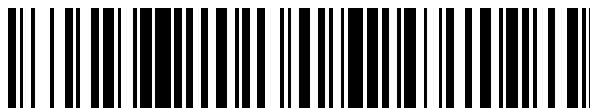


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 578 283**

21 Número de solicitud: 201630521

51 Int. Cl.:

B01F 3/04 (2006.01)

B01F 5/04 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

25.04.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

22.07.2016

Fecha de la concesión:

14.12.2016

45 Fecha de publicación de la concesión:

21.12.2016

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD DE JAÉN (85.0%)
Campus las Lagunillas, S/N
23006 Jaén (Jaén) ES y
UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (15.0%)

72 Inventor/es:

MARTÍNEZ BAZÁN, Carlos;
GUTIÉRREZ MONTES, Cándido;
BOLAÑOS JIMÉNEZ, Rocío;
RUIZ RUS, Javier;
JIMÉNEZ GONZÁLEZ, José Ignacio;
CANO LOZANO, José Carlos;
LORITE DÍEZ, Manuel y
SEVILLA SANTIAGO, Alejandro

54 Título: **Sistema y procedimiento para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo**

57 Resumen:

La invención describe un sistema (10) y procedimiento para generar microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo, donde el sistema (10) comprende: un dispositivo (1) de co-flujo que comprende un canal (2) de fluido interior; y al menos un canal (3) de fluido exterior, donde el canal (3) de fluido exterior presenta una configuración de co-flujo con respecto del canal (2) de fluido interior, y donde dicho canal (3) de fluido exterior rodea sustancialmente el canal (2) de fluido interior; y un medio (14) de forzado conectado al canal (2) de fluido interior o al canal (3) de fluido exterior del dispositivo (1) de co-flujo, donde dicho medio (14) de forzado está configurado para proporcionar una variación periódica alrededor de su valor medio en el caudal de fluido a través de uno de entre dicho canal (2) interior o dicho canal (3) exterior.

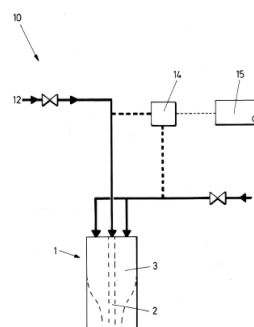


FIG.1

ES 2 578 283 B2

DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención pertenece al campo de la mecánica de fluidos, y más particularmente a los dispositivos empleados para la generación de microburbujas.

10

Un primer objeto de la presente invención es un nuevo sistema para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo que permite controlar la frecuencia de generación de las microburbujas mediante la modulación del caudal de uno de los fluidos.

15

Un segundo objeto de la presente invención es un procedimiento asociado al sistema anterior.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20

La generación de burbujas de tamaño micrométrico y nanométrico ha atraído una gran atención en los últimos tiempos debido a que presentan una gran relación superficie-volumen, una alta solubilidad en un líquido acuoso, una baja velocidad de ascenso [Zimmerman et al., 2013], y una auto-presurización inducida por la tensión superficial. Es por ello que pueden mejorar el intercambio gaseoso entre las fases de líquido y gas o potenciar fenómenos de transporte [Bird et al. 2007]. Asimismo, las microburbujas presentan oportunidades singulares y especiales como poder ser excitadas foto-acústicamente [Ashkin, 1997; Lauterborn y Kurz, 2010] o poder ser utilizadas como sensores o marcadores [Tremblay-Darveau et al., 2014]. Por todo lo anterior, la aplicación de las burbujas de tamaño micrométrico está presente en numerosos procesos industriales, tales como los propios de la biomedicina [Liu et al., 2006], procesamiento de alimentos, reactores de gas-líquido, o la generación de espumas, entre otros, así como en muchas áreas de la ciencia, por ejemplo en el estudio de líquidos con burbujas. La eficiencia de los procesos anteriores depende en gran medida de la utilización de burbujas de tamaños controlables. Sin embargo, la formación controlada de burbujas dentro de las escalas micrométricas representa un objetivo muy difícil de conseguir en la actualidad. En este punto, la generación

35

de burbujas clásica por medio de la inyección de gas a través de un orificio o una boquilla [Davidson y Schuler, 1960, Ramakrishnan et al., 1968, Marmur y Rubin, 1970, Kumar y Kuloor, 1976, Longuet-Higgins et al., 1991, Oguz y Prosperetti, 1993 y Bolaños-Jiménez et al., 2008] está limitada a caudales pequeños y los volúmenes mínimos conseguibles al volumen de Fritz (el conseguido mediante un balance entre la gravedad y la tensión superficial).

En las últimas décadas se han propuesto técnicas y dispositivos alternativos, muchos de ellos basados en la introducción de fuerzas externas adicionales para facilitar el desprendimiento de burbujas. MacIntyre (1967), o posteriormente otros investigadores como Vejrazka et al. (2008), proponen el control de la frecuencia y tamaño de las burbujas a través de la vibración de la aguja inyectora. Además, Ohl (2001), y más tarde Tomiyama et al. (2002), exploraron la inyección intermitente de los flujos para controlar el desprendimiento de las burbujas. Del mismo modo, Kariyasaki y Ousaka (2001) Sanada (2005), Najafi et al. (2008) o Shirota et al. (2008) estudiaron el proceso de formación mediante la variación de la presión de alimentación. Sin embargo, las técnicas antes mencionadas no son adecuadas para la producción masiva de microburbujas, ya que están limitadas en tamaño de burbuja y frecuencia de producción.

Por otro lado, el uso de agitadores [Kawecki, 1967], mezcladores de orificios [Unno y Inoue 1980], mezcladores multi-fluidos [Sadatomi et al. 2012] o inyectores Venturi [Yin et al. 2015] proporciona producciones masivas de burbujas de pequeño tamaño. Sin embargo, estas técnicas presentan inconvenientes, como la falta de generación de burbujas monodispersas, ya que se obtiene una distribución de burbujas de diferentes tamaños, o el control de la frecuencia de burbujeo, entre otros.

La producción masiva de microburbujas con diámetros en el rango de 1 a 10 micras también es posible a través de insonación [Makuta et al. 2006] o agitación mecánica [J. Ellenberger y R. Krishna 2002], pero estas técnicas proporcionan burbujas polidispersas.

En los últimos años, la producción de pequeñas burbujas se ha logrado por medio de métodos y dispositivos tecnológicamente muy avanzados y sofisticados, conocidos como dispositivos nano y microfluídicos, cuyo uso está fundamentado por el control del proceso de producción que los mismos proporcionan. En este punto, los dispositivos denominados de T-junction (unión en T) [P. Garstecki, et al. 2006, Fu y Ma, 2015] o flow-focusing (concentración de flujo) [Gordillo et al. 2004, Gastecki et al 2004], proporcionan burbujas

casi monodispersas del orden de un micrómetro [Castro-Hernández et al. 2011, Kobayashi et al. 2007, Malloggi et al. 2009]. Sin embargo, estos dispositivos son complejos y muy costosos de fabricar, lo que limita su uso. Además, estas técnicas proporcionan relaciones de volumen y frecuencia que dependen de las condiciones de flujo, no siendo posible el control independiente de las últimas características. En este sentido, recientemente, Hoeve et al. (2015), patente WO2013141695 A1, han propuesto un método para producir microburbujas monodispersas de diámetros inferiores a 10 μm . La técnica de emulsificación por microcanal [Yasuno et al. 2004] ha sido también estudiada para formar burbujas de gas microscópicas. Además, Stoffel et al. (2012) han diseñado y caracterizado recientemente un generador de burbujas micrométricas, que permite el control de la frecuencia y del volumen de la burbuja de manera independiente y produce burbujas monodispersas en un canal en paralelo. Sin embargo, con este dispositivo se logra la formación de burbujas monodispersas cuando se usa únicamente un canal, mientras que se observa polidispersión cuando se utilizan todos los canales, fundamentalmente a causa del acoplamiento entre los generadores. Además, estos dispositivos están limitados también por la relación de viscosidad de los fluidos considerados.

Las técnicas comentadas anteriormente se han traducido en un número significativo de patentes, que presentan las características ya mencionadas. Por ejemplo, a principios de los 90, la US005122312 (1992) propuso un sistema de inyección en la configuración de un inyector de burbujas modificado, combinando el flujo de líquido que proporciona el arranque de las burbujas (como en US3545731A (1970)), pero que presenta algunos inconvenientes como la coalescencia de las burbujas en otras más grandes. Este tipo de dispositivos tampoco son capaces de generar un número suficiente de burbujas ni las que se generan son monodispersas. Además, se requiere el uso de orificios ultrafinos o de tamaño de micras para producir microburbujas. Por otro lado, la patente US2006 / 0284325A1 (2006) propone un microdispositivo basado en la inyección y dispersión de un gas a través de un cuerpo poroso en un líquido, lo que implica el uso de poros extremadamente pequeños, y por lo tanto muy complicado de construir. Además, el control de las burbujas producidas tampoco es posible con este método. En este sentido, se han patentado dispositivos basados en la técnica de flow-focusing, tal como en US006116516A (2000) o el más reciente WO2013141695 A1, que también se consideran microdispositivos, con su consiguiente complejidad constructiva.

