



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 250**

51 Int. Cl.:  
**G01N 27/64** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05779069 .3**

96 Fecha de presentación : **18.08.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1923699**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.05.2008**

54

Título: **Analizador de movilidad diferencial (DMA) de amplio rango y muy alta resolución.**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**06.04.2011**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**06.04.2011**

73

Titular/es: **RAMEM, S.A.**  
**Sámbara, 33**  
**28027 Madrid, ES**

72

Inventor/es: **Ramiro Arcas, Emilio y**  
**Rivero Jiménez, Ángel**

74

Agente: **Esteban Pérez-Serrano, María Isabel**

ES 2 356 250 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

Analizador de movilidad diferencial (DMA) de amplio rango y muy alta resolución.

### OBJETO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a un dispositivo analizador de movilidad diferencial (DMA) de amplio rango y muy alta resolución donde la resolución es incrementada respecto a los conocidos en el estado de la técnica y donde además se amplía el rango de valores válidos de la movilidad de las partículas cargadas que es capaz de detectar simultáneamente.

10 Caracteriza esta invención una configuración plana y con un modelo de funcionamiento puramente bidimensional en la que se hace uso de galgas para un mejor ajuste y precisión de las caras paralelas que constituyen la región de análisis y que afecta directamente a la mejora de resolución que se presenta. Igualmente, en la cara de entrada se hace uso de una ranura para la inyección pudiendo llevar a cabo la extracción de partículas cargadas por una segunda ranura.

15 Caracteriza este analizador de movilidad diferencial el uso de uno o más sensores de carga eléctrica multipista. Cuando se hace uso de una ranura o rendija de salida los sensores de carga multipista quedan dispuestos encima, debajo o simultáneamente encima y debajo de la ranura de salida que permiten un ajuste más rápido así como la lectura simultánea de diversas movilidades dependiendo del punto de impacto. Se contempla igualmente el uso de más de una ranura de salida junto con sus sensores de carga multipista.

Adicionalmente, el analizador de movilidad diferencial puede contar en su salida de un módulo no lineal que distingue partículas de movilidad muy parecida en el rango lineal pero cuyo comportamiento en el rango no lineal es distinto.

20 Caracteriza el uso de flujos con números de Reynolds elevados situados entre  $10^5$  y  $10^6$  y con un nivel de turbulencia inferior al 0'1%, posibles gracias a un cuidadoso diseño de todos los elementos que intervienen en el flujo entre los que destaca la presencia de un túnel aerodinámico cerrado y presurizado.

### ANTECEDENTES DE LA INVENCION

25 Los analizadores de movilidad diferencial ("Differential Mobility Analyzers", DMAS) son dispositivos conocidos por su uso en laboratorio y también comercial. Estos dispositivos buscan la detección y análisis de sustancias discriminando en base a la diferente movilidad iónica de las partículas cargadas.

30 Una partícula cargada sometida a un campo eléctrico es acelerada en la dirección de éste. Si la partícula ionizada se encuentra inmersa en un fluido, existe una resistencia al avance que da lugar a que la partícula no se acelere indefinidamente sino que alcanza rápidamente una velocidad límite consecuencia del equilibrio entre la fuerza eléctrica que la acelera y la fuerza de resistencia al avance en el seno del fluido. Esta situación de equilibrio establece un valor de la velocidad límite en unidades de campo eléctrico [ $m^2/Vs$ ], llamada límite de movilidad iónica, que depende principalmente del tamaño y configuración particular de la partícula cargada, de la viscosidad dinámica del fluido así como la intensidad del campo eléctrico.

35 Basándose en este fenómeno, los analizadores de movilidad diferencial establecen un campo eléctrico mediante dos electrodos en una región habitualmente denominada de análisis atravesada por un flujo transversal en condiciones estacionarias.

Una partícula cargada que se inyecta en un electrodo tiende a viajar hacia el otro electrodo por la acción del campo eléctrico; sin embargo, la presencia de un flujo transversal arrastra la partícula de modo que no impactará siguiendo la línea de campo eléctrico sino que lo hará en algún punto aguas abajo.

40 El punto de impacto es distinto dependiendo del tipo de partícula puesto que la movilidad es la característica que permite discriminar la sustancia de interés.

La resolución de este tipo de dispositivos depende, tal y como se razona en la patente con número de publicación US6787763, del grado con que se logre minimizar la turbulencia presente en el flujo transversal así como de la difusión browniana.

45 La presencia de turbulencia da lugar a fluctuaciones respecto del campo de velocidades medio que dispersan la trayectoria de la partícula cargada; y, cuando el recorrido libre medio de la partícula es elevado por la presencia de presiones reducidas o por tiempos de residencia característicos elevados, los efectos del movimiento browniano son mayores.

Se considera que para cualquier experto en la materia son conocidos los números adimensionales de Reynolds y de Peclet definidos como:

50 •  $Re=L \cdot v/\nu$ ;

- $Pe=L \cdot v/D$ ;

donde  $v$  es una velocidad característica,  $L$  una longitud característica,  $\nu$  es la viscosidad cinemática y  $D$  el coeficiente de difusión molecular o browniana.

5 Uno y otro efecto, difusión turbulenta y dispersión browniana, están ampliamente descritos y se ha comprobado que dependen del número de Reynolds y de Peclet; y que éstos han de ser lo más elevados posibles para conseguir incrementar la resolución. Aunque es sabido que, en general, para el flujo en conductos el número de Reynolds en torno a 2000 es un valor crítico superado el cual el flujo es turbulento, bajo ciertas condiciones es posible mantener el flujo laminar por encima de este valor de Reynolds o con un nivel de turbulencia pequeño.

10 Principalmente se busca la presencia de gradientes favorables de presión en todas las regiones del conducto manteniendo la capa límite adherida a las paredes sin que ésta se separe, evitando que crezca innecesariamente y eliminando la presencia de perturbaciones (vibraciones, rugosidades) que puedan desencadenar inestabilidades y aumentar el nivel de turbulencia de fondo.

15 Se incluyen por referencia los casos citados en el apartado de antecedentes de la patente con número de publicación US6787763 haciendo notar que esta misma patente dice alcanzar números de Reynolds en el rango situado en torno a  $10^5$ . La geometría que se utiliza en este analizador es cilíndrica donde existen factores de imprecisión que no pueden ser evitados:

- la geometría cilíndrica presenta un vástago central con simetría cilíndrica sobre el que ha de asegurarse la coaxialidad y dado que este vástago está configurado por más de una pieza, su esbeltez y los errores de mecanizado de cada una de las piezas y de los asientos se acumulan perjudicando la coaxialidad. Este tipo de configuración requiere al menos cinco ajustes para conseguir la coaxialidad. La falta de coaxialidad, por pequeña que sea, afecta de un modo importante a la simetría del campo eléctrico puesto que éste es muy sensible a este factor.
- El uso de geometrías cilíndricas no ofrecen ningún grado de amortiguamiento ante la aparición de vórtices coaxiales en el conducto que pueden inducir oscilaciones en el flujo.
- 25 • En este tipo de dispositivos conocidos los grados de expansión y contracción suelen ser elevados siendo fuentes importantes de turbulencia.
- En los dispositivos actuales la alimentación perimetral se realiza de manera no uniforme lo que hace que las condiciones de lectura tampoco correspondan a una correcta condición de simetría cilíndrica. Las alimentaciones del flujo cruzado en este tipo de dispositivos sufren expansiones súbitas que no siempre son estabilizadas aguas abajo.

30 Se comentan como grandes inconvenientes en el apartado dedicado al estado de la técnica en esta patente la larga longitud de la boca de admisión del analizador o el uso de aceleraciones muy pequeñas.

En esta misma patente con número de publicación US6787763 se hace uso de la configuración cilíndrica donde se dice superar los inconvenientes del analizador plano descrito en la patente con número de publicación US5869831.

35 Cabe decir que, aunque en la patente US5869831 se dice hacer uso de un analizador plano, tanto la inyección o introducción de partículas cargadas como la extracción se lleva a cabo a través de orificios. Basta considerar que la presencia de inestabilidades del flujo o del campo eléctrico pueden dar lugar a un problema de ajuste muy importante ya que la trayectoria no evita efectos tridimensionales en la dirección perpendicular al plano definido por el campo eléctrico y la dirección principal del flujo cruzado. Estas desviaciones deberían también ser controladas de modo que el ajuste sobre estos factores hace que el tratamiento de este analizador sea en la práctica tridimensional y no bidimensional aunque haga uso de planos.

