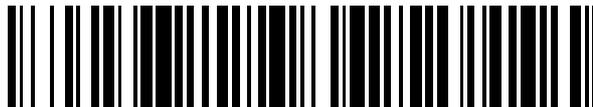


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 790 664**

51 Int. Cl.:

G01N 15/14 (2006.01)

G01N 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.08.2012 PCT/US2012/049994**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.02.2013 WO13022971**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.08.2012 E 12822091 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2020 EP 2741843**

54 Título: **Sistema y método para convertir diámetros ópticos de partículas de aerosol en diámetros de movilidad y aerodinámicos**

30 Prioridad:

09.08.2011 US 201161521614 P

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

28.10.2020

73 Titular/es:

**TSI, INCORPORATED (100.0%)
500 Cardigan Road
St. Paul, MN 55126, US**

72 Inventor/es:

HEE-SIEW, HAN

74 Agente/Representante:

ZUAZO ARALUZE, Alexander

ES 2 790 664 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 para convertir diámetros ópticos de partículas de aerosol en diámetros de movilidad y aerodinámicos

5

Antecedentes de la invención

Los aerosoles que se encuentran habitualmente en el medio ambiente se generan tanto por la naturaleza como por la actividad humana. Influyen en la vida humana de muchas maneras. Los aerosoles en la atmósfera pueden absorber y/o dispersar luz y cambiar la visibilidad, así como el equilibrio energético terrestre. Los aerosoles atmosféricos también sirven como sitios de condensación para la formación de nubes, por lo que desempeñan un papel importante en el clima. Cuando se inhalan, las partículas de aerosol pueden depositarse en las vías respiratorias y provocar efectos adversos para la salud.

La industria y los gobiernos han reconocido la importancia de medir y monitorizar las concentraciones de aerosoles en el medio ambiente o en el lugar de trabajo para que puedan tomarse las medidas adecuadas para reducir los riesgos para la salud potenciales. Las aplicaciones de monitorización pertinentes incluyen, entre otras, encuestas de higiene industrial/ocupacional, monitorización del perímetro del ambiente/sitio exterior para operaciones de control de polvo, y estudios de emisiones de motores. Algunos procesos industriales requieren el conocimiento de los materiales particulados en el entorno, incluidos los entornos que tienen una población escasa de partículas (por ejemplo, fabricación de semiconductores), así como entornos que tienen una amplia presencia de poblaciones de partículas (por ejemplo, procesos de fabricación de polvo seco).

En 1987, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) revisó los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS) y comenzó a usar una masa de partículas con diámetros aerodinámicos de menos de aproximadamente 10 μm (en adelante "PM10") como índice de contaminación de materia particulada (PM, *particulate matter*). El PM10 es un índice de PM que puede introducirse en el tórax y provocar o agravar enfermedades de las vías respiratorias bajas, tales como bronquitis crónica, asma, neumonía, cáncer de pulmón y enfisema. Más tarde se determinó que las concentraciones de PM en el aire, según se indexa mediante la masa de partículas con diámetros aerodinámicos menores de aproximadamente 2,5 μm ("PM2,5"), se asociaron más estrechamente con las tasas de mortalidad anual que con PM10 más gruesa. En 1997, en su siguiente revisión de NAAQS, la EPA promulgó reglamentos sobre PM2,5. Recientemente, ha habido una extensa discusión sobre los efectos en la salud de las partículas de menos de 1 μm (es decir, "PM1").

La Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) también ha establecido convenios de muestreo de aerosoles respirables, torácicos e inhalables, definidos como partículas que tienen diámetros aerodinámicos de menos de 4 μm , 10 μm y 100 μm , respectivamente. Las partículas inhalables son aquellas que pueden entrar a través de la nariz y/o boca humana durante la respiración. Las partículas torácicas son las partículas inhaladas que pueden penetrar en el pulmón por debajo de la laringe. Las partículas respirables son las partículas inhaladas que pueden penetrar en la región alveolar del pulmón. Una discusión de las diversas convenciones de muestreo se encuentra en las Normas nacionales de calidad del aire ambiental primarias y secundarias, 40 Código de reglamentos federales de EE.UU., Capítulo 1, Parte 50 (1997)) y Vincent, J. H., Particle Size-Selective Sampling for Particulate Air Contaminants Cincinnati, ACGIH (1999).

Aunque los estándares y convenios mencionados anteriormente se basan en los diámetros aerodinámicos de las partículas, se entiende que las agrupaciones de concentración másica segregada por tamaño (por ejemplo, PM1, PM2,5, PM10, respirable, torácica e inhalable) pueden basarse en los diámetros de partícula ópticos en vez de los diámetros aerodinámicos con fines de la presente solicitud. Es decir, PM2,5 (por ejemplo) puede aproximarse a partículas que tienen un diámetro aerodinámico de menos de aproximadamente 2,5 μm o partículas que tienen un diámetro óptico de menos de aproximadamente 2,5 μm .

Un instrumento que mide las concentraciones numéricas dependientes del tamaño de partícula en tiempo real es el contador óptico de partículas (OPC, por sus siglas en inglés). En un OPC, las partículas pasan a través de un volumen de interrogación iluminado por un haz de luz. La luz dispersada por cada partícula se capta en un detector para generar un pulso eléctrico. A partir de la altura de pulso (es decir, la intensidad de la radiación dispersada) puede inferirse el tamaño de partícula basándose en la calibración previa. Debido a que el tamaño inferido a partir del OPC depende de las propiedades ópticas de la partícula, el parámetro inferido se denomina a menudo "tamaño de partícula equivalente óptico". Al suponer propiedades del aerosol, tales como densidad, forma e índice de refracción, la distribución de tamaño puede convertirse en distribución de masa, tal como se describe en Binnig, J., J. Meyer *et al.* "Calibration of an optical particle counter to provide PM2.5 mass for well-defined particle materials", Journal of Aerosol Science 38(3): 325-332 (2007). Algunas ventajas del OPC son: (1) las partículas pueden contarse con alta precisión para bajas concentraciones de partículas; (2) relaciones señal/ruido favorables para tamaños de partícula mayores de 1 μm ; y (3) bajo coste. Sin embargo, el tamaño óptico de partícula inferido puede no ser igual al tamaño de partícula real o geométrico porque la determinación depende de suposiciones de índice de refracción y forma de la partícula.

Otro instrumento que mide la distribución de tamaño de partícula en tiempo real es un medidor aerodinámico de partículas (APS), tal como se describe en la patente estadounidense n.º 5.561.515 concedida a Hairston *et al.*, cedida al cesionario de la presente solicitud. Cuando se aceleran partículas de diferentes tamaños a través de una tobera de aceleración, las partículas más grandes pueden tender a acelerarse en menor medida a través del volumen o volúmenes de interrogación que las partículas más pequeñas porque las partículas más grandes pueden presentar una mayor inercia que debe superarse. El APS se aprovecha de este principio al acelerar las partículas a través de una tobera para obtener velocidades de partícula dependientes del tamaño, que generalmente se miden midiendo el tiempo de vuelo de las partículas a través de la zona de detección. A diferencia de la medición mediante OPC, la medición mediante APS es independiente del índice de refracción de la partículas. Además, al convertir la distribución de tamaño de partícula en distribución de masa, el APS es menos sensible con respecto al parámetro de densidad de partícula que la medición mediante OPC. Se ha demostrado una buena concordancia entre las concentraciones másicas calculadas a partir de los espectros de APS y de las mediciones de masa directas en el intervalo de tamaño de 0,5 a 10 μm . Véase Sioutas, C. (1999). "Evaluation of the Measurement Performance of the Scanning Mobility Particle Sizer and Aerodynamic Particle Sizer". *Aerosol Science and Technology* 30(1): 84-92.

Una deficiencia del APS es que sólo pueden medirse las poblaciones de partículas de concentración relativamente baja (por ejemplo, del orden de 1000 partículas/ cm^3 y menor) debido a un error de coincidencia. Por ejemplo, el APS TSI modelo 3321 mide con precisión las distribuciones de tamaño de partícula aerodinámico en el intervalo de 0,5 a 20 μm (con un error de coincidencia del 5%) hasta aproximadamente 1000 partículas/ cm^3 . La resolución del APS disminuye con el tamaño de partícula. Además, todos los instrumentos disponibles comercialmente son relativamente caros.

El APS TSI modelo 3321 utiliza los diámetros de partícula aerodinámicos de las partículas detectadas para calcular la concentración másica del aerosol. Efectivamente, la masa de cada partícula detectada se calcula suponiendo que la partícula es esférica y de densidad conocida. También pueden aplicarse factores de calibración para tener en cuenta la forma no esférica correcta y la densidad diferente de las partículas. Las limitaciones inherentes a este enfoque son que el cálculo de masa no se basa en la detección de partículas de menor diámetro (menos de aproximadamente 0,3 μm de diámetro óptico o aerodinámico) que no llegan a detectarse por el detector APS u OPC. Además, este enfoque se limita a aplicaciones de baja concentración.

A pesar de varias deficiencias, existen numerosos argumentos a favor del uso de contadores ópticos de partículas (OPC) para medir la distribución de tamaño de partícula y realizar la medición de la concentración másica. Para hacer que los OPC sean más robustos y abordar algunas de las deficiencias, es necesario desarrollar un método o sistema de medición para convertir los diámetros ópticos en medidas de diámetro relacionadas con el comportamiento físico de las partículas de aerosol, tales como la movilidad eléctrica (o simplemente la movilidad) y/o diámetros aerodinámicos. Esta conversión es ventajosa porque los diámetros de movilidad se usan más habitualmente para partículas submicrométricas (partículas con tamaños menores de 1 μm), mientras que los diámetros aerodinámicos se usan habitualmente en áreas tales como la aerobiología, estudios de efectos sobre la salud, medición de masa, etc. Esta conversión puede realizarse si se conocen las propiedades ópticas de los aerosoles de interés y las partículas en los aerosoles son esféricas. Sin embargo, la mayoría de los aerosoles de interés tienen partículas de forma irregular y sus propiedades ópticas generalmente también se desconocen, por lo que la conversión no puede realizarse fácilmente.

A partir de la publicación "Atmospheric Size Distributions Measured by Differential Mobility Optical Particle Size Spectrometry" de Mark Stolzenburg *et al.*, en *AEROSOL SCIENCE AND TECHNOLOGY*, vol. 29, n.º 5, 1 de enero de 1998, páginas 402-418 (XP055519771, US ISSN: 0278-6826, DOI: 10.1080/02786829808965579) se conoce un sistema de espectrometría de tamaño de partícula óptico de movilidad diferencial (DMOPSS, por sus siglas en inglés), en el que, en un modo de calibración, un aerosol ambiental casi monodisperso se redimensiona mediante un OPC y se cuenta en paralelo con un CNC. La respuesta del OPC a partículas cargadas individualmente se usa para construir una curva de calibración, mientras que el CNC proporciona una medida de la eficiencia de recuento de OPC en función del tamaño de partícula.

La publicación "A NEW TECHNIQUE FOR OBTAINING AEROSOL SIZE DISTRIBUTIONS WITH APPLICATIONS TO ESTIMATES OF AEROSOL PROPERTIES" de Jennifer L. Hand, 1 de junio de 2001, páginas 1-245 (XP055171389) y la publicación "A New Method for Retrieving Particle Refractive Index and Effective Density from Aerosol Size Distribution Data" de Jenny L. Hand, *AEROSOL SCIENCE AND TECHNOLOGY*, vol. 36, n.º 10, 1 de octubre de 2002, páginas 1012-1026 (XP055171237) dan a conocer la determinación del índice de refracción a partir de distribuciones polidispersas medidas por un OPC y un DMA.

El documento US 2010/288921 A1 da a conocer la conversión del tamaño óptico de partículas de aerosol en diámetro aerodinámico de las partículas de aerosol.

Sumario de la invención

El contador óptico de partículas (OPC) es uno de los instrumentos para aerosoles más ampliamente usados debido a su bajo coste y su capacidad para proporcionar rápidamente distribuciones de tamaño de partícula en tiempo real.

