



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 199 048**

⑫ Número de solicitud: 200200285

⑬ Int. Cl.⁷: B05B 5/16

B05B 7/06

B01J 13/04

B81C 5/00

⑭

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑮ Fecha de presentación: **04.02.2002**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **01.02.2004**

⑰ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
01.02.2004

⑱ Solicitante/s: **UNIVERSIDAD DE SEVILLA**
Valparaíso 5, primera planta
Sevilla, ES

⑲ Inventor/es: **Gañán Calvo, Alfonso M.**

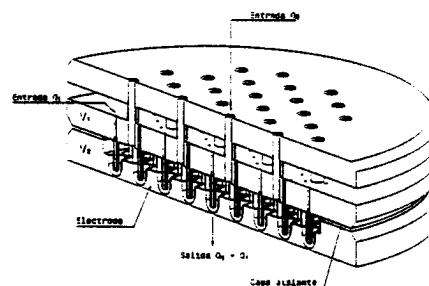
⑳ Agente: **No consta**

㉑ Título: **Dispositivo multidispositivo y procedimiento para la producción de chorros capilares y partículas micro y nanométricos.**

㉒ Resumen:

Dispositivo, multidispositivo y procedimiento para la producción de chorros capilares y partículas micro y nanométricos.

La presente invención describe un procedimiento, dispositivo y multidispositivo para la producción de micro-chorros capilares y micropartículas cuyo tamaño puede estar en el rango desde los cientos de micras hasta los varios nanómetros. Este procedimiento combina los efectos de fuerzas electrohidrodinámicas, fuerzas fluidodinámicas, y de una geometría específica para producir micro- y nano- ligamentos o chorros fluidos mono o multicomponente que al desintegrarse o escindirse forma un spray de gotas de tamaño micro y nanométrico controlado y significativamente monodisperso, además de poder presentar una estructura interna específica, como por ejemplo un núcleo rodeado de una corteza de otra sustancia diferente, o varios núcleos o vesículas, concéntricos o no, rodeados de una corteza.



ES 2 199 048 A1

DESCRIPCION

Dispositivo, multidispositivo y procedimiento para la producción de chorros capilares y partículas micro y nanométricos.

Objeto de la invención

La presente invención describe un procedimiento, dispositivo y multidispositivo para la producción de micro-chorros capilares y micro-partículas cuyo tamaño puede estar en el rango desde los cientos de micras hasta los varios nanómetros. Este procedimiento combina los efectos de fuerzas electrodinámicas, fuerzas fluidodinámicas, y de una geometría específica para producir micro- y nano- ligamentos o chorros fluidos mono o multicomponente que al desintegrarse o escindirse forma un spray de gotas de tamaño micro y nanométrico controlado y significativamente monodisperso, además de poder presentar una estructura interna específica, como por ejemplo un núcleo rodeado de una corteza de otra sustancia diferente, o varios núcleos o vesículas, concéntricos o no, rodeados de una corteza.

Estado de la técnica

La atomización electrodinámica de líquidos, o electrospray, ha significado una herramienta fundamental de análisis bioquímico en los últimos lustros (Electrospray Mass Spectrometry, o ESMS), desde que se descubriera su potencial a mediados de la década de los 80. Una de las ventajas que presenta es la mínima cantidad de analito necesaria en el análisis. Sin embargo, para aplicaciones en que se requiere atomizar o disgregar un volumen de líquido suficientemente grande por unidad de tiempo, uno de los problemas fundamentales que presenta el electrospray es su baja productividad. Ejemplos de este tipo de aplicaciones se encuentran en la industria farmacéutica (encapsulación de principios activos), industria alimentaria (encapsulación de distintos ingredientes organolépticos, etc), industria fitosanitaria, etc. En particular, han surgido usos del electrospray en los que se pueden generar chorros compuestos de varios líquidos inmiscibles o difícilmente mezclables dispuestos concéntricamente (Publicación de patente *w02060591*, titulares Universidad de Sevilla y Universidad de Málaga, inventores González, Cortijo, Barrero y Gañán 2001), para generar microcápsulas o nano-cápsulas, pero, de nuevo, los investigadores se enfrentan al problema de aumentar la productividad del fenómeno o los dispositivos basados en él.

Por otro lado, la atomización de líquidos por vías puramente fluidodinámicas, y en particular por vía neumática, es una operación fundamental en múltiples aplicaciones y desarrollos industriales, tecnológicos, científicos y de la vida cotidiana. La llamada tecnología "Flow Focusing" (Gañán-Calvo 1998, *Physical Review Letters* **80**, 285), mediante el uso de una geometría especial, utiliza la vía neumática para generar microchorros de líquido que posteriormente se rompen en gotas de tamaño muy pequeño y sustancialmente homogéneo. Esta última tecnología también es capaz de generar micro-chorros de líquido mediante otro líquido en lugar de gas, o bien puede generar micro-chorros de gas en el seno de un líquido (el

mismo u otro líquido como "forzador", es decir, con el papel que juega el gas en la vía neumática), con lo cual se generan microburbujas de tamaño perfectamente homogéneo.

Hay muchos líquidos que por sus características físicas no permiten su atomización o no permiten ser combinados para su atomización electrodinámica para formar microgotas o cápsulas. Por otro lado, la tecnología "Flow Focusing" requiere en algunas situaciones en que se buscan tamaños nanométricos unas presiones de atomización muy grandes, que pueden resultar limitantes en diversas aplicaciones.

En esta invención se plantea la combinación no trivial de las dos tecnologías ("Electrospray" y "Flow Focusing") para acceder a rangos paramétricos de propiedades de los líquidos, caudales líquidos y tamaños de gota que no son viables o son difícilmente viables por cada una de las dos tecnologías independientemente.

Breve descripción de las figuras

Figura 1. Ejemplo de realización de multidispositivo según la invención, para el caso de dos fluidos ($N = 1$), en el que se muestran los tubos de alimentación, el electrodo múltiple (199 celdas en este caso) con su geometría apropiada, y los medios para suministrar otro segundo fluido a través de los orificios superiores de la pieza superior. Q_1 es el caudal de fluido forzado a través de los conductos de alimentación, y Q_0 es el fluido envolvente (inmiscible con el fluido que circula por los capilares) que se fuerza a través del dispositivo, externamente a los conductos de alimentación. Se muestran los potenciales eléctricos V_1 y V_2 de cada pieza, y la capa de aislante interpuesta entre ambas.

Figura 2. Detalle de un ejemplo de realización de una celda de multidispositivo según la invención para el caso $N=2$, en el que se fuerzan dos líquidos 1 y 2 (caudales Q_1 y Q_2), rodeados de un gas (caudal Q_0).

