

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 024**

21 Número de solicitud: 201831212

51 Int. Cl.:

B01F 5/06 (2006.01)

B01F 3/04 (2006.01)

B01F 7/04 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

14.12.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

15.06.2020

Fecha de concesión:

10.09.2021

45 Fecha de publicación de la concesión:

17.09.2021

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA (100.0%)
Paseo de las Delicias s/n (Pabellón de Brasil)
41013 Sevilla (Sevilla) ES**

72 Inventor/es:

**DÁVILA MARTÍN, Javier y
FERNÁNDEZ MORALES, Alonso**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **DISPOSITIVO GENERADOR DE VÓRTICES EN CANALES O CONDUCTOS**

57 Resumen:

La presente invención se refiere a un dispositivo generador de vórtices en canales o conductos que permite llevar a cabo un aprovechamiento del vórtice de punta de ala que se forma en los perfiles aerodinámicos como consecuencia de tener una envergadura finita. Estos perfiles aerodinámicos constan de uno o dos bordes marginales desde los que se desprende el vórtice de punta de ala provocando la aparición de un movimiento oscilatorio que somete a las partículas que viajan con la corriente a un ciclo ascendente-descendente. Por este motivo, la presente invención tiene como ventaja fundamental que se producen velocidades transversales a la corriente principal, sin apenas introducir pérdidas de carga.

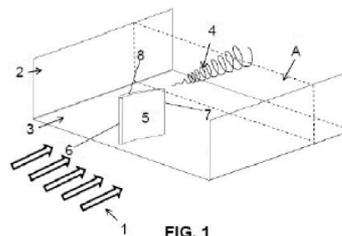


FIG. 1

ES 2 767 024 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

DISPOSITIVO GENERADOR DE VÓRTICES EN CANALES O CONDUCTOS

5 **OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a un dispositivo generador de vórtices en canales o conductos que permite generar vórtices estables a lo largo de canales o conductos mediante el uso de cuerpos fusiformes, de forma que el vórtice producido tiene su eje
10 de giro paralelo a la dirección de la corriente. El dispositivo objeto de la presente invención es aplicable en campos en los que sea importante conseguir una agitación eficiente de fluidos con el mínimo consumo de energía. En particular es aplicable en procesos de crecimiento de cultivos biológicos en los que el consumo de energía necesario para la agitación del cultivo supone uno de los principales costes de
15 operación, al mismo tiempo que su productividad está limitada por la capacidad de mezcla.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20 Se conocen en el estado de la técnica diferentes sistemas de mezcla en línea, como por ejemplo los llamados mezcladores estáticos, que incorporan diferentes diseños de elementos sólidos, normalmente en el interior de un conducto. Dichos elementos producen una buena mezcla del flujo debido a un fuerte aumento de la intensidad turbulenta, o sea, del nivel de fluctuaciones de velocidad respecto de la velocidad
25 media del flujo. Sin embargo, los mezcladores estáticos existentes producen una elevada pérdida de carga (caída de la presión de remanso) en relación a la energía cinética del flujo. Ejemplos de mezcladores estáticos se recogen en los documentos patente siguientes: EP2433706, WO2010039162, CN202893218 y JPS5919524.

30 Algunos mezcladores estáticos están basados en placas delgadas, pero su comportamiento es muy diferente del de un perfil aerodinámico, ya que o bien el ángulo de ataque es muy elevado (lo que produce el desprendimiento de su capa límite) o bien están anclados por el borde de ataque o el borde de salida a alguna de las paredes del conducto, tal y como los descritos en las solicitudes de patente con
35 número de publicación US2006158961 o WO0062915.

Otros sistemas de mezcla se basan en la generación de fluctuaciones turbulentas mediante zonas de cortadura, como es el caso de los chorros o las capas de mezcla y pueden ser más eficientes que los mezcladores estáticos. En las zonas de cortadura se generan también fluctuaciones turbulentas que permiten la mezcla de compuestos en disolución o de distintos fluidos, como ocurre en el dispositivo descrito en la solicitud de patente US2010163114.

Además de los diseños mencionados, existen otros mezcladores en los que se genera una corriente de giro sin partes móviles que podrían denominarse mezcladores tangenciales. Ejemplos de esta técnica aparecen en las patentes ZA9802249, JP2012006013 y US2016250606. En estos casos, además de la corriente de giro se suele buscar también un aumento de la intensidad de la turbulencia. Otra técnica también basada en la generación de giro en la que se crea un vórtice toroidal para mezclar una región de fluido se encuentra descrita en la patente US5823676.

Por otra parte también existen otros mezcladores mecánicos con partes móviles, tales como hélices con ejes paralelos al eje del conducto, que aunque pueden ser mucho más eficientes que los mencionados anteriormente, no suelen ser aptos para el uso con líquidos cargados de partículas o en los que se cultivan especies biológicas y tienen unos costes de mantenimiento elevados. Estos mezcladores también pueden producir un vórtice longitudinal (con su eje paralelo a la dirección del conducto), con distintos niveles de turbulencia dependiendo de si además de producir el giro de la corriente también se desea conseguir una mezcla transversal de los fluidos en movimiento.

La eficiencia de estos sistemas se puede caracterizar por el nivel de agitación y mezcla conseguido, dividido por el coeficiente adimensional de pérdida de carga. Dependiendo del objetivo que se busque, el nivel de agitación o mezcla se puede caracterizar de formas diferentes, como por ejemplo:

- a) La reducción de la dispersión de la concentración obtenida respecto de la media.

b) La dispersión de la distancia de diferentes partículas respecto de una posición de referencia, como puede ser el eje central del conducto o la posición inicial de las partículas.