Los OPC miden el tamaño y la concentración numérica de partículas de aerosol por medio de la dispersión de luz por partículas individuales. A medida que cada partícula pasa a través de un haz de luz enfocado, dispersa un pulso de luz a un fotodetector, que luego se convierte en una señal eléctrica. El haz de luz enfocado podría provenir de una fuente de luz blanca o láser. La señal eléctrica suele ser un pulso electrónico. Este pulso se analiza y la altura o área del pulso se correlaciona con el tamaño de partícula y el recuento se distribuye al canal de tamaño adecuado, donde se acumulan los recuentos totales en cada intervalo de tamaño. Además del tamaño de partícula, la cantidad de luz dispersada por la partícula también depende de las propiedades de la partícula, a saber, el índice de refracción y la forma.

Los diámetros de partícula medidos mediante OPC generalmente se denominan diámetros ópticos. Dado que casi todos los OPC disponibles comercialmente están calibrados en fábrica con partículas de látex de poliestireno (PSL), a veces los diámetros también se denominan diámetros equivalentes a PSL. No obstante, en la mayoría de las aplicaciones, los diámetros ópticos o los diámetros equivalentes a PSL generalmente no son muy útiles, y deben convertirse a medidas de diámetro relacionadas con su comportamiento físico, tales como los diámetros de movilidad eléctrica (o simplemente movilidad) y/o aerodinámicos. Esta conversión es necesaria porque el diámetro de movilidad se usa más habitualmente para partículas menores de 1 μm , mientras que los diámetros aerodinámicos se usan más habitualmente en áreas tales como la aerobiología, estudios de efectos sobre la salud, monitorización ambiental, etc. La conversión puede realizarse si las partículas de aerosol son de forma esférica y sus índices de refracción se conocen ya que la dispersión y la extinción de luz por una partícula esférica pueden describirse y modelarse mediante la teoría de la dispersión de Mie. Desafortunadamente, a excepción de ciertas partículas de aerosol generadas en laboratorio, los aerosoles de interés son generalmente de forma irregular y/o sus índices de refracción se desconocen.

Las distribuciones de tamaño de las partículas transmitidas por el aire abarcan a menudo un amplio intervalo de tamaño desde unos pocos nanómetros hasta varios micrómetros, lo que supera generalmente el intervalo de tamaño de medición de cualquier instrumento individual. Por tanto, los investigadores combinan a menudo datos de múltiples instrumentos. Una combinación de este tipo es la del instrumento basado en la movilidad eléctrica, tal como el medidor de tamaño de partículas de movilidad de barrido (SMPS, por sus siglas en inglés) y el instrumento basado en la dispersión de luz, tal como el contador óptico de partículas (OPC, por sus siglas en inglés). El SMPS se considera el método de referencia para la medición de distribución de tamaño de aerosol submicrométrico. Dependiendo de la configuración, puede cubrir el intervalo de tamaño de desde 2,5 nm hasta 1 μm . El OPC es uno de los instrumentos más ampliamente usados para partículas gruesas, especialmente en áreas tales como las pruebas de filtro, calidad del aire de interior, monitorización de salas blancas, etc. El intervalo de tamaño típico de OPC es de 0,3 a 10 μm .

El SMPS y el OPC tienen diferentes principios de medición. El SMPS clasifica las partículas de acuerdo con sus movilidades eléctricas, y para las partículas esféricas, los tamaños de movilidad eléctrica son iguales a los tamaños geométricos. El OPC, por otro lado, mide los tamaños de acuerdo con la cantidad de luz dispersada por las partículas. El fenómeno de dispersión de luz puede describirse mediante la teoría de dispersión de Mie. Los tamaños medidos por el OPC se denominan normalmente diámetros ópticos. Debido a los diferentes principios de medición, para combinar las distribuciones de SMPS y OPC en un único espectro de tamaño, son necesarios factores de forma e índices de refracción de partículas. Desafortunadamente, a excepción de algunos aerosoles generados en laboratorio, los factores de forma y los índices de refracción de aerosoles de interés normalmente se desconocen. En el presente estudio, se intentó ajustar las distribuciones de tamaño de partícula óptico a las distribuciones de SMPS para aerosoles con índices de refracción conocidos y desconocidos. Para aerosoles con índices de refracción conocidos, las distribuciones de tamaño óptico se ajustaron con el cálculo de dispersión de Mie. Si se desconocían los índices de refracción, se realizó una etapa de calibración adicional. Se usaron varios aerosoles generados en laboratorio con índices de refracción conocidos para evaluar el método. El método se evaluó luego adicionalmente con varios aerosoles ambientales con índices de refracción desconocidos.

Las diversas realizaciones del concepto inventivo dadas a conocer en el presente documento dan a conocer un sistema y un método que pueden medir el tamaño de una partícula en un aerosol seleccionado usando el diámetro óptico de la partícula para realizar una conversión en diámetro de movilidad y/o aerodinámico sin ningún conocimiento sobre la forma de la partícula en el aerosol que está caracterizándose y sus propiedades ópticas. En una realización de ejemplo de la invención, el método incluye generar un conjunto de datos de calibración y hallar el índice de refracción óptimo y la forma que mejor se ajusta a los datos de calibración. Además, el método incluye la creación de una nueva curva de calibración que proporciona un diámetro equivalente a la movilidad o equivalente al aerodinámico.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama esquemático que representa un sistema de medición de tamaño de partícula en una realización de la invención.

La figura 1A es una representación del sistema y método para convertir diámetros ópticos en diámetros de movilidad y/o aerodinámicos.

La figura 2 representa el procedimiento de calibración para convertir diámetros ópticos en diámetros de movilidad.

La figura 3 representa el procedimiento de calibración para convertir diámetros ópticos en diámetros aerodinámicos.

5 La figura 4 representa un flujo de ejemplo de una conversión de diámetro óptico en diámetro aerodinámico.

La figura 5 representa distribuciones de partículas medidas con un medidor óptico de tamaño y un medidor de tamaño de diámetro de movilidad.

10 La figura 6 representa la distribución de tamaño de partícula medida en una instalación física.

Las figuras 7A-7F son diversos diagramas de flujo que ilustran diversos componentes del procedimiento de calibración y el método de conversión de diámetro óptico en de movilidad/aerodinámico.

15 La figura 8 representa un sistema de medición que usa un SMPS y OPS para medir el tamaño de partícula en un amplio intervalo.

Descripción detallada de la invención

20 Haciendo referencia a la figura 1, se representa esquemáticamente un sistema 30 de medición de tamaño de partícula que comprende una sección 32 de medición de aerosol y una sección 34 de calibración y procesamiento (CAPS, por sus siglas en inglés), en una realización de la invención. Una corriente 36 de flujo entrante puede extraerse de una neblina 38 de aerosol a través de una entrada 40 de la sección 32 de medición de aerosol. La corriente 36 de flujo entrante puede dividirse en una corriente 42 de flujo envolvente y una corriente 44 de flujo de aerosol que tiene partículas que son objetivo de medición. La corriente 42 de flujo envolvente puede desviarse a un circuito 45 de acondicionamiento de flujo envolvente que puede incluir un dispositivo 46 de filtración y un dispositivo 47 de medición de flujo. La corriente 44 de flujo de aerosol se hace pasar a través de una tobera 49 de entrada a una cámara 48 de óptica que incluye un volumen 50 de interrogación o visualización. El volumen 50 de interrogación se define mediante la intersección de un haz 54 de luz y la corriente 44 de flujo de aerosol. El haz 54 de luz proviene de una fuente 56 de radiación electromagnética, tal como un láser de diodo, un LED o una lámpara (de banda ancha o línea emisora). En una realización relacionada (comentada más adelante en el presente documento; véase la figura 8), el flujo envolvente proviene del aire que se expulsa del soplador 98 que luego se filtra y se redirige al circuito 45 para actuar como flujo 42 envolvente antes de llegar a la tobera 49.

35 En esta realización de ejemplo, el sistema 30 de medición de tamaño de partícula incluye una óptica 60 de conformación de haz que puede incluir una lente 62 tal como una lente cilíndrica. La óptica 60 de conformación puede comprender adicional o alternativamente componentes reflectantes tales como espejos, o componentes de fibra óptica (no representados). Una parte de la luz dispersada desde las partículas a lo largo de un ángulo 64 sólido está subtendida por un sistema de captación de luz o un captador 66 de radiación (por ejemplo, un espejo esférico, lentes condensadoras asféricas u otros dispositivos de captación de radiación electromagnética disponibles para el experto) dentro de la cámara 48 de óptica. Una parte 70 no dispersada del haz 54 de luz puede capturarse por una trampa 72 de luz. Las superficies 74 interiores de la cámara 48 de óptica pueden estar recubiertas con un recubrimiento negro o de alta absortividad, tal como un recubrimiento anodizado. La luz 78 captada reunida por el captador 66 de radiación se transfiere a un detector 80 tal como un fotodiodo o un tubo fotomultiplicador. El detector 80 puede producir una señal 82 eléctrica proporcional a la convolución de la radiación electromagnética incidente y la sensibilidad espectral del detector 80.

50 En algunas realizaciones, la corriente 44 de flujo de aerosol sale de la cámara 48 de óptica a través de una tobera 84 de salida y puede pasar a través de un filtro 86 gravimétrico, produciendo de ese modo una corriente 88 de flujo de aerosol prefiltrada. Las corrientes 44 de flujo de aerosol pueden hacerse pasar a través de la cámara 48 de óptica por un sistema 90 de bombeo que incluye un filtro 92 de protección, un medidor 94 de flujo, una cámara 96 de amortiguación de pulsaciones de flujo y una bomba o un soplador 98 que está canalizado hasta una descarga 99. Pueden usarse numerosas clases de bombas o sopladores, incluyendo pero sin limitarse a una bomba de diafragma, una bomba rotativa de paletas, una bomba de pistón, una bomba de tipo Roots, una bomba lineal o un soplador regenerativo.

60 En una realización, el CAPS 34 acondiciona la señal 82 eléctrica para definir tres circuitos de señales diferentes: un circuito 100 de señales de diámetro de movilidad dinámica para generar datos/salidas 102 de diámetro de movilidad asociados con las partículas de la luz 78 captada reunida por el captador 66 de radiación e incidente en el detector 80; un circuito 104 acondicionador de altura de pulso para detectar luz dispersada que se origina a partir de partículas individuales a medida que pasan a través del volumen 50 de interrogación y que genera salidas 106 de altura de pulso de acuerdo con el mismo; y un circuito 108 de señales de diámetro aerodinámico que genera datos/salidas 110 de diámetro aerodinámico que proporcionan una medición (directa o indirecta) del tamaño de las partículas que están midiéndose a medida que pasan a través del volumen 50 de interrogación. Las salidas 102, 106 y 110 se encaminan a un módulo 114 de procesador digital para su calibración y posterior conversión en una distribución 113 de tamaño de partícula. El resultado puede emitirse a un dispositivo 116, tal como un elemento de

presentación visual, un dispositivo de almacenamiento, salida analógica o un ordenador.

Funcionalmente, la óptica 60 de conformación de haz se utiliza para configurar la forma del haz 54 de luz y el volumen 50 de interrogación para que presenten ciertas características, tales como la anchura y la altura globales, así como el perfil de intensidad. La trampa 72 de luz mitiga o impide la polarización de la señal 82 eléctrica que puede verse provocada por la parte 70 no dispersada del haz 54 de luz reunido por el captador 66 de radiación después de dispersión múltiple dentro de la cámara 48 de óptica. Cuando se utiliza, el recubrimiento de alta absorptividad en las superficies 74 interiores de la cámara 48 de óptica puede reducir adicionalmente la propagación de luz parásita. En funcionamiento, el circuito 100 de diámetro de movilidad proporciona datos similares a los producidos por un dispositivo analizador de movilidad diferencial, mientras que la salida 106 de altura de pulso y la salida/datos 110 de diámetro aerodinámico son similares a las salidas de dispositivos de OPC y APS, respectivamente.

Las partículas pueden captarse en el filtro 86 gravimétrico y pueden pesarse para medir la masa directamente. Esta medición de masa directa puede usarse para crear la relación de calibración entre la señal 82 eléctrica y la masa de las partículas captadas (véanse los comentarios que acompañan a la figura 9 de la patente estadounidense 7.932.490 y el artículo de Binnig de 2007 al que se hace referencia en el presente documento). Las partículas en el filtro 86 gravimétrico también pueden analizarse para estudiar sus composiciones químicas. El filtro 92 de protección puede retirar las partículas que quedan en la corriente 88 de aire aguas arriba del medidor 94 de flujo y la bomba o el soplador 98 para la protección frente a la contaminación de partículas, especialmente en configuraciones en las que no hay un filtro gravimétrico en su lugar. La bomba o el soplador 98 puede usarse para conducir el flujo a través de todo el sistema. La cámara 96 de amortiguación de pulsaciones de flujo es un dispositivo opcional que puede reducir las pulsaciones de flujo en el sistema.

