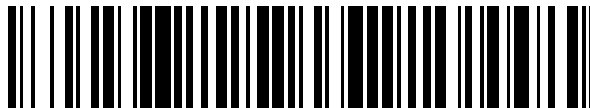


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 748 378**

51 Int. Cl.:

G01N 15/14 (2006.01)

G01J 1/08 (2006.01)

G01J 3/44 (2006.01)

G01N 21/53 (2006.01)

G01N 21/64 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.01.2009 PCT/GB2009/000158**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.07.2009 WO09093017**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.01.2009 E 09704418 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 2235502**

54 Título: **Detector de partículas transportadas por fluidos**

30 Prioridad:

25.01.2008 GB 0801375

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

16.03.2020

73 Titular/es:

**THE SECRETARY OF STATE FOR DEFENCE
(100.0%)
DSTL, Porton Down
Salisbury, Wiltshire SP4 0JQ, GB**

72 Inventor/es:

**KAYE, PAUL HENRY;
STANLEY, WARREN ROY y
FOOT, EMMA VIRGINIA JANE**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 748 378 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

Detector de partículas transportadas por fluidos

Esta invención se refiere a mejoras en equipos y métodos para detectar y clasificar partículas transportadas por fluidos, especialmente partículas transportadas por el aire, y se refiere particularmente a la detección de partículas biológicas individuales.

En un mundo cada vez más preocupado por la contaminación, el calentamiento global y el terrorismo, la necesidad de técnicas fiables, precisas y sensibles para detectar y, de manera más importante, identificar partículas transportadas por el aire nunca ha sido tan importante. Se ha gastado una cantidad significativa de esfuerzo en desarrollar y mejorar técnicas y equipos para lograr dicha detección a lo largo de los años, pero aún existe la necesidad de equipos más sensibles, compactos, económicos y rentables.

Las partículas transportadas por el aire incluyen, entre otros, polvos minerales, productos de combustión y partículas biológicas. Para discriminar entre partículas transportadas por el aire de diferentes tipos, se han desarrollado métodos que miden múltiples parámetros a partir de partículas individuales, utilizando medios tal como la dispersión de la luz o la fluorescencia. La solicitud de patente internacional PCT/GB2004002761 (publicada como el documento WO 2005/001436), describe un equipo para detectar partículas transportadas por fluidos que comprende un par de superficies reflectantes cóncavas coaxialmente opuestas que tienen aberturas centrales alrededor de una zona de detección, dos fuentes de luz de xenón de diferente banda de longitud de onda dispuestas para irradiar partículas dentro de la zona, y dos detectores opuestos a cada lado y sustancialmente alineados con las superficies reflectantes, dispuestos tal que la luz fluorescente reflejada desde las superficies reflectantes cóncavas a través de la abertura central de la superficie reflectante cóncava opuesta es recibida por un detector. El equipo es capaz de clasificar partículas en términos de su tamaño (dispersión elástica) y propiedades de fluorescencia intrínseca de longitud de onda dual. La detección de partículas individuales utilizando dicha disposición se puede lograr mediante la incorporación de un disparador para detectar la presencia de partículas separadas en la zona de detección, dicho disparador puede ser proporcionado por un láser de diodo de onda continua tal como se describe en Kaye P. H. et al, Proceedings SPIE, Simposio Europeo de Óptica/Fotónica en Seguridad y Defensa, Brujas, septiembre de 2005, 59900 N1-N12. Después se requiere una secuencia de regulación del tiempo para permitir la iluminación secuencial de una partícula individual por las dos fuentes de luz de xenón a medida que la partícula fluye a través de la zona de detección del equipo.

El equipo descrito en la solicitud de patente internacional PCT/GB2004002761 se diseñó para el análisis en ambientes al aire libre y especialmente en áreas de conflicto militar en cuyo caso puede aparecer una amenaza biológica en cualquier lugar. Para este propósito, se requirió que el equipo fuera de un costo suficientemente bajo y de tamaño pequeño de modo que se pueda fabricar en grandes cantidades para la utilización en un área amplia de riesgo potencial. Dicho equipo también debería ser portátil de manera óptima, no requeriría reactivos o serían mínimos, sería capaz de un funcionamiento sin supervisión y un funcionamiento continuo durante aproximadamente 48 horas. El equipo también tenía que ser sensible y proporcionar una respuesta de detección rápida.

En general la presente invención tiene como objeto proporcionar un equipo compacto capaz de detectar y clasificar de forma sensible partículas individuales mediante fluorescencia y dispersión de la luz. En particular, la invención, tiene como objeto mejorar la capacidad de clasificación y compactibilidad proporcionadas por los equipos descritos en la solicitud de patente internacional PCT/GB2004002761.

El documento de EE.UU. 2005/243307 A1 describe métodos, equipos y sistemas para detectar y clasificar partículas biológicas y no biológicas transportadas por el aire, en tiempo real, basados en el tamaño de partícula, densidad, índice de reflexión complejo y contenido de autofluorescencia. En particular, el documento de EE.UU. 2005/243307 A1 describe un equipo para la detección de una partícula transportada por fluido que comprende:

- medio de flujo para suministrar un flujo de fluido que comprende la partícula transportada por fluido a través de una zona;

- un láser de onda continua dispuesto para iluminar el flujo de fluido en la zona para identificar la presencia de la partícula transportada por fluido en la zona;

- un primer y segundo detector en donde el primer detector está dispuesto para detectar luz dispersada y/o emitida de una primera banda de longitud de onda que emana de la zona, y el segundo detector está dispuesto para detectar luz dispersada y/o emitida de una segunda banda de longitud de onda que emana de la zona; y

- una primera y segunda fuente de luz en donde la primera fuente está dispuesta para iluminar la zona con la luz de una tercera banda de longitud de onda y la segunda fuente está dispuesta para iluminar la zona con la luz de una cuarta banda de longitud de onda;

en cuyo caso el láser de onda continua, la primera fuente de luz y la segunda fuente de luz se configuran para iluminar de forma secuencial la partícula transportada por fluido en la zona, y cada una está dispuesta en un plano

sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido proporcionado por el medio de flujo, y el segundo detector está dispuesto para detectar la luz retrodispersada o la dispersada lateral.

El documento JP H01 96532 describe un detector de partículas finas en donde un par de espejos cóncavos reflejan la luz dispersada a un convertidor fotoeléctrico.

5 El documento EP0652428 A1 describe un analizador de partículas que comprende un medio de fuente de luz para emitir un haz de luz a las partículas, y un medio de detección de luz para detectar cada intensidad de luz dispersada de las partículas. En particular el documento EP0652428 A1 describe, primero medios de detección para detectar una intensidad de la luz de dispersión frontal de la partícula, segundo medios de detección de luz para detectar una intensidad de la luz de dispersión lateral de la partícula y medios de adición para añadir la señal de detección de luz de dispersión frontal a la señal de detección de luz de dispersión. La adición de la intensidad de la luz de dispersión frontal a la intensidad de la luz de dispersión lateral en una cierta proporción permite que la relación entre el diámetro de la partícula y la intensidad de la luz de dispersión se acerque considerablemente a un aumento monótono.

10 El documento de EE.UU. 2006/017926 A1 describe un sistema sensor de partículas que utiliza dos espejos y un fotodiodo para detectar partículas en un fluido.

15 Por consiguiente, en un primer aspecto, la presente invención proporciona un equipo para la detección de una partícula transportada por fluido que comprende

20 i. un par de superficies reflectantes cóncavas coaxialmente opuestas que tienen la misma longitud focal, en donde solo una de las superficies reflectantes comprende una abertura central, las superficies reflectantes separadas por su eje común por tres veces la longitud focal de las superficies reflectantes cóncavas alrededor de una zona, y un medio de flujo proporcionado para suministrar un flujo de fluido que comprende la partícula transportada por fluido a través de la zona;

ii. un láser de onda continua dispuesto para iluminar el flujo de fluido en la zona para identificar la presencia de la partícula transportada por fluido en la zona;

25 iii. un primer y segundo detector en donde el primer detector está dispuesto para detectar luz dispersada y/o emitida de una primera banda de longitud de onda que emana de la zona, y el segundo detector está dispuesto para detectar luz dispersada y/o emitida de una segunda banda de longitud de onda que emana de la zona;

30 iv. una primera y segunda fuente de luz en donde la primera fuente está dispuesta para iluminar la zona con la luz de una tercera banda de longitud de onda y la segunda fuente está dispuesta para iluminar la zona con la luz de una cuarta banda de longitud de onda; y

v. un tercer detector dispuesto para detectar la luz dispersada frontal como resultado de la iluminación de la partícula por el láser y/o la primera o segunda fuente de luz

35 en cuyo caso el láser de onda continua, la primera fuente de luz y la segunda fuente de luz se configuran de forma secuencial para iluminar la partícula transportada por fluido en la zona, y cada una está dispuesta en un plano sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido proporcionado por el medio de flujo, el primer y segundo detector están presentes en un solo lado del rayo láser y están dispuestos para detectar la luz enfocada a través de la abertura central, el segundo detector está dispuesto para detectar la luz retrodispersada o la dispersada lateral, y el equipo comprende además medios de realimentación entre el segundo detector y el tercer detector configurado para combinar la respuesta de luz dispersada frontal detectada en el tercer detector con la respuesta de la luz retrodispersada o dispersada lateral detectada en el segundo detector para reducir el efecto de las oscilaciones de Mie en una curva de respuesta calibrada.

