

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 052**

51 Int. Cl.:

G01V 9/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.12.2012 PCT/FR2012/052918**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2013 WO13093303**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.12.2012 E 12816725 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 2795375**

54 Título: **Procedimiento y aparato de determinación de una trayectoria de una corriente de agua y sonda autónoma puesta en práctica en este procedimiento**

30 Prioridad:

20.12.2011 FR 1161985

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

19.11.2018

73 Titular/es:

**UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER (50.0%)
163, rue Auguste Broussonnet
34090 Montpellier, FR y
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (50.0%)**

72 Inventor/es:

**PISTRE, SÉVERIN;
FALGAYRETTES, PASCAL y
HAKOUN, VIVIEN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 690 052 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato de determinación de una trayectoria de una corriente de agua y sonda autónoma puesta en práctica en este procedimiento

5 La invención concierne a un procedimiento y a un aparato para determinar una trayectoria de una corriente de agua, especialmente para cartografiar un medio complejo y poco o nada accesible tal como un acuífero cárstico. La corriente de agua puede estar constituida igualmente por un conducto subterráneo, una mina, canales diversos o incluso un río. La misma concierne igualmente a una sonda autónoma puesta en práctica por este procedimiento.

Estado de la técnica anterior

10 Un acuífero es un conjunto rocoso, suficientemente poroso y permeable para contener y dejar circular una capa de agua subterránea. Una capa de agua subterránea es una reserva natural de agua dulce susceptible de ser explotada.

Se distinguen los acuíferos porosos de los acuíferos fisurados y carstificados.

En los acuíferos porosos, el agua está contenida en los poros abiertos de la roca y puede circular a través de ellos (arenas, yeso, gravas, arenisca, escorias volcánicas, etc.). La permeabilidad de los mismos es matricial y función de la dimensión de los poros.

15 En los acuíferos fisurados, el agua está contenida y circula en las fallas, fisuras o diaclasas de la roca (calcáreos, granitos, basaltos, etc.). La permeabilidad de los mismos es principalmente fisural y función del tamaño y de la conexión de las fisuras o fallas.

20 Los acuíferos cársticos son el origen de los acuíferos fisurados en los cuales el agua que circula en las fisuras ha disuelto progresivamente la roca. Esta disolución conduce a la creación de cavidades y de drenajes organizados, de tamaños variables en los cuales el agua puede circular muy rápidamente en comparación con los acuíferos porosos o incluso fisurados. La gestión de estos acuíferos (captura de agua potable, transporte de contaminantes,...) continuando siendo delicada actualmente en razón del desconocimiento casi total de la red de drenajes. Cualquier procedimiento que permita cartografiar incluso parcialmente esta red sumergida permitiría mejorar considerablemente su gestión.

25 Las importantes profundidades alcanzadas por las redes de conductos, no permiten utilizar sistemas de cartografía tales como los sistemas GPS.

Se conocen procedimientos que permiten encontrar en parte la o las salidas de un acuífero cárstico a partir especialmente del vertido de colorantes aguas arriba.

30 Estos procedimientos son ampliamente utilizados pero no aportan otra información que el o los puntos de salida aguas abajo del punto de vertido aguas arriba a los cuales se asocian un o unos tiempos de tránsito. Tales procedimientos permiten establecer eventuales conexiones hidráulicas pero no permiten cartografiar los recorridos de la corriente.

Se conocen dispositivos tales como robots capaces de desplazarse en el seno de los drenajes cársticos y que permiten cartografiar este último.

35 Sin embargo, estos dispositivos son caros y a menudo se atascan cuando los mismos descienden en la corriente para facilitar la cartografía registrada.

Por otra parte, estos dispositivos tienen una autonomía limitada por la batería que los mismos embarcan.

Además, estos dispositivos pueden contaminar la fuente de agua al quedar atrapados en la red. Hay que observar que esta agua puede ser captada para la alimentación como agua potable.

40 Además, estos robots no son de tamaño restringido, lo que no permite considerar su paso por secciones estrechas de la red.

Finalmente, estos robots son sistemas activos que utilizan motores para desplazarse, lo que aumenta todavía su gasto de energía.

45 Se conoce finalmente la publicación US 2010/0274488 que divulga un dispositivo y un procedimiento para cartografiar una red subterránea compleja y poco accesible. Este dispositivo divulga la utilización de sensor de ultrasonidos cuya función es cartografiar en tres dimensiones el medio. Las mediciones obtenidas por los sensores de ultrasonidos permiten efectuar una triangulación del medio. Esta triangulación puede verse afectada por movimientos repentinos del dispositivo durante las mediciones por sensor de ultrasonidos. Se ha divulgado así un acelerómetro para poder medir tales movimientos repentinos y para poder tenerlos en cuenta durante la utilización de las mediciones obtenidas por los sensores de ultrasonidos.

Este documento divulga igualmente la utilización de un magnetómetro para permitir al dispositivo determinar el norte magnético.

Sin embargo, la multiplicidad de los sensores reduce otro tanto la duración de funcionamiento del aparato al aumentar el consumo de energía que proviene de la batería.

5 Además, esta multiplicidad conduce a un coste elevado del dispositivo y a un volumen importante.

Finalmente, este dispositivo utiliza una pila como fuente de energía. Esta pila es en principio contaminante para el medio ambiente en el caso en que el dispositivo quede atascado en la red subterránea.

Un objetivo de la invención es remediar al menos uno de estos inconvenientes.

