

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad  
Intelectual  
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional  
29 de Diciembre de 2005 (29.12.2005)

PCT

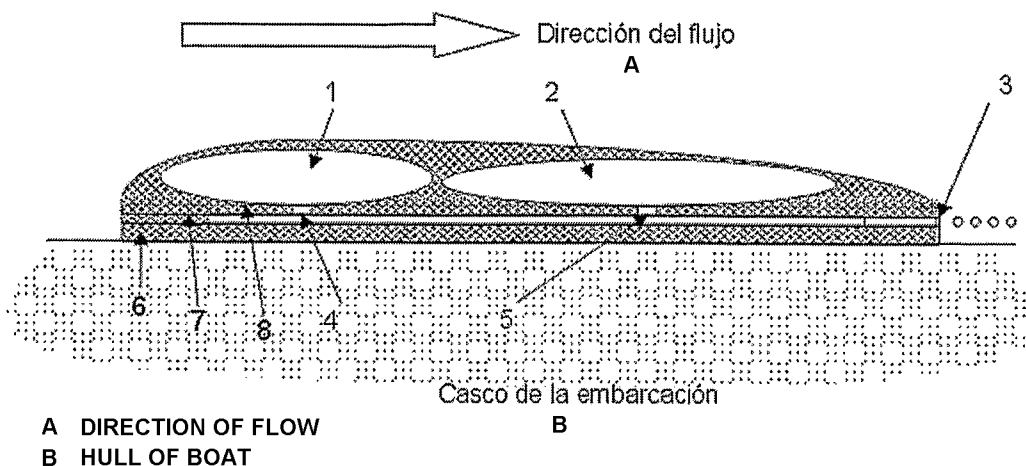
(10) Número de Publicación Internacional  
WO 2005/122676 A2

- (51) Clasificación Internacional de Patentes: Sin clasificar
- (21) Número de la solicitud internacional:  
PCT/ES2005/000329
- (22) Fecha de presentación internacional:  
9 de Junio de 2005 (09.06.2005)
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad:  
P200401474 11 de Junio de 2004 (11.06.2004) ES
- (71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):  
UNIVERSIDAD DE SEVILLA [ES/ES]; OTRI - Universidad de Sevilla, Pabellón de Brasil, Paseo de las Delicias s/n, E-41012 Sevilla (ES).
- (72) Inventores; e
- (75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): GAÑÁN CALVO, Alfonso, Miguel [ES/ES]; Dpto. Ingeniería Energética, y Mecánica de Fluidos, E.T.S. Ingenieros Industriales, Camino de los Descubrimientos s/n, E-41092 Sevilla (ES). RIESCO CHUECA, Pascual [ES/ES]; Dpto. Ingeniería Energética, y Mecánica de Fluidos, E.T.S. de Ingenieros Industriales, Camino de los Descubrimientos s/n, E-41092 Sevilla (ES).
- (81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: BUBBLE-GENERATING DEVICE FOR REDUCING FRICTION ON THE HULL OF A BOAT

(54) Título: DISPOSITIVO GENERADOR DE BURBUJAS PARA LA REDUCCIÓN DE FRICCIÓN EN EL CASCO DE EM-  
BARCACIONES



A DIRECTION OF FLOW  
B HULL OF BOAT

(57) Abstract: The invention relates to a device for generating bubbles which are intended to be incorporated mainly into the turbulent boundary layer of the wetted surface of the hull of a moving boat. The invention consists of a multi-cell system which is affixed to the walls of the hull of the boat and which is equipped with at least one main circulation shaft which is traversed by two distribution conduits, namely: a first conduit (1) for pressurised water (preferably originating from the aquatic sailing environment); and a second conduit (2) for a pressurised gas (preferably air), said two conduits supplying multiple bubble-releasing cells in a sequential, parallel or combined manner.

(57) Resumen: Es objeto de la presente invención un dispositivo para la generación de burbujas destinadas a incorporarse principalmente a la capa límite turbulenta de la superficie mojada del casco de una embarcación en movimiento integrado por un sistema multi-celda adherido a las paredes del casco de dicha embarcación; dicho sistema dispone al menos de un eje de circulación principal recorrido por dos conductos de distribución, un conducto (1) de agua a presión (preferentemente procedente del medio acuático de navegación) y otro conducto (2) de un gas a presión (preferentemente aire), que alimentan, en forma secuencial, paralela o en combinación, a múltiples celdas eyectoras de burbujas.

WO 2005/122676 A2



NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**(84) Estados designados** (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,

**Publicada:**

— *sin informe de búsqueda internacional, será publicada nuevamente cuando se reciba dicho informe*

*Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.*

Dispositivo generador de burbujas para la reducción de fricción en el casco de  
5 embarcaciones