40 Ventajosamente, solo una de las superficies reflectantes cóncavas coaxialmente opuestas comprende una abertura central tal que la luz que emana de la zona, producida más probablemente a través de la irradiación de la partícula, esté enfocada por las superficies reflectantes cóncavas a través de la abertura central. El primer y segundo detector están ventajosamente dispuestos para detectar la luz enfocada a través de la abertura central de las superficies reflectantes cóncavas opuestas. El eje que une el centro de las superficies reflectantes cóncavas opuestas preferiblemente también es sustancialmente ortogonal al eje de iluminación del láser. Estas características, ya sean de forma singular o combinadas, facilitan la recogida y detección eficiente de la luz dispersada o emitida por las partículas en la zona del equipo.

45 El láser y la primera y segunda fuente de luz están dispuestos cada uno en un plano sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido proporcionado por el medio de flujo para proporcionar un enfoque óptimo de la primera y segunda fuente de luz en un volumen específico del flujo de fluido que se ilumina por el láser. El láser ilumina un volumen específico del fluido que, como resultado de que el láser está en un plano sustancialmente ortogonal al flujo del fluido, aparece como una forma aproximadamente de cilindro plano o disco. Además una fuente de luz en un plano sustancialmente ortogonal al flujo del fluido requerirá la anchura mínima del haz de luz para iluminar todo el volumen específico de la forma del cilindro plano, y por lo tanto será de potencia óptima para producir fluorescencia y detección.

Las realizaciones del primer aspecto de la invención pueden tener el láser y la primera y la segunda fuente de luz situados tal que el láser y la primera y la segunda fuente de luz están cada uno en un plano desplazado verticalmente con respecto al otro. Alternativamente, el láser y la primera y segunda fuente de luz pueden estar sustancialmente en el mismo plano, pero los haces de luz resultantes del láser y la primera y la segunda fuente de luz pueden estar cada uno en un plano desplazado verticalmente con respecto al otro. Los haces de luz resultantes del láser y la primera y segunda fuente de luz pueden estar desplazados verticalmente para permitir el movimiento de la partícula bajo la influencia del flujo de fluido entre el disparo del láser, la primera fuente de luz y la segunda fuente de luz. Por lo tanto, una partícula iluminada y detectada por el haz de luz del láser en una primera posición en la zona puede ser iluminada por el haz de luz de la primera fuente de luz en una segunda posición en la zona aguas abajo de la primera posición, y puede ser iluminada por el haz de luz de la segunda fuente de luz en una tercera posición en la zona aguas abajo de la segunda posición.

Sin embargo, en una realización preferida, el láser y las dos fuentes de luz están dispuestas sustancialmente en un único plano sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido proporcionado por el medio de flujo. Esto proporciona entre otras ventajas un equipo más compacto. Además, el equipo de la presente invención que tiene el láser y las dos fuentes de luz dispuestas sustancialmente en un único plano proporciona un aumento en la sensibilidad de aproximadamente seis veces mayor que la del equipo descrito en la solicitud de patente internacional PCT/GB2004002761 y Kaye P. H. et al, Proceedings SPIE, Simposio Europeo de Optica/Fotónica en Seguridad y Defensa, Brujas, septiembre de 2005, 59900 N1-N12.

En una realización preferida, los dos detectores están dispuestos cada uno en un plano sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido proporcionado por el medio de flujo, y en una realización más preferida, los dos detectores están en el mismo plano que el láser y la primera y segunda fuente de luz. Dicha realización proporciona una disposición compacta de características y, por lo tanto, un equipo más compacto. El equipo que tiene el láser, la primera y la segunda fuente de luz, y los dos detectores, todos en un único plano, es en particular más compacto, aproximadamente la mitad del volumen, que el equipo descrito en los documentos citados de la técnica anterior.

La primera y segunda fuente de luz comprenden preferiblemente un elemento de fuente de luz de xenón y preferiblemente un filtro de paso bajo entre la fuente de luz y la zona para permitir el paso de una banda de longitud de onda solo en un intervalo seleccionado.

El equipo es particularmente adecuado para detectar una partícula transportada por el aire, y especialmente una partícula biológica tal como una célula bacteriana, espora bacteriana, fragmento de una célula bacteriana o una partícula que contiene virus.

Un uso del equipo es la clasificación de partículas biológicas a través de propiedades fluorescentes intrínsecas de las moléculas presentes en la partícula. Dos de las moléculas más útiles son triptófano y nicotinamida adenina dinucleótido (NADH), que emiten fluorescencia tras la irradiación con longitudes de onda de aproximadamente 280 nm y 370 nm, respectivamente, que da como resultado una emisión de fluorescencia entre aproximadamente 300 a 400 nm para triptófano y aproximadamente 400 a 600 nm para NADH. Por lo tanto, en una realización, la tercera banda de longitud de onda puede ser más corta en longitud de onda que la primera banda de longitud de onda y la segunda banda de longitud de onda, y/o la cuarta banda de longitud de onda puede ser más corta en longitud de onda que la segunda banda de longitud de onda, y/o la cuarta banda de longitud de onda puede estar dentro de la primera banda de longitud de onda.

En una realización, la primera y segunda fuente de luz son lámparas de xenón, tales como lámparas de flash de xenón en miniatura que se pueden enfocar hasta unos pocos mm² y suministrar la alta fluencia UV necesaria (aproximadamente 200-300 μJ/sr/cm²) requerida para lograr una respuesta de fluorescencia adecuada de una partícula biológica en una duración de iluminación de 1 μs. La tercera banda de longitud de onda es preferiblemente de aproximadamente 280 nm y la cuarta banda de longitud de onda preferiblemente de aproximadamente 370 nm, ya que estas son bandas de longitud de onda adecuadas para excitar triptófano (280 nm) y NADH (370 nm).

La primera banda de longitud de onda y la segunda banda de longitud de onda se pueden solapar, sin embargo, preferiblemente, la primera banda de longitud de onda y la segunda banda de longitud de onda no se solapan. Las bandas de longitud de onda solapadas pueden dar como resultado un aumento de la banda ancha de fluorescencia de fondo de bajo nivel que emana de objetos distintos a la propia partícula, se pone de manifiesto como ruido incorporado en cada medida. Además, y sustancialmente por las mismas razones, la primera banda de longitud de onda y la segunda banda de longitud de onda tienen un intervalo relativamente estrecho. En una realización adecuada para detectar la fluorescencia intrínseca del triptófano y NADH, la primera banda de longitud de onda es aproximadamente de 300 a 400 nm y la segunda banda de longitud de onda es de aproximadamente 420 a 600 nm.

El láser proporciona un rayo láser de onda continua para identificar la presencia de una partícula individual en la zona, y puede ser, por ejemplo, un láser de diodo de onda continua de 635 nm.

El equipo comprende un tercer detector para detectar la luz dispersada frontal como resultado de la iluminación de la partícula por el láser y/o la primera o segunda fuente de luz. Dicho detector es capaz de proporcionar una determinación o incluso una identificación de la forma de la partícula y, por lo tanto, proporciona un equipo mejorado

sobre el descrito en la técnica anterior citada. El tercer detector puede comprender, por ejemplo, un detector de tubo fotomultiplicador de cuadrante. El tercer detector puede determinar la forma de la partícula mediante el análisis de la dispersión de la luz azimutal de la partícula. El segundo detector es capaz de detectar la luz retrodispersada o la dispersada lateral (elástica) y el equipo comprende medios de realimentación entre el segundo detector y el tercer detector tal que los medios de realimentación proporcionan una medida e identificación precisas del tamaño de partícula. El segundo detector puede, por ejemplo, ser capaz de detectar la luz retrodispersada o la dispersada lateral cuando la longitud de onda del haz de luz láser está dentro de la banda de longitud de onda del segundo detector (la segunda banda de longitud de onda): la luz dispersada que resulta de la iluminación de una partícula con el láser podría detectarse, por lo tanto, en el segundo detector. La combinación de dos detectores diferentes para registrar la medida de tamaño y forma a través de la dispersión de la luz es capaz de reducir el efecto de las oscilaciones de Mie en una curva de respuesta calibrada y, por lo tanto, es capaz de proporcionar una medida de tamaño de partícula más fiable.

Preferiblemente, el equipo comprende además un procesador configurado para funcionar, el equipo con el cual se controlan el disparo y/o la regulación del tiempo de la iluminación del láser y la primera y segunda fuente de luz. El procesador se puede programar también para procesar las señales de luz recibidas en el primer y segundo detector, y en el tercer detector cuando sea aplicable.

Un método para la detección de una partícula transportada por fluido comprende iluminar de forma secuencial un flujo de fluido con un láser, una primera fuente de luz y una segunda fuente de luz, con lo cual el láser ilumina un volumen específico del flujo de fluido y registra la presencia de la partícula transportada por fluido y la primera fuente de luz y la segunda fuente de luz iluminan el volumen específico para producir señales fluorescentes de la partícula que se detectan por los medios adecuados para la detección de luz, con lo cual el láser, la primera fuente de luz y la segunda fuente de luz están dispuestos, cada uno, en un plano sustancialmente ortogonal al flujo de fluido.

Se debería observar que, en un flujo de fluido el volumen específico en el cual la presencia de una partícula transportada por fluido es detectada por el haz de luz del láser, se moverá como resultado del flujo del fluido y, por lo tanto, el haz de luz de la primera y/o la segunda fuente de luz, o ambas, debe estar enfocado tal como para compensar este movimiento. Por ejemplo, el láser y la primera y la segunda fuente de luz se pueden situar uno con respecto al otro, tal que, el láser y la primera y la segunda fuente de luz están desplazados verticalmente. Alternativamente, el láser y la primera y segunda fuente de luz pueden estar sustancialmente en el mismo plano, pero los haces de luz resultantes del láser y la primera y segunda fuente de luz pueden estar desplazados verticalmente.

