

19

OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 520 565**

21 Número de solicitud: 201300494

51 Int. Cl.:

**B01J 13/02** (2006.01)**B01J 2/02** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22

Fecha de presentación:

**10.05.2013**

43

Fecha de publicación de la solicitud:

**11.11.2014**

Fecha de la concesión:

**20.04.2015**

45

Fecha de publicación de la concesión:

**27.04.2015**

73

Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA (100.0%)  
OTRI - Pabellón de Brasil, Paseo de las Delicias, s/n  
41012 Sevilla (Sevilla) ES**

72

Inventor/es:

**GAÑÁN CALVO , Alfonso M. ;  
HERRADA GUTIÉRREZ, Miguel Ángel y  
MONTANERO FERNÁNDEZ , José M.**

54

Título: **Método y dispositivo para la producción de micro- y nano-burbujas monodispersas**

57

Resumen:

El objeto de esta invención es un método y dispositivos para producir microburbujas de tamaño pequeño y uniforme, utilizando una combinación de geometrías y tratamientos superficiales hidrófilos e hidrófobos, para crear las condiciones de fijación parcial de una corriente de gas a una pequeña zona que sirve de punto fijo de nucleación o formación de las burbujas, siendo dichas burbujas arrastradas por la corriente de líquido en la que se forman. En particular, se puede utilizar un hilo o alambre metálico que sobresale del interior del tubo de alimentación del gas en la sección de descarga, habiendo recibido un tratamiento hidrófobo la superficie de dicho alambre. Dado que se pueden utilizar fibras o hilos metálicos, cerámicos, poliméricos, etc. tan delgados como uno desee, el tamaño de las burbujas producidas puede llegar a tamaños por debajo de la micra sin necesidad de utilizar surfactantes, incluso en metales líquidos. Alternativamente, se puede definir una superficie alargada y muy estrecha del canal de descarga, siendo dicha superficie contigua a la sección de descarga y en la dirección del flujo, como superficie hidrófoba sobre la que discurrirá una vena continua de gas, al final de la cual se formarán las microburbujas. Esta invención tiene una amplia variedad de aplicaciones en tecnologías de alimentación, farmacia, biomedicina, diagnosis, ingeniería química, medio ambiente, etc.

ES 2 520 565 B2

## DESCRIPCIÓN

### Método y dispositivos para la producción de micro- y nano-burbujas monodispersas

#### OBJETO DE LA INVENCION

5 Esta invención se encuadra en el sector de la tecnología industrial, para la mezcla eficiente de una fase gaseosa en una fase líquida, donde la fase gaseosa constituye la llamada fase dispersa y el líquido la fase continua. En particular, se trata de maximizar la superficie de contacto entre las dos fases mencionadas por unidad de volumen de fase dispersa, lo cual implica reducir lo más posible  
10 el tamaño de las burbujas.

También se encuadra esta invención en el sector de la medicina clínica, biomedicina y diagnosis, en aplicaciones como la oxigenación sanguínea, el contraste ultrasónico para diagnosis por la imagen, o la perfusión celular controlada mediante excitación ultrasónica. Excepto en el caso de los  
15 contrastes ultrasónicos, que ya están bastante desarrollados, estas técnicas son conocidas desde hace tiempo, pero no han sido aplicadas masivamente porque no se ha desarrollado aún una metodología robusta, controlable y escalable que permita generar masivamente microburbujas lo suficientemente pequeñas y de tamaño homogéneo.

20 Otro sector en el que también se encuadra esta invención es el medioambiental, para la alimentación de cultivos de microalgas con CO<sub>2</sub>, la oxigenación de piscifactorías, la depuración de aguas residuales, y la disolución y secuestro masivo de CO<sub>2</sub>.

Un primer objeto de esta invención es un procedimiento y dispositivo para la  
25 generación de burbujas cuyo diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro, caracterizado por que

- 1- el gas que constituye las burbujas es descargado a través de un primer canal cerrado o tubo capilar con una anchura entre 0.1 micra y 1 centímetro;
- 30 2- el líquido en el cual se van a formar las burbujas se alimenta desde otro segundo canal cerrado con una anchura entre 0.1 micra y 1 centímetro, independiente del primero, de forma que la corriente de líquido descargado por dicho segundo canal intercepta la corriente de gas descargada por el primer canal;

- 3- las corrientes de líquido y de gas son recogidas en un tercer canal o tubo capilar de descarga, con una anchura entre 0.1 micra y 1 centímetro, siendo hidrófila la superficie interna de dicho canal;
  - 4- el tercer canal o tubo capilar de descarga tiene tratada hidrófobamente una zona de su superficie interna que empieza en el borde de la boca de salida del canal de descarga de gas y en la dirección de la descarga, de forma que el gas descargado desde el primer canal se adhiere a dicha zona hidrófoba sin pérdida de continuidad con la corriente de gas que proviene de dicho primer canal;
  - 5- el gas adherido a la zona hidrófoba es arrastrado por el líquido hasta que se produce la rotura de dicha corriente de gas en forma de burbujas, ya dentro del tercer canal de descarga, y las burbujas son transportadas por el líquido y descargadas con él.
- 15 También es objeto de la presente invención un procedimiento y dispositivo para la generación de burbujas cuyo diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro según lo expuesto arriba, caracterizado por que la zona del tercer canal de descarga tratada hidrófobamente es una prominencia sólida en la dirección del flujo de gas y de tamaño característico menor que la longitud característica más pequeña de dicha sección de descarga, como puede apreciarse en las Figuras 1 y 2. Además, también es objeto de esta invención el dispositivo descrito en este párrafo de manera que la prominencia sólida forme parte del borde del canal de descarga de gas (Figura 2b), o bien que la prominencia sólida esté constituida por el extremo de un elemento cilíndrico o prismático que sobresalga del interior del canal de descarga de gas (Figuras 2a y 2c).

Otro objeto de esta invención es un procedimiento y dispositivo para la generación de burbujas cuyo diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro, según se describió en el primer objeto, caracterizado por que la zona hidrófoba de la superficie interna del tercer canal es alargada en la dirección de la corriente de líquido, y su anchura característica es menor que el diámetro o anchura de dicho tercer canal, como se puede apreciar en la Figura 2c. Más concretamente, un objeto particular de esta invención es que la zona hidrófoba de la superficie interna del tercer canal sea una banda rectangular definida en dicha superficie interna, en la dirección de la corriente de líquido, con un ancho  $w$  menor que el diámetro o anchura  $L$  de dicho tercer canal (Figura 3), y una longitud de al menos el doble del ancho (Figura 2c). Así, el

gas descargado desde el primer canal forma una corriente sin discontinuidades arrastrada por la corriente de líquido, formando por tensión superficial una bóveda aproximadamente cilíndrica adherida a la superficie hidrófoba rectangular a través de la cual circula el gas, de modo que el ángulo de contacto que forma el líquido que rodea dicha corriente en el lado más largo de la zona hidrófoba rectangular puede ser mayor o menor de  $\pi/2$  radianes. Si es menor de  $\pi/2$  radianes, la corriente de gas puede formar un cordón continuo a lo largo de la superficie hidrófoba, rompiéndose en burbujas sólo cuando dicho cordón de gas llega al extremo de dicha superficie hidrófoba en la dirección del flujo en el canal de descarga (ver Figura 2c).

### ESTADO DE LA TÉCNICA

Las burbujas juegan un papel fundamental en procesos que aparecen en multitud de campos científicos y tecnológicos, tales como la producción de petróleo, la industria química y metalúrgica, la ciencia de los materiales, la industria alimentaria, la generación de energía, etc.