40 Aunque en el campo de los aerosoles existen clasificadores con configuraciones muy cercanas a comportamientos bidimensionales con condiciones de flujo laminar, éstos se llevan a cabo para partículas que son inyectadas con un flujo secundario que da lugar a una capa de mezcla que induce turbulencia y tridimensionalidad así como una alteración importante del perfil original de velocidades del flujo cruzado. Así mismo, este tipo de dispositivos trabajan con presiones por debajo de la atmosférica y con velocidades en el rango subsónico o incompresible.

45 Se quiere destacar igualmente la patente con número de publicación WO2004048924 donde se describe un método y aparato para llevar a cabo una espectrometría de la movilidad iónica.

50 En esta patente se hace uso de un flujo cruzado con un campo eléctrico. Un ionizador inyecta los iones en el volumen de trabajo en dirección perpendicular a la dirección del campo eléctrico, al contrario a como es habitual en un DMA, de tal modo que la partícula sufre un doble arrastre: un arrastre en la dirección del flujo y que resulta ser la misma dirección de entrada de las partículas ionizadas, y un arrastre perpendicular debido al campo eléctrico. La combinación de las dos fuerzas da lugar a una trayectoria en principio curva que hace que en función de la movilidad eléctrica del ión se incida en un punto más o menos alejado.

Las lecturas del espectro se llevan a cabo en un sensor de carga vectorial que proporciona valores diferentes de la carga depositada según el punto de incidencia. Puesto que las medidas se llevan a cabo en un determinado espacio de tiempo es necesario volver a poner a cero el instrumento previamente a la realización de cada ensayo.

5 En todos los antecedentes considerados los DMAs analizados hacen énfasis en su configuración interna pero no en las condiciones del flujo tanto aguas arriba como aguas abajo. En la presente invención se incluye un túnel aerodinámico de circuito cerrado y presurizado que prolonga el diseño interno del analizador de tal modo que se ven involucrados todos los componentes que intervienen en este flujo. La calidad del flujo obtenida es una de las principales razones que dan lugar a que la resolución del analizador sea sensiblemente superior. Tanto como que por primera vez se han podido realizar mediciones de movilidad de partículas en el rango subnanométrico.

10 Por tanto, la presente invención establece un numeroso conjunto de mejoras a nivel global y particular que incrementan la resolución y rango de medida del analizador además de otras características como velocidad de respuesta y análisis, mantenimiento sencillo, eficiencia, capacidad de análisis en el rango subnanométrico y sensibilidad.

### DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

15 El analizador según la presente invención constituye una importante evolución a partir de los analizadores descritos en el estado de la técnica. El analizador que se pasa a describir podría ser considerado como una variación del diseño de aquellos que hacen uso de una geometría cilíndrica como el descrito en el apartado dedicado al estado de la técnica. Si esta configuración cilíndrica se desarrolla, da lugar a una configuración plana siempre y cuando la entrada y salida, si existe, se lleve a cabo a través de una rendija y las condiciones tanto de flujo como del campo eléctrico se pueden modelizar como bidimensionales.

20 La configuración básica consiste en una región prismática de base rectangular en la que dos paredes enfrentadas están constituidas por sendos electrodos, los electrodos que definen el campo eléctrico.

Dos de las caras enfrentadas restantes del volumen de control definido por la región prismática se constituyen como la admisión y salida del flujo que denominamos cruzado porque, salvo casos particulares, es perpendicular al campo eléctrico. Dependiendo de qué caras enfrentadas son las elegidas, éstas serán coplanarias con el campo eléctrico o perpendicular.

25 La entrada de partículas cargadas se lleva a cabo por inyección electrostática a través de una rendija dispuesta en uno de los electrodos de tal modo que la partícula cargada viaja hasta el otro electrodo impulsado por el campo eléctrico. El arrastre del flujo cruzado establece una banda de impacto para partículas de igual movilidad eléctrica en el otro electrodo aguas abajo.

30 Se dice que la entrada de partículas cargadas se lleva a cabo por inyección electrostática por dos razones; una porque si se hiciese con entrada de un flujo secundario podría dar lugar a un chorro o una cortina que introduce turbulencia y la segunda y más importante, porque a las velocidades del flujo cruzado el chorro secundario aparece como un obstáculo que generaría ondas de choque, aparición de grandes remolinos no estacionarios, separación de capa límite y otros fenómenos no deseados. Para conseguir una inyección de las partículas cargadas en estas condiciones es necesario que no existan diferencias de presión a ambos lados de la rendija. Es importante resaltar que no existe otro intercambio de fluido, excepto el de las partículas cargadas o iones, entre el analizador y la entrada.

35 Respecto de la región o zona de impacto lo habitual en esta invención es que se establezca en la cara opuesta a la inyección aunque no es estrictamente necesario. En esta zona de impacto existe al menos un sensor multipista y opcionalmente, cuando se desea extraer la partícula objetivo, se dispondrá de una rendija de salida. El analizador de esta invención puede por tanto hacer uso de una o más rendijas combinadas con uno o más sensores multipista, que pueden estar dispuestos debajo de la rendija de salida, encima o combinar dos simultáneamente encima y debajo.

40 Para llevar a cabo el ajuste del analizador se puede hacer uso de dos variables: la velocidad del flujo cruzado y la intensidad del campo eléctrico. Dependiendo de la movilidad de la partícula cargada que se quiere detectar es posible modificar ambas variables. Mediante el diseño del conducto por donde discurre el fluido se consigue determinar un campo de velocidades que da lugar en la región de análisis a una presión cercana a la atmosférica para que no existan fugas o entradas de fluido hacia o desde el exterior. De este modo, será el campo eléctrico el que sea ajustado mediante la variación de la diferencia de potencial entre los electrodos.

45 La variación de una y otra variable da lugar a que la partícula que migra desde la rendija de entrada viaje hasta un punto por encima o por debajo de la segunda ranura de salida cuando ésta está presente. Un ajuste posible consistirá en conseguir que la partícula incida en la ranura y se pueda llevar a cabo la extracción.

50 Es parte de esta invención el uso de un sensor de carga multipista de tal modo que sobre un soporte, por ejemplo cerámico, se lleva a cabo un conjunto de microdeposiciones metálicas a lo largo de líneas. Cada una de estas líneas hace de conductor de tal modo que pueden conectarse a un bus de datos de salida conectado a un procesador de señal. La lectura puede llevarse en paralelo.

55 Igualmente es posible establecer una familia de pistas distribuidas en líneas que en lugar de ser equiespaciadas se concentren en torno a una línea definiendo una zona de mayor resolución.

Cuando la partícula incide sobre este sensor, dependiendo de la pista sobre la que se produce el impacto, se puede determinar si es necesario incrementar o reducir el campo eléctrico. Para que este sensor sea efectivo, las pistas deben estar dispuestas paralelas respecto a ambas rendijas.

5 El uso de dos sensores operando simultáneamente da lugar a la posibilidad de determinar si es necesario incrementar o decrementar el potencial eléctrico ya sea que las partículas estén incidiendo por encima o por debajo de la ranura.

Igualmente, es posible llevar a cabo lecturas simultáneas en toda la región definida por el área de los sensores independientemente de que se haga uso de una rendija y de que por esta rendija se lleve a cabo o no la extracción.

10 Como caso más general, se pueden llevar a cabo extracciones diferenciadas por varias rendijas colocadas una aguas abajo de la otra y de forma que cada rendija a su vez puede disponer de uno o más sensores multipista para poder detectar moviidades eléctricas muy distintas. Por tanto el rango de este aparato es más alto que el de otros.

Una configuración más avanzada es la que hace uso de chips integrados como sensor multipista. Este chip dispondría de colectores de carga e integraría las funciones de lectura e incluso preprocesado de los datos de entrada.

Se ha distinguido en este analizador plano el hecho de que se dispone de rendijas y en ningún caso de perforaciones que den lugar a posibles efectos transversales que no pueden ser considerados bidimensionales.

15 Se ha tenido cuidado de que las rendijas no alcancen los extremos para evitar que los efectos de pared y que la presencia de capas límite en el flujo den lugar a perturbaciones tridimensionales en los extremos de las rendijas impidiendo la modelización y comportamiento bidimensional del dispositivo. El especial cuidado que se ha tenido en el diseño de la contracción y de los chaflanes con evolución suave y ajustada mediante simulaciones numéricas ha dado lugar a que el perfil de velocidad en la garganta sea muy uniforme. Por tanto los efectos de las paredes están muy localizados dentro del 5% de la anchura total permitiendo que la anchura de la ranura sea muy cercana a la anchura de la garganta o sección de la región de análisis evitando efectos de borde. A la vez se incrementa enormemente la eficiencia del dispositivo pues la región de clasificación es un 80% o 90% de la región de paso.