5 Por otra parte, el coeficiente de pérdida de carga se define como la pérdida de presión de remanso, dividida por la energía cinética del flujo medio por unidad de volumen. La mayoría de los sistemas que se utilizan actualmente para mezclar en línea producen una pérdida de carga muy elevada, ya que el flujo resultante es muy turbulento y con muchas zonas de recirculación. Las fluctuaciones turbulentas de velocidad son muy
10 efectivas para mezclar fluidos, pero al mismo tiempo también llevan asociadas unas importantes pérdidas de cantidad de movimiento debido al denominado tensor de esfuerzos aparentes de Reynolds. Por otro lado, si la intensidad de la turbulencia es muy baja las fluctuaciones de velocidad son mucho menos efectivas para el transporte de masa, por lo que en ese caso es fundamental que las trayectorias de las partículas
15 fluidas no sean paralelas al eje del conducto o canal. Un procedimiento para conseguir esto es generar oleaje en la superficie de los canales, de forma que aparecen trayectorias circulares o elípticas que producen una agitación efectiva del flujo en la zona cercana a la superficie libre.

20 Además de los mencionados inconvenientes de los otros sistemas de agitación y mezcla, en algunas instalaciones es fundamental mantener unas condiciones de limpieza muy exigentes, como suele ocurrir en los cultivos biológicos. En estos casos se suelen utilizar agitadores con palas o álabes esencialmente planos. Dentro de este grupo de sistemas de agitación se podría incluir los agitadores de hélice (impulsores
25 axiales) y las distintas modalidades de ruedas de paletas.

El dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de la presente invención solventa todos los inconvenientes anteriores.

30 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a un dispositivo generador de vórtices en canales o conductos que favorece la agitación de una corriente esencialmente paralela que fluye por el conducto o canal que comprende unas paredes laterales y un fondo o solera,
35 generando vórtices de punta de ala sin un aumento sustancial de la intensidad de la

turbulencia.

El dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de la presente invención se encuentra descrito en las reivindicaciones, que se incluyen aquí por referencia. Así configurado, el dispositivo generador de vórtices en canales o conductos comprende al menos un cuerpo fuselado en forma de aleta o perfil aerodinámico, anclado a una de las paredes laterales o al fondo de canal o conducto mediante el borde opuesto al borde marginal de la aleta o perfil aerodinámico, o fijado a una primera estructura sólida, que permite la incorporación controlada de intensos vórtices de punta de ala al flujo principal del conducto o canal.

Preferiblemente, el al menos un álabe o perfil aerodinámico se encuentra anclado a una de las paredes laterales o al fondo de canal o conducto mediante el borde opuesto al borde marginal del álabe o perfil aerodinámico, o anclado a la primera estructura sólida al canal o conducto, mediante unos medios de fijación.

El fundamento del dispositivo generador de vórtices en canales o conductos es el aprovechamiento del vórtice de punta de ala que se forma en los bordes marginales de los perfiles aerodinámicos como consecuencia de la aparición de zonas de mayor y menor presión relativa por ser cuerpos fuselados de envergadura finita. En dichos perfiles aerodinámicos se define como borde de ataque el borde sobre el que incide la corriente principal y como borde de salida el que se encuentra aguas abajo en la dirección de la corriente principal. Los perfiles aerodinámicos constan de uno o dos bordes marginales, que son los bordes laterales en el sentido de la corriente principal. El perfil aerodinámico comprende un único borde marginal en caso de estar fijado directamente a una de las paredes del conducto o canal o en el caso de que uno de sus bordes laterales esté fuera de la corriente.

Así configurado, el dispositivo generador de vórtices en canales o conductos provoca que el vórtice de punta de ala se desprenda del borde marginal de una aleta o perfil aerodinámico y provoque la aparición de un movimiento oscilatorio que somete a las partículas que viajan con la corriente a un ciclo ascendente-descendente. Por este motivo, la presente invención tiene como ventaja fundamental que se producen velocidades transversales a la corriente principal sin apenas introducir pérdidas de carga, en vez de a partir de un fuerte aumento de la intensidad turbulenta mediante

cualquier otro procedimiento, según lo conocido en el estado de la técnica, lo cual es clave para que el rendimiento energético pueda maximizarse.

El dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de la presente invención
5 fomenta el vórtice de punta de ala, para lo cual el ángulo que forma la aleta o perfil aerodinámico con la corriente incidente debe ser reducido. En aerodinámica se define el ángulo de ataque de una sección longitudinal de un cuerpo fuselado como el ángulo que forma la corriente incidente con la línea de referencia de la sección longitudinal del cuerpo fuselado, que es a su vez la línea que une el borde de ataque con el borde de
10 salida para la misma sección longitudinal del cuerpo fuselado y que define la denominada cuerda de la sección longitudinal del cuerpo fuselado. Para que una aleta o perfil aerodinámico se comporte como cuerpo fuselado al menos para una parte del cuerpo fuselado el ángulo de ataque debe ser reducido. Por ese motivo, en el dispositivo generador de vórtices de punta de ala el mínimo ángulo de ataque de la
15 aleta o perfil aerodinámico se encuentra entre -20° y 20° , ya que de otra forma se desprendería completamente su capa límite y, como consecuencia, las diferencias de presión serían mucho más reducidas y las pérdidas hidráulicas serían mucho más elevadas, en contra del objetivo buscado.

