

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 805 548**

51 Int. Cl.:

E02D 27/42 (2006.01)
E02B 17/02 (2006.01)
E02D 27/52 (2006.01)
G01S 19/01 (2010.01)
G01S 19/14 (2010.01)
G01S 19/43 (2010.01)
E02B 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.07.2014** **PCT/ES2014/070566**
87 Fecha y número de publicación internacional: **14.01.2016** **WO16005617**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2014** **E 14897054 (4)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2020** **EP 3168370**

54 Título: **Método y sistema de fondeo autónomo para cimentaciones de estructuras offshore**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.02.2021

73 Titular/es:

DRACE INFRAESTRUCTURAS S.A. (100.0%)
Avda. Camino de Santiago 50, Edif. 4, Planta 4
28050 Madrid, ES

72 Inventor/es:

POLIMÓN OLABARRIETA, CARLOS JESÚS;
EGUIAGARAY GARCIA, MIGUEL;
MOLINA SANCHEZ, RAFAEL;
CABRERIZO MORALES, MIGUEL ANGEL y
RODRIGUEZ MORENO, ALBERTO

74 Agente/Representante:

URÍZAR VILLATE, Ignacio

ES 2 805 548 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

Método y sistema de fondeo autónomo para cimentaciones de estructuras offshore

5 Objeto de la Invención

La presente invención se refiere a un método autónomo de fondeo de cimentaciones para estructuras offshore que permite el control automático del posicionamiento de la estructura mediante un sistema que emplea módulos de sensores, control y comunicación.

10 Estado de la técnica

Las cimentaciones de gravedad de estructuras offshore pueden subdividirse en dos grupos, que se distinguen por el modo de en que son transportadas hasta su emplazamiento final: flotantes y no flotantes. Las flotantes, a diferencia de las no flotantes, tienen la capacidad de ser remolcadas, reduciendo de este modo los costes de esta fase de proyecto. Hoy en día, ambos tipos de cimentaciones requieren de medios especiales, con gran capacidad de manipulación de carga para realizar el fondeo y posicionamiento final de ésta. Es decir, no son autónomas en su transición funcional entre elemento flotante, durante la fase de transporte, y cimentación de gravedad, durante la fase de servicio.

Dentro del marco de las cimentaciones de gravedad flotantes, existe una subtipología que está compuesta un cajón de hormigón estanco sobre el cual se dispone la superestructura emergida que servirá de apoyo a la actividad industrial (aerogeneradores, torres meteorológicas, etc.). El cajón de hormigón está aligerado con celdas verticales internas rectangulares o circulares e intercomunicadas entre sí. Las celdas van equipadas con dispositivos de llenado y vaciado de agua, de manera que se permite el control de lastrado para el fondeo definitivo. Por ejemplo en el documento ES 2 452 933 se describe una cimentación por gravedad para aerogeneradores offshore basado en la utilización de tres bases de hormigón armado y huecas que incorporan un sistema de válvulas para el llenado y vaciado de agua en su interior a modo de lastre. Para unir estas tres bases de hormigón se emplea una estructura metálica con forma de trípode y con altura suficiente para emerger de la superficie libre del agua. A esta estructura metálica se le conectará la torre del aerogenerador mediante una pieza extensión del fuste, situada sobre el nivel del mar, y en la que se instala la zona de atraque, las escaleras y la plataforma de mantenimiento.

Las operaciones de fondeo de cajones de hormigón parcialmente emergidos, en el contexto portuario, son una operación marítima ampliamente conocida y de uso habitual en la construcción de diques de abrigo. Ésta implica la monitorización de un elevado número de variables: climáticas, operacionales y de respuesta del propio elemento flotante. Intervienen cuatro elementos fundamentales: la cimentación de gravedad flotante a fondear, unos buques remolcadores, una red de posicionamiento y un sistema de coordenadas de referencia externo al elemento. Estas operaciones de fondeo tienen como objeto el posicionamiento de la estructura con tolerancias en planta de entre 25 y 50 cm.

El control de dicho posicionamiento se realiza habitualmente fijando el cajón a puntos fijos como estructuras previamente fondeadas o puntos de amarre en otras estructuras, y empleando embarcaciones auxiliares (remolcadores) que, anclados al fondo marino, actúan mediante elementos de tiro para dirigir el posicionamiento. Las distintas fases de la operación de fondeo se van ejecutando mediante el lastrado de las celdas interiores y la consecuente disminución progresiva del francobordo. Cuando el cajón toca fondo, se verifica la posición final y se rellena la totalidad de las celdas para su posado total, quedando el cajón en su ubicación final parcialmente emergido.

La subtipología que está compuesta por un cajón de hormigón estanco, podría adquirir plena funcionalidad si se le dota de la capacidad de autofondeo, o de autonomía en el proceso de transición entre elemento flotante y cimentación de gravedad. De este modo, el proceso de puesta en obra, en su emplazamiento definitivo, no requeriría del uso de medios marítimos especiales, los cuales tienen un alto coste de movilización y limitada disponibilidad en el marco naviero.

El problema que se plantea cuando se trata de fondear cimentaciones para estructuras offshore, que han de quedar totalmente sumergidas varios metros por debajo del nivel del mar, es poder controlar la fase final del fondeo, es decir, desde que el cajón está totalmente sumergido hasta que se deposita suavemente en su ubicación definitiva y todo ello sin que puedan colocarse personas encima para controlar la maniobra y sin emplear grúas o medios similares de sustentación del cajón durante todo el desarrollo del proceso, ya que se trata de un proceso de autofondeo.