### **OBJETO DE LA INVENCION**

Es objeto de la invención un dispositivo para la generación de burbujas destinadas  
10 a incorporarse principalmente a la capa límite turbulenta de la superficie mojada  
del casco de una embarcación en movimiento integrado por un sistema multi-celda  
adherido a las paredes del casco de dicha embarcación; dicho sistema dispone al  
menos de un eje de circulación principal recorrido por dos conductos de  
distribución, un conducto (1) de agua a presión (preferentemente procedente del  
15 medio acuático de navegación) y otro conducto (2) de un gas a presión  
(preferentemente aire), que alimentan, en forma secuencial, paralela o en  
combinación, a múltiples celdas eyectoras de burbujas; cada una de dichas celdas  
está configurada como un espacio hueco de capa delgada limitada en el sentido  
del espesor por dos superficies de cierre esencialmente planas y paralelas entre  
20 sí, viniendo definida la geometría de dicha capa delgada por dos dimensiones  
principales: un espesor  $e$  y una superficie de extensión  $S$ ; el perímetro de cada  
celda está limitado por una sección de borde impermeable salvo en un orificio de  
eyección (3) de burbujas al medio acuático exterior; al menos una de dichas dos  
superficies de cierre está perforada en cada celda por uno o más orificios de  
25 alimentación de agua (4), conectados con el conducto de distribución de agua (1);  
y al menos una de dichas dos superficies de cierre está perforada en cada celda  
por uno o más orificios de alimentación de gas (5), conectados con el conducto de  
distribución de gas (2); la alimentación de ambos fluidos en cada celda origina un  
régimen de flujo esencialmente bidimensional, paralelo al plano de dichas  
30 superficies de cierre; la corriente de gas inyectada en cada celda da lugar a un  
micro-torrente continuo que presenta un tramo laminar, estable y estacionario,  
rodeado y guiado por el agua también inyectada en cada celda; el citado micro-  
torrente se dirige hacia dicho orificio de eyección (3); las condiciones para la  
formación del micro-torrente se regulan ajustando los caudales de gas y agua  
35 inyectados; durante la eyección de ambos fluidos a través del canal de salida, el  
agua rodea al micro-torrente de gas, moldeando bajo su simple acción

- hidrodinámica a dicho gas y asegurando la concentración del flujo del gas en un chorro de diámetro reducido, que se inestabiliza al atravesar el orificio de eyección (3) hacia el canal de salida, rompiéndose en una secuencia de burbujas que son liberadas en el medio acuático exterior al salir de dicho canal de salida; la sección
- 5 de cada uno de los conductos de distribución (1-2) es al menos cinco veces superior a la suma de todas las secciones de los orificios de eyección (3).
- Es también objeto de la invención un dispositivo según lo anterior, en el que el área del orificio de eyección (3) en cada celda es inferior a la suma de las áreas de los orificios de alimentación de agua y de gas (4-5). Alternativamente, el área
- 10 total de los orificios de alimentación de agua (4) en cada celda puede hacerse inferior a 0.5 veces la extensión S de dicha celda. También puede optarse por elegir que el área total de los orificios de alimentación de gas (5) en cada celda sea inferior a 0.5 veces la extensión S de dicha celda.
- Otro objeto de la invención es un dispositivo según lo anterior, caracterizado por
- 15 que dichas celdas están distribuidas longitudinalmente en una pieza o banda continua de material sintético deformable, siendo dicha banda recorrida longitudinalmente por los conductos de distribución de agua y de gas; una de las dos caras exteriores de dicha banda es adhesiva o dispone de elementos de sujeción a un casco de embarcación.
- 20 En particular, cabe hacer que dicha banda tenga una sección transversal con la forma de medio perfil hidrodinámico, correspondiendo dicha cara de adhesión o sujeción al borde plano de dicho perfil; dicho perfil dispone de un borde anterior romo, y de un borde posterior afilado en el que se encuentran las salidas de dichos orificios de eyección (3).
- 25 En otra variante de la invención, dichas celdas son definidas mediante el ensamblaje de tres láminas alargadas: una lámina de contacto (6), cuya cara externa constituye la cara de adhesión de dicha banda; una lámina intermedia (7), troquelada de forma periódica, que define los espacios de celda; y una lámina tapadera (8), en la que están practicados los orificios de alimentación (4-5).
- 30 Opcionalmente, al menos una de dichas láminas es de material polimérico. También opcionalmente, al menos una de dichas láminas es de material metálico.

## ESTADO DE LA TÉCNICA

- 35 1. Generación de burbujas

La actividad investigadora y tecnológica ligada al control microscópico de las corrientes fluidas ha adquirido particular intensidad en los últimos años. Destacan los esfuerzos orientados a generar superficies libres o entrefases entre dos fluidos inmiscibles para la producción de estructuras microscópicas (gotas, burbujas o cápsulas) de forma reproducible y robusta. Cabe citar varias opciones principales para la obtención de burbujas:

(1) Agitación mecánica: se hace uso de dispositivos móviles (paletas) para crear entrefases que originen burbujas. Los tamaños son por lo general de distribución muy variada. Son precisos desembolsos energéticos considerables, que se traducen en grandes pérdidas de fricción. La presencia de partes móviles incrementa la fragilidad de los dispositivos.

(2) Electrificación: el transporte eléctrico es usado para controlar una entrefase (electrospray) o para liberar un componente gaseoso (electrólisis).

- Electrólisis mediante electrodos sumergidos en una masa líquida (por ejemplo, filamentos de platino). Se ha aplicado abundantemente en laboratorio para ensayos de fricción con capa límite burbujeante; sin embargo, es escasamente aplicable en escala real, dada la fragilidad de los filamentos, que deberían estar situados muy cerca de la pared del casco y por ello serían vulnerables a cualquier contacto o colisión. A ello se añade la dificultad de aislar tales electrodos con respecto a los materiales, generalmente metálicos, del casco de la embarcación.

- Electropray: hace uso de fuerzas electrostáticas y se basa en una tecnología ya veterana, limitada por determinados inconvenientes, que cabe resumir como sigue:

- Dependencia del fenómeno con respecto a las propiedades eléctricas del líquido, que, por lo general, son de escasa controlabilidad: en el caso del agua, la presencia, inherentemente difícil de regular, de sustancias disueltas, altera considerablemente la conductividad.

- Escasa productividad de método (flujo másico muy pequeño); dificultad para su organización a diferentes escalas o la adición de celdas (multiplexing).