20 Un perfil aerodinámico comprende una primera cara lateral definida entre el borde de ataque y el borde de salida y una segunda cara lateral definida entre el borde de ataque y el borde de salida, de manera que, como consecuencia del funcionamiento del perfil aerodinámico como cuerpo fuselado se produce una notable diferencia de presiones entre las dos caras laterales. La primera cara lateral o cara lateral sobre la
25 que se producen las sobrepresiones se denomina intradós y la segunda cara lateral o cara sobre la que se produce una depresión respecto de la presión de la corriente incidente se denomina extradós. Esto hace que un perfil aerodinámico de envergadura finita produce vórtices de punta de ala, ya que desde el intradós hacia el extradós se genera un gradiente favorable de presiones que a su vez genera una corriente
30 alrededor del borde marginal denominada corriente de rebordeo.

Si la envergadura del perfil es mucho mayor que la cuerda máxima las presiones en el intradós y el extradós son muy uniformes y el efecto del vórtice de punta de ala en la sustentación de dicho perfil es reducido. Dado que en la presente invención se
35 pretende intensificar el vórtice de punta de ala se utilizarán aletas o perfiles

aerodinámicos en los que el cociente entre la suma de la superficie del intradós y el extradós de la aleta o perfil aerodinámico y el cuadrado de su máxima cuerda es inferior a 8. Por tanto, en estos perfiles la envergadura es del mismo orden de magnitud que la cuerda máxima.

5

En el campo de la ingeniería hidráulica se define el diámetro hidráulico de un conducto o canal hidráulico (D_H) como cuatro veces el área de su sección transversal (A) dividido por el perímetro mojado por el fluido (p), que es la longitud del contorno de la sección que está en contacto con el fluido que circula por el conducto o canal:

10

$$D_H = 4A / p$$

En el caso de conductos circulares D_H coincide con el diámetro interior del conducto. En el caso de conductos de sección cuadrada D_H coincide con la altura del conducto.

15

Cuando un canal o conducto tiene una sección con una base, b , mucho mayor que su altura h , ($b \gg h$) el diámetro hidráulico es del orden de la altura del conducto, h , o sea, de la menor de las dimensiones que definen la sección transversal.

20

Las pérdidas de energía mecánica por unidad de volumen en un canal o conducto con una sección transversal de área A , que se producen como consecuencia de un estrechamiento de sección producida por la existencia de un dispositivo sumergido, donde el área de la proyección del dispositivo sobre un plano perpendicular a la dirección del eje del conducto o canal es A_p , se pueden determinar como:

$$\Delta H \approx -\frac{1}{2} \rho v^2 \frac{A_p^2}{A^2}$$

25

Por lo tanto, para que las pérdidas producidas por el dispositivo generador de vórtices sean pequeñas en relación a la inercia del fluido es necesario que A_p sea inferior a 0,5 veces la sección del conducto, A . De esa forma el coeficiente de pérdida de carga producido, k , que se define como:

$$k = \Delta H / \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right),$$

30

será mucho menor que la unidad, lo que significa que las pérdidas producidas por el dispositivo son despreciables, maximizándose de esa forma la eficiencia del proceso.

Por otra parte, para que el vórtice de punta de ala se incorpore al flujo principal del conducto o canal y por tanto se forme en una zona donde la disipación de energía no sea elevada conviene que el borde marginal de una aleta o perfil aerodinámico no esté dentro o cerca de las capas límites de las paredes o fondo del conducto o canal. En la mayoría de las aplicaciones de interés industrial el flujo es turbulento y el espesor de la capa límite se puede estimar como 5000 veces el cociente entre la viscosidad cinemática y la velocidad media del flujo. Por lo tanto, para que el vórtice de punta de ala no se disipe rápidamente la distancia mínima del borde marginal de una aleta o perfil aerodinámico a las paredes o fondo del conducto o canal deberá ser superior al resultado de multiplicar 10000 por la viscosidad cinemática del fluido y dividir por velocidad media en el canal o conducto.

Además, como aspecto opcional de la invención, el borde marginal de una aleta o perfil aerodinámico está a una distancia mínima a la pared sólida más cercana mayor que el diámetro hidráulico del conducto o canal dividido por 20, es decir, la distancia del borde marginal de la aleta o perfil aerodinámico a la primera estructura sólida o a una segunda estructura sólida es mayor que el diámetro hidráulico del canal o conducto dividido por 20. En el caso de que la distancia a la pared sea inferior a esa relación $D_H/20$, la pared produciría una fuerte interacción con el vórtice, con lo que no se conseguiría de forma eficiente el objetivo buscado.

Por otra parte, para que obtener mayores diferencias de presión entre el extradós y el intradós de una aleta o perfil aerodinámico es conveniente que el ángulo de ataque que se define para las distintas secciones longitudinales vaya aumentando desde su raíz (plano central en el caso de perfiles con dos bordes marginales) hacia uno de sus bordes marginales, que es la zona en la que se forma el vórtices de punta de ala.

Por el mismo motivo, para obtener mayores diferencias de presión entre el extradós y el intradós y al mismo tiempo evitar el desprendimiento de capa límite es conveniente que en la sección longitudinal de una aleta o perfil aerodinámico haya una cierta curvatura, por lo que conveniente que el dispositivo generador de vórtices de punta de ala tenga una aleta o perfil aerodinámico con una sección longitudinal en la que la altura máxima del perfil, denominada comba máxima esté entre el 25% y el 75% de su cuerda. Estos valores excluyen los perfiles aerodinámicos en los que la máxima comba está muy cerca del borde de ataque o de salida, que son más propensos a

tener desprendimiento de capa límite en los bordes del perfil.

