



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



① Número de publicación: **2 356 878**

② Número de solicitud: 200900733

⑤ Int. Cl.:
G06F 17/50 (2006.01)
B01D 45/16 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **17.03.2009**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **14.04.2011**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
14.04.2011

⑦ Solicitante/s: **Universidad de Huelva
Campus El Carmen, Edf. Marie-Curie, 1ª
Avda. Fuerzas Armadas
21071 Huelva, ES**

⑦ Inventor/es: **Moreno López, María José y
Sánchez Domínguez, Urbano**

⑦ Agente: **Pons Ariño, Ángel**

⑤ Título: **Procedimiento y programa de ordenador para simular un campo de vorticidad para separar y clasificar partículas suspendidas en un fluido.**

⑤ Resumen:

Procedimiento y programa de ordenador para simular un campo de vorticidad para separar y clasificar partículas suspendidas en un fluido.

La presente invención se refiere a un procedimiento para simular un campo de vorticidad para separar y clasificar partículas suspendidas en un fluido en función de su inercia, mediante la aplicación en dicho fluido de un campo de vorticidad periódico. Se describe también un programa de ordenador para llevar a cabo dicho procedimiento de simulación.

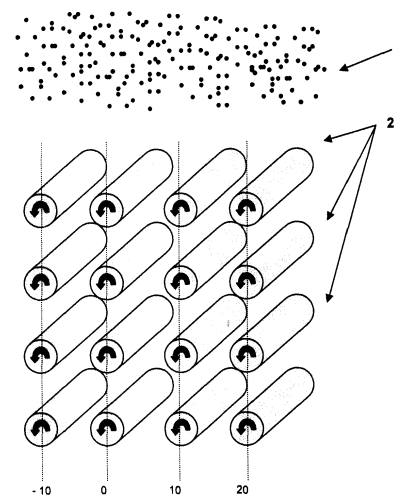


FIG. 1

ES 2 356 878 A1

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y programa de ordenador para simular un campo de vorticidad para separar y clasificar partículas suspendidas en un fluido.

5

Objeto de la invención

El objeto principal de la invención es un procedimiento para simular un campo de vorticidad para separar partículas suspendidas en un fluido. Más concretamente, se refiere a la separación y la clasificación de partículas suspendidas en un fluido en función de su inercia, mediante la aplicación en dicho fluido de un campo de vorticidad periódico.

10

Además, el programa de ordenador asociado está relacionado con la informática aplicada a la mecánica de fluidos, en el sector técnico de separación de partículas suspendidas en el seno de un fluido, en aplicaciones tales como la limpieza de gases, la clasificación de partículas por tamaño, la eliminación de partículas de vertidos líquidos (por ejemplo, depuración de aguas residuales industriales), purificación de entornos de trabajo contaminados por partículas (por ejemplo, zonas de molienda, trituración, molturación, etc., en sectores tales como químicos, alimentarios o agrícolas), o la recuperación de partículas de carácter valioso (por ejemplo, pulido de metales preciosos).

15

Antecedentes de la invención

20

La presencia de flujos multifásicos dispersos es muy común en el entorno medioambiental y en muchos procesos industriales. Por citar algunos ejemplos se podría mencionar la minería, el polvo resultante de la erosión, los residuos de las combustiones, procesos de Ingeniería Química, etc. Estas partículas en suspensión frecuentemente son causa de problemas relacionados con la contaminación, deterioro de equipos, etc., y por ese motivo suele ser necesario minimizar el número de partículas presentes en el seno del fluido, o bien separarlas y extraerlas. Así, los métodos de separación de partículas de un fluido y su clasificación constituyen en la actualidad un importante campo de investigación [Frank T. H., Wassen E., Yu Q., & Schneider J., *Proceedings of the 3rd ASME/JSME Joint Fluids Engineering Conferences, 1999*] y de aplicación.

25

Algunos métodos habitualmente utilizados incluyen la supresión de la producción de polvo, aceleración de la sedimentación de partículas, ventilación [Dawson J. R., *J. Agricultural Eng. Res. 47, pp. 235-248, 1990*] o bien el empleo de filtros, precipitadores electrostáticos [Veenhuizen M. A. & Bundy D. S., *ASAE paper n° 904066, 1990*] y ciclones [Frank T. H., Wassen E., Yu Q., *CD-Rom Proceedings of the 3rd International Conference on Multiphase Flow, paper n° 217, pp.1-8, 1998*; Ogawa A., Sugiyama K. & Nagasaki K., *Filtech Conference, pp. 627-640, 1993*].

30

35

Sin embargo, estos métodos de separación de partículas solamente son útiles en situaciones muy particulares y específicas, disminuyendo su rendimiento ante pequeñas desviaciones de la situación óptima. Además, es evidente que el desarrollo de un prototipo de sistema para separar partículas suspendidas en un fluido supone un elevado coste económico, por lo que es básico conocer previamente los parámetros del campo de vorticidad correspondientes al rendimiento óptimo del sistema.

40

Hasta ahora, uno de los procedimientos que se utilizan habitualmente para encontrar el campo de vorticidad óptimo de un sistema de separación de partículas en un fluido es el método de prueba y error, que implica pérdidas tanto económicas como de tiempo, sin que, además, se pueda asegurar que finalmente se encuentre dicho campo de rendimiento óptimo. Existen también algunos procedimientos de simulación, entre los que destacan los siguientes:

45

- Maxey M. R. [*J. Fluid Mech.*, 174, 441-465, 1987] analizó mediante simulación numérica el movimiento de partículas de aerosol en un flujo vortical generado por modos de Fourier.
- Ruestsh G.R. & Maxey M.R. [*Phys. Fluid*, 3, 1587-1597, 1991] y Vincent A. & Meneguzzi M. [*J. Fluid Mech.*, 225, 1-25, 1991] realizaron simulaciones numéricas de turbulencias.
- Squires K.D. & Eaton J.K. [*J. Fluid Mech.* 226, 1-35, 1991], Jiménez J., Wray A. A., Saffman P.G. & Rogallo R. S. [*J. Fluid Mech.*, 255, 65-90, 1993], y Wang L.P. & Maxey M.R. [*J. Fluid Mech.*, 256, 27-68, 1993] utilizaron la tradicional técnica de simulación numérica directa, más conocida por su nomenclatura en inglés "Direct Numerical Simulation".
- Yeh F. & Lei U. [*Phys. Fluids*, 3, 2571-2586, 1991] emplearon la técnica de *Large-Eddy Simulation*.
- Dávila J. & Hunt J.C.R. [*J. Fluid Mech.*, 440, 117-145, 2001] estudiaron la sedimentación de partículas en presencia de un vórtice bidimensional y en turbulencia, comparando los resultados obtenidos mediante simulación numérica con los obtenidos mediante un análisis asintótico.
- Fung J.C.H., Hunt J.D.C., Malik N.A. & Perkind R.J. [*J. Fluid Mech.* 236, 281, 1992] y Malik N.A. & Vassilicos J.C. [*Phys. Fluids*, 11(6), 1572-1580, 1999] usaron simulaciones cinemáticas.

65

Sin embargo, estos procedimientos de simulación están enfocados principalmente a flujo turbulento y no reproducen correctamente la sedimentación de partículas, debido a que el tipo de estructuras vorticales que incrementan o hacen decrecer la velocidad de sedimentación promedio no están presentes en ese tipo de flujos.

5 Finalmente, existen estudios numéricos dirigidos a la separación de partículas, como son los de *Frank T.H., Wassen E. & Yu Q.* [Int. Symposium on Gas-Particle flows, ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting, Vancouver, BC, Cañada, June 22-26, 1997, CD-ROM Proceedings, FEDSM97-3590] o los de *Cristea E.D., Maifa E. & Coghe A.* [Engineering and Turbulence Modeling and Experiments, 3, W. Rodi and G Berges (Editors), Elsevier Science B.V., 1996], estando aplicada dicha segunda referencia a ciclones.

10 Por tanto, de acuerdo con todo lo anterior, sería deseable el desarrollo de un procedimiento de simulación que permita seleccionar un campo de vorticalidad adecuado para separar las partículas suspendidas en un fluido que permitiera obtener los parámetros de una tecnología flexible ante la variación de las condiciones de funcionamiento y que además clasificase las partículas de diferentes características suspendidas en distintos fluidos. De este modo, la simulación permite la realización de un análisis previo a la construcción de un prototipo.

Descripción de la invención

20 La presente invención describe un procedimiento para la simulación numérica del procedimiento de separación y clasificación de partículas suspendidas en un fluido mediante un campo de vorticalidad periódico.

Una primera posibilidad es que el procedimiento de la invención se utilice para determinar el campo de vorticalidad periódico óptimo para conseguir la separación de un conjunto determinado y conocido de partículas suspendidas en un fluido. En ese primer caso, el procedimiento de simulación obtendría la geometría y las condiciones iniciales del campo de vorticalidad periódico a partir de una base de datos de campos de vorticalidad.

25 En una segunda posibilidad, un usuario podría elegir la geometría y condiciones iniciales de un campo de vorticalidad periódico, y utilizar el procedimiento de simulación de la invención para determinar cuáles serían los efectos de ese campo de vorticalidad periódico específico sobre un conjunto de partículas conocido con unas condiciones iniciales determinadas.

En cualquier caso, el objetivo se consigue implementando en un procedimiento para seleccionar un campo de vorticalidad periódico óptimo para separar partículas suspendidas en un fluido que comprende las siguientes operaciones:

35 1) *Obtener las condiciones iniciales de las partículas suspendidas en el fluido.*

De acuerdo con una realización particular de la invención, las condiciones iniciales de las partículas suspendidas en el fluido comprenden al menos uno de los parámetros de la siguiente lista: posición inicial de las partículas $Y []$, la velocidad terminal de caída en fluido en reposo (V_t), número de Stokes (S_t), número de partes en que se divide la longitud del conjunto de las partículas (M), y longitud en la que se toma el conjunto de partículas (L).