Existen una gran multitud de métodos para producir burbujas pequeñas. Entre los métodos más antiguos destacan: la agitación vigorosa y mezclado de las dos fases; el paso forzado de las dos fases a través de pequeños orificios una o varias veces; el paso forzado del gas a través de membranas porosas (Blach Vizoso, 1997, US pat. 10736212 [89]); la descarga del gas a través de pequeños orificios o tubos alrededor de los que se fuerza una corriente de líquido (Dávila, WO/2007/096443 [90]), etc. También se pueden generar masivamente burbujas de pequeño tamaño disolviendo cierta cantidad de gas mientras se somete a presión el líquido, y descomprimiéndolo posteriormente.

En particular, las burbujas micrométricas ocupan un lugar esencial en una gran variedad de aplicaciones biomédicas, bioquímicas, y de biología molecular (ver, por ejemplo, Ref. [1] y las referencias allí citadas). Las microburbujas son utilizadas como agentes de contraste, portadoras de principios activos, o vectores genéticos. Pueden ser utilizadas en trombos, en la destrucción de tumores, y tratamientos de disfunciones pulmonares agudas. En todas estas aplicaciones, se requieren burbujas de algunas micras de tamaño y monodispersas.

35

La sonicación es probablemente la técnica más comúnmente utilizada para producir microburbujas. Esencialmente, involucra la dispersión de un gas en un material de recubrimiento, y la estabilización de la suspensión con ultrasonidos de alta intensidad [2]. Microburbujas recubiertas de material polimérico son también frecuentemente producidas mediante “shear stirring”, utilizando como estabilizador un líquido inmiscible con tanto el polímero como el agua [3]. En la emulsificación mediante membranas, se fuerza a que los componentes pasen a través de una membrana, lo que produce microburbujas con un cierto control sobre su tamaño y un grado de monodispersidad mayor que los alcanzados mediante tanto sonicación como “shear stirring” [4].

La tecnología de impresión de tinta [5] y la atomización electro-hidrodinámica [6] han sido adaptadas para formar microburbujas. Estas técnicas permiten seleccionar el tamaño de la burbuja ajustando los parámetros de control correspondientes; es decir, la frecuencia y longitud del pulso de presión en la tecnología de impresión por tinta [5], y el caudal y el voltaje en la atomización electro-hidrodinámica [6]. También se han producido microburbujas a partir de otros procesos físicos, tales como ondas de choque [7] y flujos rotatorios [8], pero su aplicabilidad tecnológica no se ha determinado aún.

Se han utilizado diferentes tecnologías microfluídicas para formar burbujas. La más simple es probablemente la inyección de gas en un baño líquido a través de microtoberas [9] o un conjunto de microcanales [10]. Se pueden emplear fuerzas hidrodinámicas para controlar la rotura de la interfase líquido-gas y así modificar el tamaño de las burbujas, la frecuencia de producción, etc. Los dispositivos microfluídicos diseñados para este propósito pueden ser agrupados en tres categorías principales: sistemas de co-flujos, dispositivos de flujo enfocado (“Flow Focusing”), y uniones T. En un sistema de co-flujo, el gas es inyectado a través de una tobera micrométrica en una corriente líquida que co-fluye paralelamente al eje de la tobera [11-14]. De esta forma, se producen burbujas de tamaño similar al del orificio de la tobera, justo detrás de dicho orificio, y debido a los esfuerzos viscosos ejercidos por la corriente líquida. Filamentos gaseosos pueden ser estirados y fragmentados en microcanales convergentes [15].

Llamamos dispositivos de flujo enfocado a aquéllos en los que la rotura de la interfase es producida forzando una corriente líquida a través de un orificio

localizado enfrente de la fuente gaseosa. Se han propuesto tanto configuraciones axisimétricas [16] como planas [17,18] para producir microburbujas a partir de este principio. En particular, en la tecnología conocida como “Flow Focusing” se fuerza un líquido a pasar a través de un orificio o estrechamiento mientras que se inyecta la fase gaseosa aguas arriba del orificio y suficientemente cerca de éste para que se forme un menisco capilar estacionario en forma de cúspide, de cuyo vértice emana una corriente de microburbujas [16]. Más recientemente, se ha propuesto un método en el que se combina la técnica Flow Focusing con un torbellino coaxial [28,29], para estabilizar el menisco en forma de punta de la cual emanan las microburbujas. Para el éxito de esta técnica, se tiene que garantizar la generación de una corriente giratoria lo suficientemente intensa en la dirección axial para que se produzca una depresión suficiente a la salida del tubo capilar de descarga del gas y en su eje axial. Los rangos de números de Reynolds y, por lo tanto, los mecanismos de producción son diferentes en ambos casos. Gañán-Calvo [19] obtuvo una ley de escala para el tamaño de la burbuja basado en el balance entre la derivada temporal local y el término convectivo de las ecuaciones no viscosas de Navier-Stokes para la fase líquida. Esa ley de escala describe satisfactoriamente los datos experimentales disponibles para la configuración axisimétrica.

Garstecki *et al.* [20] estudiaron el mecanismo de rotura de burbujas en una configuración plana de flujo enfocado. Concluyeron que la garganta de la entrefase colapsa de forma cuasi-estacionaria, y que la frecuencia es proporcional al caudal de la fase líquida. Debe notarse que las configuraciones axisimétricas y planas pueden también trabajar en los regímenes de Stokes [21] e inercial [22], respectivamente.

El flujo enfocado axisimétrico ha sido estudiado frecuentemente a lo largo de las últimas dos décadas. Ofrece algunas ventajas sobre la configuración bidimensional: reduce los problemas asociados al mojado de fluidos inmiscibles, y es más robusto y resistente a ataques químicos. Además, su tasa de producción es considerablemente mayor que la alcanzada por otras configuraciones, lo que lo convierte en una técnica óptima para la producción de, por ejemplo, espumas [23-25]. La estabilización de las microburbujas producidas puede obtenerse por encapsulación mediante lípidos [26]. Se puede recurrir a diferentes técnicas para fabricar dispositivos axisimétricos, incluyendo la fabricación en PDMS [27]. Burbujas con diámetros

significativamente inferiores al del capilar de alimentación pueden ser formadas induciendo un movimiento rotatorio en la corriente líquida [28,29].

Los chips planos pueden ser fabricados esencialmente en un único paso, bien mediante fotolitografía y grabado en sustratos de silicio, o bien a través de  
5 “soft lithography” en sustratos de materiales poliméricos (PDMS) [30,31]. Esta propiedad le ha conferido a la geometría bidimensional una gran popularidad entre los investigadores. El flujo enfocado axisimétrico fue adaptado por primera vez a la topología plana por Anna et al. [32] para formar  
10 emulsiones líquido-líquido. Colecciones monodispersas de microburbujas han sido frecuentemente producidas aplicando el principio de flujo enfocado a la configuración 2D [17, 18, 22, 33]. Dos regímenes han sido encontrados dependiendo de la proporción entre el caudal gaseoso y líquido: los modos “bubbling” y “squeezing” que conducen a la producción de burbujas y  
15 ligamentos, respectivamente [34-36]. Bajo ciertas condiciones, se alcanza un régimen tipo chorro, lo que produce burbujas mucho más pequeñas que el orificio de descarga [37,38]. Microburbujas muy estables fueron obtenidas por encapsulación con lípidos en dispositivos planos de flujo enfocado [39,40]. Las burbujas pueden ser agrupadas para formar espumas [41,42] y rejillas de  
20 difracción [43] con diferentes topologías. Se ha prestado especial atención al papel jugado por la forma [44-46] y configuración [47,48] de los canales.