La electrólisis es usada en US006689262B2 (2004), lo cual limita los fluidos y soluciones de trabajo, así como impide la selección del gas. En el documento US 7338551B2 (2008), se

usa el fenómeno de cavitación para generar burbujas, pero de nuevo sin proporcionar burbujas monodispersas y no siendo posible regular completamente el gas utilizado. Por último, en US8186653B2 (2012), se propone un aparato de generación de burbujas pequeñas que reduce el tamaño de las mismas usando para su rotura la cortadura proporcionada por un flujo con giro generado a tal fin. Sin embargo, el dispositivo genera burbujas de tamaño de micra polidispersas.

En conclusión, existe una falta de un sistema, distinto, más sencillo y barato de la utilización de microdispositivos, simple de construir y capaz de generar microburbujas monodispersas y que proporcione el control independiente del volumen de las burbujas y la frecuencia de formación.

El uso de una configuración de co-flujo constituye una alternativa a todos los métodos y técnicas descritas anteriormente para generar de manera masiva burbujas pequeñas [Gordillo et al. 2001, Sevilla et al. 2002, Gordillo et al. 2004, Sevilla et al. 2005, Gordillo et al. 2007, Bolaños-Jiménez et al. 2011, Gutiérrez-Montes et al. 2013, Gutiérrez-Montes et al. 2014]. Además, estos tipos de dispositivos son simples de construir. Sin embargo, el tamaño y la frecuencia de las burbujas se limitan a un tamaño de decenas/cientos de micras y unos cientos de hercios, respectivamente. Asimismo, el control individual y preciso del volumen de la burbuja y la frecuencia de formación no se consigue plenamente.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención resuelve los problemas descritos, al permitir obtener microburbujas monodispersas de un modo mucho más sencillo que los sistemas descritos en los documentos de la técnica anterior. Además, esta invención proporciona un control completo del proceso de formación, lo que permite seleccionar de manera independiente la frecuencia de generación de las microburbujas y el tamaño de las burbujas generadas. Esto constituye una gran ventaja con relación a los sistemas descritos en los documentos anteriores.

En este documento, el término “*fluido en fase dispersa*” hace referencia al fluido suministrado por el canal interior del dispositivo de co-flujo, que constituirá la fase dispersa al quedar alojado en el seno del fluido en fase continua en forma de microburbujas, mientras que el término “*fluido en fase continua*” hace referencia al fluido suministrado por el, al menos, un canal exterior del dispositivo de co-flujo, que constituirá la fase continua al quedar en el exterior de las microburbujas generadas.

En este documento, el término “*dispositivo de co-flujo*” hace referencia un dispositivo dotado de un canal de fluido interior y, al menos, un canal de fluido exterior donde dichos canales están dispuestos esencialmente en paralelo, de tal modo que a la salida de los mismos se generan dos corrientes de fluido en disposición de co-flujo. De este modo, la corriente de fluido interior descarga en el seno de la corriente de fluido exterior.

En este documento, la expresión “*el canal de fluido exterior rodea sustancialmente el canal de fluido interior*” hace referencia a que el canal exterior rodea completamente todo el canal interior, o bien que rodea casi la totalidad de dicho canal interior con excepción de unas zonas muy pequeñas con relación al perímetro total del canal interior. Este concepto quedará más claro más adelante a partir de la descripción de las posibles configuraciones geométricas del dispositivo de la invención.

Un primer aspecto de la invención está dirigido a un sistema para para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo que comprende fundamentalmente dos elementos:

a) Un dispositivo de co-flujo, que a su vez comprende:

- Un canal de fluido interior para un fluido en fase dispersa.

- Al menos un canal de fluido exterior para un fluido en fase continua, donde el canal de fluido exterior presenta una configuración de co-flujo con respecto del canal de fluido interior, y donde dicho canal de fluido exterior rodea sustancialmente el canal de fluido interior.

b) Un medio de forzado conectado al canal de fluido interior o al canal de fluido exterior del dispositivo de co-flujo, donde dicho medio de forzado está configurado para proporcionar una variación periódica alrededor de su valor medio en el caudal de fluido que pasa a través de uno de entre dicho canal interior o dicho canal exterior.

El canal de fluido interior y el canal de fluido exterior del dispositivo de co-flujo pueden estar implementados mediante sendas paredes delgadas esencialmente paralelas, como se verá más adelante en este documento, de modo que los dos fluidos entrarán en contacto en el

extremo de salida del canal interior que se interpone entre ambos. Para operar este sistema, basta con suministrar un fluido en fase dispersa al fluido de co-flujo a través del canal interior y un fluido en fase continua a través de al menos un canal exterior, aplicando una variación periódica de caudal alrededor de su valor medio a uno de los dos fluidos.

5

En efecto, los inventores de la presente solicitud han descubierto que la adición de una oscilación en el caudal de uno de entre los dos fluidos que recorren los canales respectivamente interior o exterior del dispositivo de co-flujo, hace que la interacción a la salida del canal interior entre la corriente del fluido en fase dispersa y la, al menos, una corriente del fluido en fase continua provoque la generación de microburbujas a una frecuencia que coincide con la frecuencia de las oscilaciones del caudal, y cuyo tamaño depende del caudal de primer fluido por el canal interior. Por lo tanto, controlando al menos el caudal del primer fluido que pasa por el canal interior y la frecuencia de las oscilaciones aplicadas al caudal de uno de los dos fluidos, se puede controlar el tamaño y frecuencia de las microburbujas de forma independiente.

15

Esto contrasta con las características de los métodos de generación en co-flujo tradicionales (sin medio de forzado), donde el diámetro y frecuencia de la microburbujas se controla a través de variaciones de los caudales del fluido en fase continua y en fase dispersa. Más concretamente, en los métodos de generación tradicionales cuanto menor es la relación caudal de fase continua/fase dispersa, mayor es la frecuencia de formación de las microburbujas obtenida, de modo que el volumen queda determinado por la relación entre el caudal de fase dispersa y la frecuencia de formación de las burbujas determinada de forma natural. Al incorporar al sistema de la presente invención un medio de forzado para modificar periódicamente el caudal de uno de los dos fluidos alrededor de un valor, se induce la aparición de fenómenos adicionales que modifican los espesores de las corrientes, gobernando el proceso de formación de las microburbujas para amplitudes de la modulación suficientemente grandes. Esto permite conseguir que la frecuencia de generación de las microburbujas sea la impuesta por el medio de forzado. Gracias a ello, se puede controlar de manera independiente tanto el tamaño de las microburbujas como la frecuencia de generación de las mismas.

25

30

En principio, el canal de fluido interior y el canal de fluido exterior del dispositivo de co-flujo pueden presentar cualquier geometría siempre que cumpla con las características mencionadas anteriormente. Por ejemplo, en una realización preferida de la invención, la geometría del dispositivo de co-flujo se elige de entre las siguientes: plana, cilíndrica, anular,

35

y poliédrica.

En este contexto, un dispositivo de co-flujo de configuración plana hace referencia de manera general a un dispositivo de co-flujo esencialmente con forma de paralelepípedo donde una dimensión de la sección transversal de los canales interior y exterior es mucho mayor que la dimensión perpendicular a la misma. En un caso particular de la configuración plana cada sección transversal de los canales interior y exterior está delimitada por líneas rectas, en cuyo caso la sección transversal de los canales interior y exterior tendrá forma rectangular. Sin embargo, son posibles otras formas alternativas de esta configuración plana, como se detallará más adelante. Un dispositivo de co-flujo de configuración cilíndrica se refiere en general a un dispositivo de co-flujo donde la sección transversal del canal interior es circular y el canal exterior rodea exteriormente al canal interior. Un dispositivo de co-flujo de configuración anular se refiere en general a un dispositivo de co-flujo donde la sección transversal del canal interior es anular y el canal exterior rodea interior y exteriormente al canal interior. Un dispositivo de co-flujo de configuración poliédrica se refiere en general a un dispositivo de co-flujo donde la sección transversal del canal interior es poliédrica y el canal exterior rodea exteriormente al canal interior.

De este modo, volviendo a la definición de la expresión “*el canal de fluido exterior rodea sustancialmente el canal de fluido interior*”, cuando el dispositivo de co-flujo de la invención tiene una configuración cilíndrica, el canal exterior rodea completamente el canal interior. Alternativamente, cuando el dispositivo de co-flujo de la invención tiene una configuración plana, existen dos canales exteriores de sección transversal rectangular con una dimensión mucho mayor que la otra que encierran a modo de sándwich el perímetro de la sección transversal del canal interior de fluido de fase dispersa, cuya sección transversal también es rectangular con una dimensión mucho más larga que la otra. Por lo tanto, en este caso los dos canales exteriores rodean casi completamente el canal interior excepto por las dos paredes laterales del canal interior de fluido de fase dispersa. El caso más genérico de la configuración poliédrica podría combinar o ajustarse a alguna de las características antes mencionadas.

En cuanto al extremo de salida de los canales, de acuerdo con una realización preferida de la invención el extremo de salida del canal interior tiene una dimensión transversal menor que 1 mm y el extremo de salida del canal exterior tiene una dimensión transversal menor que 3 mm.