Figura 3. Dos vistas de otra realización del dispositivo de la invención, desmontado, mostrando detalles sobre el empaquetamiento de las celdas individuales de electrospray.

Figura 4. Disposición de los conductos de alimentación en los electrodos que los rodean por su extremo en forma de vaina.

Figura 5. Detalles de la pieza-electrodo múltiple, mostrando de nuevo el grado de empaquetamiento alcanzable en otro ejemplo de configuración.

Figura 6. Vistas superior e inferior de un electrodo con 55 celdas o módulos realizado en acero inoxidable AISI 316L, donde se pueden observar las celdas individuales de enfocamiento y los micro-orificios (200 micras de diámetro) de salida.

Figura 7. Una vista de un dispositivo montado utilizando una lámina fina de Silicona RTV de Lockseal (0.1 mm de espesor) como elemento de aislamiento entre el electrodo y el resto del cuerpo del dispositivo. Se han usado, como elementos de unión, seis tornillos de Nylon de rosca métrica de 2mm. Como tubos de alimentación, se han usado tubos de sílica (Polymicro, USA) de 20micras de diámetro interior y 365 micras de diámetro exterior. El cuerpo del dispositivo se ha

conectado a un potencial variable y el electrodo de salida se ha conectado a tierra.

Descripción de la invención

La presente invención permite aumentar significativamente la productividad del electrospray. Se basa en la utilización de un gran número de agujas o tubos capilares de inyección, empleando una geometría especial del electrodo. Para que el dispositivo funcione se requiere que el campo eléctrico en la punta o extremo de los tubos esté por encima de un valor crítico que depende de la tensión superficial del líquido a atomizar. Si la aguja se encontrase sola, un electrodo plano enfrentado a la aguja permitiría alcanzar los valores críticos del campo eléctrico. Sin embargo, cuando se aproximan un gran número de agujas y la distancia entre ellas va disminuyendo, también disminuye el valor del campo eléctrico en la punta de las agujas, lo cual limita el grado de empaquetamiento que se puede conseguir. En la presente invención se presenta una nueva aproximación al diseño del electrodo, que permite un elevado grado de empaquetamiento, y se presenta también el modo de combinar las fuerzas electrostáticas sobre el líquido con otras fuerzas mecánicas para conseguir la extracción del aerosol a través del electrodo.

La invención conjuga tres aspectos fundamentales:

(i) Conjuntamente o no con las fuerzas eléctricas externas, para producir la formación del micro-chorro capilar laminar y estacionario a partir de un líquido que fluye desde el extremo del conducto de alimentación se utilizan también fuerzas de origen fluido, de tal manera que en ausencia bien de las fuerzas eléctricas o de las fluidicas, las características resultantes del chorro capilar formado o de las partículas se modifica radicalmente, o bien resulta inviable su producción por la vía de las fuerzas electrohidrodinámicas o las fluidicas independiente y exclusivamente. Las mencionadas fuerzas eléctricas se producen sobre la superficie del líquido al salir del conducto de alimentación cuando se establece una diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de geometría especial, enfrentado al conducto, y el propio conducto. Las fuerzas de origen fluido, por su parte, se producen sobre la misma superficie del líquido, cuando se fuerza un segundo fluido que llamaremos "enfocante", inmiscible (por ejemplo un gas) con el líquido, a fluir alrededor del conducto capilar de alimentación del líquido a través de un orificio situado en el electrodo, enfrente de la salida de dicho conducto de alimentación. Este último tipo de fuerzas son las que se emplean en la tecnología "Flow Focusing" (Gañán-Calvo 1998, *Physical Review Letters* **80**, 285) para producir por ejemplo micro-chorros líquidos estacionarios.

(ii) La geometría del electrodo enfrentado al conducto de alimentación es tal que envuelve en forma de vaina al conducto de alimentación (figuras 1 y 2), sin tocarlo, y presenta un orificio enfrentado a la salida del conducto de alimentación. Esta geometría permite el apantallamiento eléctrico del conducto de alimentación respecto de otros conductos próximos a él, alrededor de los cuales el electrodo también presenta la misma geometría envolvente.

(iii) La superficie externa del conducto de alimentación puede presentar un tratamiento superficial adecuado (por ejemplo, hidrófobo) para que el líquido inyectado a través de dicho conducto de alimentación no se derrame ni emigre por capilaridad a lo largo de la superficie externa del conducto de alimentación, y se mantenga constreñido a la salida del conducto, aguja o tubo capilar de alimentación. Esta característica no es determinante ya que en muchas situaciones el efecto de barrido de la corriente del fluido enfocante mantiene al líquido en la salida del conducto de alimentación en forma de un menisco capilar con forma de cúspide, de cuya punta emerge el ligamento o chorro fluido microscópico.

Estos tres aspectos configuran y definen la invención. Los objetos de la presente invención son la combinación de la tecnología previa conocida como "Electrospray" y de la tecnología previa conocida como "Flow Focusing" de forma no trivial a través de la definición de una geometría especial. Esta combinación no trivial permite acceder a rangos paramétricos de las propiedades de los fluidos involucrados o de los caudales de los fluidos que no serían accesibles ni a Electrospray ni a Flow Focusing independientemente (es decir, no se podrían producir emisiones estacionarias de fluido en forma de microchorros para esos fluidos y en las condiciones que sí serían posibles para la combinación objeto de esta invención). Es también objeto de esta invención el dispositivo mostrado para realizar la combinación tecnológica, objeto primero de esta invención, y lógicamente su geometría tal cual es aquí propuesta (figuras 1-5).

Es por tanto objeto de la presente invención un dispositivo de producción de chorros capilares estacionarios de tamaño micrométrico o nanométrico y gotas líquidas micrométricas o nanométricas caracterizado por que consiste en:

a) un número N menor que 20 de conductos capilares, tales que por cada conducto capilar fluye un caudal Q_i de un fluido i -ésimo, siendo i un valor entre 1 y N , donde dichos conductos capilares, de diámetros característicos D_i , están dispuestos en formación concéntrica ordenada, de tal forma que el caudal Q_1 rodea al caudal Q_2 , el Q_2 al Q_3 , y así sucesivamente hasta Q_n , de manera que Q_1 es el caudal más periférico y Q_n el caudal central; el conducto de mayor sección, que envuelve a los restantes, está rodeado a su vez por un caudal externo Q_0 , que circula libremente por el exterior de dicho conducto; cada conducto capilar i -ésimo o el fluido mismo que circule por cada conducto capilar i -ésimo está conectado a un potencial eléctrico V_i respecto a un electrodo de referencia; y cada fluido i -ésimo que circula por el conducto capilar i -ésimo es inmiscible o pobremente miscible con los fluidos adyacentes y

