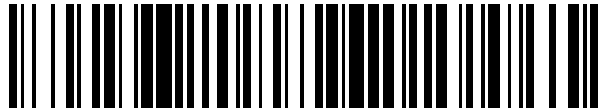


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 449**

51 Int. Cl.:

G01V 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2011 E 11774050 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2015 EP 2630520**

54 Título: **Vehículo submarino autónomo para la adquisición de datos geofísicos**

30 Prioridad:

22.10.2010 IT MI20101952

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

08.06.2015

73 Titular/es:

**ENI S.P.A. (100.0%)
Piazzale E. Mattei 1
00144 Rome, IT**

72 Inventor/es:

**GIORI, ITALIANO;
ANTONELLI, MASSIMO y
FINOTELLO, ROBERTO**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 537 449 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

Vehículo submarino autónomo para la adquisición de datos geofísicos

La presente invención está relacionada con un vehículo submarino autónomo para la adquisición de datos geofísicos, equipado con instrumentos para la recogida de dichos datos en el lecho marino.

- 5 El análisis del lecho marino permite obtener información útil sobre la composición y estructura del propio subsuelo.

En particular, una correcta evaluación de ciertas zonas del subsuelo permite la identificación de posibles depósitos de hidrocarburos.

Uno de los sistemas de análisis utilizado es una prospección magnetométrica que aprovecha el magnetismo de la Tierra y se lleva a cabo normalmente en regiones relativamente grandes del territorio.

- 10 Todas las variaciones del campo magnético, que no pueden ser atribuidas a causas naturales o artificiales, son debidas a los contrastes de susceptibilidad magnética en las rocas del subsuelo. Las rocas que proporcionan estos contrastes son principalmente rocas magnéticas que forman normalmente el substrato sobre el cual descansan las rocas sedimentarias.

- 15 Las prospecciones magnetométricas y las del gradiente magnético permiten estimar el grosor de las rocas sedimentarias, detectando posibles intrusiones/efusiones volcánicas presentes en el subsuelo.

Un sistema adicional de análisis del subsuelo está representado por la medición gravimétrica, la cual permite el seguimiento de variaciones de la aceleración de la gravedad.

- 20 El gravímetro permite la medición de la aceleración de la gravedad, y por tanto de las diferencias de masa de las rocas del subsuelo, revelando las variaciones de la densidad de las litologías situadas por debajo del gravímetro, por ejemplo una capa de basalto tiene un efecto gravimétrico mayor que una capa de sal, ya que su densidad específica es mucho más alta que la de la sal.

Esta medición requiere normalmente numerosas correcciones, ya que la medición de la gravedad está influenciada por muchos factores, tales como la topografía de la zona, por ejemplo la latitud, las mareas y el nivel en el cual se efectúa la medición.

- 25 Con el fin de obtener resultados significativos y para una correcta interpretación de los datos, los instrumentos deben alcanzar un nivel muy alto de sensibilidad y precisión, del orden de micro-Gales ($1 \mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{ m/seg}^2$), es decir, 10^{-9} g (aceleración de la gravedad $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$). Con este nivel de sensibilidad, los efectos espurios no relacionados con la distribución de masa en el subsuelo, ya sean debidos a irregularidades topográficas o a artefactos antrópicos sobre la superficie, o a fluctuaciones temporales de la gravedad de origen astronómico (mareas), pueden solaparse con la señal útil, haciendo que la detección sea compleja.

- 30 Además de este fenómeno, existen derivas instrumentales, cuyos efectos se hacen más significativos con una recogida de datos prolongada.

- 35 Con el fin de superar estas dificultades, se ha desarrollado el método gradiométrico, donde los datos a procesar son un componente del tensor gradiente de g , determinado como la diferencia entre los valores de g medidos con respecto a una distancia base fija.

Existen diversos métodos y sistemas en el estado de la técnica que usan análisis gravimétricos y/o magnetométricos para adquirir información sobre el subsuelo.

La patente WO 2006/020662, por ejemplo, describe un método de análisis de una zona geográfica, que utiliza un aeroplano adecuadamente equipado con instrumentos gravimétricos.

- 40 En particular, de acuerdo con este método, se recogen datos geofísicos relativos a la zona que se examina, se calculan parámetros geofísicos relativos a la zona bajo examen y se define entonces una relación entre los datos recogidos y los previstos.

Estos datos geofísicos pueden ser revelados con un gravímetro o con un gradiómetro gravimétrico, con el fin de analizar la densidad superficial de la zona examinada.

- 45 Particularmente en la industria de los hidrocarburos, se conoce también el sistema de Gradiómetro de Gravedad del Tensor Total (FTG) para exploraciones de ultramar, desarrollado por Bell Aerospace (actualmente Lockheed Martin).

Dos ejemplos de la aplicación industrial de la tecnología FTG son la Air-FTG® (FTG-aérea) y la Marine-FTG® (FTG-marina).

- 50 El primero es un sistema de prospección gravimétrico/gradiométrico aerotransportado, mientras que el segundo es un sistema marino.

Ambos sistemas proporcionan información sobre el gradiente gravimétrico por medio de un análisis tensorial y un proceso de reducción de las perturbaciones generadas por los medios de transporte y otros factores externos.

5 Un ejemplo adicional de un sistema aerotransportado de análisis gradiométrico es el gradiómetro Falcon® de gravedad aerotransportado (AGG) de la compañía BHP-Billiton, que al volar sobre zonas geográficas puede medir los cambios en la gravedad de la Tierra.

En particular, la medición del gradiente se obtiene como diferencia entre las respuestas medidas por dos gradiómetros. Los datos revelados con este sistema deben ser purificados respecto a las interferencias relativas a los medios de transporte aéreo.

10 Sin embargo, la técnica conocida tiene diversos límites asociados con la calidad de los datos gravimétricos medidos, los datos, en realidad, son adquiridos normalmente por instrumentos posicionados en la proximidad del nivel del mar o incluso por encima del propio nivel, de esta manera, el instrumento de medición está a menudo alejado del objeto medido. La intensidad de la señal gradiométrica generada por una estructura de masas disminuye con la distancia al cubo, consecuentemente, las detecciones del gradiente de gravedad relativo al lecho marino efectuadas por los gradiómetros gravimétricos posicionados cerca o por encima de la superficie del mar, acusan la distancia en
15 términos de precisión de la señal.