Otro objetivo de la invención es proponer un dispositivo y un procedimiento para cartografiar corrientes de agua.

10 Otro objetivo de la invención es proponer un dispositivo y un procedimiento que sean menos caros que los dispositivos conocidos.

Otro objetivo de la invención es proponer tal dispositivo y procedimiento para permitir el paso del dispositivo por secciones de red más estrechas que aquéllas por las cuales pueden pasar los dispositivos de acuerdo con el estado de la técnica.

15 Otro objetivo de la invención es proponer un dispositivo que pueda ser insertado en el medio acuífero utilizando una perforación.

Otro objetivo de la invención es proponer tal dispositivo y procedimiento que sea pasivo, es decir que no necesite la utilización de motor para su desplazamiento.

Otro objetivo de la invención es proponer tal dispositivo y procedimiento cuya autonomía sea muy elevada.

20 Otro objetivo de la invención es proponer un dispositivo y un procedimiento no contaminante para la explotación del acuífero como agua potable cuando el dispositivo quede atascado.

Exposición de la invención

25 Al menos uno de los objetivos antes citados se consigue con un procedimiento de determinación de una trayectoria de una corriente de agua de acuerdo con la reivindicación 1. Se ha propuesto así un procedimiento que permite desarrollar un dispositivo para cartografiar corrientes de agua. Siendo determinada directamente una trayectoria de este medio a partir de datos de aceleración recogidos por el dispositivo, éste es de un tamaño más reducido que los propuestos en el estado de la técnica y menos caro que los mismos. Es así posible insertarle en un medio acuoso utilizando una perforación y puede pasar por secciones de red más estrechas que aquéllas por las cuales pueden pasar los dispositivos de la técnica anterior.

30 Por otra parte, la etapa de tratamiento de los datos puestos en memoria puede además comprender:

- una etapa de eliminación de un sesgo en los datos puestos en memoria para producir datos filtrados,
- una etapa de proyección de los datos filtrados en el sistema de referencia terrestre.

35 En las memorias pueden estar registrados sesgos. Estos sesgos son debidos principalmente a una fluctuación de la alimentación de medios para medir una aceleración o a una variación de una magnitud física durante la etapa de medición de datos de aceleración. Estos sesgos introducen entonces una deriva lenta de los datos medidos y la eliminación de los mismos puede ser realizada en este caso por un tratamiento frecuencial de la señal que elimine estas frecuencias muy bajas.

40 La etapa de proyección de los datos filtrados en el sistema de referencia terrestre puede ser realizada haciendo una hipótesis sobre la velocidad de rotación del dispositivo en el medio acuoso y determinando la orientación de la sonda por un tratamiento de los datos de aceleración.

La etapa de medición puede comprender además una medición de la orientación magnética del dispositivo, una puesta en memoria de datos de orientación magnética y un tratamiento de los datos de orientación magnética puestos en memoria durante la proyección de los datos filtrados en el sistema de referencia terrestre.

45 De esta manera es posible determinar los ángulos de rotación del dispositivo con respecto al norte magnético terrestre sin hacer hipótesis sobre la orientación de la gravedad terrestre. La etapa de proyección de los datos filtrados en el sistema de referencia terrestre resulta así simplificada.

El procedimiento de acuerdo con la invención puede comprender además una etapa de determinación de la orientación del sistema de referencia del dispositivo móvil en el sistema de referencia terrestre, utilizando:

- una determinación de la componente vectorial de la gravedad terrestre en el sistema de referencia del citado dispositivo móvil obtenida a partir de datos de aceleración, y

- una medición de la orientación magnética del citado dispositivo móvil en el campo magnético terrestre.

5 El mismo puede comprender además una etapa de corrección de la trayectoria determinada por doble integración de los datos tratados, la cual comprende:

- una determinación de un error global sobre la citada trayectoria, comparando la localización geográfica de un punto de llegada del dispositivo móvil con la localización del citado punto de llegada obtenida a partir de la citada trayectoria, y

10 - una corrección del citado error global aplicando a la citada trayectoria una rotación alrededor de un punto de partida del dispositivo móvil y una homotecia.

Los puntos de partida y de llegada corresponden respectivamente a la localización geográfica o topológica del principio y del final de la trayectoria de la corriente de agua.

15 La etapa de medición puede además comprender una medición de ángulos de rotación del citado dispositivo, una puesta en memoria de datos de medición de ángulos de rotación y un tratamiento de los datos de ángulos de rotación puestos en memoria durante la proyección de los datos filtrados en el sistema de referencia terrestre.

Esta medición de ángulos de rotación del dispositivo puede ser realizada por un giroscopio incluido en el dispositivo y entonces no es necesario hacer hipótesis sobre la orientación de la gravedad terrestre. La etapa de proyección de los datos filtrados en el sistema de referencia terrestre resulta así simplificada.

20 Ventajosamente, el procedimiento de determinación de acuerdo con la invención puede además comprender una etapa de producción de energía para el dispositivo proveniente de una pila de corrosión en agua.

25 De esta manera, el dispositivo puede ser aligerado y menos voluminoso puesto que el mismo puede no incluir batería. Esto le permite poder pasar en corrientes de agua más estrechas que los dispositivos conocidos. Por otra parte, su duración de vida de servicio es casi infinita y así es menos caro que los dispositivos conocidos. Finalmente, es menos contaminante que los dispositivos conocidos cuando el mismo quede atascado en una corriente de agua si el par metálico elegido es aceptable para la corriente/el medio estudiados.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se propone un sistema para determinar una trayectoria de una corriente de agua de acuerdo con la reivindicación 8.