El dispositivo 46 de filtración del circuito 45 de acondicionamiento de flujo envolvente retira materia particulada de la corriente 42 de flujo envolvente para proporcionar un flujo de gas sustancialmente limpio que cubre o envuelve el flujo 44 de aerosol. El flujo 42 envolvente limpiado ayuda a contener materiales particulados dentro del núcleo del flujo 44 de aerosol a medida que pasa a través de la cámara 48 de óptica, mitigando así la contaminación de material particulado de la cámara 48 de óptica y accesorios en la misma. El dispositivo 47 de medición de flujo, cuando se utiliza, puede proporcionar una indicación de la velocidad de flujo de la corriente 42 de flujo envolvente que puede restarse de la velocidad de flujo total de la corriente 36 de flujo entrante proporcionada por el medidor 94 de flujo para determinar la velocidad de flujo de la corriente 44 de flujo de aerosol.

El contador óptico de partículas (OPC) es uno de los instrumentos para aerosoles más ampliamente usados debido a su bajo coste y su capacidad para proporcionar rápidamente distribuciones de tamaño de partícula en tiempo real. Los OPC miden el tamaño y la concentración numérica de las partículas de aerosol mediante la dispersión de luz por partículas individuales. Además del tamaño de partícula, la cantidad de luz dispersada por la partícula también depende de las propiedades de la partícula, a saber, el índice de refracción y la forma.

Los diámetros de partículas medidos por OPC generalmente se denominan diámetros ópticos o diámetros equivalentes a PSL. Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones, los diámetros ópticos generalmente no son muy útiles, y deben convertirse a medidas de diámetro relacionadas con su comportamiento físico, tales como la los diámetros de movilidad eléctrica y/o aerodinámicos. Esta conversión es necesaria porque el diámetro de movilidad se usa más habitualmente para partículas menores de 1 μm , mientras que los diámetros aerodinámicos se usan más habitualmente en áreas tales como la aerobiología, estudios de efectos sobre la salud, monitorización ambiental, etc. La conversión puede realizarse si las partículas de aerosol son de forma esférica y sus índices de refracción se conocen puesto que la dispersión y la extinción de luz por una partícula esférica puede describirse y modelarse mediante la teoría de dispersión de Mie. Desafortunadamente, a excepción de ciertas partículas de aerosol generadas en laboratorio, los aerosoles de interés son generalmente de forma irregular y/o sus índices de refracción se desconocen. La siguiente descripción proporciona más detalles sobre el sistema de medición global y sobre el funcionamiento del módulo 34 de CAPS que ayuda eventualmente a generar datos de medición de tamaño de partícula más precisos y robustos mediante el uso de datos de calibración generados junto con el modelado de dispersión de Mie.

Haciendo referencia ahora a la figura 1A, en una realización de ejemplo de un sistema 100A de medición para partículas en un aerosol que van a medirse con un medidor 110A óptico de tamaño de partículas (OPS), que usa en el mismo un OPC, que está acoplado operativamente a un sistema 120A de calibración y un sistema 130A de factor de forma e índice de refracción. Conjuntamente, el OPS 110A, el sistema 120A de calibración y el sistema 130A optimizan el índice de refracción y el factor de forma en 140A, generando de ese modo el OPS 150A calibrado de tamaño aerodinámico y/o movilidad. En general, el método de la presente invención consta de tres pasos principales: (1) generar un conjunto de datos de calibración; (2) hallar el índice de refracción óptimo y la forma que mejor se ajusta a los datos de calibración; y (3) crear nuevas curvas de calibración que proporcionan diámetros equivalentes a la movilidad o aerodinámicos. En esta figura, el OPS está representado por un medidor óptico de tamaño de partículas TSI 3330 (que incluye un OPC).

Haciendo referencia ahora a las figuras 2-4, las etapas de calibración para los diámetros de movilidad y

aerodinámicos son diferentes tal como se comentará en el presente documento. Para generar datos de calibración para la aplicación de diámetro de movilidad, un sistema 200 de calibración usa un OPC 210 y un analizador 220 de movilidad diferencial (DMA, por sus siglas en inglés) e implica generar varios aerosoles monodispersos clasificados mediante el analizador de movilidad diferencial y posteriormente medirlos con el OPC. A continuación, el sistema 200 optimiza el índice de refracción para el ajuste óptimo de los datos monodispersos en la etapa 230.

Haciendo referencia ahora a la figura 3, al generar datos de calibración para una aplicación de diámetro aerodinámico (que puede incluir varias formas diferentes para generar datos aerodinámicos dependiendo de la configuración y los componentes usados), en aras de la simplicidad, se centra la atención en el sistema 300 y en los datos generados con impactadores o ciclones 320. La distribución de tamaño de las partículas en el aerosol de interés se mide mediante un OPC 310 con y sin el impactador o un ciclón. En la etapa 340, se determina un punto de corte del impactador o ciclón 320 tomando la razón de las dos distribuciones de OPC generadas en la etapa anterior. Puesto que la respuesta del OPC se basa en una curva PSL calibrada por factor (350), no se espera que el punto de corte medido por el OPC sea el mismo que el punto de corte del impactador/ciclón que se define usando el diámetro aerodinámico. Al usar varios ciclones o impactadores de punto de corte diferentes, puede obtenerse un conjunto de datos de calibración. Una vez que se determinan los datos de calibración, entonces se realiza un cálculo de dispersión de Mie (modelado) para hallar el índice de refracción que mejor se ajuste a los datos de calibración. En una realización relacionada, también se incluye un factor de forma en el cálculo para mejorar la precisión. En esta realización de ejemplo, el índice de refracción y el factor de forma que proporcionan el mejor ajuste a los datos de calibración se denominan índice de refracción óptimo y factor de forma óptimo. Luego se crea una nueva curva de calibración equivalente a movilidad o aerodinámica usando este índice de refracción y factor de forma óptimos.

Haciendo referencia ahora a la figura 4, en esta realización de ejemplo, el OPS 410 del sistema 400 se calibra con impactadores 420 con puntos de corte de 1, 2,5 y 10 μm usando las etapas de calibración descritos en la figura 3. Dado que el OPS mide diámetros ópticos o equivalentes a PSL, los puntos de corte medidos son diferentes de los puntos de corte de impactador que se basan en diámetros aerodinámicos. En esta realización de ejemplo, las respuestas del OPS 410 para los impactadores 420 son de 1,5, 4 y 12 μm . Luego, se usa un programa 430 de cálculo de dispersión de Mie para hallar el índice de refracción y el factor de forma óptimos, de modo que los puntos de corte medidos con el OPS estén lo más cerca posible de los puntos de corte del impactador conocidos de 1, 2,5 y 10 μm . Tal como se muestra en la figura 4, los puntos de corte medidos con el OPS 410 después de la corrección de índice de refracción y factor de forma (RIC, por sus siglas en inglés) son 1,1, 2,6 y 10,2 μm en la etapa 440. Idealmente, se desearía que estos valores fueran exactamente iguales a los puntos de corte de impactador de 1, 2,5 y 10 μm . En la práctica, sin embargo, la precisión está limitada por la resolución del instrumento, el número de puntos de calibración y las propiedades de las partículas. Una vez que se determinan el índice de refracción y el factor de forma óptimos, se genera una nueva curva de calibración y el OPS puede usarse ahora para medir el diámetro equivalente al diámetro aerodinámico para este aerosol.

Una aplicación de un OPC calibrado para el diámetro de movilidad del sistema 200 es que puede combinarse con un medidor de tamaño de partículas de movilidad de barrido (SMPS) para una medición de distribución de tamaño de partícula de amplio intervalo (véase la figura 8). Dado que el intervalo de tamaño típico de SMPS es de desde unos pocos nanómetros (nm) hasta aproximadamente 500 nm, y un intervalo de tamaño de OPC es de desde 300 nm hasta 10 μm , la combinación de estos dos instrumentos permitirá la medición de la distribución de tamaño desde unos pocos nanómetros hasta aproximadamente 10 μm . La figura 5 muestra un ejemplo de distribuciones de tamaño de partícula (muestra n.º 13) medidas con un SMPS y OPS. Está claro que la distribución de OPS después de RIC se fusiona mejor que la que no carece de RIC para generar una curva de medición más precisa y constante del amplio intervalo de tamaño de partícula. La figura 6 muestra distribuciones de tamaño de partícula medidas en un área designada para fumar (muestra n.º 5), con un segundo pico (alrededor de 150 nm) que se muestra en la figura como partículas generadas a partir de cigarrillos.

Haciendo referencia ahora a las figuras 7A-7F, se ilustran diversos diagramas de flujo que describen diversos componentes del procedimiento de calibración y el método de conversión de diámetro óptico en diámetro de movilidad/aerodinámico. En particular, la figura 7A es el diagrama de flujo de nivel superior que muestra las etapas para modificar un medidor óptico de tamaño de partículas y/o un detector óptico para llegar a un dispositivo 7800 de OPC listo para medir diámetro de movilidad o un dispositivo 7900 de OPC listo para medir diámetro aerodinámico. En esta realización de ejemplo, el dispositivo 7800 se usará tal como se describe en el recuadro 7850 para medir partículas desde aproximadamente 10 nanómetros (nm) hasta aproximadamente 10 micrómetros (μm), que es combinar un SMPS y distribuciones de OPC redimensionadas.

Haciendo referencia más específicamente a la figura 7A, un método para recalibrar un OPC incluye la etapa 7100 de medir distribuciones de tamaño de aerosol polidisperso con un OPC, después de lo cual el sistema solicita en la etapa 7200 si el OPC está listo para la calibración. Si el OPC no está listo, el usuario determina con qué frecuencia realizar la calibración dependiendo, entre otros factores, de si hay, por ejemplo, aerosoles que cambian rápidamente (lo que puede requerir más calibraciones). Si el OPC está listo para la calibración, entonces se avanza al procedimiento 7300 de calibración, que puede ser el procedimiento 7300A de calibración (figura 7B) para el OPC 7800 listo para medir diámetro de movilidad o para el procedimiento 7300B (figura 7C) para el OPC 7900 listo para

medir diámetro aerodinámico.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 7A, en la etapa 7400, el usuario determina si hay suficientes datos de calibración, dependiendo de la precisión deseada de los resultados y el tiempo disponible (cuanto mayor sea la precisión deseada, más tiempo lleva debido a la necesidad de más datos de calibración). Una vez que se completa la calibración para uno cualquiera (7300A o 7300B) en la etapa 7400, la siguiente etapa 7500 es hallar el índice de refracción y el factor de forma óptimos usando el conjunto de datos de calibración. La etapa 7500 puede subdividirse en 3 subflujos: el flujo 7500A (figura 7D) para determinar el índice de refracción y el factor de forma óptimos para el diámetro de movilidad usando un dato de calibración; el flujo 7500B (figura 7E) para determinar el índice de refracción y el factor de forma óptimos para la movilidad usando múltiples datos de calibración; y el flujo 7500C (figura 7F) para determinar el índice de refracción y el factor de forma óptimos para el diámetro aerodinámico usando múltiples datos de calibración.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 7A, una vez que se hallan el índice de refracción y los factores de forma óptimos, la siguiente etapa 7600 es generar una nueva curva de calibración usando el índice de refracción y el factor de forma óptimos adquiridos. En la etapa 7700, entonces se realiza una operación de redimensionamiento de los aerosoles polidispersos medidos en la primera etapa con la nueva curva de calibración. En este punto, dependiendo de la calibración original, el procedimiento se bifurca a la etapa 7800 para ser un OPC listo para medir diámetro de movilidad o a la etapa 7900 para ser un OPC listo para medir diámetro aerodinámico.

Haciendo referencia ahora más específicamente a la figura 7B y el procedimiento 7300A de calibración de movilidad para el OPC 7800 listo para medir movilidad, se introduce una partícula y un aerosol de interés (polidisperso) en el DMA generándose de ese modo datos de movilidad de partículas para una partícula de tamaño particular que luego se introduce en el OPC para generar una respuesta. Si hay suficientes datos de calibración, entonces se generan los datos de calibración para cada partícula junto con su diámetro óptico. Si son necesarios más datos de calibración, se cambia la tensión del DMA para generar otra partícula de tamaño individual que luego se introduce en el OPC para generar otra respuesta óptica.