En este contexto, el término “*dimensión transversal*” referido al extremo de salida del canal interior hace referencia a su diámetro hidráulico, en un dispositivo de co-flujo de configuración cilíndrica o similar, o bien a la anchura de su lado corto, en un dispositivo de co-flujo de configuración plana. Por su parte, la “*dimensión transversal*” referida al extremo de salida del, al menos, un canal exterior hace referencia a la diferencia entre su diámetro hidráulico y el diámetro hidráulico del canal interior sumado al espesor de la pared separadora, en un dispositivo de co-flujo de configuración cilíndrica o similar, o bien a la anchura del lado corto de uno de los dos canales, en un dispositivo de co-flujo de configuración plana. Es decir, para un dispositivo de co-flujo de configuración cilíndrica, la dimensión transversal del canal interior es el diámetro hidráulico del canal interior, y la dimensión transversal del canal exterior es la diferencia entre su diámetro hidráulico y el diámetro hidráulico del canal interior sumado al espesor de la pared separadora. Para un dispositivo de co-flujo de configuración plana, la dimensión transversal del canal interior es la anchura del lado corto del canal interior y la dimensión transversal del canal exterior es la anchura del lado corto de uno de los dos canales exteriores.

En otra realización preferida de la invención, el canal de fluido exterior tiene una sección transversal que puede ser constante o bien disminuir en dirección al extremo de salida. En el caso de una disminución de la sección transversal, que puede responder a diferentes geometrías, tiene el objeto de reducir al mínimo las pérdidas de presión, garantizar unas condiciones de suministro estables, así como un perfil de velocidades del fluido en fase continua controlado. Por ejemplo, la sección transversal puede disminuir en la zona cercana al extremo de salida del canal exterior a través de una boquilla en forma de tobera, mediante paredes planas, u otras formas. También se contempla una sección transversal de fluido exterior constante a lo largo de la dirección del flujo. En cualquier caso, preferentemente la geometría del canal exterior es simétrica con respecto del eje del dispositivo de co-flujo (configuración cilíndrica o similar) o plano central del dispositivo de co-flujo (configuración plana).

En otra realización preferida de la invención, el extremo de salida del canal de fluido exterior sobresale longitudinalmente con relación al extremo de salida del canal de fluido interior. Esto permite mejorar el direccionamiento del flujo con el propósito de obtener un efecto más eficaz de la modulación conseguida a través del medio de forzado, que se describirá más adelante. Alternativamente, el extremo de salida del canal de fluido interior puede sobresalir longitudinalmente con relación al extremo de salida del canal o canales de fluido exterior para favorecer la rotura de las microburbujas y por tanto variar la frecuencia de formación de

las mismas.

Además, en otra realización preferida de la invención la dirección del extremo de salida del canal de fluido exterior está orientada hacia el eje o plano de simetría del dispositivo de co-flujo. De ese modo, se induce una componente transversal de la velocidad del fluido en fase continua y así se facilita la rotura de la corriente interior de fluido en fase dispersa en microburbujas.

Por otra parte, en una realización preferida de la invención, el canal de fluido interior tiene una sección transversal esencialmente constante. En cuanto a su longitud, debe ser lo suficientemente grande como para asegurar un control completo sobre la velocidad del flujo y unas condiciones preferentes de régimen laminar. Además, preferentemente la sección de salida del canal de fluido interior puede presentar una sección transversal decreciente para uniformizar el perfil de velocidad del fluido en fase dispersa a la salida del canal interior y, de esta forma, poder alterar el proceso de formación de microburbujas.

En otra realización preferida más de la invención, las paredes que delimitan el canal de fluido interior tienen un espesor en la salida de menos de 0,5 mm. Estas paredes pueden fabricarse de cualquier material o mezcla de materiales siempre que el punto de anclaje de la entrefase de ambos fluidos esté perfectamente controlado.

Preferentemente, el perfil del borde de la pared del extremo de salida del canal de fluido interior del dispositivo de co-flujo tiene una forma que se elige entre: curvilínea en dirección exterior-interior, recta en dirección exterior-interior, plana, redondeada y poligonal. Cada una de estas formas particulares tendrá un efecto determinado sobre la entrefase entre el fluido interior y el fluido exterior, como por ejemplo la variación de las amplitudes de la modulación necesarias para controlar el proceso, la variación de los espesores locales de las diferentes corrientes o, en general, las condiciones del flujo de salida y, por ende, la frecuencia. Esto último se consigue mediante la variación de la posición relativa de la entrefase de ambos fluidos en la salida. Por ejemplo, en el caso de un borde de salida en arista viva, se favorece que la entrefase de ambos fluidos se fije en el borde exterior.

Adicionalmente, la invención contempla la posibilidad de que la geometría de las paredes de los canales de fluido presente diferentes formas de actuación sobre la dinámica del flujo. Por ejemplo, en una realización preferida de la invención dirigida a un dispositivo de co-flujo de configuración plana o anular, los extremos de salida del canal de fluido interior y el canal de

fluido exterior pueden comprender ondulaciones configuradas para inducir inestabilidades en la dirección transversal que provoquen la rotura de la corriente del fluido en fase dispersa en esta dirección. Como se apreciará con mayor detalle en las figuras, estas ondulaciones pueden estar dispuestas en un plano esencialmente paralelo a la dirección de la corriente de los fluidos, o bien en un plano esencialmente perpendicular a la dirección de la corriente de los fluidos.

En otra realización preferida más de la invención, en un dispositivo de co-flujo que tiene una configuración plana el canal interior puede estar dividido en una pluralidad de sub-canales paralelos de fluido en fase dispersa y una pluralidad de sub-canales paralelos de fluido en fase continua dispuestos de forma alterna. Esta configuración permite incrementar considerablemente el número de burbujas generadas.

En cuanto al medio de forzado, en principio puede ser de cualquier tipo siempre que permita modificar periódicamente el caudal de la línea de fluido en cuestión alrededor de su valor medio. Por ejemplo, puede tratarse de una bomba de desplazamiento positivo, como una bomba de jeringa, capaz de generar un caudal variable, conectada a la primera o la segunda línea de fluido. Alternativamente, puede utilizarse un recipiente de volumen periódicamente variable dispuesto en la primera o la segunda línea de fluido. Este recipiente puede tener una superficie móvil cuya posición pueda controlarse a través de un actuador mecánico, dinámico o acústico.

En cualquiera de los casos, el sistema también puede comprender un controlador conectado al medio de forzado para permitir al usuario regular la frecuencia y la amplitud de las variaciones periódicas de caudal generadas.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se describe un método para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo por medio de un dispositivo de co-flujo que comprende un canal de fluido interior para un fluido en fase dispersa, y al menos un canal de fluido exterior para un fluido en fase continua dispuesto en configuración de co-flujo con respecto del canal de fluido interior, donde el canal de fluido exterior rodea sustancialmente el canal de fluido interior. Este método comprende fundamentalmente:

- a) Suministrar un primer fluido al canal de fluido interior. Este primer fluido será el fluido en fase dispersa, que a la salida del dispositivo quedará encerrado en el

interior de las microburbujas.

b) Suministrar un segundo fluido al canal de fluido exterior. Se trata del fluido en fase continua que contendrá las microburbujas generadas en su interior.

5

c) Modificar el caudal de uno de entre el primer fluido y el segundo fluido de modo que varíe periódicamente alrededor de su valor medio.

Como se ha descrito con anterioridad en este documento, la oscilación del caudal de uno de los dos fluidos que recorren los canales respectivamente interior y exterior provocará la aparición de microburbujas a una frecuencia que coincide con la frecuencia de las oscilaciones del caudal y cuyo tamaño depende del caudal de primer fluido por el canal interior. Por tanto, si se modifica la frecuencia de variación del caudal que varía periódicamente, se consigue controlar la frecuencia de generación de microburbujas. Por otro lado, si se modifica el caudal del primer fluido que pasa por el canal interior, se consigue controlar el tamaño de las microburbujas.

En una realización preferida de la invención, el primer fluido es un gas. En otra realización preferida de la invención, el segundo fluido es un líquido, que además puede contener una sustancia surfactante con el propósito de estabilizar las burbujas formadas por medio de la formación de una capa de revestimiento en su superficie que garantice que éstas perduran en el tiempo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

25

La Fig. 1 muestra un diagrama esquemático de un sistema para la generación de microburbujas monodispersas que comprende un dispositivo según la invención.

La Figs. 2a y 2b muestran respectivamente una vista parcial de un dispositivo de co-flujo según la invención de configuración plana y una vista parcial de un dispositivo según la invención de configuración cilíndrica.

Las Figs. 3a, 3b y 3c muestran respectivamente un dispositivo de co-flujo según la invención donde el extremo de salida del canal exterior sobresale con respecto del canal interior con sección constante, un dispositivo de co-flujo según la invención donde el extremo de salida del canal exterior sobresale con respecto del canal interior con sección decreciente, y un

dispositivo de co-flujo según la invención donde el canal interior sobresale con respecto del canal exterior.

5 La Fig. 4 muestra un dispositivo de co-flujo según la invención donde las paredes del canal exterior no son paralelas con relación al eje central del dispositivo, y por tanto la corriente de fluido en fase continua presenta una componente transversal no nula hacia el eje en la salida.

10 Las Figs. 5a y 5b muestran dos ejemplos de secciones de extremo de un canal interior que presentan sendos estrechamientos de diferentes formas, alternativas a la sección constante.

La Fig. 6 muestra diferentes formas del perfil de la pared que constituye el extremo de salida del canal interior.

15 Las Fig. 7a y 7b muestran un dispositivo de co-flujo de configuración plana según la invención cuyo extremo de salida de los canales interior y exterior comprende oscilaciones respectivamente en un plano paralelo a la corriente y en un plano perpendicular a la corriente.

20 La Fig. 8 muestra un dispositivo de co-flujo de configuración plana según la invención cuyo canal interior está dividido en una pluralidad de sub-canales paralelos individuales.