Hay por tanto un amplio margen de mejora de la calidad y fiabilidad de las detecciones geofísicas, particularmente si se dirigen a la búsqueda de nuevas formaciones potencialmente adecuadas para la producción de hidrocarburos.

20 En la solicitud de patente US 2010/0153050, se describe una técnica adicional conocida del estado de la técnica, en la cual se usa un AUV que comprende un sensor gradiométrico para la prospección del campo de gravedad cerca del lecho marino.

En particular, este documento describe un sistema provisto de un sensor de gravedad que comprende una junta cardan motorizada, un sensor de movimiento montado sobre la junta, un sensor gravimétrico montado sobre la junta y un recipiente capaz de contener los componentes citados, instalable dentro de un AUV.

25 Sin embargo, el uso de un gravímetro a bordo de un AUV para la prospección del campo gravitatorio tiene varias limitaciones.

En realidad, el gravímetro no es capaz de separar los efectos debidos a la aceleración de la gravedad con respecto a los efectos debidos a las aceleraciones inerciales del vehículo submarino a lo largo del componente vertical.

El gradiómetro gravimétrico, por el contrario, al medir el gradiente de gravedad con dos acelerómetros, permite anular los efectos inerciales, comunes a los dos instrumentos.

30 El Solicitante ha averiguado ahora un sistema y la instalación de un aparato adecuado para medir los datos gravimétricos y magnetométricos en la proximidad del lecho marino, para obtener resultados que son cualitativamente más altos que los obtenidos en el nivel del mar o por encima de él. La resolución que se puede obtener, en realidad, desde las prospecciones efectuadas con sensores situados a una distancia limitada desde el objeto potencial de la prospección, es mayor tanto en amplitud como en la frecuencia de las anomalías, para el
35 campo gravitatorio y magnético.

Además, en el estado de la técnica, no hay métodos de medición combinados del gradiente gravimétrico y magnético.

Un objetivo adicional de la presente invención es combinar la medición del gradiente de gravedad con la medición del gradiente magnético para obtener información cualitativamente mejorada sobre el subsuelo marino.

40 La técnica conocida, además, no describe métodos de prospección y detección de los datos gradiométricos magnéticos y de la gravedad efectuados con medios de transporte submarinos capaces de alcanzar grandes profundidades.

Un primer objeto de la presente invención está relacionado por tanto con un vehículo submarino autónomo equipado para la adquisición del gradiente gravimétrico y magnético cerca del lecho marino, caracterizado porque comprende:

- 45
- al menos un gradiómetro gravimétrico;
 - al menos un gradiómetro magnético.

De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, dicho gradiómetro gravimétrico mide la componente vertical del gradiente gravimétrico T_{zz} .

50 De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, el gradiómetro gravimétrico utilizado en el vehículo submarino autónomo equipado, comprende:

- una primera carcasa esférica conectada al vehículo submarino autónomo equipado y capaz de resistir altas presiones;

- una segunda carcasa con dimensiones menores que las de la primera carcasa y conectada a ella por medio de un sistema de junta cardan;

5 - una tercera carcasa con dimensiones menores que la de la segunda carcasa y conectada a ella por medio de un sistema de junta cardan que permite su oscilación dentro de la segunda carcasa, donde dicha tercera carcasa está provista de un sistema de pesas instalado en la parte inferior;

10 - dos acelerómetros alineados a lo largo de la vertical, situados a una distancia mutua de menos de 60 cm, preferiblemente a una distancia que oscila entre 10 y 40 cm, y confinados dentro de la estructura de la tercera carcasa.

El uso de un gradiómetro gravimétrico permite eliminar los efectos debidos a la aceleración del vehículo a lo largo de la componente vertical.

15 Gracias a dicho sistema de junta cardan de la segunda carcasa, a dicho sistema de junta cardan y a dicho sistema de pesas de la tercera carcasa, los acelerómetros contenidos dentro de la tercera carcasa están siempre alineados con respecto a la vertical local y, al mismo tiempo, alineados entre sí. Dichas juntas permiten por tanto compensar los movimientos de inclinación, deriva y rodadura del vehículo submarino autónomo equipado.

En particular, dicho gradiómetro gravimétrico comprende dos acelerómetros con una sensibilidad de $1 \frac{\mu\text{Gal}}{\sqrt{\text{Hz}}}$ dentro de una amplia gama de frecuencias, preferiblemente inferior a 10^{-1} Hz y más preferiblemente que oscila entre 10^{-4} Hz y 10^{-2} Hz.

20 Dicho gradiómetro gravimétrico tiene un sistema de suspensión capaz de mantener el eje sensible de los dos elementos alineados a lo largo de la vertical local, con la precisión necesaria para efectuar las mediciones gradiométricas dentro de la banda de frecuencia de las mediciones.

En particular, dicho gradiómetro gravimétrico está posicionado cerca del baricentro de dicho vehículo submarino autónomo equipado para reducir las perturbaciones en la medición del instrumento.

25 De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, dicho gradiómetro magnético consiste en al menos dos magnetómetros escalares, preferiblemente 3, integrados con dicho vehículo y situados dentro y/o fuera del casco del vehículo.

30 De acuerdo con un modo de realización particular de la presente invención, dichos magnetómetros escalares están posicionados a una distancia mutua adecuada, preferiblemente en la gama de 20 cm a 10 m, más preferiblemente de 50 cm a 1,5 m.

De acuerdo con un modo de realización particular de la presente invención, dichos magnetómetros escalares que forman dicho gradiómetro magnético efectúan mediciones del campo magnético con una precisión de hasta 0,01 nT, preferiblemente hasta 0,1 nT ($\text{nT} = 10^{-9}$ Tesla).