En otra realización particular de la invención, la al menos una aleta o perfil aerodinámico del dispositivo generador de vórtices en canales o conductos presenta el
5 borde marginal sustancialmente más grueso que el espesor medio de una aleta o perfil aerodinámico y está redondeado para facilitar la formación de los vórtices de punta de ala. En la industria aeronáutica, para reducir la formación de vórtices de punta de ala se colocan perfiles perpendiculares al álabe que se denominan dispositivos de punta alar (en inglés "winglets"). Por el contrario, para el dispositivo de la presente invención,
10 el borde marginal está engrosado para facilitar la formación del vórtice de punta de ala. Por ese motivo, en una aleta o perfil aerodinámico, el valor medio del radio de curvatura del borde marginal es mayor que el espesor medio de dicha aleta o perfil aerodinámico.

15 En resumen la invención se refiere a las reivindicaciones de dispositivo incluidas en esta solicitud, que se incluyen aquí por referencia.

El dispositivo de generación de vórtices de punta de ala descrito anteriormente es de aplicación para la agitación en diversos equipos industriales, tales como reactores
20 químicos tubulares, sistemas tubulares de mezcla de reactivos, reactores biológicos tubulares y tanques de cultivo biológico abiertos a la atmósfera. Su capacidad para generar velocidades transversales a partir de una corriente principal paralela hace que también sean de aplicación para la resuspensión de partículas sólidas que se encuentran sobre el fondo de canales, ríos, puertos, dársenas y estuarios. Por tanto, la
25 invención se refiere también a un procedimiento de agitación en canales y conductos mediante generación de vórtices mediante el dispositivo generador de vórtices en canales o conductos descrito anteriormente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

30

La Figura 1 muestra una vista en perspectiva de un canal o conducto de sección rectangular con el dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de la presente invención anclado a una de las paredes de un conducto. Se muestran el borde de ataque, borde de salida y borde marginal de la aleta, así como el vórtice de
35 punta de ala generado.

La Figura 2 muestra una sección longitudinal del dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de la presente invención donde se indica el ángulo de ataque en relación a la dirección de la corriente incidente, la cuerda y la comba máxima para esa
5 sección longitudinal de dicho dispositivo.

La Figura 3 muestra una sección longitudinal del dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de la presente invención donde se muestra la distribución de presiones típicas en el intradós y el extradós de dicho dispositivo.
10

La Figura 4 muestra una sección transversal del dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de la presente invención donde se muestra la distribución de presiones en el intradós y el extradós de dicho dispositivo y la corriente de rebordeo.

15 La Figura 5 muestra una vista en perspectiva de un canal o conducto de sección rectangular con el dispositivo de la presente invención anclado a una de las paredes, donde se ha representado la sección transversal del canal o conducto y la proyección del dispositivo en la dirección de la corriente principal sobre un plano perpendicular al eje del conducto.
20

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION.

Las referencias usadas en las figuras del dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de la presente invención, que a continuación se explicará de manera
25 detallada, son las siguientes:

- 1: flujo con dirección esencialmente paralela a las paredes del conducto o canal.
- 2: pared del canal o conducto.
- 3: fondo del canal o conducto.
- 30 4: vórtice de punta de ala generado por el perfil.
- 5: aleta o perfil aerodinámico.
- 6: borde de ataque.
- 7: borde de salida.
- 8: borde marginal.
- 35 9: ángulo de ataque.

10: cuerda.

11: comba máxima.

12: intradós.

13: extradós.

5 14: rebordeo.

15: b.

16: h.

17: Ap.

10 El comportamiento de un perfil fuselado sumergido en una corriente fluida está muy bien descrito por sus aplicaciones en la ingeniería aeronáutica. Las características aerodinámicas más importante de un perfil son su coeficiente de sustentación, C_L , y su coeficiente de resistencia aerodinámica, C_D , definidos como

15
$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho v^2 S} \quad (1)$$

y

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho v^2 S} \quad (2),$$

20 donde L y D son, respectivamente, las fuerzas de sustentación y resistencia aerodinámica sobre el perfil y S es la superficie del ala.

Estos dos coeficientes varían en función del número de Reynolds, aunque generalmente es suficiente con considerar los valores asintóticos para números de Reynolds muy altos en turbulencia completamente desarrollada. Además, los coeficientes también varían en función del ángulo de ataque de la aleta o perfil aerodinámico. Cuando la capa límite sobre el perfil está adherida y la estela que se desprende del borde de salida es muy estrecha el coeficiente de resistencia aerodinámica, C_D , es mucho menor que la unidad, ya que en este caso las pérdidas son producidas por la fricción con las paredes del perfil, un efecto generalmente despreciable a altos números de Reynolds. En la misma situación, el coeficiente de sustentación, C_L , suele ser de orden unidad, presentando una dependencia creciente

25

30

con el ángulo de ataque, hasta que para un cierto ángulo crítico se presenta la denominada crisis de la sustentación, en la que la capa límite sobre el extradós se desprende antes de llegar al borde de salida. A partir de ese ángulo la sustentación del perfil aerodinámico se reduce bruscamente al aumentar el ángulo de ataque como consecuencia del desprendimiento de capa límite y de una menor diferencia de presiones entre el intradós (cara de sobrepresiones) y el extradós (depresión). Para conseguir mayores valores de la sustentación se puede utilizar perfiles con un cierto espesor y curvatura, lo que permite que la capa límite no se desprenda para mayores ángulos de ataque.

10

Como se ha explicado anteriormente, para aumentar la intensidad del vórtice de punta de ala que se produce sobre un perfil es conveniente que la diferencia de presiones entre intradós y extradós sea elevada a lo largo de toda la cuerda de la aleta o perfil aerodinámico. Como consecuencia de lo indicado anteriormente, conviene que el perfil aerodinámico trabaje con ángulos de ataque altos, pero sin llegar al valor crítico en el que se produce la crisis de la sustentación por el desprendimiento de capa límite.