La Fig. 9 muestra un gráfico que representa las variaciones temporales de presión en el fluido de fase dispersa cuando no se aplica forzado.

25 La Fig. 10 muestra un gráfico que representa las variaciones temporales de presión en el fluido de fase dispersa cuando se aplica forzado, reflejando el control de la frecuencia de formación y la monodispersión de las burbujas producidas.

30 La Fig. 11 muestra un gráfico que representa las variaciones temporales de la velocidad en el fluido de fase continua producidas por el forzado aplicado en la Fig. 10.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

35 A continuación, se describe con mayor detalle la presente invención haciendo referencia a las figuras adjuntas, que muestran varios ejemplos de constitución del sistema (10) de

acuerdo con la presente invención.

La Fig. 1 muestra una vista esquemática de un sistema (10) para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo formado por un dispositivo (1) de co-flujo que está conectado respectivamente a una primera línea (12) de fluido por la que discurre un fluido que constituirá la fase dispersa, preferentemente un gas, y a una segunda línea (13) de fluido por la que discurre un fluido que constituirá la fase continua. Un medio (14) de forzado está conectado a las respectivas líneas (12, 13) de fluido para provocar una variación periódica del caudal de al menos una de dichas líneas (12, 13) de fluido en función de las órdenes que recibe de un medio (15) de control que está conectado al mismo.

El dispositivo (1) de co-flujo comprende un canal (2) de fluido interior para el fluido en fase dispersa a cuya entrada está conectada la primera línea (12) de fluido y uno o varios canales (3) exteriores de fluido para el fluido en fase continua a los que está conectada la segunda línea (13) de fluido. En este ejemplo concreto se trata de un dispositivo (1) de co-flujo de configuración plana donde el canal (2) de fluido interior tiene una sección transversal constante de forma esencialmente rectangular, y que comprende dos canales (3) exteriores de fluido que tienen una sección transversal también esencialmente rectangular que se estrecha en la segunda mitad de su longitud a modo de tobera. Los dos canales (3) exteriores de fluido están dispuestos de manera que rodean la práctica totalidad del canal (2) interior, que queda emparedado entre ambos, de acuerdo con una configuración de co-flujo.

Cuando se suministran a los canales (2, 3) respectivamente interior y exterior del dispositivo (1) de co-flujo sendos fluidos a través de las líneas (12, 13), la interacción entre ambos fluidos a la salida del canal interior (2) provoca la aparición de microburbujas monodispersas. Para controlar el tamaño de las microburbujas, basta con variar el caudal del fluido suministrado a través de la primera línea (12) de fluido correspondiente al canal (2) interior, tal y como se ha comentado anteriormente. Para controlar además la frecuencia de generación de las microburbujas, el medio (14) de forzado aplica en cualquiera de las dos líneas (12, 13) de fluido una variación periódica del caudal alrededor de su valor medio según una determinada frecuencia. Como consecuencia, la generación de microburbujas se producirá precisamente a dicha frecuencia predeterminada. El medio (15) de control actúa sobre el medio (14) de forzado para determinar sobre qué línea (12, 13) de fluido se actúa en cada momento y las características de la variación periódica que se aplica a la misma: frecuencia y amplitud de las oscilaciones.

Las Figs. 2a y 2b muestran sendos ejemplos de configuración geométrica del dispositivo de co-flujo (1) de la presente invención.

5 Concretamente, la Fig. 2a muestra un dispositivo (1) de co-flujo similar al mostrado esquemáticamente en la Fig. 1. Se trata de un dispositivo (1) de configuración plana donde la sección transversal del canal (2) interior es esencialmente rectangular con una dimensión mucho mayor que otra, y donde existen dos canales (3) exteriores que rodean dicho canal (2) interior por sus dos lados largos a modo de sándwich. La sección transversal del canal
10 (2) interior puede disminuir ligeramente a lo largo de su longitud, mientras que la sección transversal de los canales (3) exteriores sufre una disminución de una magnitud mucho mayor. En este ejemplo, los extremos de salida de los canales interior (2) y exterior (3) están alineados en un mismo plano perpendicular al plano longitudinal del dispositivo (1) de co-flujo.

15

La Fig. 2b muestra un dispositivo (1) de co-flujo de configuración cilíndrica. El canal (2) interior tiene forma cilíndrica de sección constante, mientras que el canal (3) exterior tiene una forma obtenida a partir de una curva de revolución cuya sección transversal es decreciente. Al igual que en el caso anterior, los canales interior (2) y exterior (3) tienen sus
20 respectivos extremos de salida alineados en un mismo plano perpendicular al eje longitudinal central del dispositivo (1) de co-flujo.

Las Figs. 3a y 3b muestran tres ejemplos de configuración de los extremos de salida de los canales interior (2) y exterior (3). Concretamente, las Figs. 3a y 3b muestran un ejemplo de
25 dispositivo (1) de co-flujo donde el extremo de salida del canal exterior (3) sobresale longitudinalmente más allá del extremo de salida del canal interior (2) respectivamente sin disminución de sección transversal y con disminución de la sección transversal. Esta configuración permite un guiado más preciso de la corriente de fluido después de que los dos fluidos hayan entrado en contacto. Alternativamente, la Fig. 3c muestra otro ejemplo de
30 dispositivo (1) de co-flujo donde es el extremo de salida canal interior (2) el que sobresale longitudinalmente más allá del extremo de salida del canal (3) exterior. Como se describió anteriormente, los efectos inducidos por esta modificación favorecen la rotura de las microburbujas y por tanto modifican la frecuencia de formación de las mismas.

35 La Fig. 4 muestra otro ejemplo de configuración del dispositivo (1) de co-flujo donde el extremo de salida del canal (3) exterior está inclinado con relación a un plano o eje central

longitudinal del dispositivo (1). Esto provoca que la dirección del fluido en fase continua a la salida del dispositivo (1) de co-flujo forme un determinado ángulo de inclinación con relación a la dirección del fluido en fase dispersa, que coincide con la dirección de dicho eje central longitudinal. Como se ha mencionado anteriormente, esto tiene el efecto de inducir una

5 componente transversal de la velocidad del fluido en fase continua y así facilitar la rotura de la corriente interior de fluido en fase dispersa en microburbujas.

Las Figs. 5a y 5b muestran sendos ejemplos de estrechamientos practicados en la porción de extremo del canal (2) interior. La forma del estrechamiento permite alterar el perfil de

10 velocidad de la corriente a la salida y modificar/controlar las condiciones de generación de las microburbujas.

La Fig. 6 muestra diferentes perfiles del borde del extremo de salida del canal (2) interior donde el fluido interior en fase dispersa entra en contacto con el fluido exterior en fase

15 continua. De izquierda a derecha, se representa un perfil curvo en dirección exterior-interior, un perfil recto en dirección exterior-interior, un perfil plano, y un perfil redondeado.

Las Fig. 7a y 7b muestran otro ejemplo de un dispositivo (1) de co-flujo de configuración plana donde los extremos de salida del canal (2) interior y el canal (3) exterior presentan

20 ondulaciones respectivamente en un plano esencialmente paralelo a la corriente y en un plano esencialmente perpendicular a la corriente. Con ello, se inducen inestabilidades en la dirección transversal que provocan la rotura de la corriente del fluido en fase dispersa en esta dirección.

La Fig. 8 muestra un ejemplo más del dispositivo (1) de co-flujo que tiene una configuración plana donde el canal (2) interior está subdividido en una multiplicidad de sub-canales (2') individuales de fluido en fase dispersa dispuestos en paralelo unos a otros a lo largo del

25 plano central longitudinal del dispositivo (1) de co-flujo que están separados entre sí por medio de una pluralidad de sub-canales (3') de fluido en fase continua también paralelos. El canal (2) interior adopta así la forma de una hilera donde se alternan sub-canales (2') de

30 fluido en fase dispersa y sub-canales (3') de fluido en fase continua, y está además emparedado entre los dos canales (3) exteriores. En este dispositivo (1) de co-flujo, cada uno de los sub-canales (2') de fase dispersa, junto los dos sub-canales (3') de fase continua adyacentes y la correspondiente porción de los canales (3) exteriores que lo empareda,

35 constituye una especie de sub-dispositivo de generación de microburbujas individual, de manera que este dispositivo (1) de co-flujo como un todo permite la generación simultánea

en paralelo de una pluralidad de microburbujas.

Como ejemplo de los resultados conseguidos por la invención, la Fig. 9 muestra la señal de presión de las microburbujas formadas en un dispositivo de co-flujo clásico (sin medio de forzado), en los que se observan diferentes picos de presión dentro del fluido de fase dispersa que pasa a través del canal interior (2), lo que indica la polidispersión de las microburbujas formadas. La Fig. 10 muestra los resultados correspondientes al caso en el que el dispositivo (1) de co-flujo del presente documento está funcionando con medio de forzado, donde la monodispersión se infiere de los picos de presión de amplitud y frecuencia de formación constantes medidos en el fluido de fase dispersa durante el proceso de formación de las microburbujas. La Fig. 11 muestra la modulación de la velocidad, en este caso de la fase continua que pasa a través del canal exterior (3), empleada en el caso de la Fig. 10.