El documento WO 0134977 (EP 1 228 310) describe un procedimiento de instalación de un aerogenerador marino, que está fijado en una base que constituye conjuntamente con el fuste un tanque de lastre, que se llena

de agua hasta conseguir fondearlo en el fondo del mar, siendo capaz de flotar y sustentar el peso en el agua cuando el tanque de lastre está vacío. El transporte del aerogenerador hasta el lugar de instalación se efectúa por medio de una embarcación ya que, a diferencia del cajón de la presente invención, en principio no es flotante y si lo fuera no tendría la estabilidad necesaria para mantenerse en posición vertical y de poder remolcarse desde la costa al lugar de instalación. En este documento no se describe cómo se realizan las operaciones de fondeo, pero se supone que se realizan con ayuda de una grúa, puesto que si el aparato en su conjunto no tiene la estabilidad necesaria para mantenerse a flote, la única forma de controlar el lugar exacto de instalación será por medio de un medio auxiliar de este tipo.

El documento US2011013989 describe un sistema de carga y descarga, que incluye un aparato de almacenamiento de líquidos, que se usa como terminal offshore bajo el agua o en la superficie del agua y puede aplicarse con instalaciones de perforación y producción de petróleo en alta mar. Este sistema incluye un tanque de almacenamiento que comprende al menos un compartimiento de lastre de agua y al menos un compartimiento de almacenamiento de petróleo y un volumen de gas inerte, en el que los compartimientos de lastre de agua y de almacenamiento de petróleo están acoplados entre sí para formar un sistema interconectado cerrado con gas inerte por encima del agua y el petróleo, por medio de unas válvulas que permiten la conexión de fluido entre el compartimiento de lastre de agua y el compartimiento de almacenamiento de petróleo, como resultado de lo cual los dos compartimientos no están conectados de manera permanente. En otra realización, este sistema comprende bombas acopladas al tanque de almacenamiento, de carga y descarga de petróleo en el compartimiento correspondiente y para cargar y descargar agua del compartimiento de lastre de agua. No se requiere ninguna precisión en el desplazamiento de este tanque hundido en el mar, ya que en raras ocasiones llega a depositarse en el fondo marino y cuando así se hace no se desprende de la invención que requiera ningún requisito con respecto a la precisión en el fondeo.

El documento GB2233373 describe un método y unos medios para posicionar estructuras en el lecho marino, en las que parte de las operaciones implican el posicionamiento, por ejemplo, de una estructura inferior tal como un cajón para un fundamento de una plataforma para la perforación o exploración de hidrocarburos, mediante el cual el cajón, que es grande y pesado, se colocará encima o adyacente a una estructura ya colocada en el fondo del mar, por ejemplo, una plantilla de pozo. El cajón, que se colocará, puede dañar muy fácilmente la estructura ya posicionada, y el posicionamiento debe por lo tanto llevarse a cabo con el máximo cuidado y con gran precisión. Este método prevé la colocación de un anclaje para la estructura, situado en el lecho marino en el sitio destinado al montaje de dicha estructura para garantizar su posición, mientras se hunde desde una posición flotante hasta un nivel predeterminado sobre el lecho marino, donde el equipo adecuado sobre la estructura entra en acoplamiento pivotante con la plataforma de bloqueo. Mediante el uso de medios adecuados la estructura pivota sobre la base de bloqueo hasta que la estructura alcanza correctamente la posición correcta en acimut. El movimiento pivotante se controla por medio de medios adecuados de monitoreo y frenado ubicados en el lado inferior de la estructura, que significa contacto y penetración parcial en el lecho marino mientras la estructura está posicionada corta distancia sobre el fondo del mar y por lo tanto proporciona la fricción y el control deseables de dichos movimientos pivotantes; finalmente la estructura se hunde en el mar hasta en la posición correcta.

Descripción de la invención

La presente invención describe un método, según la reivindicación 1, y un sistema, según lo definido en la reivindicación 5, para conseguir el auto-fondeo de cimentaciones tipo dique flotante, capaces de ser remolcadas a su lugar de ubicación definitiva, que están constituidas por un cajón autoflotante de hormigón, provisto de celdas verticales interiores, cerrado superiormente mediante una losa que cubre todas o casi todas las celdas en la que se divide, las cuales están interconectadas entre sí y dotadas de dispositivos de vaciado y llenado que permite la regulación del nivel de lastre para el fondeo al ser llenadas con agua del mar, consiguiendo un margen de precisión equivalente al de otros cajones flotantes empleados en la construcción de diques que quedan parcialmente emergidos, a pesar de que en este caso cimentación queda sumergida en su totalidad varios metros por debajo del nivel del mar.

El método de fondeo, una vez que la cimentación ha sido remolcada a un lugar próximo a su instalación, fondeada y totalmente sumergida, comprende las siguientes fases:

- a) Coacción de la cimentación, que incluye la sujeción y amarre de al menos tres remolcadores, que tirarán radialmente de ella desde al menos 3 direcciones distintas, separadas entre sí un ángulo similar, de forma que una vez se sitúa en la vertical de su lugar de asentamiento definitivo se mantiene en la misma posición vertical durante todo el proceso de fondeo.
- b) La siguiente fase comprende la conexión de todo el sistema de fondeo, que incluye: la conexión de los diversos sensores necesarios para el control de la operación, con una unidad de control que recibe la información de dichos mismos. Esta unidad está situada preferentemente en la plataforma emergida de

5 la cimentación que queda por encima del nivel mar una vez que la cimentación ha sido totalmente fondeada. Dicha unidad integra unos medios de comunicación con el sistema direccional entre los buques remolcadores, y unos medios de comunicación entre las estaciones GPS y con una base de referencia fija GPS situada en un punto fijo próximo al lugar de instalación de la cimentación. Esta unidad de control también se asociará a un equipo de apoyo en la toma de decisiones, que permite visualizar y controlar la marcha del proceso de fondeo por un operario y modificar algunos parámetros del mismo, o detenerlo en caso de fallo.

10 c) Una vez instalados los medios de control necesarios se inicia el hundimiento paulatino y controlado de la cimentación hasta que ésta pierde lentamente la cubierta. El punto crítico es de este proceso se produce cuando queda en posición equilibrio por debajo del agua. A partir de este punto se continúa con el fondeo de la misma hasta que alcanza suavemente su posición de instalación en el fondo marino.