20 Uno de los modos posibles de establecer una mayor resolución sobre la configuración del analizador consiste en disponer en serie dos o más analizadores. En este caso es importante desde el punto de vista práctico que no existan diferencias de potencial entre analizadores.

25 Con este propósito se propone el uso de una pluralidad de electrodos, al menos dos en la entrada, de modo que la región de análisis disponga de un campo eléctrico orientado principalmente transversalmente al flujo cruzado aunque entre el electrodo de entrada y el de salida la diferencia de potencial sea nula. Siendo nula esta diferencia de potencial, se pueden interconectar en serie dos analizadores o más, de forma que cada uno de ellos quede ajustado en un rango de moviidades más estrechas y consiguiendo como resultado una resolución mucho mayor. Esta técnica también permite la interconexión de otros equipos o accesorios. El caso más sencillo es cuando el conducto de entrada es equipotencial con el de salida y a la vez en la entrada se aísla este conducto con el electrodo de alimentación. Como el conducto de entrada es conductor el resultado final puede ser considerado como que se está haciendo uso de tres electrodos.

30 Una segunda mejora consiste en la interposición de uno o más electrodos intermedios con rendijas que puedan simular una actuación en serie de más de un analizador, estableciendo discriminaciones intermedias que reduzcan el grado de dispersión en la lectura final en el sensor. Este esquema reduce los efectos de la difusión browniana.

35 El otro factor importante en el incremento de la resolución se basa en el cuidadoso diseño de un túnel aerodinámico cerrado y presurizado para el flujo cruzado. Si bien los detalles de este túnel aerodinámico cerrado y presurizado se describirán en la exposición detallada de la invención, cabe afirmar que esta solución es responsable del incremento en la sensibilidad y resolución global del dispositivo puesto que afecta a dos variables responsables de la resolución: la calidad y uniformidad del flujo cruzado (mejor relación señal-ruido) y el elevado número de Peclét (incremento de resolución). La estanqueidad conseguida junto con establecer un recinto cerrado permite un aumento de la sensibilidad. La presurización con presiones por encima de la presión atmosférica se requiere para conseguir la inyección electrostática y es posible solo en su configuración de circuito cerrado. Se llega a establecer un conjunto de soluciones que dan lugar a un flujo en el volumen de control definido por la región de análisis con un número de Reynolds que puede llegar a  $10^6$ , preferentemente en torno a  $10^5$ , con un grado de turbulencia inferior al 0'1%. Los detalles de este diseño se describirán de un modo más detallado en el ejemplo de realización. Si bien se indica como 0'1% el nivel de turbulencia impuesto como criterio para la ejecución de la invención porque se desea alcanzar un nivel de resolución y sensibilidad máximo, reduciendo los criterios de resolución esta cota máxima se podría elevar hasta un 1%. Igualmente, se indica que trabajar con un circuito en régimen casi sónico permite dos efectos beneficiosos; elevar la densidad, que también redunde en un número de Reynolds más elevado, y sobre todo reducir la temperatura teniendo un menor efecto browniano.

40 Otro objetivo que se ha conseguido con el diseño del circuito para el flujo cruzado es el de ocupar el mínimo tamaño de tal modo que este dispositivo se puede emplear como aparato de medida portátil para la detección de sustancias objetivo.

45 Esta invención puede incorporar en la rendija de salida un módulo adicional que incremente la resolución del analizador. Este módulo puede trabajar o bien en el rango lineal o bien en el rango no lineal de comportamiento de la movilidad eléctrica de las partículas si bien es cierto que es en éste último donde se incrementa sensiblemente la resolución global del

analizador.

La movilidad eléctrica tiene una débil dependencia con la intensidad del campo eléctrico y su comportamiento se puede describir usualmente cercano a una constante. Este comportamiento es válido hasta un cierto valor del campo eléctrico donde la movilidad eléctrica comienza a mostrar su dependencia con el campo eléctrico.

- 5 Cuando dos partículas de distinta naturaleza muestran un valor de la movilidad eléctrica muy parecido en el rango lineal, el analizador puede confundirlas y no ser capaz de distinguir una de otra.

Una vez que las dos partículas de movilidad muy parecida han salido por la rendija de salida se introducen en este último módulo que consiste en un conducto con electrodos a uno y otro lado. Los electrodos se polarizan según una onda asimétrica y con un potencial tal que la intensidad del campo eléctrico es lo suficientemente alto como para que el comportamiento se encuentre en el rango no lineal. En este rango las movilidades son más claramente distintas por lo que las trayectorias también lo serán.

10 Cuando la polarización es alterna se consigue una trayectoria quebrada donde el desplazamiento en una y otra dirección dan lugar a distancias de desplazamiento distintas para cada partícula puesto que la movilidad en el rango no lineal es claramente diferenciada. De este modo es posible discernir entre dos partículas que en el rango lineal presentan comportamientos de sus curvas características muy parecidas. No obstante, es posible hacer trabajar a este último módulo en el rango lineal.

### DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Se complementa la presente memoria descriptiva, con un juego de planos, ilustrativos del ejemplo preferente y nunca limitativos de la invención.

- 20 La figura 1 es una representación de la región de análisis de un analizador según la presente invención.

La figura 2 es una representación esquemática de la superficie de incidencia con dos sensores multipista, mostrando a modo de detalle un sensor multipista fuera de su ubicación final.

La figura 3 es una representación esquemática en la que se muestra el uso de más de un electrodo para la reducción de la dispersión en los datos de entrada.

- 25 La figura 4 muestra una configuración de la región de análisis con un campo eléctrico dado por una combinación de electrodos que tiene el mismo potencial a la entrada que a la salida.

La figura 5 muestra un esquema de configuración del circuito de recirculación del fluido para una realización de la invención cerrada.

- 30 La figura 6 es una gráfica que representa la movilidad eléctrica con un comportamiento en la zona lineal y no lineal de dos partículas cargadas tal que su movilidad en el rango lineal es indistinguible.

La figura 7 muestra un esquema en sección del conducto a continuación de la rendija de salida con el módulo de selección que hace uso de la diferente movilidad eléctrica en el rango no lineal. En esta sección se muestra el electrodo superior aislado del conducto con una polarización que se indica mediante la función de excitación.

- 35 La figura 8 muestra una vista en explosión de los elementos esenciales del cuerpo principal que conforma la región de análisis.

### EXPOSICIÓN DETALLADA DE DIVERSOS MODOS DE REALIZACIÓN

- 40 La figura 1 es un esquema del analizador que se da a modo de ejemplo para una exposición detallada la invención en la que se muestra la región de análisis determinada por un volumen (V) de control que denominaremos región de análisis. Esta región de análisis es esencialmente prismática de base rectangular salvo pequeños cambios, por ejemplo en las aristas, debidos a exigencias aerodinámicas.

A la izquierda de la figura se ha representado el electrodo (1) que ocupa la cara vertical fijado a un potencial  $V_1$  y la derecha un segundo electrodo (2) fijado a un potencial  $V_2$ . El primer electrodo (1) muestra una rendija (1.1) de entrada de partículas cargadas que se prolonga esencialmente a lo largo de toda la anchura medida en la dirección perpendicular al papel. En este ejemplo de realización se va a llevar a cabo extracciones de partículas mediante una segunda rendija (2.1) situada en el segundo electrodo. En estas realizaciones prácticas, las rendijas (1.1, 2.1) se dice que se prolongan esencialmente a lo largo de toda la anchura medida en la dirección perpendicular al papel puesto que los extremos no alcanzan las caras que las delimitan evitando perturbaciones debidas a las capas límites tanto de estas caras que las delimitan como de los vértices del volumen (V) de control. Con esta precaución se consigue que el problema sea realmente bidimensional. No obstante, ya se ha indicado que este retranqueado de los extremos de las rendijas (1.1,2.1) es muy pequeño porque se ha minimizado la aparición de inestabilidades por el efecto de la esquina ya que, como se indicará más adelante, se han incorporado chaflanes con una evolución adecuada ajustada mediante simulaciones numéricas.

En esta región de análisis existe un campo eléctrico **E** (denotando **E** mediante negrita puesto que es una magnitud vectorial), que se extiende desde el electrodo izquierdo hasta el derecho.

Según la orientación que se empleará en las figuras y en particular en la primera, desciende lo que a lo largo de la memoria se ha denominado flujo cruzado, y que no es sino un fluido atravesando verticalmente la región (V) de análisis a un número de Reynolds elevado. En las pruebas llevadas a cabo en un modo de realización de la invención se está trabajando con números de Reynolds superiores a  $10^5$ . El flujo está caracterizado por un campo de velocidades  $v$  estacionario, muy uniforme y con un nivel de turbulencia muy bajo. Las condiciones que permiten el mantenimiento de este flujo en estas condiciones serán detalladas más adelante.