2) *Obtener la geometría y las condiciones iniciales del campo de vorticalidad periódico.*

45 De acuerdo con una realización particular de la invención, las condiciones iniciales del campo de vorticalidad periódico comprenden al menos uno de los parámetros de la siguiente lista: radio del vórtice (R_v) y un valor proporcional de la velocidad angular del vórtice (ω).

50 En otra realización preferida del procedimiento de la invención, la geometría del campo de vorticalidad periódico comprende un conjunto de cilindros o conos cuyos ejes son paralelos unos respecto a otros, y que están repetidos periódicamente tanto en la dirección horizontal como en la vertical. Además, estos cilindros o conos pueden girar todos en el mismo sentido, o bien unos en un sentido y otros en el sentido opuesto, preferiblemente alternando los sentidos de giro. Los ejes de los cilindros o conos pueden ser, o bien horizontales, o bien inclinados con respecto a un plano horizontal.

55 3) *Calcular al menos un patrón de comportamiento del campo de vorticalidad periódico, a partir de la geometría y las condiciones iniciales obtenidas para dicho campo.*

60 En esta operación se calculan, a partir de su geometría y de sus condiciones iniciales, el patrón de comportamiento del campo de vorticalidad periódico. Por el término “*patrón de comportamiento del campo de vorticalidad periódico*” se entiende cualquier conjunto de ecuaciones representativo de dicho campo de vorticalidad, como por ejemplo el campo de velocidades.

En una realización preferida de la invención, se calcula el patrón de comportamiento del campo, en forma adimensional, de acuerdo con Maxey y Riley (1983). Por otro lado, también se calculan las ecuaciones que modelan el flujo del vórtice, también en forma adimensional, preferentemente de acuerdo con Rankine, Lamb-Oseen, Vatistas o Kaufmann. En todo caso, el modelo de Rankine y el modelo de Kaufmann representan la cota superior y la cota inferior, respectivamente, de la velocidad tangencial de los distintos modelos de vórtice recogidos en el estado de la técnica (Bhagwat & Leishman, 2002). Aquí se incluye como parámetro la distancia vertical y horizontal entre los vórtices (L_v).

ES 2 356 878 A1

4) *Determinar, partiendo del patrón de comportamiento del campo de vorticidad periódico y de las condiciones iniciales de las partículas suspendidas en el fluido, el patrón de comportamiento de las partículas.*

Por el término “*patrón de comportamiento de las partículas*” se entiende cualquier conjunto de ecuaciones representativo del movimiento de dichas partículas. Así, si se determinan, por ejemplo, las ecuaciones de movimiento de las partículas, se introduce en ellas el campo de velocidades del campo de vorticidad, y se realiza la integración de las ecuaciones resultantes, se obtiene la posición de las partículas en cada instante de tiempo. Partiendo de la posición de las partículas, se puede determinar cualquier otro parámetro, como sus trayectorias, velocidades de sedimentación, la velocidad media de sedimentación, etc.

La integración de las ecuaciones de movimiento para obtener las ecuaciones de posición de las partículas se realiza utilizando cualquier método numérico implementable por ordenador, como por ejemplo el método de Runge-Kutta, en el que se incluyen los siguientes parámetros: *hini*, *delta* y *tfm*.

En una realización particular de la invención, el procedimiento comprende la operación adicional de:

5) *Mostrar el patrón de comportamiento de las partículas.*

En esta operación adicional se muestra por la pantalla el patrón de comportamiento de las partículas en el campo de vorticidad, de modo que el usuario puede decidir si ese campo de vorticidad específico es adecuado para separar las partículas del fluido. Preferentemente, se muestra el patrón de comportamiento de las partículas de forma visual, por ejemplo utilizando una simulación o un gráfico de la trayectoria de las partículas y/o de la velocidad media de sedimentación de las partículas, aunque también es posible mostrar por pantalla únicamente las ecuaciones que definen dicho patrón de comportamiento.

De este modo, el procedimiento de simulación objeto de la invención permite determinar la existencia de regiones de acumulación de partículas y la diferencia que pueda tener la velocidad media de sedimentación respecto a la velocidad terminal de caída en fluido en reposo (se puede calcular también la sedimentación de partículas en flujos vorticales periódicos). Además, dicho procedimiento permite también obtener la clasificación de las partículas separadas según su tamaño o densidad, siendo flexible ante las diferentes características de funcionamiento de las partículas y del fluido, con el consiguiente ahorro económico y mayores facilidades de recuperación y eliminación de partículas.

De acuerdo con una realización preferida más de la invención, el procedimiento comprende la etapa adicional de:

6) *Determinar, a partir de los resultados de la simulación, el campo de vorticidad periódico óptimo para separar las partículas.*

Esta operación se realiza de diferente modo en función de cual sea la característica que el usuario desea optimizar. Por ejemplo, el procedimiento puede determinar el campo de vorticidad periódico óptimo para conseguir la sedimentación de todas las partículas a partir de un determinado tamaño mínimo, o bien el campo de vorticidad que optimice la velocidad media de sedimentación de una determinada fracción de la granulometría de las partículas, etc.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, el procedimiento de simulación descrito puede estar implementado por medio de un programa de ordenador que efectúa las operaciones descritas. Además, el programa de ordenador puede estar almacenado en unos medios de grabación, tales como una memoria de un sistema de computación, una memoria de sólo lectura (ROM), o bien puede ser portado por una señal portadora eléctrica, tal como una señal portadora óptica o eléctrica.

Aunque el programa de ordenador de la presente invención se ha ilustrado con ejemplos de los programas elaborados, este hecho no pretende ser limitativo de su alcance; ya que sería posible su mejora para una utilización práctica similar a los programas utilizados en el entorno Windows con botones que abrevien y optimicen su utilización, con miras al desarrollo comercial de los mismos.

Definiciones

El término “*vorticidad*” (ω) hace referencia al doble de la velocidad angular a la que un elemento infinitesimal de fluido gira como sólido rígido alrededor de un punto considerado. Así, un “*campo de vorticidad periódico*”, hace referencia a una región del espacio en la que a cada punto le corresponde un determinado valor de la vorticidad, repitiéndose dicho valor de modo periódico en las direcciones horizontal y vertical.

El término “*circulación de los cilindros*” (Γ) hace referencia a la magnitud utilizada para caracterizar la intensidad de giro de un vórtice. El término “*radio de los cilindros o vórtices*” (R_v) hace referencia al valor de la coordenada radial (r) a partir de la cual se distinguen dos regiones diferenciadas en el espacio:

- $r < R_v$, donde los efectos de la viscosidad son importantes (es el llamado Núcleo Viscoso del Vórtice);

ES 2 356 878 A1

- $r > R_v$, donde los efectos de la viscosidad son poco importantes, pero el movimiento sigue siendo rotacional y está gobernado por las ecuaciones de *Euler*.

5 El término “*número de Stokes - S_t - o inercia de las partículas* (adimensional)” (hace referencia la relación entre el tiempo que tarda la partícula en modificar su velocidad de manera apreciable (tiempo de respuesta viscosa de las partículas) y el tiempo característico de variación de las condiciones del medio fluido circundante a la partícula (tiempo de residencia característico del flujo).

10 Por último, el término “*velocidad terminal adimensional de caída de las partículas en fluido en reposo* (adimensional)” (V_t^{AD}) hace referencia a la relación entre la velocidad terminal de caída en fluido en reposo y la máxima velocidad en el flujo vortical, mientras que el término “*velocidad terminal de caída de las partículas en fluido en reposo*” (V_t) hace referencia a la velocidad que alcanza la partícula cuando la resultante de las fuerzas que actúan sobre ella es nula, es decir, la aceleración de la partícula es nula.

15 Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Fig. 1. Muestra un diagrama esquemático de un campo de vorticalidad periódico que comprende una disposición bidimensional periódica de cilindros girando en el mismo sentido.

25 Fig. 2. Muestra una representación gráfica de las trayectorias adimensionales de las partículas obtenida mediante un programa de ordenador de acuerdo con la invención, donde el campo de vorticalidad comprende un conjunto de cilindros periódicos girando en el mismo sentido, de acuerdo con la Fig. 1, para una inercia $S_t > 100$ (para una velocidad terminal adimensional de caída $V_t^{AD} = 0,5$).

30 Fig. 3. Muestra un diagrama esquemático de un campo de vorticalidad periódico que comprende una disposición bidimensional periódica de los cilindros girando con sentidos de giro alternados;

Fig. 4. Muestra una representación gráfica de las trayectorias adimensionales de las partículas obtenida mediante un programa de ordenador de acuerdo con la invención, donde el campo de vorticalidad comprende un conjunto de cilindros periódicos girando con sentidos de giro alternados, de acuerdo con la Fig. 3, para una inercia $S_t > 5$ (para una velocidad terminal adimensional de caída $V_t^{AD} = 0,5$);

35 Fig. 5. Muestra una representación gráfica de la velocidad media de sedimentación obtenida mediante simulación numérica para vórtice *Rankine*, frente a la velocidad terminal adimensional de caída en fluido en reposo, en el caso de cilindros periódicos girando con sentidos de giro alternados, de acuerdo con la Fig. 3, para una inercia de $S_t > 8$.

40 Figs. 6a y 6b. Muestran el diagrama de flujo de un ejemplo de programa de ordenador de acuerdo con la presente invención que simula el movimiento de las partículas y proporciona su posición en cada instante de tiempo, donde el campo de vorticalidad comprende un conjunto de vórtices periódicos que giran en el mismo sentido.

45 Figs. 7a, 7b, 7c. Muestra el diagrama de flujo de un ejemplo de programa de ordenador de acuerdo con la presente invención que simula el movimiento de las partículas y proporciona su posición en cada instante de tiempo, donde el campo de vorticalidad comprende un conjunto de vórtices periódicos que giran en sentidos alternos cada dos vórtices adyacentes.