En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un uso del equipo del primer aspecto para detectar partículas transportadas por fluidos.

En una realización preferida, el fluido es aire, y en una realización preferida adicional, las partículas son partículas biológicas.

La presente invención se describirá ahora con referencia a los ejemplos y dibujos siguientes en los que

La Figura 1, es un dibujo de una disposición, no es según la invención;

La Figura 2, es una imagen que indica la geometría de una posición, no es según la presente invención, en donde el flujo de fluido es sustancialmente ortogonal a un plano que comprende un láser, dos fuentes de luz y tres detectores;

La Figura 3, a) y b) son esquemas que comparan el equipo de la técnica anterior citada (a) en donde la iluminación de las partículas es con un láser en un plano sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido pero una fuente de luz de xenón no está en un plano sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido, y una realización de la presente invención (b) en donde la iluminación de partículas es con un láser y una fuente de luz de xenón, cada una en un plano sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido;

La Figura 4, es una gráfica que representa la intensidad de la luz registrada en un primer detector y un segundo detector frente al tiempo para la disposición de la Figura 1;

La Figura 5, es un diagrama que indica los patrones de dispersión de la luz registrados con un detector de cuadrante para partículas de diferente forma;

La Figura 6, es un diagrama que indica una disposición espacial de los componentes en un plano horizontal, no es según la presente invención;

La Figura 7, es un diagrama que indica la disposición espacial de componentes según una realización de la presente invención en un plano horizontal;

La Figura 8, es una gráfica del flujo de luz relativa (eje y) frente al diámetro de la partícula (eje x; μm), y muestra la respuesta teórica para un tubo fotomultiplicador de cuadrante que detecta la luz dispersada frontal 34, un segundo tubo fotomultiplicador que detecta la luz retrodispersada o la dispersada lateral 35 y una combinación matemática 36 de estas dos respuestas para identificar el tamaño de partícula; y

La Figura 9, es una vista en sección transversal de una realización del equipo de la presente invención que muestra, en particular, las características que proporciona un aerosol para ser suministrado a la zona de detección.

Ejemplos

5 Haciendo referencia ahora a la Figura 1, una disposición, no según la presente invención, para medir el tamaño, la forma y la fluorescencia intrínseca de partículas individuales comprende, dos fuentes de luz de xenón 1, dos detectores 2, un detector de cuadrante 3 y un láser (no visible en la figura) todo en un único plano en donde el plano es sustancialmente ortogonal al flujo de fluido dentro de la zona de detección del equipo. También está presente una entrada de aerosol 4 para proporcionar el flujo de fluido, es decir, el flujo de aire. Las bandas de onda de las dos fuentes de luz de xenón son 280 nm y 370 nm, y se seleccionan para excitar los biofluoróforos triptófano y NADH. Un detector está dispuesto para registrar una banda de longitud de onda entre aproximadamente 300 y 400 nm, y el otro detector una banda de longitud de onda entre aproximadamente 420 y 600 nm. El equipo es, en particular, para detectar tamaños de partículas entre aproximadamente 0,5 µm a 10 µm. El rendimiento máximo para una medida de fluorescencia completa es de 125 partículas/segundo (limitado por el tiempo de recarga de xenón), y corresponde a todas las partículas para concentraciones de hasta aproximadamente 2x10⁴/litro. Esta disposición es la mitad del tamaño de los equipos descritos en la solicitud de patente internacional PCT/GB2004002761 y los equipos descritos en Kaye P. H. et al, Proceedings SPIE, Simposio Europeo de Optica/Fotónica en Seguridad y Defensa, Brujas, septiembre de 2005, 59900 N1-N12, y tiene aproximadamente una mejora en la sensibilidad de detección de fluorescencia de 6 veces. Las fuentes de luz de xenón pueden estar dispuestas en el mismo lado del equipo que el láser, como se muestra, o alternativamente en el lado opuesto del equipo, pero no obstante en el mismo plano, como se indica en la Figura 2.

Haciendo referencia ahora a la Figura 2, la geometría de una disposición, no según la presente invención, proporciona un flujo de fluido 5 sustancialmente ortogonal a un plano que comprende el haz de luz láser 6 que proporciona luz dispersa frontal 7 y los haces de la fuente de luz de xenón 8 y 9 que proporcionan fluorescencia de partículas 10 y 11. La forma del componente central del equipo (cilíndrica sustancialmente alargada), representada en la Figura 2, está impulsada por la necesidad de disponer de todas las características alrededor de una zona particular, la zona de detección del equipo, y proporcionar un equipo tan compacto como sea posible. Por ejemplo, el componente central tiene dimensiones de aproximadamente 80 mm de altura, 100 mm de anchura y 120 mm de longitud. Las dimensiones restantes de este componente están impulsadas por la necesidad de ajustarse a los componentes específicos del equipo.

30 Una disposición de un equipo, no según la presente invención, comprende los componentes enumerados en la Tabla 1 dispuestos alrededor del componente central representado en la Figura 2. Esta disposición del equipo se puede ajustar a un recipiente, o caja, de dimensiones de 170 mm de altura, 300 mm de ancho y 380 mm de largo, y por lo tanto proporciona un equipo compacto el cual también es portátil.

Tabla 1. Lista de componentes para una disposición, no según la presente invención.

Artículo	Descripción del artículo	Uso	Proveedor	Código de orden	Cantidad
Lentes	UV revestida 60 mm fl DCX	fuentes de luz de xenon	Edmund Optics	A46-294	4
	UV revestida 25 mm fl DCX	primer detector	Edmund Optics	A46-292	2
	Vis revestida 25 mm fl PCX	segundo detector	Edmund Optics	A45-363	1
	Vis revestida 30 mm fl PCX	segundo detector	Edmund Optics	A45-098	1
	50 mm fl 25 mm dia cyl	rayo láser de diodo	Edmund Optics	A46-017	1
	lente de 50 mm fl	tercer detector	Edmund Optics	A32-478	1
	lente de 75 mm fl	tercer detector	Edmund Optics	A32-480	1
	Placa de cuarto de onda	tercer detector	Melles Griot	02WRM001	1
Filtros	Filtro 280 de sem	primera fuente de luz de xenon	Laser2000 (SEMrock)	FF01-280/20-25	2
	Filtro 304 de sem	primer detector	Laser2000 (SEMrock)	FF01-300/LP-25	2

ES 2 748 378 T3

Artículo	Descripción del artículo	Uso	Proveedor	Código de orden	Cantidad
	Filtro DUG11	segunda fuente de luz de xenon	HV Skan	DUG11	1
	Filtro DUG11	primer detector	HV Skan	DUG11	1
	UG11	primer detector	HV Skan	UG11	1
	Filtro KV418	segundo detector	HV Skan	KV418	1
Espejos	Edmund	espejo de reflexión visible	Edmund Optics	A43-469	2
Tubos de lentes	Diafragmas de Iris de 25 mm Thor		ThorLabs	SM1D12	2
	Tubo de lente Thor		ThorLabs	SM1L03	8
	Tubo de lente Thor		ThorLabs	SM1L05	5
	Tubo de lente Thor		ThorLabs	SM1L10	2
	Tubo de lente Thor		ThorLabs	SM1L20	2
	Tubo de lente Thor		ThorLabs	SM1L30	2
	Piezas de enlace Thor		ThorLabs	SM1T2	5
	Anillo de retencion Thor		ThorLabs	SM1RR	20
	Acopladores de tubo de lente		ThorLabs	SM05T2	2
	Adaptadores de tubo de lente		ThorLabs	SM1A6	1
	Tapas de extremo del tubo de lente		ThorLabs	SM1CP2	2
Optoelectrónica	Láser 623 nm 12 mW	láser de diodo	Photonic products	401-PM	1
	Módulos de PMT	primer y segundo detector	Hamamatsu	H6779	2
	Fuente de luz de xenon	primera y segunda fuente de luz	Hamamatsu	L9455-01	2
	4 ánodos del PMT	tercer detector	Hamamatsu	R5900U-01-M4	1
	Toma para los 4 ánodos del PMT	tercer detector	Hamamatsu	E7083	1
	Suministro de HT para PMT de 12V	tercer detector	Hamamatsu	C4900-01	1
	LED rojo de 12V	indicador de potencia y bomba	Onecall	882-781	2
	LED azul de 12V	detección de partículas	Onecall	882-823	1
	Fotodiodos de silicio BPX65	monitores de potencia	RS	304-346	2
Eléctrica	Convertidor DC-DC	placa de alimentación	RS	473-5801	1

Artículo	Descripción del artículo	Uso	Proveedor	Código de orden	Cantidad
	Receptáculo para montaje en panel, contactos de patilla	conector de alimentación	Onecall	391-1317	1
	Contactos de clavija de enchufe recta-soldadura	conector de alimentación	Onecall	391-1688	1
	Tapa posterior de clavija	conector de alimentación	Onecall	391-2127	1
	1 m de cable USB tipo A-B	conector interno	Onecall	107-6669	1
	Conector USB para montaje en panel IP68 tipo B	puerto USB	Onecall	966-7750	1
	Cable USB Buccaneer IP68 tipo B, estándar	Conector USB externo	Onecall	999-7407	1
Mecánica	Kit conector de púas	conector de tubo	Cole Palmer	KH-31514-02	1
	Kit conector en Y/en T/codo de púas	conector de tubo	Cole Palmer	KH-31514-14	1
	Bomba de diafragma Airlite de 3 lpm	movimiento de aire	SKC Ltd		1
	filtros de aire	filtración de aire	Fisher Scientific	FDP-780-030Q	2