15 d) Cuando la cimentación se deposita en el fondo del mar, se procede a su lastrado definitivo, inundando la totalidad de las celdas que incorpora la cimentación y posteriormente se desconectan las líneas de los remolcadores, dando por finalizada la operación.

20 El proceso hundimiento de las celdas se realiza de forma paulatina y por grupos de celdas próximas entre sí, de forma controlada a través de un software de control o manualmente, empleándose el mayor o menor llenado de una zona o zonas de la cimentación para conseguir su basculación, y con ella un desplazamiento o giro en una dirección determinada. También a través de la tensión de las líneas de tiro de los distintos remolcadores se consigue desplazar o girar levemente la cimentación hasta recolocarla en vertical del punto de emplazamiento definitivo. Estas operaciones se realizan en cualquier instante del proceso de fondeo, independientemente de la posición que tiene la cimentación, incluso cuando se encuentra totalmente sumergida y mientras no haya alcanzado su posición de asentamiento definitivo.

La velocidad de fondeo se modifica variando el caudal de llenado de las celdas de la cimentación con agua de mar.

30 A pesar del carácter aleatorio de los factores que intervienen en el método de fondeo, este sistema es autónomo en la medida de que es capaz de tomar decisiones de manera sistemática, por lo que aporta un carácter de repetitividad. De esta manera, el objeto flotante es capaz de gestionar su propia puesta en servicio y por lo tanto los medios marítimos necesarios como apoyo al fondeo son mínimos y los costes de instalación son también menores.

35 Asimismo, el sistema aporta fiabilidad a las operaciones de instalación de las cimentaciones, por la definición de parámetros de calidad (valores de umbrales operativos) que el propio sistema se encarga de que no sean superados. Por esto mismo es un sistema autónomo, que no necesita el apoyo de medios marítimos de alto nivel. Es el mismo objeto flotante el que puede comportarse como un buque.

40 Para dotar a la cimentación de capacidad de autofondeo, supervisado por un operador experto, se requiere del control dinámico del flotador durante las diferentes fases de fondeo anteriormente descritas. Para ello, se fijan criterios de seguridad y fiabilidad de la operación en términos de umbrales operativos. Las variables que definen la fiabilidad y seguridad de la operación son:

- 45
- la escora y/o el trimado máximo de la estructura durante cada fase del fondeo;
 - la velocidad y/o aceleración máxima admisible de ésta, o de los elementos transportados sobre la superestructura

50 Del mismo modo, el proceso de posado final de la estructura se ha de realizar minimizando la probabilidad de impactos de ésta con el fondo marino, y facilitando el posicionamiento final según las tolerancias de proyecto.

La solución propuesta para el sistema de fondeo consiste en un sistema integrado de 4 subsistemas que permiten el fondeo autónomo de cimentaciones de gravedad flotantes y su posicionamiento en lecho marino:

- 55
- Un conjunto de sensores que miden diversas variables en la cimentación.
 - Una unidad de control que recibe las señal de los sensores, de posición de la cimentación, y controla las válvulas y demás medios de llenado del cajón flotante, así como las correcciones que han de efectuar éstos y los buques remolcadores.
- 60
- Unos medios de comunicación entre los diversos equipos.
 - Una interface de usuario para apoyo a la toma de decisiones y ejecución de diversas órdenes de control a dicha unidad de control.

Los distintos sensores cumplen las siguientes funciones, a través de los elementos que lo componen:

- 5
 - Medir el nivel de lastre en grupos de celdas: sensores de nivel.
 - Medir la presión aire interior en las celdas: sensores de presión.
 - Medir los giros que se producen: giróscopo.
 - Determinar la posición absoluta de la estructura: sensor de posicionamiento
 - Determinar la posición relativa de la estructura con respecto a la superficie de posado de ésta: sensores de presión y de posicionamiento
- 10
 - Medir la oscilación vertical y la respuesta inercial: sensor de alteada.
 - Registrar las aceleraciones y velocidades que experimentan los elementos estructurales: acelerómetro.
 - Detectar el contacto de la estructura con el fondo marino, así como los posibles impactos sobre otras estructuras: acelerómetro y giróscopo.
- 15
 - Medir las condiciones locales de forzamiento del medio marino (medida de nivel del mar, oleaje y corrientes): Sensor acústico doppler en superficie (o fondo).

El equipo de control, a través de los elementos que lo integran, dirige y regula las siguientes variables:

- 20
 - Entrada y salida del lastre líquido en los grupos de celdas: válvulas de lastrado y deslastrado, así como bombas de deslastrado sumergibles y sensores de nivel de lastre.
 - La presión interior en las celdas: válvulas de venteo.
 - La posición horizontal (en planta) de la estructura: winches de los buques remolcadores.
 - El control dinámico de trimado y escora (giros): válvulas de llenado.
 - El control dinámico del posado de la estructura: válvulas de llenado.
- 25
 - La posición relativa con respecto a la superficie de posado de ésta (distancia al fondo): válvulas de llenado.
 - La oscilación vertical (alteada) y su respuesta inercial.
 - La respuesta inercial de los elementos estructurales que transporte o haya sobre ella: acelerómetro y giróscopo.
- 30
 - Posibles impactos sobre otras estructuras, medios marítimos o el fondo: Acelerómetro y giróscopo.
 - El contacto de la estructura con el fondo marino: Acelerómetro y giróscopo.
 - Unidad de control de actuadores.

El sistema incorpora varios medios de comunicaciones:

- 35
 - Unidad de recepción de la información de los sensores, situada en la plataforma emergida de la cimentación.
 - Sistema direccional inalámbrico (wifi) entre los buques destinados a centro de mando y la unidad de recepción y control de información de los sensores situada en sobre la cimentación.
- 40
 - Sistema UHF comunicación entre estaciones GPS y la base GPS-RTK (punto referencia fijo).
 - Sistema de comunicación entre las unidades de sensorización y control.

