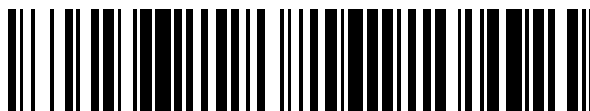


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 148**

51 Int. Cl.:

G01N 21/49 (2006.01)

G01N 21/31 (2006.01)

G01N 15/00 (2006.01)

G01N 15/14 (2006.01)

G01N 21/47 (2006.01)

G01N 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.01.2018** **E 18154509 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2019** **EP 3521810**

54 Título: **Aparato de análisis para la determinación de polvo fino**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.08.2020

73 Titular/es:

SICK ENGINEERING GMBH (100.0%)
Bergener Ring 27
01458 Ottendorf-Okrilla, DE

72 Inventor/es:

SCHLADITZ, ALEXANDER y
KLINDER, KAI

ES 2 778 148 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

Aparato de análisis para la determinación de polvo fino

5 La invención se refiere a un aparato de análisis óptico para la determinación de polvo fino según el preámbulo de la reivindicación 1.

El polvo fino es hoy en día un tema de actualidad. Por polvo fino se entienden las partículas más pequeñas cuyo tamaño (diámetro aerodinámico) es inferior a 10 μm .

10 El polvo fino se caracteriza con PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y PM_1 . La fracción de polvo identificada como polvo fino PM_{10} contiene un 50% de partículas con un diámetro de 10 μm , una proporción mayor de partículas más pequeñas y una proporción menor de partículas más grandes. La fracción de polvo identificada como polvo fino $\text{PM}_{2.5}$ contiene un 50% de partículas con un diámetro de 2,5 μm , una proporción mayor de partículas más pequeñas y una proporción menor de partículas más grandes. $\text{PM}_{2.5}$ es una cantidad parcial de PM_{10} . Para PM_1 el diámetro es de 1 μm .

15 Dado que los polvos finos representan riesgos para la salud, es importante evitarlos o reducir su presencia. Para tomar las medidas adecuadas y poder controlarlas, resulta imprescindible conocer la distribución de tamaños del polvo fino y las fracciones de masa de los polvos finos PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y PM_1 .

20 Los requisitos para la determinación de polvos finos aumentan constantemente, ya que los sistemas de filtrado de las instalaciones emisoras, como las centrales térmicas de carbón, son cada vez mejores, por lo que las concentraciones disminuyen, pero siendo al mismo tiempo los valores límite cada vez más rigurosos, por ejemplo, como consecuencia de la nueva versión de la Directiva de Techos Nacionales de Emisión (Directiva NEC) adoptada en 2016 que se complementó con una especificación para 2030, según la cual las emisiones alemanas de $\text{PM}_{2.5}$ deben reducirse en un 43% para 2030 con respecto a 2005. Esto significa que se deben determinar y analizar concentraciones cada vez más pequeñas.

25 En todo el mundo se utilizan sistemas de medición automática (AMS) que miden de forma continua, a fin de supervisar las emisiones o inmisiones de partículas. En la práctica, un AMS debe calibrarse en el lugar de instalación por medio de un método de referencia estándar gravimétrico (SRM), para traducir la información de la luz dispersa pura del AMS en concentraciones reales de masa de polvo. En caso de pequeñas concentraciones de masa de polvo ($\sim 1 \text{ mg/m}^3$), esta calibración resulta en la práctica cada vez más complicada produciéndose un aumento de la inexactitud. En todo el mundo se están realizando enormes esfuerzos, por ejemplo, aumentando artificialmente la concentración de polvo mediante la inyección de polvo adicional o reduciendo el efecto de limpieza de los gases de escape para que los valores de la medición SRM superen el umbral de detección. Alternativamente, el legislador en Europa permite una prolongación del tiempo de medición, a fin de cuantificar mejor las concentraciones de polvo muy pequeñas o, en casos excepcionales, permite el uso de las así llamadas sustancias de sustitución cuya distribución granulométrica es similar a la del gas de escape.

35 El inconveniente consiste en que estos procedimientos no proporcionan soluciones reales al problema de medición, ya que, por el contrario, incrementan los costes para el operador de la planta en relación con la calibración inicial o con la prueba funcional regular. Además, con el AMS actual no se puede obtener ninguna información clasificada por tamaños sobre la concentración de polvo.