Haciendo referencia ahora a la Figura 3a, el equipo descrito en la técnica anterior citada comprende un láser 12 que proporciona un rayo láser 13 para iluminar un volumen específico 14 de un flujo de fluido 15. El volumen específico se mueve con el flujo de fluido a una segunda posición, volumen 16, en cuyo punto, una fuente de luz de xenón 17 ilumina el volumen 16 para generar fluorescencia de una partícula presente inicialmente en el volumen específico 14. La fuente de luz de xenón 17 proporciona un haz de luz 18 en un ángulo (aproximadamente de 30 a 45 grados) al volumen 16 y, por lo tanto, la anchura del haz de luz 18 se amplía para adaptarse a esta disposición: el volumen 16 debe estar tan uniformemente iluminado como sea posible. Haciendo referencia ahora a la Figura 3b, el equipo de la presente invención también comprende un láser 12 que proporciona un rayo láser 13 para iluminar un volumen específico 14 de un flujo de fluido 15. Sin embargo, una fuente de luz de xenón 19 está dispuesta para producir un haz de luz 20 en el mismo plano horizontal que el rayo láser 13, el cual permite que la anchura del rayo láser sea significativamente menos amplia y, por lo tanto, sea enfocado más estrechamente, mientras que retiene la irradiación total y completa del volumen 16. El efecto logrado por esta disposición de características es que una intensidad más elevada de luz UV ilumina cada partícula dando como resultado una respuesta de fluorescencia mejorada.

Haciendo referencia a la Figura 4, resultados producidos con la disposición de la Figura 1, el trazo 21 es la respuesta del segundo detector después de la iluminación de la zona, es decir, la zona de detección, del equipo con un láser, una primera fuente de luz de xenón y una segunda fuente de luz de xenón. La señal relativamente larga de 10 μ s producida en el trazo 21 se debe a que la partícula pasa a través del rayo láser y dispersa la luz. Los pulsos de fluorescencia mucho más cortos ($\sim 1 \mu$ s) aparecen debido al disparo de las dos fuentes de luz de xenón. El trazo 22 es la respuesta del primer detector, el cual tras la irradiación con la primera fuente de luz de xenón (280 nm) registra una señal correspondiente a la fluorescencia de la partícula en la banda de longitud de onda de 300 a 400 nm, y tras la irradiación con la segunda fuente de luz de xenón (370 nm) registra la luz dispersada elásticamente de la partícula, ya que la longitud de onda de la segunda fuente de luz cae dentro de la banda de longitud de onda del primer detector, la cual satura el detector. El trazo 23, apenas visible debajo del trazo 22, muestra la respuesta del primer detector al disparar las dos fuentes de luz de xenón en ausencia de una partícula. El trazo 24 es la respuesta del segundo detector al disparar las dos fuentes de luz de xenón en ausencia de una partícula. Idealmente, esto debería dar como resultado una señal cero detectada, sin embargo, debido a los filtros imperfectos y los bajos niveles de fluorescencia dentro de la propia cámara de dispersión, se detecta una señal medible. Este es uno de los factores que, finalmente, limita la sensibilidad del instrumento. Esta señal de fluorescencia de 'fondo' es aproximadamente 1/20 de la señal registrada de una partícula de calibración de poliestireno de 3 μ m. Por comparación, en el equipo descrito en la solicitud de patente internacional. PCT/GB2004002761 y los equipos descritos en Kaye P. H. et al, Proceedings SPIE, Simposio Europeo de Optica/Fotónica en Seguridad y Defensa, Brujas, septiembre de 2005, 59900 N1-N12, la señal de fondo registrada es aproximadamente 1/3 de la señal registrada para una partícula de calibración de poliestireno de 3 μ m,

y por lo tanto la disposición de la Figura 1 posee una mejora en la sensibilidad de 6 veces. La mejora se debe a los niveles más bajos de luz UV parásita en la cámara y a los niveles más altos de fluencia UV en la partícula lo que ambas dan como resultado la alineación horizontal de las fuentes de luz de xenón y el láser, con cada característica estando presente en un plano sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido, permitiendo por lo tanto que las fuentes de luz de xenón se enfoquen más estrechamente.

La secuencia de regulación del tiempo para el disparo del láser y las dos fuentes de luz de xenón para irradiar (iluminar) una sola partícula se calcula basándose en la velocidad del flujo de aire a través del equipo. Una descripción del procedimiento realizado dentro de una disposición del equipo (tal como el ilustrado en la Figura 1), junto con la secuencia del disparo, es la siguiente:

1. A medida que una partícula pasa a través del haz de luz láser de 635 nm, la luz se dispersa en todas las direcciones, con la luz dispersada frontal cayendo sobre el tubo fotomultiplicador de cuadrante, el cual proporciona datos para la detección de la partícula y la determinación de la forma de la partícula. La luz dispersada en un intervalo de ángulos alrededor de +/- 90 grados cae sobre los dos espejos cóncavos y se refleja a través de la abertura en el espejo opuesto a uno de los detectores. El primer detector no es capaz de detectar la luz dispersada debido a que el filtro específico montado en el detector solo es capaz de detectar longitudes de onda de luz entre 300 y 400 nm. Sin embargo, el segundo detector registra esta luz dispersada que produce una señal proporcional a la cantidad de luz (véase la señal amplia en el trazo 21 de la Figura 4). Esta señal se utiliza junto con la señal dispersada frontal (no se muestra en la Figura 4) en el tubo fotomultiplicador de cuadrante para determinar el tamaño de partícula.

2. La partícula se detecta aproximadamente 10 μ s después mediante la luz dispersada registrada en el segundo detector, la primera fuente de luz de xenón (280 nm) se activa para disparar. Durante este período de 10 μ s, la partícula se habrá movido aproximadamente 300 μ m y estará por debajo del nivel del rayo láser. Se recoge la fluorescencia de la partícula tanto por el primer como por el segundo detector (véase las señales en los trazos 21 y 22 en la Figura 4).

3. Además unos 10 μ s más tarde, se dispara la segunda fuente de luz de xenón (370 nm), y de nuevo se recoge por el primer y segundo detector la fluorescencia excitada en la partícula por esta longitud de onda más larga de UV (ver trazo 21 y 22 en la Figura 4). Se debería observar que como la segunda fuente de luz tiene una banda de longitud de onda (370 nm) dentro de aquella de la banda de longitud de onda del primer detector (300 a 400 nm), el detector, de hecho, registra la intensidad de luz de la fuente de luz dispersada elásticamente por la partícula, y como esto es generalmente varios órdenes de magnitud mayor que la fluorescencia esperada normalmente de una partícula, la señal registrada en este detector (véase trazo 22 de la Figura 4) se satura y no tiene valor material en la determinación de la partícula...

Después se recargan las fuentes de luz de xenón, lo que lleva aproximadamente 5 ms, antes de que se pueda repetir la secuencia. El tiempo de recarga combinado con el límite térmico de 125 destellos/segundo para las fuentes de luz de xenón limita el número de partículas que se pueden medir a aproximadamente 125 partículas por segundo. Cualquier partícula que pase a través del rayo láser mientras se recargan las fuentes de luz de xenón se detecta y se cuenta, sin embargo, no se realizan medidas de fluorescencia. Además, debido a que la partícula se mueve aproximadamente 500 μ m durante cada ciclo de medida, las dos fuentes de luz de xenón y el primer y segundo detector pueden estar dispuestos cada uno en un plano por debajo del del rayo láser para mejorar la eficiencia de captura de la luz de fluorescencia de la partícula.

Para reducir la aparición de resultados falsos positivos y para mejorar la medida del tamaño de partícula, se determina la forma de la partícula mediante la distribución azimutal de la luz dispersada alrededor del eje del haz de luz. Por esto, un detector de tubo fotomultiplicador de cuadrante es una característica del equipo. Las partículas alargadas, tal como las fibras o los bacilos en forma de varilla, tienden a alinearse con su eje largo paralelo al eje del flujo de aire. El patrón de dispersión de la partícula es entonces característico de la forma de la partícula y su alineación. Esta medida de la forma permite al equipo diferenciar entre partículas con características de fluorescencia similares, tal como las gotitas lipídicas sin quemar de aquella de las esporas del *Bacillus globigii*: las gotitas lipídicas se registran como esféricas, las esporas no. Haciendo referencia a la Figura 5, la respuesta de los cuatro canales del tubo fotomultiplicador permite la caracterización e identificación de una gotita 25 (esférica), una fibra 26 (donde su alineación vertical conduce a una dispersión predominantemente horizontal), una partícula en forma de lámina 27 y una partícula de forma irregular 28 (sin geometría específica). Los valores registrados en cada uno de los cuatro canales permiten el cálculo de un único factor de asimetría (Af, en inglés Asymmetry Factor) para la partícula, basado en la raíz cuadrada media de la variación en la intensidad sobre el eje del rayo láser (azimut). Af se ajusta a escala para dar 0 para una esfera perfecta y 100 para una partícula fibrosa larga. En la práctica, debido a las limitaciones en la señal a ruido en los cuatro canales, las partículas esféricas no dan 0, pero tienen normalmente un valor pequeño, normalmente <5.