El sistema de acuerdo con la invención puede comprender además.

30 - medios para medir la orientación magnética del dispositivo móvil, y
- medios para tratar datos de orientación magnética facilitados por los citados medios para medir la orientación magnética (208).

El sistema comprende además una sonda autónoma para determinar una trayectoria de una corriente de agua, que comprende:

35 - medios para medir aceleraciones de la sonda en las tres dimensiones del espacio,
- medios de memoria para registrar las mediciones de aceleración.

Los medios para medir aceleraciones pueden ser aptos para producir una medición de aceleración en una gama frecuencial a partir de la continua, y una medición de aceleración filtrada en paso alto en la cual la componente continua es eliminada.

40 Por otro lado, una sonda autónoma puede además comprender medios para medir y registrar la orientación magnética de la citada sonda.

Ventajosamente, una sonda autónoma puede además comprender medios para medir y registrar ángulos de rotación del dispositivo.

45 En particular, una sonda autónoma puede además comprender medios de alimentación que comprenden dos electrodos metálicos y un electrolito que contiene líquido que proviene del citado medio acuoso. Se ha propuesto un aparato electrónico para determinar una trayectoria de una corriente de agua, puesto en práctica en un sistema de acuerdo con la invención, comprendiendo este aparato:

- medios de adquisición de datos registrados por una sonda autónoma de acuerdo con la invención, y

- medios de tratamiento de los datos adquiridos para determinar la citada trayectoria por doble integración de los datos tratados.

Por otra parte, los medios de tratamiento de los datos pueden además comprender:

- medios de filtrado de los datos para eliminar un sesgo en los datos adquiridos, y

5 - medios de proyección de los citados datos filtrados en el sistema de referencia terrestre.

De esta manera, la invención propone una solución eficaz y simple de poner en práctica para efectuar una cartografía de redes de tipo acuíferos cársticos.

La invención puede además ser puesta en práctica en cualesquiera tipos de aplicaciones similares. De esta manera la misma puede ser utilizada por ejemplo para:

10 - efectuar una cartografía o una caracterización del transporte de partículas en el seno de una corriente en un fluido en medio subterráneo y/o en un medio ambiente inaccesible o confinado;

- controlar la corriente de un efluente en una red subterránea tal como una red de aguas residuales o pluviales y, por ejemplo, identificar zonas « de aguas muertas » (en las cuales las velocidades son nulas para una serie de mediciones dadas) y zonas « de recirculación » (en las cuales la trayectoria indica bucles locales) en el transcurso del recorrido.

15 La sonda de acuerdo con la invención puede además comprender sensores adicionales, tales como por ejemplo sensores de temperatura y/o de conductividad eléctrica, que permiten obtener informaciones sobre parámetros físico-químicos del medio ambiente.

20 Estas informaciones pueden ser utilizadas por ejemplo para identificar aportes de fluidos específicos locales (por ejemplo una llegada de agua) en la confluencia de dos drenajes que transportan aguas con características físico-químicas diferentes. Se puede así obtener una cartografía en el espacio de estas zonas de confluencia.

Descripción

Otras ventajas y particularidades de la invención se pondrán de manifiesto en la lectura de la descripción detallada de puestas en práctica y de un modo de realización en modo alguno limitativo, y en los dibujos anejos siguientes:

- la figura 1 es una representación esquemática de un procedimiento de acuerdo con la invención,

25 - la figura 2 es una vista esquemática de un sistema de acuerdo con la invención; y

- la figura 3 es una vista esquemática de una sonda de acuerdo con la invención.

La figura 1 ilustra un modo de realización de un procedimiento 100 de determinación de una trayectoria de una corriente de agua de acuerdo con la invención.

El procedimiento 100 comprende:

30 - una etapa 102 de introducción de un dispositivo móvil autónomo de medición en la corriente de agua, después

- una etapa 104 de medición de datos y de puesta en memoria de datos,

- una etapa 108 de generación de energía para el dispositivo,

- una etapa (no representada) de recuperación del dispositivo móvil autónomo de medición en la corriente de agua,

35 - una etapa 110 de tratamiento de datos recogidos durante la etapa de medición 104 y de determinación de la trayectoria por doble integración de los datos tratados.

La etapa 104 de medición de datos y de puesta en memoria de los datos comprende además:

- una etapa 104₁ de medición de datos a intervalos de tiempo regulares. El intervalo de tiempo es regulable,

- una etapa 104₂ de conversión de estas mediciones en n bits por un convertidor analógico/digital de un microcontrolador integrado en el dispositivo, y

40 - una etapa 104₃ de registro de estos datos en una tarjeta de memoria integrada en el dispositivo.

Los datos medidos son las aceleraciones experimentadas por el dispositivo en un sistema de referencia del dispositivo móvil.

Se miden y se ponen en memoria otros datos, tales como la conductividad del agua, su temperatura así como el registro de la dirección del norte magnético utilizando una brújula magnética.

