 fibras en lugar de los actuales manojos de 61 fibras que se utilizan en implementaciones reales del sistema.) Esto lleva a longitudes más cortas de hendidura cuyas imágenes ahora ocupan sólo un subconjunto de la distribución de detectores del ICCD, es decir, la parte de detectores de la ICCD. Leyendo sólo píxeles en este subconjunto, el ruido de detector puede mostrar una disminución proporcional.

10 Como alternativa a lo anterior, puede aumentarse la ampliación del punto de láser en el manojo del conjunto de fibras, dando una disminución proporcional de la apertura numérica (NA) espacial de la imagen. Esto permite el uso de un espectrógrafo de NA más pequeña, con óptica de diámetro proporcionalmente menor. Para proporcionar la misma calidad de imagen, esta óptica sería menos complicada, y podría incluso haber menos de ellas, el resultado final es una óptica de espectrógrafo menos costosa.

15

REIVINDICACIONES

1. Un sistema que incluye un vehículo terrestre no tripulado (UGV) (410) que tiene un sensor Raman, el sistema comprende:
 - un vehículo terrestre no tripulado (UGV), que tiene un brazo robótico (425),
 - 5 una cámara (420) montada sobre el brazo robótico (425);
 - un láser y un telescopio asociado (450) montados en el brazo robótico (425) de tal manera que apunten sustancialmente en un mismo sentido al que apunta la cámara;
 - un módulo (464) de adquisición y control de datos montado en el UGV y configurado para recibir datos de espectro Raman desde el telescopio; y
 - 10 una estación base a distancia (480) que tiene una pantalla (486) y un módulo (484) de procesamiento y análisis de datos que está configurado para recibir datos del módulo de adquisición y control de datos;

caracterizado porque el telescopio (450) comprende un sistema de enfoque automático que incluye una lente (615) que se dispone para obtener imágenes de un punto de rayo láser en un objetivo en una distribución de detectores lineales (610) y que se encuentra para evaluar la distancia del objetivo basándose en el paralaje, en donde la lente (615) y la distribución lineal de detectores (610) se disponen a lo largo de un mismo eje que está fuera de eje respecto un eje a lo largo del cual la luz láser viaja hacia el objetivo y en donde la luz reflejada desde el objetivo se pasa directamente a la lente sin intervenir la reflexión.
- 15
2. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además un espectrógrafo (462) que recibe luz dispersada según Raman desde el telescopio.
- 20
3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, que comprende además un cordón umbilical que conecta el láser y el telescopio asociado (450) con el módulo (464) de adquisición y control de datos.
4. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la estación base (480) recibe imágenes desde la cámara (420) y muestra las mismas en una pantalla (486).
5. El sistema de la reivindicación 4, en donde la pantalla (486) es una pantalla táctil.
- 25
6. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el láser funciona a una frecuencia de aproximadamente 262 nm.
7. El sistema de reivindicación 1, en donde el sistema de enfoque automático comprende un espejo primario que es movable linealmente en una fase de traslación.
8. El sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el sistema de enfoque automático comprende un espejo secundario que es movable linealmente en una fase de traslación.
- 30
9. El sistema de la reivindicación 1, en donde la distribución lineal de detectores está inclinada con un ángulo consistente con el ángulo Scheimpflug.
10. El sistema de la reivindicación 1 o 9, que comprende además de un filtro dispuesto en frente de la distribución lineal de detectores.
- 35
11. El sistema de la reivindicación 1 a 10, en donde el sistema de enfoque automático proporciona una profundidad de enfoque de ± 1 mm.
12. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 11, en donde el telescopio se puede enfocar para tener un alcance apartado de aproximadamente 0,5 m a aproximadamente 10 m.
- 40
13. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 12, en donde el láser y el telescopio asociado (450) y el módulo (464) de adquisición y control de datos están configurados de forma modular de tal manera que el láser y el telescopio asociado y el módulo de adquisición y control de datos pueden ser empleados por un sensor Raman portátil.
14. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 13, en donde el UGV es controlado a distancia.
15. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 13, en donde el UGV funciona de forma autónoma.