La determinación del tamaño de partícula utilizando la disposición de la Figura 1 se realiza combinando la respuesta a la luz dispersada frontal registrada por el detector de tubo fotomultiplicador de cuadrante con la respuesta a la luz dispersada lateral registrada en el segundo detector que proporciona una medida de tamaño más precisa que cualquier respuesta sola. La curva de respuesta resultante de la salida del tubo fotomultiplicador de cuadrante tomada sola no es monótona, pero muestra oscilaciones de Mie en varios puntos, lo que significa que la conversión de la salida a un valor de tamaño de partícula no se puede realizar sin ambigüedad. De manera similar, la salida de la señal de

dispersión registrada en el segundo detector es proporcional al tamaño de partícula pero no de manera monótona. También tiene oscilaciones de Mie en la curva de respuesta, pero estas aparecen en diferentes tamaños de partícula a las de las curvas de respuesta en el tubo fotomultiplicador de cuadrante. Por lo tanto, combinando la salida de los dos detectores, se pueden minimizar los efectos no deseados de las ambigüedades en el tamaño causadas por las oscilaciones de Mie (véase la Figura 8).

Teniendo en cuenta ahora la Figura 6, la disposición de los componentes (láser 29, fuentes de luz de xenón 30, los dos detectores 31 y los dos espejos de vidrio cóncavos que contienen aberturas centrales 32) en el equipo es esencialmente simétrica, en un plano horizontal, alrededor del eje del rayo láser 33 con un espejo, un detector y una fuente de luz de xenón en cada lado del rayo láser 33. En esta disposición, la separación de las superficies del espejo por su eje común es de $3/2x$ la longitud focal de los espejos, de modo que la luz de la zona de detección del equipo se refleja desde un espejo y regresa a través de la abertura en el segundo espejo y hacia el detector, como se ilustra en la Figura 6. La posición angular de las fuentes de luz de xenón en el plano horizontal no es importante, pero se rige por consideraciones mecánicas de ajuste de la óptica de xenón en el espacio proporcionado que garantiza que el haz de luz de cada fuente de luz de xenón sale de la zona, es decir, el espacio entre los espejos, sin el haz de luz siendo incidente en cualquier espejo. En esta disposición del equipo se utiliza una longitud focal del espejo de 25 mm para garantizar que la separación del espejo sea suficiente para permitir que las dos fuentes de xenón y la óptica del láser se ajusten todos en el plano horizontal e iluminen la zona del equipo. Los espejos en esta disposición tienen una longitud focal más larga que los espejos en el equipo descrito en Kaye P. H. et al, Proceedings SPIE, Simposio Europeo de Óptica/Fotónica en Seguridad y Defensa, Brujas, septiembre de 2005, 59900 N1-N12 (longitud focal de 17,5 mm) en la cual las dos fuentes de luz de xenón y el láser están en el mismo plano vertical, el cual no es sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de aire, y por lo tanto los espejos son capaces de estar más próximos entre sí sin interferir con los haces de luz. El resultado de esto es que la recogida de luz por cada espejo en esta disposición de la invención es ligeramente menor que la del equipo en la técnica anterior citada, sin embargo, esta desventaja está más que compensada por la ventaja de tener las dos fuentes de luz de xenón ambas en el plano horizontal, en donde se pueden enfocar más estrechamente sobre el volumen específico del flujo de fluido.

Teniendo en cuenta ahora la Figura 7, ambos detectores 31 están presentes, como se muestra, en un solo lado del rayo láser 33. Aquí, los espejos 32 están separados por $3x$ la longitud focal de los espejos. La luz de una partícula dispersada o emitida hacia el espejo de mano derecha se refleja de nuevo a través de la zona en el espejo de mano izquierda y después se refleja de nuevo a través de la abertura en el espejo de mano derecha. La luz dispersada o emitida hacia el espejo izquierdo también se refleja a través de la abertura en el espejo de mano derecha. La luz recogida puede indicir después en un espejo dicróico a 45° para reflejar la luz en una banda de longitud de onda (300 a 400 nm) a un detector mientras que la luz en una segunda banda de longitud de onda (400 a 600 nm) se transmite al segundo detector.

Teniendo en cuenta ahora la Figura 8, las respuestas teóricas del flujo de luz (eje y) en el detector de cuadrante 34 (luz dispersada frontal) y el segundo detector de tubo fotomultiplicador 35 (luz retrodispersada/dispersada lateral) se calcularon para aumentar el tamaño de partículas (eje x) utilizando la teoría de Mie, que asume que todas las partículas son esféricas. Las respuestas 34 y 35 muestran que las señales de dispersión medidas por estos sensores se pueden utilizar para obtener una impresión del tamaño de partícula. Sin embargo, ambas curvas muestran ondulaciones (oscilaciones de Mie), lo cual significa que el tamaño de una partícula basado en una respuesta de un solo detector puede ser ambiguo (es decir, una línea horizontal puede cruzar la línea en más de un punto, y por lo tanto es posible más de un tamaño de partícula). Para minimizar el problema, se combinaron las respuestas 34 y 35 tal que la respuesta 34 es dominante para tamaños de partículas de hasta 3 μm y la respuesta 35, la más débil de las dos pero menos propensa a las oscilaciones de Mie, es dominante para tamaños de partículas más grandes. Para lograr esto la respuesta 35 se elevó al cuadrado para aumentar su magnitud con respecto a la respuesta 34, y además se modificó matemáticamente para mejorar la coincidencia entre las dos señales. Esto implicó cambiar el exponente de la respuesta 35 de 2 a 2,1 y dividir el resultado por 1000. La respuesta 36 muestra las dos señales combinadas. La gráfica es en realidad la raíz cuadrada de la combinación, es decir, la raíz cuadrada de la respuesta 34 más la respuesta $35^{2.1}/1000$. La raíz cuadrada permite un buen ajuste de un segundo orden en lugar de un polinomio de tercer orden para la respuesta 36, que presenta oscilaciones de Mie mucho más pequeñas. La ecuación polinomial $y=16,779x^2+95,563x-11,966$ se utiliza después en el software para convertir las señales de dispersión combinadas en una aproximación del tamaño de partícula individual.

Teniendo en cuenta ahora la Figura 9, una sección transversal de una realización del equipo a lo largo del eje del rayo láser muestra las características para permitir que un aerosol fluya a la zona de detección del equipo, y de este modo se ilumine con un rayo láser 43. El aire ambiente se extrae en la entrada de aerosol 37 por la bomba de aire a una velocidad de 2,115 ml/min. Unos 211 ml del flujo de aire (10%) continúan fluyendo hacia abajo en el tubo central de suministro de muestra 38, de 1,65 mm de diámetro interno. El resto del flujo de aire se extrae a través de un tubo lateral 39 y se reintroduce en otro tubo lateral 40 como un flujo de envoltura libre de partículas después de pasar a través de un filtro HEPA 41. Los dos flujos de aire se unen como un flujo laminar al final del tubo de suministro de muestra y se enfocan a un diámetro total más estrecho de 1 mm mediante una boquilla de entrada ahusada 42. El flujo de muestra está restringido a una columna vertical de $\sim 0,6$ mm de diámetro cuando pasa a través del rayo láser 43, 5 mm por debajo de la punta de la boquilla 42. Después se ventila el aire a través del tubo de ventilación 44.

Se proporciona el rayo láser 43 por un módulo de láser de diodo de onda continua de 12 mW 45 a una longitud de onda de 635 nm. El haz de salida del láser está polarizado linealmente y se debe polarizar circularmente para garantizar que el patrón de dispersión de la partícula recibido por el detector fotomultiplicador de cuadrante 47 no se vea afectado por los efectos de polarización que podrían perjudicar la caracterización de la forma de la partícula a partir de los datos del detector. Después, el haz pasa a través de una lente cilíndrica de 75 mm de longitud focal 46, tal que, en la intersección del haz con el flujo de aire de la muestra, el haz tiene aproximadamente 150 μm de profundidad. Esta intersección, denominada como el volumen específico, tiene forma de disco, de dimensiones de 0,6 mm de diámetro y 150 μm de espesor. Una partícula en este volumen específico dispersará la luz al detector de PMT de cuadrante 47 que se coloca tal que el centro del cuadrante se sitúa en el eje del haz y las líneas que separan los cuadrantes están a 45° con respecto a la vertical.

REIVINDICACIONES

1. Un equipo para la detección de una partícula transportada por fluido que comprende
 - i. un par de superficies reflectantes cóncavas coaxialmente opuestas (32) que tienen la misma longitud focal, en donde solo una de las superficies reflectantes comprende una abertura central, las superficies reflectantes separadas por su eje común por tres veces la longitud focal de las superficies reflectantes cóncavas alrededor de una zona y un medio de flujo proporcionado para suministrar un flujo de fluido que comprende la partícula transportada por fluido a través de la zona;
 - ii. un láser de onda continua (29) dispuesto para iluminar el flujo de fluido en la zona para identificar la presencia de la partícula transportada por fluido en la zona;
 - iii. un primer y segundo detector (31) en donde el primer detector está dispuesto para detectar luz dispersada y/o emitida de una primera banda de longitud de onda que emana de la zona, y el segundo detector está dispuesto para detectar luz dispersada y/o emitida de una segunda banda de longitud de onda que emana de la zona;
 - iv. una primera y segunda fuente de luz (30) en donde la primera fuente está dispuesta para iluminar la zona con la luz de una tercera banda de longitud de onda y la segunda fuente está dispuesta para iluminar la zona con la luz de una cuarta banda de longitud de onda; y
 - v. un tercer detector dispuesto para detectar la luz dispersada frontal como resultado de la iluminación de la partícula por el láser y/o la primera o segunda fuente de luz