b) un electrodo, conectado a un potencial V_0 , situado enfrente de la salida del más sobresaliente de los N conductos capilares, que incluye un orificio de salida, de diámetro característico D_0 con un valor comprendido entre 10^{-6} y 10^2 , preferentemente entre 10^{-3} y 10 veces el diámetro característico D_1 de la sección de salida del conducto capilar de mayor sección, dicho orificio situado enfrente de la salida del más sobresaliente de to-

dos los N conductos capilares a una distancia entre 0.005 y 5 veces el diámetro característico D_1 de la sección de salida del conducto capilar de mayor sección, dicho electrodo presentando una forma geométrica tal que engloba en forma de vaina o caperuza al conducto capilar de mayor sección desde su extremo de salida hacia atrás, manteniéndose cada punto de la superficie interior del electrodo a una distancia mínima de la superficie externa del conducto capilar de mayor sección entre 1 y 50 veces la distancia mínima de la salida del más sobresaliente de todos los N conductos capilares al orificio del mencionado electrodo, y estando el borde externo del electrodo a una distancia de dicho orificio de 1 a 1000 veces el diámetro característico D_1 del de mayor sección de los conductos capilares.

La reivindicación 6 muestra cómo este mismo dispositivo puede fabricarse en forma multicelular, por repetición del dispositivo de base. Cada una de las unidades compuestas por el conjunto de conductos 1 hasta N, enfrentadas todas ellas al orificio D_0 , constituye un módulo o *celda*. A tales dispositivos compuestos se les denomina en lo que sigue *multidispositivos*.

También es objeto de la presente invención un dispositivo de producción de chorros capilares estacionarios de tamaño micrométrico o nanométrico y gotas líquidas micrométricas o nanométricas según las características que se han enumerado en los párrafos anteriores, caracterizado por que la diferencia de potencial ΔV entre el potencial del conducto capilar o el fluido de mayor sección (V_1) y el del electrodo V_0 es mayor que 0.1 veces el valor $(\gamma \cdot D_1 / \epsilon_0)^{0.5}$, en donde γ es la tensión interfacial o superficial entre el fluido que fluye por el interior del conducto capilar de mayor sección y el fluido presente o vacío entre las paredes externa del conducto capilar de mayor sección e interna del electrodo, D_1 es el diámetro característico del orificio del capilar de mayor sección y ϵ_0 es la permitividad del fluido presente o el vacío entre la pared externa del conducto capilar de mayor sección y la pared interna del electrodo.

Además, también es objeto de esta invención un dispositivo de producción de chorros capilares estacionarios de tamaño micrométrico o nanométrico y gotas líquidas micrométricas o nanométricas según se ha descrito anteriormente, caracterizado por que sólo tiene un conducto capilar de alimentación, y por que el orificio del electrodo tiene un diámetro característico D_0 con un valor comprendido entre 10^{-2} y 5 veces el diámetro característico D_1 de la sección de salida de dicho conducto capilar y está situado enfrente de la salida del conducto capilar a una distancia entre 0.05 y 2 veces el diámetro característico D_1 de la sección de salida del conducto capilar y por que cada punto de la superficie interior del electrodo se mantiene a una distancia mínima de la superficie externa del conducto capilar entre 1 y 10 veces la distancia mínima de la salida del conducto capilar al orificio del mencionado electrodo, y estando el borde externo del electrodo a una distancia de dicho orificio de 1 a 100 veces el diámetro característico D_1 del conducto capilar en su salida.

Objeto de esta invención también es un dis-

positivo de producción de chorros capilares estacionarios de tamaño micrométrico o nanométrico y gotas líquidas micrométricas o nanométricas según se ha descrito, caracterizado por que el diámetro característico D_1 está comprendido entre 0.5 micras y 5 mm, preferentemente entre 50 micras y 1 mm, y caracterizado también por que la superficie externa de al menos uno de los conductos capilares está recubierta por una sustancia hidrófoba de tal manera que se detiene o limita el mojado de dicha superficie por el fluido que fluye por el interior de dichos conductos capilares.

Otro objeto de esta invención es un multidispositivo de producción de chorros líquidos capilares estacionarios de tamaño micrométrico y nanométrico, y gotas líquidas micrométricas y nanométricas caracterizado por estar constituido por un ensamblaje de varios, al menos tres, dispositivos o *celdas*, según la descripción anterior. Dichos dispositivos (véase Fig. 1) componen un sistema multicelular, en el que se repite, celda a celda, el mismo principio descrito anteriormente. Cada una de las celdas tiene en el electrodo enfrentado su orificio de salida; los diferentes orificios de salida componen un plano o, en el caso más general, una superficie virtual (*superficie de salida*). En cada celda, el conjunto de conductos capilares, dispuestos concéntricamente, tiene un eje propio de salida de fluidos (*eje de salida*). Un multidispositivo puede diseñarse como una simple repetición en paralelo del módulo o celda elemental, en cuyo caso todos los ejes de salida son paralelos (Fig. 1). Alternativamente, cabe disponer los ejes de salida con orientaciones distintas entre sí, de manera que las celdas tienen orientaciones diversas, en función de los objetivos que el multidispositivo persiga; en todas las celdas, los conjuntos de tubos capilares apuntan hacia la superficie de salida. Por razones constructivas, los ejes de salida forman ángulos entre -89 y 89 grados sexagesimales, preferentemente entre -10 y 10 grados sexagesimales; y los ejes de salida forman un ángulo superior a 5 grados sexagesimales con la superficie de salida en el punto donde dichos ejes se encuentran con dicha superficie de salida.

Además, es objeto de esta invención un procedimiento de producción de chorros capilares estacionarios de tamaño micrométrico o nanométrico y gotas líquidas micrométricas o nanométricas mediante uno de los dispositivos que se han descrito en los párrafos anteriores, caracterizado por los siguientes pasos:

- a) forzar $N+1$ fluidos a través de un número N menor que 20 de conductos capilares, tales que por cada conducto capilar fluye un caudal Q_i de un fluido i -ésimo, siendo i un valor entre 1 y N , donde dichos conductos capilares, de diámetros característicos D_i , están dispuestos en formación concéntrica ordenada, de tal forma que el caudal Q_1 rodea al caudal Q_2 , el Q_2 al Q_3 , y así sucesivamente hasta Q_n , de manera que Q_1 es el caudal más periférico y Q_n el caudal central; el conducto de mayor sección, que envuelve a los restantes, está rodeado a su vez por un caudal externo Q_0 , que circula libremente por el exterior de dicho con-

ducto; cada conducto capilar i-ésimo o el fluido mismo que circule por cada conducto capilar i-ésimo está conectado a un potencial eléctrico V_i respecto a un electrodo de referencia; y cada fluido i-ésimo que circula por el conducto capilar i-ésimo es inmisible o pobremente miscible con los fluidos adyacentes y

- b) conectar un electrodo a un potencial V_0 , situado enfrente de la salida del más sobresaliente de los N conductos capilares, de manera que la diferencia de potencial ΔV entre el potencial del conducto capilar o el fluido de mayor sección (V_1) y el del electrodo V_0 es mayor que 0.1 veces el valor $(\gamma \cdot D_1 / \epsilon_0)^{0.5}$, en donde γ es la tensión interfacial o superficial entre el fluido que fluye por el interior del conducto capilar de mayor sección y el fluido presente o vacío entre las paredes externa del conducto capilar de mayor sección e interna del electrodo, D_1 es el diámetro característico del orificio del capilar de mayor sección y ϵ_0 es la permitividad del fluido presente o el vacío entre la pared externa del conducto capilar de mayor sección y la pared interna del electrodo.