35 Dichos magnetómetros escalares miden preferible el campo magnético con tecnologías de Resonancia Magnética Nuclear.

Debe indicarse que dicho magnetómetro escalar para la presente invención es conocido en el estado de la técnica y está disponible para los expertos en el campo, sin ninguna carga adicional con respecto a la rutina de trabajo normal.

40 De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, dicho vehículo submarino autónomo equipado comprende:

- un casco;

- al menos un sistema de propulsión;

- al menos un sistema de accionamiento;

- al menos un sistema de alimentación;

45 - al menos un sistema de control.

De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, dicho casco confiere altas propiedades aerodinámicas a dicho vehículo.

En particular, dicho casco puede estar hecho de aluminio o fibra de vidrio, y tener una longitud total que oscila desde

50 cm a 15 m, preferiblemente desde 3 m a 10 m.

De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, dicho casco puede estar encharcado en su interior para evitar cargas de presión excesivas.

- 5 De acuerdo con un modo de realización particular preferido de la presente invención, con el fin de aumentar la flotación de dicho vehículo, hay presentes espumas de polímero expandible dentro de dicho casco, preferiblemente obtenidas con técnicas de rociado.

De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, dicho sistema de propulsión comprende al menos un propulsor situado preferiblemente hacia la popa, capaz de asegurar el empuje necesario para la navegación del vehículo.

- 10 De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, dicho sistema de accionamiento comprende al menos un timón para dirigir dicho vehículo, y/o al menos un estabilizador para asegurar la estabilidad a lo largo de las rutas de dicho vehículo.

- 15 De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, dicho sistema de alimentación comprende al menos una batería, preferiblemente una batería de litio, y/o un sistema de administración de la batería (o baterías), capaz de optimizar y proteger la batería (o baterías) y también administrar el proceso de carga/agotamiento.

En un particular modo de realización de la presente invención, dicho sistema de alimentación tiene al menos dos baterías, al menos una de ellas para alimentar la electrónica de a bordo y al menos una para alimentar el sistema de propulsión y el sistema de accionamiento.

- 20 De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, dicho sistema de control puede consistir en un procesador electrónico capaz de controlar el sistema de propulsión y/o el sistema de accionamiento y/o el sistema de alimentación, además de los instrumentos presentes de a bordo de dicho vehículo submarino autónomo equipado.

En un particular modo de realización de la presente invención, dicho sistema de control puede ser programable.

- 25 De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, dicho vehículo submarino autónomo equipado puede comprender al menos uno de los instrumentos siguientes:

- un batómetro;
- una sonda náutica;
- un detector de obstáculos;

- 30 - un sónar;

- un velocímetro;
- un sensor de metano;
- un termómetro.

- 35 En particular, dicho batómetro permite medir la profundidad en la cual está situado dicho vehículo, mientras que dicha sonda náutica permite medir la distancia desde dicho vehículo al lecho marino.

En particular, dicho detector de obstáculo y dicho sónar permiten verificar la existencia de obstáculos durante el avance de dicho vehículo.

En un particular modo de realización de la presente invención, dicho velocímetro puede ser del tipo DLV (Registro de Velocidad por Doppler).

- 40 En particular, dicho sensor de metano puede detectar posibles presencias de hidrocarburos cerca del lecho marino que no pueden ser detectados al nivel del mar o por encima de él.

De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, los datos recogidos por los diversos instrumentos de a bordo se guardan en al menos un fichero electrónico presente a bordo de dicho vehículo.

- 45 En particular, dichos datos recogidos pueden ser transmitidos por dicho vehículo a una base de recogida de datos externa por medio de al menos uno de los medios siguientes:

- un sistema de comunicación por radio o inalámbrico;

- un cable;
- un módem de radio.

En particular, dicho módem de radio permite la transmisión de dichos datos recogidos desde la profundidad a la superficie.

5 De acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención, dicho vehículo submarino equipado puede contener un sistema de localización, que comprende al menos uno de los instrumentos siguientes:

- un sistema GPS por satélite;
- un transmisor óptico;
- un transmisor por radio;

10 - un transmisor acústico;

- un transpondedor.

En particular, dicho transmisor óptico, dicho transmisor por radio, y/o dicho transmisor acústico permiten la localización del vehículo en el caso de condiciones meteorológicas adversas, tales como por ejemplo niebla o mar agitada.

15 En particular, el transmisor óptico emite señales luminosas, el transmisor por radio señales de radio y el transmisor acústico señales de sonido.

Al responder a una señal de consulta procedente de un buque de apoyo, dicho transpondedor permite localizar al vehículo.

20 Un experto en el campo tiene libertad para seleccionar los órganos móviles, los dispositivos electromecánicos, además de los materiales de dicho vehículo submarino equipado, con el fin de minimizar las interferencias de los mismos en los instrumentos presentes a bordo del vehículo, minimizando en particular las modificaciones en el campo magnético y gravitatorio.

Debe indicarse que estos instrumentos son conocidos en la técnica y están disponibles para los expertos en el campo, sin carga adicional con respecto a su rutina normal de trabajo.

25 Debe indicarse que dicho vehículo puede alcanzar independientemente el lecho marino del nivel de exploración predefinido, por medio de instrucciones proporcionadas por dicho sistema de control.

En un modo de realización preferido de la presente invención, dicho vehículo submarino autónomo equipado permite las exploraciones submarinas a profundidades considerables, preferiblemente hasta 3.000 metros.

30 En particular, dichos instrumentos y dichos sistemas pueden estar contenidos en contenedores herméticos, resistentes a las altas presiones, preferiblemente hasta 400 bares, donde dichos contenedores están posicionados dentro de dicho casco.

En un modo de realización adicional de la presente invención, dicho casco de dicho vehículo es hermético y estanco al agua en su interior, y está fabricado con características y materiales capaces de resistir altas presiones, preferiblemente hasta 400 bares.

35 En un modo de realización preferido de la presente invención, dicho vehículo submarino autónomo equipado puede comprender un sistema de inmersión/emersión.