50 Figs. 8a, 8b, 8c. Muestra el diagrama de flujo de un ejemplo de programa de ordenador de acuerdo con la presente invención que calcula la velocidad media de sedimentación de las partículas, donde el campo de vorticalidad comprende un conjunto de vórtices periódicos que giran en sentidos alternos cada dos vórtices adyacentes.

55 Realización preferente de la invención

En la presente realización preferida se describe el procedimiento de simulación implementado mediante un programa de ordenador que simula unos campos de vorticalidad periódicos generados por la acción de un conjunto de cilindros dispuestos horizontalmente en paralelo unos respecto a otros y repetidos periódicamente tanto en la dirección horizontal como en la vertical. Los cilindros se hacen girar mediante unos motores (no mostrados), generándose así el campo de vorticalidad periódico. En este ejemplo se representan dos situaciones:

60 En la Fig. 1 se muestra un conjunto de cilindros (2) girando todos en un mismo sentido, con un grupo de partículas (1) suspendidas sobre ellos en el seno de un fluido. En la Fig. 2 se muestra un gráfico de las trayectorias adimensionales de las partículas (1) (obtenidas mediante simulación numérica para vórtice *Rankine*) sedimentando bajo la acción del campo de flujo generado por el conjunto de cilindros (2) periódicos girando en el mismo sentido, más concretamente, para una inercia $S_t > 100$ (para una velocidad terminal adimensional de caída $V_t^{AD} = 0,5$).

ES 2 356 878 A1

En el caso de la configuración mostrada en la Fig. 1, es posible tanto separar como clasificar las partículas, pudiéndose dar dos posibilidades:

5 • Para valores pequeños de inercia de las partículas, del orden de $S_t < 100$ para $V_t^{AD} = 0,5$, las trayectorias de las partículas siguen las líneas de corriente del flujo, no rodeando los vórtices.

10 • Para valores altos de inercia, del orden de $S_t > 100$ para $V_t^{AD} = 0,5$, las trayectorias de las partículas van a parar siempre a unas líneas verticales situadas aproximadamente en la zona central entre dos hileras verticales de cilindros que separan dos tipos de regiones (ver Fig. 2):

15 a. Región vacía (situada debajo de cada hilera vertical de cilindros), donde al cabo del tiempo no va a encontrarse ninguna partícula: en ese lugar no se produce sedimentación alguna.

15 b. Franja de baja vorticidad del flujo (situada entre las líneas verticales mencionadas), en las que no pueden entrar las partículas que inicialmente estaban fuera de ellas. Estas partículas acaban depositándose en la frontera de esta franja, que es donde tendría lugar la sedimentación.

20 La anchura de ambas regiones depende de la inercia de las partículas. De este modo, es posible separar las partículas puesto que todas van a sedimentar en una misma posición, pero además es posible clasificarlas porque, según su inercia, irán a parar a diferentes valores de la abscisa que pueden ser determinados previamente mediante simulación numérica.

25 Por otro lado, la Fig. 3 muestra esquemáticamente las partículas 1' suspendidas en el fluido y una disposición bidimensional periódica de cilindros 2' girando con sentidos de giro alternados. Ante dicha configuración, la Fig. 4 muestra un gráfico de las trayectorias adimensionales de las partículas 1' (obtenido mediante simulación numérica para vórtice *Rankine*) sedimentando bajo la acción del campo de flujo generado por los cilindros 2' periódicos girando con sentidos de giro alternados, para una inercia de $S_t > 5$ (para una velocidad terminal adimensional de caída $V_t^{AD} = 0,5$). La Fig. 5 muestra gráficamente la velocidad media de sedimentación obtenida mediante simulación numérica para vórtice *Rankine*, frente a la velocidad terminal adimensional de caída en fluido en reposo V_t^{AD} en el caso de cilindros 2' periódicos girando con sentidos de giro alternados para una inercia de $S_t > 5$.

En el caso de la configuración de la Fig. 3, sólo se pueden separar partículas 1', pero no clasificarlas.

Igual que en el caso anterior, se pueden dar dos posibilidades:

35 • Hasta un cierto valor de la inercia de las partículas, del orden de $S_t < 5$ para $V_t^{AD} = 0,5$, las trayectorias de las partículas van rodeando los vórtices siguiendo las líneas de corriente del flujo.

40 • Para inercias más altas, es decir del orden de $S_t > 5$ para $V_t^{AD} = 0,5$, todas las partículas acaban oscilando alrededor de la línea central situada entre dos hileras verticales de cilindros, que es donde tiene lugar la sedimentación (ver Fig. 4).

45 De acuerdo con esta configuración, la sedimentación de las partículas se consigue de manera más rápida que en el caso de mantener el fluido en reposo (ver Fig. 5). Así, para bajas velocidades de caída de las partículas (V_t), se acelera su sedimentación.

Se describen a continuación ejemplos de programas de ordenador que implementan el procedimiento descrito.

50 En un primer ejemplo, cuyo diagrama de flujo se representa en las Figs. 6a y 6b, el programa simula el movimiento de las partículas en una disposición bidimensional de vórtices repetidos periódicamente en las direcciones horizontal y vertical girando todos en el mismo sentido tal y como se observa en la Fig. 1, proporcionando las posiciones de las partículas en cualquier instante de tiempo. Para ello, en primer lugar se introducen los valores de los parámetros y la posición inicial de las partículas. Seguidamente, se simula la disposición bidimensional de vórtices repetidos periódicamente utilizando la función matemática "parte entera int []" y la distancia entre los vórtices " L_v ". A continuación, se determina el campo de velocidades generado por una distribución de vórtices repetidos periódicamente y se introduce en las ecuaciones de movimiento. Por último, se integran las ecuaciones de movimiento, obteniéndose la posición de las partículas en cada instante de tiempo.

60 Las Figs. 7a, 7b, 7c muestran el diagrama de flujo de un ejemplo de programas de ordenador que simula el movimiento de las partículas en una disposición bidimensional de vórtices repetidos periódicamente en las direcciones horizontal y vertical, girando cada dos vórtices adyacentes con sentidos de giro alternados, proporcionando además las posiciones de las partículas en cualquier instante de tiempo.

65 En estos dos primeros ejemplos, se deben introducir las posiciones iniciales de las partículas (bidimensional) - (x_0 , y_0), que se representan como $Y []$ en las figuras.

Finalmente, las Figs. 8a, 8b, 8c muestran el diagrama de flujo de un tercer ejemplo de programa de ordenador que calcula la velocidad media de sedimentación de las partículas en una disposición bidimensional de vórtices repetidos

ES 2 356 878 A1

periódicamente en las direcciones horizontal y vertical girando cada dos vórtices adyacentes con sentido de giro alternados. En este ejemplo, se introduce número de partes (M) en que se divide la longitud para tomar la malla de partículas, así como la longitud (L) en la que se toma la malla de partícula.

- 5 Los parámetros que se introducen en los tres programas de ordenador descritos son los siguientes:
- $hini$ = paso de integración inicial para el método de Runge-Kutta.
 - $delta$ = error máximo en la integración numérica.
 - 10 ome = doble de la velocidad angular del vórtice, en forma adimensional.
 - R = radio del vórtice, en forma adimensional.
 - 15 V_t = velocidad terminal adimensional de caída en fluido en reposo, entendiéndose por este término: la relación entre la velocidad terminal de caída en fluido en reposo y la máxima velocidad en el flujo vortical.
 - L_v = distancia horizontal y vertical entre los vortices.
 - 20 $tfin$ = instante de tiempo final para la integración numérica.
 - S_t = número de Stokes. Este número adimensional representa la relación entre el tiempo que tarda la partícula en modificar su velocidad de manera apreciable (tiempo de respuesta viscosa de las partículas) y el tiempo característico de variación de las condiciones del medio fluido circundante a la partícula (tiempo de residencia característico del flujo). Caracteriza la inercia de las partículas.

A pesar de que se han descrito y representado sólo algunas realizaciones preferidas de la presente invención, es evidente que el experto en la materia podrá introducir variantes y modificaciones, o sustituir los detalles por otros técnicamente equivalentes, sin apartarse del ámbito de protección definido por las reivindicaciones adjuntas. Además, la presente invención se incluye también programas de ordenador en o sobre unos medios portadores, adaptados para poner la invención en práctica. El programa de ordenador puede estar en forma de código fuente, de código objeto o en un código intermedio entre código fuente y código objeto, tal como en forma parcialmente compilada, o en cualquier otra forma adecuada para usar en la implementación de los procesos de acuerdo con la invención. El medio portador puede ser cualquier entidad o dispositivo capaz de portar el programa.

35 Por ejemplo, el medio portador puede comprender un medio de almacenamiento, tal como una *ROM*, por ejemplo un *CD ROM* o una *ROM* semiconductora, o un medio de grabación magnético, por ejemplo un *floppy disc* o un disco duro. Además, el medio portador puede ser un medio portador transmisible tal como una señal eléctrica u óptica que puede transmitirse vía cable eléctrico u óptico o mediante radio u otros medios.

40 Cuando el programa de ordenador está contenido en una señal que puede transmitirse directamente mediante un cable u otro dispositivo o medio, el medio portador puede estar constituido por dicho cable u otro dispositivo o medio.

45 Alternativamente, el medio portador puede ser un circuito integrado en el que está encapsulado (*embedded*) el programa de ordenador, estando adaptado dicho circuito integrado para realizar, o para usarse en la realización de, los procesos relevantes.