Haciendo referencia ahora más específicamente a la figura 7C para el procedimiento 7300B para el OPC 7900 listo para medir diámetro aerodinámico, se introduce primero un aerosol de interés (polidisperso) en el OPC para generar diámetros ópticos de las partículas de interés. El flujo de partículas también se introduce en el impactador/ciclón para generar diámetros aerodinámicos, introduciéndose su flujo en el OPC para generar luego diámetros ópticos de las partículas de interés. Si hay suficientes datos de calibración, entonces los datos de calibración para cada partícula junto con su diámetro óptico se generan para cada uno de sus diámetros aerodinámicos (con y sin los datos del impactador/ciclón). Si son necesarios más datos de calibración, se cambia el punto de corte para el impactador/ciclón y luego la partícula se mide de nuevo en la trayectoria del impactador/ciclón y se mueve de vuelta al OPC para determinar luego si hay suficientes datos de calibración.

Haciendo referencia ahora más específicamente a la figura 7D (y la etapa 7500 de la figura 7A), el subflujo 7500A ilustra cómo determinar el índice de refracción y el factor de forma óptimos para el diámetro de movilidad usando un dato de calibración introduciendo primero el aerosol de interés (polidisperso) en el DMA generándose de ese modo datos de movilidad de partículas para una partícula de tamaño particular que luego se introduce en el OPC para generar una respuesta. Si el diámetro óptico de la partícula es igual al diámetro de movilidad, entonces se ha hallado el índice de refracción óptimo que conduce a la generación de una nueva curva 7600A de calibración de OPC y luego un OPC 7800A calibrado para el diámetro de movilidad. Por otro lado, si el diámetro óptico de partícula no es igual al diámetro de movilidad, entonces se ajusta el índice de refracción, después de eso se realiza un cálculo de dispersión de Mie que luego genera una nueva respuesta de OPC o diámetro óptico. Esto continúa realizando ciclos hasta que el diámetro óptico de partícula es igual al diámetro de movilidad, entonces se ha hallado el índice de refracción óptimo y luego se mueve hacia la derecha del flujo 7500A, lo que conduce a la creación de una nueva curva 7600A de calibración de OPC tal como se comentó anteriormente.

Haciendo referencia ahora más específicamente a la figura 7E (y la etapa 7500 de la figura 7A), el subflujo 7500B ilustra cómo determinar el índice de refracción y el factor de forma óptimos para la movilidad usando múltiples datos de calibración. El aerosol de interés (polidisperso) se introduce en el DMA generándose de ese modo datos de movilidad de partículas para una partícula de tamaño particular que luego se introduce en el OPC para generar una respuesta. Si hay suficientes datos de calibración, se generan los datos de calibración para cada partícula junto con su diámetro óptico. Si son necesarios más datos de calibración, se cambia la tensión del DMA y luego se mide de nuevo la partícula en el DMA y de vuelta al OPC. Una vez que se generan los datos de calibración, entonces se calcula el chi-cuadrado y se determina si se ha alcanzado el chi-cuadrado mínimo, de ser así, entonces se ha hallado el índice de refracción óptimo que conduce a generar una nueva curva 7600B de calibración de OPC y luego un OPC 7800B calibrado para el diámetro de movilidad. Por otro lado, si no se halla el chi-cuadrado mínimo, entonces se ajusta el índice de refracción, después de eso se realiza un cálculo de dispersión de Mie. Esto genera a su vez una nueva respuesta de OPC o diámetro óptico y después de eso se calcula otro chi-cuadrado y se compara con un chi-cuadrado mínimo. Esto se mantiene realizando ciclos hasta que se alcanza el chi-cuadrado mínimo, entonces se ha hallado el índice de refracción óptimo y luego se mueve hacia la derecha del flujo 7500B, lo que conduce a la creación de una nueva curva 7600B de calibración de OPC tal como se comentó anteriormente.

Haciendo referencia ahora más específicamente a la figura 7F (y la etapa 7500 de la figura 7A), el subflujo 7500C ilustra cómo determinar el índice de refracción y el factor de forma óptimos para el diámetro aerodinámico usando múltiples datos de calibración. El aerosol de interés (polidisperso) se introduce primero en el OPC para generar diámetros ópticos de las partículas de aerosol de interés. El flujo de partículas también se introduce en el impactador/ciclón para generar diámetros aerodinámicos con su flujo que luego se introducen en el OPC para generar entonces diámetros ópticos de las partículas de interés. Si hay suficientes datos de calibración, los datos de calibración para cada partícula junto con su diámetro óptico se generan para cada uno de sus diámetros aerodinámicos (con y sin los datos del impactador/ciclón). Si son necesarios más datos de calibración, se cambia el punto de corte para el impactador/ciclón y luego la partícula se mide de nuevo en la ruta del impactador/ciclón y se mueve de vuelta al OPC para determinar entonces si hay suficientes datos de calibración. Una vez que se generan los datos de calibración, entonces se calcula el chi-cuadrado y se determina si se ha alcanzado el chi-cuadrado mínimo, de ser así, entonces se ha hallado el índice de refracción óptimo que conduce a la generación de una nueva curva de calibración de OPC y entonces un OPC 7900C calibrado para el diámetro aerodinámico. Por otro lado, si no se halla el chi-cuadrado mínimo, entonces se ajusta el índice de refracción, después de eso se realiza un cálculo de dispersión de Mie. Esto genera a su vez una nueva respuesta de OPC o diámetro óptico y después de eso se calcula otro chi-cuadrado y se compara con un chi-cuadrado mínimo. Esto se mantiene realizando ciclos hasta que se alcanza el chi-cuadrado mínimo, entonces se ha hallado el índice de refracción óptimo y luego se mueve hacia la derecha del flujo 7500C, lo que conduce a la creación de una nueva curva de calibración de OPC tal como se comentó anteriormente.

En una realización relacionada, un sistema de dimensionamiento de partículas de OPS y DMA incluye un conmutador para permitir la recalibración al hacer que el flujo de partículas sólo llegue al DMA y luego, una vez que se recalibra, el sistema conmuta de vuelta para que el flujo de partículas pase tanto por el DMA como por el OPS.

Haciendo referencia ahora a la figura 8, en esta realización de ejemplo del sistema de medición, 8000, un sistema de SMPS usado en este trabajo fue un TSI modelo 3936 con un analizador de movilidad diferencial (DMA) y un contador de partículas de condensación (CPC) que es un LDMA modelo 3081 y un CPC modelo 3010, respectivamente. El intervalo de tamaño era de 10 nm a aproximadamente 500 nm. El OPC usado en este trabajo era un espectrómetro óptico de partículas de alta resolución TSI 3330 Optical Particle Sizer (OPS). El OPS es una unidad ligera, portátil y alimentada por baterías que puede detectar partículas de desde 0,3 hasta 10 μm de diámetro hasta en 16 canales. Los límites de canal son ajustables por el usuario. El OPS también presenta la capacidad de cálculo de dispersión de Mie en tiempo real.

En esta realización de ejemplo del método de medición, el SMPS y el OPS midieron simultáneamente un aerosol polidisperso primero. Para calibrar el OPS para medir diámetro de movilidad, el OPS midió varios aerosoles monodispersos clasificados mediante DMA. Para mejorar la calidad de los datos, se ajustaron los límites de los canales de tamaño del OPS de modo que los 16 canales se asignaron en el intervalo estrecho de desde 0,3 hasta 1,0 μm para mediciones de alta resolución. Luego se realizaron cálculos de dispersión de Mie para hallar el índice de refracción óptimo que minimizara la diferencia entre los diámetros de movilidad de estos aerosoles monodispersos del DMA y los diámetros ópticos del OPS. También se usó el factor de forma para mejorar adicionalmente los resultados. Esta etapa de calibración se ilustra en la figura 2. Una vez que se determinaron el índice de refracción y el factor de forma óptimos, se generó una nueva curva de calibración, y las distribuciones de aerosol polidisperso OPS medidas en la primera etapa se redimensionaron con esta nueva curva de calibración. Las distribuciones polidispersas de OPS redimensionadas se fusionaron posteriormente con las distribuciones de SMPS para obtener distribuciones de tamaño de aerosol de amplio intervalo. Aerosoles de exposición: azul de metileno, sebacato de dioctilo (DOS o DEHS) y aerosoles ambientales medidos en diversas ubicaciones.

Se mostraron previamente en las figuras 5 y 6 distribuciones de un aerosol de azul de metileno generado en laboratorio medido con SMPS y OPS. La concordancia entre la distribución de SMPS y la distribución de OPS con la corrección del índice de refracción en la región de solapamiento es claramente mejor que la distribución de OPS sin la corrección. Las distribuciones de tamaño de aerosol ambiental medidas con SMPS y OPS en una ubicación se ilustran en la figura 5, mientras que otra ubicación, designada como área para fumar, aparece como el segundo pico en la figura 6 y se cree que son partículas generadas a partir de cigarrillos.

Se desarrolló con éxito un método para convertir diámetros ópticos en diámetros de movilidad sin el conocimiento de la forma del aerosol y las propiedades ópticas. Sin el ajuste del índice de refracción y la corrección del factor de forma, se descubrió que los diámetros ópticos podían ser bastante diferentes de los diámetros de movilidad si los índices de refracción de los aerosoles eran muy diferentes de los aerosoles de PSL (tales como el aerosol de azul de metileno) y/o los aerosoles fueran no esféricos. El método dado a conocer es más robusto que fusionar las distribuciones de SMPS y OPS al minimizar las diferencias de recuento entre las dos técnicas de medición, puesto que las distribuciones fusionadas mediante el último método podrían estar sesgadas significativamente por las eficiencias de recuento de instrumento en la región de solapamiento.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de medición para medir una distribución de tamaño de aerosol de movilidad eléctrica de un aerosol polidisperso, comprendiendo el sistema de medición:
- 5 un contador óptico de partículas para medir diámetros ópticos de partículas de aerosol, comprendiendo el contador óptico de partículas:
- 10 una fuente (56) de radiación electromagnética acoplada operativamente con óptica (60) de conformación de haz para generar un haz de radiación (54) electromagnética;
- 15 una tobera (49) de entrada para el paso de una corriente (44) de flujo de aerosol a través de la misma, conteniendo partículas dicha corriente (44) de flujo de aerosol y cortando dicho haz de radiación (54) electromagnética para definir un volumen (50) de interrogación, dispersando dichas partículas dicha radiación electromagnética desde dicho volumen (50) de interrogación;
- 20 un captador (66) de radiación para la captación de una parte de dicha radiación electromagnética dispersada desde las partículas en dicho volumen (50) de interrogación; y
- un detector (80) para detectar dicha parte de dicha radiación electromagnética captada por dicho captador (66) de radiación;
- comprendiendo además el sistema de medición
- 25 un sistema (200) de calibración que incluye un dispositivo de movilidad eléctrica para generar uno o más conjuntos de datos de calibración a partir de partículas de aerosol polidispersas medidas por el contador óptico de partículas, estando dicho sistema (200) de calibración acoplado operativamente a dicho detector,
- 30 en el que el dispositivo de movilidad eléctrica está adaptado para generar una o más partículas de aerosol monodispersas a partir de dichas partículas de aerosol polidispersas, y
- en el que un conjunto de datos de calibración comprende un diámetro de movilidad de dichas partículas de aerosol monodispersas generadas por el dispositivo de movilidad eléctrica y un diámetro óptico de dichas partículas de aerosol monodispersas medidas por el contador óptico de partículas,
- 35 comprendiendo además el sistema de medición
- medios (34) de procesamiento digital acoplados operativamente a dicho sistema (200) de calibración para calcular un diámetro de movilidad a partir de un diámetro óptico, estando dichos medios (34) de procesamiento digital configurados para generar un modelo de dispersión de luz de Mie para determinar un índice de refracción óptimo de las partículas de aerosol polidispersas usando uno o más conjuntos de datos de calibración y luego generar una nueva curva de calibración usando el índice de refracción óptimo resultante y convertir los diámetros ópticos de dichas partículas de aerosol polidispersas en diámetros de movilidad usando la nueva curva de calibración.
- 40
- 45
2. Sistema de medición según la reivindicación 1, en el que el dispositivo de movilidad eléctrica se selecciona del grupo que consiste en un analizador de movilidad diferencial y un precipitador electrostático.
- 50
3. Sistema de medición según la reivindicación 1, que incluye además un dispositivo de dimensionamiento de partículas de movilidad de barrido acoplado operativamente al detector, proporcionando de ese modo un sistema de dimensionamiento de amplio intervalo de partículas adaptado para medir una masa de partículas que tienen un límite inferior definido como de entre aproximadamente 10 nm y aproximadamente 500 nm y un límite superior definido como de entre aproximadamente 300 nm y aproximadamente 10 μm .
- 55
4. Sistema de medición para medir una distribución de tamaño de aerosol de diámetro aerodinámico de un aerosol polidisperso, comprendiendo el sistema de medición:
- 60 un contador óptico de partículas para medir diámetros ópticos de partículas de aerosol, comprendiendo el contador óptico de partículas:
- una fuente (56) de radiación electromagnética acoplada operativamente con óptica (60) de conformación de haz para generar un haz de radiación (54) electromagnética;
- 65 una tobera (49) de entrada para el paso de una corriente (44) de flujo de aerosol a través de la misma, conteniendo partículas dicha corriente (44) de flujo de aerosol y cortando dicho haz de radiación (54) electromagnética para definir un volumen (50) de interrogación, dispersando dichas partículas dicha