La interfaz de usuario que sirve de apoyo a la toma de decisiones está integrada por los siguientes elementos:

- 45
 - Visualización variables sensoriales y control (estado).
 - Pre-programación de secuencia de acciones de operación (apertura de válvulas y tensiones en los winches de los buques) y de los umbrales operativos por fases de fondeo, que actúan como indicadores de la calidad de la operación (ángulos admisibles de escora y trimado, velocidad de caída de la cimentación de gravedad, aceleración en los elementos que componen la superestructura).
- 50
 - Visualización del progreso de cada una las variables de estado de la operación registradas por el subsistema de sensorización y control durante las fases de fondeo: pérdida de cubierta, fondeo, contacto, posado, posado y lastrado definitivo.
 - Offset (ceros del sistema de referencia del subsistema de sensorización y control).
 - Corrección automática de umbrales.
- 55
 - Intervención manual sobre la operación.
 - Lista acciones automáticas y derivadas de la intervención manual.
 - Alarma instrumental de superación de umbrales operativos y estado de funcionamiento del sistema.
 - Cross Check para el inicio nueva fase o reinicio tras paradas operativas.

- 60 El sistema incorpora lógicamente unos equipos de alimentación (3) que consta de un generador de energía eléctrica y un compresor.

Las novedades que aporta este sistema de fondeo son:

- 5 – Autonomía en el desarrollo de la operación, pues permite el fondeo de manera totalmente automática, con la posibilidad de que se produzca intervención humana en caso necesario.
- Fiable, pues controla y limita la superación de los umbrales operativos de un modo autónomo.
- Permite la visualización, en tiempo real, en todo momento del estado de los parámetros que definen la operación de fondeo.
- Permite el control, en tiempo real, de todos los procesos de la operación.
- 10 – La interfaz muestra todos los procesos de la instalación, con el estado y situación de los elementos, de manera que el operador recibe una retroalimentación que garantiza la funcionalidad.
- El sistema está concebido de tal forma que permite el fondeo de manera totalmente automática, con la mínima intervención humana y sólo en caso de necesidad.
- No requiere el empleo de cargueros (heavylift vessels), ni embarcaciones singulares para la instalación.

15 **Descripción de los dibujos**

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de facilitar la comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva un juego de dibujos en los que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

20 En la figura 1 puede apreciarse el sistema de remolcadores (2) dispuestos en planta para la instalación de una cimentación cualquiera (1).

En la figura 2 pueden distinguirse los elementos que intervienen en el sistema de fondeo:

- 25 – Cimentación a fondear (1).
- Buques remolcadores (2).
- Sistema de posicionamiento (3).
- Plataforma o punto fijo de referencia para el sistema de referencia (4).

30 En la figura 3 se muestra en alzado de una cimentación con una estructura en cuya zona superior se fijará el aerogenerador o la estación meteorológica, en la que se han señalado los elementos de sensorización y de control más importantes que se disponen en el objeto a fondear:

- Válvulas (5)
- Sensores de nivel de llenado (sensores de presión) (6)
- 35 – Bombas sumergibles (7)
- Acelerómetro-giróscopo (8)
- Antenas GPS-RTK (9).

40 La figura 4 representa un diagrama de bloques general del sistema de fondeo autónomo.

En la figura 5 pueden distinguirse de manera esquemática las principales fases de las operaciones de fondeo.

Exposición detallada de al menos un modo de realización de la invención

45 El sistema de fondeo propuesto integra sus diversos elementos en los equipos que conforman del conjunto del mismo: buques remolcadores (2), cimentación a fondear (1), plataforma base o punto fijo de referencia (4) y red de posicionamiento (3); (ver fig. 2).

50 En los buques remolcadores (2) se instala la interface de usuario, compuesta por un servidor de control de mando o sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), que permite visualizar, supervisar y controlar a distancia el proceso. Es un sistema de lazo cerrado, es decir, ajusta la acción de control por retroalimentación de la señal de salida. En los buques (2) también se instala un conmutador de 8 puertos, dos módems para la comunicación inalámbrica y al menos dos CPUs y pantallas auxiliares que permiten la visualización del estado de las variables del proceso mediante una interfaz. Esta interfaz tiene pestañas

55 particulares de visualización de posición del elemento a instalar, nivel de llenado de las celdas, alarmas, parámetros eléctricos, tensión en las líneas de amarre, etc. Además permite visualizar el estado de la instrumentación como las válvulas (5), bombas (7) y sensor de llenado (6) y de movimiento (acelerómetro-giróscopo) (8).

60 En la plataforma de la cimentación (1) que queda emergida se instala, en una cabina eléctrica, la unidad de control, preferentemente constituida por un PLC (Programmable Logic Controller), que se comunica a su vez con el sistema de control de mando de los buques mediante módems wifi.

El equipo de posicionamiento vendrá dado por una base de referencia RTK instalada en un punto fijo de referencia (3), un GPS-RTK (9) instalado en la plataforma de la cimentación (1) que quedará emergida y el acelerómetro-giróscopo (8) así mismo instalado en la plataforma de la cimentación (1).

- 5 El sistema controla las mediciones que realiza el subsistema de sensorización, analiza las frecuencias del movimiento y las filtra, de manera que puede responder ante ellas fijando nuevos umbrales de referencia. De esta forma, se independiza de los factores exteriores: se convierte en un sistema de fondeo autónomo.

- 10 El sistema de fondeo autónomo es susceptible de aplicación industrial en los sectores de energía marina eólica y de la ingeniería civil offshore. Si bien la construcción de la cimentación puede ser más o menos industrializada para fabricación en serie, el proceso de puesta en obra de la cimentación está muy sujeto a las capacidades del operador debido al elevado número de variables que intervienen en las operaciones y a la propia singularidad de las fases de fondeo.