15

El tipo de vórtice que se desprende del borde marginal de la aleta o perfil aerodinámico puede modelarse como un vórtice cilíndrico, que en el caso de una corriente de un canal o conducto tendría un eje esencialmente paralelo al eje del mismo canal o conducto.

20

En la literatura especializada se suelen utilizar modelos de vórtices cilíndricos como el del vórtice de Rankine o el vórtice de Burgers (*Dávila J. & Hunt J. C. R. 2001 Settling of small particles near vortices and in turbulence. J. Fluid Mech. 440, 117–145*). Estos modelos describen una dependencia de la velocidad azimutal (en torno al eje del vórtice) en función de la distancia al eje del vórtice.

25

Los parámetros más importantes de los vórtices cilíndricos son su radio viscoso, R_v , y la circulación del vórtice. El primero de estos parámetros determina la distancia al eje del vórtice en la que la velocidad acimutal es máxima. Cuando el número de Reynolds es elevado, el radio viscoso es muy pequeño (típicamente del orden del milímetro) y la circulación del vórtice es aproximadamente constante. Desde el punto de vista de la agitación interesa que la circulación del vórtice sea elevada, lo que como está muy

30

relacionado con elevados valores del coeficiente de sustentación de la aleta o perfil aerodinámico y del ángulo de ataque.

5 El problema técnico que resuelve la presente invención es favorecer la agitación de una corriente esencialmente paralela (1) que fluye por un conducto o un canal formado por unas paredes laterales (2) y un fondo o solera (3) (FIG. 1). Para ello se recurre a la generación de vórtices de punta de ala (4) mediante el uso de aletas o perfiles aerodinámicos, sin un aumento sustancial de la intensidad de la turbulencia.

10 Para ello, el dispositivo de generador de vórtices en canales o conductos de la presente invención comprende al menos una aleta o perfil aerodinámico (5), anclado a una de las paredes laterales (2) o al fondo (3) de canal o conducto mediante el borde opuesto al borde marginal (8) de la aleta o perfil aerodinámico (5), o anclado a una primera estructura sólida, mediante unos medios de fijación, de forma que se produce
15 la incorporación controlada de intensos vórtices de punta de ala (4) al flujo principal (1) del conducto o canal.

El fundamento del dispositivo es el aprovechamiento del vórtice de punta de ala (4) que se forma en los perfiles aerodinámicos (5) como consecuencia de tener una
20 envergadura finita. En dichos perfiles se define como borde de ataque (6) el borde sobre el que incide la corriente principal (1) y como borde de salida (7) el que se encuentra aguas abajo en la dirección de la corriente (1) (FIG. 1). Estos perfiles constan de uno o dos bordes marginales (8), que son los bordes laterales en el sentido de la corriente principal (1). El perfil tendrá un único borde marginal cuando esté
25 fijado directamente a una de las paredes sólidas del conducto o canal, o uno de sus laterales salga por la superficie en un canal o conducto.

El vórtice de punta de ala (4) se desprende del borde marginal (8) de la aleta o perfil aerodinámico (5) y provoca la aparición de un movimiento oscilatorio que somete a las
30 partículas que viajan con la corriente a un ciclo ascendente-descendente. Por este motivo, la presente invención tiene como ventaja fundamental que se producen velocidades transversales a la corriente principal sin apenas introducir pérdidas de carga, en vez de a partir de un fuerte aumento de la intensidad turbulenta mediante cualquier otro procedimiento, lo cual es clave para que el rendimiento energético
35 pueda maximizarse.

El dispositivo diseñado, por tanto, trata de fomentar el vórtice de punta de ala (4), para lo cual el ángulo de ataque de la aleta o perfil aerodinámico debe ser pequeño, ya que de otra forma se desprendería la capa límite y, como consecuencia, la fuerza de sustentación sería mucho más reducida y las pérdidas hidráulicas serían mucho más elevadas, en contra del objetivo que se va buscando. Por lo tanto, el ángulo de ataque debe estar entre -20° y 20° . Como se observa en la FIG. 2, el ángulo de ataque de una sección longitudinal (9) es el que forma la corriente incidente con línea de referencia de un cuerpo fuselado, que es la línea que une el borde de ataque del al menos una aleta o perfil aerodinámico con el borde de salida y que define la denominada cuerda (10) de la aleta o perfil aerodinámico (5) en dicha sección longitudinal (FIG. 2).

Como consecuencia del funcionamiento del perfil como cuerpo fuselado se produce una notable diferencia de presiones entre las dos caras de la aleta o perfil aerodinámico (5) (FIG. 3). La cara sobre la que se producen las sobrepresiones se denomina intradós (12) y la cara sobre la que se produce una depresión respecto de la presión de la corriente incidente se denomina extradós (13). Esto permite explicar por qué un perfil aerodinámico de envergadura finita (5) produce vórtices de punta de ala, ya que desde el intradós (12) hacia el extradós (13) se genera un gradiente favorable de presiones que a su vez genera una corriente alrededor del borde marginal (8) denominada corriente de rebordeo (14), como se indica en FIG. 4.

Si la envergadura del perfil es mucho mayor que la cuerda máxima las presiones en el intradós (12) y el extradós (13) son muy uniformes y el efecto del vórtice de punta de ala (4) en la sustentación de dicho perfil es reducido. Dado que en la presente invención se pretende intensificar el vórtice de punta de ala (4) se utilizarán aletas o perfiles aerodinámicos en los que el cociente entre la suma de la superficie del intradós (12) y el extradós (13) de la aleta o perfil aerodinámico y el cuadrado de su máxima cuerda (10) es inferior a 8. Por tanto, en estos perfiles la envergadura es del mismo orden de magnitud que la cuerda máxima.