También es objeto de esta invención un procedimiento de producción de chorros líquidos capilares estacionarios de tamaño micrométrico y nanométrico y gotas líquidas micrométricas y nanométricas según se ha descrito, caracterizado por que simultáneamente a la conexión del fluido o el conducto capilar de mayor sección a un potencial V_1 y el electrodo a un potencial V_0 , se fuerza un fluido envolvente, inmisible con el fluido forzado a través del conducto capilar de mayor sección, a fluir entre la superficie interna del electrodo y la externa del conducto capilar de mayor sección y a través del orificio que presenta el electrodo y con un caudal Q_0 tal que Q_0 es mayor que 0.1 veces el valor $D_1^2 [\gamma / (D_1 \cdot \rho_0)]^{0.5}$, donde ρ_0 es la densidad de dicho fluido envolvente, y γ es la tensión interfacial o superficial entre el fluido que fluye por el interior del conducto capilar de mayor sección y el fluido presente o vacío entre las paredes externa del conducto capilar más externo e interna del electrodo.

Otro objeto adicional de la presente invención es un procedimiento de producción de burbujas micrométricas o nanométricas mediante un dispositivo según lo descrito anteriormente que incluye los siguientes pasos:

- a) forzar N+1 fluidos a través de un número N menor que 20 de conductos capilares, tales que por cada conducto capilar fluye un caudal Q_i de un fluido i-ésimo, siendo i un valor entre 1 y N, donde dichos conductos capilares, de diámetros característicos D_i , están dispuestos en formación concéntrica ordenada, de tal forma que el caudal Q_1 rodea al caudal Q_2 , el Q_2 al Q_3 , y así sucesivamente hasta Q_n , de manera que Q_1 es el caudal más periférico y Q_n el caudal central; el conducto de mayor sección, que envuelve a los restantes, está rodeado

a su vez por un caudal externo Q_0 , que circula libremente por el exterior de dicho conducto; cada conducto capilar i-ésimo o el fluido mismo que circule por cada conducto capilar i-ésimo está conectado a un potencial eléctrico V_i respecto a un electrodo de referencia; y cada fluido i-ésimo que circula por el conducto capilar i-ésimo es inmisible o pobremente miscible con los fluidos adyacentes y

- b) conectar un electrodo a un potencial V_0 , situado enfrente de la salida del más sobresaliente de los N conductos capilares, de manera que la diferencia de potencial ΔV entre el potencial del conducto capilar o el fluido de mayor sección (V_1) y el del electrodo V_0 es mayor que 0.1 veces el valor $(\gamma \cdot D_1 / \epsilon_0)^{0.5}$, en donde γ es la tensión interfacial o superficial entre el fluido que fluye por el interior del conducto capilar de mayor sección y el fluido presente o vacío entre las paredes externa del conducto capilar de mayor sección e interna del electrodo, D_1 es el diámetro característico del orificio del capilar de mayor sección y ϵ_0 es la permitividad del fluido presente o el vacío entre la pared externa del conducto capilar de mayor sección y la pared interna del electrodo; con la característica adicional de que el fluido que se fuerza a través del conducto capilar de menor sección es un gas.

Finalmente, es también objeto de la presente invención un procedimiento de producción de burbujas micrométricas o nanométricas según se describe anteriormente, caracterizado por que simultáneamente a la conexión del fluido o el conducto capilar de mayor sección a un potencial V_1 y el electrodo a un potencial V_0 , se fuerza un fluido envolvente, inmisible con el fluido forzado a través del conducto capilar de mayor sección, a fluir entre la superficie interna del electrodo y la externa del conducto capilar de mayor sección y a través del orificio que presenta el electrodo y con un caudal Q_0 tal que Q_0 es mayor que 0.1 veces el valor $D_1^2 [\gamma / (D_1 \cdot \rho_0)]^{0.5}$ donde ρ_0 es la densidad de dicho fluido envolvente, y γ es la tensión interfacial o superficial entre el fluido que fluye por el interior del conducto capilar de mayor sección y el fluido presente o vacío entre las paredes externa del conducto capilar más externo e interna del electrodo.

Modo de realización de la invención

En lo que sigue se explica un ejemplo de modo de realización de la presente invención que no pretende ser ni exhaustivo ni limitar el campo que cubre la presente invención, y sólo se incluye a modo ilustrativo, estando el campo limitado sólo por las reivindicaciones que se exponen al final.

Se ha realizado un multidispositivo con 55 celdas tal como se indica en las figuras 1 y 2, pero con un solo conducto de alimentación, de un solo fluido, por cada celda, usando como material un acero inoxidable AISI 316L. Para la labor de fabricación del prototipo, se ha empleado un centro de mecanizado de precisión de control numérico EMCO PC Mill 155 y un torno manual Pinacho.

El electrodo se ha montado en el cuerpo del dispositivo, realizado en acero inoxidable AISI 316L, mediante seis tornillos de poliamida (Naylon) y usando una lámina de Silicona RTV de Lockseal de 0.1 mm de espesor para aislar el electrodo del cuerpo donde se hallan los capilares o conductos de alimentación, realizados en tubo de sílica (Polymicro, USA) de diámetro interior de 20 micras y diámetro exterior de 365 micras, que se han montado en el cuerpo del dispositivo en taldros efectuados a tal efecto. El alineamiento entre los orificios de las celdas y los tubos de alimentación se lleva a cabo mediante los tornillos de ajuste y un sencillo procedimiento de montaje usando un tubo de alineación externo. Con este procedimiento se consiguen errores inferiores a 3 centésimas de milímetro. La distancia entre los