Las pruebas realizadas con un sistema (10) según la invención de configuración plana y donde el forzado se realiza en la fase continua del canal (3) exterior muestran incrementos de la frecuencia de formación de microburbujas hasta valores de orden de kilo hercios (kHz) y reducciones de caudal de fase dispersa del canal (2) interior hasta de 20 veces los valores del co-flujo en condiciones naturales, con la consiguiente reducción del tamaño de las microburbujas generadas. De igual forma, los ensayos realizados con un sistema (10) según la invención de configuración cilíndrica y donde el forzado se realiza en la fase dispersa del canal (2) interior muestran igualmente incrementos de la frecuencia de formación de burbujas hasta valores de orden de kilo hercios (kHz).

REFERENCIAS CITADAS

- Zimmerman, W.B., Al-Mashhadani, M.K.H., Bandulasena, H.C.H., 2013. Evaporation dynamics of microbubbles. Chem. Eng. Sci. 101, 865–877.
- Bird, R.B., Stewart, W.E., Lightfoot, E.N. 2007. Transport Phenomena, Wiley, Singapore.
- Ashkin, A., 1997. Optical trapping and manipulation of neutral particles using lasers. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 94, 4853–4860.
- Lauterborn, W., Kurz, T., 2010. Physics of bubble oscillations. Rep. Prog. Phys. 73, 106501.
- Tremblay-Darveau, C., Williams R, Burns P.N. Measuring absolute blood pressure using microbubbles. Ultrasound Med Biol. 2014 Apr; 40(4):775-87.

- Liu, Y., Miyoshi, H., Nakamura, M., 2006. Encapsulated ultrasound microbubbles: therapeutic application in drug/gene delivery. *J. Controlled Release* 114, 89–99.
- 5 - R. Bolaños-Jiménez, A. Sevilla, C. Martínez-Bazán, J.M. Gordillo. Axisymmetric bubble collapse in a quiescent liquid pool. Part II: Experimental study *Phys. Fluids*, 20 (2008), p. 112104
- Davidson, J. F., & Schüller, B. O. G. (1997). Bubble formation at an orifice in a viscous liquid. *Chemical Engineering Research and Design*, 75, S105-S115.
- 10 - Kumar, R., & Kuloor, N. R. (1970). The formation of bubbles and drops. *Advances in chemical engineering*, 8, 255-368.
- 15 -M.S. Longuet-Higgins, B.R. Kerman, K. Lunde. The release of air bubbles from an underwater nozzle. *J. Fluid Mech.*, 230 (1991), pp. 365–390
- A. Marmur, E. Rubin. A theoretical model for bubble formation at an orifice submerged in an inviscid liquid. *Adv. Chem. Eng.*, 8 (1970), pp. 256–368
- 20 -H.N. Oğuz, A. Prosperetti. Dynamics of bubble growth and detachment from a needle. *J. Fluid Mech.*, 257 (1993), pp. 111–145
- R. Ramakrishnan, R. Kumar, N.R. Kuloor. Studies in bubble formation I: bubble formation under constant flow conditions. *Chem. Eng. Sci.*, 24 (1968), p. 731-747
- 25 - MacIntyre, F., 1967. Vibrating capillary for production of uniform small bubbles. *Rev. Sci. Instrum.* 38, 969–970
- 30 - Jiri Vejrazka, Mária Fijasová, Petr Stanovsky, Marek C. Ruzicka, Jiří Drahoš. Bubbling controlled by needle movement. *Fluid Dynamics Research* 40 (2008) 521–533
- Ohi, C.D., 2001. Generator for single bubbles of controllable size. *Rev. Sci. Instrum.* 72, 252–254.
- 35 - Tomiyama, A., Celata, G.P., Hosokawa, S., Yoshida, S., 2002. Terminal velocity of single bubbles in surface tension force dominant regime. *Int. J. Multiphase Flow* 28, 1497–1519.
- Kariyasaki, A., Ousaka, A., 2001. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Gas–Liquid and Gas–Liquid–Solid Reactor Engineering*, pp. 460–468.
- 40 - Sanada, T., Watanabe, M., Fukano, T., Kariyasaki, A., 2005. Behavior of a single coherent gas bubble chain and surrounding liquid jet flow structure. *Chem. Eng. Sci.* 60, 4886–4900.
- 45 - Najafi, A.S., Xu, Z., Masliyah, J. Single micro-bubble generation by pressure pulse technique. *Chemical Engineering Science*, 63 (2008) 1779-1787.
- Shiota, M., Sanada, T., Sato, A., Watanabe, M. Formation of a submillimeter bubble from an orifice using pulsed acoustic pressure waves in gas phase. *Physics of Fluids*, 20, 043301 2008.
- 50 - Hanotu, J., Bandulasena, H.C., Zimmerman, W.B., 2012. Microflotation performance for algal separation. *Biotechnol. Bioeng.* 109, 1663–1673.

- Hanotu, J., Hemaka Bandulasenab, H.C., Yen Chiuc, T., Zimmermana, W.B., 2013. Oil emulsion separation with fluidic oscillator generated microbubbles. *Int. J. Multiphase Flow* 56, 119–125.
- 5 - Stuart Brittle, Pratik Desai, Woon Choon Ng, Alan Dunbar, Robert Howell, Vaclav Tesař, William B. Zimmerman. Minimising microbubble size through oscillation frequency control. *Chemical engineering research and design*, 104 (2015) 357–366
- 10 - Kawecki, W., Reith, T., Van Heuven, J. W., & Beek, W. J. (1967). Bubble size distribution in the impeller region of a stirred vessel. *Chemical Engineering Science*, 22(11), 1519-1523.
- H. Unno, I. Inoue SIZE REDUCTION OF BUBBLES BY ORIFICE MIXER. *Chemical Engineering Science*. Volume 35, Issue 7, 1980, Pages 1571-1579
- 15 - Michio Sadatomi, , Akimaro Kawahara, Hidetoshi Matsuura, Shinji Shikatani Micro-bubble generation rate and bubble dissolution rate into water by a simple multi-fluid mixer with orifice and porous tube. *Experimental Thermal and Fluid Science*. Volume 41, September 2012, Pages 23–30
- 20 - Yin, J., Jingjing Li, J., Li, H., Liu, W., Wang, D. Experimental study on the bubble generation characteristics for an venturi type bubble generator. *International Journal of Heat and Mass Transfer* Volume 91, December 2015, Pages 218–224
- 25 - TOSHINORI MAKUTA, FUMIO TAKEMURA, EIJI HIHARA, YOICHIRO MATSUMOTO AND MASAHIRO SHOJI Generation of micro gas bubbles of uniform diameter in an ultrasonic field *J. Fluid Mech.* (2006), vol. 548, pp. 113–131.
- J. Ellenberger, R. Krishna. Improving mass transfer in gas–liquid dispersions by vibration excitement. *Chemical Engineering Science* 57 (2002) 4809 – 4815
- 30 - P. Garstecki, M. J. Fuerstman, H. A. Stone, and G. M. Whitesides, *Lab Chip* 6, 437 (2006).
- T. Fu, Y. Ma. Bubble formation and breakup dynamics in microfluidic devices: a review *Chem. Eng. Sci.* (2015) (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2015.1002.1016>).
- 35 - Gordillo, J. M.; Cheng, Z.; Gañán-Calvo, A. M.; Márquez, M.; Weitz, D. A., A new device for the generation of microbubbles. *Physics of Fluids* 2004, 16 (8), 2828-2834.
- Garstecki, P.; Gitlin, I.; DiLuzio, W.; Whitesides, G. M.; Kumacheva, E.; Stone, H. A., Formation of monodisperse bubbles in a microfluidic flow-focusing device. *Applied Physics Letters* 2004, 85 (13), 2649-2651.
- 40 - Castro-Hernandez, E.; van Hoeve, W.; Lohse, D.; Gordillo, J. M., Microbubble generation in a co-flow device operated in a new regime. *Lab on a Chip* 2011, 11 (12), 2023-2029.
- Apparatus and method for mass producing a monodisperse microbubble agent. WO 2013141695 A1
- 45 - Motohiro Yasuno, Shinji Sugiura, Satoshi Iwamoto, and Mitsutoshi Nakajima. Monodispersed Microbubble Formation Using Microchannel Technique. *AIChE Journal*, 50(12): 3227–3233, 2004

- M. Stoffel, S. Wahl, E. Lorenceau, R. Höhler, B. Mercier, and D. E. Angelescu. Bubble Production Mechanism in a Microfluidic Foam Generator. PRL 108, 198302 (2012)
- 5 - Gordillo, J. M., Gañán-Calvo, A. M., & Pérez-Saborid, M. (2001). Monodisperse microbubbling: Absolute instabilities in coflowing gas–liquid jets. Physics of Fluids, 13(12), 3839-3842.
- 10 - Sevilla, A., Gordillo, J. M., & Martínez-Bazán, C. (2002). The effect of the diameter ratio on the absolute and convective instability of free coflowing jets. Physics of Fluids, 14(9), 3028-3038.
- Sevilla, A., Gordillo, J. M., & Martínez-Bazán, C. (2005). Transition from bubbling to jetting in a coaxial air–water jet. Physics of Fluids, 17(1), 018105.
- 15 - Gordillo, J. M., Sevilla, A., & Martínez-Bazán, C. (2007). Bubbling in a co-flow at high Reynolds numbers. Physics of Fluids, 19(7), 077102.