- Poca robustez del método, dada su gran dependencia de las propiedades físicas (eléctricas fundamentalmente) de los líquidos, y de las condiciones superficiales y tamaños de los tubos de alimentación de los líquidos.

El procedimiento de electropray no tiene aplicación en el sector de la reducción de resistencia hidrodinámica mediante burbujas (MBDR), debido a que la

considerable conductividad del medio acuático (especialmente en navegación marítima) impide controlar el proceso de electrificación o la formación del chorro precursor de las burbujas.

5 (3) Procedimientos neumáticos, basados en hacer pasar aire u otro gas a través de tubos de pequeño tamaño, descargando la corriente gaseosa en un recipiente relleno de líquido en reposo o en una corriente líquida en movimiento. Alternativamente, puede hacerse fluir de manera simultánea el líquido y el gas a través de pequeños orificios (WO0174722, US6394429, US6299145). Cabe  
10 mencionar algunas opciones frecuentes de producción neumática:

- Inyectores directos: un cabezal de inyección, alimentado por aire u otro gas a presión, libera las burbujas en el medio líquido.
- Emisión de gas a través de una matriz porosa parcialmente sumergida. Se  
15 ha usado en ensayos de MBDR, pero da lugar a burbujas de gran diámetro, que tienen tendencia a escapar de la capa límite, salvo en los casos en que el fondo del casco es plano y retiene por flotación a las burbujas en la inmediación de la pared.
- Flow focusing capilar; esta última tecnología, abreviada como FF  
20 (Gañán-Calvo 1998, Physical Review Letters 80, 285), utiliza el moldeado hidrodinámico entre dos corrientes coaxiales para generar microchorros que, posteriormente, pasado el orificio de salida, se rompen en gotas o burbujas de tamaño muy pequeño y sustancialmente homogéneo. El orificio de enfocamiento en FF tiene un diámetro significativamente mayor que el diámetro del micro-chorro  
25 generado, debido a la acción moldeadora o enfocante del segundo fluido, que es forzado concéntricamente con el primero. En el caso de las patentes US6394429 y US6299145 (FF) es necesario que el gas sea inyectado a través de una aguja situada concéntricamente con el orificio de salida. De ahí la necesidad de asegurar un correcto centrado de la aguja con el orificio, con lo que el problema  
30 crece si se trata de producir cantidades de espuma a nivel industrial. En cualquier caso, en los procedimientos a los que hacen referencia las patentes WO0174722, US6394429, US6299145 el gasto de líquido es muy superior al de gas, resultando una relación gas/líquido reducida, aunque el tamaño de las burbujas conseguidas sea pequeño y el gasto energético sea inferior a los métodos referidos en  
35 US5674433, EP0523202, WO09212788, WO0176728.

En FF convencional se eliminan los inconvenientes de la dependencia respecto a las propiedades del fluido y se accede a una tecnología muy fácilmente escalable o multiplicable; sin embargo, persisten dificultades relativas al alineamiento de los tubos de alimentación con los orificios de enfocamiento, y la naturaleza esencialmente tridimensional de la geometría involucrada.

## 2. Reducción de fricción en embarcaciones mediante capas superficiales de burbujas

A medida que mejora el diseño hidrodinámico de los cascos de embarcación, se reduce la resistencia al avance ligada a la producción de olas ("wave-making drag") y aumenta proporcionalmente la importancia de la fricción en la parte sumergida del casco como factor principal de resistencia al avance ("skin friction drag"). Es frecuente que la fricción contribuya hasta el 80% de la resistencia total. Dado que la resistencia está directamente ligada al consumo energético requerido para propulsar la embarcación, se han multiplicado los esfuerzos tendentes a minimizar los esfuerzos de fricción. Una solución a tal fin es la de hacer la superficie en contacto con el medio acuático lo más lisa posible. Sin embargo, la acción acumulada de deposiciones y microorganismos reducen en breve plazo este efecto.

Un alternativa notable es la constituida por los llamados sistemas de reducción de resistencia mediante burbujas ("microbubble drag reduction", MBDR). Las burbujas, de aire, nitrógeno o CO<sub>2</sub>, son inyectadas en cantidad abundante dentro de la capa límite turbulenta que rodea la superficie mojada del casco de la embarcación. No hay unanimidad en torno a cuál sea el mecanismo productor de la reducción de fricción: se han señalado diversos efectos, tales como la disminución en las tensiones de Reynolds y la ralentización local, cerca de la pared, del perfil de velocidades; asimismo se ha señalado que las burbujas reducen (al crear zonas "vacías", sustraídas al líquido) la disipación viscosa: véase Sugiyama, K., Kawamura, T., Takagi, S. and Matsumoto, Y., "The Reynolds Number Effect on the Microbubble Drag Reduction", Proc. of the 5th Symp. on Smart Control of Turbulence, 2004, pp. 31-43. En general, parece observarse que las burbujas causan un engrosamiento de la subcapa viscosa a la vez que inhiben el pleno desarrollo de la turbulencia (A. Ferrante, S. Elghobashi, J. Fluid Mech., vol. 503, pp. 345-355 (2004)).