40 En un modo de realización particular de la presente invención, dicho sistema de inmersión/emersión consiste en dos unidades electromecánicas de liberación de lastre, que permiten la liberación de una primera carga de lastre una vez que se ha alcanzado el nivel de exploración deseado, y la liberación de una segunda carga de lastre para permitir la emersión de dicho vehículo desde las profundidades.

Dicho sistema de inmersión/emersión permite evitar el uso del sistema de propulsión optimizando el funcionamiento del sistema de alimentación.

45 Debe indicarse que, con el fin de optimizar el ahorro de energía de dicho vehículo, éste puede ser transportado desde y hacia el lugar de exploración por medio de un pequeño buque de apoyo, preferiblemente equipado con una grúa de carga para la liberación y recuperación del propio vehículo.

Dicho vehículo submarino autónomo equipado permite la exploración detallada con una red de exploración normal y/o restringida, independientemente de la profundidad del lugar explorado.

Dicho sistema de control adecuadamente programado permite al vehículo efectuar:

- trayectorias rectas sobre un plano horizontal a una velocidad constante;
- trayectorias rectas en un espacio a una velocidad constante;
- trayectorias curvas en un plano horizontal con un radio de curvatura programado;
- 5 - trayectorias curvas en un espacio con un radio de curvatura programado.

De acuerdo con un modo de realización preferido, dicho vehículo puede ser utilizado para identificar zonas potenciales útiles para la exploración de crudo.

De acuerdo con un modo de realización adicional preferido, dicho vehículo puede ser utilizado para supervisar las variaciones de masa relacionadas con la producción y/o almacenamiento de hidrocarburos en campos submarinos.

10 Un segundo objeto de la presente invención está relacionado con un método de análisis de las características geofísicas del subsuelo, que comprende la adquisición del gradiente gravimétrico y magnético en un entorno submarino caracterizado por las fases siguientes:

- uso de un vehículo submarino autónomo equipado de acuerdo con la presente invención;
- inmersión de dicho vehículo en la proximidad del lecho marino;

15 - navegación a lo largo de una ruta programada;

- adquisición y almacenamiento de los datos recogidos por dichos gradiómetros y dichos instrumentos en correlación con el punto geográfico de la medición;

- recuperación de los datos recogidos y uso de los mismos para el análisis geofísico del subsuelo.

20 De acuerdo con un modo de realización del presente método, dicho vehículo bucea hasta una profundidad de exploración que preferiblemente oscila entre 20 y 150 metros desde el fondo del mar.

De acuerdo con un modo de realización del presente método, dicho vehículo, durante la fase de adquisición, sigue rutas programadas con trayectorias sobre el plano horizontal, para evitar perturbaciones en las mediciones instrumentales, en particular en dichos gradiómetros.

25 En un modo de realización preferido del presente método, dichos datos recogidos son recuperados desde dicho vehículo por medio de conexiones inalámbricas o conexiones por cable, para ser analizados y combinados, y para obtener información precisa sobre las condiciones geofísicas del subsuelo.

30 Otras características y ventajas del vehículo submarino autónomo equipado y del método de análisis de las características geofísicas del subsuelo de la presente invención, serán más evidentes a partir de la siguiente descripción de uno de sus modos de realización, proporcionado para fines ilustrativos y no limitativos, con referencia a las figuras 1 - 2, indicadas a continuación, en las que:

- La figura 1 representa esquemáticamente una vista en perspectiva de un modo de realización del vehículo submarino autónomo equipado;

- La figura 2 representa una ilustración esquemática de una vista lateral de un modo de realización del vehículo submarino autónomo equipado y de sus principales sistemas e instrumentos;

35 - La figura 3 representa una vista esquemática en sección de un vehículo submarino autónomo equipado, mostrando un modo de realización preferido del gradiómetro gravimétrico;

- La figura 4 representa un gráfico comparativo entre el gradiente T_{zz} de gravedad revelado a lo largo de una ruta cercana a la superficie del mar, con respecto a una ruta en el lecho marino.

40 Con referencia a la figura 1, el vehículo submarino autónomo equipado (100) comprende un gradiómetro magnético (4) consistente en 3 magnetómetros escalares (12) posicionados a una cierta distancia con soportes específicos (11) integrados con el casco (1) del vehículo.

Dicho vehículo (100) tiene un sistema (3) de propulsión y un sistema (2) de accionamiento consistente, en el modo de realización descrito, en aletas equipadas con timones.

45 Se puede observar que dicho vehículo (100) está equipado también con un sistema GPS (9) por satélite, un transmisor óptico (8) y un módem (10) de radio.

Con referencia a la figura 2, dicho vehículo submarino autónomo equipado (100) contiene en su interior un

gradiómetro gravimétrico Tzz (5), el sistema (7) de alimentación y el sistema (6) de control programable, representados en la figura con una línea de puntos por estar dentro del casco.

5 Con referencia a la figura 3, dicho vehículo submarino autónomo equipado (100) contiene en su interior una primera carcasa (13) que tiene una forma prevalentemente esférica y con un espesor tal que resiste las altas presiones presentes en los lechos marinos.

Dicha segunda carcasa (14) está conectada por medio de un sistema (17) de junta cardan a la primera carcasa (13) que la encierra.

Este sistema (17) de junta cardan permite a la segunda carcasa (14) girar libremente dentro de la primera carcasa (13), de acuerdo con el eje x, y, y z.

10 Hay conectada una tercera carcasa (15) por medio de un junta cardan (18) a la segunda carcasa (14) que la encierra.

Esta junta cardan (18) permite a la tercera carcasa (15) oscilar libremente dentro de la segunda carcasa (14).

15 La tercera carcasa (15) encierra en su interior una pareja de acelerómetros (16) alineados entre sí y situados a cierta distancia. Además, la tercera carcasa (15) comprende un sistema de pesas (19) situado en correspondencia con la parte inferior de la carcasa (15).

La junta cardan (18), junto con el sistema de pesas (19) y el sistema de juntas cardan (17) permite mantener alineados los acelerómetros (16) del gradiómetro gravimétrico (5), de acuerdo con la vertical local.