REIVINDICACIONES

1. Sistema (10) para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo, caracterizado por que comprende:

- 5 - un dispositivo (1) de co-flujo que comprende:
- un canal (2) de fluido interior para un fluido en fase dispersa; y
 - al menos un canal (3) de fluido exterior para un fluido en fase continua, donde el canal (3) de fluido exterior presenta una configuración de co-flujo con respecto del canal (2) de fluido interior, y donde dicho canal (3) de fluido exterior rodea sustancialmente el canal (2) de fluido interior; y
- 10 - un medio (14) de forzado conectado al canal (2) de fluido interior o al canal (3) de fluido exterior del dispositivo (1) de co-flujo, donde dicho medio (14) de forzado está configurado para proporcionar una variación periódica alrededor de su valor medio en el caudal de fluido que pasa a través de uno de entre dicho canal (2) interior o dicho canal (3) exterior.
- 15

2. Sistema (10) de acuerdo con la reivindicación 1, donde el dispositivo (1) de co-flujo presenta una geometría que se elige de entre las siguientes: plana, cilíndrica, anular, y poliédrica.

20

3. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el extremo de salida del canal (2) de fluido interior tiene una dimensión transversal menor que 1 mm y el extremo de salida del canal (3) de fluido exterior tiene una dimensión transversal menor que 3 mm.

25

4. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el canal (3) de fluido exterior tiene una sección transversal constante o que disminuye en dirección al extremo de salida.

30

5. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el extremo de salida del canal (3) de fluido exterior sobresale longitudinalmente con relación al extremo de salida del canal (2) de fluido interior.

35

6. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, donde el extremo de salida del canal (2) de fluido interior sobresale longitudinalmente con relación al extremo de salida del canal (3) de fluido exterior.

7. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la dirección del extremo de salida del canal (3) de fluido exterior está orientada hacia un eje o plano de simetría del dispositivo (1) de co-flujo.

5

8. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el canal (2) de fluido interior tiene una sección transversal esencialmente constante.

9. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la sección de salida del canal (2) de fluido interior tiene una sección transversal decreciente.

10

10. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las paredes que delimitan el canal (2) de fluido interior tienen un espesor en la salida de menos de 0,5 mm.

15

11. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el perfil del borde de la pared del extremo de salida del canal (2) de fluido interior tiene una forma que se elige entre: curvilínea en dirección exterior-interior, recta en dirección exterior-interior, plana, redondeada y poligonal.

20

12. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el dispositivo (1) de co-flujo tiene una configuración plana o anular, y donde los extremos de salida del canal (2) de fluido interior y el canal (3) de fluido exterior comprenden ondulaciones en un plano esencialmente paralelo a la dirección de la corriente.

25

13. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-11, donde el dispositivo (1) de co-flujo tiene una configuración plana o anular, y donde los extremos de salida del canal (2) de fluido interior y el canal (3) de fluido exterior comprenden ondulaciones en un plano esencialmente perpendicular a la dirección de la corriente.

30

14. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el dispositivo (1) de co-flujo tiene una configuración plana o anular, y donde el canal interior (2) está dividido en una pluralidad de sub-canales (2') paralelos de fluido en fase dispersa y una pluralidad de sub-canales (3') paralelos de fluido en fase continua dispuestos de forma alterna.

35

15. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el medio (14) de forzado se elige entre: una bomba de desplazamiento positivo de generación de caudal variable conectada a la primera o la segunda línea de fluido, y un recipiente de volumen periódicamente variable dispuesto en la primera o la segunda línea de fluido.

5

16. Sistema (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además comprende un controlador (15) conectado al medio de forzado para regular la frecuencia y la amplitud de las variaciones periódicas de caudal generadas.

10 17. Método para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo por medio de un dispositivo (1) de co-flujo que comprende un canal (2) de fluido interior, y al menos un canal (3) de fluido exterior en configuración de co-flujo con respecto del canal (2) de fluido interior, donde dicho canal (3) de fluido exterior rodea sustancialmente el canal (2) de fluido interior, caracterizado porque comprende:

15 - suministrar un primer fluido al canal de fluido interior (2);
 - suministrar un segundo fluido al canal de fluido exterior (3);
 - modificar el caudal de uno de entre el primer y el segundo fluido de modo que varíe periódicamente alrededor de su valor medio.

20 18. Método de acuerdo con la reivindicación 17, que comprende modificar la frecuencia de variación del caudal que varía periódicamente para modificar la frecuencia de generación de microburbujas.

25 19. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende modificar el caudal del primer fluido que pasa por el canal (2) interior para modificar el tamaño de las microburbujas.

20. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-19, donde el primer fluido es un gas.

30

21. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-20, donde el segundo fluido es un líquido.

35 22. Método de acuerdo con la reivindicación 21, donde el segundo fluido comprende una sustancia surfactante.