La configuración más popular para producir gotas y burbujas es probablemente la unión T. Fue incorporada por primera vez en un dispositivo  
25 microfluídico por Thorsen *et al.* [49] para generar emulsiones. Posteriormente, fue adaptada Gunther *et al.* [50] para producir microburbujas. En las uniones T, dos corrientes inmiscibles se cruzan, lo que genera esfuerzos sobre la interfase suficientemente intensos como para producir su rotura. La mayoría de las realizaciones experimentales trabajan en el denominado modo  
30 “squeezing”. En este caso, tanto la inercia como los esfuerzos viscosos juegan un papel secundario comparado con la presión hidrostática, la tensión superficial, y la configuración geométrica. La corriente gaseosa penetra en la líquida durante el proceso de crecimiento de la burbuja. Cuando la protrusión gaseosa prácticamente obstruye el canal líquido, las fuerzas hidrostáticas  
35 deforman y finalmente rompen la interfase, venciendo la resistencia ofrecida por la tensión superficial. El volumen de la filamento gaseoso resultante está esencialmente determinado por el producto del caudal gaseoso y el tiempo durante el cual la burbuja ha crecido [51]. La influencia de la forma [52] y

tamaño [53] de la unión T sobre el volumen del filamento gaseoso ha sido determinada experimentalmente. El mecanismo descrito anteriormente no tiene lugar en todos los casos. Por ejemplo, van Steijn *et al.* [54] descubrieron que, bajo ciertas condiciones, el flujo inverso que surge alrededor de la punta  
5 del filamento gaseoso determina cuando la garganta colapsa para liberar una burbuja.

A medida que el número capilar (el cociente entre las fuerzas de viscosidad y tensión superficial) crece, el modo “squeezing” da paso al régimen “bubbling”  
10 [55-58]. En este régimen, las fuerzas viscosas colaboran con e incluso dominan a la presión hidrostática para liberar la burbuja en contra de la oposición de la tensión superficial. De esta forma, se producen colecciones monodispersas de burbujas esféricas. Sus tamaños están afectados por el valor del número capilar [57]. Otros modos más complejos han sido también identificados a  
15 medida que los caudales y las propiedades superficiales cambian [50,59]. Se han propuesto variaciones de la configuración unión T estándar para reducir el tamaño de las burbujas [60]. Por ejemplo, Chen *et al.* [61] desarrollaron un microchip dentro del cual se introdujo un capilar de vidrio muy fino para producir burbujas con diámetros de muy pocas micras.

20 En el denominado régimen “jetting”, la fase dispersa forma un ligamento cilíndrico largo comparado con su diámetro. Este ligamento se rompe en una colección cuasi-monodispersa de gotas/burbujas debido a la inestabilidad de Rayleigh [62]. El modo “jetting” es interesante porque da lugar a  
25 gotas/burbujas significativamente más pequeñas que las producidas en los modos “squeezing” y “bubbling”. Este modo tiene lugar sólo si se verifican dos condiciones simultáneamente: (i) la fuerza impulsora es suficientemente intensa para vencer la tensión superficial y establecer el chorro, y (ii) éste no es absolutamente inestable [63]. Estas dos condiciones se verifican fácilmente en  
30 sistemas líquido-líquido tanto en configuraciones de co-flujo [64] como en dispositivos de flujo enfocado [65]. Se ha formado chorros (películas) líquidas que co-fluyen con otras corrientes líquidas en uniones T [66-69]. Sin embargo, el modo “jetting” es mucho más difícil de alcanzar en sistemas gas-líquido, donde la tensión superficial es generalmente mayor, y el chorro es proclive a la  
35 inestabilidad absoluta [70]. Se han producido microburbujas en un dispositivo de flujo enfocado a partir de la rotura de un filamento de aire impulsado por una corriente de agua-etanol [71], agua-glicerol [37], y agua destilada con

surfactantes [38]. Hasta donde nosotros conocemos, no se ha observado el régimen “jetting” en sistemas gas-líquido manipulados con una unión T.

5 El mojado en dispositivos microfluídicos afecta críticamente el comportamiento y estabilidad de las entidades fluidas que aparecen en esos dispositivos, tanto para sistemas líquido-líquido [72] como gas-líquido [13,73]. En particular, cuando un chorro toca y se adhiere a una pared sólida, forma un “rivulet” cuyas propiedades de estabilidad difieren completamente de las de un ligamento cilíndrico. Davis [74] demostró que la estabilidad de un  
10 “rivulet” estático depende esencialmente del comportamiento de las líneas de contacto triple [75]. Si se encuentran ancladas, entonces el rivulet es incondicionalmente estable para ángulos de contacto inferiores a 90 grados, y existe un rango de números de onda inestables para ángulos de contacto superiores a ese valor umbral [74,76]. Por el contrario, si las líneas de contacto  
15 triple se pueden desplazar, el “rivulet” es inestable incondicionalmente.

La validez de este resultado ha sido posteriormente extendida a otras configuraciones tipo “rivulet”. Por ejemplo, Brinkmann and Lipowsky [77] obtuvieron la misma predicción para un “rivulet” estático de longitud finita.  
20 Mechkov *et al.* [78] mostraron a partir de la aproximación de lámina delgada que el carácter de la estabilidad de un “rivulet” en movimiento bajo la acción de una fuerza másica es básicamente el mismo que el predicho por Davis en el caso estático. También concluyeron que, aunque la fuerza másica produce una disminución de los factores de crecimiento, siempre existe un rango de  
25 números de onda para el cual el “rivulet” es inestable si el ángulo de contacto es mayor que 90 grados. Además, es crucial que la línea de contacto se encuentre totalmente anclada. De hecho, la existencia de bordes suaves no es suficiente para suprimir la inestabilidad. La teoría de la lubricación muestra que “rivulets” poco profundos (con ángulos de contacto menores que 90  
30 grados) sobre un plano inclinado son incondicionalmente inestables [79]. Simulaciones de Dinámica Molecular [80] han confirmado la validez del criterio de Davis para “rivulets” naométricos. Roy y Schwartz [81] consideraron distintas configuraciones de sustrato, y re-obtuvieron las predicciones de Davis como caso particular. Se han testeado los flujos básicos  
35 calculados con las aproximaciones de lubricación y lámina delgada bajo la acción de la gravedad [82] y esfuerzo tangencial [83] a partir de las ecuaciones de Navier-Stokes [82,83]. Estas ecuaciones han sido utilizadas también para analizar la estabilidad lineal de “rivulets” planos descendiendo a lo largo de

una superficie vertical [84]. El análisis de estabilidad lineal permite no solamente describir la aparición de inestabilidades, sino que proporciona predicciones para la rotura no lineal con una precisión aceptable [85].