40 Por el documento EP 0 391 256 B1 se conoce un aparato de análisis para la determinación de la distribución granulométrica en el que se utiliza la tecnología de luz dispersa de 90°. El tamaño de las partículas está determinado por la luz dispersada lateralmente. La luz dispersa se detecta y se mide como una señal de tensión. Mediante una función de calibración es posible sacar conclusiones respecto al tamaño de partícula a partir de la señal de tensión. El número de partículas se obtiene de la misma señal contando los pulsos de la señal. La concentración de la masa de partículas separada según el tamaño de partícula se calcula mediante una integración del volumen de la curva de distribución del número de partículas medidas.

45 El mayor inconveniente de esta tecnología de luz dispersa de 90° radica en que se mide la luz dispersa de las distintas partículas. Para ello se requieren partículas individuales que deben estar presentes en el volumen de medición y que, por lo tanto, deben introducirse en el volumen de medición como partículas individuales. Esto es costoso y conlleva además otros problemas, como las bajas presiones parciales y la aportación de gas portador (para la dilución), que pueden falsear los resultados de la medición.

50 Otra técnica para el análisis del tamaño de las partículas es la tecnología de difracción láser (laser diffraction technology). La interacción de la luz láser con las partículas da lugar a patrones de dispersión característicos. Estos patrones de dispersión dependen del tamaño de las partículas, de las propiedades ópticas de las partículas, de la dispersión y de la longitud de onda de la luz incidente. Las partículas grandes tienden a dispersar la luz en la dirección de los pequeños ángulos de dispersión. Por este motivo, un aparato de análisis necesita una resolución alta en la dirección de avance, pero también en la dirección de ángulos de dispersión grandes para la luz dispersada lateralmente y hacia atrás. Un aparato de análisis conocido es el HORIBA LA-960 que dispone de un detector de anillo multielemento en dirección hacia adelante y una pluralidad de otros detectores individuales en dirección lateral y hacia atrás, abarcando así campos amplios de todo el rango de medición. Adicionalmente se utilizan dos fuentes

de luz con diferentes longitudes de onda (650 nm o 405 nm), con lo que se aumenta la sensibilidad para las partículas más pequeñas (nanopartículas).

El principal inconveniente de la tecnología de difracción láser (laser diffraction technology) es que el aparato no proporciona una distribución absoluta del tamaño de las partículas (en unidades físicas, por ejemplo, $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En cambio, estos dispositivos proporcionan una función de distribución de tamaño relativa y una distribución de tamaño acumulativa de 0 a 100%. Por consiguiente no se puede obtener una concentración de masa de partículas ni fracciones de masa de los polvos finos, es decir, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ o PM_{10} .

En el documento EP 0493806 A2 también se describe un instrumento similar al aparato de análisis HORIBA LA-960.

En el artículo LISENKO S A AND KUGEIKO M M: "Método de nefelometría para medir las concentraciones en masa de aerosoles urbanos y sus fracciones respiratorias", *ATMOSPHERIC AND OCEANICS OPTICS*, Vol. 27, Núm. 6, 2014, páginas 587-595, se describe un sistema basado en un trabajo teórico para poder calcular los valores de concentración de polvo PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} a partir de los datos del detector mediante dos disposiciones angulares y dos longitudes de onda con la ayuda de una regresión lineal.

El documento US 2017011499 A1 describe la posibilidad de combinar tres haces de luz de diferentes longitudes de onda en una trayectoria óptica común por medio de espejos divisores.

El documento US 5104221 A revela otro aparato de análisis en el que principalmente se mide un ángulo de dispersión de 90° .

GAYET et al: "Un nuevo nefelómetro polar aerotransportado para las mediciones de las propiedades ópticas y microfísicas de las nubes. Parte I: Diseño teórico", *ANNALES GEOPHYSICAE*, SPRINGER, BERLIN, DE, Vol. 15, Núm. 4, 1 de abril de 1997 (1997-04-01), páginas 451-459, XP019350258, ISSN: 1432-0576, DOI: 10.1007/800585-997-0451-1, describe un aparato de medición para medir la función de fase dispersa de gotas de agua y cristales de hielo en el rango de unos pocos μm a $500 \mu\text{m}$ con un gran número de detectores de forma casi continua en todo el rango angular y con un detector de avance. El aparato no está concebido para obtener una distribución de tamaños a partir de esta medición.

El documento WO 2014/065694 A1 describe otro dispositivo de medición óptico en el que la luz dispersa se mide en cuatro ángulos de dispersión diferentes.