La partícula (P) cargada parte de la rendija (1.1) del primer electrodo y se ve arrastrada por dos fuerzas, una hacia la derecha debido a la presencia del campo eléctrico **E**, y otra hacia abajo debido al arrastre del flujo en el que está inmersa.

Dependiendo de la movilidad eléctrica la partícula (P) cargada incidirá encima, en, o bajo la rendija (2.1) segunda.

En esta realización se ha hecho uso de dos sensores (3, 4) multipista, uno encima y otro debajo de la rendija (2.1) de tal modo que es posible determinar el punto de incidencia para poder corregir la intensidad del campo eléctrico y a su vez ajustar el lugar de impacto o hacer que salga por la segunda rendija (2.1).

Se ha enfatizado la necesidad de conseguir en la región de análisis (V) tanto una configuración bidimensional como unas condiciones de los campos eléctrico y fluido-dinámico bidimensionales.

La primera condición se consigue haciendo uso de una estructura soporte que permite la definición de caras planas paralelas. El paralelismo se consigue utilizando galgas calibradas para las placas que cubren cada una de las caras del prisma que delimita la región (V) de análisis.

Si se hiciese uso de placas unidas a haces en algunos de sus bordes aparece un problema serio y es la dificultad de asegurar la estanqueidad. Si en la superficie de contacto se incluye una junta, ésta o bien no define un circuito cerrado o no cierra todos los posibles caminos que se producen en las esquinas. Geométricamente, únicamente es posible conseguir la estanqueidad con una junta con una configuración en forma de jaula 3D. La fabricación de este tipo de juntas es compleja y cara.

Como alternativa, mediante un modo de ejecución particular, se ha optado porque la estructura del dispositivo sea una estructura de material aislante mecanizada la que hace uso de una configuración en forma de jaula.

A modo de ejemplo, en la figura 8 se muestra la estructura del cuerpo (26) principal de la región de análisis (V), configuración que puede ser obtenida por ejemplo mediante fresado y por vaciado (26.1). La ventaja que tiene esta estructura, además de la rigidez y estabilidad dimensional, es la facilidad de conseguir las caras internas paralelas con el grado de precisión deseado, y a su vez una perfecta estanqueidad porque la configuración de cada una de las juntas (27) puede ser cerrada.

El cuerpo (26) principal de este ejemplo está vaciado (26.1) en dos de sus caras mayores enfrentadas. Estos vaciados (26.1) quedan cerrados mediante dos tapas (25) con resaltes (25.1, 25.2) internos escalonados. Es el escalón (25.1) más externo el que dispone en su cara lateral de un alojamiento con junta (27) tórica de tal modo que el ajuste no depende del modo de apriete de la tapa (25) contra el cuerpo (26) principal. En caso de haberse llevado a cabo en la cara frontal habría que incluir un número de tornillos suficientemente elevado como para que la presión sobre la junta se asegure homogénea.

No se ha representado la tapa superior (25) por claridad para mostrar cómo es la cavidad interna del cuerpo (26) principal así como los asientos.

En esta misma figura se comprueba cómo el resalte (25.2) escalonado de superficie ligeramente curva (25.2.1) en el extremo que se muestra más alejado es coincidente con la superficie curva (26.2) del vaciado (26.1) del cuerpo (26) principal.

Sin embargo, el asiento de esta tapa se lleva a cabo en la superficie de unas galgas (26.2.1) que se sitúan entre las dos tapas (25). Estas galgas (26.2.1) no son sino cuerpos cilíndricos, de material aislante y de alta dureza y rigidez, mecanizados con una gran precisión dimensional y geométrica, para determinar la distancia exacta entre sus extremos. Dado que las tapas (25) hacen apoyo en estas galgas (26.2.1) sin necesidad de ajustes se consigue con precisión el paralelismo buscado entre una y otra tapa (25) consiguiendo así también el paralelismo entre las paredes que delimitan la región (V) de análisis.

Este modo de conseguir el paralelismo no solo tiene implicaciones en su construcción sino en su mantenimiento ya que los DMAs del mercado con configuración cilíndrica son difícilmente desmontables para el mantenimiento por la seria dificultad de asegurar la coaxialidad tras el montaje por parte del usuario y por tanto la repetitibilidad de las medidas.

La figura 2 muestra el cómo se ha ejecutado este sensor multipista considerado como parte esencial de esta invención. Cualquiera de los sensores (3, 4) empleados está formado por una placa (3.1) aislante sobre la que se encuentran

depositadas micropistas (3.2) metálicas conductoras. En este modo de ejecutar la invención se ha hecho uso de una técnica de deposición porque el relieve que genera esta deposición es casi nulo de modo que no queda el flujo perturbado para no generar inestabilidades que den lugar a turbulencia.

5 Las pruebas de laboratorio que se han llevado a cabo hacen uso de pistas que presentan una elevación respecto de su base de deposición de  $0'1\mu\text{m}$ . La anchura es del orden de  $20\mu\text{m}$  y la separación entre micropistas (3.2) de  $2\mu\text{m}$  a  $5\mu\text{m}$ .

En la misma cara frontal de la placa (3.1) se muestran unos puntos (3.3) de contacto regruesados, obtenidos también por deposición.

10 En esta misma representación esquemática se han dibujado dos líneas discontinuas que representan los lugares de apoyo de las placas aislantes que cierran lateralmente la región (V) de análisis. De este modo, los puntos (3.3) de contacto quedan dispuestos exteriormente facilitando el contacto para la lectura, tanto por su disposición como por su mayor área de contacto, de las distintas señales por ejemplo mediante puntas de presión.

En la misma representación y a modo de ejemplo, se muestran a la derecha los puntos (3.3) de contacto regruesados alineados, y a la izquierda alternando posiciones para permitir una mayor densidad de pistas (3.2).

15 Esta conexión se lleva a un procesador que es capaz de tratar la señal identificando si ha existido alguna incidencia en alguna pista (3.2) conductora del sensor (3, 4). Una lectura llevada así de este modo permite realizarse en tiempo real y simultáneamente para cada una de las pistas (3.2) del sensor. Igualmente es posible que este sensor multipista junto con los elementos de lectura y preprocesado de los datos se encuentre integrado en un chip. La conexión de este chip con un procesador externo daría lugar al intercambio de datos a mayor nivel no siendo necesario por parte del procesador evaluar las medidas analógicas que se obtienen en una señal de pista.

20 Un modo de llevar a cabo este chip es mediante una integración en tecnología CMOS. El chip incluye preamplificadores de corriente, conversores analógico-digital y multiplexado digital de la señal de salida. Con una salida de datos digitales según vectores con los valores de lectura para cada una de las micropistas entre otros se obtiene una gran capacidad de operación en paralelo optimizando la resolución de la medida individual.

25 Es posible ejecutar esta misma invención con un solo sensor (4) multipista, de modo que el ajuste requiere llevarse a cabo únicamente por un lado.

30 Este ajuste por un lado quiere decir que, si por ejemplo, el sensor se encuentra en la parte inferior, es necesario partir de un potencial bajo para asegurarse que la partícula incide tras el paso por la rendija (2). Elevando la intensidad del campo eléctrico **E** es posible ir ajustando hacia la rendija (2) el punto de impacto del mismo tipo de partícula (P). Al estar el sensor (4) por debajo, la presencia de múltiples líneas da lugar a una lectura progresiva que da idea del grado de ajuste.

La presencia de un sensor (3, 4) multipista no solo permite este ajuste inicial más rápido y de forma fiable sino que es posible llevar a cabo múltiples lecturas a la vez para distintas sustancias. A un mayor número de líneas por unidad de longitud transversal a las pistas (3.2) mayor es la resolución espacial del sensor (3, 4). Un caso particular es cuando todas las lecturas la realiza el sensor (3,4) y no existe rendija (2.1) de salida para extracción de partículas.

35 Una posible mejora del analizador consiste en la incorporación de más de un electrodo (1, 2, 5) tal y como se muestra en la figura 3. La presencia de electrodos intermedios adecuadamente ranurados (5.1, 5.2) da lugar a que la partícula que ha de incidir en la rendija (2.1) final deba primeramente pasar diversas rendijas (5.1, 5.2) de clasificación. El hecho de exigir el paso por un mayor número de rendijas presentes sobre electrodos (5) puestos a distintos potenciales da lugar a la eliminación de partículas que amplían el grado de dispersión de la lectura final. La reducción de este grado de dispersión se ve afectado no solo por la presencia de estos electrodos (5) intermedios con rendija (5.1, 5.2) sino que también intervienen los potenciales y configuración a los que se ajustan porque una trayectoria quebrada puede dar lugar a una selección de la movilidad definida sobre rangos más estrechos. Esta disposición permite reducir los efectos de la dispersión provocada por la difusión browniana.

