

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 991 793**

51 Int. Cl.:

G01V 1/143 (2006.01)

G01V 1/145 (2006.01)

G01V 1/38 (2006.01)

G01V 1/135 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.08.2016** **PCT/US2016/049627**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.03.2017** **WO17044360**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2016** **E 16844903 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2024** **EP 3347744**

54 Título: **Sistema de vibradores marinos y método de empaquetado y despliegue de vibradores marinos**

30 Prioridad:

08.09.2015 US 201562215463 P

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

04.12.2024

73 Titular/es:

APPLIED PHYSICAL SCIENCES CORP. (100.0%)
475 Bridge Street Suite 100
Groton, CT 06340, US

72 Inventor/es:

ABRAHAM, BRUCE, M.;
MCCONNELL, JAMES, A.;
MILEWSKI, WILLIAM, M.;
WOOLRICH, BRENDAN, C. y
REKOS, RUSSELL, R.

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 991 793 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

Sistema de vibradores marinos y método de empaquetado y despliegue de vibradores marinos

5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

La presente solicitud está relacionada con la solicitud de patente de Estados Unidos con número de serie 14/421.006, presentada el 11 de febrero de 2015, y la solicitud de patente de Estados Unidos con número de serie 14/700.879, presentada el 30 de abril de 2015, cada una titulada "Coherent Sound Source for Marine Seismic Surveys" ("Fuente de sonido coherente para estudios sísmicos marinos").

Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a un sistema de vibradores marinos y a un método de empaquetado y despliegue de proyectores de sonido submarinos de baja frecuencia para su uso relacionado con estudios sísmicos marinos.

Antecedentes de la invención

Las ondas sonoras son la herramienta principal que se utiliza para buscar reservas de petróleo y gas bajo los estratos de la Tierra. Las ondas sonoras son convenientes porque pueden propagarse a lo largo de largas distancias y penetrar en medios estratificados complejos para obtener información importante con respecto a la presencia, composición y extensión física de las reservas. Este es el caso de los estudios realizados tanto en tierra como en agua. Aunque se han utilizado una variedad de métodos para generar ondas sonoras en el agua, la técnica principal durante las últimas tres décadas es el uso de cañones de aire, que expulsan ráfagas cortas de aire a alta presión y constituyen una fuente impulsiva (es decir, incoherente) de energía acústica. Las ondas penetran en los estratos y se reflejan diferencialmente hacia la superficie, donde son registradas por una matriz de receptores (es decir, hidrófonos).

En términos generales, los estudios sísmicos marinos se realizan remolcando de 12 a 48 cañones de aire en forma de múltiples subconjuntos de 300 a 500 m detrás de una embarcación de investigación a profundidades del orden de 1 a 10 m. Se usa una matriz de flotadores de superficie para suspender los cañones de aire (es decir, un flotador por subconjunto) a la profundidad prescrita. Se usa un umbilical que contiene miembros de refuerzo, cables de alimentación eléctrica, un medio de transferencia de datos dúplex (es decir, enlace de cobre o fibra óptica) y una manguera de aire de alta presión para remolcar el flotador de superficie desde una embarcación de investigación. Un propósito secundario del umbilical es enrutar aire a alta presión a la matriz de cañones de aire, así como energía eléctrica para controlar diferentes aspectos de la matriz, y proporcionar medios para controlar la matriz y obtener datos de monitorización de varios sensores de ingeniería para garantizar que la operación satisfactoria es patente. Las velocidades de remolque típicas varían de 1,5 a 2,5 m/s, lo que facilita tasas de exploración del orden de 10 km²/día. Para obtener más información sobre estudios sísmicos marinos, véase "Marine Geophysical Operations: An Overview", *International Association of Geophysical Contractors* (junio de 2009), o "An Overview of Marine Seismic Operations", *International Association of Oil and Gas Producers*, Informe n° 448 (abril de 2011).