WEST et al: "Mediciones de laboratorio de la función de la fase de dispersión del polvo mineral y de la polarización lineal", *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, Vol. 102, Núm. D14 (1997-07-27), XP055591245, US ISSN: 0148-0227, DOI: 10.1029/96J D02584, describe un aparato de medición para medir la dispersión de la luz en partículas pequeñas. Como en el documento Gayet et al antes descrito, prácticamente todo el campo angular de dispersión de 0° a 180° se mide casi continuamente de un modo muy complejo. Con esta finalidad se prevén 210 detectores individuales que se distribuyen en seis conjuntos de filas con 35 elementos de detección cada uno. Seis ópticas proyectan todo el campo angular en los elementos detectores.

Partiendo de este estado de la técnica, la tarea de la invención consiste en poner a disposición un aparato de análisis mejorado con el que se puedan evitar los inconvenientes antes mencionados.

Esta tarea se resuelve con un aparato de análisis óptico para la determinación de polvo fino con las características de la reivindicación 1.

El aparato de análisis según la invención comprende

- tres fuentes de luz para emitir tres haces de luz de emisión con diferentes longitudes de onda,

- un dispositivo para combinar los tres haces de luz de emisión en una trayectoria óptica común,

- un volumen de medición en el que se puede introducir un gas cargado de polvo fino y en el que la luz de emisión incide en el gas a medir y se dispersa en el polvo fino, definiéndose en el volumen de medición un punto central a partir del cual se definen los ángulos de dispersión y definiendo el eje óptico en la dirección de dispersión hacia delante el ángulo de dispersión de 0° ,

- un dispositivo de absorción de luz a 0° que detecta la luz no dispersa,

- un primer detector dispuesto entre 0° y 6° inmediatamente adyacente al dispositivo de absorción de luz (el ángulo más pequeño posible dependiendo de las dimensiones típicas de 6°) que detecta la luz dispersa en dirección hacia delante,

- un segundo detector dispuesto en un segundo ángulo de dispersión a 28° ,

- un tercer detector dispuesto en un tercer ángulo de dispersión a 61° ,

- un cuarto detector dispuesto en un cuarto ángulo de dispersión a 96° ,

- un quinto detector dispuesto en un quinto ángulo de dispersión a 128° ,

- un sexto detector dispuesto en un sexto ángulo de dispersión a 155° , de manera que los detectores detecten la luz dispersa en el ángulo respectivo,

- presentando cada detector una óptica que detecta la luz a partir de un rango de tolerancia de ángulo de dispersión de $\pm 1^\circ$ y que la enfoca en el detector respectivo,

- una unidad de control y evaluación que controla las fuentes de luz, de manera que la luz dispersa sea detectada por los detectores en función de la longitud de onda,

5 - una memoria para el almacenamiento de las intensidades de luz dispersa detectadas,

- y configurándose la unidad de control y evaluación de manera que la distribución de tamaños del polvo fino (PSD) y las fracciones de masa de polvo fino (PM) puedan determinarse a partir de las intensidades de luz dispersa.

Con estas características, la invención combina algunas de las ventajas de la tecnología de luz dispersa de 90° de la tecnología de difracción láser, evitándose los inconvenientes antes descritos. Especialmente

10 - se utilizan tres longitudes de onda diferentes (por ejemplo, una en el rango UV, otra en el rango visible y otra en el infrarrojo cercano), a fin de aumentar aún más la probabilidad de detección de partículas más pequeñas, por ejemplo, de procesos de combustión,

- se utiliza luz polarizada linealmente, con lo que se puede mejorar el cálculo de la distribución del tamaño de las partículas a partir de las intensidades de luz dispersa medidas,

15 - se puede realizar una calibración absoluta de la señal del detector por medio de partículas de referencia con una distribución de tamaño de partículas conocida,

- se utilizan una pluralidad de detectores en dirección de dispersión hacia delante, hacia los lados y hacia atrás, lo que permite una mejor detección del patrón de la señal de dispersión, pudiéndose detectar, por lo tanto, partículas más pequeñas de procesos de combustión.

20 Con el aparato de análisis según la invención se pueden determinar de forma continua las fracciones de masa de polvo fino PM_{10} , $PM_{2.5}$ y $PM_{1.0}$ y la concentración total de polvo.

La parte esencial de la invención consiste en las posiciones angulares de los detectores. Las ventajas se pueden lograr con al menos seis detectores en los rangos angulares mencionados.

25 Los rangos angulares se obtuvieron calculando, sobre la base de partículas artificiales con una forma de partícula conocida y una distribución de tamaño conocida, en qué conjunto de posiciones de detector se producen diferencias máximas en las señales del detector, de manera que durante el funcionamiento normal sea posible diferenciar óptimamente entre las diferentes distribuciones de tamaño y, por consiguiente, determinarlas, lo que se describe más detalladamente a continuación.