20 Con el fin de ilustrar mejor los resultados obtenibles en términos de la medición del gradiente gravimétrico, cuando éste está instalado a bordo del vehículo submarino autónomo equipado (100), la figura 4 muestra un gráfico comparativo relativo al gradiente Tzz de gravedad.

En particular, se efectuaron dos simulaciones del gradiente Tzz por medio de un gradiómetro gravimétrico con una sensibilidad de 5 Eotvos (banda de resolución 22) instalado a bordo de un buque (ruta 24), por tanto cerca de la superficie, y a bordo del vehículo submarino autónomo equipado (100) en navegación a una profundidad de 3.000 metros (ruta 26).

25 Ambos medios siguieron la misma ruta, con el fin de explorar el gradiente Tzz de gravedad de la misma zona.

En la figura 4, se puede observar que el gradiómetro gravimétrico instalado a bordo del vehículo submarino autónomo (curva 20) es capaz de revelar anomalías gravitatorias que no podrían ser medidas sobre la superficie (curva 21).

30 En particular, el pico (23) muestra cómo el gradiómetro gravimétrico instalado en el vehículo submarino autónomo (100) es capaz de revelar una bóveda (26) de sal que está presente por debajo del barro (27) del lecho marino.

Se proporciona a continuación un ejemplo ilustrativo y no limitativo para una mejor comprensión de la presente invención y de su modo de realización.

Ejemplo

Se utilizó para este fin un vehículo submarino autónomo equipado de acuerdo con las figuras 1 y 2.

35 Se utilizó un vehículo submarino autónomo equipado (100) de alrededor de 7 metros de longitud, 2.000 kg en peso en seco y -20 kg de peso en agua, basado en los siguientes requisitos funcionales:

- profundidad operativa: hasta 3.000 metros;

- autonomía operativa: hasta 20 horas;

40 - zona de exploración: ruta que sigue trayectorias rectas igualmente espaciadas de 500 - 1.000 metros con una red cuadrada y/o rectangular;

- parámetros operativos de la exploración:

- velocidad constante de 3 nudos (1,5 m/s);

- altura desde el fondo 30 - 50 metros.

45 El sistema de alimentación está basado en baterías (7) de células de litio que pueden ser sustituidas y recargadas por medio de un cable fuera del vehículo.

Los siguientes instrumentos están instalados a bordo del vehículo:

- 5 - gradiómetro gravimétrico (5) con un eje para medir la componente Tzz; los dos únicos elementos sensibles (16) del gradiómetro tienen una sensibilidad igual a $1 \mu\text{Gal}$, dentro de una gama de frecuencias de 10^{-3} a 10^{-1} Hz. El gradiómetro fue colgado por medio de un sistema capaz de mantener los ejes sensibles de los dos gravímetros alineados a lo largo de la vertical local, con la necesaria precisión para efectuar mediciones gradiométricas en la banda de frecuencias de interés;
- 10 - gradiómetro para la medición diferencial del campo magnético (4); consistente en 3 magnetómetros escalares (12) integrados con el casco (1) y posicionados fuera del mismo por medio de soportes específicos (11). En particular, se usó un gradiómetro capaz de efectuar mediciones precisas del gradiente en tres dimensiones en tiempo real. El magneto-gradiómetro está basado en una tecnología Overhauser capaz de proporcionar datos con bajas perturbaciones, alta precisión y capacidad de repetición. Los sensores se sincronizan entre sí en menos de 0,1 ms a través de una sola unidad electrónica, con el fin de eliminar cualquier ruido posible originado por pendientes pronunciadas o cambios repentinos en la dirección:
- sensor de metano: se utilizó un sensor para el reconocimiento inmediato de hidrocarburos (CH₄), también a profundidades significativas.
- 15 El vehículo usado está compuesto de las unidades principales siguientes:
- Sistema Sensorial Integrado de Navegación, basado en:
- una plataforma inercial, para medir el volteo, la inclinación y la deriva, además de las aceleraciones a lo largo de los tres ejes cartesianos;
 - sonda náutica, para medir la altura desde el lecho marino;
 - 20 • sonar Doppler, para medir la velocidad durante el avance;
 - sistema sonar para verificar la existencia de obstáculos durante el avance;
 - sensor de profundidad;
 - transpondedor acústico para localizar el vehículo desde el buque de apoyo;
- Dispositivos auxiliares de comunicación y localización:
- 25 • Sistema GPS (9) por satélite para determinar la posición de re-emersión a la superficie;
 - módem radio (10) para transmitir la posición a la superficie;
 - transmisor radio y óptico (8), provisto cada uno de ellos de activación y batería autónomas, para la localización en el caso de condiciones climáticas adversas (niebla y mar agitada);
 - 30 • transmisor acústico, provisto de activación y batería autónomas, para localizar el vehículo si permaneciera encallado en el lecho marino;
- Sistema de Propulsión y Accionamiento, compuesto de:
- propulsores (3) de popa, para asegurar el empuje necesario para la navegación;
 - timones y estabilizadores (2), para dirigir el empuje y asegurar la estabilidad a lo largo de las direcciones no controladas activamente;
- 35 - Sistema (7) de alimentación basado en baterías secundarias de litio;
- Casco (1), adecuadamente conformado para minimizar la resistencia al avance en agua y que contiene:
- contenedores herméticos y presurizados para la electrónica de control y el sistema de alimentación;
 - espumas de polímero expandido para aumentar la flotabilidad del vehículo;
- 40 - Unidad de Liberación de Lastre para la inmersión, una vez que se ha alcanzado la profundidad deseada y Unidad de Liberación de Lastre de Emergencia, que puede ser activado en caso de necesidad o agotamiento de la alimentación.