En los últimos años, la industria del petróleo y el gas ha considerado alternativas a los cañones de aire y, en particular, el uso de vibradores marinos que pueden proporcionar una fuente coherente (es decir, no impulsiva) de energía acústica. Por lo general, las aplicaciones y/o motivaciones para usar vibradores marinos en lugar de cañones de aire provienen de la necesidad de una mejor firma sísmica en ciertos entornos operativos de aguas profundas, la realización de estudios sísmicos marinos en áreas sensibles ambientalmente y tener una fuente mejorada para aguas poco profundas (es decir, zona de transición) aplicaciones donde las matrices de cañones de aire funcionan de manera subóptima. Además, los atributos de los estudios sísmicos marinos basados en vibradores marinos que son atractivos incluyen (1) tener un control de profundidad accionado por comando para mitigar los problemas relacionados con la relación señal-ruido a bajas frecuencias y el efecto fantasma, y (2) tener poca o ninguna expresión de superficie (es decir, sin flotadores) dado que el 40 % de las reservas de petróleo y gas de la Tierra están ubicadas en el Ártico, donde el hielo flotante constituye un peligro.

El documento US 4.198.706 divulga un sistema para la generación de sonido de baja frecuencia bajo el agua, que comprende un único vibrador. El documento US 2012/0287751 divulga una boya compuesta, que comprende una única fuente. El documento US 2011 0149681 divulga una fuente de energía sísmica direccionable que incluye un flotador cuya flotabilidad se controla hidráulicamente.

El documento US 2015 0234072 divulga una fuente de sonido coherente para estudios sísmicos marinos, cuya profundidad de inmersión se controla hidrodinámicamente. El documento US 2014 226439 divulga vibradores sísmicos marinos para usar en estudios sísmicos, en donde los vibradores sísmicos están dispuestos en una matriz lineal sobre un soporte común suspendido de un flotador. El documento US 2013 051180 divulga una única fuente de sonido vibratorio marino.

Sumario de la invención

La invención comprende un sistema de vibradores marinos de acuerdo con la reivindicación 1.

- 5 Se describen ejemplos de métodos de empaquetado y despliegue de vibradores marinos.

Se describe un ejemplo de un vibrador marino que comprende un cuerpo de remolque hidrodinámico de flotabilidad positiva, comprendiendo: un proyector electroacústico de baja frecuencia; un sistema de electrónica de potencia; un sistema electrónico de control-monitorización; y un sistema de compensación de presión, en donde el cuerpo de remolque hidrodinámico comprende una o más superficies de control activas para ajustar una profundidad de inmersión y una actitud de balanceo del cuerpo de remolque hidrodinámico.

- 15 Se describe un ejemplo de un vibrador marino que comprende un bastidor portante de inundación libre que incluye componentes internos, que comprende: un proyector electroacústico de baja frecuencia; un sistema de electrónica de potencia; un sistema electrónico de control-monitorización; y un sistema de compensación de presión, en donde el bastidor y los componentes internos se hacen de flotabilidad positiva usando espuma de flotabilidad colocada dentro del bastidor de modo que un centro de flotabilidad del bastidor y los componentes internos sea más alto en elevación que un centro de gravedad del bastidor y los componentes internos.

- 20 Como se ha indicado anteriormente, las realizaciones ilustrativas descritas en el presente documento proporcionan mejoras significativas en relación con los vibradores marinos convencionales mediante el empleo de configuraciones de flotabilidad negativa con técnicas correspondientes para controlar la profundidad de inmersión de los vibradores marinos. Estas y otras características y ventajas de la presente invención se harán más evidentes a partir de los dibujos adjuntos y la siguiente descripción detallada.

25 Breve descripción de los dibujos

Las figuras 1A y 1B presentan dibujos en alzado que muestran dos embalajes diferentes para el vibrador marino;

- 30 la figura 1C presenta dibujos en alzado que muestran una realización de empaquetado ilustrativa para el vibrador marino;

Las figuras 2A y 2B presentan dibujos en alzado que muestran dos despliegues diferentes para un subconjunto de vibradores marinos;

- 35 la figura 2C presenta un dibujo en alzado que muestra una realización de despliegue ilustrativa para un subconjunto de vibradores marinos; y

- 40 la figura 2D presenta dibujos en alzado que muestran un despliegue ilustrativo para un subconjunto de vibradores marinos.

Descripción detallada

- 45 Se describen sistemas de vibradores marinos y métodos para empaquetar y desplegar un vibrador marino para usar en relación con estudios sísmicos marinos. Se presentan varias disposiciones diferentes que describen cómo se empaqueta y despliega el vibrador marino.