50

55

60

65

ES 2 356 878 A1

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento implementado en un ordenador para simular un campo de vorticidad periódico para separar y/o clasificar partículas suspendidas en un fluido, **caracterizado** porque comprende las siguientes operaciones:
- obtener las condiciones iniciales de las partículas suspendidas en el fluido;
 - obtener la geometría y las condiciones iniciales del campo de vorticidad periódico;
 - 10 - introducir los datos obtenidos en los pasos anteriores en el ordenador;
 - calcular, haciendo uso del ordenador, al menos un patrón de comportamiento del campo de vorticidad periódico, a partir de la geometría y las condiciones iniciales obtenidas para dicho campo mediante el uso de modelos matemáticos;
 - 15 y
 - calcular, haciendo uso del ordenador, un patrón de comportamiento de las partículas a partir de las condiciones iniciales de dichas partículas y del patrón de comportamiento del campo de vorticidad periódico donde dicho patrón de comportamiento de las partículas comprende un conjunto de ecuaciones representativo del movimiento de las partículas, para ello se realizan los siguientes pasos:
 - 20 - introducir el campo de velocidades del campo de vorticidad en al menos una de las ecuaciones del conjunto de ecuaciones representativo del movimiento de las partículas; y
 - 25 - obtener la posición de las partículas en cada instante mediante integración del resultado del paso anterior haciendo uso del ordenador.
- 30 2. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque las condiciones iniciales de las partículas suspendidas en el fluido comprenden al menos uno de los parámetros de la siguiente lista: posición inicial de las partículas, velocidad terminal de caída en fluido en reposo, número de Stokes, número de partes en que se divide la longitud del conjunto de las partículas y longitud en la que se toma el conjunto de partículas.
- 35 3. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la geometría del campo de vorticidad periódico comprende un conjunto de cilindros o conos de ejes paralelos que giran alrededor de dichos ejes.
- 40 4. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado** porque los ejes de los cilindros o conos son horizontales.
5. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado** porque los ejes de los cilindros o conos están inclinados con respecto a la horizontal un ángulo de entre 0° y 30°.
- 45 6. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3-5, **caracterizado** porque todos los cilindros o conos giran en el mismo sentido.
7. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3-5, **caracterizado** porque los cilindros o conos tienen sentidos de giro alternados uno a uno.
- 50 8. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3-5, **caracterizado** porque los cilindros o conos tienen sentidos de giro alternados dos a dos.
- 55 9. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3-8, **caracterizado** porque las condiciones iniciales del campo de vorticidad periódico comprenden al menos uno de los parámetros de la siguiente lista: radio del vórtice y un valor proporcional de la velocidad angular del vórtice.
- 60 10. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el patrón de comportamiento del campo de vorticidad periódico se calcula de acuerdo con uno de los modelos de la siguiente lista: Rankine, Lamb-Oseen, Vatistas y Kaufmann.
11. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el patrón de comportamiento de las partículas comprende la posición de las partículas en cada instante de tiempo.
- 65 12. Procedimiento para simular un campo de vorticidad de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque además comprende la operación adicional de mostrar el patrón de comportamiento de las partículas para determinar:

ES 2 356 878 A1

- a. regiones de acumulación de partículas; y
- b. una diferencia de la velocidad media sedimentación con respecto de una velocidad terminal de caída de fluido en reposo.

5

13. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado** porque se muestra la trayectoria de las partículas y/o la velocidad media de sedimentación de las partículas.

10

14. Procedimiento para simular un campo de vorticidad periódico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque además comprende la operación adicional de determinar, a partir del patrón de comportamiento de las partículas, el campo de vorticidad óptimo para separar las partículas en función del tamaño o granulometría de las mismas.

15

15. Programa de ordenador que comprende instrucciones de programa para provocar que un sistema de computación realice el procedimiento de simulación según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

20

16. Programa de ordenador según la reivindicación 15, **caracterizado** porque está almacenado en unos medios de grabación.

17. Programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado** porque es portado por una señal portadora eléctrica.

25

30

35

40

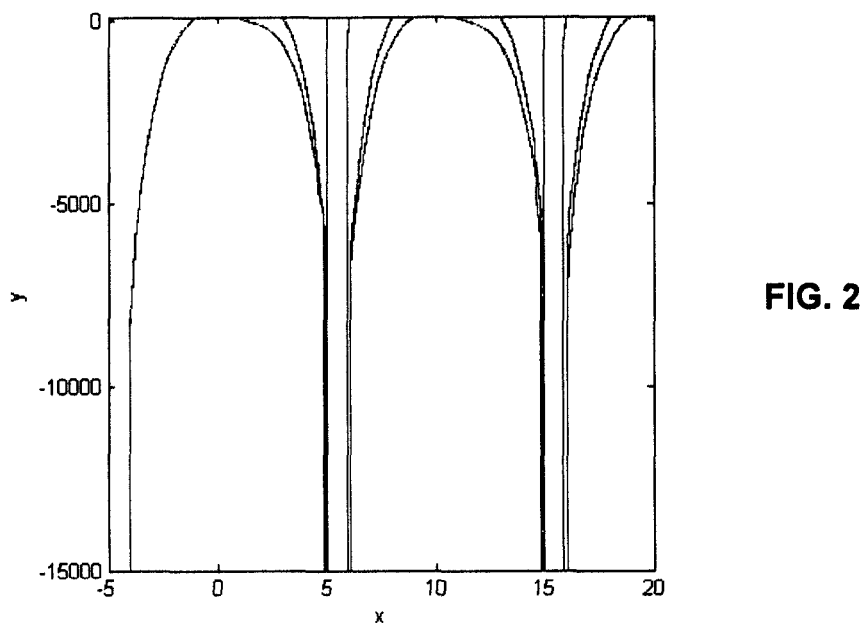
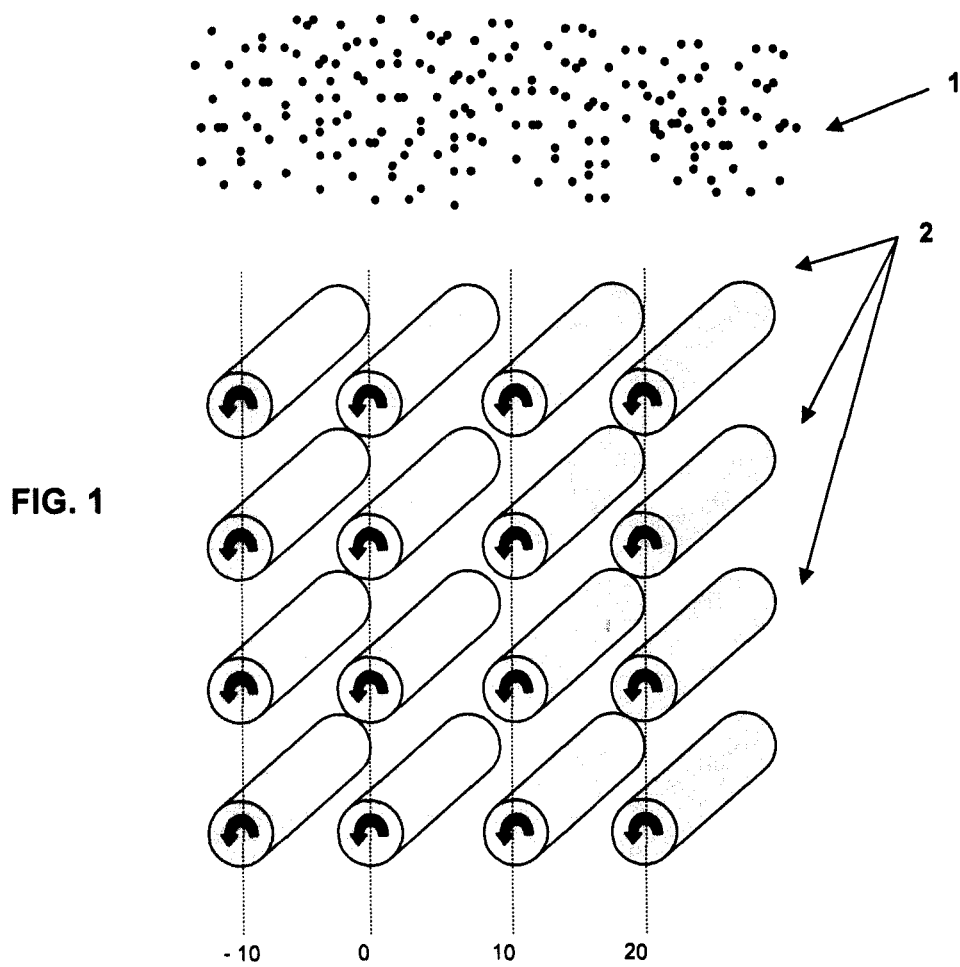
45