40 Es posible también hacer uso de campos eléctricos **E** no paralelos de tal modo que con lentes electrostáticas se puede forzar un cierto grado de divergencia que incrementa el grado de distinción frente a partículas cargadas con una movilidad eléctrica poco diferenciada. En todo momento, deberá en estos casos asegurarse el comportamiento bidimensional del campo eléctrico **E**. Estas distorsiones del campo eléctrico podrían incluso dar lugar a salidas de las partículas por rendijas (2.1) que se encuentran situadas en el mismo lado que la rendija de entrada (1.1).

50 La figura 4 muestra otro modo de ejecución en el que se hace uso de al menos tres electrodos (1, 2, 9). Los electrodos verticales (1, 2) coinciden principalmente con los empleados en el esquema básico, sólo que el primero se curva cerca de la rendija (1.1) rodeando el tercer (9) electrodo y quedando distanciado mediante un dieléctrico (6). De este modo se verifica:

$$V_2=V_9 \text{ y } V_1\neq V_9$$

Bajo estas condiciones se comprueba que en la región de análisis el campo eléctrico es paralelo en la mayor parte del

volumen (V) de control y a la vez se equiparan los potenciales a la entrada y a la salida. En las cercanías de la rendija (1.1) de entrada existe una región (7) con plano de simetría (8) en la que existe distorsión del campo eléctrico **E** que simplemente debe ser tenido en cuenta. Esta condición es la que permite acoplar secuencialmente más de un analizador como el de la invención siguiendo una disposición en serie que permite incrementar la resolución varios órdenes de magnitud. Con dos analizadores en serie, el primero discriminaría partículas de movilidad muy diferente y el segundo permitiría distinguir entre partículas de movilidad muy parecida. Por otra parte el acoplamiento de dos analizadores en serie se usa habitualmente para calibrar uno de los aparatos cuando el otro ya se encuentra calibrado. Dado que los aparatos no son equipotenciales en la entrada respecto de la salida en la práctica se tienen fuertes limitaciones.

La figura 5 muestra un esquema general del circuito para el flujo cruzado. Podemos comenzar describiendo este circuito desde el compresor (10). El compresor (10) es el dispositivo responsable de mantener el fluido en circulación. Este fluido puede ser por ejemplo aire u otro gas libre de impurezas y partículas que puedan afectar a la medida en la zona de análisis. La limpieza es un factor esencial en la resolución del DMA, y no sólo porque no deban existir partículas de polvo o similares sino que los materiales empleados en su construcción no deben emanar ningún tipo de sustancia ya que cualquier emanación está compuesta por partículas similares a las que se desea detectar. El compresor (10) se sitúa en una esquina del circuito sustituyendo un codo para evitar este tipo de tramos en los que hay que forzar el giro del fluido evitando la formación de vórtices, desprendimientos de la capa límite o inestabilidades que desembocan en un flujo no laminar. Tras la salida del compresor (10) se tiene la mayor presión y ésta irá decayendo a lo largo de las distintas etapas del circuito hasta la región (V) de análisis, después comenzará a crecer y recuperar parte de la pérdida de presión. La siguiente etapa es un caudalímetro (11) que permite medir el caudal y por tanto, la velocidad (v) del flujo cruzado en la región (V) de análisis.

En este ejemplo de realización se ha dispuesto de una válvula (13) situada entre dos purgadores (12, 14) de modo que es posible la alimentación al circuito del posible caudal extraído por la ranura de salida y la sustitución periódica del fluido interno. Esta sustitución se consigue cerrando la válvula (13) intermedia para inyectar por un purgador (12) el fluido que va arrastrando al ya existente mientras sale por el segundo purgador (14).

Puesto que el principal objetivo es el de alcanzar un número de Reynolds elevado en condiciones de flujo en que el nivel de turbulencia se encuentra por debajo de un 0'1%, es necesario llevar a cabo un diseño que minimice en la medida de lo posible la generación de turbulencia, la presencia de flujos secundarios y vórtices grandes y que en algún punto se produzca una separación o desprendimiento de la capa límite.

Dado que la salida del compresor (10) es de sección circular y la región de análisis es de sección cuadrada, se ha de establecer una región de transición entre las dos que no genere un exceso de vorticidad. Tanto los cambios de forma de la sección como las restricciones en secciones cuadradas con cambios según distintos factores de reducción dan lugar a componentes transversales de la corriente que a su vez pueden provocar vórtices que si no están controlados se desarrollan en vórtices más pequeños que pueden resultar en flujos de mayor turbulencia aguas abajo.

Este control en los cambios de la sección se ha llevado a cabo ajustando la geometría en base a los resultados llevados a cabo mediante simulaciones numéricas. Como resultado se ha adoptado un conjunto de soluciones que evitan la aparición de flujos secundarios con zonas de recirculación o la aparición de vórtices de gran amplitud.

Para alcanzar la región de análisis se ha hecho uso de dos codos (15, 18). Puesto que la transición de sección circular a sección cuadrada ya se ha producido en el primer tramo recto antes del primer codo (15), éstos (15, 18) son de sección rectangular. La sección cuadrada dificulta la presencia de vórtices coaxiales.

Tanto los conductos como los codos de sección rectangular disponen de chaflanes que eliminan una zona grande de flujo lento haciendo converger las capas límite de las dos caras.

En los codos (15, 18) se han incluido una pluralidad de vanos (15.1, 18.1) de perfil curvo que guían al flujo para que éste siga la curvatura del codo provocando el giro a lo largo de la curva y evitando inestabilidades de tipo centrífugo.

No obstante, tras el paso por cada conjunto de vanos (15.1, 18.1), aunque se impide la aparición de vórtices de tamaño comparable a la propia sección transversal, las capas límite de cada vano (15.1, 18.1), así como el propio compresor (10) y cualquier obstáculo sólido, generan estelas turbulentas y es por esto que es necesario homogeneizar el flujo y reducir la turbulencia.

Para homogeneizar el flujo se hace uso de un primer manipulador de turbulencia tipo panel de abeja, celdillas prismáticas o una empaquetadura de tubos (17), que da lugar a una cierta homogeneización de tal modo que el nivel de turbulencia es más uniforme que a la entrada.

Para evitar la presencia de partículas que puedan introducir ruido en las lecturas llevadas a cabo en la región de análisis, el circuito cuenta con precipitadores (16) electrostáticos que permiten la retirada de partículas cargadas o neutras que se ionizan en el mismo precipitador.

Tras el paso por el segundo codo (18), se utiliza una segunda etapa constituida por ejemplo por una empaquetadura de tubos (19.1) o un panel de celdillas prismáticas para uniformizar el flujo así como rejillas (19.2) de porosidad y malla

adecuada operando cada uno de ellos en una escala distinta de la turbulencia. Uno (19.1) y otro (19.2) conjunto dan lugar a una etapa (19) de reducción de turbulencia o posible laminarización antes de introducir el flujo en la región de análisis.

La entrada en la región (V) de análisis se lleva a cabo mediante una contracción (20) cuya sección evoluciona progresivamente, y manteniendo una relación de aspecto moderada para evitar que los distintos grados de contracción que se producen en una y otra dirección transversal no den lugar a corrientes transversales que puedan provocar el desprendimiento de la capa límite ni separen el flujo de un modelo bidimensional. Ésta es una de las principales carencias en los DMAs cilíndricos puesto que no solo presentan expansiones súbitas por la alimentación directa, e incluso lateral, en cavidades de mayor sección sino que los cambios de sección son según vértices de mayor o menor ángulo. Las simulaciones numéricas que han llevado a las configuraciones del ejemplo han hecho uso de superficies que siguen funciones polinómicas o polinómicas a trozos en las que se exige la continuidad en la curvatura. Condición ésta que ha de verificarse para evitar introducir posibles puntos de perturbación en la capa límite. La presencia de flujos transversales o la no bidimensionalidad en la región (V) de análisis daría lugar a distintas condiciones de arrastre dependiendo del punto de observación en la rendija de entrada (1.1) y salida (2.1).

En la región de área mínima o garganta, que es coincidente con la región (V) de análisis, debe existir una presión igual a la que hay en el exterior de la rendija para que no exista un flujo de entrada o salida. Esto implica presurizar el DMA al contrario de lo que sucede en los DMAs conocidos. La presión máxima que se alcanza en el analizador del ejemplo se sitúa en torno a 1'7 atm, para un número de Reynolds de  $10^5$  y un número de Mach máximo de 0'98. Entendiendo por resolución la anchura relativa del pico de movilidad eléctrica a media altura, estos valores permiten obtener resoluciones sustancialmente por debajo del 1%, mejorando, por tanto, notablemente el estado de la técnica, en la que ningún DMA ha bajado nunca del 1% de resolución.