30

En el campo de la ingeniería hidráulica se define el diámetro hidráulico de un conducto o canal hidráulico (D_H) como cuatro veces el área de su sección transversal (A) dividido por el perímetro mojado por el fluido (p), que es la longitud del contorno de la sección que está en contacto con el fluido que circula por el conducto o canal:

35

$$D_H = 4A / p \quad (3)$$

En el caso de conductos circulares, D_H coincide con el diámetro interior del conducto. En el caso de conductos de sección cuadrada coincide con la altura del conducto.

5 Cuando un canal o conducto tiene una sección con una base, b (13), mucho mayor que su altura h (14), ($b \gg h$) el diámetro hidráulico es del orden de la altura del conducto, h , o sea, de la menor de las dimensiones que definen la sección transversal (FIG. 5).

10 Las pérdidas de energía mecánica por unidad de volumen en un canal o conducto con una sección transversal de área A , que se producen como consecuencia de un estrechamiento de sección producida por la existencia de un dispositivo sumergido cuya área A_p , de la proyección del dispositivo (15) sobre una plano perpendicular a la dirección del eje del conducto o canal (FIG. 5), se pueden determinar como

$$15 \quad \Delta H \approx -\frac{1}{2} \rho v^2 \frac{A_p^2}{A^2} \quad (4)$$

Por lo tanto, para que las pérdidas producidas por el dispositivo generador de vórtices sean pequeñas en relación a la inercia del fluido es necesario que A_p sea inferior a 0,5 veces la sección del conducto, A . De esa forma el coeficiente de pérdida de carga producido, k , que se define como

$$20 \quad k = \Delta H / \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right) \quad (5)$$

será mucho menor que la unidad, lo que significa que las pérdidas producidas por el dispositivo son despreciables, maximizándose de esa forma la eficiencia del proceso.

25 EJEMPLO DE REALIZACIÓN PRÁCTICA DE LA INVENCION

En las figuras adjuntas se muestra una realización práctica de la invención, en donde el dispositivo requiere del suministro de un caudal del gas o líquido que se pretende agitar. Este caudal debe ser suficientemente alto como para que el número de
30 Reynolds asociado al flujo alrededor de los perfiles que forman el dispositivo generador de vórtices sea elevado. Por otra parte, se aumentará el número de aletas o perfiles y/o su superficie si es necesario para alcanzar los niveles de agitación

requeridos para cada aplicación concreta. Así mismo, se aumentará al ángulo de ataque, la cuerda o la curvatura de los perfiles si se requiere una mayor agitación.

5 El caudal del fluido a agitar debe ser lo más homogéneo posible aguas arriba de los perfiles aerodinámicos para evitar desprendimientos de capa límite cerca del borde de ataque.

10 Los materiales en los que puede estar fabricado el dispositivo generador de vórtices son múltiples (metal, plástico, composites, etc.), dependiendo fundamentalmente la elección del material de la aplicación específica en la que vaya a emplearse el dispositivo.

15 En las figuras 1 y 2 se presenta el esquema de un prototipo instalado en un canal hidrodinámico o conducto de paredes (2) y solera (3), en el que se ha fijado al fondo de dicho canal o conducto un perfil aerodinámico de lados paralelos (4) por el borde opuesto a su borde marginal (8). En este prototipo se ha trabajado con velocidades de agua de la corriente incidente de entre 0,3 y 0,5 m/s. La anchura del perfil ha sido de 15 cm, la longitud de su borde marginal también de 15 cm y su espesor medio 4 mm. Se han realizado ensayos en un rango de ángulos de ataque (9) del perfil aerodinámico (5) de entre 0° y 20°. El borde marginal del perfil estaba a una distancia
20 a la pared más cercana equivalente a 0,5 veces el diámetro hidráulico del conducto, que en este caso era de 30 cm.

25 Para el canal hidrodinámico o conducto el espesor de las capas límites de las paredes se puede estimar en 5000 veces la viscosidad cinemática del fluido (agua) y dividir por velocidad media. En este caso el espesor es por tanto del orden de un centímetro, por lo que el borde marginal de la aleta no interacciona con estas zonas de elevada disipación de energía.

30 Como se muestra en la figura 5, para asegurar una mínima pérdida de carga en este prototipo la proyección de la sección del perfil en la dirección de la corriente tenía un área de entre 0 y 20 cm².

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo generador de vórtices en canales o conductos que comprende:
- 5 - al menos un canal o conducto por donde circula un fluido (1) que comprende una viscosidad cinemática y un velocidad media del fluido (1) en el canal o conducto, donde el canal o conducto comprende al menos dos paredes (2) y un fondo (3),
- al menos una aleta o perfil aerodinámico (5) donde incide el fluido (1), que a su vez comprende una cara sobre la que se producen unas sobrepresiones debidas a la
- 10 incidencia del fluido (1), ó intradós (12), y una cara sobre la que se producen unas depresiones respecto de las sobrepresiones en el intradós (12), ó extradós (13), y una cuerda máxima (10),
- donde la al menos una aleta o perfil aerodinámico (5) se encuentra fijado a una de las paredes (2) o al fondo (3) del canal o conducto mediante un borde opuesto a un borde
- 15 marginal (8) de la aleta o perfil aerodinámico (5), o se encuentra fijado a una primera estructura sólida, caracterizado porque presenta las siguientes características de diseño:
- el ángulo de ataque de dicha aleta o perfil aerodinámico (5) se encuentra entre -20° y 20° ;
 - 20 • el cociente entre la suma de la superficie del intradós (12) y el extradós (13) de la aleta o perfil aerodinámico (5) y el cuadrado de su cuerda máxima (10) es inferior a 8, y
 - la distancia del borde marginal (8) de la aleta o perfil aerodinámico (5) a una de las al menos dos paredes (2) o al fondo del canal o conducto, aquella que sea
 - 25 la mínima, es mayor que el resultado de multiplicar 10000 por la viscosidad cinemática del fluido (1) y dividir por la velocidad media del fluido (1) en el canal o conducto.
2. Dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de acuerdo con la
- 30 reivindicación 1 caracterizado por que el canal o conducto comprende un diámetro hidráulico y además la distancia del borde marginal (8) de la aleta o perfil aerodinámico (5) a la primera estructura sólida o a una segunda estructura sólida es mayor que el diámetro hidráulico del canal o conducto dividido por 20.
- 35 3. Dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de acuerdo con

cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el canal o conducto comprende un eje y una sección transversal, donde el cociente entre un área de la proyección de la al menos una aleta o perfil aerodinámico (5) sobre un plano perpendicular a la dirección del eje del canal o conducto y el área de la sección transversal del canal o conducto es menor que 0,5.

4. Dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que la al menos una aleta o perfil aerodinámico (5) comprende una raíz donde la al menos una aleta o perfil aerodinámico (5) comprende un ángulo de ataque creciente desde su raíz hacia el borde marginal (8).

5. Dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que la al menos una aleta o perfil aerodinámico (5) tiene, en una de sus secciones longitudinales, una comba máxima (11) entre el 25% y el 75% de su cuerda máxima (10).

6. Dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el borde marginal de la al menos una aleta o perfil aerodinámico (5) comprende un radio de curvatura y la al menos una aleta o perfil aerodinámico (5) comprende un espesor medio, donde un valor medio del radio de curvatura del borde marginal (8) es mayor que el espesor medio de dicha aleta o perfil aerodinámico (5).

7. Procedimiento de agitación en canales y conductos mediante generación de vórtices mediante el dispositivo generador de vórtices en canales o conductos de cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

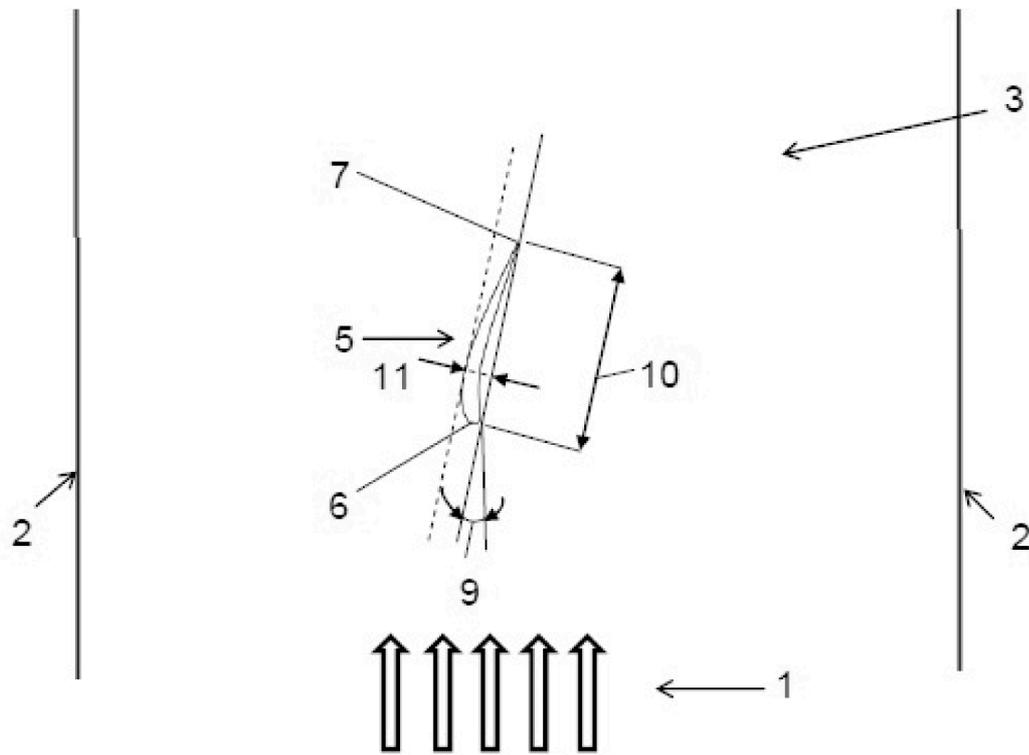
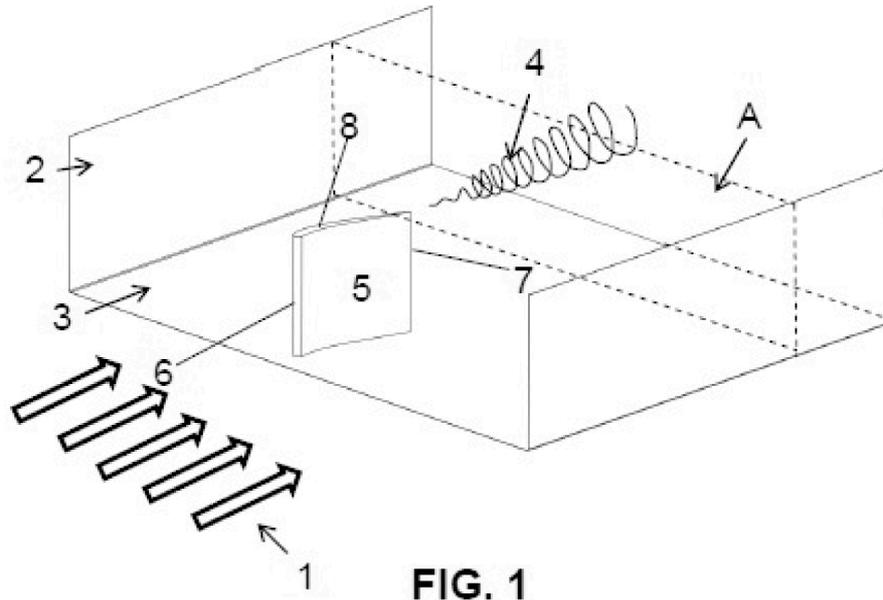