tubos de sílica y 1 a superficie interna del electrodo donde están los orificios de salida se ha fijado en 350 micras. El rango de voltajes entre el cuerpo del dispositivo y el electrodo se varía entre 0 y 1000 Volts usando agua destilada como líquido de atomización y aire como fluido forzador. Las presiones de alimentación del aire se han variado entre 0 y 7 bares, pero no existiendo limitación en este parámetro más que la que impone la resistencia mecánica de los tornillos de plástico. Para las conexiones entrada de aire y de agua al cuerpo del dispositivo se han usado conectores Swagelok de 1/8 y 1/16 de pulgada, respectivamente, de acero inoxidable AISI 316, y tubo de acero inoxidable AISI 304 de 1/8 y 1/16 de pulgada para las conducciones de aire y agua, respectivamente.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de producción de chorros capilares estacionarios de tamaño micrométrico o nanométrico y gotas líquidas micrométricas o nanométricas **caracterizado** por que consiste en:

a) un número N menor que 20 de conductos capilares, tales que por cada conducto capilar fluye un caudal Q_i de un fluido i-ésimo, siendo i un valor entre 1 y N, donde dichos conductos capilares, de diámetros característicos D_i , están dispuestos en formación concéntrica ordenada, de tal forma que el caudal Q_1 rodea al caudal Q_2 , el Q_2 al Q_3 , y así sucesivamente hasta Q_N , de manera que Q_1 es el caudal más periférico y Q_N el caudal central; el conducto de mayor sección, que envuelve a los restantes, está rodeado a su vez por un caudal externo Q_0 , que circula libremente por el exterior de dicho conducto; cada conducto capilar i-ésimo o el fluido mismo que circule por cada conducto capilar i-ésimo está conectado a un potencial eléctrico V_i respecto a un electrodo de referencia; y cada fluido i-ésimo que circula por el conducto capilar i-ésimo es inmiscible o pobremente miscible con los fluidos adyacentes y

b) un electrodo, conectado a un potencial V_0 , situado enfrente de la salida del más sobresaliente de los N conductos capilares, que incluye un orificio de salida, de diámetro característico D_0 con un valor comprendido entre 10^{-6} y 10^2 , preferentemente entre 10^{-3} y 10 veces el diámetro característico D_1 de la sección de salida del conducto capilar de mayor sección, dicho orificio situado enfrente de la salida del más sobresaliente de todos los N conductos capilares a una distancia entre 0.005 y 5 veces el diámetro característico D_1 de la sección de salida del conducto capilar de mayor sección, dicho electrodo presentando una forma geométrica tal que puede englobar en forma de vaina o caperuza al conducto capilar de mayor sección desde su extremo de salida hacia atrás, manteniéndose cada punto de la superficie interior del electrodo a una distancia mínima de la superficie externa del conducto capilar de mayor sección entre 1 y 50 veces la distancia mínima de la salida del más sobresaliente de todos los N conductos capilares al orificio del mencionado electrodo, y estando el borde externo del electrodo a una distancia de dicho orificio de 1 a 1000 veces el diámetro característico D_1 del de mayor sección de los conductos capilares.

2. Dispositivo de producción de chorros capilares estacionarios de tamaño micrométrico o nanométrico y gotas líquidas micrométricas o nanométricas según la reivindicación 1, **caracterizado** por que la diferencia de potencial ΔV entre el potencial del conducto capilar o el fluido de mayor sección (V_1) y el del electrodo V_0 es mayor

que 0.1 veces el valor $(\gamma \cdot D_1/\epsilon_0)^{0.5}$, en donde γ es la tensión interfacial o superficial entre el fluido que fluye por el interior del conducto capilar de mayor sección y el fluido presente o vacío entre las paredes externa del conducto capilar de mayor sección e interna del electrodo, D_1 es el diámetro característico del orificio de mayor sección y ϵ_0 es la permitividad del fluido presente o el vacío entre las paredes externa del conducto capilar de mayor sección e interna del electrodo.

3. Dispositivo de producción de chorros capilares estacionarios de tamaño micrométrico o nanométrico y gotas líquidas micrométricas o nanométricas según las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** por que el número de conductos capilares N es $N=1$ y por que el orificio del electrodo tiene un diámetro característico D_0 con un valor comprendido entre 10^{-2} y 5 veces el diámetro característico D_1 de la sección de salida del conducto capilar de mayor sección y está situado enfrente de la salida del conducto capilar a una distancia entre 0.05 y 2 veces el diámetro característico D_1 de la sección de salida del conducto capilar y por que cada punto de la superficie interior del electrodo se mantiene a una distancia mínima de la superficie externa del conducto capilar entre 1 y 10 veces la distancia mínima de la salida del conducto capilar al orificio del mencionado electrodo, y estando el borde externo del electrodo a una distancia de dicho orificio de 1 a 100 veces el diámetro característico D_1 del conducto capilar en su salida.

4. Dispositivo de producción de chorros capilares estacionarios de tamaño micrométrico o nanométrico y gotas líquidas micrométricas o nanométricas según las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por que el diámetro característico D_1 está comprendido entre 0.5 micras y 5 mm, preferentemente entre 50 micras y 1 mm.

5. Dispositivo de producción de chorros capilares estacionarios de tamaño micrométrico o nanométrico y gotas líquidas micrométricas o nanométricas según las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** por que la superficie externa de al menos uno de los conductos capilares está recubierta por una sustancia hidrófoba de tal manera que se detiene o limita el mojado de dicha superficie por el fluido que fluye por el interior de dichos conductos capilares.

6. Multidispositivo de producción de chorros líquidos capilares estacionarios de tamaño micrométrico y nanométrico, y gotas líquidas micrométricas y nanométricas **caracterizado** por estar constituido por un ensamblaje de varios, al menos tres, dispositivos o *celdas*, según las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** por que dichos dispositivos componen un sistema multicelular, en el que se repite, celda a celda, el mismo principio descrito anteriormente; cada una de las celdas tiene en el electrodo enfrentado su orificio de salida; los diferentes orificios de salida componen un plano o, en el caso más general, una superficie virtual (superficie de salida); en cada celda, el conjunto de conductos capilares, dispuestos concéntricamente, tiene un eje propio de salida de fluidos (eje de salida). Todos los ejes de salida son paralelos entre sí, o, alternativamente, cabe disponer los ejes de salida con orientacio-

nes distintas entre sí, de manera que las celdas tienen orientaciones diversas; en todas las celdas, los conjuntos de tubos capilares apuntan hacia la superficie de salida; los ejes de salida forman ángulos entre -89 y 89 grados sexagesimales entre sí, preferentemente entre -10 y 10 grados sexagesimales; y los ejes de salida forman un ángulo superior a 5 grados sexagesimales con la superficie de salida en el punto donde dichos ejes se encuentran con dicha superficie de salida.