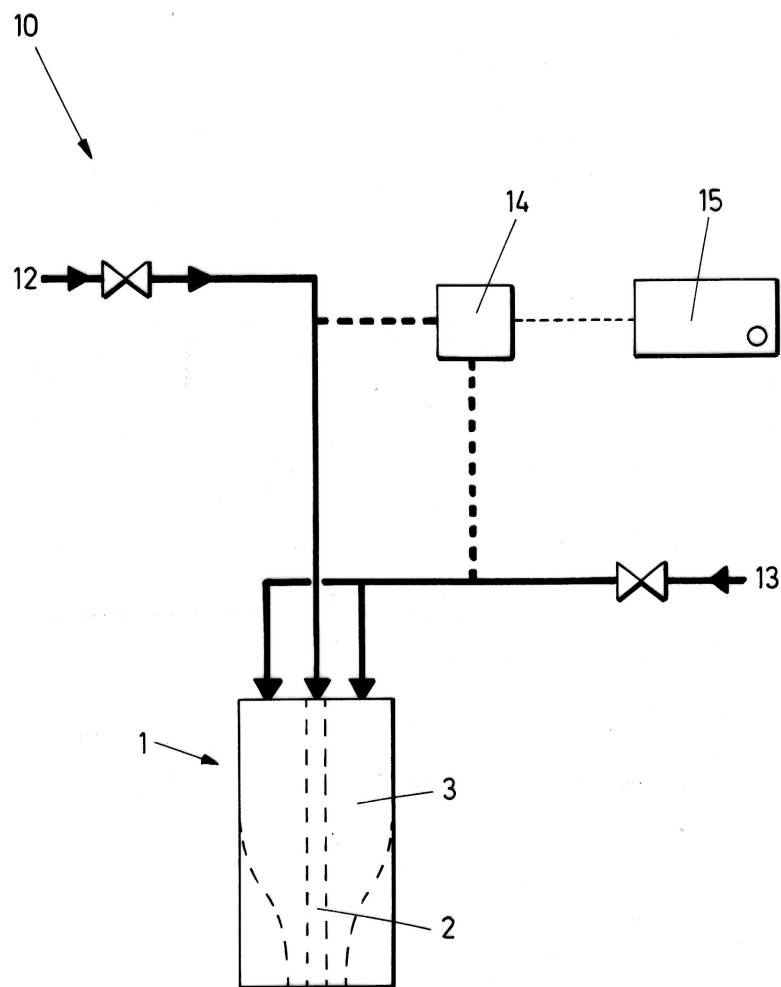


FIG.1

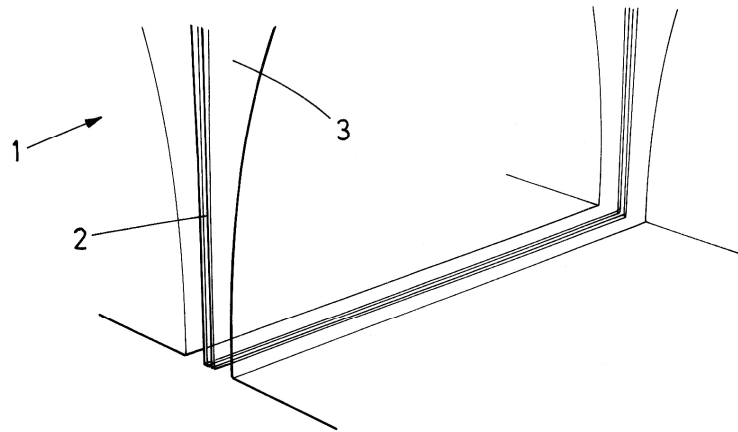


FIG. 2a

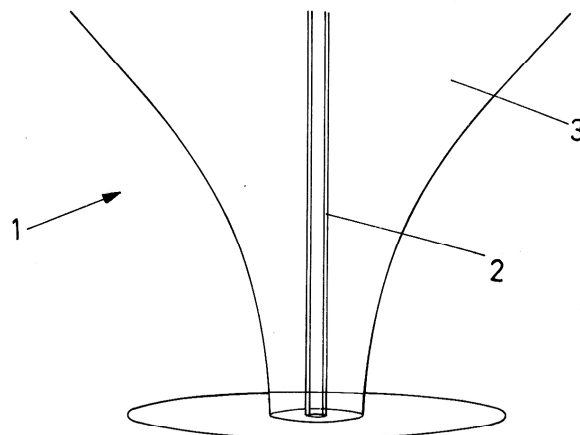
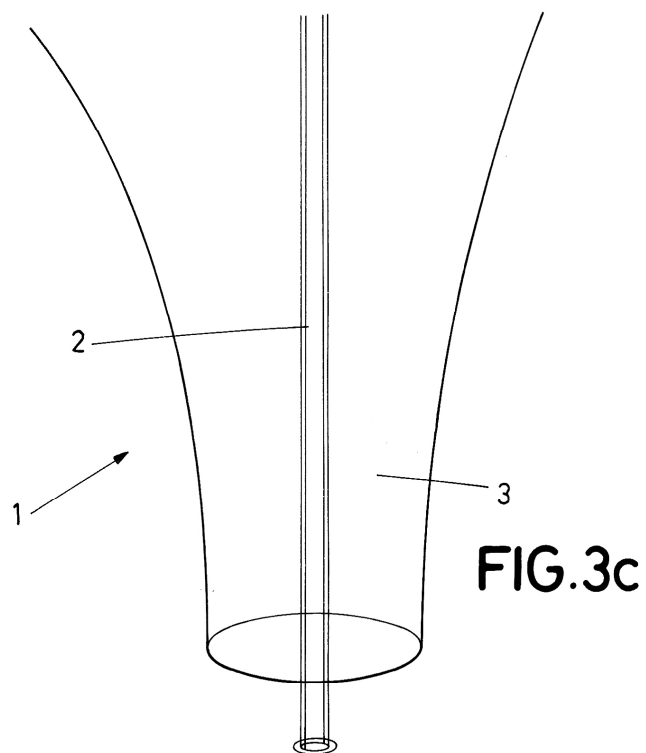
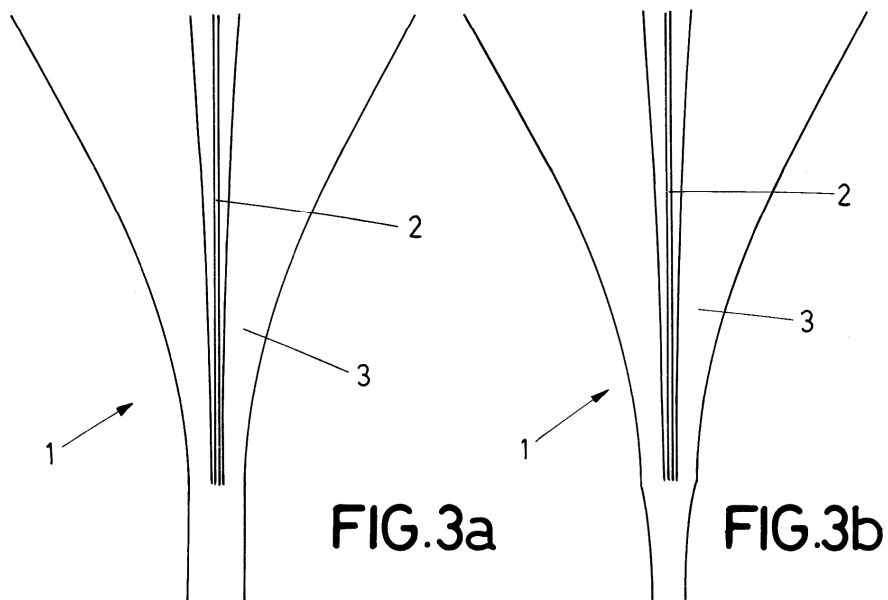