5 En principio, los “rivulets” pueden ser formados en dispositivos microfluídicos imprimiendo tiras liófilas/liófobas sobre la superficie de un conducto. Para este fin, se puede hacer uso de sellos de elastómeros, deposición de vapor mediante mallas, etc. Brinkmann y Lipowsky [77] han  
 10 mostrado que se pueden crear canales químicos solamente si los ángulos de contacto que caracterizan las superficies liófilas y liófobas verifican ciertas condiciones. El uso de canales químicos puede ser ventajoso en microfluídica porque impide la obturación mediante partículas en suspensión, tales como coloides y biopolímeros. El comportamiento de los “rivulets” líquidos  
 15 fluyendo a través de canales liófilos ha sido estudiado frecuentemente durante las dos últimas décadas (ver, por ejemplo, Refs. [77, 86–88], y las referencias citadas allí). Por el contrario, los “rivulets” gaseosos moviéndose sobre superficies hidrófobas no han sido considerados todavía.

### *Referencias*

- 20 [1] E. Stride and M. Edirisinghe, *Soft Matter*, **4**, 2350 (2008).  
 [2] E. Unger, T. McCreery, R. Sweitzer, V. E. Caldwell, and Y. Wu, *Invest. Radiol.*, **33**, 886 (1998).  
 [3] K. Bjercknes, K. Dyrstad, G. Smistad, and I. Agerkvist, *Drug Dev. Ind. Pharm.*, **26**, 847 (2000).  
 25 [4] S. Joscelyne and G. Tragardh, *J. Membr. Sci.*, **169**, 107 (2000).  
 [5] M. Bohmer, C. Chlon, C. Guedon, W. Shi, C. H. B. Schmidt, A. van Wamel, K. Kooiman, M. Emmer, and N. de Jong, 19th International Congress on Acoustics, Madrid (2007).  
 [6] U. Farook, H. B. Zhang, M. Edirisinghe, E. Stride, and N. Saffari, *Med. Eng. Phys.*, **29**,  
 30 749 (2007).  
 [7] C. D. Ohl and R. Ikink, *Phys. Rev. Lett.*, **90**, 214502 (2003).  
 [8] R. Bergmann, A. Andersen, D. van der Meer, and T. Bohr, *Phys. Rev. Lett.*, **102**, 204501 (2009).  
 [9] S. Vafaei and D. Wen, *J. Colloid Interface Sci.*, **343**, 291 (2010).  
 35 [10] M. Yasuno, S. Sugiura, S. Iwamoto, M. Nakajima, A. Shono, and K. Satoh, *AIChE*, **50**, 3227 (2004).  
 [11] C. S. Smith, *J. Appl. Phys.*, **20**, 631 (1949).  
 [12] A. Bhunia, S. C. Pais, Y. Kamotani, and I. H. Kim, *AIChE*, **44**, 1499 (1998).  
 [13] A. Serizawa, Z. Feng, and Z. Kawara, *Experimental Thermal Fluid Sci.*, **26**, 703 (2002).  
 40 [14] R. Xiong, M. Bai, and J. N. Chung, *J. Micromech. Microeng.*, **17**, 1002 (2007).  
 [15] O. Amyot and F. Plouraboue, *Phys. Fluids*, **19**, 033101 (2007).

- [16] Gañán-Calvo 1997, US pat. 6,197,835; A. M. Gañán-Calvo and J. M. Gordillo, *Phys. Rev. Lett.*, **87**, 274501 (2001).
- [17] P. Garstecki, I. Gitlin, W. DiLuzio, G. M. Whitesides, E. Kumacheva, and H. A. Stone, *Appl. Phys. Lett.*, **85**, 2649 (2004).
- 5 [18] T. Cubaud and C.-M. Ho, *Phys. Fluids*, **16**, 4575 (2004).
- [19] A. M. Gañán-Calvo, *Phys. Rev. E*, **69**, 027301 (2004).
- [20] P. Garstecki, H. A. Stone, and G. M. Whitesides, *Phys. Rev. Lett.*, **94**, 164501 (2005).
- [21] M. J. Jensen, H. A. Stone, and H. Bruus, *Phys. Fluids*, **18**, 077103 (2006).
- [22] P. Garstecki, M. J. Fuerstman, and G. M. Whitesides, *Phys. Rev. Lett.*, **94**, 234502  
10 (2005).
- [23] J. M. Gordillo, Z. Cheng, A. M. Gañán-Calvo, M. M´arquez, and D. A. Weitz, *Phys. Fluids*, **16**, 2828 (2004).
- [24] A. M. Gañán-Calvo, J. M. Fernández, A. M. Oliver, and M. Marquez, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 4989 (2004).
- 15 [25] E. Lorenceau, Y. Y. C. Sang, R. Hohler, and S. Cohen-Addad, *Phys. Fluids*, **18**, 097103 (2006).
- [26] E. Talu, M. M. Lozano, R. L. Powell, P. A. Dayton, and M. L. Longo, *Langmuir*, **22**, 9487 (2006).
- [27] S. Takeuchi, P. Garstecki, D. B. Weibel, and G. M. Whitesides, *Adv. Mater.*, **17**, 1067  
20 (2005).
- [28] M. A. Herrada, A. M. Gañán Calvo 2009, solicitud de patente española P200802396; M. A. Herrada and A. M. Gañán-Calvo, *Phys. Fluids*, **21**, 042003 (2009).
- [29] M. A. Herrada, A. M. Gañán-Calvo, and J. M. López-Herrera, *Phys. Fluids*, **23**, 072004 (2011).
- 25 [30] D. C. Duffy, J. C. McDonald, O. J. A. Schueller, and G. M. Whitesides, *Anal. Chem.*, **70**, 4974 (1998).
- [31] M. A. Unger, H. P. Chou, T. Thorsen, A. Scherer, and S. R. Quake, *Science*, **288**, 113 (2000).
- [32] S. L. Anna, N. Bontoux, and H. A. Stone, *Appl. Phys. Lett.*, **82**, 364 (2003).
- 30 [33] J.-P. Raven and P. Marmottant, *Phys. Rev. Lett.*, **97**, 154501 (2006).
- [34] T. Cubaud, M. Tatineni, X. Zhong, and C.-M. Ho, *Phys. Rev. E*, **72**, 037302 (2005).
- [35] T. Fu, D. Funfschilling, Y. Ma, and H. Z. Li, *Microfluid Nanofluid*, **8**, 467 (2010).
- [36] T. Fu, Y. Ma, D. Funfschilling, and H. Z. Li, *Microfluid Nanofluid*, **10**, 1135 (2011).
- [37] T. Fu, Y. Ma, D. Funfschilling, and H. Z. Li, *Chem. Engin. Sci.*, **64**, 2392 (2009).
- 35 [38] E. Castro-Hernández, W. van Hooft, D. Lohse, and J. M. Gordillo, *Lab Chip* (2011).
- [39] K. Hettiarachchi, E. Talu, M. L. Longo, P. A. Dayton, and A. P. Lee, *Lab Chip*, **7**, 463 (2007).
- [40] E. Talu, K. Hettiarachchi, R. L. Powell, A. P. Lee, P. A. Dayton, and M. L. Longo, *Langmuir*, **24**, 1745 (2008).
- 40 [41] J.-P. Ravena, P. Marmottant, and F. Graner, *Eur. Phys. J. B*, **51**, 137 (2006).
- [42] P. Marmottant and J.-P. Raven, *Soft Matter*, **5**, 3385 (2009).
- [43] M. Hashimoto, B. Mayers, P. Garstecki, and G. M. Whitesides, *Small*, **2**, 1292 (2006).
- [44] B. Dollet, W. van Hooft, J.-P. Raven, P. Marmottant, and M. Versluis, *Phys. Rev. Lett.*, **100**, 034504 (2008).
- 45 [45] N. Dietrich, S. Poncin, N. Midoux, and H. Z. Li, *Langmuir*, **24**, 13904 (2008).