50

55

60

65



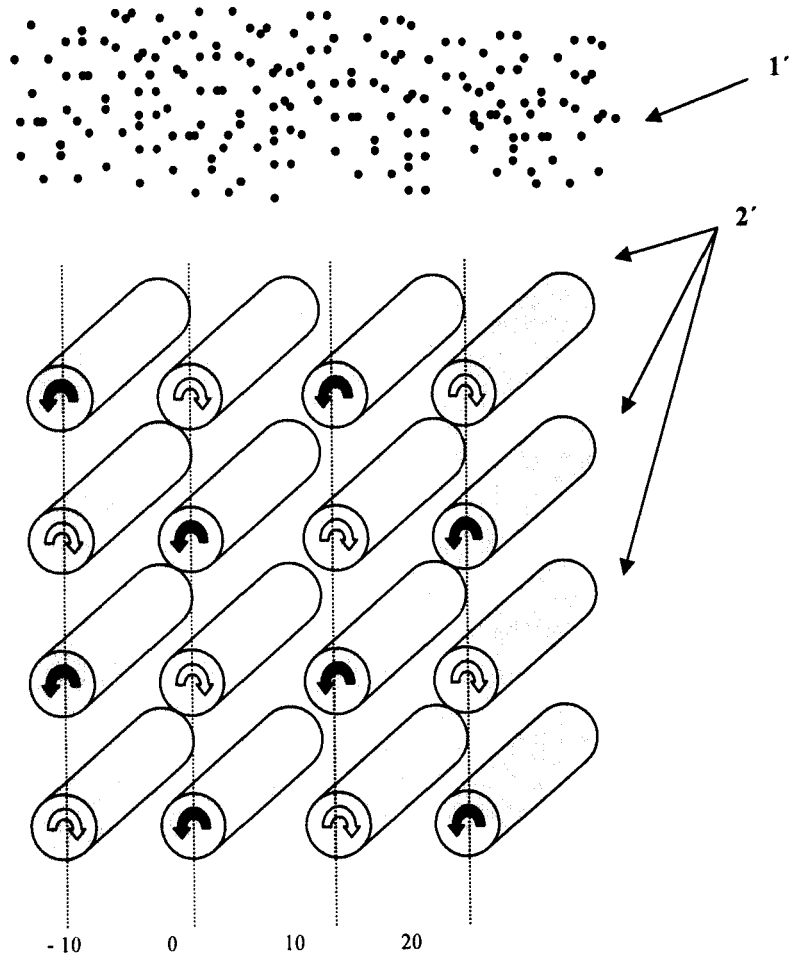


FIG. 3

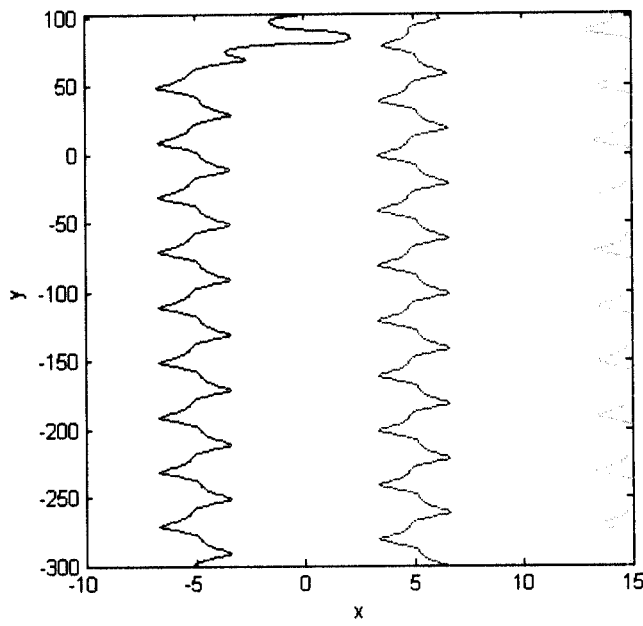


FIG. 4

FIG. 5

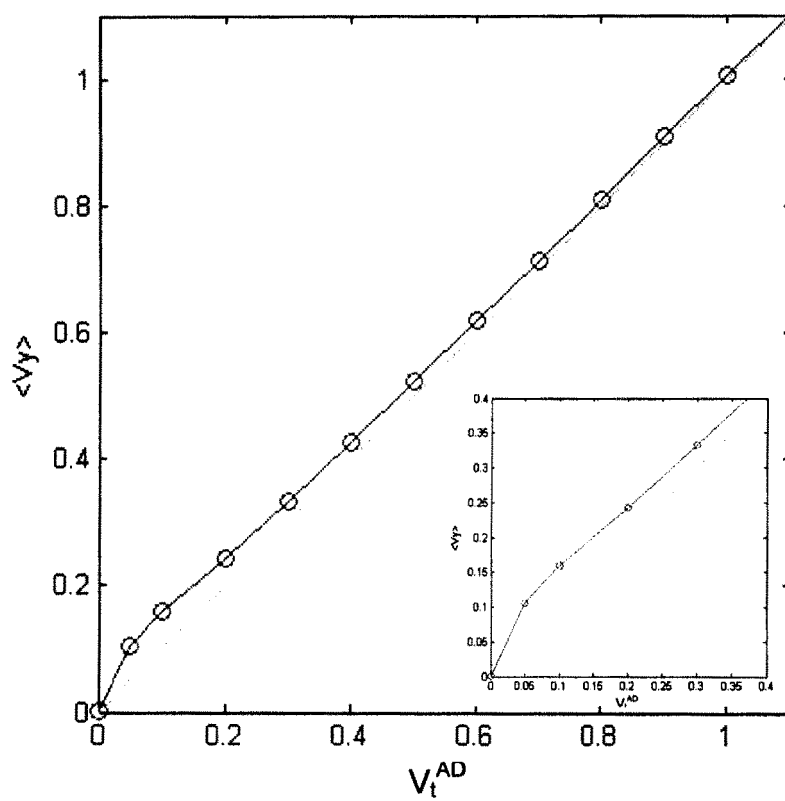


FIG. 6a