7. Procedimiento de producción de chorros capilares estacionarios de tamaño micrométrico o nanométrico y gotas líquidas micrométricas o nanométricas mediante un dispositivo según las reivindicaciones 1-5 **caracterizado** por los siguientes pasos:

a) forzar N+1 fluidos a través de un número N menor que 20 de conductos capilares, tales que por cada conducto capilar fluye un caudal Q_i de un fluido i-ésimo, siendo i un valor entre 1 y N, donde dichos conductos capilares, de diámetros característicos D_i , están dispuestos en formación concéntrica ordenada, de tal forma que el caudal Q_1 rodea al caudal Q_2 , el Q_2 al Q_3 , y así sucesivamente hasta Q_n , de manera que Q_1 es el caudal más periférico y Q_n el caudal central; el conducto de mayor sección, que envuelve a los restantes, está rodeado a su vez por un caudal externo Q_0 , que circula libremente por el exterior de dicho conducto; cada conducto capilar i-ésimo o el fluido mismo que circule por cada conducto capilar i-ésimo está conectado a un potencial eléctrico V_i respecto a un electrodo de referencia; y cada fluido i-ésimo que circula por el conducto capilar i-ésimo es inmisible o pobremente miscible con los fluidos adyacentes y

b) conectar un electrodo a un potencial V_0 , situado enfrente de la salida del más sobresaliente de los N conductos capilares, de manera que la diferencia de potencial ΔV entre el potencial del conducto capilar o el fluido de mayor sección (V_1) y el del electrodo V_0 es mayor que 0.1 veces el valor $(\gamma \cdot D_1 / \epsilon_0)^{0.5}$, en donde γ es la tensión interfacial o superficial entre el fluido que fluye por el interior del conducto capilar de mayor sección y el fluido presente o vacío entre las paredes externa del conducto capilar de mayor sección e interna del electrodo, D_1 es el diámetro característico del orificio del capilar de mayor sección y ϵ_0 es la permitividad del fluido presente o el vacío entre la pared externa del conducto capilar de mayor sección y la pared interna del electrodo.

8. Procedimiento de producción de chorros líquidos capilares estacionarios de tamaño micrométrico y nanométrico y gotas líquidas micrométricas y nanométricas según la reivindicación 7, **caracterizado** por que simultáneamente a la conexión del fluido o el conducto capilar de mayor sección a un potencial V_1 y el electrodo a un potencial V_0 , se fuerza un fluido envolvente,

inmiscible con el fluido forzado a través del conducto capilar de mayor sección, a fluir entre la superficie interna del electrodo y la externa del conducto capilar de mayor sección y a través del orificio que presenta el electrodo y con un caudal Q_0 tal que Q_0 es mayor que 0.1 veces el valor $D_1^2 [\gamma / (D_1 \cdot \rho_0)]^{0.5}$, donde ρ_0 es la densidad de dicho fluido envolvente, y γ es la tensión interfacial o superficial entre el fluido que fluye por el interior del conducto capilar de mayor sección y el fluido presente o vacío entre las paredes externa del conducto capilar más externo e interna del electrodo.

9. Procedimiento de producción de burbujas micrométricas o nanométricas mediante un dispositivo según las reivindicaciones 1-5 que incluye los siguientes pasos:

a) forzar N+1 fluidos a través de un número N menor que 20 de conductos capilares, tales que por cada conducto capilar fluye un caudal Q_i de un fluido i-ésimo, siendo i un valor entre 1 y N, donde dichos conductos capilares, de diámetros característicos D_i , están dispuestos en formación concéntrica ordenada, de tal forma que el caudal Q_1 rodea al caudal Q_2 , el Q_2 al Q_3 , y así sucesivamente hasta Q_n , de manera que Q_1 es el caudal más periférico y Q_n el caudal central; el conducto de mayor sección, que envuelve a los restantes, está rodeado a su vez por un caudal externo Q_0 , que circula libremente por el exterior de dicho conducto; cada conducto capilar i-ésimo o el fluido mismo que circule por cada conducto capilar i-ésimo está conectado a un potencial eléctrico V_i respecto a un electrodo de referencia; y cada fluido i-ésimo que circula por el conducto capilar i-ésimo es inmisible o pobremente miscible con los fluidos adyacentes y

b) conectar un electrodo a un potencial V_0 , situado enfrente de la salida del más sobresaliente de los N conductos capilares, de manera que la diferencia de potencial ΔV entre el potencial del conducto capilar o el fluido de mayor sección (V_1) y el del electrodo V_0 es mayor que 0.1 veces el valor $(\gamma \cdot D_1 / \epsilon_0)^{0.5}$, en donde γ es la tensión interfacial o superficial entre el fluido que fluye por el interior del conducto capilar de mayor sección y el fluido presente o vacío entre las paredes externa del conducto capilar de mayor sección e interna del electrodo, D_1 es el diámetro característico del orificio del capilar de mayor sección y ϵ_0 es la permitividad del fluido presente o el vacío entre la pared externa del conducto capilar de mayor sección y la pared interna del electrodo; con la característica adicional de que el fluido que se fuerza a través del conducto capilar de menor sección es un gas.

10. Procedimiento de producción de burbujas micrométricas o nanométricas según la reivindicación 9, **caracterizado** por que simultáneamente a la conexión del fluido o el conducto capilar de mayor sección a un potencial V_1 y el electrodo

a un potencial V_0 , se fuerza un fluido envolvente, inmiscible con el fluido forzado a través del conducto capilar de mayor sección, a fluir entre la superficie interna del electrodo y la externa del conducto capilar de mayor sección y a través del orificio que presenta el electrodo y con un caudal Q_0 tal que Q_0 es mayor que 0.1 veces el valor D_1^2

5

$[\gamma/(D_1 \cdot \rho_0)]^{0.5}$, donde ρ_0 es la densidad de dicho fluido envolvente, y γ es la tensión interfacial o superficial entre el fluido que fluye por el interior del conducto capilar de mayor sección y el fluido presente o vacío entre las paredes externa del conducto capilar más externo e interna del electrodo.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