- 5 La etapa 108 de generación de energía para el dispositivo consiste en utilizar la energía procedente de la corrosión de un metal, o de un par de metales, en medio acuoso para formar una pila de corrosión. La corrosión resulta de la existencia simultánea de dos reacciones electroquímicas: la reacción situada en el ánodo que corresponde a la oxidación del metal – que produce en general un óxido que pasa en solución al agua – y la reacción en el cátodo que corresponde a la reducción del oxidante.
- 10 Esta generación de energía consiste en la utilización del agua del medio acuoso como electrolito. Esto permite evitar la saturación del electrolito de una batería clásica, debido a la renovación del mismo en el medio acuoso. Además, el dispositivo tiene entonces un peso menor debido a que el mismo no lleva electrolito. El cambio de masa de la sonda durante el consumo de la fuente energética que constituye el metal conduce a un aumento del empuje de Arquímedes y por consiguiente al riesgo de flotación del dispositivo.
- 15 El potencial disponible en los bornes de dicha pila de corrosión es pequeño. Se propone así una etapa (no representada) de elevación por un circuito de tipo bomba de carga. Otra parte, este circuito de bomba de carga, carga progresivamente una capacidad a fin de regular la tensión pero también de proporcionar un mayor pico de corriente en el momento de la escritura de los datos medidos durante la etapa 104₃.
- 15 La etapa 110 de tratamiento de datos recogidos durante la etapa de medición 104 y de determinación de la trayectoria por doble integración de los datos tratados comprende:
- una etapa 112 de adquisición de los datos recogidos por la sonda autónoma,
 - una etapa 114 de eliminación de un sesgo en los datos adquiridos para producir datos filtrados, y
 - una etapa 116 de proyección de los datos filtrados en el sistema de referencia terrestre.
- 20 Durante la etapa 114, se corrige un primer sesgo asociado al sensor de medición de aceleración, el cual tiene una ligera deriva. Esta deriva puede tener como origen la alimentación del sensor, la cual fluctúa ligeramente durante la duración del registro. Esta deriva puede igualmente tener como origen una magnitud física, tal como por ejemplo la variación de temperatura. En estos dos casos, la deriva es lenta y la corrección se efectúa por tratamiento frecuencial eliminando las frecuencias muy bajas.
- 25 Durante la etapa 116, se tiene en cuenta la trayectoria propia del sensor. En efecto, los datos son registrados en el sistema de referencia de la sonda y la misma experimenta rotaciones aleatorias debidas al efecto de las corrientes. Tratando los datos que provienen de la utilización de una brújula magnética, se determinan los ángulos de rotación de la sonda. Los datos registrados en el sistema de referencia de la sonda son proyectados entonces en el sistema de referencia terrestre.
- 30 Finalmente, la etapa 116 se acaba el cálculo de una doble integración de la aceleración en el sistema de referencia terrestre a fin de calcular la velocidad, y después la posición de cada punto de medición.
- En una variante del modo de realización del procedimiento, los ángulos de rotación de la sonda se determinan directamente por el tratamiento de los datos obtenidos por un giroscopio integrado en la sonda.
- 35 En otra variante del modo de realización del procedimiento, la orientación de la sonda se determina por tratamiento de los datos de aceleración. La dirección de la gravedad terrestre es considerada entonces como constante.
- La figura 2 representa una sonda 200 para determinar una trayectoria de una corriente de agua.
- La sonda 200 comprende un acelerómetro de tres dimensiones 202 para medir aceleraciones en las tres dimensiones del espacio.
- La sonda 200 comprende un microcontrolador 204 en conexión bidireccional con el acelerómetro 202.
- 40 La sonda 200 comprende además una tarjeta SD 206. Esta tarjeta está en conexión bidireccional con el microcontrolador 204. Los datos medidos por el acelerómetro 202 son registrados en la memoria SD 206.
- La sonda 200 comprende además una brújula magnética 208 en tres direcciones para medir y registrar la orientación magnética de la sonda 200.
- 45 La misma comprende además una unidad de alimentación 210. Esta unidad de alimentación está conectada a una pila clásica o de corrosión (no representada) y alimenta los circuitos electrónicos a través del microcontrolador 204.
- En ausencia de lastre especialmente, la brújula magnética 208 permite registrar las rotaciones de la sonda 200 con respecto al sistema de referencia de la sonda (o en otras palabras las rotaciones del campo magnético terrestre en el sistema de referencia de la sonda) y así poder proyectar los datos de aceleración recogidos en el sistema de referencia terrestre.