- [46] M. Hashimoto and G. M. Whitesides, *Small*, **6**, 1051 (2010).
- [47] P. Garstecki, M. A. Fischbach, and G. M. Whitesides, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 244108 (2005).
- [48] M. Hashimoto, S. S. Shevkoplyas, B. Zasońska, T. Szymborski, P. Garstecki, and G. M. Whitesides, *Small*, **4**, 1795 (2008).
- 5 [49] T. Thorsen, R. W. Roberts, F. H. Arnold, and S. R. Quake, *Phys. Rev. Lett.*, **86**, 4163 (2001).
- [50] A. Gunther, S. A. Khan, M. Thalmann, F. Trachsel, and K. F. Jensen, *Lab Chip*, **4**, 278 (2004).
- 10 [51] P. Garstecki, M. J. Fuerstman, H. A. Stone, and G. M. Whitesides, *Lab Chip*, **6**, 437 (2006).
- [52] V. van Steijn, C. R. Kleijn, and M. T. Kreutzer, *Lab on a Chip*, **10**, 2513 (2010).
- [53] K. Yamamoto and S. Ogata, *Int. J. Multiphase Flow*, **49**, 24 (2013).
- [54] V. van Steijn, C. R. Kleijn, and M. T. Kreutzer, *Phys. Rev. Lett.*, **103**, 214501 (2009).
- 15 [55] J. H. Xu, S. W. Li, G. G. Chen, and G. S. Luo, *AIChE*, **52**, 2254 (2006).
- [56] K. Pancholi, E. Stride, and M. Edirisinghe, *Langmuir*, **24**, 4388 (2008).
- [57] T. Fu, Y. Ma, D. Funfschilling, C. Zhu, and H. Z. Li, *Chem. Eng. Sci.*, **65**, 3739 (2010).
- [58] A.-B. Wang, I.-C. Lin, Y.-W. Hsieh, W.-P. Shih, and G.-W. Wu, *Lab on a Chip*, **11**, 3499 (2011).
- 20 [59] A. Gunther and K. F. Jensen, *Lab Chip*, **6**, 1487 (2006).
- [60] P. Palanchon, J. Klein, and N. Jong, *Rev. Sci. Instrum.*, **74**, 2558 (2003).
- [61] C. Chen, Y. Zhu, P. W. Leech, and R. Manasseh, *Appl. Phys. Lett.*, **95**, 144101 (2009).
- [62] L. Rayleigh, *Proc. Lond. Math. Soc.*, **10**, 4 (1879).
- [63] P. Huerre and P. A. Monkewitz, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, **22**, 473 (1990).
- 25 [64] P. Guillot, A. Colin, A. S. Utada, and A. Ajdari, *Phys. Rev. Lett.*, **99**, 104502 (2007).
- [65] T. Cubaud and T. G. Mason, *Phys. Fluids*, **20**, 053302 (2008).
- [66] J. D. Tice, A. D. Lyon, and R. F. Ismagilov, *Anal Chim. Acta*, **507**, 73 (2004).
- [67] P. Guillot and A. Colin, *Phys. Rev. E*, **72**, 066301 (2005).
- [68] M. D. Menech, P. Garstecki, F. Jousse, and H. A. Stone, *J. Fluid Mech.*, **595**, 141 (2008).
- 30 [69] N. Tarchichi, F. Chollet, and J. F. Manceau, *Microfluid Nanofluid*, **14**, 45 (2013).
- [70] J. M. Gordillo, A. M. Gañán-Calvo, and M. Pérez-Saborid, *Phys. Fluids*, **13**, 3839 (2001).
- [71] A. M. Gañán-Calvo, M. A. Herrada, and P. Garstecki, *Phys. Rev. Lett.*, **96**, 124504 (2006).
- 35 [72] R. Dreyfus, P. Tabeling, and H. Willaime, *Phys. Rev. Lett.*, **90**, 144505 (2003).
- [73] T. Cubaud, U. Ulmanella, and C.-M. Ho, *Fluid Dyn. Res.*, **38**, 772 (2006).
- [74] S. H. Davis, *J. Fluid Mech.*, **98**, 225 (1980).
- [75] G. W. Young and S. H. Davis, *J. Fluid Mech.*, **176**, 1 (1987).
- 40 [76] R. A. Brown and L. E. Scriven, *J. Colloid Interface Sci.*, **78**, 528 (1980).
- [77] M. Brinkmann and R. Lipowsky, *J. Appl. Phys.*, **92**, 4296 (2002).
- [78] S. Mechkov, M. Rauscher, and S. Dietrich, *Phys. Rev. E*, **77**, 061605 (2008).
- [79] E. S. Benilov, *J. Fluid Mech.*, **636**, 455 (2009).
- [80] J. Koplík, T. S. Lo, M. Rauscher, and S. Dietrich, *Phys. Fluids*, **18**, 032104 (2006).
- 45 [81] R. V. Roy and L. W. Schwartz, *J. Fluid Mech.*, **391**, 293 (1999).

- [82] C. Perazzo and J. Gratton, *J. Fluid Mech.*, **507**, 367 (2004).  
 [83] T. G. Myers, H. X. Liang, and B. Wetton, *Int. J. Non-Linear Mech.*, **39**, 1239 (2004).  
 [84] R. H. Weiland and S. H. Davis, *J. Fluid Mech.*, **107**, 261 (1981).  
 [85] J. A. Diez, A. G. González, and L. Kondic, *Phys. Fluids*, **21**, 082105 (2009).  
 5 [86] A. Oron, S. H. Davis, and S. G. Bankoff, *Rev. Mod. Phys.*, **69**, 931 (1997).  
 [87] A. A. Darhuber, S. M. Troian, and W. W. Reisner, *Phys. Rev. E*, **64**, 031603 (2001).  
 [88] S. Dietrich, M. N. Popescu, and M. Rauscher, *J. Phys.: Condens. Matter*, **17**, S577 (2005).  
 [89] Blach Vizoso, 1997, US pat. 10736212  
 10 [90] J. Dávila, WO/2007/096443

## DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

**Figura 1:** (a) Técnica de enfocamiento “Flow Focusing” para formar microburbujas en canales [16]. En esta figura, con simetría de revolución, el tamaño de las burbujas es comparable al tamaño del canal de descarga. (b)  
 15 Generación de microburbujas según una de las configuraciones propuestas en esta invención: aquí, una prominencia sólida en forma de cilindro (la figura tiene geometría de revolución) que sobresale del canal de alimentación de gas sirve de soporte para la formación de una corriente de gas. Su tamaño  
 20 característico es del orden del diámetro del cilindro, y las burbujas producidas tienen también un tamaño comparable. En este caso, las burbujas son mucho menores que el tamaño del canal de descarga.