Otras configuraciones son objeto de las reivindicaciones dependientes.

30 Por ejemplo, los rayos de luz de emisión pueden expandirse, presentando un diámetro de aproximadamente 4 mm en el área del volumen de medición. De este modo, el volumen de medición es correspondientemente grande, de manera que sea posible un mayor rendimiento de la luz dispersa que mejore el límite de detección hacia concentraciones de masa más pequeñas.

35 La invención se explica a continuación con mayor detalle por medio de ejemplos de realización haciéndose referencia al dibujo. En el dibujo se muestra en la:

Figura 1 una representación esquemática del aparato de análisis según la invención;

Figura 2 otra forma de realización del aparato de análisis.

40 Un aparato de análisis 10 según la invención representado en la figura 1 comprende tres fuentes de luz L1, L2, L3 configuradas preferiblemente como láseres de diodo que emiten de forma agrupada haces de luz de emisión S1, S2, S3. Las longitudes de onda de los tres láseres de diodo son diferentes y se encuentran preferiblemente en el rango UV o en el rango visible o en un rango cercano al infrarrojo. En este ejemplo de realización, el primer haz de luz de emisión tiene una longitud de onda en el rango de 600 a 650 nm, el segundo haz de luz de emisión S2 en el rango de 900 a 950 nm y el tercer haz de luz de emisión S3 en el rango de 400 a 450 nm. Cada haz de luz de emisión S1, S2, S3 se expande en el diámetro con preferencia 4 mm aproximadamente en una óptica de expansión de haz 12, 14, 16 respectiva. Las ópticas de expansión de haz 12, 14, 16 se componen respectivamente de una lente con una distancia focal corta, de una lente con una distancia focal larga y de un diafragma.

45 Por medio de los filtros polarizadores P1, P2, P3, cuya dirección de polarización es la misma, la luz de emisión se polariza linealmente al 100%, siendo la dirección de polarización horizontal al plano de dibujo de la figura 1, es decir, horizontal al plano de dispersión en el que se encuentran los detectores explicados más abajo. Los filtros polarizadores P1, P2 y P3 pueden retirarse opcionalmente de las trayectorias de los haces o introducirse en las trayectorias de los haces mediante un actuador 18 en la dirección 20.

50 Las trayectorias de los haces S1, S2, S3 aún separadas se unen en un dispositivo 22 formando una trayectoria óptica común 24. En el ejemplo de realización según la figura 1, el dispositivo 22 se compone de varios espejos. Un primer espejo M1 altamente reflectante recubierto de plata desvía el primer haz de luz de emisión S1 en 90° . El segundo y el tercer espejo dicróico DM2 y DM3 son transparentes para el primer haz de luz S1. El segundo haz de

5 luz S2 también es desviado por el segundo espejo DM2 en 90°, de manera que el primer y el segundo haz de luz de emisión se encuentren en una trayectoria óptica común. La unión de los haces se realiza según el mismo principio en el tercer espejo DM3, de manera que al final los tres haces de luz de emisión se encuentren en la misma trayectoria óptica. Otros dos espejos M4 y M5 conducen finalmente los haces de luz de emisión por la trayectoria óptica común a un volumen de medición 25, bloqueándose la luz no situada en el eje óptico y, por lo tanto, perturbadora, por medio de diafragmas 26 y 28.

10 El volumen de medición 25 se define por los haces de luz de emisión S1, S2, S3 que pasan a través de una cubeta 26 en la misma trayectoria óptica 24. La cubeta 26 sirve para la conducción del gas a medir que contiene partículas de polvo fino. En el volumen de medición 25 se define un punto central 29 a partir del cual se definen los ángulos de luz dispersa α , generándose la luz dispersa mediante la dispersión de la luz en las partículas finas de polvo. Aquí, el punto cero de los ángulos de luz dispersa está definido por el eje óptico (la trayectoria óptica común) en la dirección de dispersión hacia delante.

15 Como se muestra en el ejemplo de realización representado, la luz no dispersa que interferiría en una medición de luz dispersa se absorbe en tres etapas en un dispositivo de absorción de luz 30. En primer lugar, la luz no dispersa se lleva a 0° a un filtro de densidad neutra 32 que presenta una alta densidad óptica y que sólo refleja un 0,001% aproximadamente. La luz residual así reflejada incide en un segundo filtro de densidad neutra 34 con la misma densidad óptica. La luz restante es absorbida en una trampa de luz 36.