- 50 En una primera disposición analizada a continuación junto con las figuras 1A y 2A, los componentes asociados con un vibrador marino (por ejemplo, proyector electroacústico de baja frecuencia, electrónica de potencia, electrónica de control-monitorización y medios de compensación de presión) están empaquetados en un cuerpo de remolque hidrodinámico de flotabilidad positiva que contiene superficies de control activas para ajustar la profundidad de inmersión y mantener una actitud de balanceo adecuada. Opcionalmente, se puede disponer múltiples vibradores marinos de este diseño para formar una matriz lineal que es remolcada por una embarcación de investigación mediante un umbilical. Se pueden configurar múltiples matrices lineales de este tipo, como una matriz plana o volumétrica.

- 55 En una segunda disposición analizada a continuación junto con las figuras 1B y 2B, los componentes de vibrador marino mencionados anteriormente están empaquetados dentro de un bastidor portante (o entramado) de inundación libre que usa espuma de flotabilidad o algún medio equivalente para hacer que sea de flotabilidad positiva. La posición de la espuma de flotabilidad dentro del bastidor está diseñada para facilitar el control/estabilidad de balanceo pasivo en virtud de tener el centro de flotabilidad más alto en elevación que el centro de gravedad. Opcionalmente, se puede disponer múltiples vibradores marinos de este diseño para formar una matriz lineal que es remolcada por una embarcación de investigación mediante un umbilical. La profundidad de inmersión y la rectitud de la matriz se controlan mediante el uso de fuerzas estáticas en las direcciones vertical y horizontal resultantes de un flotador de superficie, umbilical, depresor y anclaje. Opcionalmente, se pueden configurar múltiples matrices lineales de este tipo, como una matriz plana o volumétrica.

En una tercera disposición, que es una realización ilustrativa, como se analiza más adelante junto con las figuras 1C y 2C, los componentes mencionados anteriormente están empaquetados dentro de un bastidor portante (o entramado) de inundación libre sin el uso de espuma de flotabilidad, lo que hace que el vibrador marino tenga flotabilidad negativa. Múltiples vibradores marinos de este diseño están dispuestos para formar una matriz lineal que está suspendida de un flotador de superficie que a su vez es remolcado por una embarcación de investigación a través de un umbilical. La profundidad de inmersión de la matriz se controla utilizando una serie de cabrestantes colocados en el flotador de superficie. Se pueden configurar múltiples matrices lineales de este tipo, como una matriz plana o volumétrica.

En una cuarta disposición, como se analiza más adelante junto con las figuras 1C y 2D, los componentes mencionados anteriormente están empaquetados dentro de un bastidor portante (o entramado) de inundación libre sin el uso de espuma de flotabilidad, lo que hace que el vibrador marino tenga flotabilidad negativa. Múltiples vibradores marinos de este diseño están dispuestos para formar una matriz lineal que está suspendida de un flotador de superficie. El elemento más delantero en la matriz lineal sirve como punto de conexión para un umbilical que se usa para remolcar la matriz desde una embarcación de investigación. La profundidad de inmersión de la matriz se controla utilizando una serie de cabrestantes colocados en el flotador de superficie. Opcionalmente, se pueden configurar múltiples matrices lineales de este tipo, como una matriz plana o volumétrica.

La figura 1A presenta un dibujo en alzado que muestra una primera disposición de empaquetado 100a para el vibrador marino divulgado. Desde la perspectiva de ver el vibrador marino 100a desde el exterior, se ve que el vibrador marino 100a está compuesto por un cuerpo de remolque hidrodinámico 110a que aloja el proyector de sonido submarino electroacústico 120a. El proyector emplea un pistón 122a suspendido de manera flexible que hace vibrar el agua a bajas frecuencias usando un transductor que reside dentro del cuerpo de remolque 110a. Para obtener una explicación más detallada de pistones suspendidos de manera flexible, véase, por ejemplo, C. H. Sherman y J. L. Butler, *Transducers and Arrays for Underwater Sound*, páginas 51 y 54 (Springer, 1997).

Otras características que residen en el cuerpo de remolque 110a incluyen, pero sin limitación, electrónica de potencia para acondicionar y amplificar un análogo eléctrico de la forma de onda que se usa para accionar el transductor, electrónica de control-monitorización que proporciona autoridad de control local y monitorización en tiempo real de todos los componentes y subsistemas, uno o más tanques de almacenamiento (y red de válvulas y tuberías asociadas) que contienen gas a alta presión tal como aire seco o nitrógeno seco para compensar el pistón 122a como resultado de la inmersión en agua, y uno o más baterías para proporcionar una fuente temporal de energía eléctrica al sistema de monitorización de control durante las operaciones de despliegue y recuperación cuando la energía de una embarcación de investigación que despliega el vibrador marino 110a puede no estar disponible.