**Figura 2:** (a) Generación de microburbujas según otra de las configuraciones  
 25 propuestas en esta invención. La proyección de la sección principal es igual que la de la Figura 1(a), pero en este caso la geometría es plana (entre dos placas planas paralelas). Obsérvese que en este caso se tienen dos canales de alimentación del líquido. De nuevo, una prominencia sólida con tratamiento hidrófobo que sobresale del canal de alimentación de gas, pero ahora en  
 30 forma de prisma entre las dos paredes, sirve de soporte para la formación de una corriente de gas. Su tamaño característico es del orden de la anchura del prisma, y las burbujas producidas tienen también un tamaño comparable. También en este caso, las burbujas son mucho menores que el tamaño del canal de descarga. (b) Generación de microburbujas según una más de las  
 35 configuraciones propuestas en esta invención. Aquí se tiene sólo un canal de alimentación del líquido. En realidad, se trata de la misma configuración que la anterior (Figura 2(a)), pero reducida a una de las dos mitades simétricas. En

este caso, la prominencia es en realidad un escalón que proviene del canal de alimentación de gas y continúa hasta el canal de descarga, pero el efecto que se produce sigue siendo la generación de microburbujas de tamaño comparable a la altura del escalón, mucho menores que el tamaño del canal. (c) Generación de microburbujas según otra más de las configuraciones propuestas en esta invención. Se utiliza una configuración de canales en T, con la particularidad de que ahora no se tiene ninguna prominencia, sino que un área de la superficie del canal de descarga según se describe en esta invención, con forma alargada en la dirección del canal, sirve de soporte para una corriente de gas o “rivulet” que puede ser inestable y romperse en burbujas al principio o en mitad de la superficie hidrófoba, o estable y formar un cordón continuo a lo largo de la superficie hidrófoba, rompiéndose en burbujas sólo cuando dicho cordón de gas llega al extremo de dicha superficie hidrófoba en la dirección del flujo en el canal de descarga.

15

**Figura 3:** Esquema de la configuración de canales en T. Esta configuración tiene la particularidad de que las variaciones de presión al pasar el líquido por la zona de alimentación de gas son mínimas frente a las otras configuraciones. 1: canal de alimentación del líquido; 2: canal de alimentación del gas; 3: canal de descarga; 4: zona hidrófoba de la superficie interna del canal de descarga.  $Q_l$  y  $Q_g$  son los caudales volumétricos de líquido y gas que circulan por los canales 1 y 2, respectivamente.  $\mu$  y  $\rho$  hacen referencia a la viscosidad y densidad de los fluidos (líquido o gas), y los subíndices “l” o “g” hacen referencia a líquido o gas, respectivamente.  $L$  y  $w$  hacen referencia al tamaño característico de la sección transversal de los canales (1, 2 o 3) y a la anchura de la zona o tira hidrófoba, respectivamente.

20

25

### DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Esta invención hace uso de las diferencias de energía superficial líquido-sólido que se reflejan en el ángulo de contacto estático de un cierto líquido sobre superficies hidrófilas o hidrófobas. Estas diferencias, utilizadas inteligentemente en combinación con una geometría apropiada, se pueden emplear en la estabilización de corrientes gaseosas de pequeñas dimensiones para la generación de microburbujas.

30

Para la determinación de las geometrías más adecuadas de acuerdo con la invención aquí descrita, la experimentación ha demostrado que son necesarias al menos las siguientes condiciones básicas:

- 5 1- Que se dispongan dos canales de alimentación independientes: uno para el gas (primer canal) del que van a estar constituidas las burbujas, y otro (segundo canal) para el medio líquido en el que van a formarse.
- 2- Que ambos canales confluyan en una región común, o zona de descarga, que definirá la sección de descarga del gas cuando ambas fases, líquido y gas, sean alimentadas simultáneamente.
- 10 3- Que se disponga un canal de descarga (tercer canal) que parta de dicha región común, y que finalmente conducirá al líquido con las microburbujas generadas hacia la descarga del dispositivo.
- 4- Que la superficie del primer canal, mojada por el gas, sea fundamentalmente hidrófoba y la del segundo canal, mojada por el líquido, sea hidrófila en las regiones contiguas a la zona de descarga de los canales correspondientes.
- 15 5- Que la superficie interna del tercer canal (o de descarga del dispositivo), sea fundamentalmente hidrófila, pero con una zona hidrófoba en forma alargada, definida a partir del borde de descarga del primer canal, y que continúe hacia dentro del tercer canal. Esta superficie será el soporte para que la corriente de gas discorra sin discontinuidades, desde el primer canal hasta el tercer canal, quedando adherida a la superficie interna de dicho canal en la zona hidrófoba mientras es arrastrada por la corriente de líquido. Finalmente, dicha corriente de gas se romperá en burbujas en algún punto intermedio o al final de la zona hidrófoba dependiendo del flujo relativo entre el líquido y el gas, de la tensión superficial del líquido con el gas, y de las viscosidades del líquido y del gas.
- 20
- 25

Una configuración geométrica que resulta ventajosa es que la zona hidrófoba alargada en el tercer canal o de descarga esté situada sobre una protuberancia o región definida aguas abajo y contigua a la sección de descarga del gas, pero dentro del canal de descarga de las burbujas. Además, la dinámica de la rotura capilar de la corriente de gas en forma de burbujas demanda que la anchura o dimensión transversal de la mencionada región hidrófoba del canal de

descarga de las burbujas sea comparable a la dimensión que se desea para las burbujas.

Finalmente, la experiencia muestra que la región hidrófoba del tercer canal o de descarga que se ha descrito define un canal fluido continuo formado por la interfase líquido-gas, bajo ciertas condiciones de flujo que se van a definir, de manera que el gas puede fluir a lo largo de dicho canal fluido arrastrado por la corriente de líquido, siendo las condiciones de dicho arrastre viscoso las que fundamentalmente establecen el flujo de gas o equivalentemente la frecuencia de formación de las burbujas. Se ha demostrado experimentalmente que la zona hidrófoba descrita puede ser también un área alargada, por ejemplo de forma rectangular y dirigida en la dirección de la corriente a lo largo del tercer canal, sin tener que estar sobre una protuberancia, siempre que se cumplan ciertas condiciones:

- 1- Que dicha zona permita la circulación de gas desde el primer canal de descarga hasta el tercer canal, sin producirse discontinuidades,
- 2- Que dicha zona esté situada justo al borde de la salida del primer canal, que deberá tener una parte final también hidrófoba y que forme una superficie continua con la zona alargada que se está describiendo.

Así, en esta invención se proponen varias configuraciones que cumplen las anteriores condiciones y que deben ser considerados objetos de esta invención englobados en la misma familia conceptual.

En una de las configuraciones descritas en esta invención para producir microburbujas se utiliza una unión en T de canales microfluidicos. Se imprime una tira hidrófoba sobre la superficie del canal que transporta tanto la fase líquida como gaseosa. Bajos ciertas condiciones, se forma un “rivulet” gaseoso a lo largo de la tira. El “rivulet” se rompe aguas abajo dando lugar a una colección monodispersa de microburbujas de tamaño muy inferior al del canal. Este comportamiento recuerda hasta cierto punto al régimen anular encontrado por Wang *et al.* [58]. La técnica propuesta ofrece varias ventajas sobre métodos previos. El “rivulet” constituye un elemento de resistencia viscosa que permite controlar el flujo gaseoso. Este elemento impide que las perturbaciones originadas en la liberación de la burbuja viajen aguas arriba desestabilizando el menisco del que emana el “rivulet”. Debido a que el “rivulet” no puede atascarse, se convierte en un canal anti-bloqueo en el caso de que aparezcan, incrementando la robustez del dispositivo. Finalmente, los caudales de gas y líquido son muy superiores a los alcanzados en las uniones T

en los modos “squeezing” y “bubbling”, y, por lo tanto, las tasas de producción de microburbujas también.