- 15 En la figura 5 se observan varias fases de las operaciones de fondeo:
- Coacción de la cimentación, anclaje y conexión a los remolcadores (Fig. 5.1)
 - Pérdida de cubierta (Fig. 5.2)
 - Hundimiento (Fig. 5.3)
 - Posado (Fig. 5.4)
 - 20 – Lastrado final (Fig. 5.5)

- 25 En la fase de coacción de la cimentación (1) se sujetan y amarran al menos tres remolcadores (2) que tiran radialmente de la cimentación a fondear desde al menos 3 direcciones distintas, separadas entre sí un ángulo similar, a fin de que una vez esté situada en la vertical de su lugar de asentamiento definitivo se mantenga en la misma posición durante todo el proceso de fondeo. Ver Fig. 1.

Antes o después de la anterior fase, se procede a la conexión de:

- 30
- Los diversos sensores necesarios para el control de la operación.
 - La unidad de control, situada en la plataforma emergida de la cimentación por encima del nivel mar.
 - Los diversos equipos de comunicaciones: con el sistema direccional entre los buques remolcadores, entre las estaciones GPS, y con una base de referencia fija GPS situada en un punto fijo próximo al lugar de instalación de la cimentación.
 - Y a la puesta en marcha de un sistema de apoyo a la toma de decisiones, que permite visualizar y controlar la marcha del proceso de fondeo.

- 35 Una vez que toda la instrumentación está instalada y funcionando, y los remolcadores (2) mantienen los cabos que tiran de la cimentación (1) en tensión, de forma que ésta flota en la vertical del punto en el que se ha de instalar en el fondo marino, se procede al fondeo hundiendo paulatinamente la cimentación, siendo controlado todo el proceso por el sistema descrito, hasta que la cimentación pierde lentamente la cubierta (Fig. 5.2), quedando en posición de neutra por debajo del agua. Posteriormente se continúa fondeando la cimentación en una situación de navegabilidad próxima a la neutralidad (Fig. 5.3) hasta que alcanza su posición de instalación en el fondo marino (Fig. 5.4).

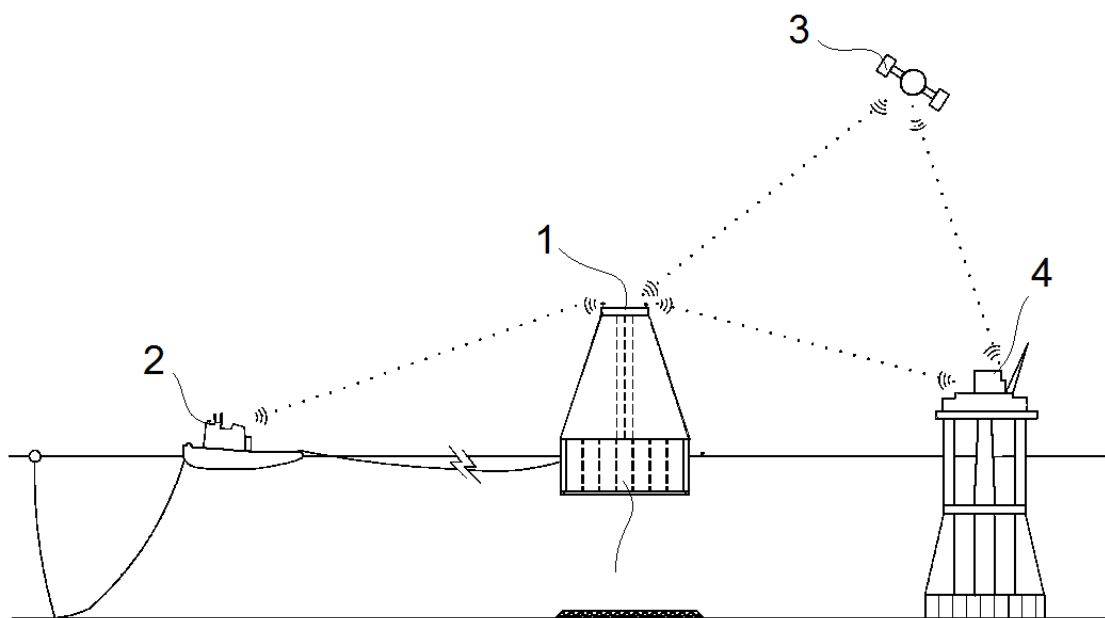
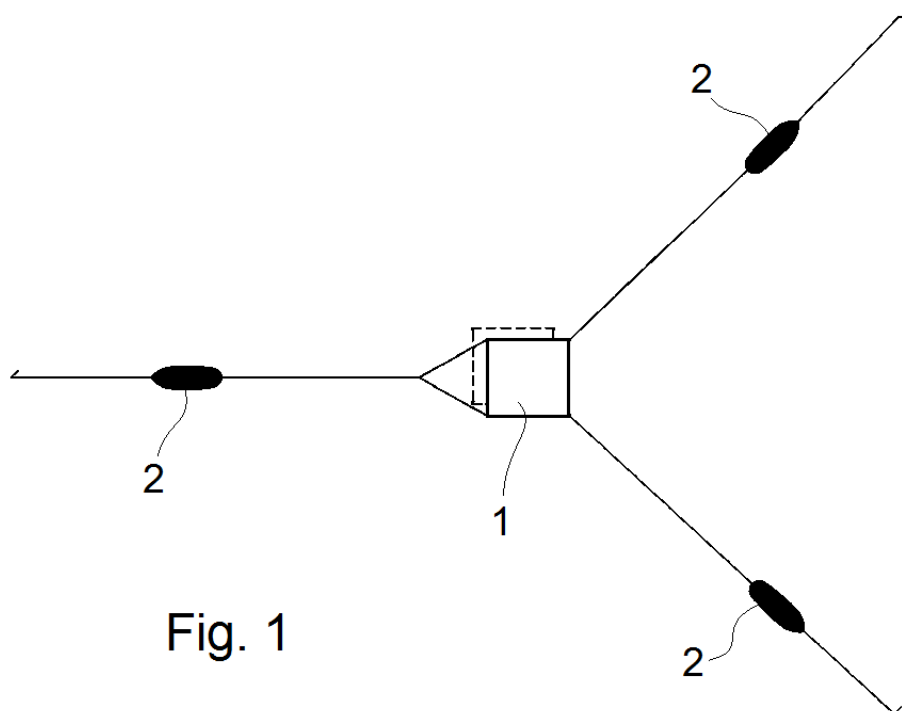
- 40
- 45 Finalmente se procede al lastrado de la cimentación, inundación de la totalidad de las celdas que incorpora la cimentación y desconexión de las líneas de los remolcadores. (Fig. 5.5).