Las superficies de control hidrodinámico 130a se usan para controlar la profundidad de inmersión del cuerpo de remolque 110a que está diseñado para ser de flotabilidad positiva. Las superficies de control 130a también proporcionan los medios para mantener la actitud de balanceo adecuada del cuerpo de remolque 110a de modo que el vector de fuerza del transductor que acciona el pistón 122a sea siempre perpendicular al vector de gravedad de la Tierra. De esta manera, el pistón 122a suspendido de manera flexible no se desviará estáticamente hacia dentro o hacia fuera bajo la acción de la gravedad.

La figura 1B presenta un dibujo en alzado que muestra una segunda disposición de empaquetado 100b para el vibrador marino divulgado. Desde la perspectiva de ver el vibrador marino 100b desde el exterior, se ve que el vibrador marino 100b está compuesto por numerosos componentes que se colocan dentro del bastidor portante (o entramado) de inundación libre 110b que sirve como cuerpo de remolque. Los componentes mostrados dentro del bastidor 110b incluyen un proyector de sonido submarino electroacústico 120b con un pistón suspendido de manera flexible 122b, un módulo de electrónica de potencia 130b, un módulo de electrónica de control-monitorización 140b, medios de compensación de presión que incluyen un tanque de almacenamiento de gas comprimido 150b y una batería 160b. Todos estos componentes tienen sustancialmente la misma función y rendimiento que los descritos en el presente documento para el vibrador marino 100a. La única diferencia significativa es cómo se empaquetan.

El vibrador marino 100b está diseñado para ser de flotabilidad positiva y emplea el módulo de flotabilidad 170b para compensar el peso de los otros componentes. El módulo de flotabilidad 170b se compone usualmente de espuma de celda cerrada, espuma sintáctica o un recinto lleno de aire. El módulo de flotabilidad 170b se coloca dentro del bastidor 110b de modo que el centro de flotabilidad esté por encima del centro de gravedad para impartir un momento de adrizamiento pasivo al cuerpo de remolque de modo que se mantenga la actitud de balanceo adecuada. En el caso de que se desee un control de balanceo adicional, se puede agregar una aleta vertical. Estas características, tomadas por separado o juntas, evitan la necesidad de las superficies de control activas descritas para el vibrador marino 100a. El control de profundidad para el vibrador marino 100b se describe más adelante en esta sección. Además, debido a que todos los componentes están contenidos dentro de un bastidor portante, que puede equiparse con soportes de aislamiento de impactos y amortiguadores, se espera que la realización 100b sea más robusta ante los rigores de las operaciones de despliegue/recuperación que la realización 100a.

La figura 1C presenta un dibujo en alzado que muestra una tercera disposición de empaquetado 100c, que es una realización de empaquetado ilustrativa, para el vibrador marino divulgado. Desde la perspectiva de ver el vibrador marino 100c desde el exterior, se ve que el vibrador marino 100c es idéntico al vibrador marino 100b con la excepción

de que el vibrador marino 100c no emplea un módulo de flotabilidad. Como tal, el vibrador marino 100c es de flotabilidad negativa. Para completar, el vibrador marino 100c comprende un bastidor portante de inundación libre 110c, un proyector de sonido submarino electroacústico 120c con un pistón 122c suspendido de manera flexible, un módulo de electrónica de potencia 130c, un módulo de electrónica de control-monitoreo 140c, un tanque de almacenamiento de gas comprimido 150c y una batería 160c. Todos estos componentes tienen sustancialmente la misma función y rendimiento que los descritos en el presente documento para el vibrador marino 100b. El control de profundidad y balanceo para el vibrador marino 100c se describe más adelante en esta sección.

La figura 2A presenta un dibujo en alzado que muestra una primera disposición de despliegue 200a para el vibrador marino 100a descrito en la figura 1A. Como se muestra en la figura 2A, la primera disposición de despliegue considera una matriz lineal (es decir, un subconjunto) que contiene, por ejemplo, tres vibradores marinos. En la práctica, el número de elementos en la matriz y cuántas matrices se despliegan viene determinado por los requisitos del estudio sísmico. El concepto de matriz de tres elementos presentado en la figura 2A es hipotético, pero ilustra completamente una disposición de despliegue.