20 Alrededor del punto central 29 se disponen detectores para la detección de la luz dispersa en determinados ángulos de luz dispersa α en un plano común, siendo dicho plano en el ejemplo de realización según la figura 1 el plano de dibujo.

25 Un primer detector 40 se dispone lo más cerca posible de 0°. Dado que los haces de luz de emisión tienen una cierta anchura, en este caso 4 mm, y la luz no perturbada incide a 0° y que ésta debe ser absorbida por el dispositivo de absorción de luz 30, el primer detector 40 se dispone directamente junto al filtro de densidad neutra absorbente 32 que tiene a su vez una cierta extensión. Un ángulo de dispersión típico más pequeño, que es posible gracias a estas geometrías, se encuentra en el rango de $\alpha = 6^\circ$. Este primer detector 40 detecta así la luz dispersa en dirección hacia delante. El primer detector 40 puede ser un simple fotodetector, pero se configura preferiblemente como un sensor de línea CMOS integrador con, por ejemplo, 2048 píxeles.

Los demás detectores se disponen como sigue:

30 - un segundo detector 42 en un segundo ángulo de dispersión α_2 de entre 7° y 40°, preferiblemente de entre 23° y 33° y especialmente de unos 28°,

- un tercer detector 44 en un tercer ángulo de dispersión α_3 de entre 41° y 70°, preferiblemente de entre 56° y 66° y especialmente de unos 61°,

- un cuarto detector 46 en un cuarto ángulo de dispersión α_4 de entre 71° y 115°, preferiblemente de entre 91° y 101° y especialmente de unos 96°,

35 - un quinto detector 48 en un quinto ángulo de dispersión α_5 de entre 116° y 145°, preferiblemente de entre 125° y 135° y especialmente de unos 128°,

- un sexto detector 50 en un sexto ángulo de dispersión α_6 de entre 146° y 180°, preferiblemente de entre 145° y 165° y especialmente de unos 155°.

40 Preferiblemente, un séptimo detector 52 se dispone en un séptimo rango de ángulo de dispersión α_7 de entre 166° y 180°, especialmente de 170°. Por consiguiente, el quinto detector, el sexto detector y el séptimo detector miden en la dirección de dispersión hacia atrás.

45 A cada detector se le asigna una óptica de recepción 40-1, 42-1, 44-1, 46-1, 48-1, 50-1 o 52-1 que detecta la luz dispersa respectivamente a partir de un rango de tolerancia del ángulo de dispersión de aproximadamente $\pm 1^\circ$ y la enfoca en el detector respectivo, de manera que, por ejemplo, el detector 44, si está dispuesto a 61°, pueda detectar la luz dispersa que se emite en el rango angular de 60° a 62°.

50 Además, el aparato de análisis 10 comprende una unidad de control y evaluación 60 que, por una parte, controla las fuentes de luz L1, L2, L3 y que, por otra parte, recibe las señales de detector, realizando en base a las mismas la evaluación mediante algoritmos adecuados y determinando, por último, la distribución del tamaño de partícula (Particle Size Distribution PSD) y determinando las fracciones de masa de polvo fino (es decir, los valores PMx). Es necesario un control de las fuentes de luz para poder detectar de forma selectiva la longitud de onda de la luz dispersa con los detectores 40 a 52. Para la evaluación en la unidad de evaluación 60 se requiere una memoria 62, a fin de almacenar las intensidades de luz dispersa detectadas.

55 La parte esencial de la invención consiste en los rangos angulares o posiciones angulares de los detectores. Éstas se obtuvieron calculando, sobre la base de partículas artificiales con una forma de partícula conocida y con una distribución de tamaño conocida, en qué conjunto de posiciones de detector se producen diferencias máximas en las señales de detector, de manera que durante el funcionamiento normal sea posible distinguir óptimamente entre las diferentes distribuciones de tamaño y, por lo tanto, determinarlas. Para ello se calcularon las secciones transversales de dispersión diferenciales para 105 formas de partículas y 9 distribuciones de tamaño diferentes y tres longitudes

de onda diferentes en el rango angular de 0° a 180°. Finalmente se calculó en qué conjunto de seis ángulos de detector se produce el mejor resultado, es decir, en qué conjunto se producen las diferencias máximas antes mencionadas en las señales de detector. Los resultados son los rangos de ángulo de detector o los ángulos de detector α antes citados.

- 5 Las señales de detector amplificadas se calibran en unidades físicas (coeficiente de dispersión diferencial) por medio de partículas de prueba con una distribución de tamaño y unas propiedades ópticas conocidas.