- 5 En la figura 2 que es una vista de principio de un primer modo de realización de una sonda de acuerdo con la invención, se han separado las funcionalidades de medición de aceleración y de brújula magnética. En realidad, estas funcionalidades están implementadas en el seno de un mismo sensor MEMS (Microsistema Electromecánico) del tipo que es apto para medir la aceleración y la orientación magnética de la sonda. Estando integradas estas funcionalidades en un mismo sensor, el sistema de referencia de medición es entonces el mismo para los dos tipos de medición.
- La figura 3 representa una sonda autónoma 300 para determinar una trayectoria de una corriente de agua.
- La sonda autónoma 300 comprende un acelerómetro en tres dimensiones 302 para medir aceleraciones en las tres dimensiones del espacio.
- La sonda 300 comprende además un microcontrolador 304 en conexión bidireccional con el acelerómetro 302.
- 10 La sonda 300 comprende además una tarjeta SD 306. Esta tarjeta está en conexión bidireccional con el microcontrolador 304. Los datos medidos por el acelerómetro 302 son registrados en la memoria SD 306.
- La misma comprende además una unidad de alimentación 310. La unidad de alimentación 310 facilita la energía al resto del circuito a través de la alimentación del microcontrolador 304. Esta unidad de alimentación está conectada a una pila de corrosión modificada 312 y alimenta los circuitos electrónicos a través del microcontrolador 304.
- 15 La pila de corrosión 312 comprende dos electrodos 314 y 316. El electrolito 318 está constituido por líquido que proviene del medio acuoso en el cual se introduce la sonda autónoma 300. El electrodo 316 está constituido de magnesio y desempeña la función de ánodo. El electrodo 314 está constituido de cobre y desempeña la función de cátodo. En este caso, siendo el magnesio el metal más reductor, el mismo es oxidado por el electrolito 318 y libera electrones.
- 20 El cambio de masa de la sonda, durante el consumo de la fuente energética que constituye el metal, conduce a un aumento del empuje de Arquímedes y por consiguiente al riesgo de flotación del dispositivo. Para contrarrestar este efecto, la pila de corrosión 312 está concebida para dejar entrar y salir el electrolito que proviene del medio acuoso. De esta manera, cuando la cantidad de magnesio disminuye, el volumen de electrolito que proviene del medio acuoso en el interior de la pila de corrosión aumenta, y así disminuye el empuje de Arquímedes resultante del consumo de la
- 25 fuente energética.
- La pila de corrosión, así concebida, tiene igualmente la función de desempeñar el papel de lastre para la sonda 300. El lastre tiene la función de corregir la inclinación o el asiento, y mejorar la estabilidad de la sonda modificando la posición del centro de gravedad de la misma.
- 30 La sonda 300 comprende además un sensor de temperatura 320 y células de medición de la conductividad 322. Los sensores de temperatura 320 y las células de medición de conductividad 322 están conectados independientemente al microcontrolador 304. Los datos relativos a la temperatura y a la conductividad son registrados en la tarjeta SD 306.
- En otro modo de realización, la sonda puede comprender igualmente una brújula magnética en tres direcciones para medir y registrar la orientación magnética de la sonda. Esta brújula magnética puede estar por ejemplo incluida en la sonda 300 presentada en la figura 3.
- 35 En ausencia de lastre especialmente, la brújula magnética permite registrar las rotaciones de la sonda en el sistema de referencia de la sonda (o en otras palabras las rotaciones del campo magnético terrestre en el sistema de referencia de la sonda) y así poder proyectar los datos de aceleración recogidos en el sistema de referencia terrestre.
- Es igualmente posible utilizar datos registrados en un giroscopio.
- 40 Se va a describir ahora de modo más preciso un modo de realización y de puesta en práctica de la invención para determinar una trayectoria de una corriente de agua.
- Como se explicó anteriormente, la invención es puesta en práctica en forma de un sistema que comprende:
- una sonda autónoma 200, la cual está destinada a ser insertada en una corriente en un punto de entrada y recuperada en un punto de salida; y
 - un aparato electrónico con medios de cálculo para tratar los datos registrados por la sonda 200 durante su recorrido
- 45 en la corriente. En la práctica, este aparato es un ordenador con un lector para leer los datos registrados en la tarjeta de memoria de la sonda 200.
- La sonda 200 comprende un acelerómetro de 3 ejes 202 que permite efectuar mediciones de la aceleración en 3 dimensiones (3D). Este acelerómetro permite obtener dos tipos de mediciones:
- una medición de aceleración « completa » Y_c que comprende la componente de la aceleración de la gravedad terrestre g a la cual se añade vectorialmente el vector-aceleración asociado al movimiento Y ,
- 50

- una medición de aceleración « filtrada » Y_f en la cual se elimina la componente continua, correspondiente a la gravedad, por un filtrado digital de paso alto de muy baja frecuencia (del orden de 0,25 Hz). Esta medición de aceleración « filtrada » Y_f corresponde al vector-aceleración asociado al movimiento Y ($Y_f = Y$).

5 La sonda 200 comprende además una brújula magnética 208 que efectúa mediciones de la orientación del campo magnético terrestre en tres dimensiones, en el sistema de referencia de la sonda 200. Esta medición es una medición absoluta.

Este conjunto de mediciones de aceleración y de campo magnético permite especialmente liberarse de los efectos de la inclinación de la sonda 200 con respecto a su posición horizontal, los cuales pueden sobrevenir incluso si la misma está lastrada (por ejemplo por los electrodos 314, 316 de la pila 312).

10 En un primer tiempo, la sonda 200 es insertada en la corriente (etapa 102 del procedimiento de determinación de medición tal como está ilustrado en la figura 1).

La sonda 200 mide y registra en este caso alternativamente a todo lo largo de su recorrido en la corriente mediciones de aceleración « completas » y « filtradas » (etapa 104 del procedimiento de determinación de medición tal como está ilustrado en la figura 1).