La disposición de despliegue 200a de la figura 2A muestra vibradores marinos 210a remolcados e interconectados por el umbilical 220a debajo de la superficie del agua 230a. El umbilical 220a es una estructura portante de carga flexible que está conectada a una embarcación de investigación (no mostrado) a una distancia de hasta 1 km y tiene función para transmitir energía eléctrica, transmitir y recibir datos y transmitir gas comprimido conforme al funcionamiento de los vibradores marinos 220a. El gas comprimido se usa para reponer el suministrado por el tanque de almacenamiento mencionado anteriormente tras el despliegue inicial. Recuérdese que el gas en el tanque de almacenamiento se usa para compensar el pistón resultante de las cargas hidrostáticas asociadas con la inmersión en agua. Se prefiere una fuente local de gas comprimido considerando los problemas de latencia de proporcionar el gas directamente desde la embarcación de investigación ubicada hasta 1 km de distancia.

Como se ha analizado anteriormente, los vibradores marinos 200a emplean superficies de control hidrodinámico de sistema autónomo 130a (mostradas en la figura 1A) para cambiar/mantener la profundidad y la actitud de balanceo adecuada. Esto da como resultado una expresión superficial muy pequeña y es atractivo para estudios sísmicos marinos que se realizan en aguas árticas donde el hielo flotante es un peligro.

La figura 2B presenta un dibujo en alzado que muestra una segunda disposición de despliegue 200b para el vibrador marino 100b descrito en la figura 1B. La disposición de despliegue 200b de la figura 2B muestra vibradores marinos 210b remolcados e interconectados por el umbilical 220b debajo de la superficie del agua 230b. El umbilical 220b tiene sustancialmente la misma funcionalidad que la descrita anteriormente para la disposición 200a. La profundidad de inmersión de los vibradores marinos 210b está controlada por la confluencia de fuerzas resultantes de la ubicación del flotador de superficie 240b, el depresor 250b y el anclaje 260b. Es decir, el peso del umbilical 220b que abarca la distancia entre el flotador de superficie 240b y el depresor 250b se usa para sumergir los vibradores marinos 210b. En consecuencia, la posición del flotador de superficie 240b determina la profundidad de inmersión en donde la posición se controla mediante el cable 270b que está conectado a un cabrestante en la embarcación de investigación (no mostrado). El flotador de superficie 240b emplea un sistema de guiado (por ejemplo, rodillos de arrastre accionados por resorte o medios equivalentes) 242b para facilitar el proceso de posicionamiento. El depresor 250b y el anclaje 260b proporcionan las fuerzas descendentes y horizontales requeridas en el conjunto remolcado para que los vibradores marinos 210b estén rectos y nivelados durante las operaciones de estudio sísmico. En este caso, se observa que en la disposición 200b, el umbilical interconecta todos los componentes excepto el anclaje 250b que está conectado al último elemento de la matriz a través del cable de amarre 280b.

Debe indicarse que son posibles configuraciones umbilicales alternativas en relación con la disposición 200b. Por ejemplo, el umbilical 220b puede terminar opcionalmente en el depresor 250b y se puede usar un miembro de refuerzo mecánico como medio para interconectar los vibradores marinos 210b con el depresor 250b. La energía eléctrica, los datos dúplex y el gas comprimido se facilitarían a través de una red de umbilicales flexibles más pequeños que se encaminan desde el depresor 250b a los vibradores marinos 210b en una base de correspondencia uno a uno. De esta manera, el depresor 250b también sirve como un módulo de electrónica delantero.

La disposición 200b es muy adecuada, por ejemplo, para estudios en aguas profundas que requieren que se desplieguen vibradores marinos a profundidades nominales de 5 m o más.

La figura 2C presenta un dibujo en alzado que muestra una tercera disposición de despliegue 200c, que es una realización, para el vibrador marino 100c descrito en la figura 1C. La realización de despliegue 200c de la figura 2C muestra vibradores marinos 210c suspendidos del flotador de superficie 220c y remolcados debajo de la superficie del agua 230c usando el umbilical 240c, que está conectado al extremo delantero del flotador de superficie 220c. El umbilical 240c tiene sustancialmente la misma función que la descrita anteriormente para la disposición 200a. La profundidad de inmersión de los vibradores marinos 210c se controla ajustando la longitud de los cables portantes 242c usando una serie de cabrestantes (no mostrados) colocados en el flotador de superficie 220c. El umbilical 240c se divide en una red de umbilicales flexibles más pequeños 244c para facilitar la transmisión de energía eléctrica, datos dúplex y gas comprimido a los vibradores marinos 210c. La ruptura se logra utilizando medios (no mostrados) colocados en el flotador de superficie 220c.