Una vez superada la región (V) de análisis, se hace uso de un primer difusor (21) con un grado de divergencia limitado para evitar el desprendimiento de la capa límite en las paredes que dé lugar a flujos de recirculación. La expansión no se ha llevado enteramente en este tramo por lo que tras un codo (22) con vanos (22.1) redireccionadores se hace uso de un segundo difusor (23) que a la vez sirve de admisión del compresor (10) cerrándose de este modo el circuito.

Este segundo difusor (23) adapta la configuración de su sección de forma progresiva hasta la configuración de la boca de admisión del compresor (10).

Es de destacar que se ha encontrado sorprendentemente que la distancia de los dos difusores dispuestos consecutivos con la interposición de un codo suman una longitud sensiblemente menor que la longitud que requeriría un único difusor. Una justificación plausible es que el salto de presión que se establece en los vanos (22) curvos estabilizan el flujo permitiendo en un menor espacio un mayor grado de expansión. Esta estabilización se puede incrementar incorporando rejillas. En el ejemplo que se describe se incluye una primera rejilla (21.2) en el primer tramo (21) y una segunda rejilla (23.1) en el segundo tramo (23). Estas rejillas introducen una pequeña pérdida de presión no recuperable a cambio de una regeneración de la capa límite que es la que permite acortar sensiblemente la longitud del difusor.

Justo antes de la entrada al compresor (10) se ha dispuesto un intercambiador (24) de calor que reduce la temperatura del fluido antes de elevar su presión. La reducción de temperatura da lugar a un aumento de la densidad que permite incrementar el rendimiento del compresor hasta un 25%-30% en las pruebas realizadas.

Igualmente, la inclusión de unos redireccionadores radiales en la entrada del compresor (10) para reducir la componente transversal de velocidad permite que el funcionamiento del compresor (10) sea más eficiente.

El resultado es un circuito presurizado con una presión media superior a la atmosférica de tal modo que en funcionamiento, la máxima presión se encuentra a la salida del compresor (10), y va decayendo hasta la rendija (1.1) de entrada que se sitúa a una presión esencialmente atmosférica para evitar los flujos de entrada o salida; y para posteriormente recuperar valores de presión mayores en los difusores alcanzando los de la admisión del compresor (10).

La configuración descrita de este circuito puede darse no solo en el plano del papel según la figura 5 sino que puede estar dispuesta contenida en un plano distinto, por ejemplo perpendicular al papel, de modo que la circulación se lleva a cabo como si la región (V) de análisis estuviese girada 90 grados en torno a su eje axial.

Igualmente, se entiende que son intercambiables las soluciones propuestas como modos particulares de configurar el analizador en la región (V) de análisis con los elementos opcionales del circuito de recirculación.

Tras la salida de la partícula (P) por la rendija (2.1) es posible incluir dispositivos adicionales que incrementan la resolución. Se pretende discernir entre dos partículas con movilidades eléctricas muy próximas que han podido salir por la misma rendija (2.1). En este caso es necesario establecer mecanismos en los que la diferencia de la movilidad sea más evidente.

Se considera dentro de esta invención el uso opcional a la salida de un módulo de separación no lineal. La figura 6 muestra una gráfica característica de la movilidad de una partícula cargada sometida a un campo eléctrico de intensidad representada por el valor del módulo del campo eléctrico  $|E|$ . Hasta un cierto valor de intensidad del campo eléctrico la

5 movilidad es una función de comportamiento lineal y aproximadamente constante. Superado este valor crítico, el comportamiento es no lineal de tal modo que dos partículas con valor  $Z_1$  y  $Z_2$  de su movilidad muy similares en el rango lineal, pueden diferir incluso en el valor de su primera derivada en su zona no lineal. La gráfica muestra cómo un valor de la movilidad puede ser creciente y para otro tipo de partícula puede ser decreciente. Este cambio en el comportamiento es el que se va a aprovechar en el módulo de separación. No obstante, el módulo es igual de útil trabajando en el rango lineal solo que el grado de divergencia no es tan pronunciado como en el rango no lineal.

10 Tal y como se muestra en la figura 7 el esquema de funcionamiento de un módulo selector es conocido y consiste en hacer pasar la partícula cargada por un canal entre dos electrodos. La diferencia de potencial entre electrodos se define como una onda preferentemente asimétrica y preferentemente con inversión de polaridad. Ante un mismo campo eléctrico con intensidad suficiente como para situarse en la zona no lineal de comportamiento de las partículas cargadas, dos partículas de curvas características como las mostradas en la figura 6 da lugar a que una se desplace con una componente transversal en mayor grado que la otra. De este modo, habrá partículas que incidan en las paredes del selector y las que interesa extraer sigan una trayectoria quebrada de salida gracias a la recuperación de la posición en la dirección transversal por la configuración alternante de la onda. El resultado es una trayectoria quebrada donde dos partículas de movilidad parecida acaban divergiendo en mayor grado. Esta divergencia es la que permite discernir entre una y otra incrementando la resolución global del analizador.

15

## REIVINDICACIONES

- 1ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) para discriminar partículas que tiene una región de análisis en la que el campo eléctrico (**E**) está definido por la polarización de electrodos opuestos (1, 2) que cubren caras opuestas y que tienen ranuras (1.1, 1.2), definiendo de esta forma un flujo perpendicular a dicho campo eléctrico y a la dirección principal de dichas ranuras y donde la región de análisis mencionada está insertada en un túnel aerodinámico cerrado y presurizado con una presión media superior a la atmosférica, sin expansiones súbitas y en condiciones laminares o con un nivel de turbulencia menor del 1% donde dicha región de análisis (V) está a presión atmosférica **caracterizado porque** dicha región de análisis está delimitada por un prisma que tiene dos caras planas paralelas opuestas cubiertas por los electrodos mencionados (1,2) y dos caras planas aislantes opuestas formando una sección rectangular, y donde la inyección de las partículas cargadas se efectúa mediante inyección electrostática a través de una ranura (1.1) sin intercambio de caudal en la ranura excepto las partículas cargadas, y las partículas cargadas son extraídas a través de otra ranura (2.1) donde la anchura de las ranuras (1.1, 2.1) es menor que la distancia entre las caras aislantes mencionadas y que tiene una zona de impacto que dispone al menos de un sensor de carga multipista.
- 2ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque el analizador dispone de una o más rendijas (2.1) de salida, todas dispuestas paralelas entre sí y perpendiculares al flujo.
- 3ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque la región de análisis (V) dispone de electrodos enfrentados, uno en la cara de inyección de la partícula (P) cargada y otro en la cara de salida, que generan un campo eléctrico **E** uniforme.
- 4ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 3 caracterizado porque el electrodo (1) situado en la cara de inyección de la partícula cargada(P) se prolonga paralelo a la rendija de inyección (1.1) quedando aislado (6) y enfrentado a un tercer electrodo (9) de modo que el campo eléctrico **E** se curva (7) en la inyección y se mantiene esencialmente paralelo en el resto de la región de análisis; y donde este tercer (9) electrodo se equipara al potencial del electrodo (2) de salida para permitir la concatenación de analizadores.
- 5ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 3 caracterizado porque la región de análisis dispone de electrodos adicionales (5), cada uno de éstos con sus rendijas (5.1, 5.2) con sus propios potenciales estableciendo medios de reducción de la dispersión intermedios.
- 6ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 3 caracterizado porque el campo eléctrico presenta zonas divergentes para incrementar la diferenciación de trayectorias en partículas de movilidad eléctrica parecida.
- 7ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 6 caracterizado porque la rendija de salida (2.1) se encuentra en la misma cara que la inyección.
- 8ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque el sensor de carga de múltiples pistas de lectura se sitúa aguas debajo de cada rendija de salida (2.1).
- 9ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque alguna o todas las rendijas de salida (2.1) disponen de un segundo sensor de carga de múltiples pistas de lectura que se sitúa por encima de la rendija (2.1).
- 10ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque hace uso de conductos de sección rectangular salvo en el compresor de impulsión (10) con el que existen tramos de transición de la sección.
- 11ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque el compresor (10) se dispone en un codo del circuito.
- 12ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque los codos (15, 18, 22) disponen de una pluralidad de vanos (15.1, 18.1, 22.1) curvos y alineados para el guiado del flujo interior.
- 13ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque el circuito dispone de purgadores (12, 14).
- 14ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) de amplio rango y muy alta resolución según la reivindicación 1 caracterizado porque el circuito dispone de válvulas (13) para la limpieza y cierre parcial del circuito.
- 15ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque el circuito dispone de precipitadores electrostáticos (16) para la limpieza de partículas cargables.
- 16ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque entre los dos codos (15, 18) situados antes de la entrada a la región de análisis (V) se hace uso de una empaquetadura de tubos, o de un panel de celdillas prismáticas o tubulares (17) para la reducción del nivel de turbulencia del flujo.
- 17ª.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque entre el codo (18) situado

antes de la entrada a la región de análisis (V) y ésta (V) se hace uso de una etapa (19) de acondicionamiento y reducción del nivel de turbulencia del flujo.