- radiación electromagnética desde dicho volumen (50) de interrogación;
- un captador (66) de radiación para la captación de una parte de dicha radiación electromagnética dispersada desde dicho volumen (50) de interrogación; y
- 5 un detector (80) para la detección de dicha parte de dicha radiación electromagnética captada por dicho captador (66) de radiación;
- comprendiendo además el sistema de medición
- 10 un sistema (300) de calibración que incluye un dispositivo de diámetro aerodinámico para generar uno o más conjuntos de datos de calibración a partir de partículas de aerosol polidispersas medidas por el contador óptico de partículas, estando dicho sistema (300) de calibración acoplado operativamente a dicho detector,
- 15 en el que el dispositivo de diámetro aerodinámico está adaptado para generar puntos de corte de diámetro aerodinámico, y
- 20 en el que un conjunto de datos de calibración comprende un punto de corte de diámetro aerodinámico medido por el dispositivo de diámetro aerodinámico y un punto de corte de diámetro óptico medido por el contador óptico de partículas,
- comprendiendo además el sistema de medición
- 25 medios (34) de procesamiento digital acoplados operativamente a dicho sistema (300) de calibración para calcular un diámetro aerodinámico a partir de un diámetro óptico, estando dichos medios (34) de procesamiento digital configurados para generar un modelo de dispersión de luz de Mie para determinar un índice de refracción óptimo de las partículas de aerosol polidispersas usando uno o más conjuntos de datos de calibración y luego generar una nueva curva de calibración usando el índice de refracción óptimo resultante y convertir los diámetros ópticos de dichas partículas de aerosol polidispersas en diámetros aerodinámicos usando la nueva curva de calibración.
- 30
5. Sistema de medición según la reivindicación 4, en el que el dispositivo de diámetro aerodinámico es un impactador o un conjunto de impactadores con diferentes puntos de corte aerodinámicos.
- 35 6. Sistema de medición según la reivindicación 4, en el que el dispositivo de diámetro aerodinámico es un ciclón o un conjunto de ciclones con diferentes puntos de corte aerodinámicos.
- 40 7. Método para determinar la movilidad eléctrica de la distribución de tamaño de aerosol, que comprende:
- proporcionar el sistema de medición según cualquiera de las reivindicaciones 1-3;
- recibir radiación electromagnética dispersada desde un volumen (50) de interrogación;
- 45 hacer que las partículas de aerosol polidispersas fluyan a través de dicho volumen (50) de interrogación y dispersen radiación electromagnética sobre dicho detector para generar una señal eléctrica desde dicho detector (80);
- 50 generar una pluralidad de salidas de altura de pulso a partir de dicha señal eléctrica con dicho acondicionador de señal de altura de pulso, correspondiendo cada una de dichas salidas de altura de pulso a una partícula que pasa a través de dicho volumen (50) de interrogación y correspondiendo a un tamaño de partícula óptico;
- 55 generar uno o más conjuntos de datos de calibración con el sistema (200) de calibración de dicho sistema de medición a partir de las partículas de aerosol polidispersas;
- determinar un índice de refracción óptimo de las partículas de aerosol polidispersas medidas por el contador óptico de partículas usando los datos de calibración y un modelo de dispersión de luz de Mie; y
- 60 convertir diámetros ópticos de dichas partículas de aerosol polidispersas en diámetros de movilidad eléctrica.
8. Método para determinar la distribución de tamaño de aerosol aerodinámico, que comprende:
- 65 proporcionar el sistema de medición según cualquiera de las reivindicaciones 4-6;

recibir radiación electromagnética dispersada desde un volumen (50) de interrogación;

5 hacer que las partículas de aerosol polidispersas fluyan a través de dicho volumen (50) de interrogación y dispersen radiación electromagnética sobre dicho detector (80) para generar una señal eléctrica desde dicho detector (80);

10 generar una pluralidad de salidas de altura de pulso a partir de dicha señal eléctrica con dicho acondicionador de señales de altura de pulso, correspondiendo cada una de dichas salidas de altura de pulso a una partícula que pasa a través de dicho volumen (50) de interrogación y correspondiendo a un tamaño de partícula óptico;

15 generar uno o más conjuntos de datos de calibración con el sistema (300) de calibración de dicho sistema de medición a partir de las partículas de aerosol polidispersas;

determinar un índice de refracción óptimo de las partículas de aerosol polidispersas medidas por el contador óptico de partículas usando los datos de calibración y un modelo de dispersión de luz de Mie; y

20 convertir diámetros ópticos de dichas partículas de aerosol polidispersas en diámetros de movilidad aerodinámica.