REIVINDICACIONES

1. Un vehículo submarino autónomo equipado (100) para la adquisición del gradiente gravimétrico y magnético cerca del lecho marino, caracterizado porque comprende:
 - al menos un gradiómetro gravimétrico (5);
- 5 - al menos un gradiómetro magnético (4).
2. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según la reivindicación 1, en el que dicho gradiómetro gravimétrico (5) mide la componente vertical Tzz del gradiente gravimétrico.
3. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho gradiómetro gravimétrico (5) comprende dos acelerómetros que tienen una sensibilidad de $1 \frac{\mu\text{Gal}}{\sqrt{\text{Hz}}}$ dentro de una gama de frecuencias inferior a 10^{-1} Hz.
- 10 4. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según la reivindicación 3, en el que dicha gama de frecuencias oscila entre 10^{-4} Hz y 10^{-2} Hz.
5. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho gradiómetro gravimétrico (5) está posicionado en el baricentro de dicho vehículo submarino autónomo equipado (100).
- 15 6. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según la reivindicación 1, en el que dicho gradiómetro magnético (4) consiste en al menos dos magnetómetros escalares (12) integrados con dicho vehículo (100) y situados dentro y/o fuera del casco (1) del vehículo (100).
7. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según la reivindicación 6, en el que dichos magnetómetros escalares (12) que forman dicho gradiómetro magnético (4) son 3.
- 20 8. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según la reivindicación 6, en el que dichos magnetómetros escalares (12) están posicionados a una distancia de 20 cm a 10 m uno del otro.
9. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según la reivindicación 8, en el que dichos magnetómetros escalares (12) están posicionados a una distancia de 40 cm a 1,5 m uno del otro.
- 25 10. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según la reivindicación 6, en el que dichos magnetómetros escalares (12) que forman dicho gradiómetro magnético (4) efectúan mediciones del campo magnético con una precisión de hasta 0,01 nT.
- 30 11. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según la reivindicación 10, en el que dichos magnetómetros escalares (12) que forman dicho gradiómetro magnético (4) efectúan mediciones del campo magnético con una precisión de hasta 0,1 nT.
12. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, en el que dichos magnetómetros escalares (12) miden el campo magnético con tecnologías de Resonancia Magnética Nuclear.
- 35 13. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende:
 - un casco (1);
 - al menos un sistema (3) de propulsión;
 - al menos un sistema (2) de accionamiento;
 - al menos un sistema (7) de alimentación;
- 40 - al menos un sistema (8) de control.
14. Uso del vehículo submarino autónomo equipado (100) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, para identificar zonas potenciales útiles para la explotación de crudo.
15. Un método de análisis de las características geofísicas del subsuelo, que comprende la adquisición del gradiente gravimétrico y magnético en un entorno submarino, caracterizado por las fases siguientes:
- 45 - uso de un vehículo submarino autónomo equipado (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 13;

- inmersión de dicho vehículo (100) en la proximidad del lecho marino;
- navegación a lo largo de una ruta programada;
- adquisición y almacenamiento de los datos recogidos por dichos gradiómetros y dichos instrumentos en correlación con el punto geográfico de la medición;

5 - recuperación de los datos recogidos y uso de los mismos para el análisis geofísico del subsuelo.

16. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según la reivindicación 1, en el que el gradiómetro gravimétrico (5) comprende:

- una primera carcasa esférica (13) conectada al vehículo submarino autónomo equipado (100) y capaz de resistir altas presiones;

10 - una segunda carcasa (14) con dimensiones menores que las de la primera carcasa (13) y conectada a ella por medio de un sistema (17) de junta cardan;

- una tercera carcasa (15) con dimensiones menores que la de la segunda carcasa (14) y conectada a ella por medio de una junta cardan (18) que permite su oscilación dentro de la segunda carcasa (14), donde dicha tercera carcasa está provista de un sistema de pesas (19) instalado en la parte inferior;

15 - dos acelerómetros (16) alineados a lo largo de la vertical, situados a una distancia mutua de menos de 60 cm, y confinados dentro de la estructura de la tercera carcasa (15).

17. El vehículo submarino autónomo equipado (100) según la reivindicación 16, en el que dichos acelerómetros (16) del gradiómetro gravimétrico (5) están situados a una distancia que oscila entre 10 y 40 cm uno del otro.