La realización 200c es inherentemente estable desde un punto de vista de actitud de balanceo y es muy adecuada, por ejemplo, para estudios en aguas poco profundas o profundas que requieren que se desplieguen vibradores marinos a profundidades nominales de 5 m o menos. De las tres disposiciones de despliegue divulgadas en el presente documento, la realización 200c se considera la mejor para estudios sísmicos marinos realizados en la zona de transición.

La figura 2D presenta un dibujo en alzado que muestra una cuarta disposición de despliegue 200d para el vibrador marino 100c descrito en la figura 1C. La disposición de despliegue 200d de la figura 2D muestra vibradores marinos 210d suspendidos del flotador de superficie 220d y remolcados debajo de la superficie del agua 230d usando el umbilical 240d, que está conectado al vibrador marino más delantero 210d. El umbilical 240d tiene sustancialmente la misma función que la descrita anteriormente para la disposición 200a. La profundidad de inmersión de los vibradores marinos 210d se controla ajustando la longitud de los cables portantes 242d usando una serie de cabrestantes (no mostrados) colocados en el flotador de superficie 220d. El umbilical 240a también sirve como el cable de remolque de interconexión entre todos los vibradores marinos 210d en la matriz y facilita la transmisión de energía eléctrica, datos dúplex y gas comprimido a los vibradores marinos 210d.

La disposición 200d es inherentemente estable desde un punto de vista de actitud de balanceo y es muy adecuada, por ejemplo, para estudios en aguas poco profundas o profundas que requieren que se desplieguen vibradores marinos a profundidades nominales de 5 m o menos. Además, la disposición 200d ofrece flexibilidad (en relación con la realización 200c) en la conexión de punto de remolque para el umbilical de modo que sea compatible con los requisitos del estudio sísmico y las capacidades de la embarcación de investigación para el despliegue y la recuperación.

Aunque no se muestra en las figuras 2A a 2D, la posición de las matrices lineales según las disposiciones 200a, 200b, 200c y 200d se puede determinar a través de una combinación de medios acústicos (es decir, sistema de posicionamiento inicial ultracorto) y transceptores de sistema de posicionamiento global ubicados estratégicamente en el subsuelo y componentes de superficie, incluido la embarcación de investigación, según corresponda.

Conclusión

En el presente documento se describen uno o más métodos para empaquetar y desplegar un vibrador marino para usar en relación con estudios sísmicos marinos. Las aplicaciones anteriores y las realizaciones asociadas deben considerarse únicamente como ilustrativas, y pueden configurarse otras numerosas realizaciones usando las técnicas divulgadas en el presente documento, de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas, en una amplia variedad de diferentes aplicaciones sísmicas marinas.

También debe entenderse que las configuraciones de vibrador marino, como se describe en el presente documento, pueden implementarse al menos en parte en forma de uno o más programas de software almacenados en memoria y ejecutados por un procesador de un dispositivo de procesamiento tal como un ordenador. Una memoria u otro dispositivo de almacenamiento que tiene dicho código de programa incorporado en la misma es un ejemplo de lo que se denomina más generalmente en el presente documento como un "producto de programa informático".

Las configuraciones de vibrador marino divulgadas pueden implementarse, al menos en parte, usando una o más plataformas de procesamiento. Por lo tanto, uno o más de los módulos de procesamiento u otros componentes pueden ejecutarse cada uno en un ordenador, dispositivo de almacenamiento u otro elemento de plataforma de procesamiento. Un elemento de este tipo dado puede verse como un ejemplo de lo que se denomina más generalmente como un "dispositivo de procesamiento".