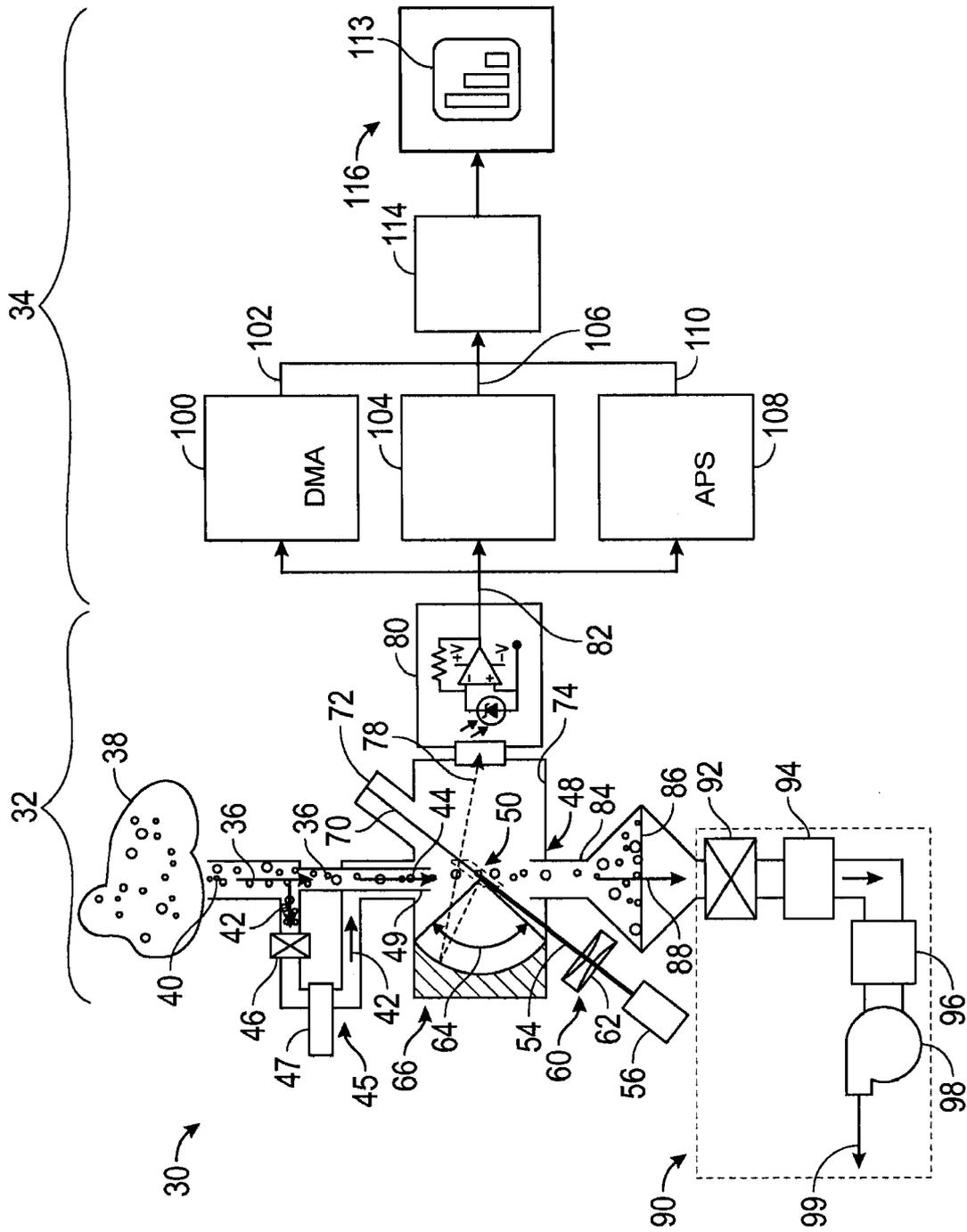


FIG. 1

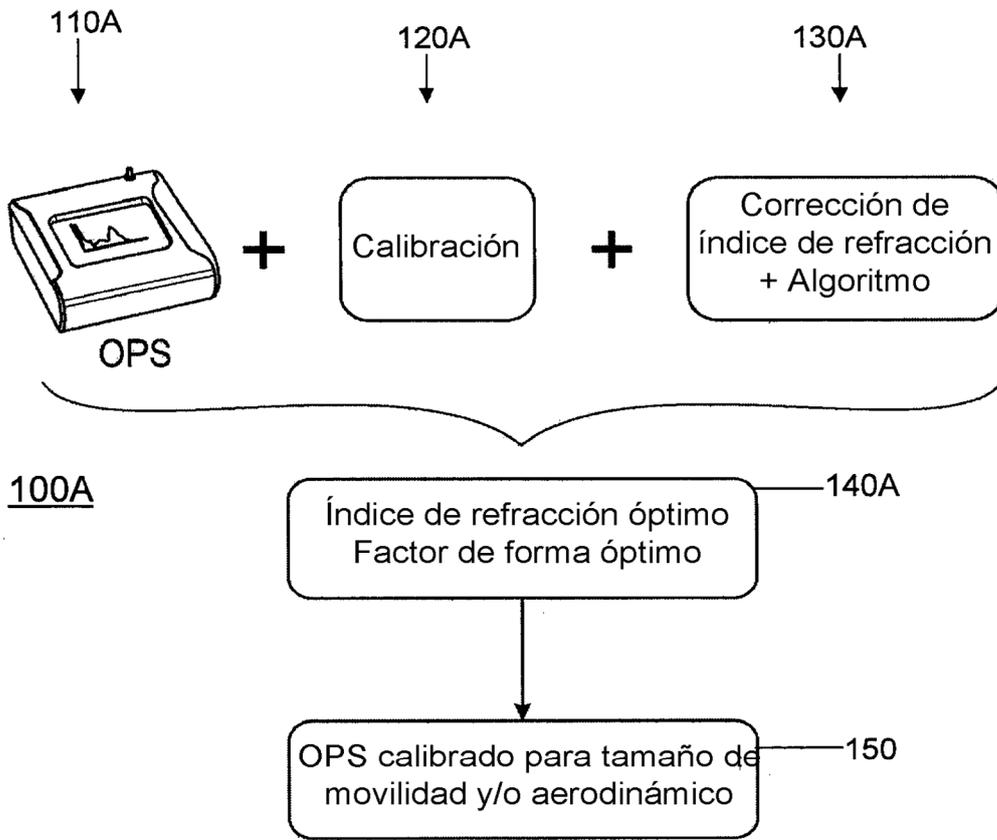


FIG. 1A

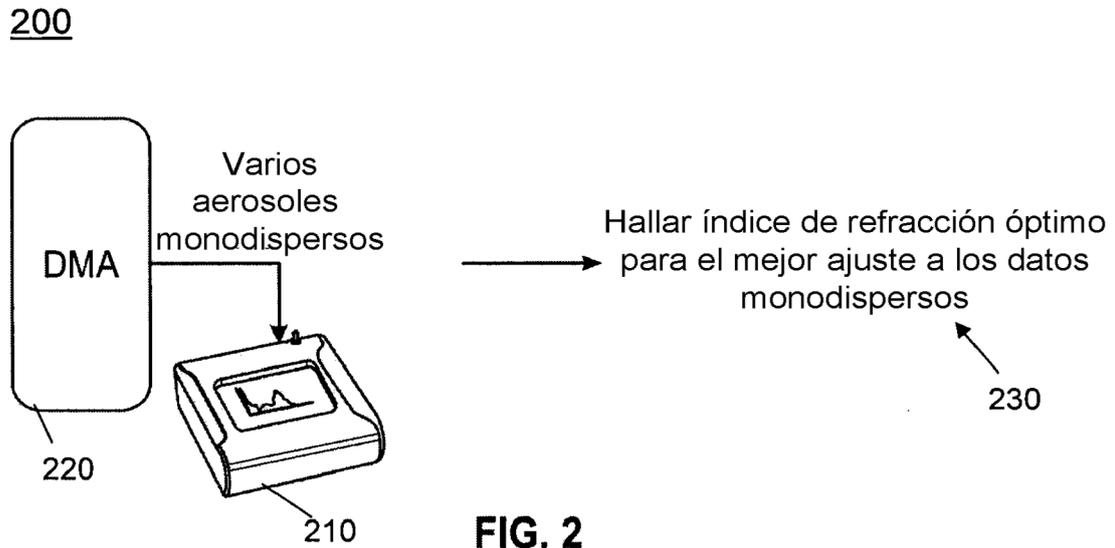
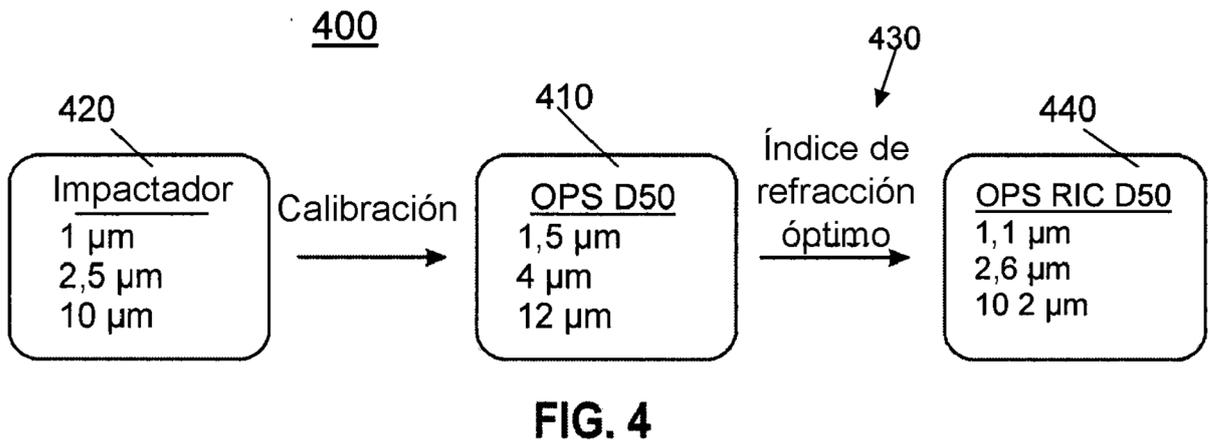
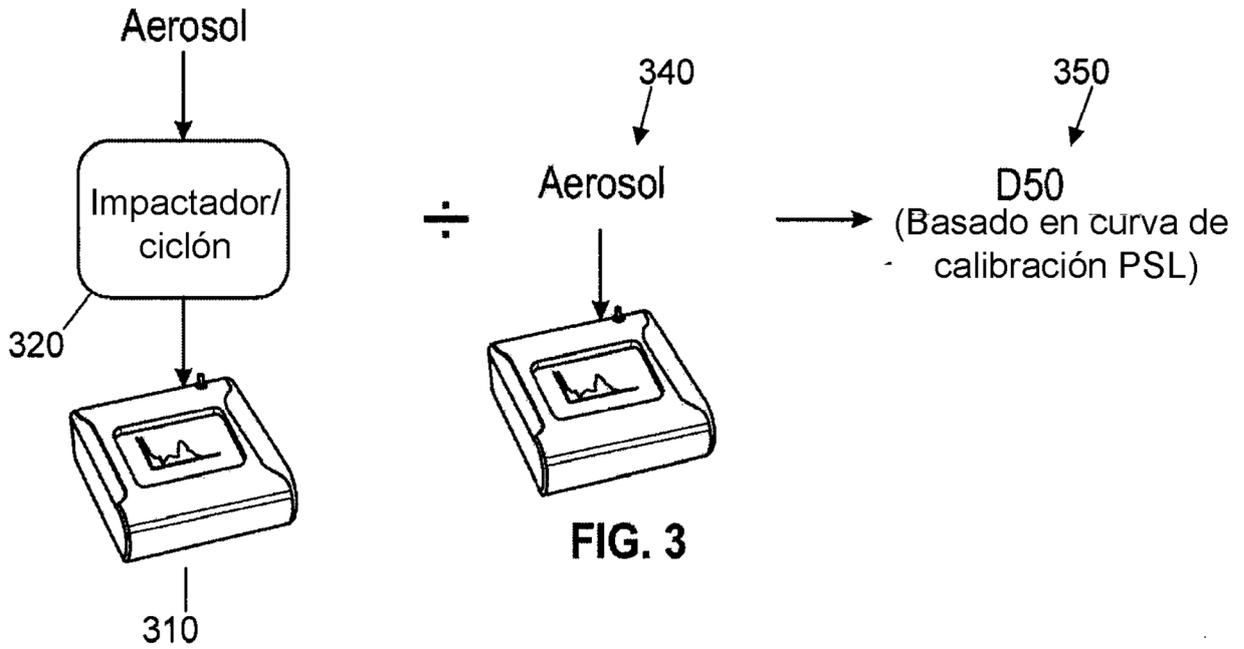