Los experimentos realizados en el campo de reducción de fricción en embarcaciones mediante burbujas parecen coincidir en señalar que el parámetro fundamental es la relación volumétrica entre fase gaseosa y líquida en la capa límite. El tamaño de burbujas y su carácter monodisperso parecen parámetros de menor influencia (Moriguchi, Y. y Kato, H., "Influence of microbubble diameter and distribution on frictional resistance reduction", *Journal of Marine Science and Technology*, Springer-Verlag Tokyo, Volume 7, Number 2, September 2002, pp. 79 – 85), aunque se ha observado que la selección de tamaño de burbuja interfiere sobre la escala de turbulencia inhibida en cada caso (H. Kato, T. Iwashina, M. Miyanaga, H. Yamaguchi, "Effect of microbubbles on the structure of turbulence in a turbulent boundary layer", *Journal of Marine Science and Technology*, Springer-Verlag Tokyo, Volume 4, Number 4, July 2000, pp. 155 - 162). En cualquier caso, sólo se consiguen relaciones altas vacío/lleño a través de un control eficaz de tamaños de burbuja, mantenidos en el rango microscópico y con la suficiente homogeneidad de diámetro.

En cuanto al procedimiento de generación de burbujas, destaca el uso de matrices porosas y la inyección directa. Ésta es la opción usada por R. Latorre, A. Miller y R. Philips, "Micro-bubble resistance reduction on a model SES catamaran", *Ocean Engineering*, Vol. 30, 17, Dec., 2003. Mediante ocho unidades de inyección, situadas en el casco de un catamarán, se introducen burbujas de nitrógeno en el medio acuático. El uso de una matriz porosa se enfrenta a dificultades de obturación, deposición o corrosión, especialmente cuando el medio acuático es agresivo. En otros ensayos se ha recurrido a sistemas simples, del tipo de placas multiperforadas que dejan pasar una corriente gaseosa a presión.

La electrólisis mediante electrodos sumergidos en el medio acuático (por ejemplo, filamentos de platino) ha sido usada en experimentos de laboratorio (N K; Deutsch S & Madavan Merkle C L (1985) "Measurements of local skin friction in a microbubble-modified turbulent boundary layer" *J. Fluid Mech.* 156, 237-256), pero no se conocen aplicaciones en escala real, dada la escasa robustez de los electrodos necesarios en el casco del barco.

Por lo tanto, en el campo tecnológico de la reducción de fricción naval, parece recomendable buscar procedimientos que minimicen el tamaño de las burbujas, reduzcan el gasto energético y aseguren una elevada relación de volumen de gas frente a volumen de líquido utilizado.

35



Otro aspecto de importancia es la distribución espacial de las burbujas. No hay prescripciones claras acerca de la distancia óptima en que deben situarse las burbujas con relación a la pared, y en algunos casos se trabaja en la subcapa de transición ("buffer layer"), mientras que en otros las burbujas ocupan todo el espesor de la capa turbulenta. Es esencial en cualquier caso asegurar la máxima permanencia de las burbujas en el interior de la capa límite. Esto es fácil de conseguir cuando la embarcación tiene la parte inferior del casco suficientemente plana, en cuyo caso, las burbujas, generalmente inyectadas cerca de la proa, permanecen en las inmediaciones de la pared del casco durante todo su recorrido hacia la popa debido a fuerzas de flotación. Sin embargo, es más difícil fijar la posición de las burbujas cuando el casco tiene paredes verticales o fuertemente inclinadas. En tales casos, es decisiva la elección de los puntos de inyección de burbujas, que han de ser optimizados para garantizar una máxima permanencia de las burbujas en el interior de la capa límite.

Como alternativa a la generación de burbujas, se ha recurrido ocasionalmente a la inyección de polímeros en forma pulverizada (M. D. Warholic; H. Massah y T. J. Hanratty (1999) "Influence of drag-reducing polymers on turbulence: effects of Reynolds number, concentration and mixing" Exp. Fluids 27, 461-472). Es un procedimiento más costoso, con menor capacidad de ajuste y poco aplicable dadas sus repercusiones ambientales.

En la patente española P200300169, en fase PCT con número W0400018ES (también PCT/ES2004/00018, a partir de aquí citada como D1), titulada "Nuevo método de generación de micro-corrientes fluidas para la producción de micro-burbujas, micro-espumas, micro-gotas, micro-emulsiones, y micro-cápsulas", se expone una variante de método FF que está en la base de la presente invención. Se trata de un dispositivo de geometría esencialmente chata, apta para un flujo bidimensional. Como se señala en la citada patente, el método propuesto comparte con FF la característica de que el ligamento fluido formado es más delgado que la anchura del canal u orificio de salida porque se utiliza un segundo fluido enfocante; sin embargo, el método es esencialmente bidimensional en su geometría, y no requiere de alineamiento entre los orificios de alimentación y el orificio de salida. De hecho, los orificios de alimentación están perforados en las superficies de cierre que constituyen los límites de la celda de generación de burbujas en el sentido del espesor; por el contrario, el orificio de eyección está perforado en la pared lateral que define el perímetro de dicha celda.

Los autores de D1 señalan asimismo las ventajas principales de aquella invención:

- Simplicidad incluso mayor que la de la tecnología FF convencional.
  - 5 • Dispositivo integrado por pocas partes, lo cual facilita enormemente su fabricación masiva.
  - Robustez y reproducibilidad del sistema. Las corrientes de fluido se encuentran siempre en contacto con un sólido, lo que asegura una particular robustez del sistema, es decir, no se tienen zonas capilares exentas o flotantes,  
10 particularmente susceptibles a imperfecciones e irregularidades de los tubos de alimentación (como ocurre en electrospray o flow focusing convencional).
  - Gran adaptabilidad.
  - Idoneidad para su escalado o multiplicación (multiplexing), pudiendo alcanzarse densidades de eyección mucho más altas que en cualquier otro  
15 sistema debido a que se pueden apilar las láminas, y éstas pueden ser arbitrariamente finas (desde la micra a las varias centenas de micras), lo cual supone una ventaja muy sustancial frente a cualquier otro método conocido, incluso frente a FF convencional.
- 20 Estas ventajas permiten aplicar el concepto divulgado en D1 mediante un dispositivo multi-celda, en el que se dé respuesta a las demandas de generación de burbujas y su posterior inyección en la capa límite turbulenta que envuelve la zona mojada del casco de una embarcación.