10 A partir de las secciones transversales de dispersión diferenciales se determina en la unidad de evaluación 60 una distribución de tamaños de partícula de acuerdo con los algoritmos almacenados y conocidos por la teoría de dispersión para las tres longitudes de onda utilizadas (por ejemplo, 405 nm, 638 nm y 915 nm). Y a partir de la distribución de tamaños de partícula se obtienen finalmente las fracciones de masa de polvo fino PM_{10} , $PM_{2.5}$ y PM_{1} , así como la concentración total de masa de partículas mediante la integración adecuada a través del tamaño de partícula.

15 Con el aparato de análisis según la invención se pueden determinar de forma continua la distribución de tamaños de partícula y las fracciones de masa de polvo fino PM_x con una calibración absoluta. La determinación de la distribución de tamaños de partícula se basa, por consiguiente, en algoritmos y es ventajosamente independiente del tipo de partícula.

20 En otra forma de realización, el primer detector 40 descrito anteriormente, configurado como un sensor de línea CMOS, puede diseñarse como un fotodetector altamente sensible que debería protegerse por medio de un filtro de densidad neutra, a fin de capturar la luz láser incidente y amortiguar los efectos de difracción resultantes de los diafragmas que limitan el haz. Esto se indica en la figura 2. En tal caso, debido a las mejores condiciones de espacio, el dispositivo de absorción de luz 30 también puede configurarse eventualmente de forma más sencilla, por ejemplo, con sólo un filtro de densidad neutra 32 y la trampa de luz 36.

25 En una forma de realización de la invención también representada en la figura 2, el dispositivo para la unión de haz 22 no se realiza con espejos fijos, sino mediante un espejo parabólico basculante 70 controlado por la unidad de control y evaluación 60 y que, dependiendo de la posición angular basculante, puede guiar cada uno de los tres haces de luz S1, S2, S3 en una de las trayectorias ópticas 24. Un dispositivo de este tipo 22 con un espejo parabólico basculante 70 requiere menos espacio constructivo y menos componentes ópticos. La luz emitida por los diodos láser y polarizada de forma diferente e indefinida, se polariza linealmente de forma horizontal (u horizontalmente) al plano de dispersión por medio de un polarizador de rejilla de alambre de banda ancha 71.

30

REIVINDICACIONES

1. Aparato de análisis óptico (10) para la determinación de polvo fino con
 5 - tres fuentes de luz (L1, L2, L3) para la emisión de tres haces de luz de emisión (S1, S2, S3) con diferentes longitudes de onda,
 - un dispositivo (22) para combinar los tres haces de luz de emisión (S1, S2, S3) en una trayectoria óptica común (24),
 - un volumen de medición (25) en el que se puede introducir un gas cargado con polvo fino y en el que la luz de emisión (S1, S2, S3) incide en el gas a medir y se dispersa en el polvo fino, definiéndose en el volumen de medición
 10 un punto central (29) a partir del cual se definen los ángulos de dispersión (α) y definiendo el eje óptico en la dirección de dispersión hacia delante el ángulo de dispersión de 0° ,
 - un dispositivo de absorción de luz (30) a 0° que detecta la luz no dispersa,
 - un primer detector (40) dispuesto entre 0° y 6° inmediatamente adyacente al dispositivo de absorción de luz (30) que detecta la luz dispersa en dirección hacia delante,
 15 - un segundo detector (42) dispuesto en un segundo ángulo de dispersión a 28° ,
 - un tercer detector (44) dispuesto en un tercer ángulo de dispersión a 61° ,
 - un cuarto detector (46) dispuesto en un cuarto ángulo de dispersión a 96° ,
 - un quinto detector (48) dispuesto en un quinto ángulo de dispersión a 128° ,
 - un sexto detector (50) dispuesto en un sexto ángulo de dispersión a 155° , de manera que los detectores detecten la
 20 luz dispersa en el ángulo respectivo,
 - presentando cada detector (40, 42, 44, 46, 48, 50) una óptica (40-1, 42-1, 44-1, 46-1, 48-1, 50-1) que detecta la luz a partir de un rango de tolerancia de ángulo de dispersión de $\pm 1^\circ$ y que la enfoca en el detector respectivo,
 - una unidad de control y evaluación (60) que controla las fuentes de luz (L1, L2, L3), de manera que la luz dispersa sea detectada por los detectores (40, 42, 44, 46, 48, 50) en función de la longitud de onda,
 25 - una memoria (62) para el almacenamiento de las intensidades de luz dispersa detectadas,
 - y configurándose la unidad de control y evaluación (60) de manera que la distribución de tamaños del polvo fino y las fracciones de masa de polvo fino puedan determinarse a partir de las intensidades de luz dispersa.
2. Aparato de análisis según la reivindicación 1, caracterizado por que se prevén tres filtros polarizadores (P1, P2, P3), cuyas direcciones de polarización se orientan del mismo modo para la polarización lineal de la luz de emisión.
3. Aparato de análisis según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que un séptimo detector se dispone en un segundo rango de ángulo de dispersión de entre 166° y 180° , especialmente a 170° .
- 35 4. Aparato de análisis según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la luz de emisión se polariza de forma lineal.
5. Aparato de análisis según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el primer detector se configura como un sensor de línea CMOS.
- 40 6. Aparato de análisis según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el dispositivo para la combinación del haz se realiza con espejos fijos o por que el mismo presenta un espejo parabólico basculante que, dependiendo de la posición angular basculante, puede guiar la luz de emisión por cada una de las tres fuentes de luz en la misma trayectoria óptica.
- 45 7. Aparato de análisis según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las longitudes de onda de las fuentes de luz se encuentran en el rango ultravioleta, visible y de infrarrojos.
- 50 8. Aparato de análisis según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los haces de luz de emisión se ensanchan y presentan un diámetro de aproximadamente 4 mm en el campo del volumen de medición.