FIG. 2

300



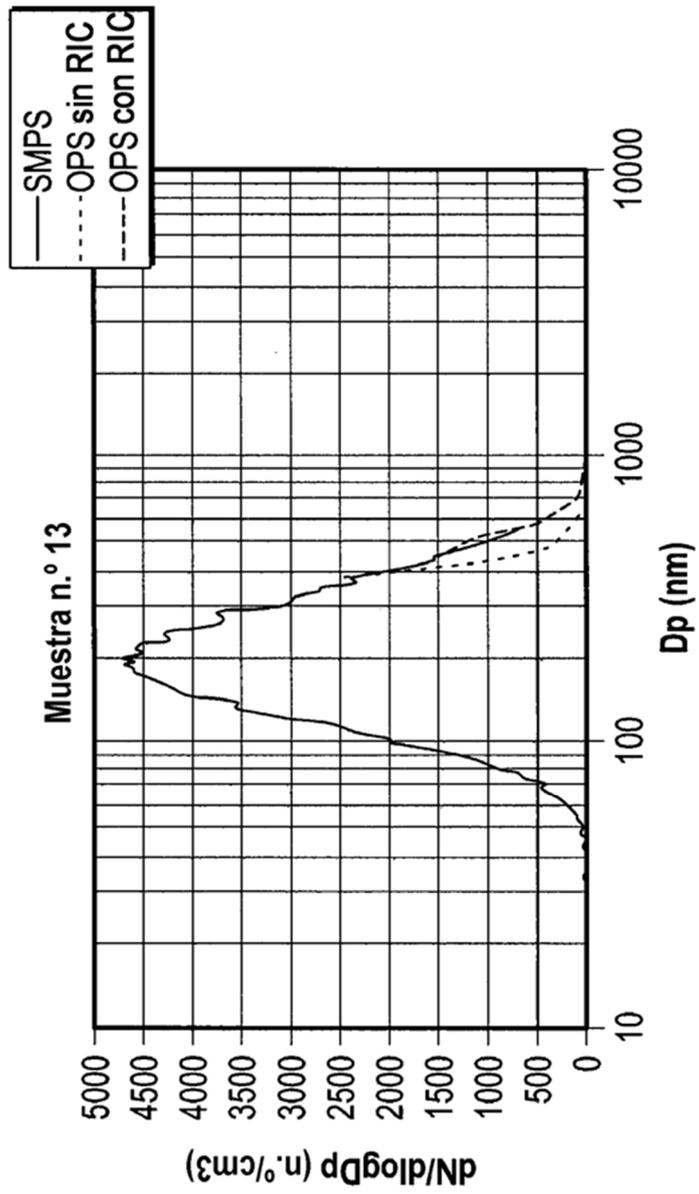


FIG. 5

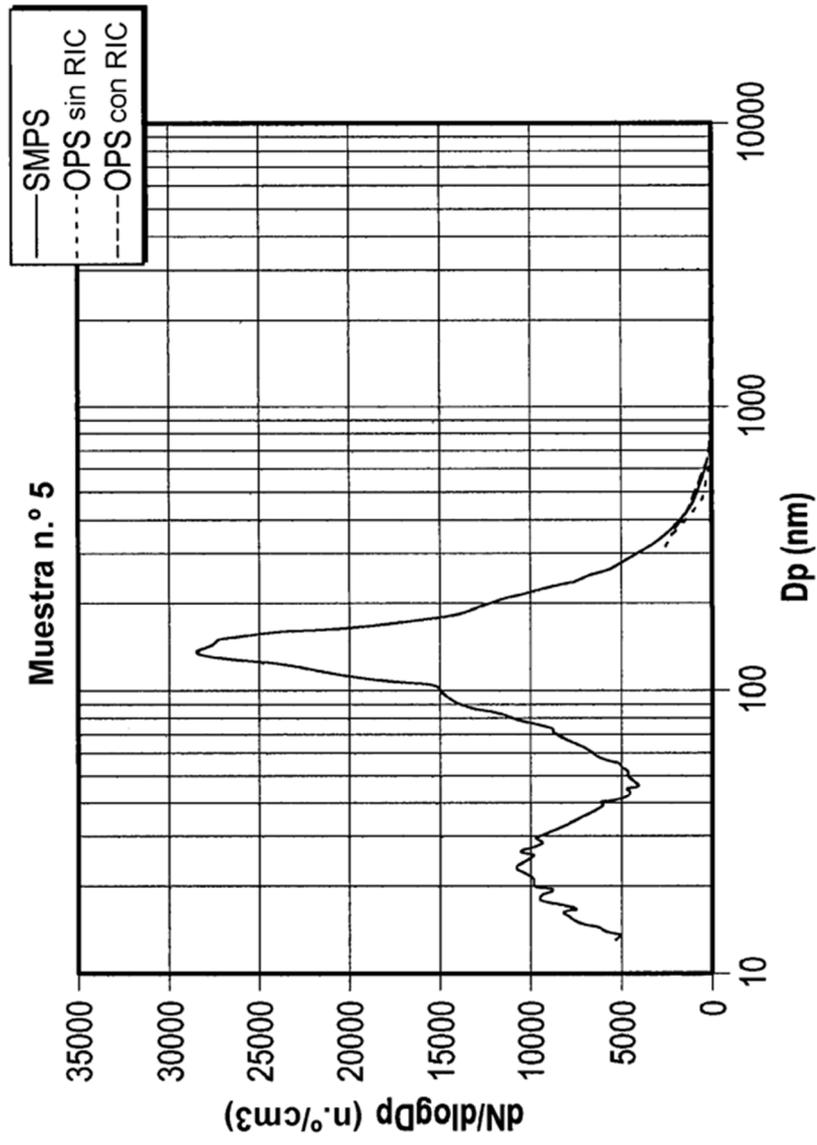


FIG. 6

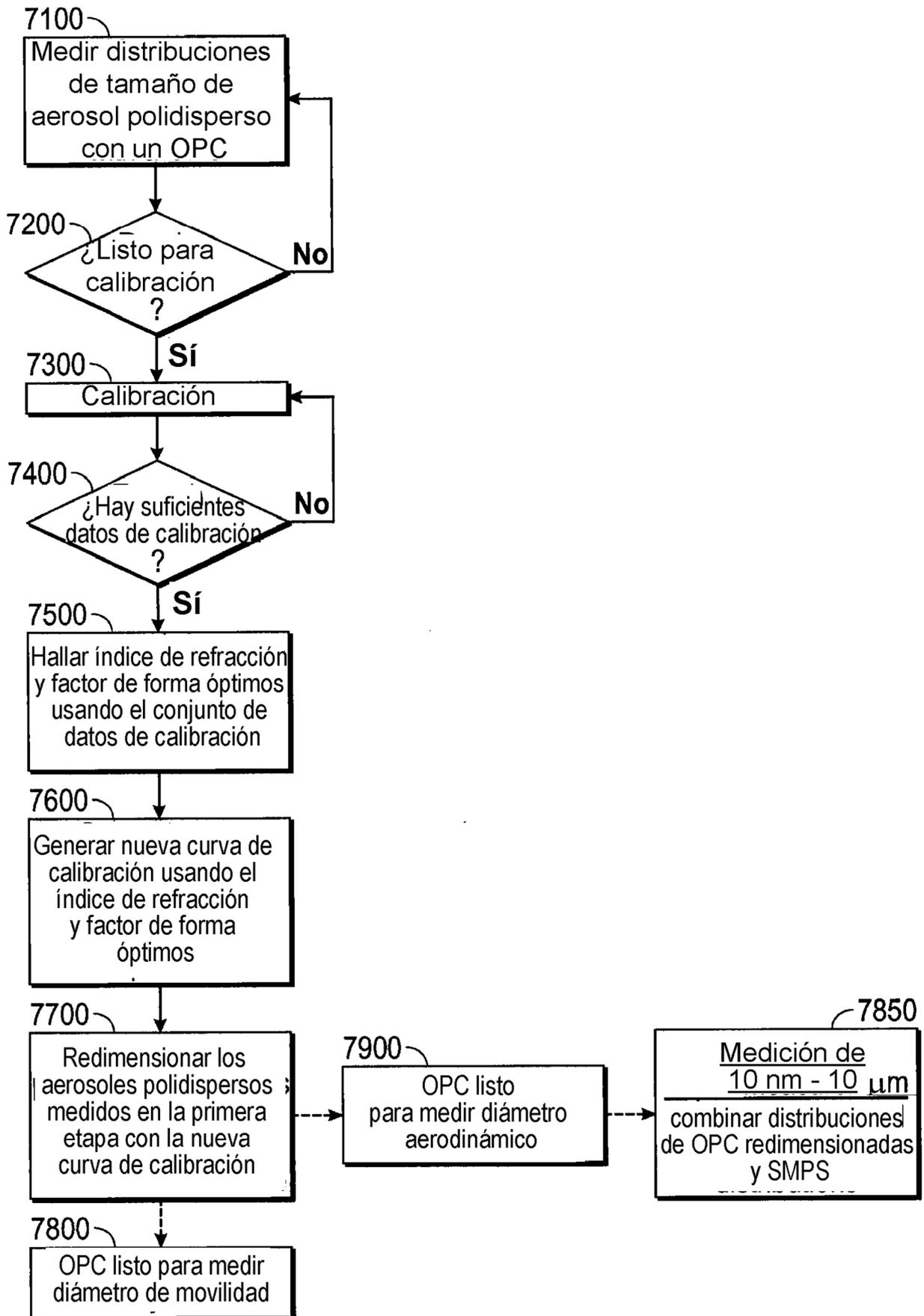


FIG. 7A

7300A

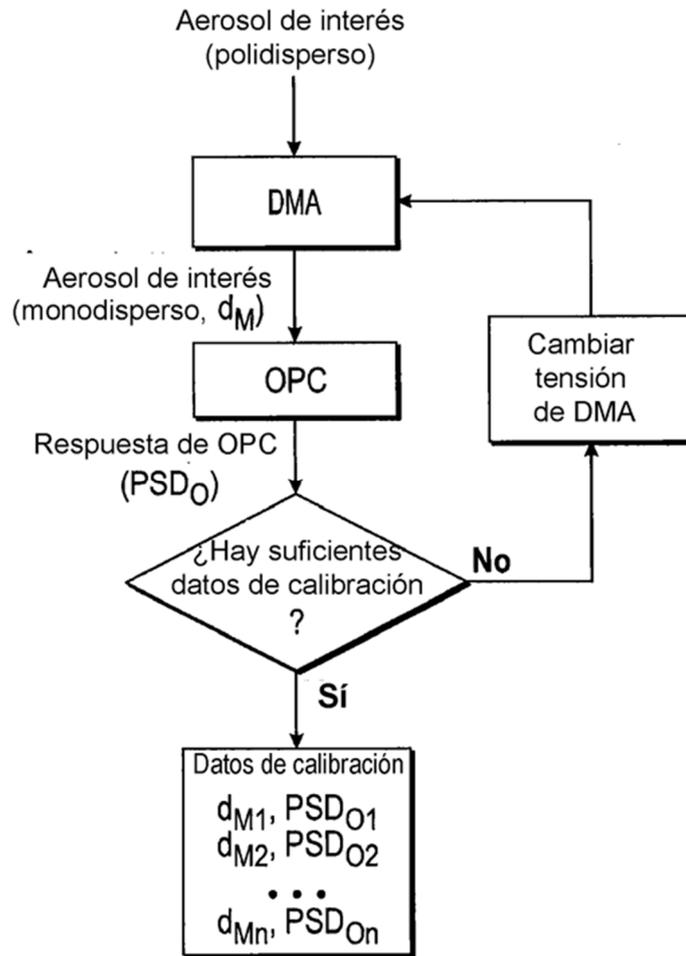


FIG. 7B

7300B