## 25 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Fig. 1: Detalle de celda, en sección paralela a las dimensiones principales. Se trata del modelo en que hay dos orificios de alimentación de agua flanqueando el chorro formado desde un orificio anterior de alimentación de gas.

30

Fig. 2: Detalle de una combinación de tres celdas, con otra configuración de celda más simple que dispone de sólo un orificio de entrada de agua y otro de gas.

Fig. 3: Sección transversal de una banda o cinta de eyección, dotada de una forma  
35 externa a modo de medio perfil hidrodinámico. Se aprecian en corte los conductos

principales de distribución (1-2), cuya sección es muy superior a la del orificio de eyección (3).

5 Fig. 4: Sección de una banda, mostrando la disposición de los conductos de distribución y los huecos de celda. En esta configuración, más simple, cada celda consta de un solo orificio de alimentación de gas y de agua. Los orificios de alimentación de gas están situados en posición anterior para asegurar el efecto enfocante del agua.

## 10 DESCRIPCIÓN RESUMIDA DE LA INVENCION

La presente invención hace referencia a un dispositivo para la generación de burbujas destinadas a incorporarse principalmente a la capa límite asociada al casco de una embarcación en movimiento. El objeto de tales burbujas es reducir la  
15 resistencia de fricción que el medio acuático ejerce sobre el casco de la embarcación, limitando su velocidad de avance y contribuyendo notablemente al consumo energético. Para ello, es preciso asegurar un principio de generación y distribución de burbujas que facilite la permanencia de un alto número de ellas en la proximidad de la pared del casco (zona mojada) y en el interior de la capa límite  
20 turbulenta.

El dispositivo propuesto es un sistema multi-celda acoplado a la embarcación. Dicho sistema está recorrido por dos conductos de distribución principal, uno de agua a presión (preferentemente procedente del medio acuático de navegación) y otro de un gas a presión (preferentemente aire), que alimentan, en forma  
25 secuencial, paralela o en combinación, a múltiples celdas eyectoras de burbujas. Cada celda está configurada como un espacio hueco de capa delgada limitada por dos superficies de cierre esencialmente planas y paralelas entre sí; el perímetro de cada celda está constituido por una sección de borde impermeable salvo en un orificio de eyección de burbujas al medio acuático exterior. Al menos una de  
30 dichas dos superficies de cierre está perforada en cada celda por uno o más orificios de alimentación de agua, conectados con el conducto de distribución de agua. Asimismo, al menos una de dichas dos superficies de cierre está perforada en cada celda por uno o más orificios de alimentación de gas, conectados con el  
35 conducto de distribución de gas. La alimentación de ambos fluidos en cada celda origina un régimen de flujo esencialmente bidimensional, paralelo al plano de dichas superficies de cierre. La corriente de gas inyectada en cada celda

constituye un chorro que presenta un tramo laminar y estable, rodeado y guiado por el agua también inyectada en cada celda; el citado chorro se dirige hacia dicho orificio de eyección; las condiciones para la formación del chorro se regulan ajustando los caudales de gas y agua inyectados. Durante la eyección de  
5 ambos fluidos, el agua rodea al chorro de gas, moldeando bajo su simple acción hidrodinámica a dicho gas y asegurando su enfoque, es decir, la concentración del flujo del gas en un chorro de diámetro reducido, que se inestabiliza al atravesar el orificio de eyección, rompiéndose en una secuencia de burbujas liberadas en el medio acuático exterior.

10 Aspectos esenciales de la invención propuesta en las reivindicaciones siguientes son: (1) la posibilidad de adaptar, sin modificar el dispositivo, el diámetro y régimen de flujo en el chorro a los requerimientos de producción de burbujas; (2) la posibilidad de utilizar como gas el aire y como líquido el del propio medio acuático, con el consiguiente ahorro en componentes y simplificación en el  
15 procedimiento; (3) la geometría plana y aplastada de las celdas, idónea para asegurar la máxima proximidad al casco y por lo tanto la inyección de burbujas próximas a la pared de la embarcación; (4) la simplicidad del diseño, que permite la producción del dispositivo como banda continua, potencialmente flexible y con un número ilimitado de celdas; la banda continua es cortada apropiadamente y  
20 situada de forma óptima para formar franjas de emisión de burbujas en la zona mojada del casco; (5) en su configuración más simple, cada celda consta de un solo orificio de alimentación de gas y de agua: los orificios de alimentación de gas están situados en posición anterior para asegurar el efecto enfocante del agua; (6)  
25 el carácter achatado de cada celda es compatible con un diseño general de la banda continua que minimice las pérdidas hidrodinámicas ligadas a la distorsión de flujo; en particular, cada banda puede diseñarse de manera que su sección sea aproximadamente la de medio perfil esbelto, con un borde romo en el borde de avance y un extremo afilado en el que se sitúan los orificios de eyección.