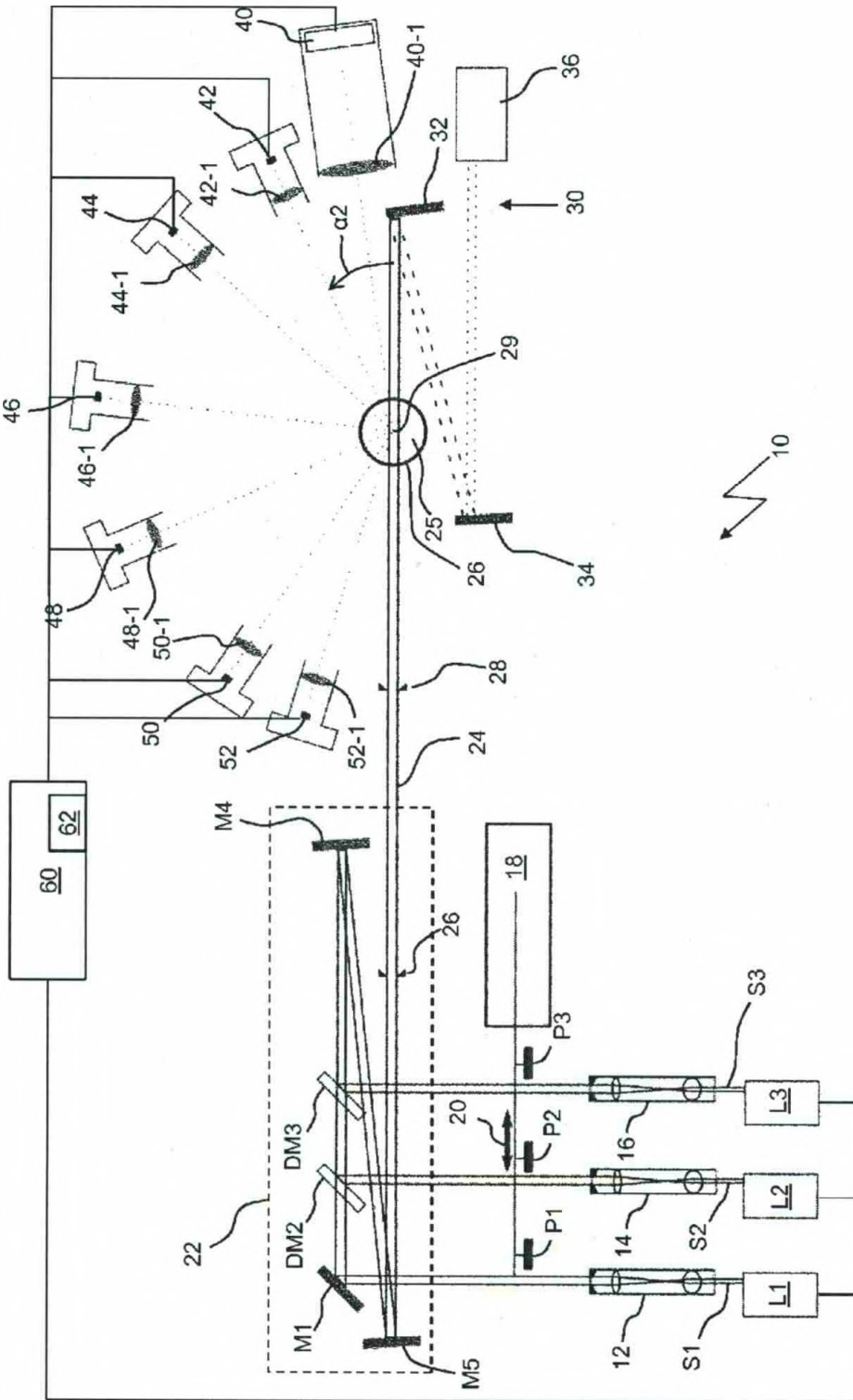


Fig. 1