#### **MODO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION**

- 5 Las configuraciones descritas en las Figuras 2 y 3 pueden ser construidas en PDMS (polidimetilsiloxano o silicona), u otro material polimérico, así como en metal o cerámica. La longitud característica  $L$  o ancho de los canales puede ser desde 1 micra a 1 centímetro, aunque normalmente dichos canales tienen anchuras del orden de 100 micras.
- 10 Por otro lado, el ancho  $w$  de la tira hidrófoba o de la zona prominente de cualquiera de las configuraciones de esta invención puede ser entre 0.5 micras y 50 mm, siempre que se cumpla que  $w < L$ .

## REIVINDICACIONES

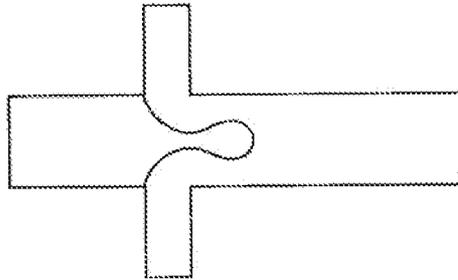
- 1- Procedimiento y dispositivo para la generación de burbujas cuyo diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro, caracterizado por que
- 5 a. el gas que constituye las burbujas es descargado a través de un primer canal cerrado o tubo capilar con una anchura entre 0.1 micra y 1 centímetro;
- b. el líquido en el cual se van a formar las burbujas se alimenta desde al menos otro segundo canal cerrado con una anchura
- 10 entre 0.1 micra y 1 centímetro, independiente del primero, de forma que la corriente de líquido descargado por dicho segundo canal intercepta la corriente de gas descargada por el primer canal;
- c. las corrientes de líquido y de gas son recogidas en un tercer canal o tubo capilar de descarga, con una anchura entre 0.1
- 15 micra y 1 centímetro, siendo hidrófila la superficie interna de dicho canal;
- d. el tercer canal o tubo capilar de descarga tiene tratada hidrófobamente una zona de su superficie interna al principio de dicho canal y en la dirección de la descarga, de forma que
- 20 el gas descargado desde el primer canal se adhiere a dicha zona hidrófoba sin pérdida de continuidad con la corriente de gas que proviene de dicho primer canal;
- e. el gas adherido a la zona hidrófoba es arrastrado por el
- 25 líquido hasta que se produce la rotura de dicha corriente de gas en forma de burbujas, ya dentro del tercer canal de descarga, y las burbujas son transportadas por el líquido y descargadas con él.
- 2- Procedimiento y dispositivo para la generación de burbujas cuyo
- 30 diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro según la reivindicación 1, caracterizado por que la zona del tercer canal de descarga tratada hidrófobamente es una prominencia sólida en la dirección del flujo de gas y de tamaño característico transversal menor o igual que la longitud característica más pequeña de dicha
- 35 sección de descarga.
- 3- Procedimiento y dispositivo para la generación de burbujas cuyo diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro según las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por que la prominencia sólida

está constituida por el extremo de un elemento cilíndrico o prismático que partiendo del interior del canal de descarga de gas, sobresale de éste y se introduce en el tercer canal.

- 5 4- Procedimiento y dispositivo para la generación de burbujas cuyo diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro según las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por que la prominencia sólida es un elemento cilíndrico o prismático que comienza a la salida del canal de descarga de gas y se introduce en el tercer canal.
- 10 5- Procedimiento y dispositivo para la generación de burbujas cuyo diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro según las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por que la prominencia sólida empieza en el borde del canal de descarga de gas y se introduce en el tercer canal.
- 15 6- Procedimiento y dispositivo para la generación de burbujas cuyo diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro según la reivindicación 1, caracterizado por que la zona hidrófoba de la superficie interna del tercer canal está definida en la misma pared interior de dicho canal a partir del borde del primer canal y es alargada en la dirección de la corriente de líquido, y su anchura característica es menor que el diámetro o anchura de dicho tercer canal.
- 20 7- Procedimiento y dispositivo para la generación de burbujas cuyo diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro según las reivindicaciones 1 y 6, caracterizado por que la zona hidrófoba de la superficie interna del tercer canal es una banda rectangular definida en la misma pared interior de dicho canal a partir del borde del primer canal, en la dirección de la corriente de líquido, con un ancho menor que el diámetro o anchura de dicho tercer canal, y una longitud de al menos el doble del ancho.
- 25 8- Procedimiento y dispositivo para la generación de burbujas cuyo diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro según las reivindicaciones 1, 6 y 7, caracterizado por que el gas arrastrado por la corriente de líquido forma una corriente continua de gas con forma de bóveda aproximadamente cilíndrica adherida a la superficie hidrófoba rectangular, y que finalmente se rompe en burbujas al extremo de dicha superficie hidrófoba en la dirección del flujo.
- 30
- 35

- 5 9- Procedimiento y dispositivo para la generación de burbujas cuyo diámetro es entre 1 nanómetro y 1 centímetro según las reivindicaciones 1, 6, 7 y 8, caracterizado por que el gas arrastrado por la corriente de líquido forma una corriente continua de gas con forma de bóveda aproximadamente cilíndrica adherida a la superficie hidrófoba rectangular, de modo que el ángulo de contacto que forma el líquido que rodea dicha corriente en el lado más largo de la zona hidrófoba rectangular es mayor de  $\pi/2$  radianes.

(a)



(b)

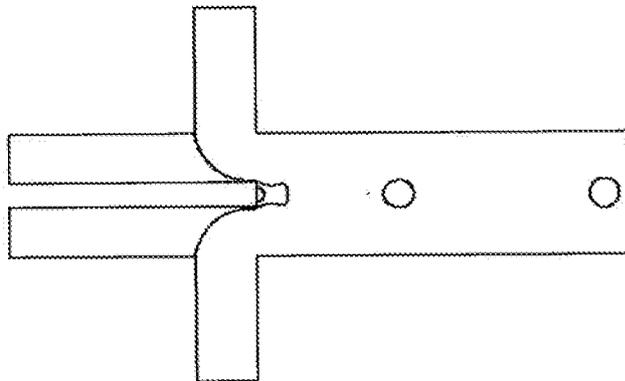
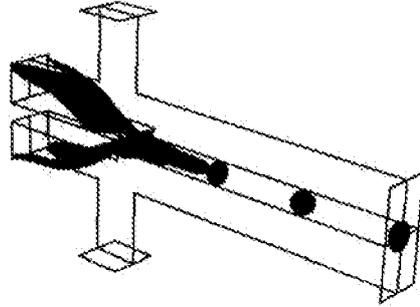
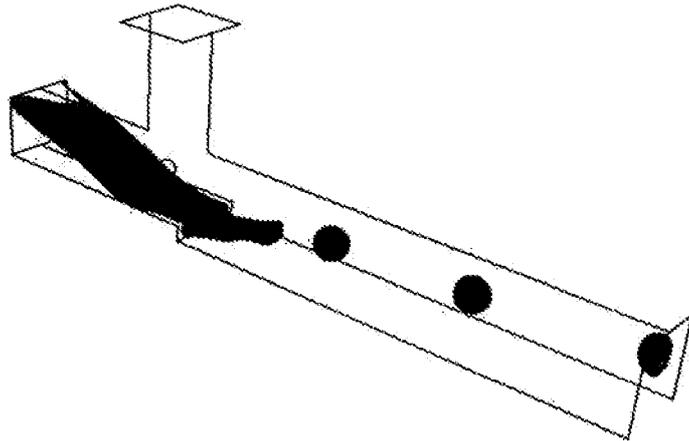


Figura 1

(a)



(b)



(c)