5 18<sup>a</sup>.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 16 caracterizado porque la etapa (19) de reducción del nivel de turbulencia del flujo incluye una empaquetadura de tubos, un panel de celdillas prismáticas o tubulares (19.1) o una rejilla poligonal.

19<sup>a</sup>.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 17 caracterizado porque la etapa (19) de laminarización del flujo incluye una empaquetadura de tubos, o un panel de celdillas prismáticas o tubulares (19.1).

10 20<sup>a</sup>.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque dispone de un difusor en dos tramos, uno (21) tras la región de análisis y otro (23) antes de la entrada al compresor (10) separados por un codo con vanos (22.1) redireccionadores.

21<sup>a</sup>.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 20 caracterizado porque entre el difusor en dos tramos dispone de rejillas (21.2, 23.1) para la estabilización del flujo.

22<sup>a</sup>.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque los conductos se encuentran achaflanados para evitar la aparición de zonas de recirculación cercanas a las esquinas.

15 23<sup>a</sup>.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque tras la rendija (2.1) de salida se dispone de un módulo de separación lineal o no lineal consistente en dos electrodos alimentados con una polarización según una onda asimétrica de polaridad alterna para establecer trayectorias quebradas divergentes para la distinción de partículas de movilidad eléctrica muy parecida.

20 24<sup>a</sup>.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) d según la reivindicación 1 caracterizado porque antes de la entrada del compresor (10) se ha dispuesto un intercambiador de calor (24) para la reducción de la temperatura.

25<sup>a</sup>.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque el sensor es un chip en el que se encuentran integrados los preamplificadores de corriente, conversores analógico-digital y de multiplexado digital de la señal de salida.

25 26<sup>a</sup>.- Analizador de movilidad diferencial (DMA) según la reivindicación 1 caracterizado porque el cuerpo (26) principal que configura la región (V) de análisis presenta sendos vaciados (26.1) en caras mayores enfrentadas cubiertas por tapas (25) separadas entre sí por galgas (26.2.1) que quedan aprisionadas para el perfecto paralelismos entre una y otra tapa (25).