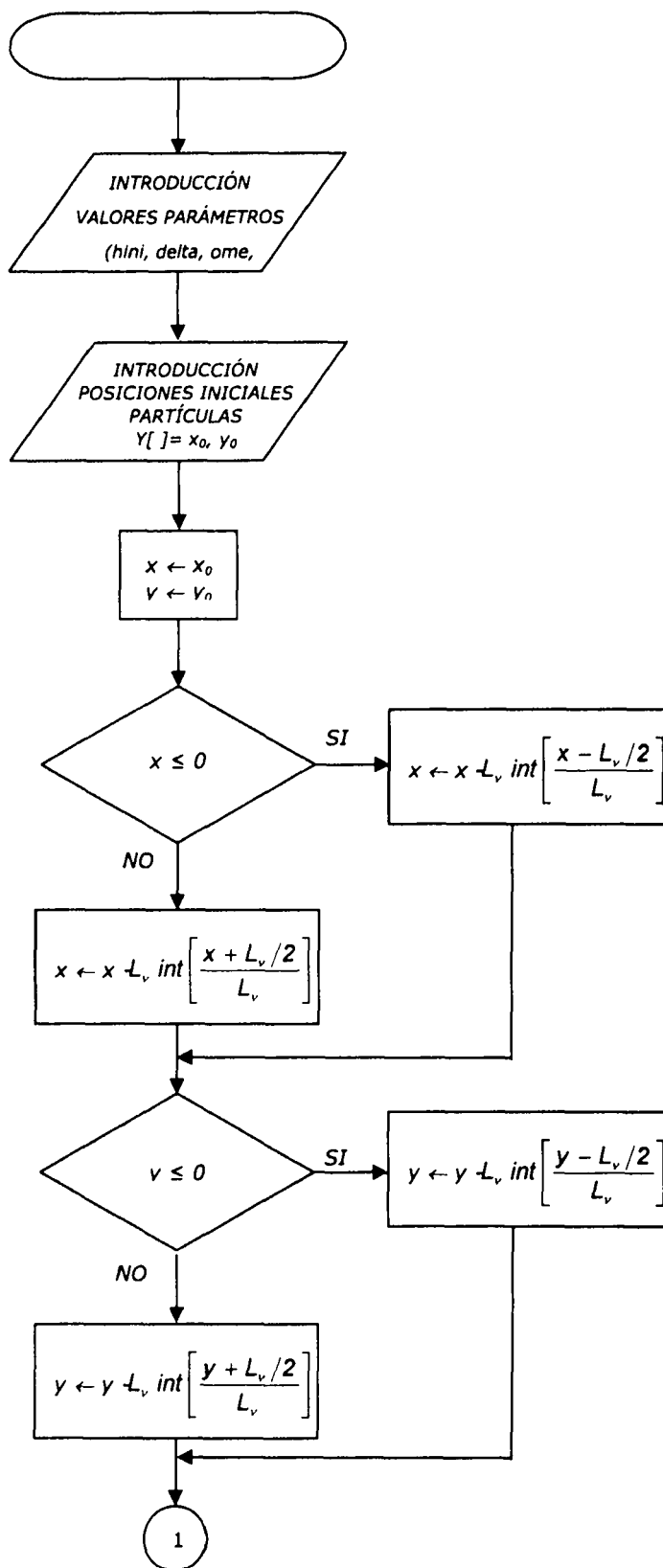


FIG. 6b

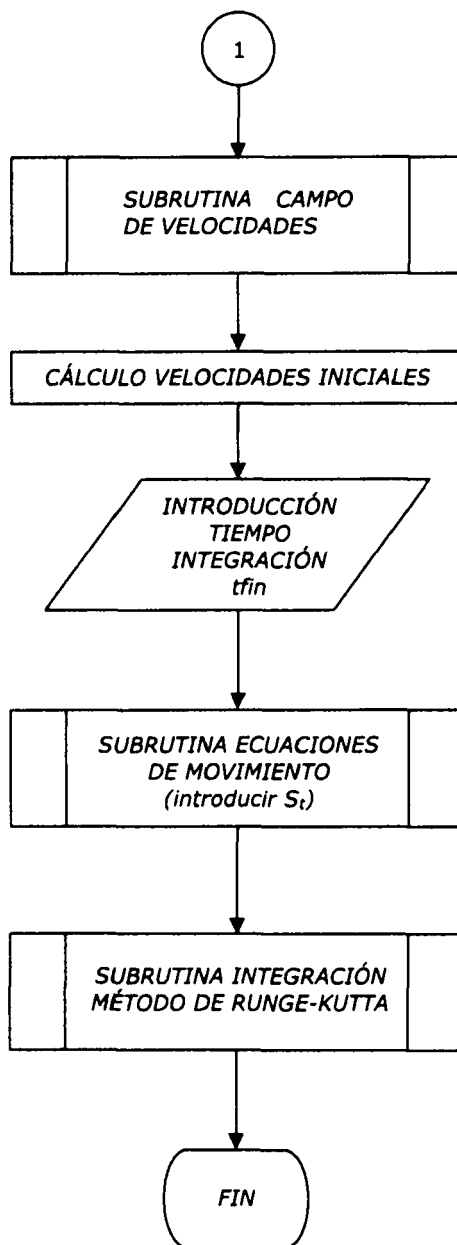


FIG. 7a

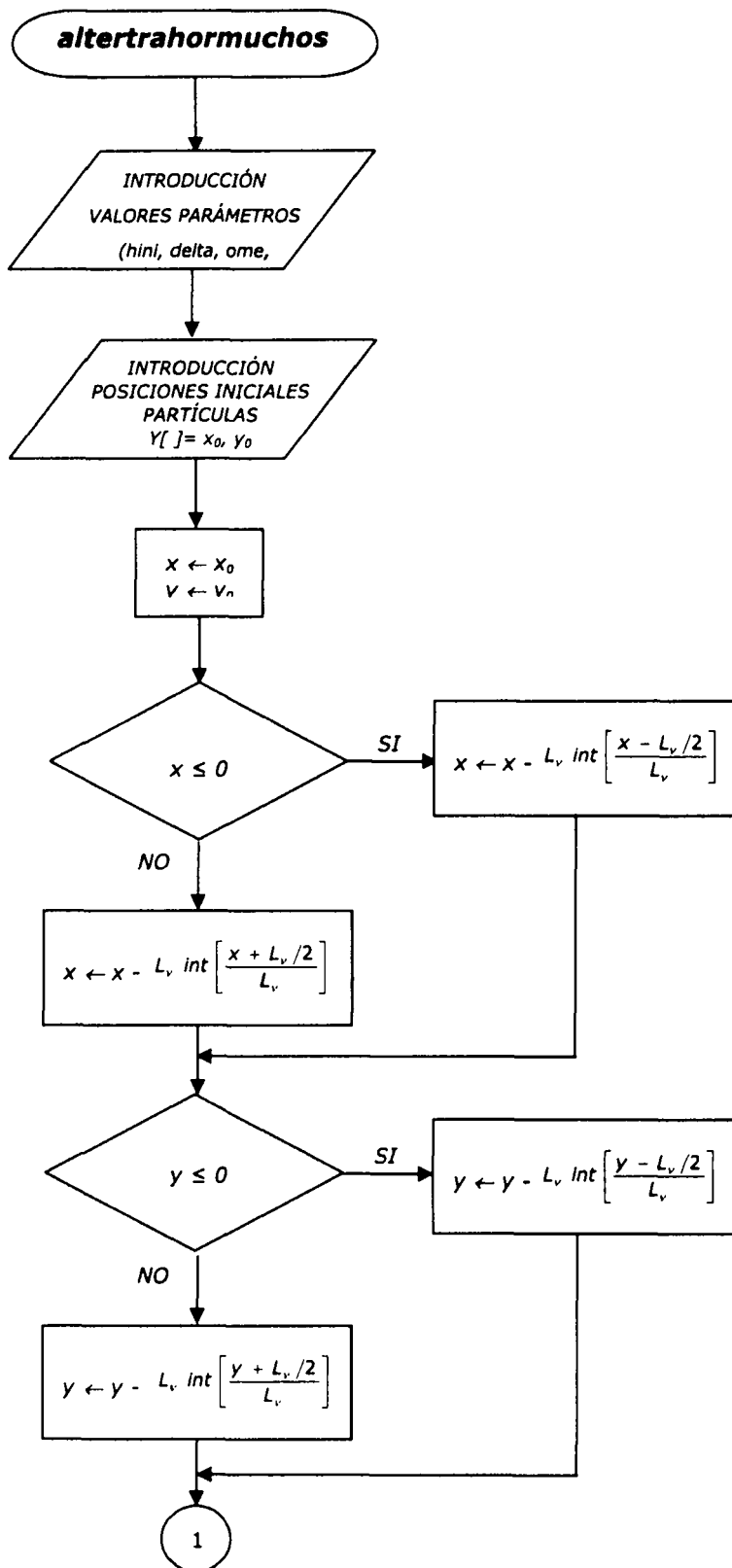


FIG. 7b

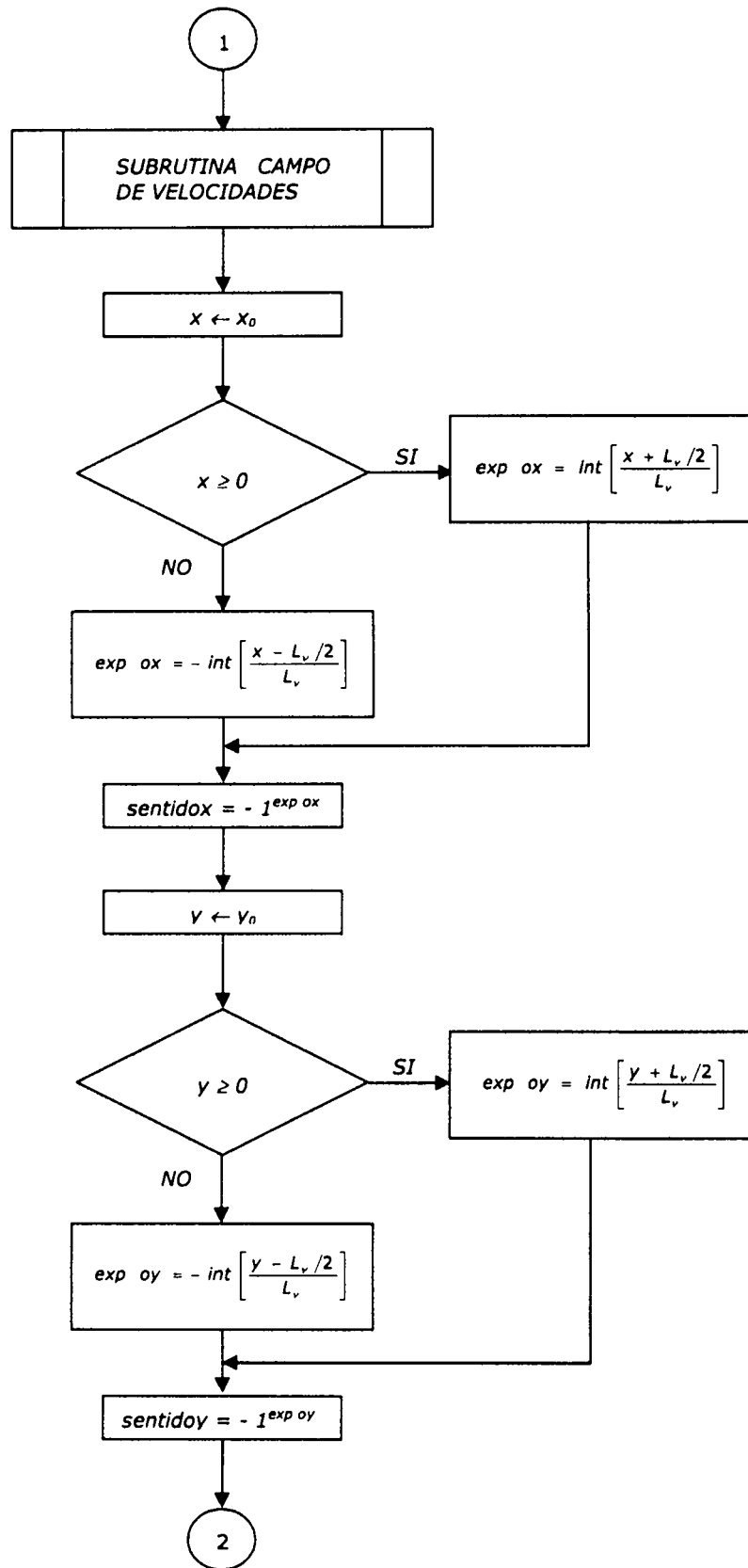


FIG. 7c