### 30 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La invención descrita en el presente documento contempla un dispositivo para la generación de burbujas destinadas a incorporarse principalmente a la capa límite asociada al casco de una embarcación en movimiento. El objeto de tales burbujas  
35 es reducir la resistencia de fricción que el medio acuático ejerce sobre el casco de la embarcación, limitando su velocidad de avance y contribuyendo notablemente al

- consumo energético. Para ello, es preciso asegurar un principio de generación y distribución de burbujas que facilite la permanencia de un alto número de ellas en la proximidad de la pared del casco (zona mojada) y en el interior de la capa límite turbulenta.
- 5 El dispositivo propuesto es un sistema multi-celda acoplado a la embarcación. Dicho sistema está recorrido por dos conductos de distribución principal, un conducto (1) de agua a presión (preferentemente procedente del medio acuático de navegación) y otro conducto (2) de un gas a presión (preferentemente aire), que alimentan, en forma secuencial, paralela o en combinación, a múltiples celdas
- 10 eyectoras de burbujas. Cada celda está configurada como un espacio hueco de capa delgada limitada por dos superficies de cierre esencialmente planas y paralelas entre sí; el perímetro de cada celda está constituido por una sección de borde impermeable salvo en un orificio de eyección (3) de burbujas al medio acuático exterior. Al menos una de dichas dos superficies de cierre está perforada
- 15 en cada celda por uno o más orificios de alimentación de agua (4) , conectados con el conducto de distribución de agua (1). Asimismo, al menos una de dichas dos superficies de cierre está perforada en cada celda por uno o más orificios de alimentación de gas (5), conectados con el conducto de distribución de gas (2). La alimentación de ambos fluidos en cada celda origina un régimen de flujo
- 20 esencialmente bidimensional, paralelo al plano de dichas superficies de cierre. La corriente de gas inyectada en cada celda da lugar a un micro-torrente continuo que presenta un tramo laminar, estable y estacionario, rodeado y guiado por el agua también inyectada en cada celda; el citado micro-torrente se dirige hacia dicho orificio de eyección (3); las condiciones para la formación del micro-torrente
- 25 se regulan ajustando los caudales de gas y agua inyectados; durante la eyección de ambos fluidos a través del canal de salida, el agua rodea al micro-torrente de gas, moldeando bajo su simple acción hidrodinámica a dicho gas y asegurando la concentración del flujo del gas en un chorro de diámetro reducido, que se inestabiliza al atravesar el orificio de eyección (3) hacia el canal de salida,
- 30 rompiéndose en una secuencia de burbujas que son liberadas en el medio acuático exterior al salir de dicho canal de salida. La sección de cada uno de los conductos de distribución (1-2) es al menos cinco veces superior a la suma de todas las secciones de los orificios de eyección (3).
- Aspectos esenciales de la invención propuesta en las reivindicaciones siguientes
- 35 son: (1) la posibilidad de adaptar, sin modificar el dispositivo, el diámetro y régimen de flujo en el chorro a los requerimientos de producción de burbujas; (2)

la posibilidad de utilizar como gas el aire y como líquido el del propio medio acuático, con el consiguiente ahorro en componentes y simplificación en el procedimiento; (3) la geometría plana y aplastada de las celdas, idónea para asegurar la máxima proximidad al casco y por lo tanto la inyección de burbujas  
5 próximas a la pared de la embarcación; (4) la simplicidad del diseño, que permite la producción del dispositivo como banda continua, potencialmente flexible y con un número ilimitado de celdas; la banda continua puede ser cortada apropiadamente y situada de forma óptima para formar franjas de emisión de burbujas en la zona mojada del casco; (5) en su configuración más simple, cada  
10 celda consta de un solo orificio de alimentación de gas y de agua: los orificios de alimentación de gas están situados en posición anterior para asegurar el efecto enfocante del agua; (6) el carácter achatado de cada celda es compatible con un diseño general de la banda continua que minimice las pérdidas hidrodinámicas ligadas a la distorsión de flujo; en particular, cada banda puede diseñarse de  
15 manera que su sección sea aproximadamente la de medio perfil esbelto, con un borde romo en el borde de avance y un extremo afilado en el que se sitúan los orificios de eyección.

En particular, la presente invención permite acceder a las siguientes ventajas, especialmente atractivas para la generación de burbujas y su permanencia en la  
20 capa límite de una embarcación:

- Obtención de burbujas de muy pequeño diámetro, cuya tendencia a permanecer dentro de la capa límite es mayor (más fácilmente arrastrables, menos sometidas a la fuerza de flotación). Por el contrario, las tecnologías basadas en  
25 matrices porosas o en simples superficies de cierre perforadas ("array of holes") dan lugar a grandes burbujas, que tienen tendencia a rebasar la escala de la capa límite y a escapar de ella.
- Muy alta relación entre el caudal de gas y el de líquido, que origina una  
30 notable reducción en la disipación viscosa dentro de la capa límite turbulenta (elevada relación de vacío –"void ratio"-).
- Requerimiento energético moderado. Las sobrepresiones de gas y de agua necesarias para impulsar el sistema de burbujeo son reducidas debido a la gran  
35 sencillez del diseño de flujos. Con ello se garantiza que los ahorros energéticos

13

conseguidos mediante la creación de una capa límite burbujeante no son consumidos por el sobre-coste de bombeo.