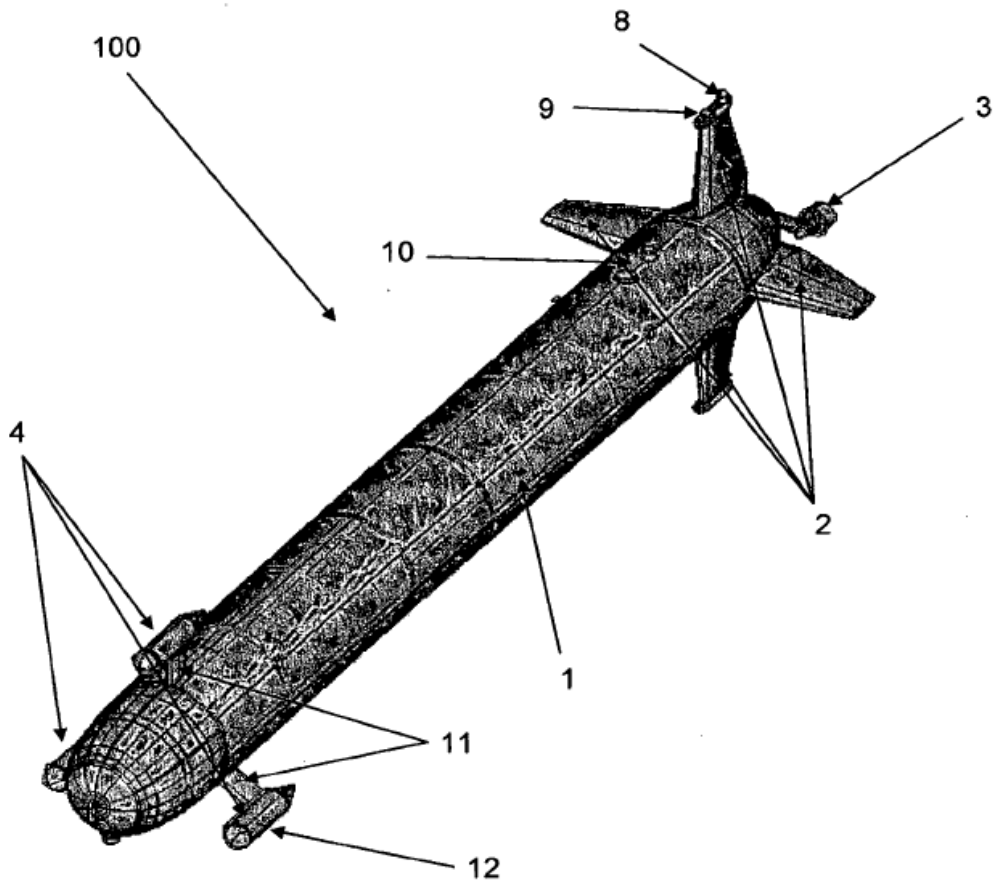


Fig. 1

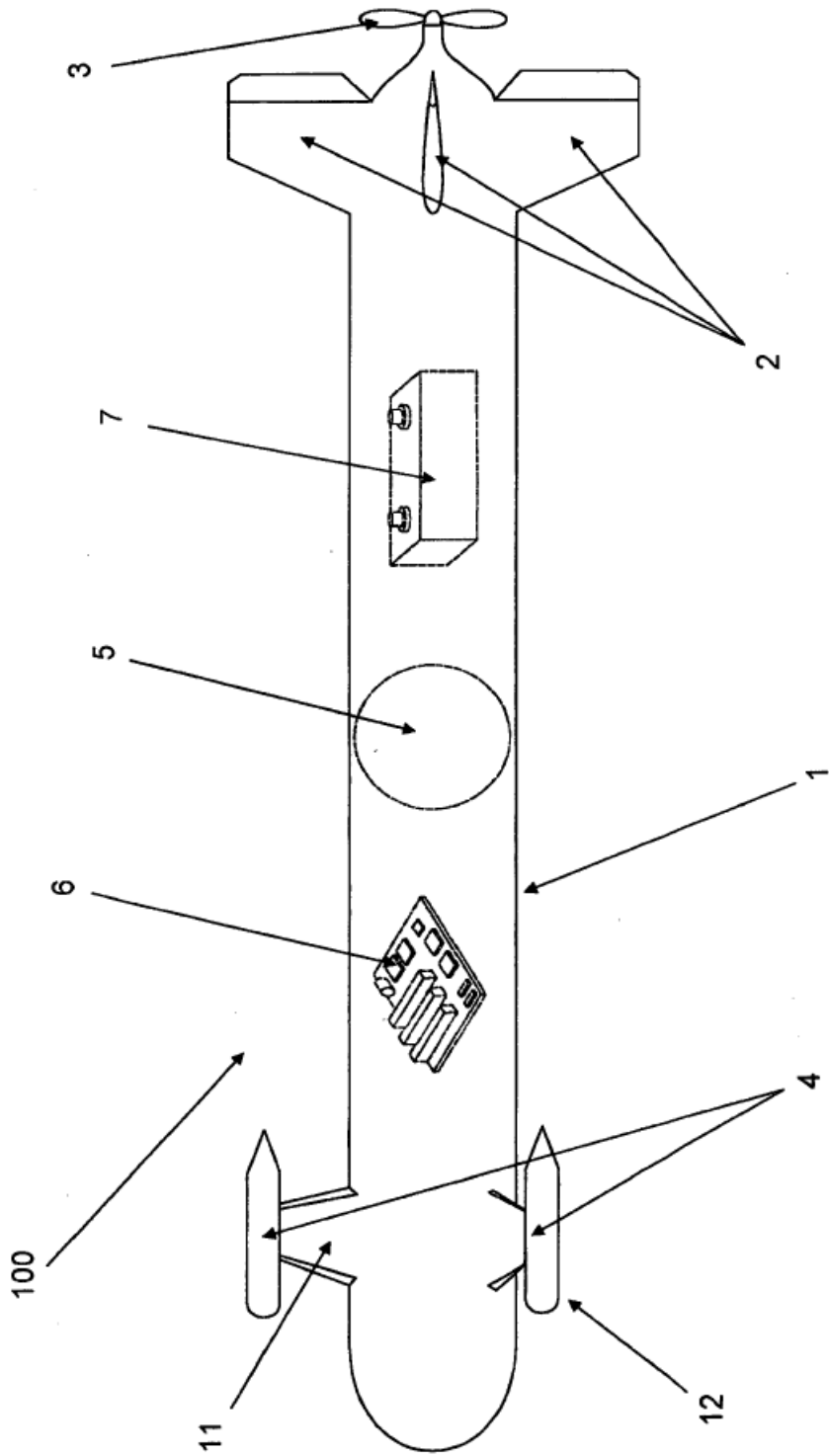


Fig. 2