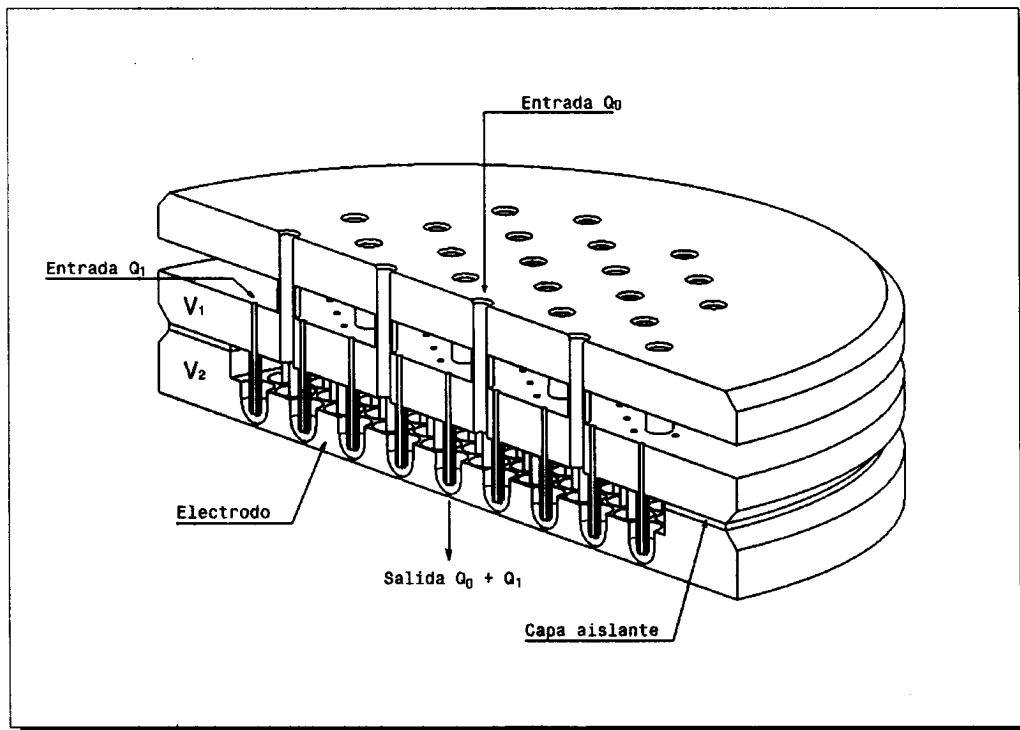


Figura 1.

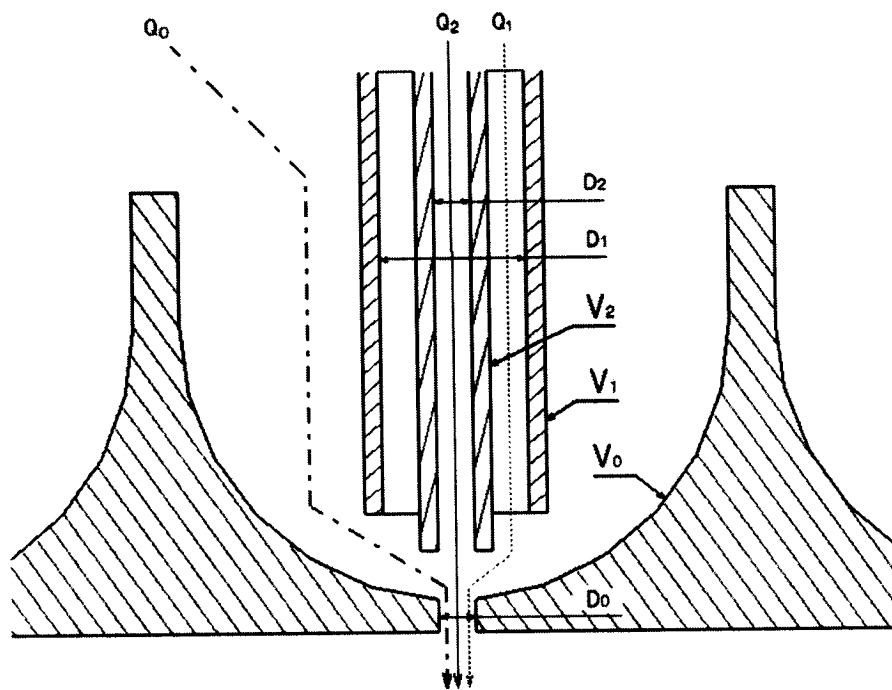


Figura 2.

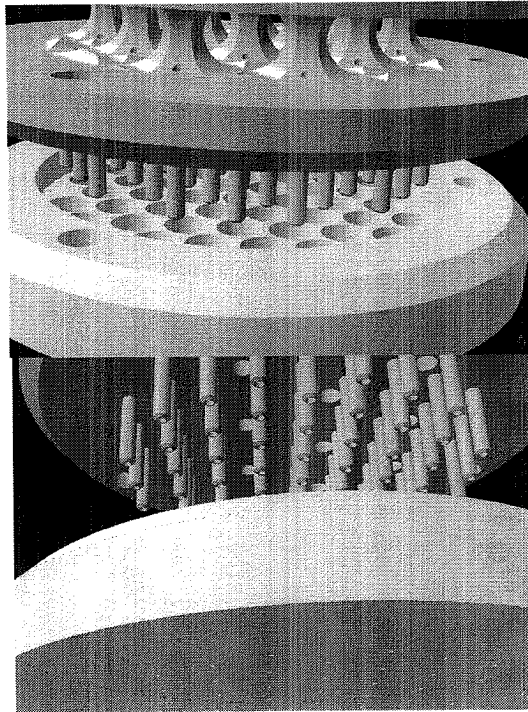


Figura 3.

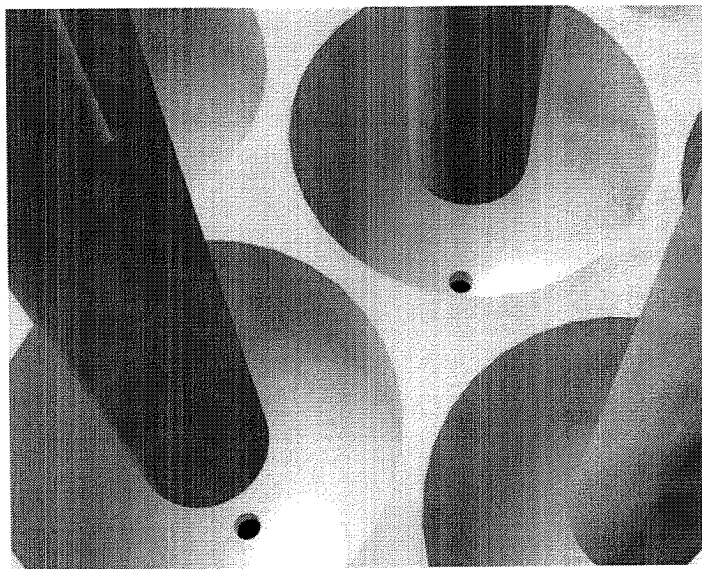


Figura 4.