- Escasa pérdida de carga en los conductos de distribución de gas y de agua, con lo que se asegura la homogeneidad en el funcionamiento de todas las celdas. Para ello es preciso que prácticamente toda la pérdida de carga en la línea de flujo se produzca en cada uno de los orificios de eyección de burbujas. Para conseguirlo, basta con diseñar el dispositivo de manera que la sección de cada uno de los conductos de distribución sea considerablemente superior a la suma de todas las secciones de los orificios de eyección. En la práctica, basta con que la relación de áreas sea superior a 5.
- Facilidad de construcción en serie, en forma de mangas o tiras que alojan longitudinalmente las sucesivas celdas. Esto abre la puerta a un drástico abaratamiento del sistema, que puede orientarse a su instalación y descarte rápidos, ahorrando con ello gastos de mantenimiento.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo para la generación de burbujas destinadas a incorporarse  
5 principalmente a la capa límite turbulenta de la superficie mojada del casco  
de una embarcación en movimiento integrado por un sistema multi-celda  
adherido a las paredes del casco de dicha embarcación caracterizado  
porque dicho sistema dispone al menos de un eje de circulación principal  
10 recorrido por dos conductos de distribución, un conducto (1) de agua a  
presión (preferentemente procedente del medio acuático de navegación) y  
otro conducto (2) de un gas a presión (preferentemente aire), que  
alimentan, en forma secuencial, paralela o en combinación, a múltiples  
celdas eyectoras de burbujas; cada una de dichas celdas está configurada  
15 como un espacio hueco de capa delgada limitada en el sentido del espesor  
por dos superficies de cierre esencialmente planas y paralelas entre sí,  
viniendo definida la geometría de dicha capa delgada por dos dimensiones  
principales: un espesor  $e$  y una superficie de extensión  $S$ ; el perímetro de  
cada celda está limitado por una sección de borde impermeable salvo en  
20 un orificio de eyección (3) de burbujas al medio acuático exterior; al menos  
una de dichas dos superficies de cierre está perforada en cada celda por  
uno o más orificios de alimentación de agua (4), conectados con el  
conducto de distribución de agua (1); y al menos una de dichas dos  
superficies de cierre está perforada en cada celda por uno o más orificios  
25 de alimentación de gas (5), conectados con el conducto de distribución de  
gas (2); la alimentación de ambos fluidos en cada celda origina un régimen  
de flujo esencialmente bidimensional, paralelo al plano de dichas  
superficies de cierre; la corriente de gas inyectada en cada celda da lugar a  
un micro-torrente continuo que presenta un tramo laminar, estable y  
estacionario, rodeado y guiado por el agua también inyectada en cada  
30 celda; el citado micro-torrente se dirige hacia dicho orificio de eyección (3);  
las condiciones para la formación del micro-torrente se regulan ajustando  
los caudales de gas y agua inyectados; durante la eyección de ambos  
fluidos a través del canal de salida, el agua rodea al micro-torrente de gas,  
moldeando bajo su simple acción hidrodinámica a dicho gas y asegurando  
35 la concentración del flujo del gas en un chorro de diámetro reducido, que  
se inestabiliza al atravesar el orificio de eyección (3) hacia el canal de



15

salida, rompiéndose en una secuencia de burbujas que son liberadas en el medio acuático exterior al salir de dicho canal de salida; la sección de cada uno de los conductos de distribución (1-2) es al menos cinco veces superior a la suma de todas las secciones de los orificios de eyección (3).

5

2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que el área del orificio de eyección (3) en cada celda es inferior a la suma de las áreas de los orificios de alimentación de agua y de gas (4-5).

10

3. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que el área total de los orificios de alimentación de agua (4) en cada celda es inferior a 0.5 veces la extensión S de dicha celda.

15

4. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que el área total de los orificios de alimentación de gas (5) en cada celda es inferior a 0.5 veces la extensión S de dicha celda.

20

5. Dispositivo según las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que dichas celdas están distribuidas longitudinalmente en una pieza o banda continua de un material deformable e impermeable que puede ser un polímero o un metal, siendo dicha banda recorrida longitudinalmente por los conductos de distribución de agua y de gas; una de las dos caras exteriores de dicha banda es adhesiva o dispone de elementos de sujeción a un casco de embarcación.

25

6. Dispositivo según la reivindicación 5, caracterizado por que dicha banda tiene una sección transversal con la forma de medio perfil hidrodinámico, correspondiendo dicha cara de adhesión o sujeción al borde plano de dicho perfil; dicho perfil dispone de un borde anterior romo, y de un borde posterior afilado en el que se encuentran las salidas de dichos orificios de eyección (3).

30

7. Dispositivo según las reivindicaciones 5 a 6, caracterizado por que dichas celdas son definidas mediante el ensamblaje de tres láminas delgadas y alargadas: una lámina de contacto (6), cuya cara externa constituye la cara

35

de adhesión de dicha banda; una lámina intermedia (7), troquelada de forma periódica, que define los espacios de celda; y una lámina tapadera (8), en la que están practicados los orificios de alimentación (4-5).

5

8. Dispositivo según la reivindicación 7, caracterizado por que al menos una de dichas láminas es de material polimérico.