Por lo tanto, debe entenderse que las realizaciones descritas en el presente documento son únicamente ilustrativas de los principios de esta invención y que los expertos en la materia pueden implementar diversas modificaciones sin apartarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de vibradores marinos configurado para ser remolcado por una embarcación de investigación, que comprende:

- un flotador de superficie (220c) que comprende una pluralidad de cabrestantes;
- un cable umbilical (240c) conectado a la embarcación de investigación y configurado para remolcar el sistema de vibradores marinos, estando el cable umbilical configurado también para transmitir energía eléctrica y transmitir y recibir datos conforme al funcionamiento de los vibradores marinos;
- una pluralidad de vibradores marinos (100c, 210c), comprendiendo cada uno de la pluralidad de vibradores marinos:
 - un bastidor portante de inundación libre (110c) suspendido del flotador de superficie, comprendiendo el bastidor portante de inundación libre:
 - un proyector electroacústico de baja frecuencia (120c); un sistema de electrónica de potencia (130c);
 - un sistema electrónico de control-monitorización (140c); y
 - un sistema de compensación de presión (150c, 160c),

en donde cada uno de la pluralidad de vibradores marinos es de flotabilidad negativa, en donde una profundidad de inmersión de la pluralidad de vibradores marinos se controla usando la pluralidad de cabrestantes colocados en el flotador de superficie, estando configurada la pluralidad de cabrestantes para suspender cada uno de la pluralidad de vibradores marinos del flotador de superficie por uno o más conjuntos de cables portantes respectivos conectados al vibrador marino, en donde un punto de remolque está ubicado en un extremo delantero del flotador de superficie con respecto a una dirección en la que se remolca la pluralidad de vibradores marinos, en donde la pluralidad de vibradores marinos está dispuesta en una matriz lineal, y en donde el cable umbilical (240c) está dividido dentro del flotador de superficie en una red de umbilicales flexibles más pequeños (244c), estando cada uno de los umbilicales flexibles más pequeños conectado a uno respectivo de la pluralidad de vibradores marinos.

2. El sistema de vibradores marinos de la reivindicación 1, en donde el cable umbilical está configurado además para transmitir gas comprimido conforme al funcionamiento de los vibradores marinos.

3. El sistema de vibradores marinos de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de cabrestantes se coloca dentro de un espacio interior del flotador de superficie.

4. El sistema de vibradores marinos de la reivindicación 1, que comprende una pluralidad de matrices lineales que se colocan para formar una matriz plana o volumétrica remolcada por debajo de la superficie del agua por la embarcación de investigación.

5. El sistema de vibradores marinos de la reivindicación 1, en donde dicho bastidor portante de inundación libre comprende además una fuente de energía eléctrica local y gas a alta presión.

6. El sistema de vibradores marinos de la reivindicación 1, en donde la profundidad de inmersión de la pluralidad de vibradores marinos depende de las longitudes del uno o más conjuntos de cable portante que suspenden cada vibrador marino.

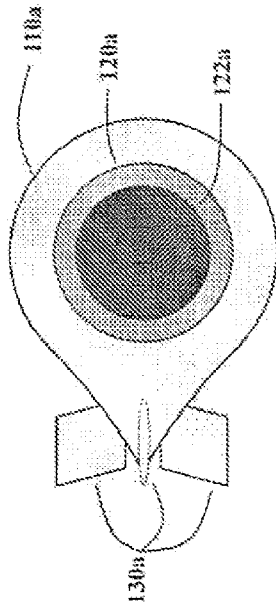


FIG. 1A

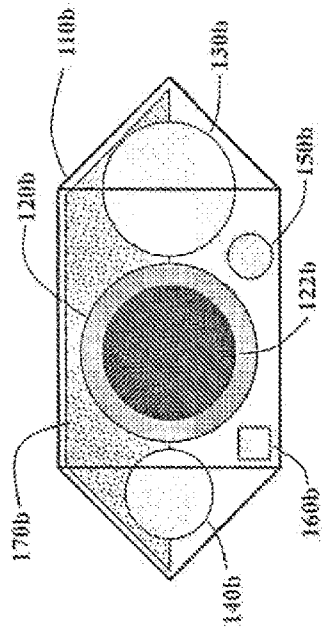


FIG. 1B

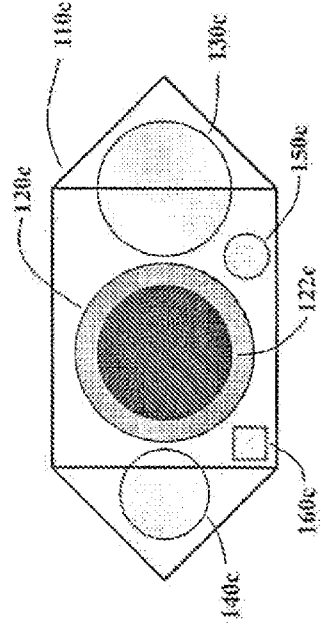


FIG. 1C

100a

100b

100c