FIG. 2b



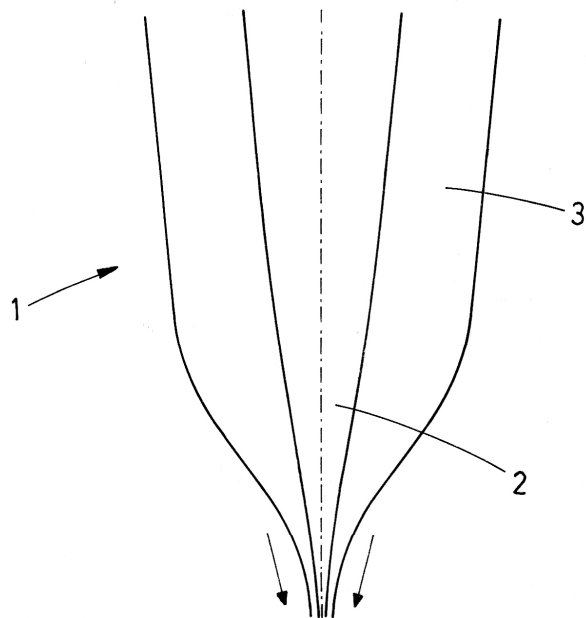


FIG. 4

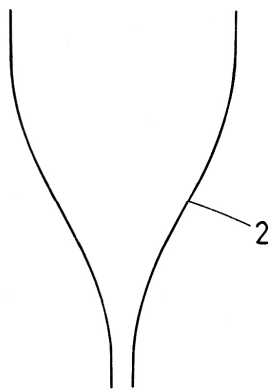


FIG. 5a



FIG. 5b

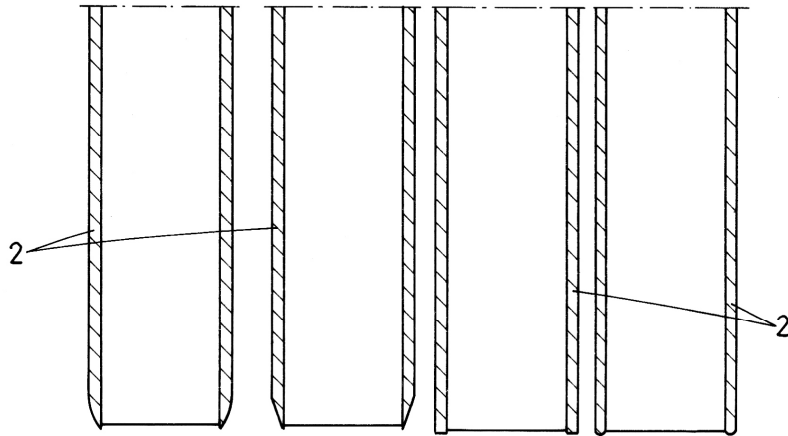


FIG. 6

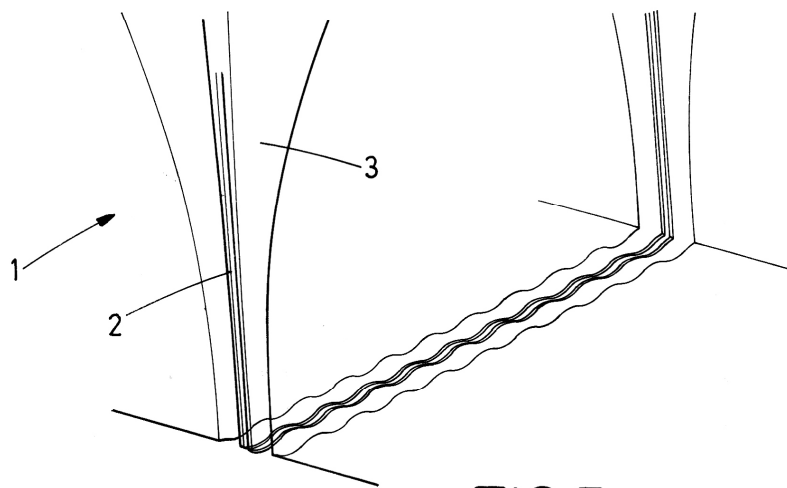


FIG. 7a

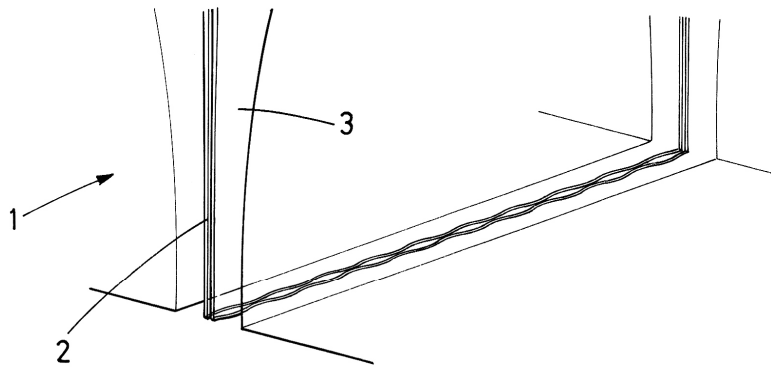


FIG. 7b

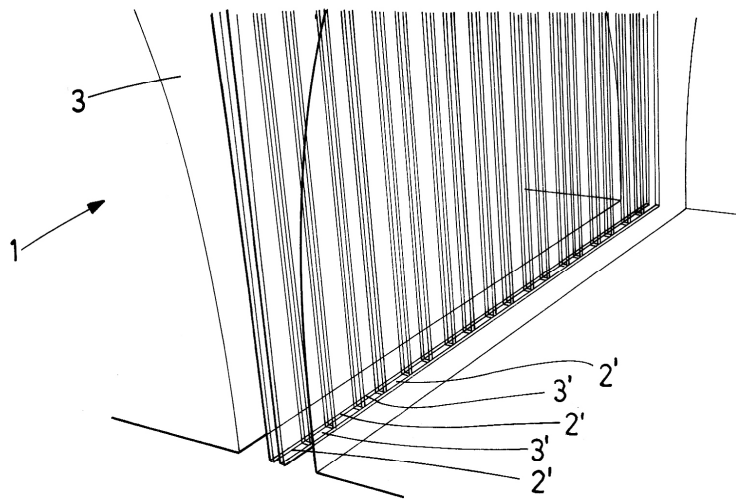


FIG. 8

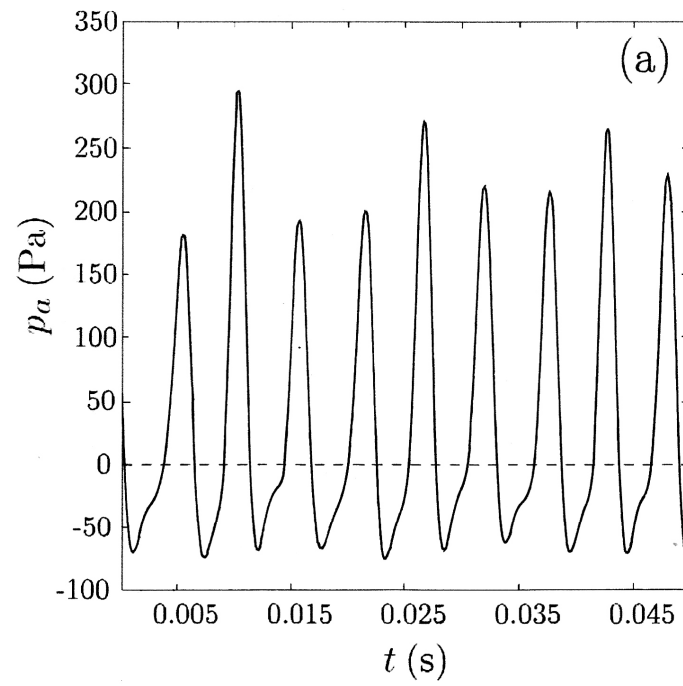


FIG.9

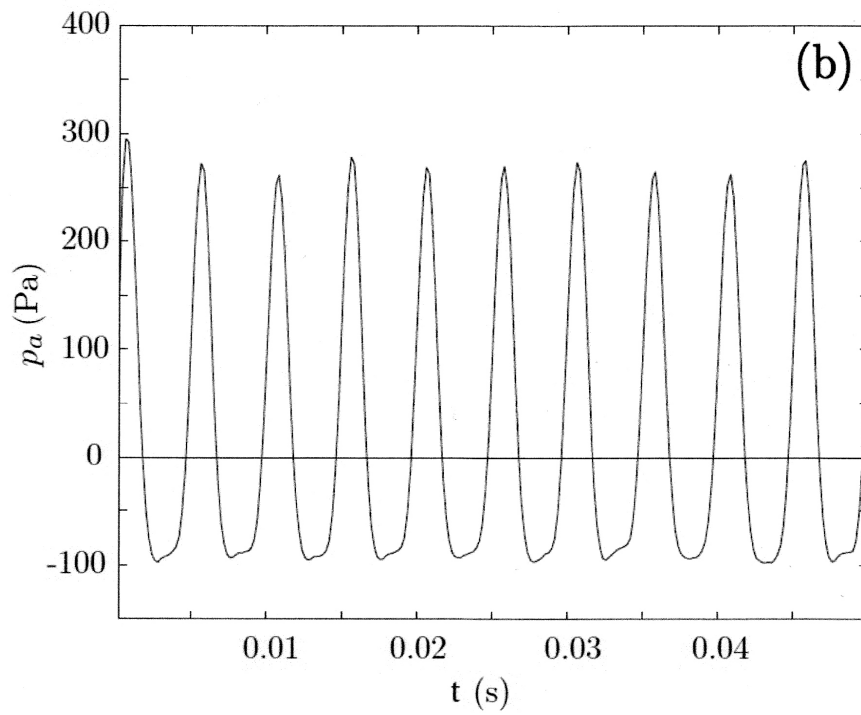
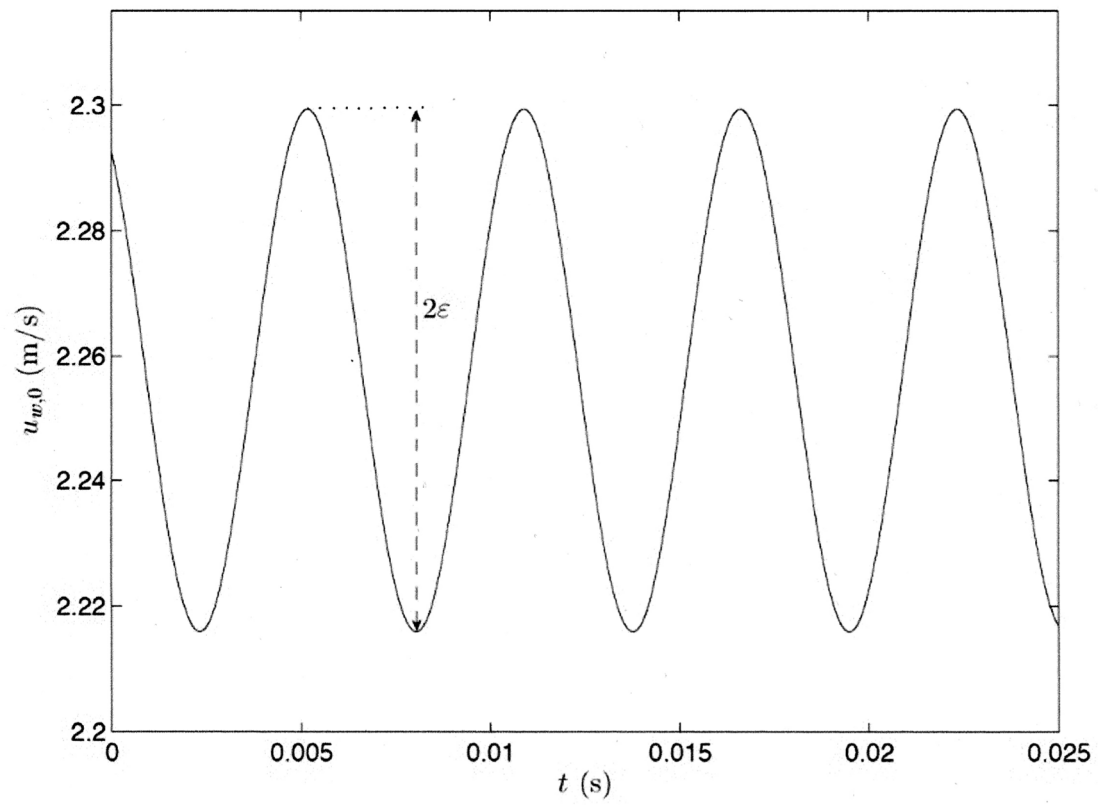


FIG.10

**FIG.11**



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ②① N.º solicitud: 201630521
②② Fecha de presentación de la solicitud: 25.04.2016
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **B01F3/04** (2006.01)
B01F5/04 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	WO 2013141695 A1 (UNIV TWENTE et al.) 26/09/2013, reivindicaciones; resumen; figuras.	1, 17
A	US 2009315203 A1 (LEE GWO-BIN et al.) 24/12/2009, párrafos [0032 - 0047]; resumen; figuras.	1, 17
A	US 7192562 B1 (TOWLER GAVIN P et al.) 20/03/2007, columna 3, línea 45 - columna 9, línea 43; resumen; figuras.	1, 17

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
13.07.2016

Examinador
R. E. Reyes Lizcano

Página
1/4

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

B01F

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

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 13.07.2016

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-22	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-22	SI
	Reivindicaciones	NO

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 2013141695 A1 (UNIV TWENTE et al.)	26.09.2013

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 invención es un sistema para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo y un método para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo por medio del sistema.

En relación a la reivindicación independiente 1, que hace referencia al sistema, el documento D01 (ver resumen, reivindicaciones; figuras) divulga un aparato (1) para la producción en masa de microburbujas (36) monodispersas que comprende:

- al menos un dispositivo (2) de enfoque de flujo microfluídico que incluye:

- un canal (110) de suministro de fluido en fase dispersa que tiene una salida (114) que descarga en la unión (140) de enfoque de flujo;
- al menos un canal (120, 120') de suministro de fluido en fase continua que tiene una salida (124) que descarga en la unión de enfoque de flujo; y
- un canal (130) de formación de burbujas que tiene una entrada (132) dispuesta en la unión de enfoque de flujo;

donde la configuración de la unión (140) de enfoque de flujo es tal que, en funcionamiento, un flujo de fluido (12) en fase dispersa descarga desde la salida (114) del canal (110) de suministro de fluido en fase dispersa es acoplable en co-flujo por un flujo de enfoque de fluido (22) en fase continua que descarga desde la salida (124) del al menos un canal (120, 120') de suministro de fluido en una fase continua bajo la formación de un chorro (32) de líquido gradualmente adelgazado de fluido en fase dispersa que se extiende en la entrada (132) del canal (130) de formación de burbujas, donde el canal (130) de formación de burbujas tiene una longitud L_{bfc} y un diámetro hidráulico D_{bfc} , y donde $L_{bfc} / D_{bfc} \gg 1$.

Sin embargo, el documento D01 no divulga un sistema para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo, que comprenda un dispositivo de co-flujo y un medio de forzado con las características técnicas definidas en la reivindicación 1, y se considera que dichas características técnicas no serían evidentes para un experto en la materia.

Por lo tanto, la reivindicación independiente 1, y sus dependientes 2 a 16, cumplen los requisitos de novedad y actividad inventiva a la vista del estado de la técnica conocido (art. 6.1 y 8.1 LP).

En relación a la reivindicación independiente 17, que hace referencia al método, como el sistema para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo es nuevo e implica actividad inventiva, el método para la generación de microburbujas monodispersas en configuración de co-flujo por medio del sistema también es nuevo e implica actividad inventiva.

Por lo tanto, la reivindicación independiente 17 y sus dependientes 18 a 22 cumplen los requisitos de novedad y actividad inventiva a la vista del estado de la técnica conocido (art. 6.1 y 8.1 LP).