10

9. Dispositivo según la reivindicación 7, caracterizado por que al menos una de dichas láminas es de material metálico.

15

20

25

30

35

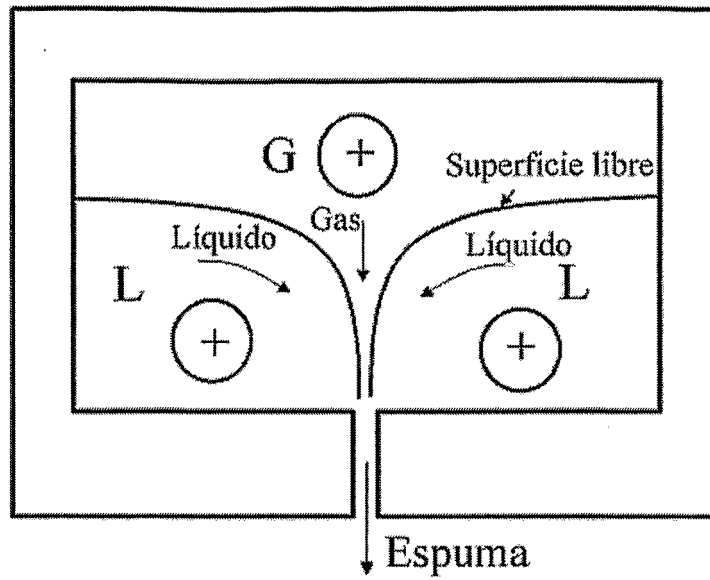


Fig. 1

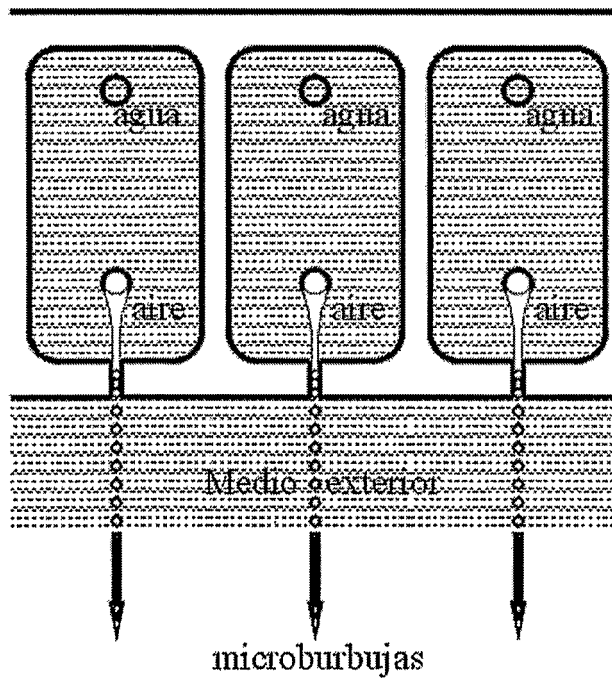


Fig. 2

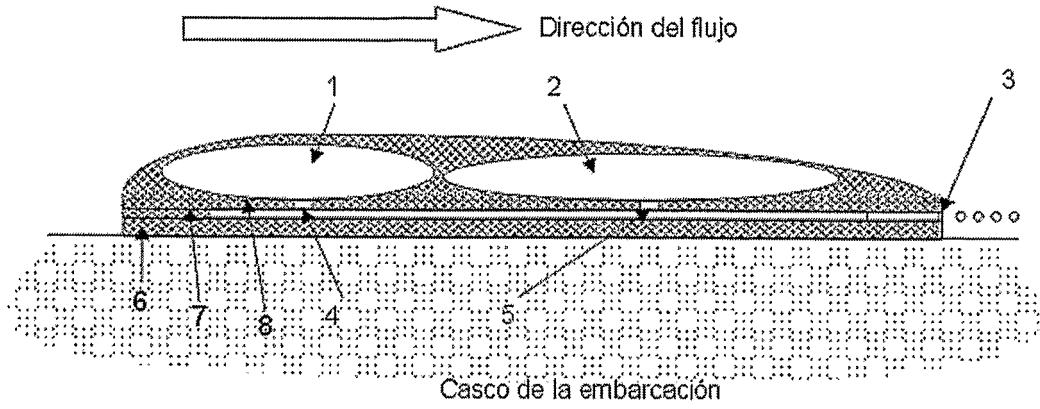


Fig. 3

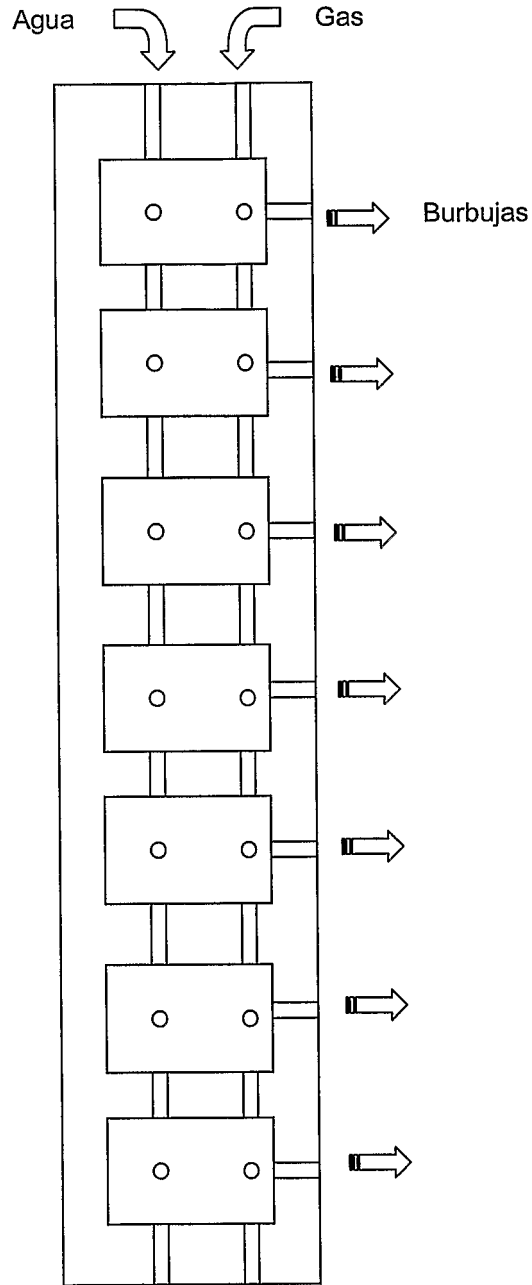


Fig. 4