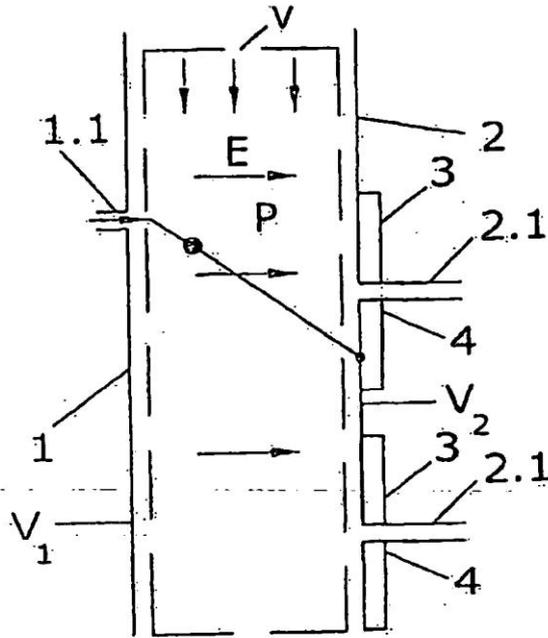


FIG. 1

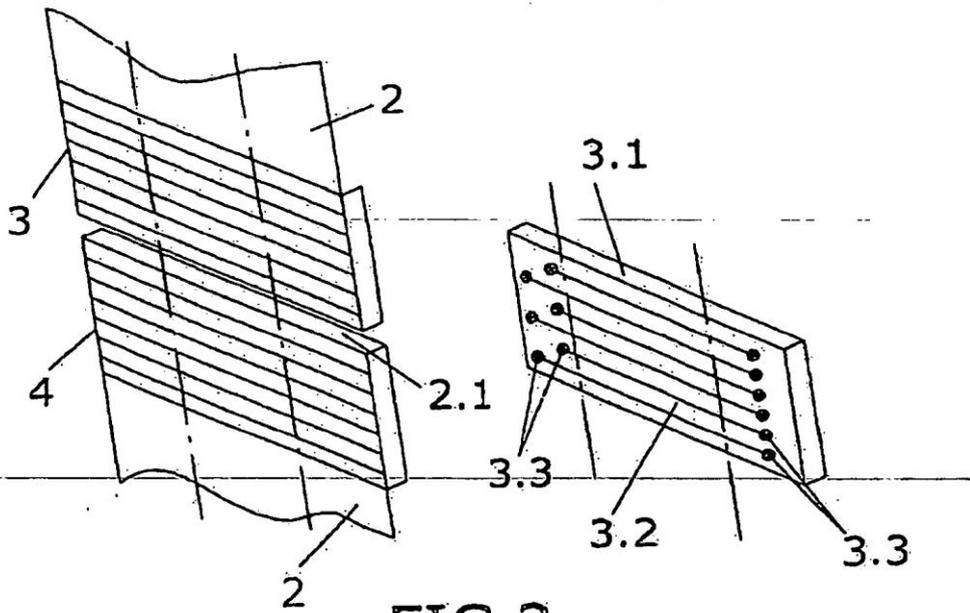


FIG. 2

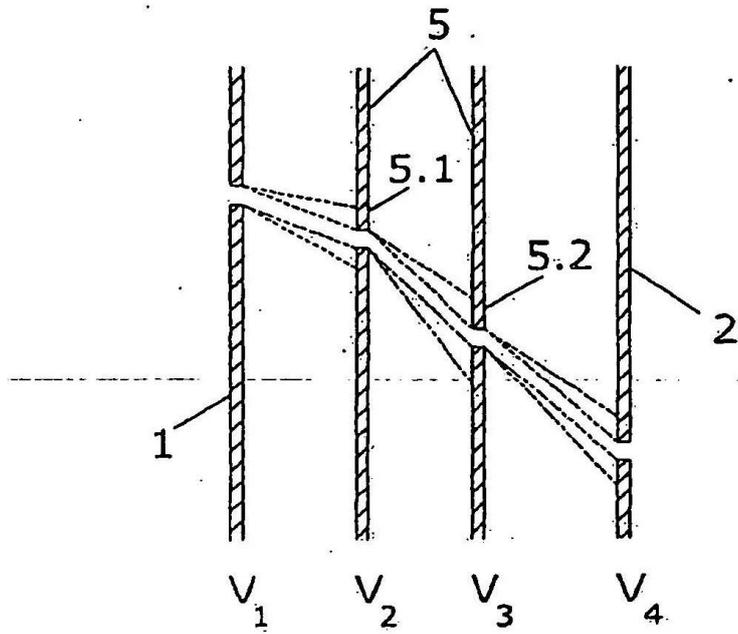


FIG. 3

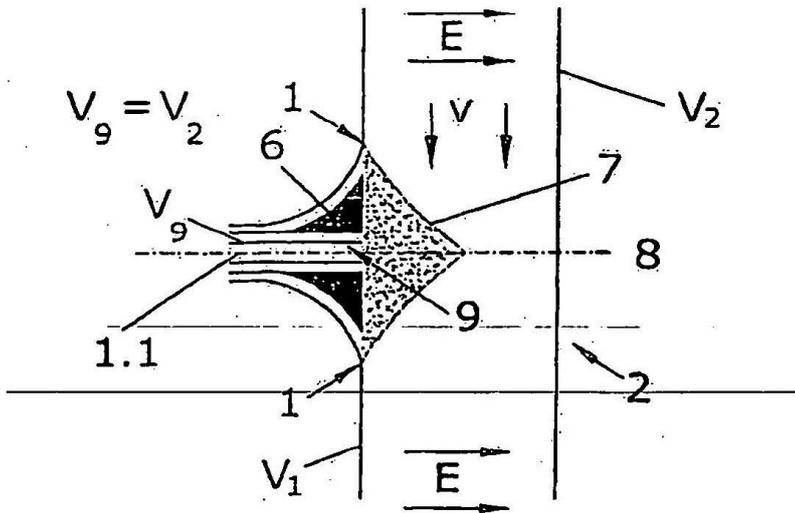


FIG. 4

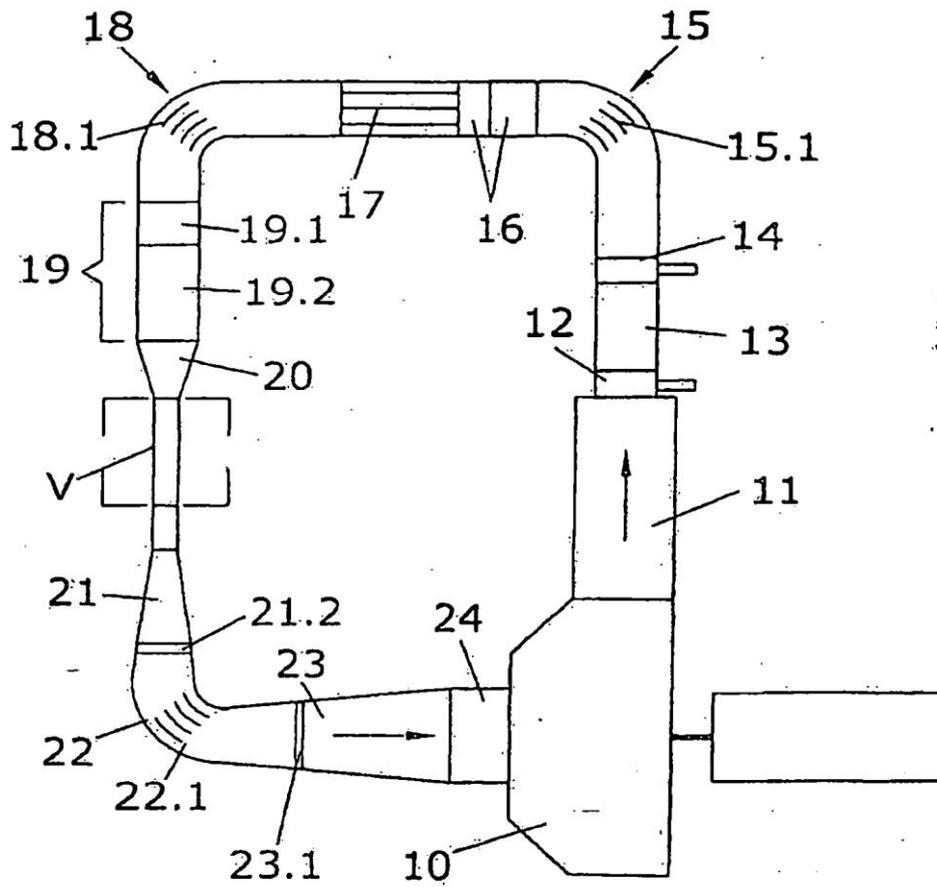


FIG. 5

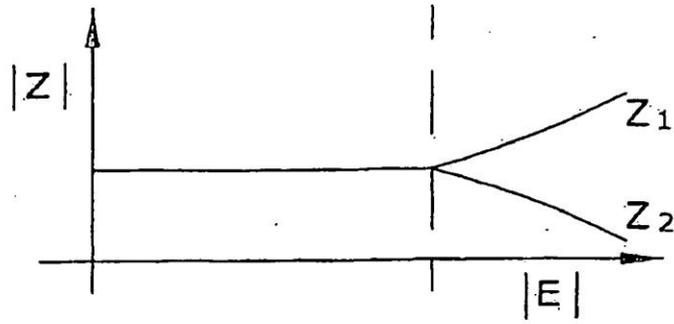


FIG.6

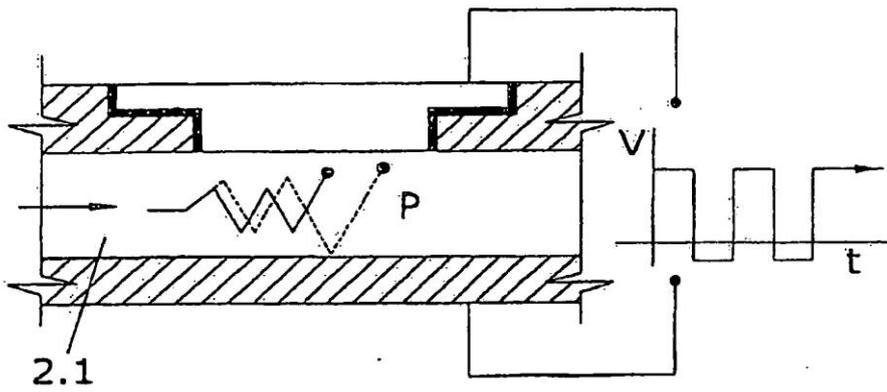


FIG.7

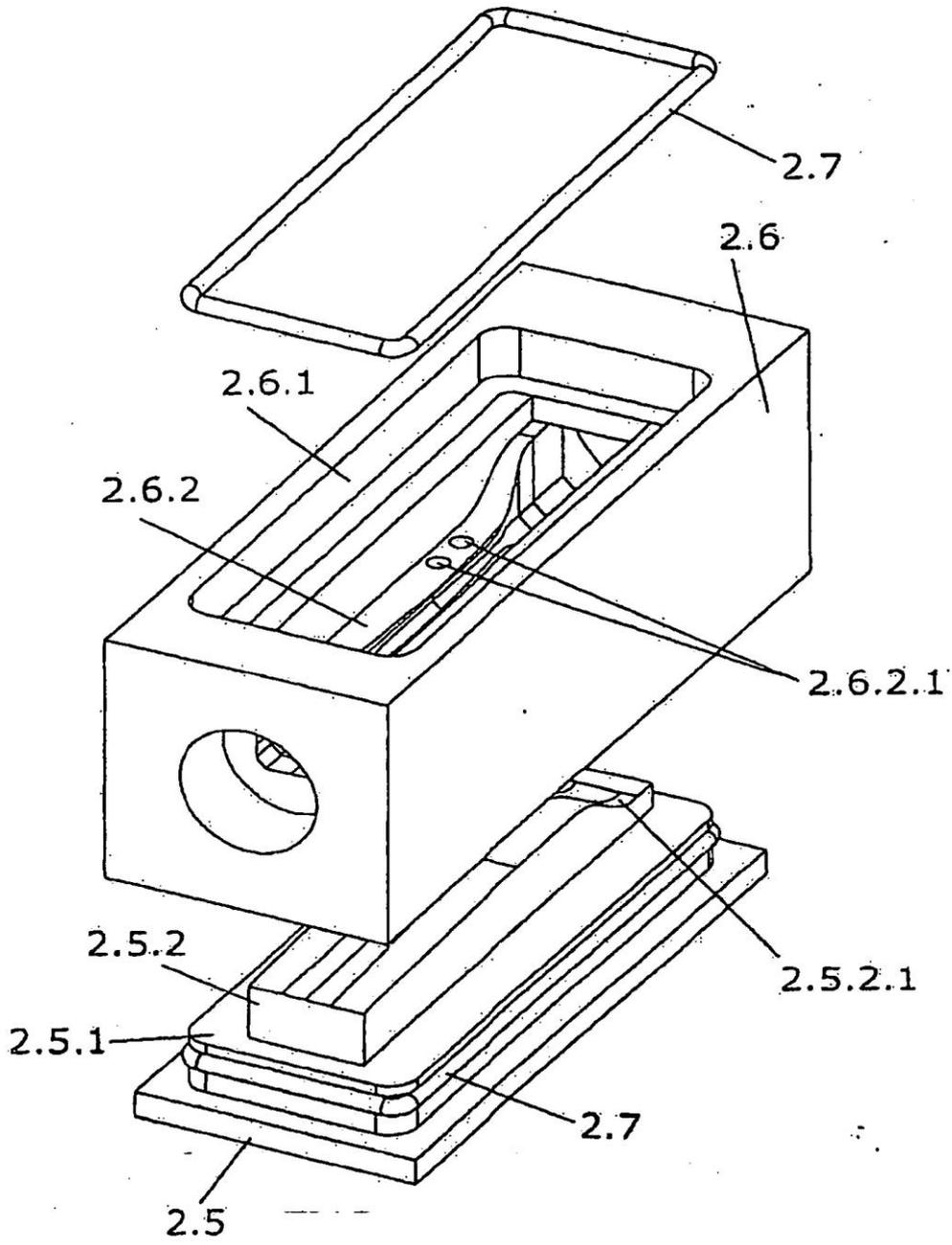


FIG.8