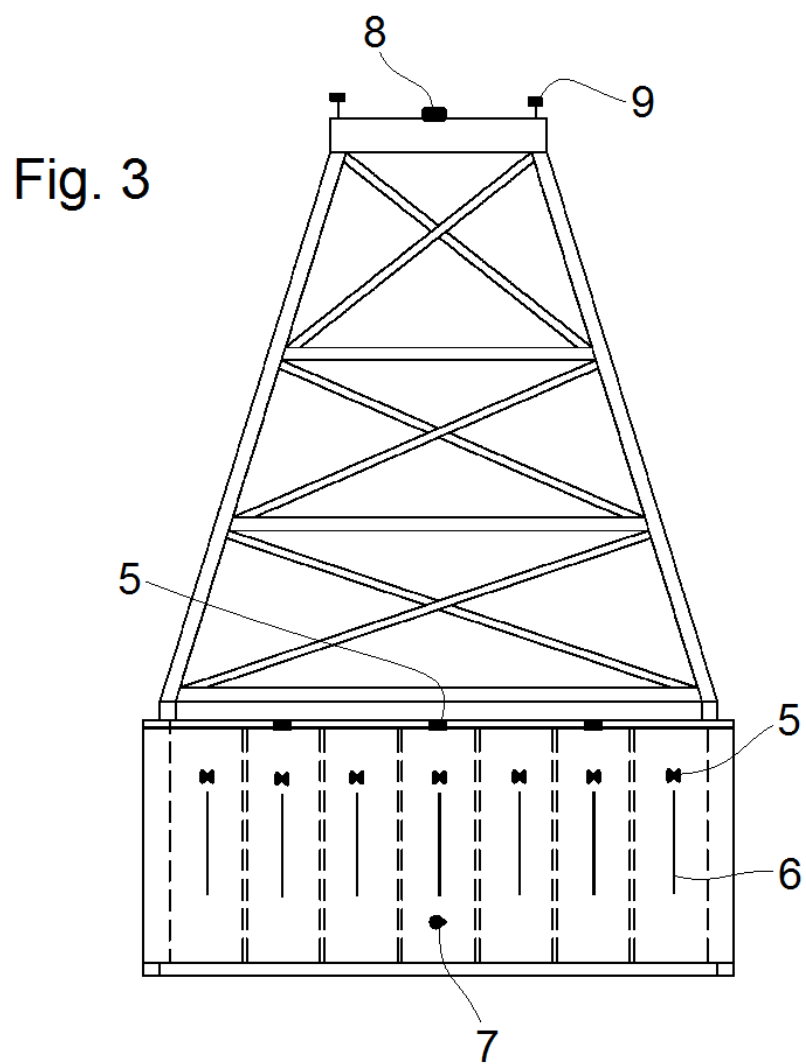
REIVINDICACIONES

- 1.- Método de fondeo autónomo para cimentaciones (1) de estructuras offshore, fabricadas en un dique flotante y capaces de ser remolcadas a su lugar de ubicación definitiva, constituidas por un cajón autoflotante de hormigón, provisto de celdas verticales interiores, cerrado superiormente mediante una losa que cubre todas o casi todas las celdas en la que se divide, las cuales están interconectadas entre sí y dotadas con dispositivos de vaciado y llenado (5, 7) que permite la regulación del nivel de lastrado para el fondeo al ser llenadas con agua del mar, que comprende una fase previa de coacción de la cimentación, sujeción y amarre con al menos tres remolcadores (2) que tiran radialmente de la cimentación a fondear desde al menos 3 direcciones distintas, separadas entre sí un ángulo similar, a fin de que una vez esté situada en la vertical de su lugar de asentamiento definitivo se mantenga en la misma posición durante todo el proceso de fondeo;
- caracterizado** porque comprende además las siguientes fases:
- a) una fase previa de conexión de diversos sensores (6,) necesarios para el control de la operación con una unidad de control que recibe la información de dichos sensores y está situada preferentemente en la plataforma emergida de la cimentación que queda por encima del nivel mar, cuando la cimentación queda totalmente fondeada, integrando dicha unidad de control unos medios de comunicación con el sistema direccional entre los buques remolcadores, y unos medios de comunicación entre las estaciones GPS (9) y con una base de referencia fija GPS (4) situada en un punto fijo próximo al lugar de instalación de la cimentación; así como la puesta en marcha de un sistema de apoyo a la toma de decisiones, que permite visualizar y controlar la marcha del proceso de fondeo;
 - b) hundimiento paulatino y controlado de la cimentación hasta que ésta pierde lentamente la cubierta, quedando en posición de neutra por debajo del agua y posterior fondeo de la misma en una situación de navegabilidad próxima a la neutralidad hasta que alcanza su posición de instalación en el fondo marino;
 - c) lastrado final de la cimentación, inundación de la totalidad de las celdas que incorpora la cimentación y desconexión de las líneas de los remolcadores.
- 2.- Método, según la reivindicación anterior, **caracterizado** por que el llenado de las celdas de la cimentación se realiza de forma paulatina, por grupos de celdas próximas entre sí, de forma controlada a través de un software de control o manualmente, empleándose el mayor o menor llenado de una zona o zonas de la cimentación para conseguir su basculación y con ella controlar la escora y/o el trimado máximo de la estructura durante cada fase del fondeo.
- 3.- Método, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que se controla la tensión de las líneas de tiro de los distintos remolcadores para provocar un desplazamiento y con ello controlar la escora y/o el trimado máximo de la estructura durante cada fase del fondeo.
- 4.- Método, según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que se controla la velocidad y aceleración máxima del hundimiento de la cimentación modificando el caudal de llenado de las celdas de la cimentación con agua de mar.
- 5.- Sistema de fondeo autónomo para cimentaciones (1) de estructuras offshore, que permite controlar de manera automática las distintas fases de la operación de fondeo de cimentaciones de gravedad, alimentado por un generador eléctrico y un compresor, caracterizado por que comprende:
- una serie de sensores (6,8) que miden diversas variables que afectan a la cimentación (1), que consiste en un cajón autoflotante de hormigón, que permiten determinar los movimientos, el grado de llenado de las celdas que conforman la cimentación, así como su posición con respecto al que ha de ser su punto de fondeo definitivo;
- caracterizado** por que así mismo comprende:
- una unidad de control que
 - o recibe las señal de los sensores y de la posición que tiene en todo momento el cajón flotante que conforma la cimentación con respecto al lugar de ubicación;
 - o controla las válvulas (5) y demás medios de llenado y las correcciones necesarias, tanto de dichos medio de llenado,
 - o controla la dirección y tensión con la que los buques remolcadores (2) tiran radialmente de la cimentación a fondear desde al menos 3 direcciones distintas separadas entre sí un ángulo similar; para que la cimentación se hunda paulatinamente por sí sola, hasta quedar depositada en el lecho marino en su posición de instalación definitiva;
 - unos medios de comunicación entre los diversos equipos, que reciben la información de los sensores, de unas estaciones GPS (9) situadas en la cimentación y de una estación de referencia fija GPS (4), situada en un punto fijo próximo al lugar de fondeo de la cimentación, comunicando todos ellos la información con la unidad de control; y
 - una interface de usuario para apoyo a la toma de decisiones y ejecución de diversas órdenes de control a dicha unidad de control, que incluye:
 - o medios de visualización de las variables y el progreso de la operación,