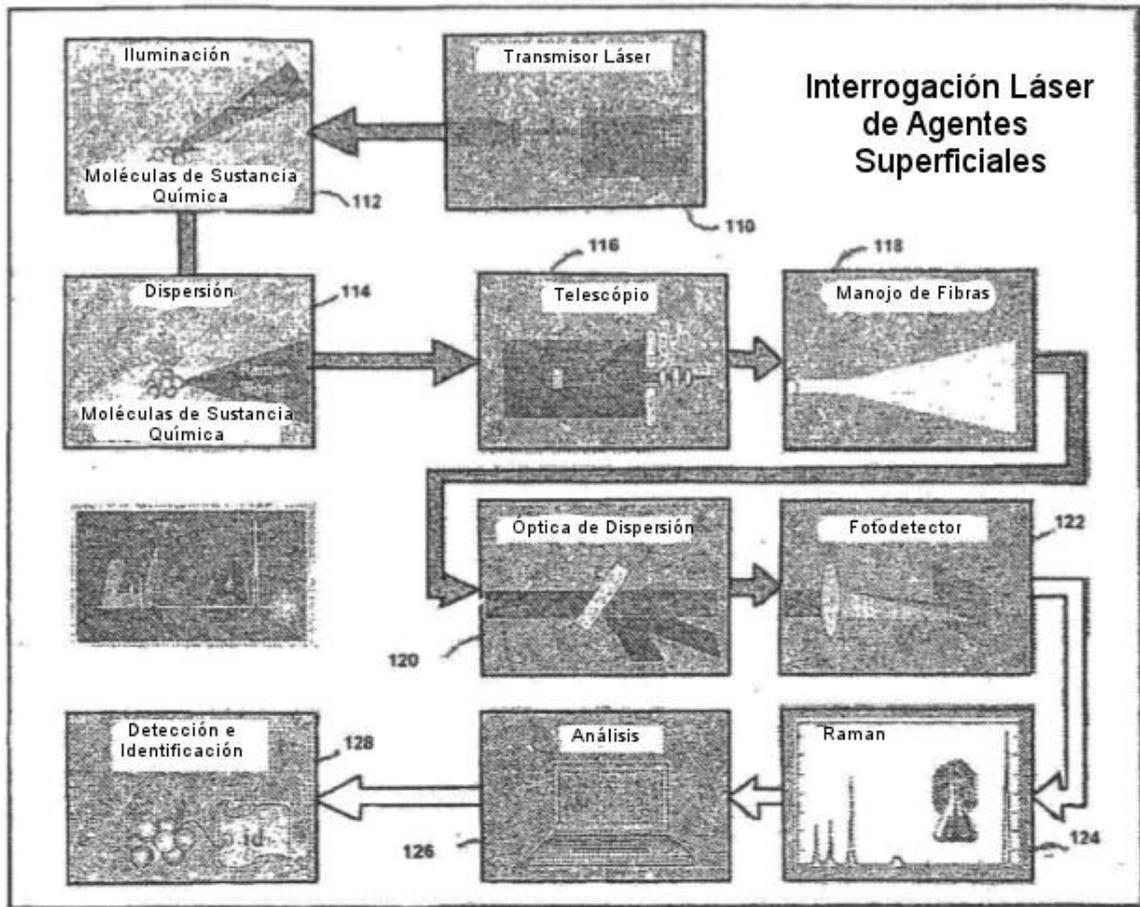


Figura 1

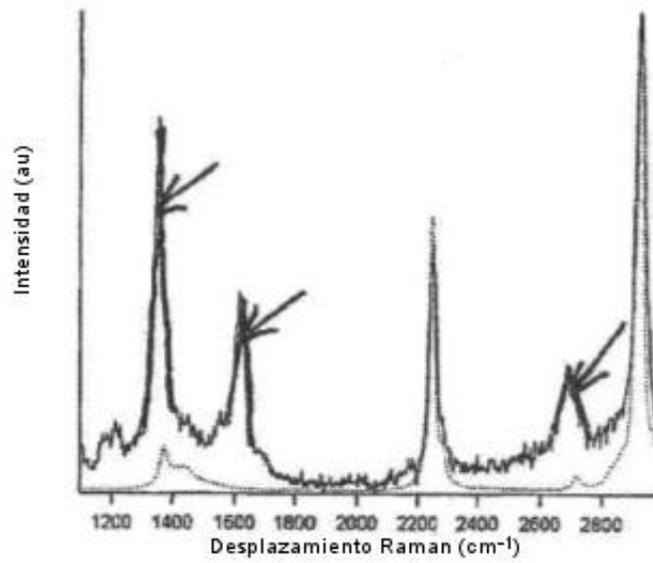


Figura 2. Espectros Raman de una solución de 11 mM de TNT en acetonitrilo (traza continua) y acetonitrilo solo (traza de