en cuyo caso el láser de onda continua (29), la primera fuente de luz y la segunda fuente de luz (30) se configuran de forma secuencial para iluminar la partícula transportada por fluido en la zona, y cada una está dispuesta en un plano sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido proporcionado por el medio de flujo, el primer y segundo detector (31) están presentes en un solo lado del rayo láser (33) y están dispuestos para detectar la luz enfocada a través de la abertura central, el segundo detector está dispuesto para detectar la luz retrodispersada o la dispersada lateral, y el equipo comprende además medios de realimentación entre el segundo detector y el tercer detector configurado para combinar la respuesta de luz dispersada frontal detectada en el tercer detector con la respuesta de luz retrodispersada o la dispersada lateral detectada en el segundo detector para reducir el efecto de las oscilaciones de Mie en una curva de respuesta calibrada.
2. Un equipo según la reivindicación 1, en donde el primer y segundo detector (31) están dispuestos en un plano sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido proporcionado por el medio de flujo.
3. Un equipo según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el láser (29) y la primera y segunda fuente de luz (30) están dispuestos sustancialmente en un único plano sustancialmente ortogonal a la dirección del flujo de fluido proporcionado por el medio de flujo.
4. Un equipo según la reivindicación 3, en donde el primer y segundo detector (31) están dispuestos sustancialmente en el mismo plano que el láser (29) y la primera y segunda fuente de luz (30).
5. Un equipo según las reivindicaciones 1 a 4, en donde la tercera banda de longitud de onda es más corta en longitud de onda que la primera banda de longitud de onda y la segunda banda de longitud de onda.
6. Un equipo según las reivindicaciones 1 a 5, en donde el tercer detector está dispuesto en el mismo plano que el láser (29) y la primera y segunda fuente de luz (30).
7. Un equipo según las reivindicaciones 1 a 6, en donde la primera banda de longitud de onda es de 300 a 400 nm.
8. Un equipo según las reivindicaciones 1 a 7, en donde la segunda banda de longitud de onda es de 420 a 600 nm.
9. Un equipo según las reivindicaciones 1 a 8, en donde la tercera banda de longitud de onda es de 280 nm y la cuarta banda de longitud de onda es de 370 nm.
10. Un equipo según las reivindicaciones 1 a 9, en donde el tercer detector es un detector de tubo fotomultiplicador de cuadrante.
11. Un equipo según las reivindicaciones 1-10, que comprende adicionalmente un espejo dicróico a 45° dispuesto para reflejar la luz en la banda de longitud de onda de 300 a 400 nm al primer detector y transmitir la luz en la banda de longitud de onda de 400 a 600 nm al segundo detector.
12. El uso del equipo según las reivindicaciones 1 a 11 para detectar partículas transportadas por fluidos.