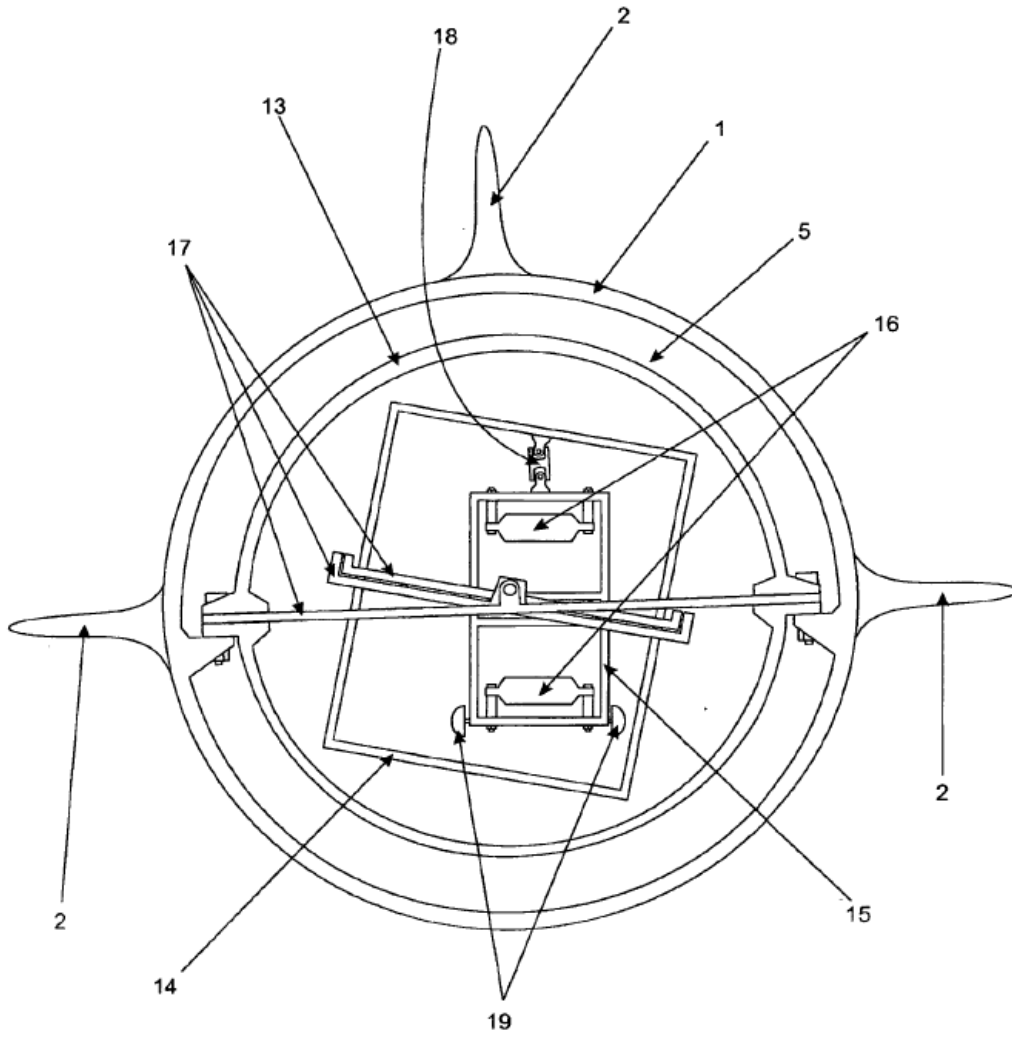


Fig. 3

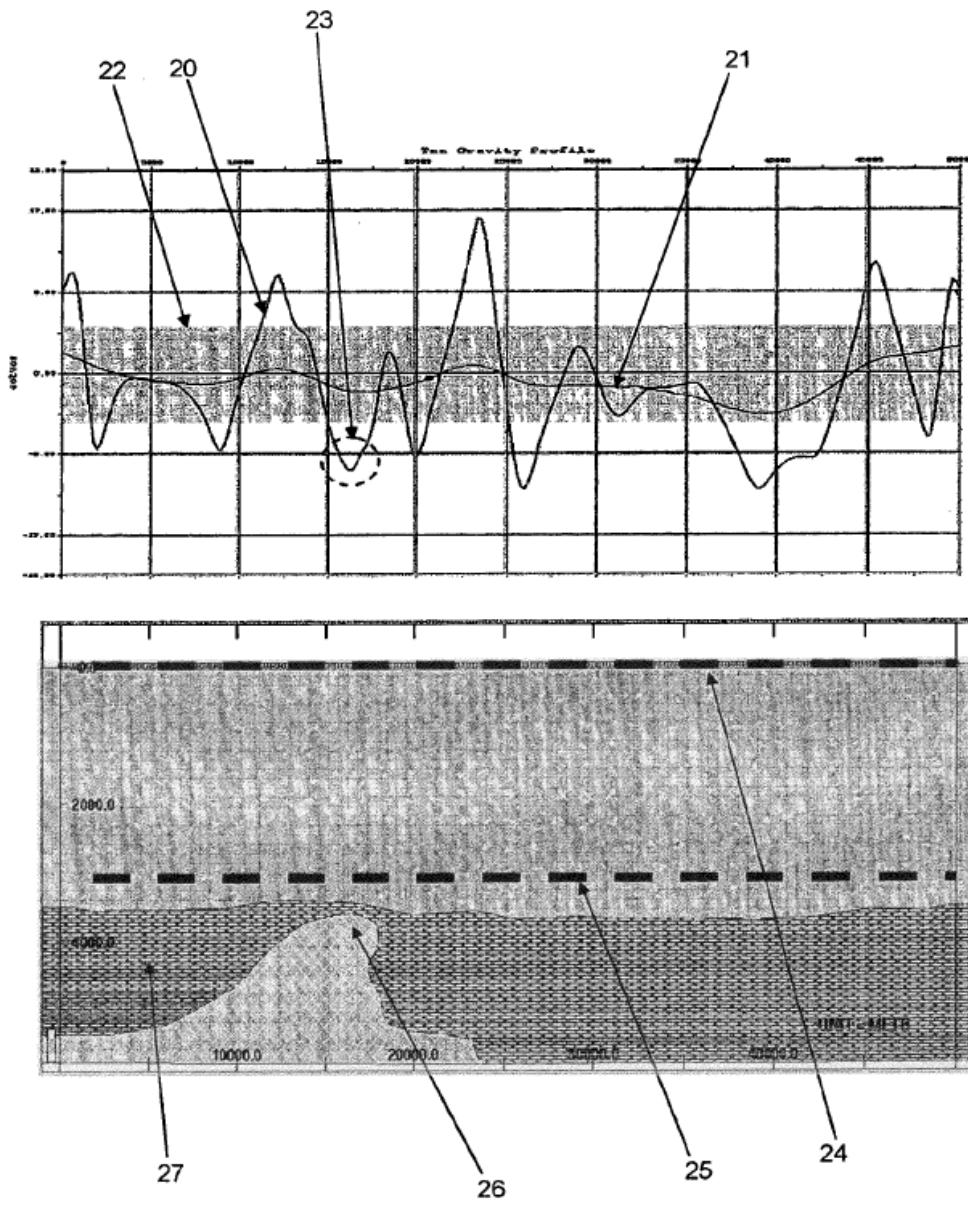


Fig. 4