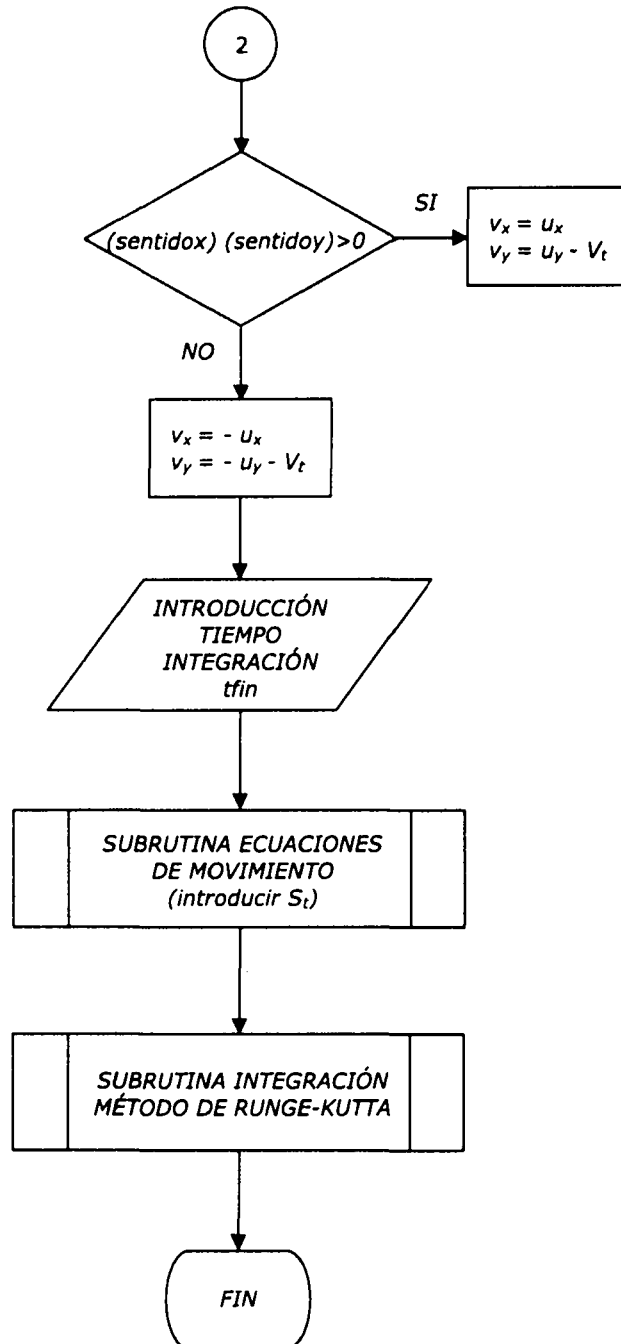


FIG. 8a

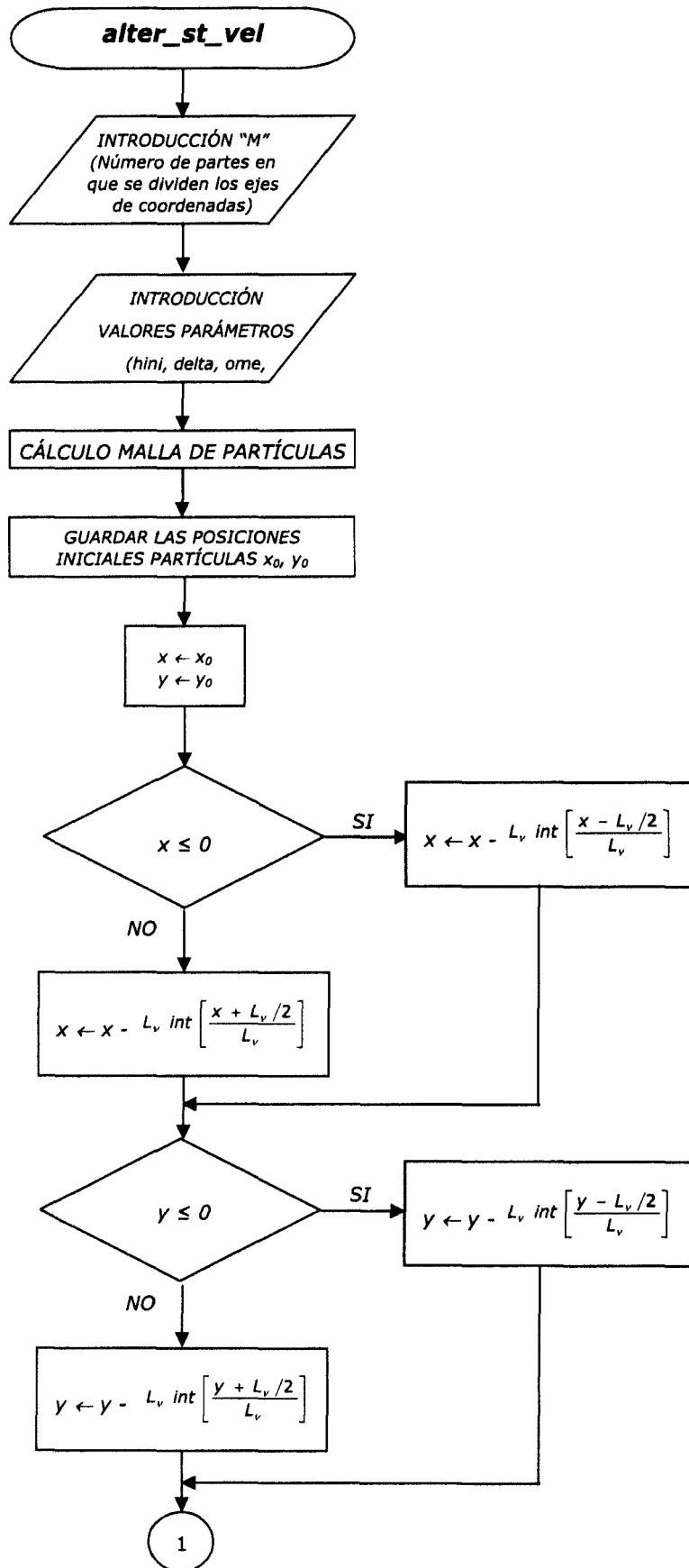


FIG. 8b

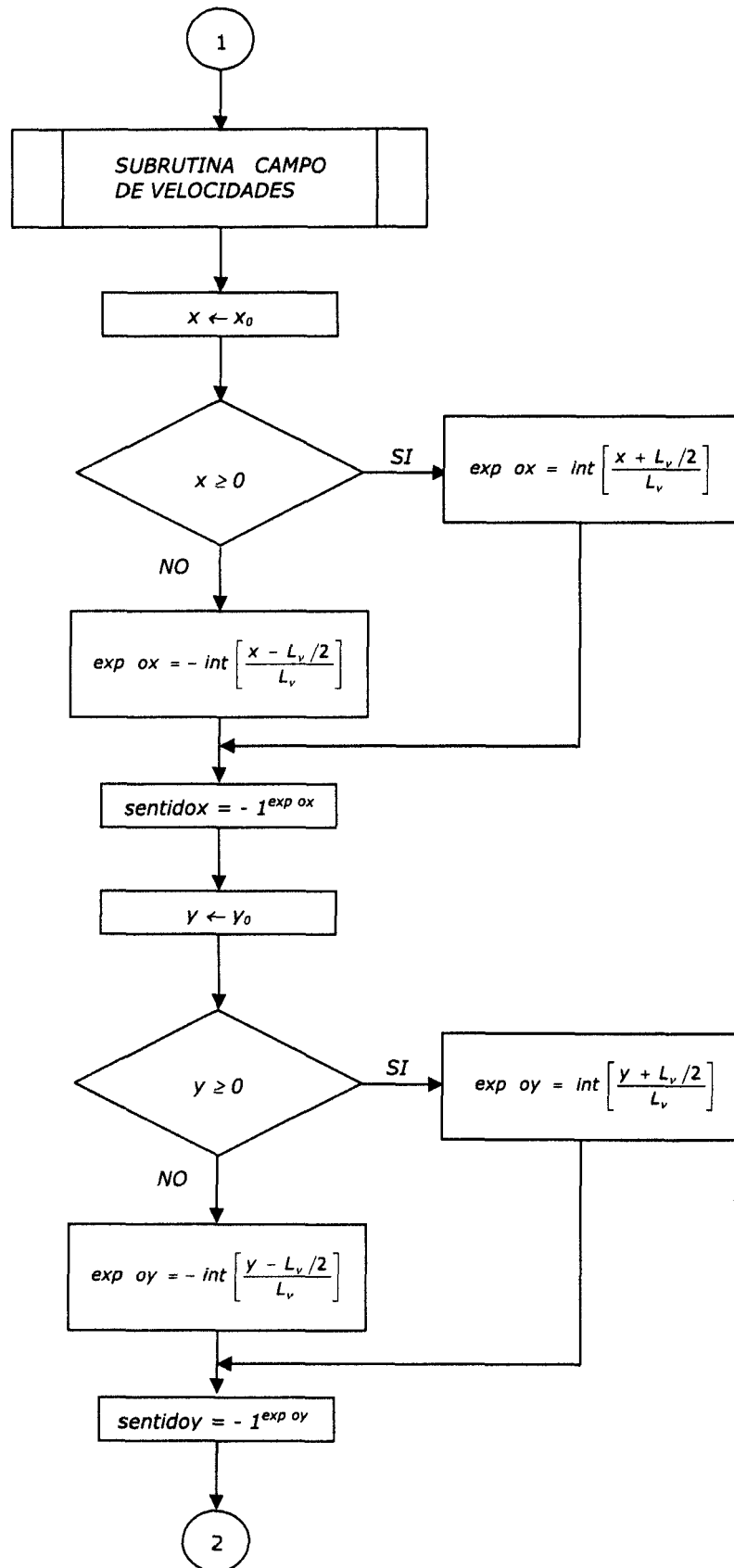
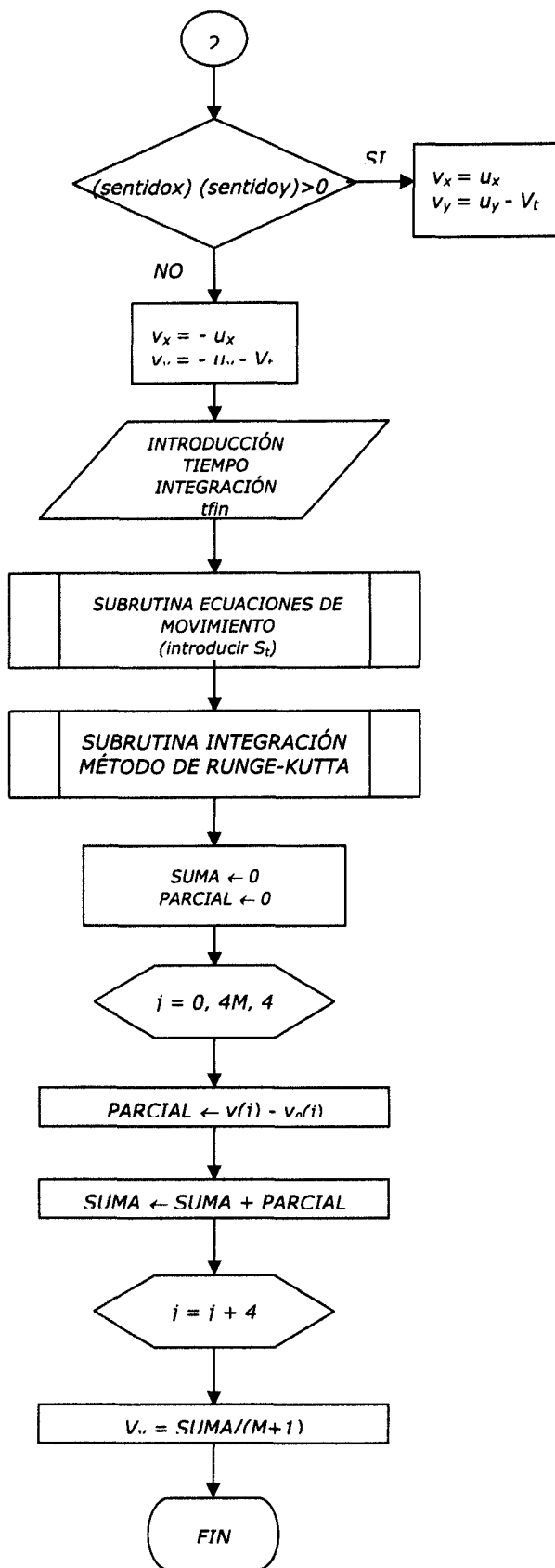