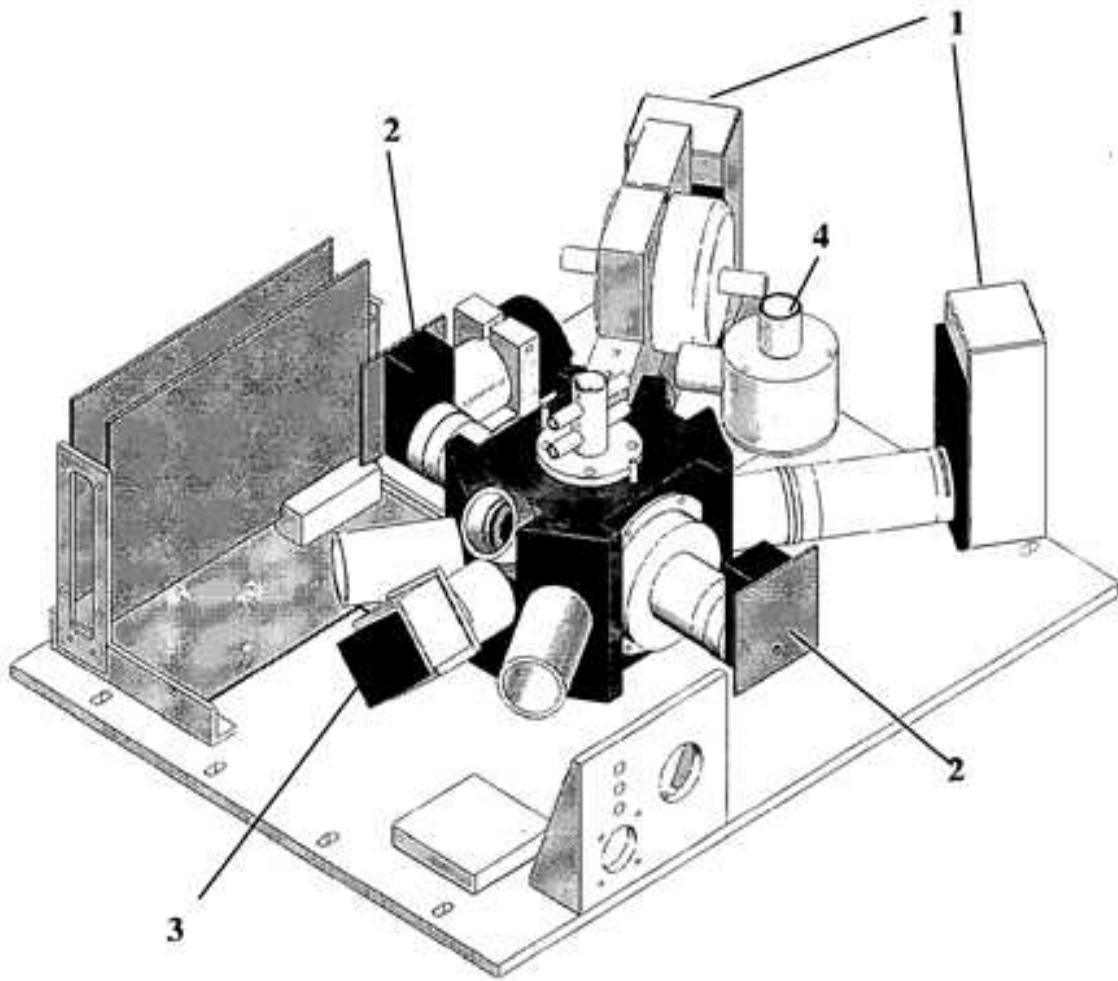


Figura 1

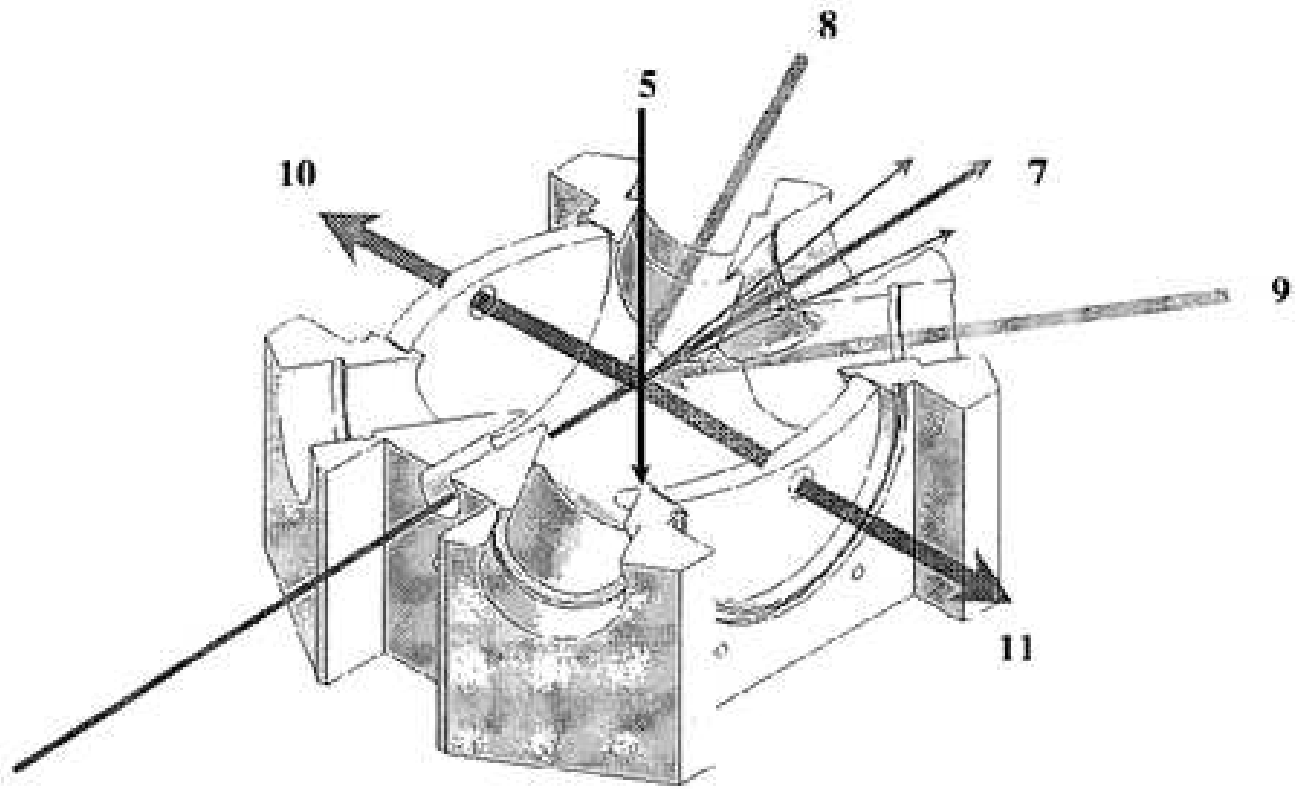


Figura 2

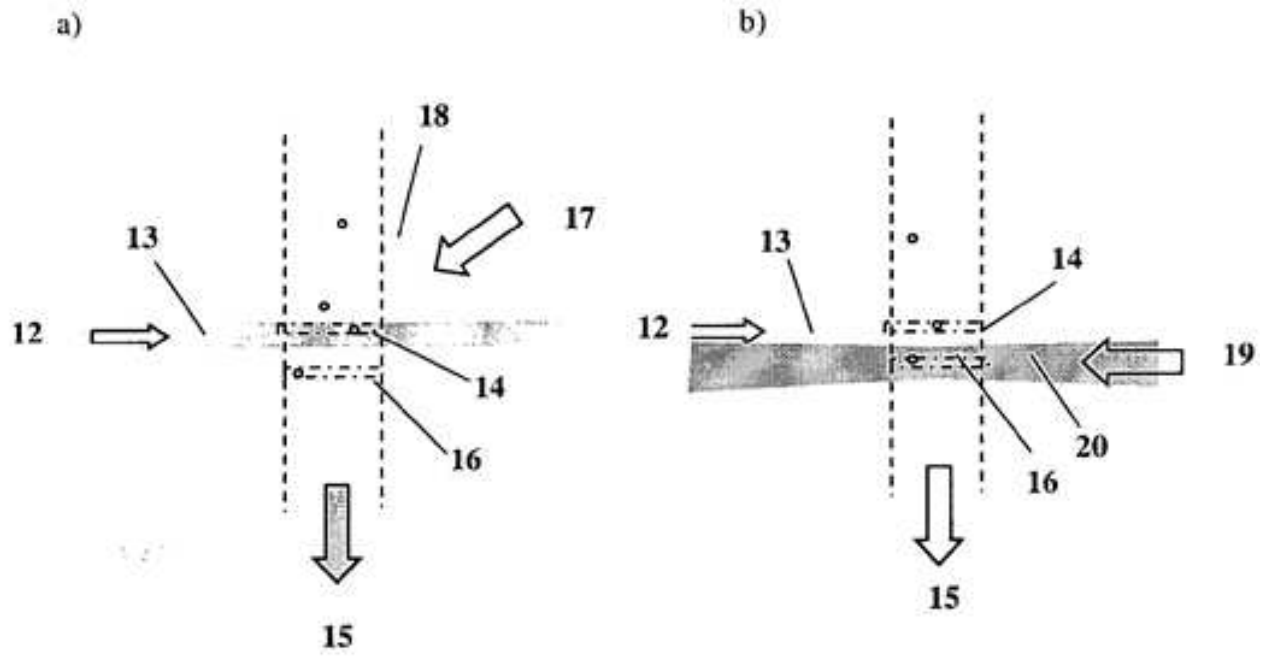


Figura 3

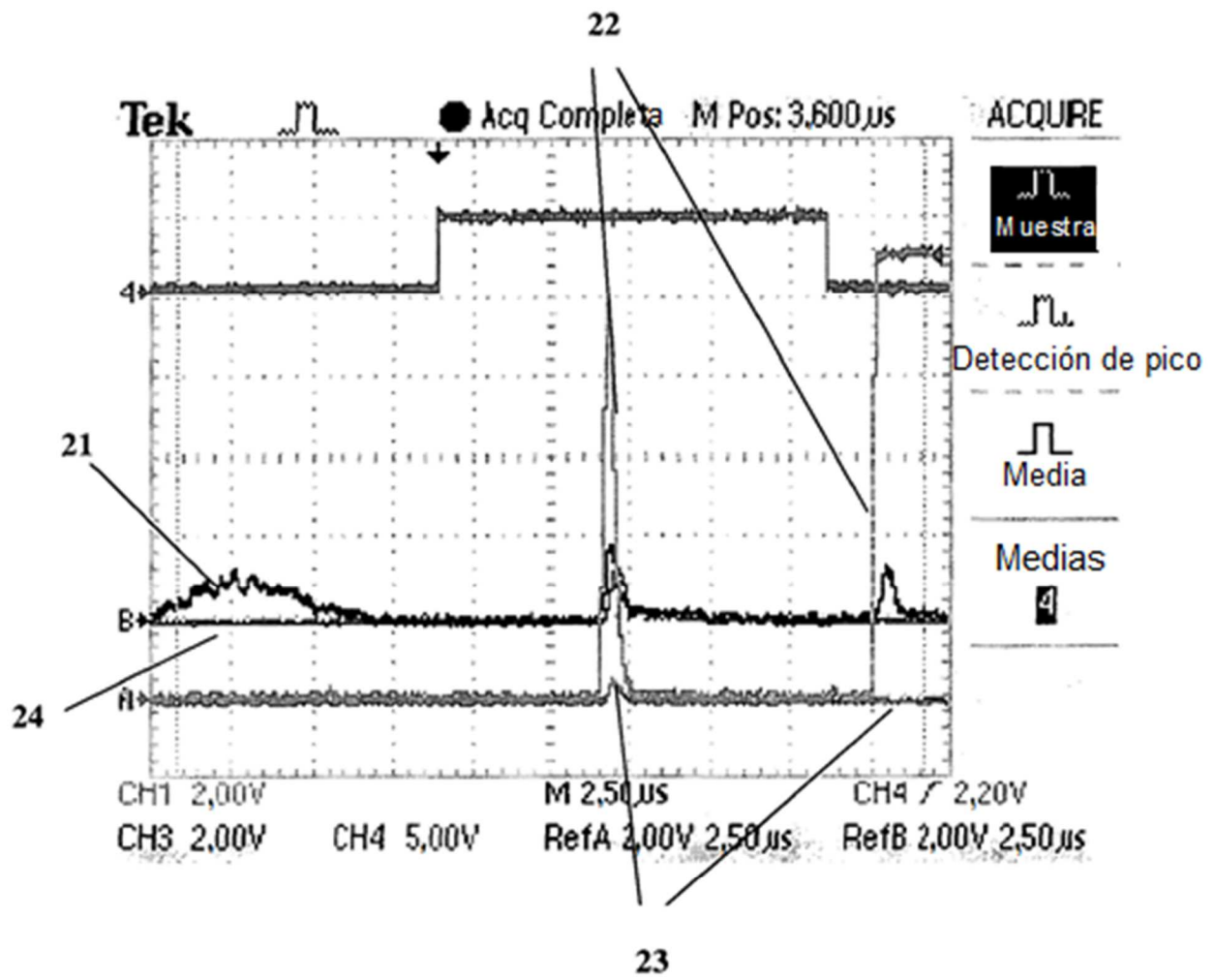


Figura 4

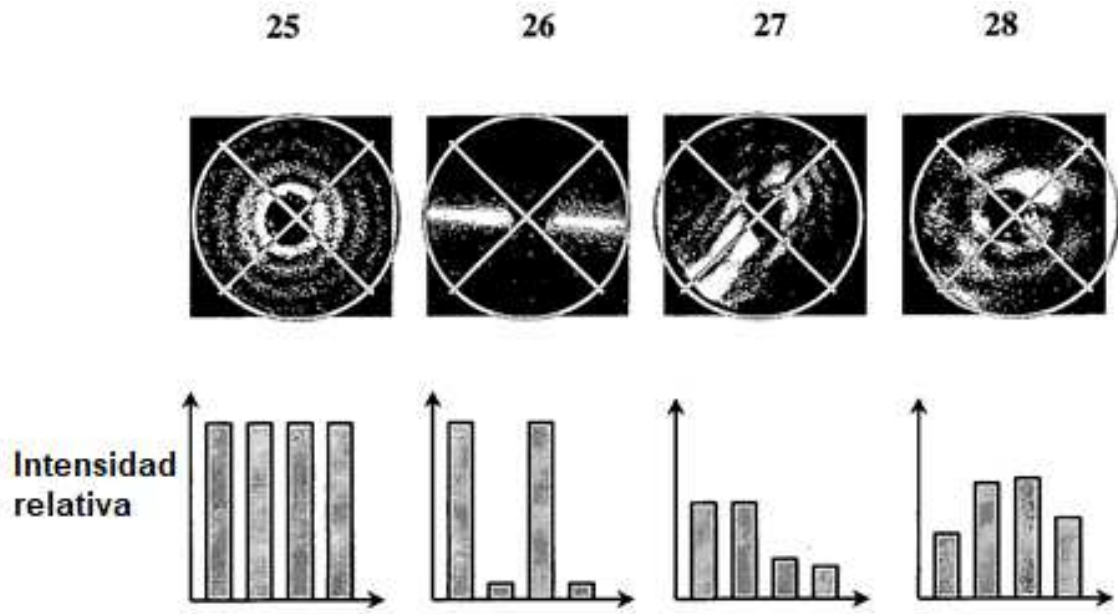