- o un software en el que se implementa la programación de secuencia de acciones de operación y
- o unos medios que permiten la intervención manual sobre la operación.

- 5 6.- Sistema, según la reivindicación 5, **caracterizado** por que los sensores incorporados en las distintas unidades del sistema cumplen las siguientes funciones:
- medir el nivel de lastre en grupos de celdas,
 - medir la presión aire interior en las celdas,
 - medir los giros que se producen,
 - 10 – determinar la posición absoluta de la estructura,
 - determinar la posición relativa de la estructura con respecto a la superficie de posado,
 - medir la oscilación vertical y la respuesta inercial,
 - registrar las aceleraciones y velocidades que experimentan los elementos estructurales,
 - 15 – detectar el contacto de la estructura con el fondo marino, así como los posibles impactos sobre otras estructuras,
 - medir las condiciones locales de forzamiento del medio marino.
- 20 7.- Sistema, según las reivindicaciones 5 y 6, **caracterizado** por que la unidad de control, a través de los elementos que lo integran, dirige y regula las siguientes variables:
- entrada y salida del lastre líquido en los grupos de celdas,
 - presión interior en las celdas,
 - posición horizontal (en planta) de la estructura,
 - control dinámico de trimado y escora (giros),
 - control dinámico del posado de la estructura,
 - 25 – posición relativa con respecto a la superficie de posado (distancia al fondo),
 - oscilación vertical (alteada) y su respuesta inercial,
 - respuesta inercial de los elementos estructurales que transporte o haya sobre ella,
 - posibles impactos sobre otras estructuras, medios marítimos o el fondo,
 - contacto de la estructura con el fondo marino,.
 - 30
- 8.- Sistema, según las reivindicaciones 5 a 7, **caracterizado** por que incorpora los siguientes medios de comunicaciones:
- una unidad de recepción de la información de los sensores, situada en la plataforma emergida de la cimentación,
 - 35 – una unidad inalámbrica (wifi) de intercomunicación entre los buques destinados a centro de mando y la unidad de recepción y control de información de los sensores situada en sobre la cimentación,
 - un sistema UHF de comunicación entre estaciones GPS y la base GPS-RTK (punto referencia fijo).
 - un medio de comunicación entre las unidades de sensorización y control.
 - 40
- 9.- Sistema, según las reivindicaciones 5 a 8, **caracterizado** por que la interfaz de usuario que sirve de apoyo a la toma de decisiones está integrada por los siguientes elementos:
- medios de visualización variables sensoriales y control (estado) y del progreso de cada una las variables de estado de la operación registradas por el subsistema de sensorización y control durante las fases de fondeo,
 - 45 – software en el que se implementa la programación de secuencia de acciones de operación (apertura de válvulas y tensiones en los winches de los buques) y de los umbrales operativos por fases de fondeo, así como la corrección automática de umbrales,
 - medios que permiten la intervención manual sobre la operación,
 - medios de aviso de alarma de superación de umbrales operativos y estado de funcionamiento del sistema,
 - 50 – un medio de verificación de estado para el inicio nueva fase o reinicio tras paradas operativas.