FIG. 8c





OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②¹ N.º solicitud: 200900733

②² Fecha de presentación de la solicitud: 17.03.2009

③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤¹ Int. Cl.: **G06F17/50** (2006.01)
B01D45/16 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	AYYALASOMAYAJULA, S. et al. Modeling inertial particle acceleration statistics in isotropic turbulence. Physics of Fluids. 09.12.2008. Vol. 20, Nº 9, páginas 095104-1 a 095104-9, ISSN impreso 1070-6631; ISSN online 1089-7666; <DOI: 10.1063/1.2976174>	1-17
X	DAVILA, J. et al. Settling of small particles near vortices and in turbulence. Journal of Fluid Mechanics. 2001. Vol. 440, páginas 117-145 <DOI:10.1017/S0022112001004694>	1-17
A	US 4263027 A (VARNAS et al.) 21.04.1981	

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
29.03.2011

Examinador
A. Figuera González

Página
1/5

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

G06F, B01D

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, TXTEN, INSPEC, COMPENDEX, EMBASE, BIOSIS, MEDLINE, XPESP, Internet

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 29.03.2011

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1 - 17	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	SI
	Reivindicaciones 1 - 17	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	AYYALASOMAYAJULA, S. et al. Modeling inertial particle acceleration statistics in isotropic turbulence. <i>Physics of Fluids</i> . 09.12.2008. Vol. 20, N° 9, páginas 095104-1 a 095104-9, ISSN impreso 1070-6631; ISSN online 1089-7666; <DOI: 10.1063/1.2976174>	
D02	DAVILA, J. et al. Settling of small particles near vortices and in turbulence. <i>Journal of Fluid Mechanics</i> . 2001. Vol. 440, páginas 117-145 <DOI:10.1017/S0022112001004694>	

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**REIVINDICACIÓN 1.**

Se considera que el documento D01 es el documento del estado de la técnica más próximo al objeto de la reivindicación 1. En dicho documento se utiliza un modelo con un flujo que consiste en una matriz de vórtices distribuidos uniformemente en el espacio con signos e intensidades que varían al azar en el tiempo. Se simula entonces una muestra grande de partículas inerciales que se desplazan en el fluido sin perturbar el flujo. Se muestra que el modelo exhibe una concentración o agrupamiento preferencial de partículas en las regiones alejadas del centro de los vórtices. Véase documento D01, resumen y figura 2.

Es decir que se simula un campo de vorticidad periódico (un caso particular simplificado de signos e intensidades que varían al azar es que sean constantes en el tiempo todos) en el que las partículas en suspensión se separan, lo que se corresponde al preámbulo de la reivindicación.

Se utiliza una matriz de 10 x 10 vórtices separados por una distancia L. Véase apartado II The vortex model, primer párrafo. Luego se calcula la velocidad inducida por cada vórtice lo que permite a su vez calcular la velocidad inducida por el conjunto de vórtices por superposición lineal de la contribución de cada vórtice.

Por último se calcula el movimiento de cada partícula inercial incorporando los resultados obtenidos en el cálculo de la velocidad inducida por los vórtices en las ecuaciones que gobiernan el movimiento de las partículas.

No se menciona expresamente en el documento D01 cuáles son las condiciones iniciales consideradas, pero es práctica habitual en el campo de la simulación la necesidad de definir las condiciones iniciales y de contorno. Además, en la reivindicación 1 no parece presentarse ningún problema técnico asociado a su obtención ni se exige ninguna característica técnica concreta de dichas condiciones iniciales.

Así pues no existen diferencias entre lo divulgado por el documento D01 y el objeto de la reivindicación 1 que no respondan a simples prácticas habituales en el estado de la técnica que hubieran sido obvias para un experto en la materia. Existen otras diferencias entre lo descrito en la descripción de la solicitud internacional y el documento D01, pero dichas diferencias no están reflejadas en la reivindicación 1 y por lo tanto no han sido tenidas en cuenta.

En definitiva, la reivindicación 1 carece de actividad inventiva de acuerdo con el artículo 8 de la Ley de Patentes.

El mismo razonamiento se puede repetir si se considera el documento D02, citado en la propia solicitud internacional, como el documento del estado de la técnica más próximo al objeto de la reivindicación 1.

En efecto, aunque en el documento D02 solo se considera la modelización de un único vórtice, en la solicitud internacional no se justifica la existencia de un problema técnico que haya sido necesario resolver ni se presenta una solución técnica detallada para pasar del cálculo de un vórtice aislado al cálculo de una matriz de vórtices. Tampoco en la reivindicación 1 aparece ninguna característica técnica concreta relacionada con la existencia de varios vórtices más allá de la expresión del simple deseo de calcular el patrón de comportamiento del campo de vorticidad periódico.

Por otra parte, en la solicitud internacional se indica en la página 4 que el procedimiento del documento D02 "no reproduce correctamente la sedimentación de partículas debido a que el tipo de estructuras vorticales que incrementan o hacen decrecer la velocidad de sedimentación promedio no están presentes en este tipo de flujos".

Sin embargo en la reivindicación 1 no se definen con características técnicas concretas estructuras vorticales que permitan dicha separación simplemente se indica que "se obtienen la geometría y las condiciones iniciales del campo de vorticidad periódico" y que a partir de ellas "se calcula al menos un patrón de comportamiento del campo de vorticidad periódico".

En definitiva, la reivindicación 1 carece también de actividad inventiva a la vista de lo divulgado en el documento D02.

REIVINDICACIONES 3 a 8.

Las reivindicaciones 3 a 8 se refieren a la geometría del campo de vorticidad. Se trata de meras opciones de diseño que aparentemente no presentan ningún problema técnico especial para su implementación ni producen ningún resultado técnico sorprendente. Tampoco se proporciona ninguna característica técnica concreta de como se puede conseguir el resultado perseguido por el procedimiento, simular el campo de vorticidad periódico para separa partículas en suspensión, para estas configuraciones particulares del campo de vorticidad. Es decir que o bien se trata de opciones obvias para el experto en la materia o bien se trata de la mera expresión del resultado que se pretende conseguir.

En conclusión las reivindicaciones 3 a 8 que dependen de la reivindicación 1 que carece de actividad inventiva, carecen a su vez de actividad inventiva.

REIVINDICACIONES 2 y 9.

Estas reivindicaciones definen las condiciones iniciales de manera genérica indicando simplemente algunas magnitudes iniciales a tener en cuenta sin especificar valores concretos ni una forma de obtenerlos. Pero los parámetros mencionados son parámetros cuya influencia inicial es obvia para el experto en la materia. Algunos de ellos aparecen incluso citados explícitamente en el documento D02: posición y velocidad inicial de la partícula en la ecuación 2.4 de la página 123, velocidad de caída y radio del vórtice en el resumen.

Así pues la reivindicación 2 y la reivindicación 9 (dependientes respectivamente de la reivindicación 1 de la 3 que carecen ambas de actividad inventiva), carecen a su vez de actividad inventiva.

REIVINDICACIONES 10 y 11.

En el documento D02 se utiliza el vórtice de Rankine (Véase documento D02, página 124, ecuaciones 2.5)

En el documento D02 se calcula la posición de las partículas en función del tiempo. Véase documento D02, página 124 y figura 2 (a,b) página 122.

Así pues las reivindicaciones 10 y 11, dependientes de la reivindicación 1 y de las reivindicaciones anteriores que carecen de actividad inventiva, no aportan ninguna característica nueva que pueda conferirles actividad inventiva.

REIVINDICACIÓN 12 y 13.

Una vez que se ha realizado un cálculo, el mostrar los resultados es un objetivo obvio que, en principio, no supone en el estado actual de la técnica ningún problema técnico. Tampoco se reivindica ninguna característica técnica concreta del modo en que se muestran las informaciones ni ninguna indicación de cómo se consigue determinar las regiones de acumulación de partículas ni la diferencia de la velocidad de sedimentación con respecto a una velocidad terminal de caída de fluido en reposo.

Para el experto en la materia hubiera resultado obvio que resulta interesante mostrar el patrón de comportamiento de las partículas y determinar las características mencionadas

En definitiva, las reivindicaciones 12 y 13 que dependen respectivamente de las reivindicaciones 1 y 12 que carecen de actividad inventiva, carecen a su vez de actividad inventiva.

REIVINDICACIÓN 14.

En la reivindicación 14 se reivindica el resultado que se pretende obtener, determinar el campo de vorticidad óptimo para separar partículas citando como única característica técnica que se realiza "en función del tamaño o granulometría de las mismas". Sin embargo, es conocido en el estado de la técnica que el tamaño o granulometría de las partículas es uno de los parámetros fundamentales en su separación, por lo que se considera que su formulación hubiera resultado obvia para el experto en la materia.

Así pues la reivindicación 14, que depende de la reivindicación 1 que carece de actividad inventiva, carece a su vez de actividad inventiva.

REIVINDICACIONES 15 A 17.

Las reivindicaciones 15 a 17 se refieren a un programa de ordenador para implementar un método que no tiene actividad inventiva y por lo tanto no tiene actividad inventiva.