15 A continuación, se recupera la sonda 200 y se analizan sus datos

En la etapa 110 de tratamiento de los datos, o de modo más preciso en la etapa 116 de proyección de los datos filtrados en el sistema de referencia terrestre, se efectúan las operaciones siguientes:

20 - se determina la componente vectorial de la aceleración de la gravedad terrestre g sustrayendo el vector-aceleración « filtrado » Y_f del vector-aceleración « completo » Y_c . Esto permite determinar para cada dato medido la diferencia angular entre el eje Z' del sistema de referencia de la sonda y el eje Z del sistema de referencia terrestre (cuyo eje Z está dirigido hacia el centro de la tierra, y cuyos ejes X e Y están en el plano de la horizontal local en el lugar de medición),

25 - como complemento, se utiliza la orientación del campo magnético terrestre dada por la brújula magnética 208 para orientar los ejes X' e Y' del sistema de referencia de la sonda con respecto al norte magnético, y por tanto a los ejes X e Y del sistema de referencia terrestre. Se obtiene así la orientación completa de la sonda en el sistema de referencia fijo terrestre en cualquier instante en el transcurso de su recorrido. Esta orientación puede ser definida por ejemplo por los ángulos de rumbo (« heading » en Inglés), cabeceo (« pitch » en Inglés) y balanceo (« roll » en Inglés), entre los respectivos ejes del sistema de referencia terrestre (X, Y, Z) y del sistema de referencia de la sonda (X', Y', Z');

30 - a continuación se integra el vector-aceleración « filtrado » Y_f , de tal modo que se determina la velocidad instantánea de la sonda 200 en cada punto de la corriente, en el sistema de referencia de la sonda (X', Y', Z');

- utilizando los ángulos de inclinación anteriormente calculados, se proyecta por una serie de 3 rotaciones el vector-velocidad de la sonda en el sistema de referencia terrestre (X, Y, Z);

- finalmente, se calcula la posición de la sonda 200 por integración de los componentes del vector-velocidad en los 3 ejes del sistema de referencia terrestre (X, Y, Z).

35 Cuando la trayectoria queda determinada completamente, se realiza una última corrección efectuando la fusión de los datos topográficos (coordenadas cartográficas o GPS) con los procedentes de la sonda 200.

40 El punto de partida de la sonda 200, así como el de llegada, son conocidos y sirven para calcular un factor de escala para la trayectoria medida por la sonda. Este factor de escala permite corregir la deriva del sensor acelerométrico. Este error debido a la deriva es acumulativo. El mismo puede llegar a ser importante porque la aceleración es integrada para obtener la velocidad.

Esta corrección comprende las etapas siguientes:

- con la ayuda de las coordenadas topográficas, se determina un segmento de recta de referencia correspondiente a la trayectoria de la corriente. Este segmento de recta de referencia une el punto de partida y el punto de llegada de la sonda 200 en coordenadas topográficas. El mismo se define por una longitud y una orientación;

45 - a continuación se calcula un segmento de recta de medición que une el punto de partida y el punto de llegada de la trayectoria de la sonda anteriormente calculada;

50 - la diferencia, en longitud y en orientación, entre los segmentos de recta de referencia y de medición permite calcular una corrección que hay que aplicar al conjunto de los puntos de la trayectoria calculada para poder hacer coincidir los puntos de partida y de llegada determinados respectivamente en el plano y a partir de la trayectoria de la sonda. Esta corrección puede por ejemplo comprender una rotación alrededor del punto de partida y una homotecia, con un factor de escala.

Naturalmente, la invención no está limitada a los ejemplos que acaban de describirse y a estos ejemplos pueden aportarse numerosas disposiciones sin salirse del marco de la invención, el cual únicamente está limitado por el objeto definido en las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de determinación de una trayectoria de una corriente de agua, que pone en práctica un dispositivo móvil autónomo de medición (200, 300) introducido en la citada corriente de agua, que comprende:
- 5 - una etapa de medición (104) y de puesta en memoria de datos de aceleración en un sistema de referencia del citado dispositivo móvil (200), y
- una etapa de determinación de la citada trayectoria en función de un punto de partida de la citada sonda y por tratamiento (110) de datos recogidos durante la citada etapa de medición (104) y doble integración de los datos tratados.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa de tratamiento (110) de los datos puestos en memoria comprende además:
- 10 - una etapa de eliminación de un sesgo (114) en los citados datos puestos en memoria para producir datos filtrados, y
- una etapa de proyección (116) de los citados datos filtrados en el sistema de referencia terrestre.
3. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado por que la etapa de medición (104) comprende además una medición de la orientación magnética del citado dispositivo, una puesta en memoria de datos de medición de orientación magnética y un tratamiento de los datos de orientación magnética puestos en memoria durante la proyección de los datos filtrados en el sistema de referencia terrestre.
- 15
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado por que el mismo comprende una etapa de determinación de la orientación del sistema de referencia del dispositivo móvil (200, 300) en el sistema de referencia terrestre, utilizando:
- 20 - una determinación de la componente vectorial de la gravedad terrestre en el sistema de referencia del citado dispositivo móvil obtenida a partir de datos de aceleración, y
- una medición de la orientación magnética del citado dispositivo móvil en el campo magnético terrestre.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el mismo comprende además una etapa de corrección de la trayectoria determinada por doble integración de los datos tratados, la cual comprende:
- 25 - una determinación de un error global sobre la citada trayectoria, comparando la localización geográfica de un punto de llegada del dispositivo móvil (200, 300) con la localización del citado punto de llegada obtenida a partir de la citada trayectoria, y
- 30 - una corrección del citado error global aplicando a la citada trayectoria una rotación alrededor de un punto de partida del dispositivo móvil (200, 300) y una homotecia.
6. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la etapa de medición (104) comprende además una medición de ángulos de rotación del citado dispositivo, una puesta en memoria de datos de medición de ángulos de rotación y un tratamiento de los datos de ángulos de rotación puestos en memoria durante la proyección de los datos filtrados en el sistema de referencia terrestre.
- 35
7. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el mismo comprende además una etapa de producción de energía (108) para el dispositivo (200, 300) que proviene de una pila de corrosión (312) en agua.
8. Sistema para determinar una trayectoria de una corriente de agua, adaptado para poner en práctica el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes y que comprende:
- 40 - una sonda autónoma (200, 300) prevista para ser introducida en la citada corriente de agua y que comprende.
- medios para medir aceleraciones (202, 302) de la citada sonda (200, 300) en las tres dimensiones del espacio, y
- medios de memoria (206, 306) para registrar las citadas mediciones de aceleración; y
- un aparato electrónico para determinar una trayectoria de una corriente de agua, que comprende:
- 45 - medios de adquisición de datos registrados por la sonda autónoma (200, 300), y
- medios de tratamiento de los datos adquiridos, para determinar la citada trayectoria por doble integración de los datos tratados.