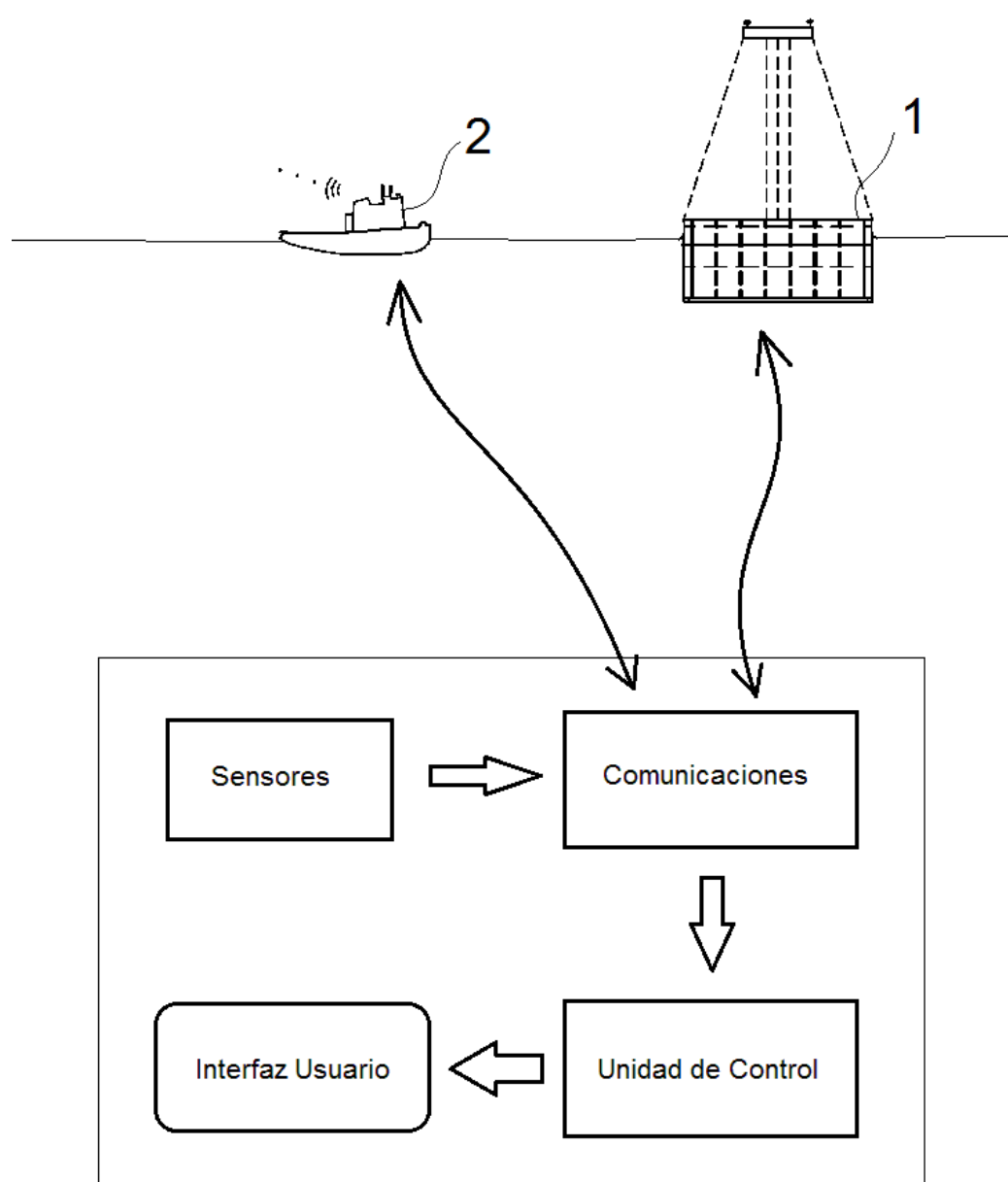


Fig. 4

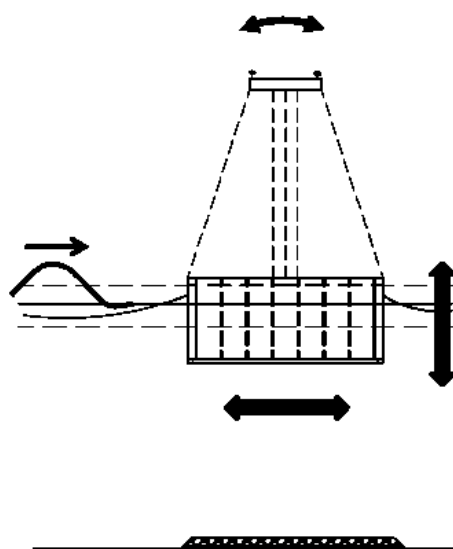


Fig. 5.1

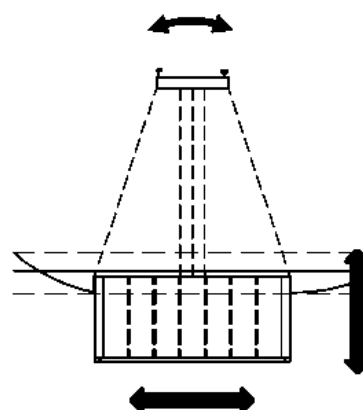


Fig. 5.2

Fig. 5.3

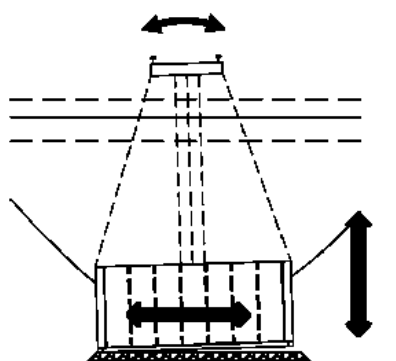
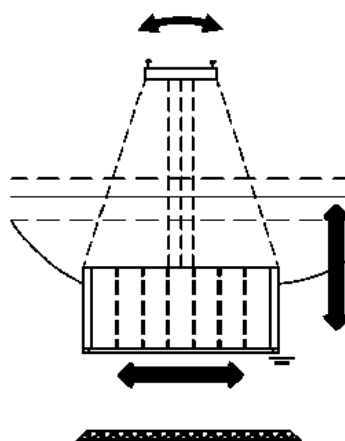


Fig. 5.4

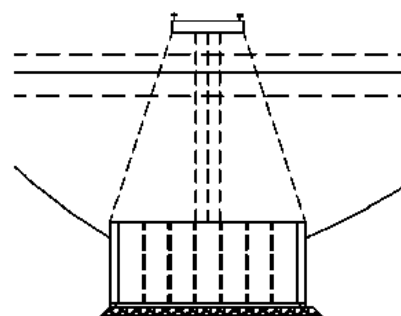


Fig. 5.5