FIG. 2

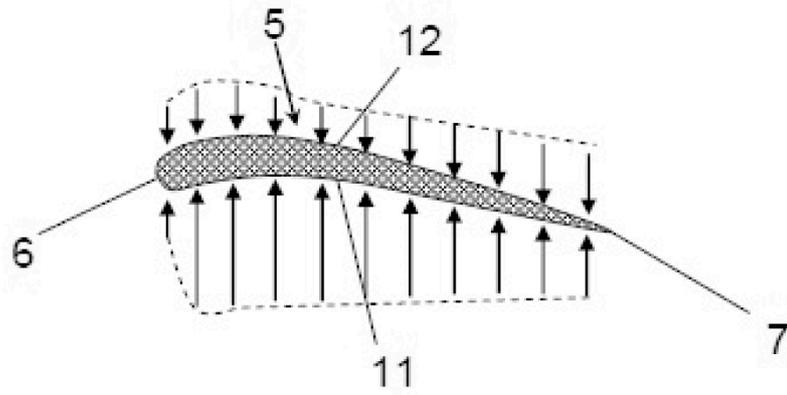


FIG. 3

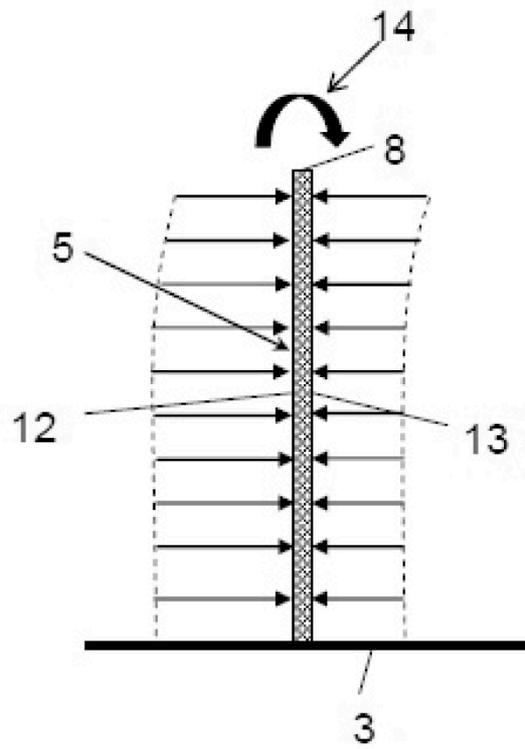


FIG. 4

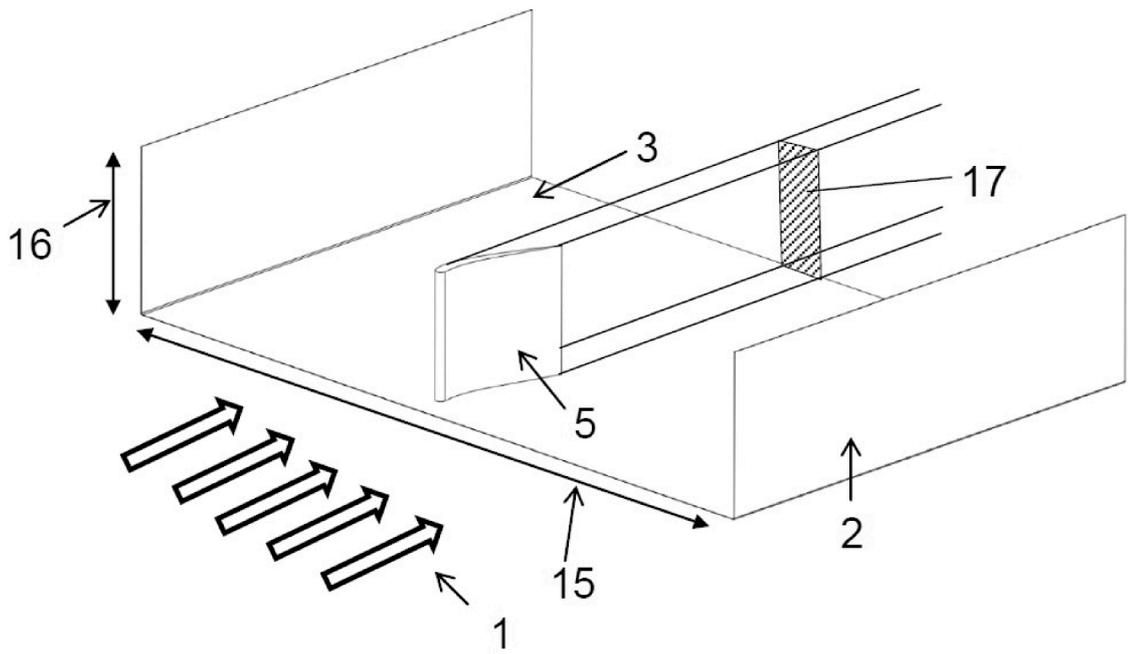


FIG. 5