puntos) registrados con excitación 262 nm. Las bandas Raman de TNT están destacadas en color rojo

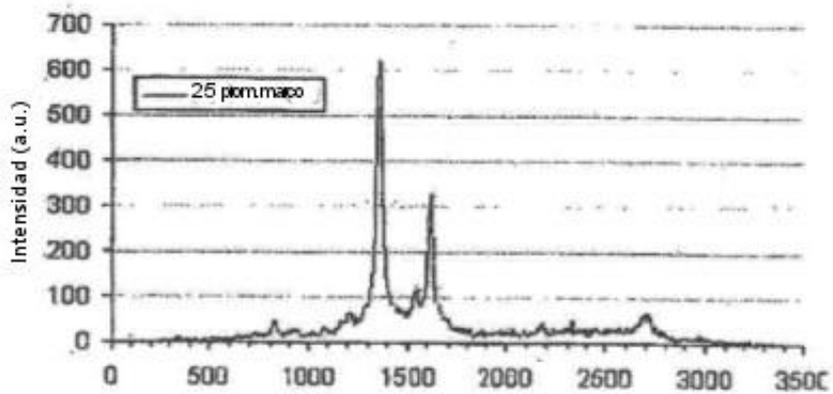


Figura 3. Espectro Raman de una muestra de TNT sólida registrada en 1 segundo apartada a 1 m.