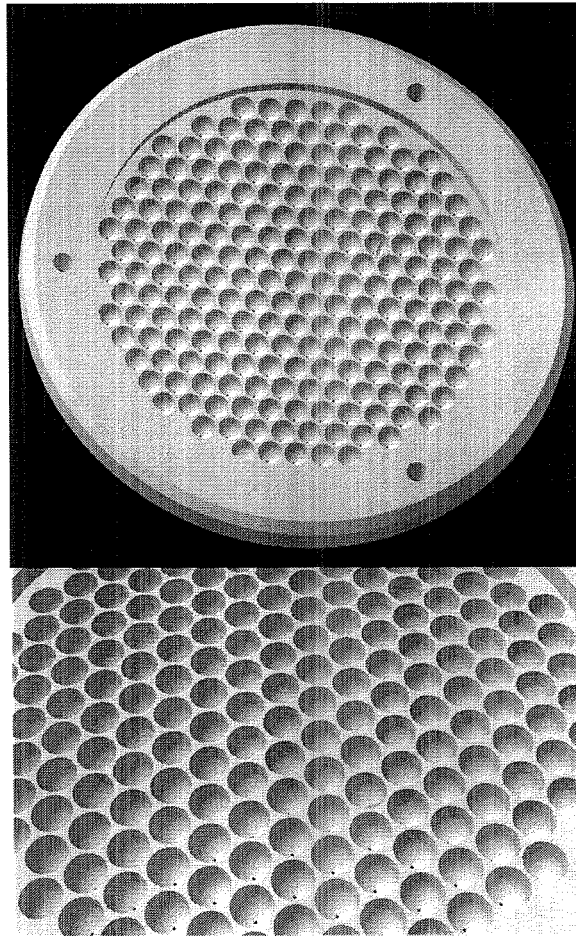


Figura 5.

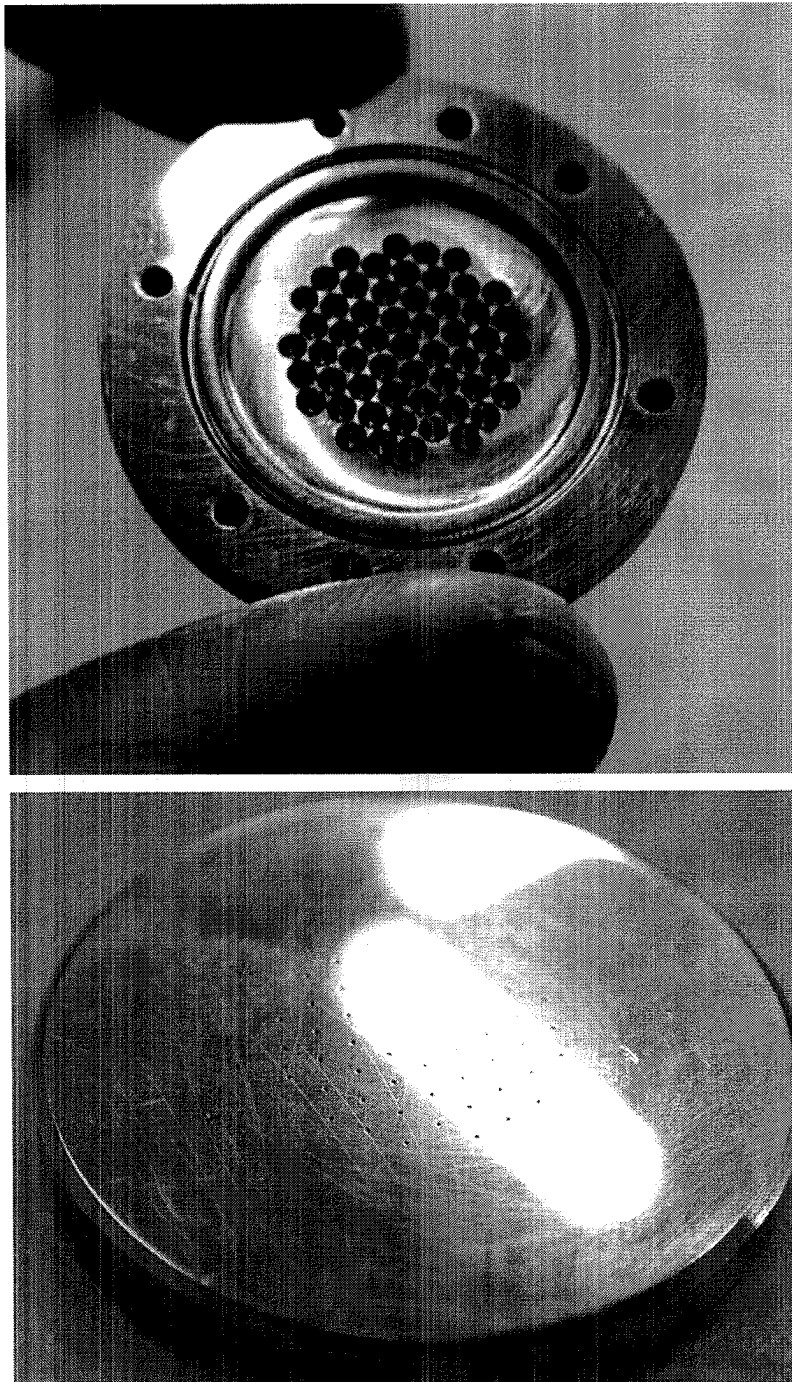


Figura 6

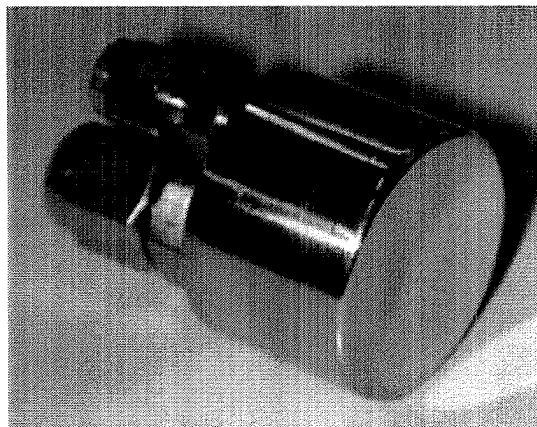


Figura 7



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ⑪ ES 2 199 048
⑫ N.º solicitud: 200200285
⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 04.02.2002
⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑮ Int. Cl.⁷: B05B 5/16, 7/06, B01J 13/04, B81C 5/00

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	FR 2776538 A1 (CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS) 01.10.1999, resumen; página 1, línea 1 - página 5, línea 14; página 8, línea 9 - página 12, línea 20; página 18, línea 14 - página 19, línea 22; figura 1.	1
A	CH 563807 A5 (BATELLE MEMORIAL INSTITUTE) 15.07.1975, columna 1, línea 1 - columna 3, línea 50; columna 4, líneas 19-54; columna 5, línea 46 - columna 6, línea 62; figura 2.	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe 02.01.2004	Examinador A. Figuera González	Página 1/1
--	-----------------------------------	---------------