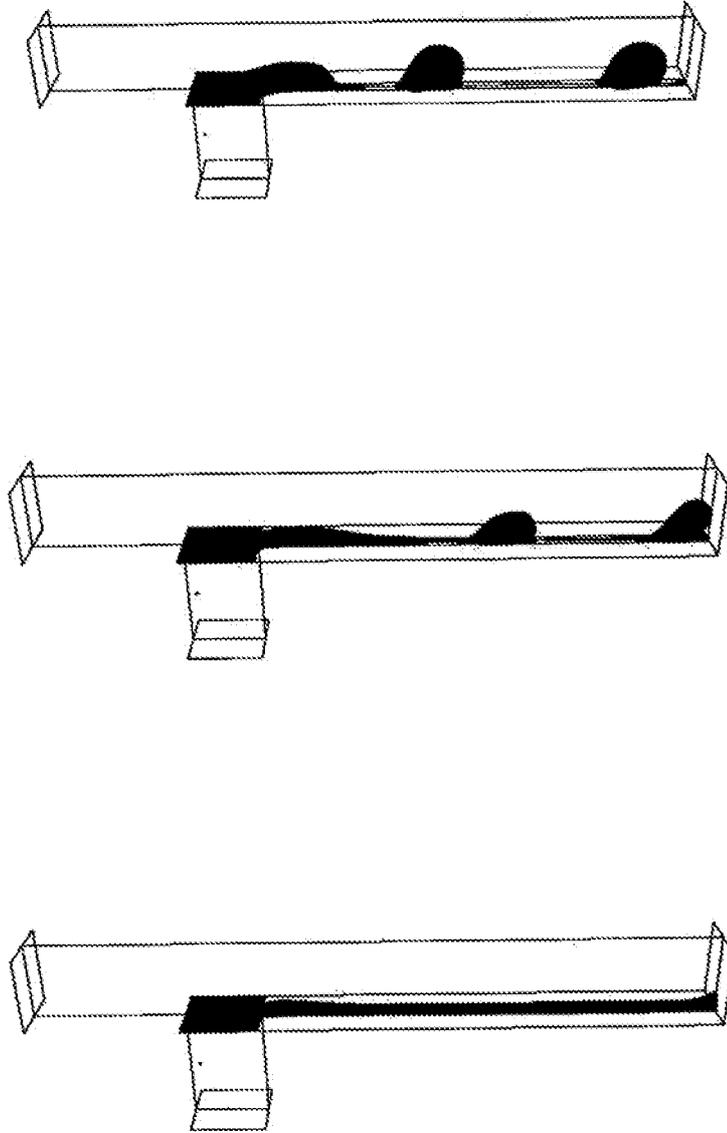


Figura 2

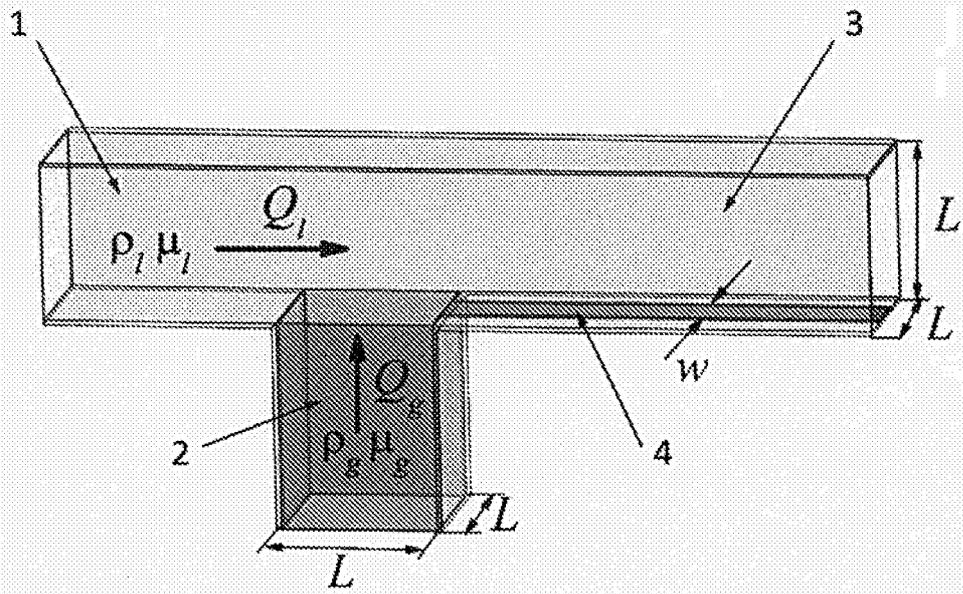


Figura 3



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

21 N.º solicitud: 201300494

22 Fecha de presentación de la solicitud: 10.05.2013

32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

5 Int. Cl.: **B01J13/02** (2006.01)  
**B01J2/02** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	WO 2008119945 A2 (UCL BUSINESS PLC et al.) 09.10.2008, página 9, línea 1 – página 13, línea 27.	1-9
A	ARAKAWA, T. et al. "Micro-bubble formation with organic membrane in a multiphase microfluidic system". SENSORS AND ACTUATORS A, 20080320 ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH 20.03.2008 VOL: 143 No: 1 Págs: 58-63 ISSN 0924-4247.	1-9
A	DRENCKHAN W et al. "Monodisperse foams in one to three dimensions". CURRENT OPINION IN COLLOID AND INTERFACE SCIENCE, 20101001 LONDON, GB 01.10.2010 VOL: 15 No: 5 Págs: 341-358 ISSN 1359-0294.	1-9

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 nº:

Fecha de realización del informe  
26.12.2013

Examinador  
B. Aragón Urueña

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B01J

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, XPESP

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 26.12.2013

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-9	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-9	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	WO 2008119945 A2 (UCL BUSINESS PLC et al.)	09.10.2008
D02	ARAKAWA, T. et al. "Micro-bubble formation with organic membrane in a multiphase microfluidic system". SENSORS AND ACTUATORS A, 20080320 ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH 20.03.2008 VOL: 143 No: 1 Págs: 58-63 ISSN 0924-4247.	20.03.2008
D03	DRENCKHAN W et al. "Monodisperse foams in one to three dimensions". CURRENT OPINION IN COLLOID AND INTERFACE SCIENCE, 20101001 LONDON, GB 01.10.2010 VOL: 15 No: 5 Págs: 341-358 ISSN 1359-0294.	01.10.2010

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

El objeto de la presente invención es un procedimiento y dispositivo para la generación de microburbujas.

El documento D01 divulga un procedimiento y aparato para la generación de microburbujas que comprende un primer canal en el que se descarga el gas que constituye las burbujas, un segundo canal en el que se alimenta el líquido en el cual se van a formar las burbujas y un tercer canal en el que se recogen las corriente de líquido y de gas (ver reivindicación 1).

El documento D02 divulga un sistema para la generación de microburbujas que consiste en la confluencia de un canal para el gas y un canal para la inyección de una fase orgánica.

El documento D03 divulga la generación de espumas monodispersas tomando de referencia las técnicas para la formación de burbujas en las que se inyectan el gas y el líquido de manera simultánea en canales hidrofílicos.

Ninguno de los documentos citados muestra un procedimiento ni dispositivo para la generación de burbujas con un tercer canal para la recogida de las corriente líquidas y gaseosas provenientes de otros canales que se encuentre tratada hidrofóticamente tal y como se recoge en la reivindicación 1. Por tanto, las reivindicaciones 1-9 recogidas en la solicitud son nuevas y tienen actividad inventiva (Art. 6 y 8 Ley Patentes).