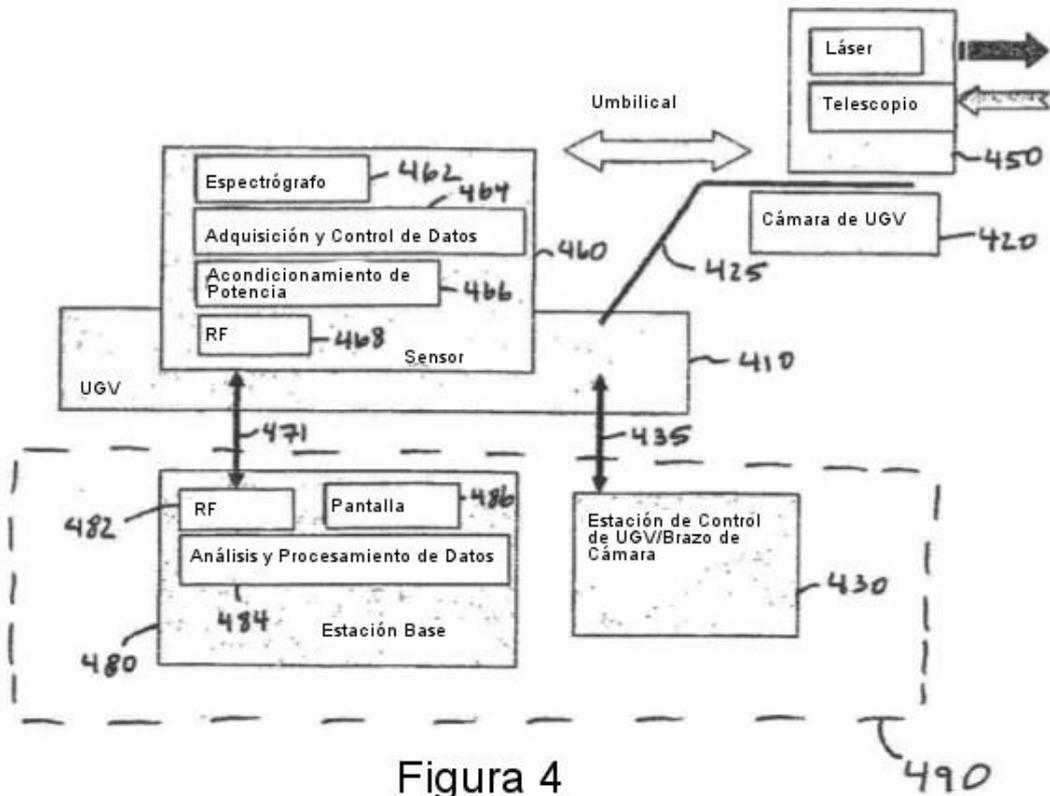


Figura 4

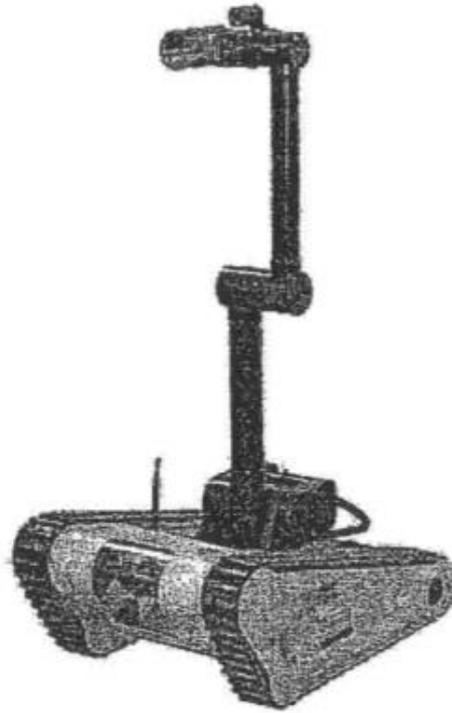


Figura 5

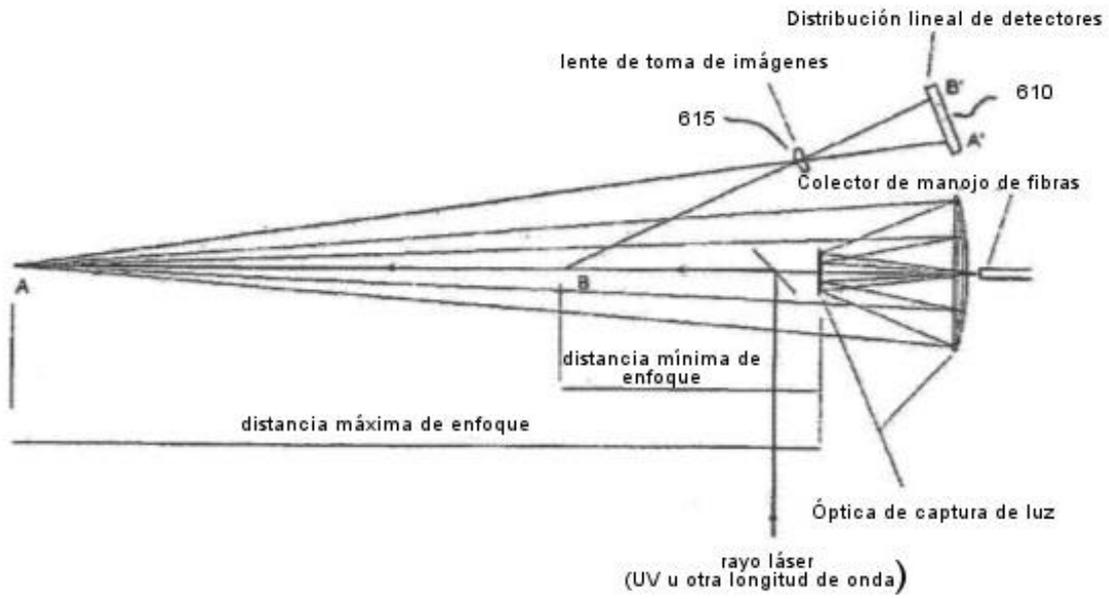


Figura 6