9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado por que los medios para medir aceleraciones (202, 302) son aptos para producir una medición de aceleración en una gama frecuencial a partir de la continua, y una medición de aceleración filtrada en paso alto en la cual se elimina la componente continua.

5 10. Sistema de acuerdo con las reivindicaciones 8 o 9, caracterizado por que la sonda autónoma (200, 300) comprende además medios para medir y registrar la orientación magnética (208) de la citada sonda (200, 300).

11. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, caracterizado por que la sonda autónoma (200, 300) comprende además medios para medir y registrar ángulos de rotación de la citada sonda (200, 300).

10 12. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizado por que la sonda autónoma comprende además medios de alimentación (312) que comprenden dos electrodos metálicos (314, 316) y un electrolito (318) que contiene líquido que proviene del citado medio acuoso.

13. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizado por que los medios de tratamiento de los datos comprenden además:

- medios de filtrado de datos para eliminar un sesgo en los datos adquiridos, y

- medios de proyección de los citados datos filtrados en el sistema de referencia terrestre.

15

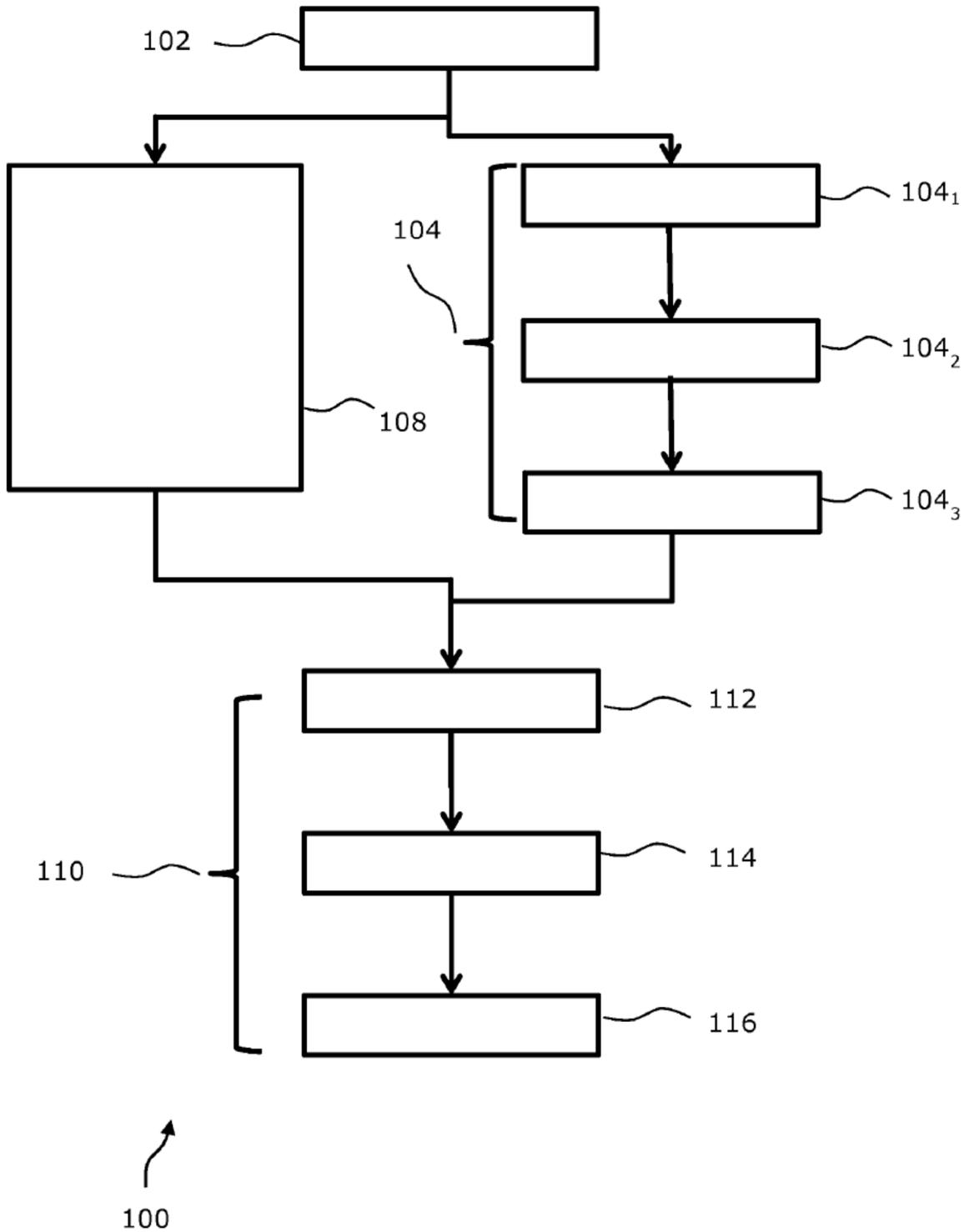


FIG. 1

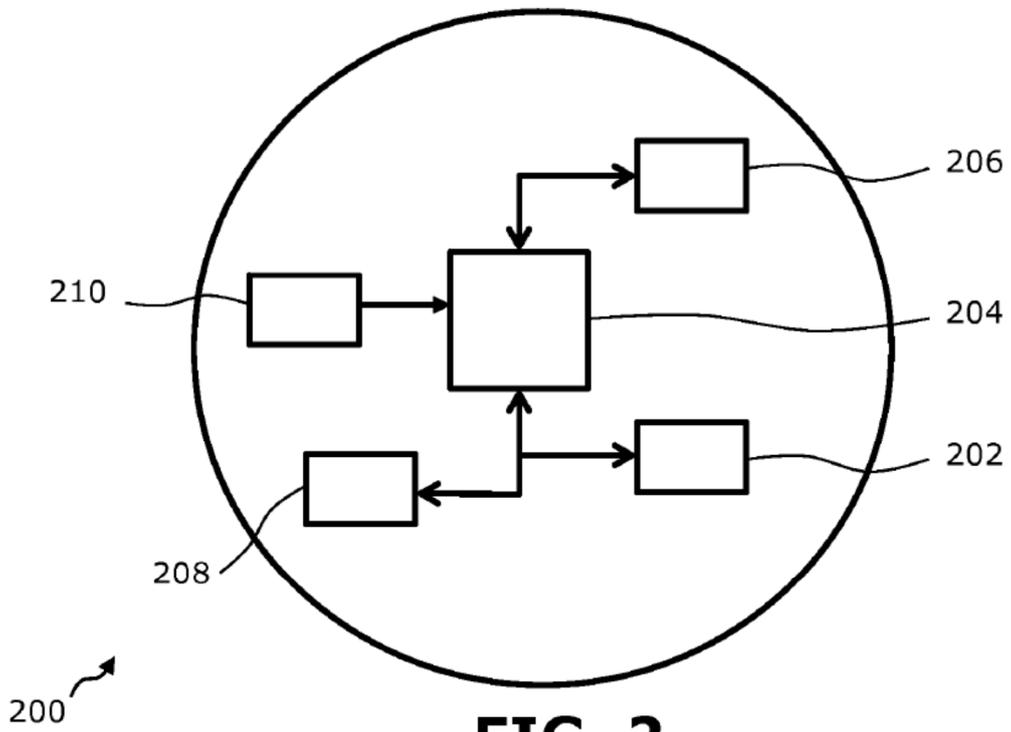


FIG. 2

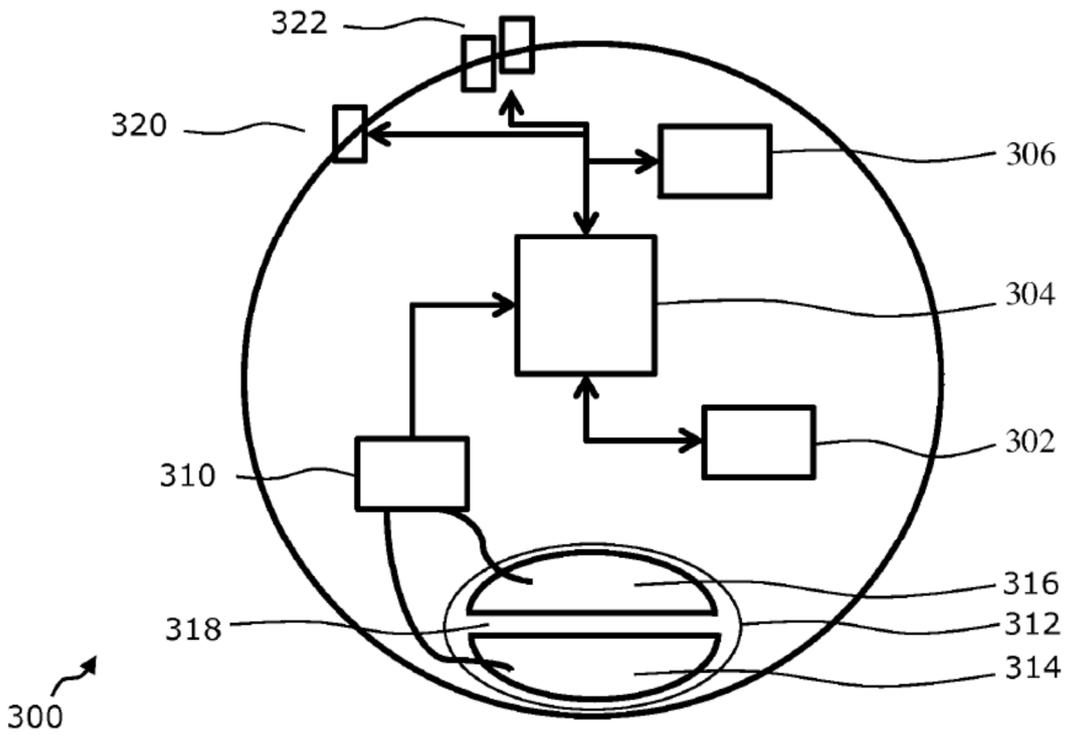


FIG. 3