Figura 5

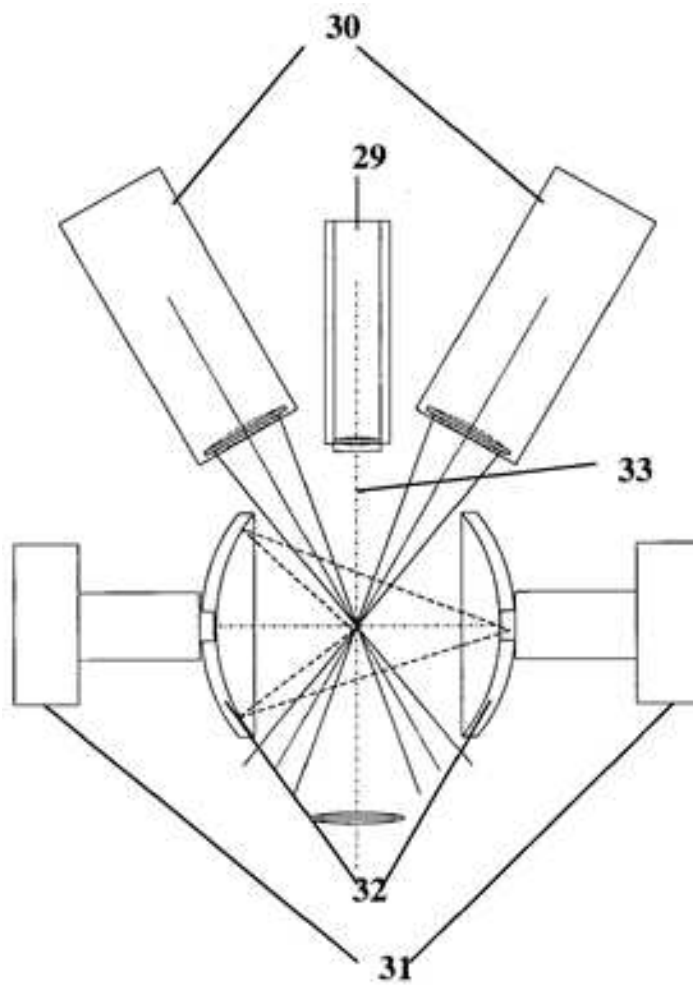


Figura 6

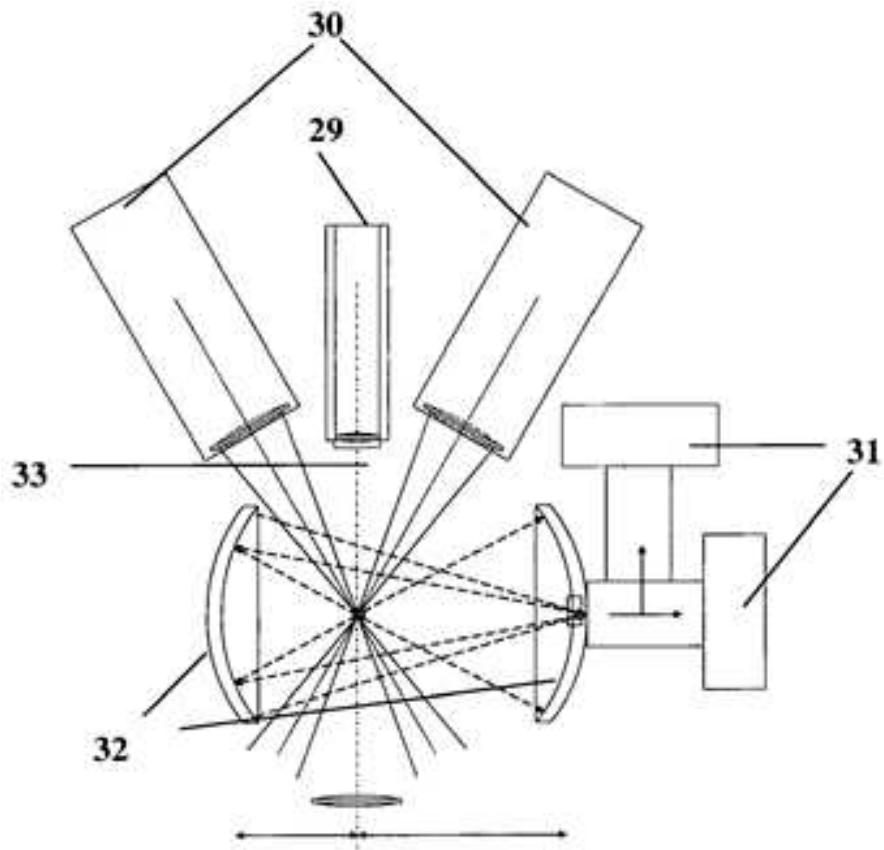


Figura 7

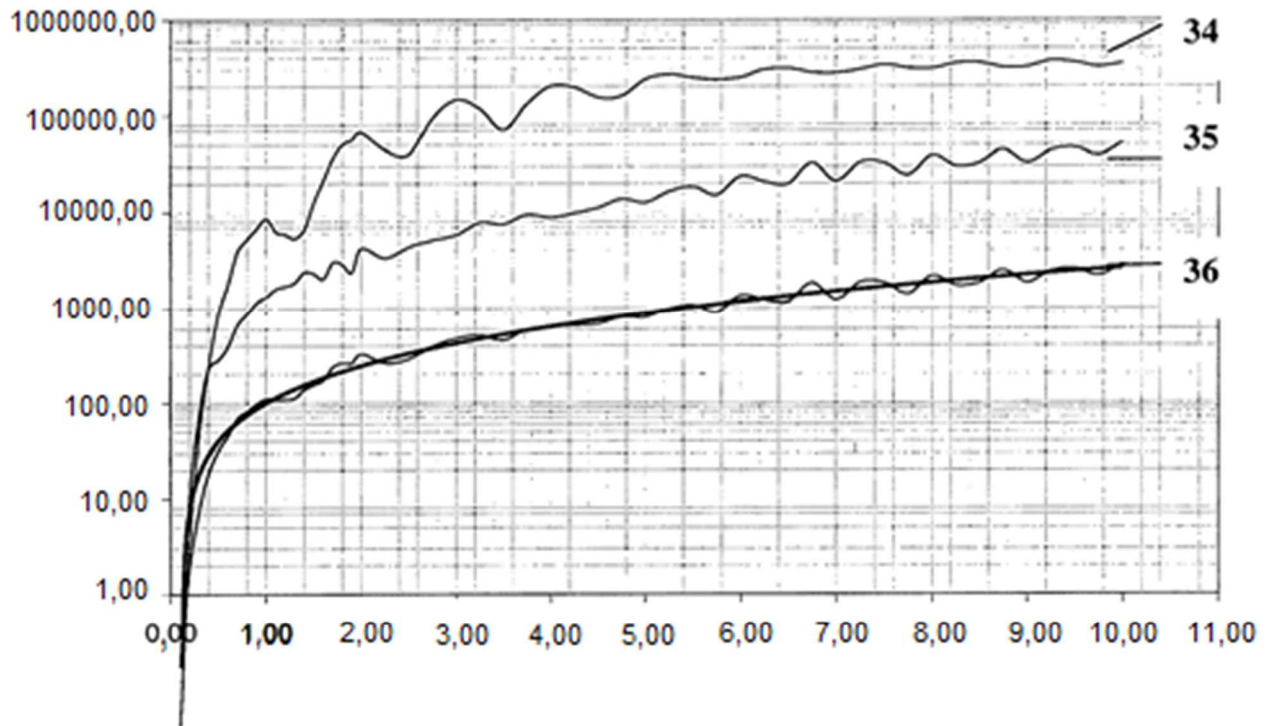


Figura 8

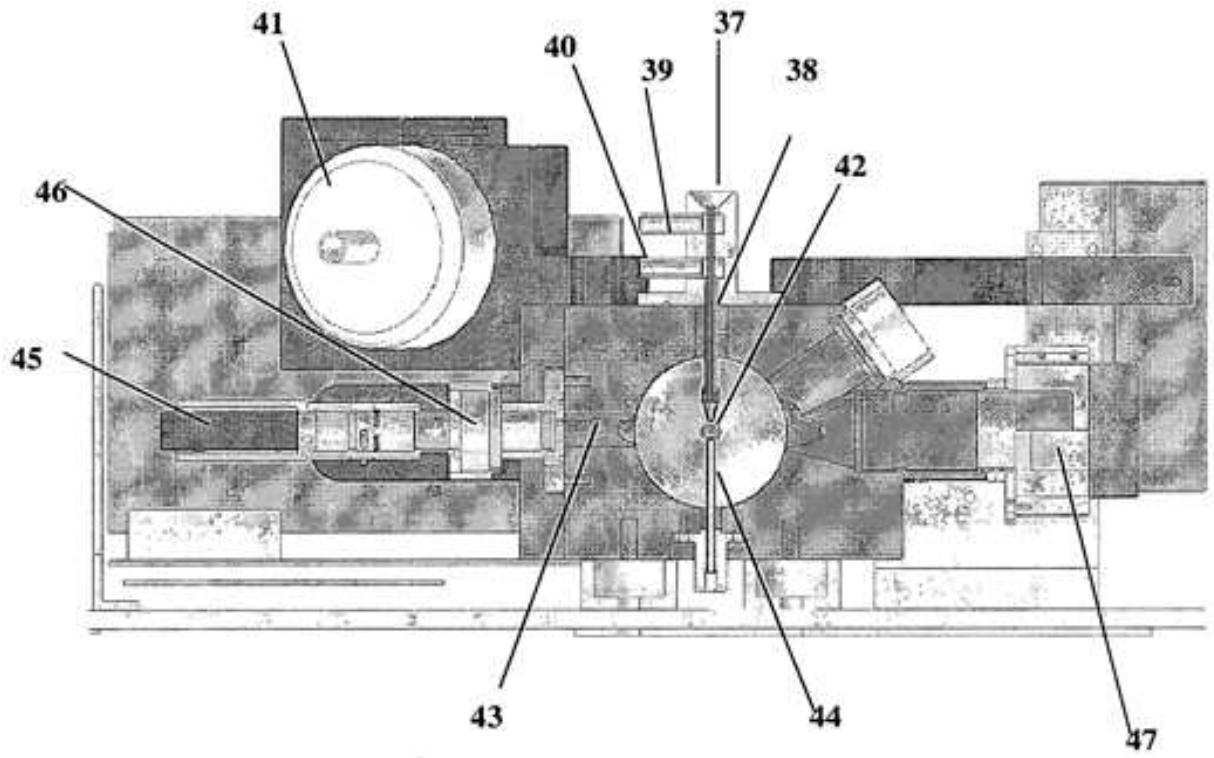


Figura 9