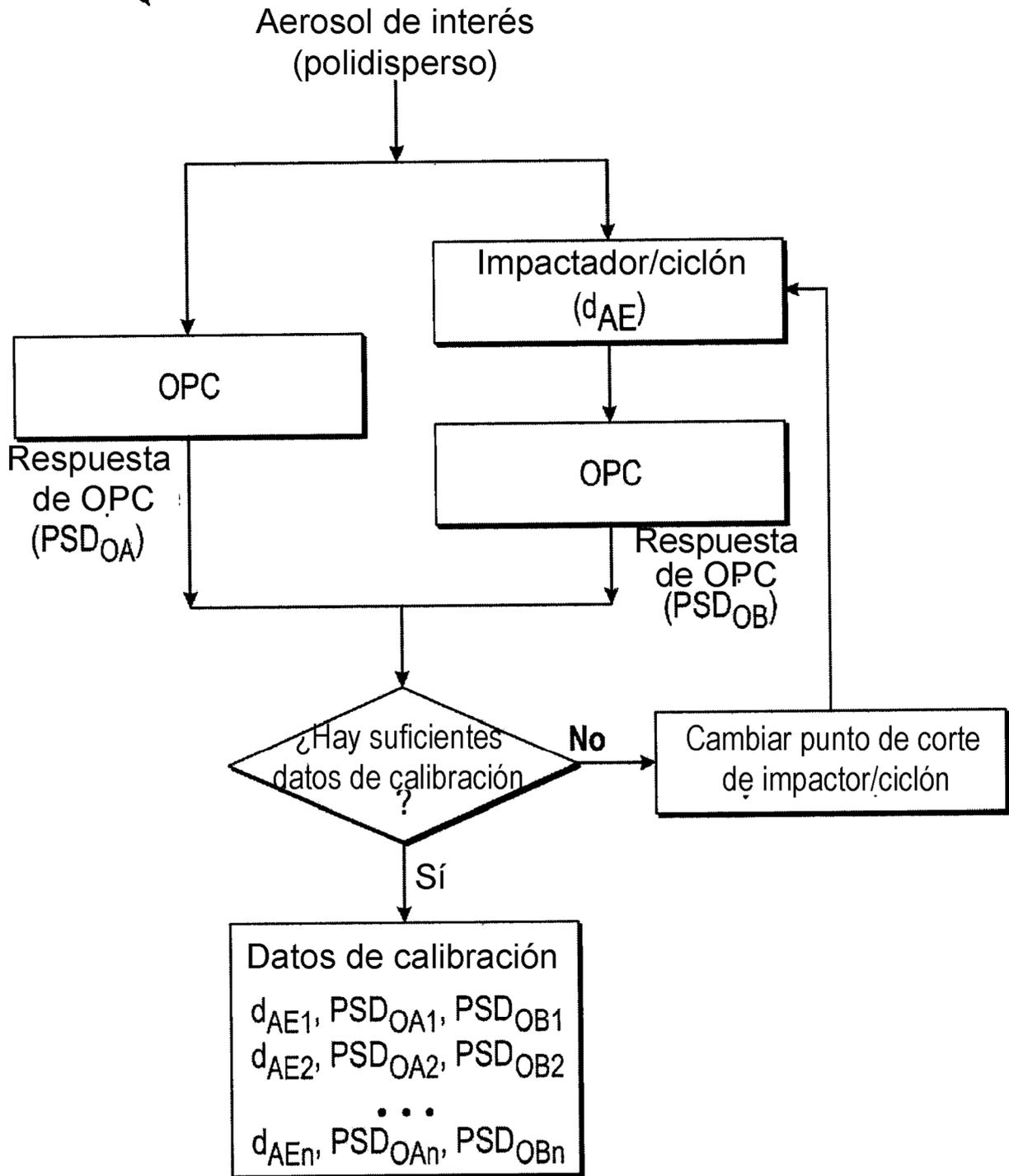


FIG. 7C

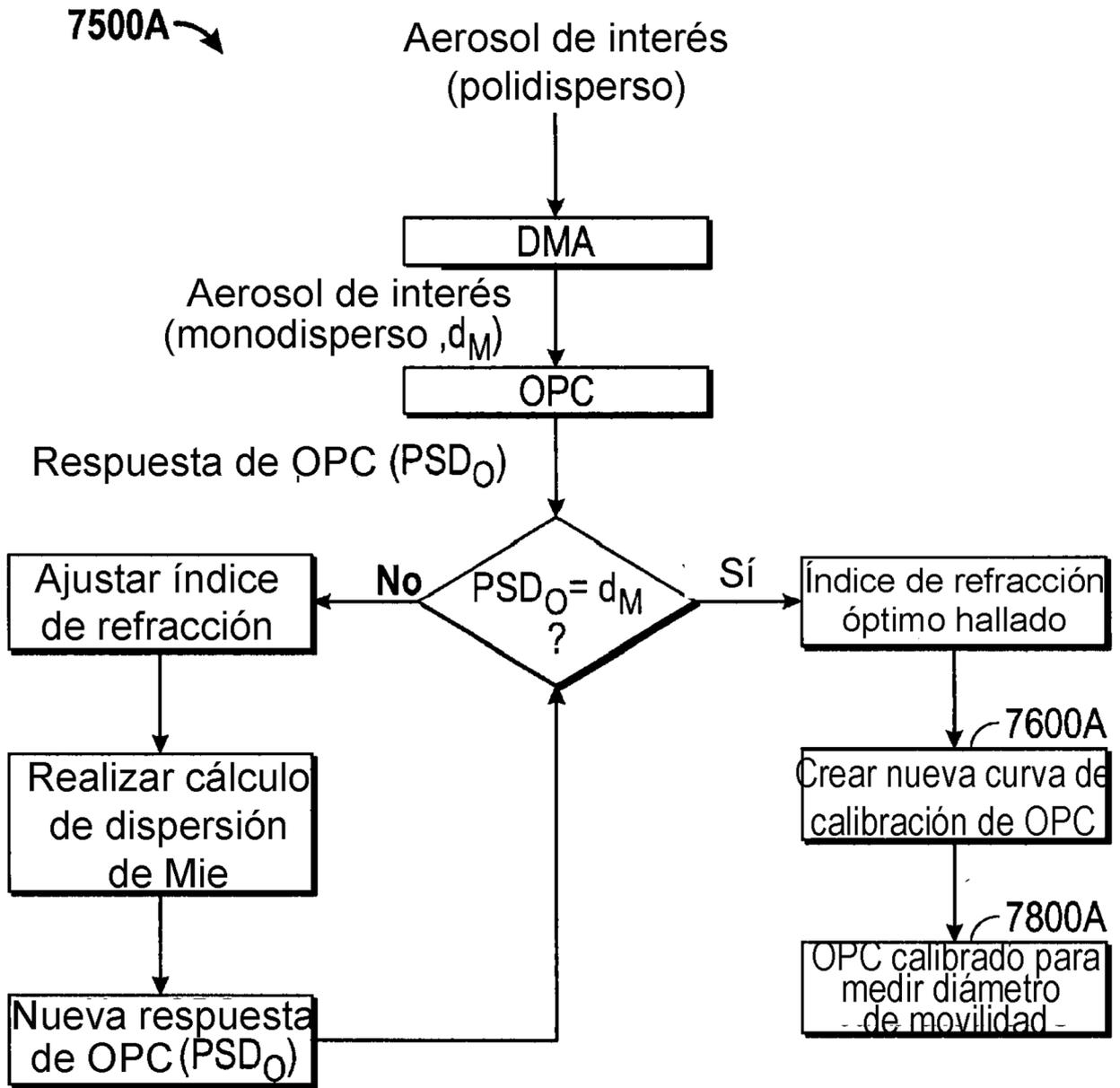


FIG. 7D

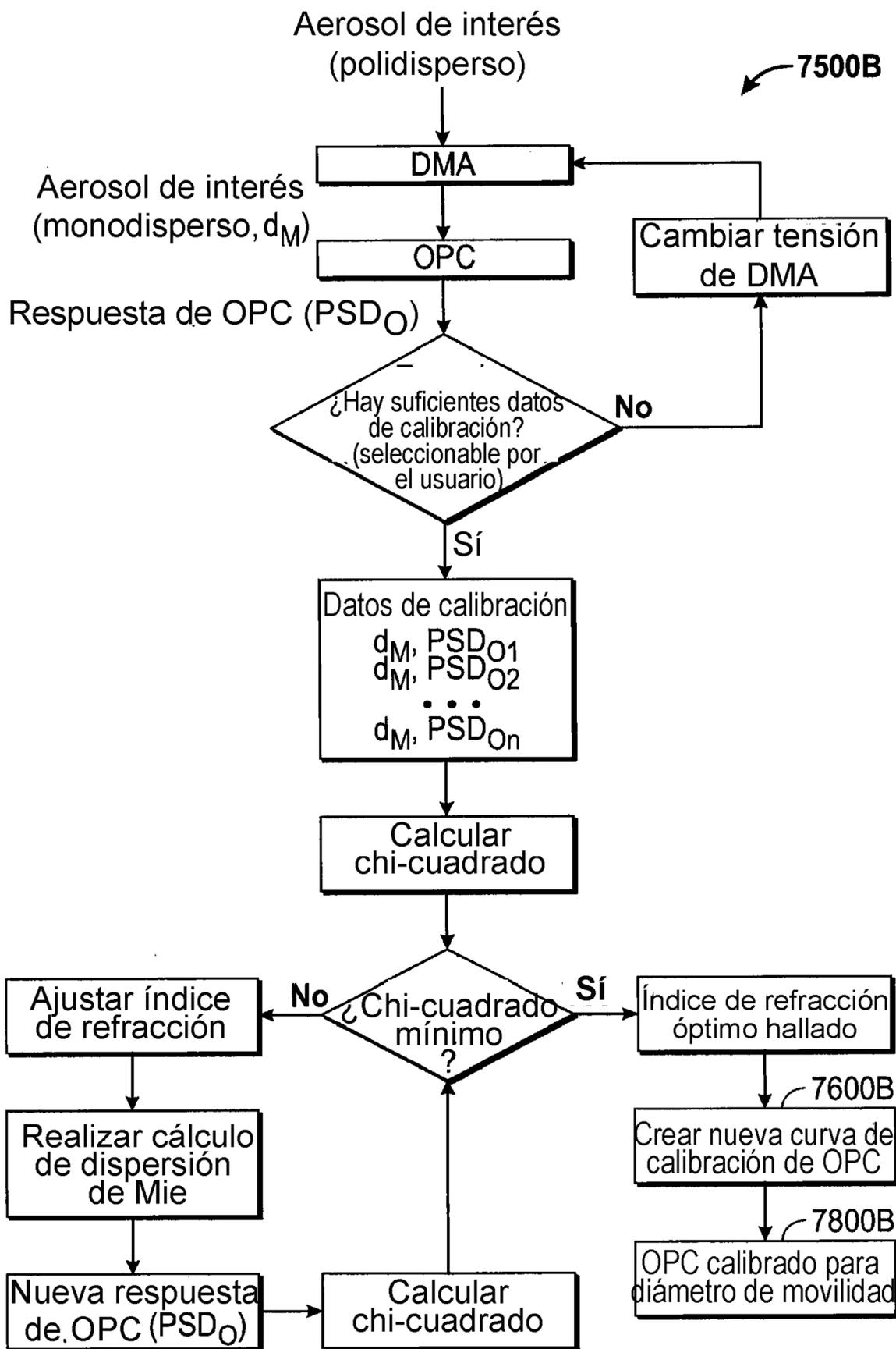


FIG. 7E

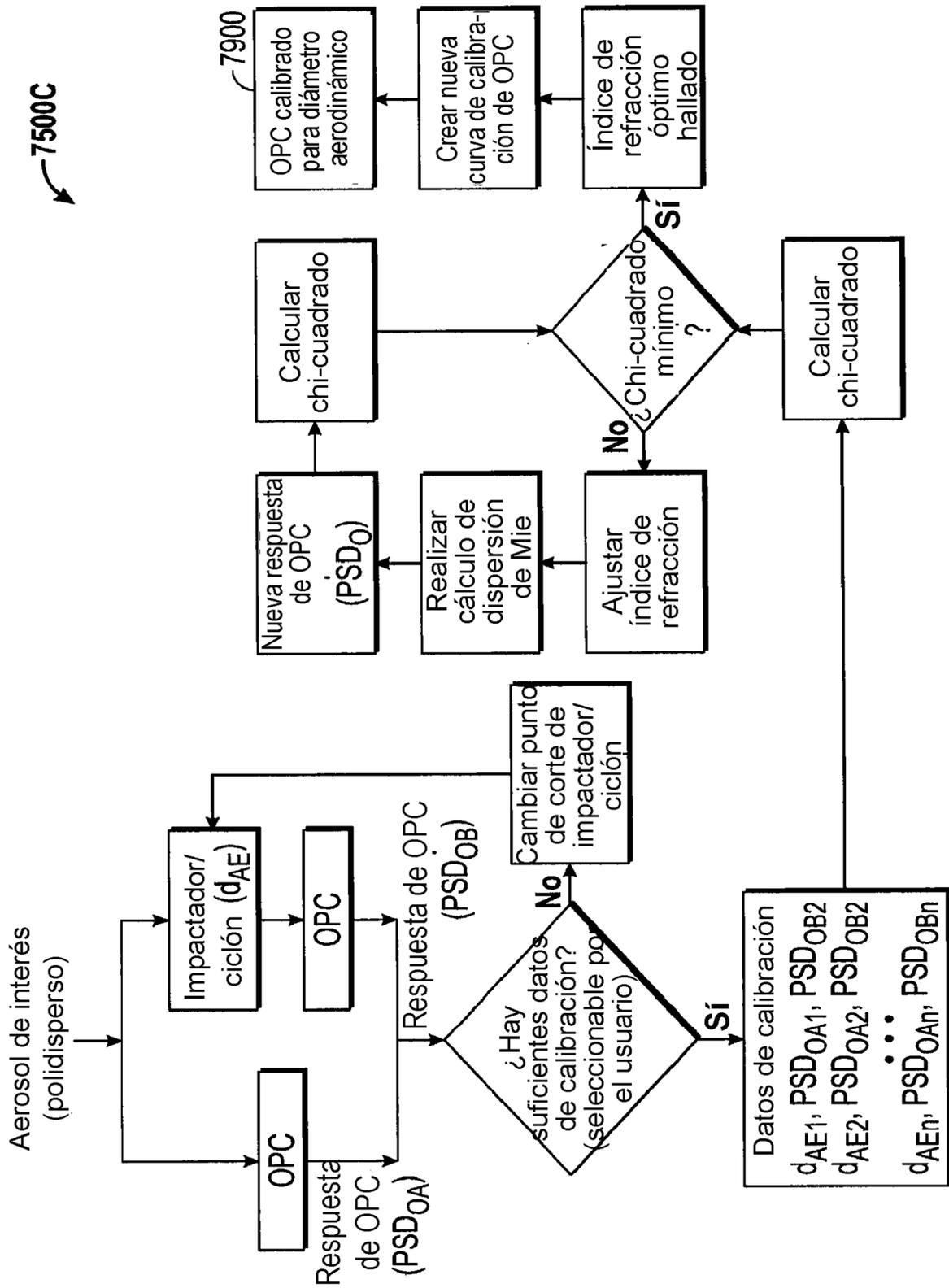


FIG. 7F

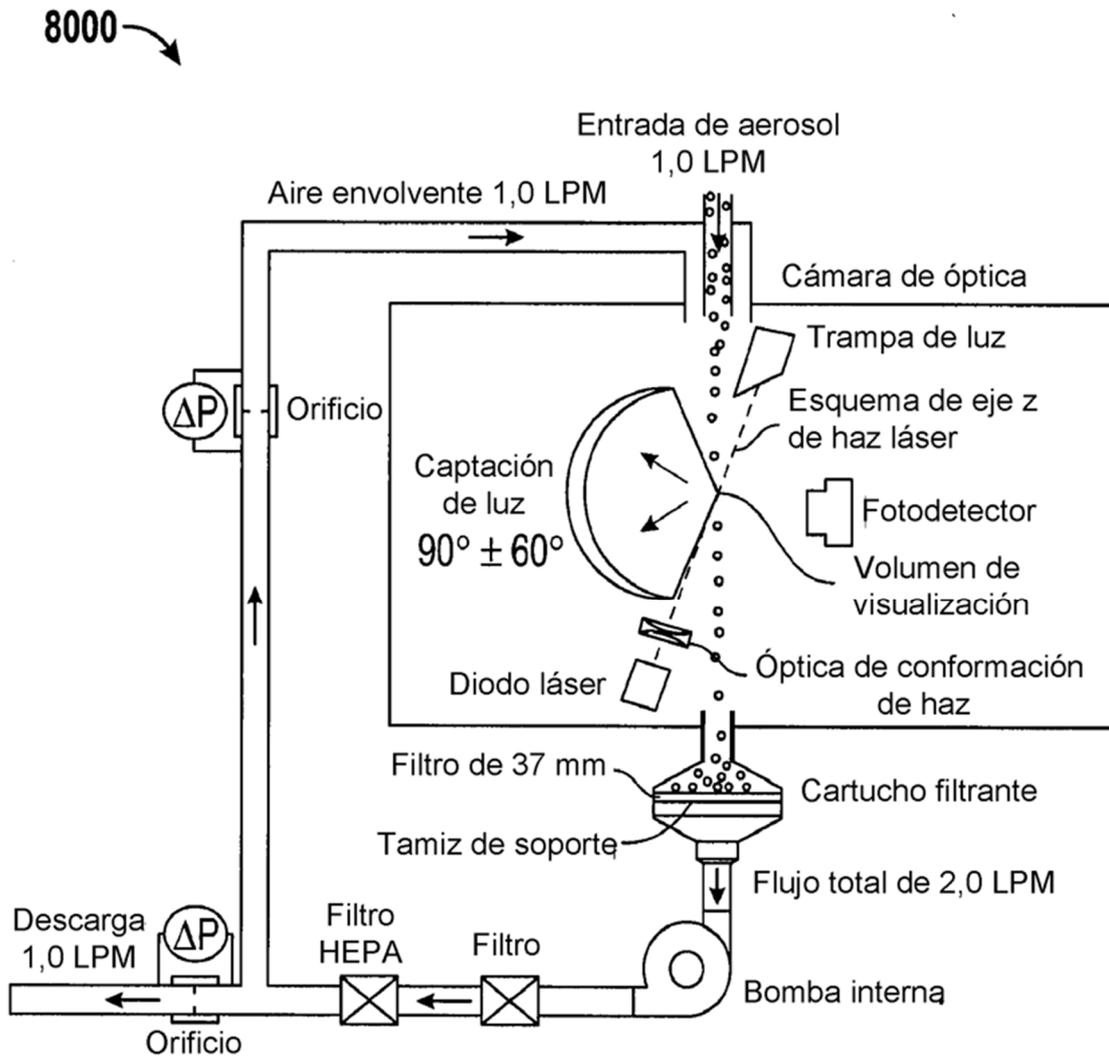


FIG. 8