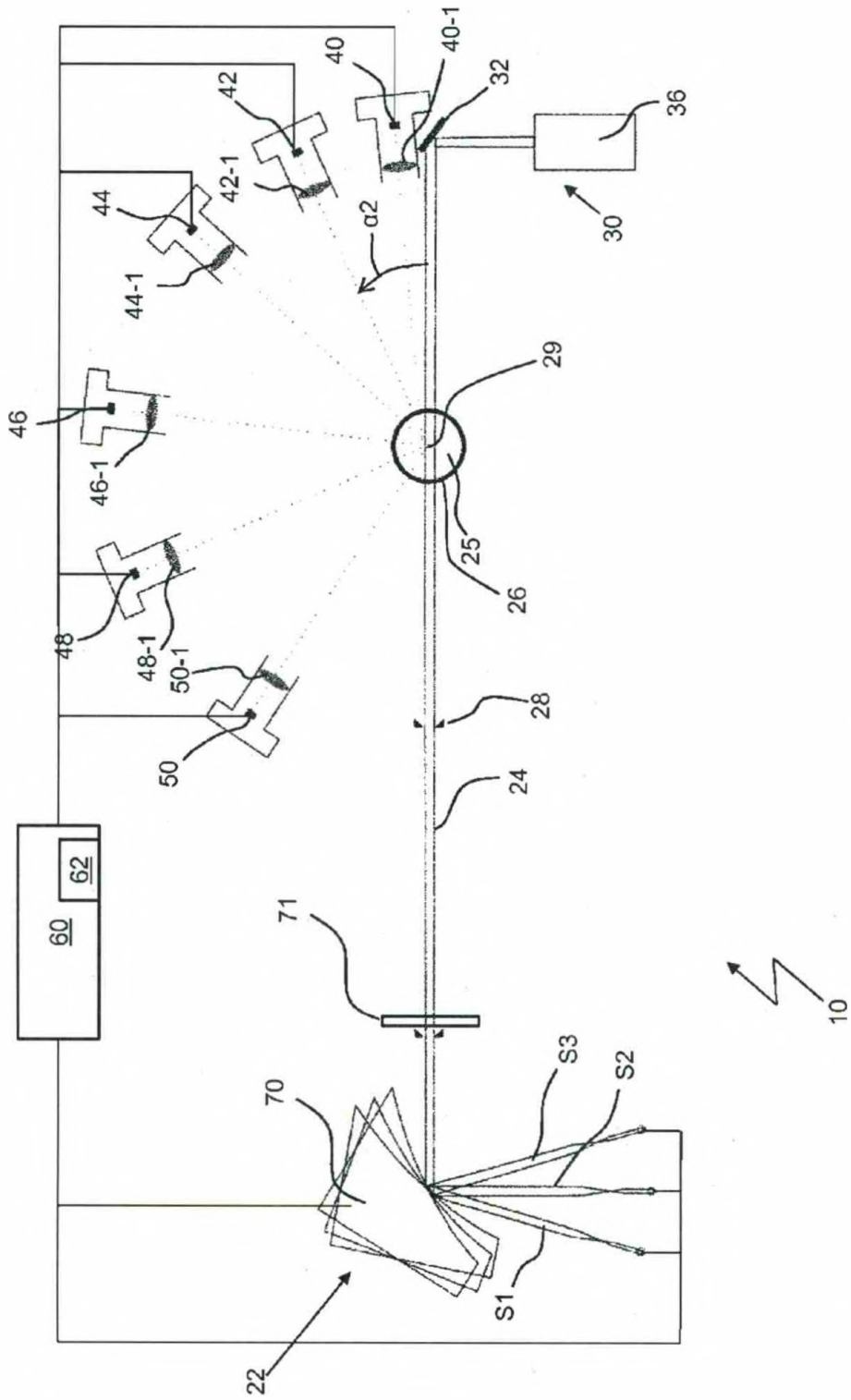


Fig. 2