(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
Oficina internacional

(43) Fecha de publicación internacional
19 de diciembre de 2013 (19.12.2013) WIPO | PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2013/186415 A2

(51) Clasificación Internacional de Patentes: Sin clasificar

(21) Número de la solicitud internacional: PCT/ES2013/070376

(22) Fecha de presentación internacional: 11 de junio de 2013 (11.06.2013)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad: P201230916 12 de junio de 2012 (12.06.2012) ES

(71) Solicitante: **CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS** [ES/ES]; Serrano 117, 28006 Madrid (ES).

(72) Inventores: **DESHETLER BRINTON, Dana Mackay**; Consejo Superior De Investigaciones Científicas, Serrano, 117, 28006 Madrid (ES). **GARCÍA CRUZ, Raúl**; Consejo Superior De Investigaciones Científicas, Serrano, 117, 28006 Madrid (ES). **NAVARRO ALMENDROS, Gabriel**; Consejo Superior De Investigaciones Científicas, Serrano, 117, 28006 Madrid (ES). **RUIZ SEGURA, Javier Tomás**; Consejo Superior De Investigaciones Científicas, Serrano, 117, 28006 Madrid (ES).

(74) Mandatario: **ARIAS SANZ, Juan**; ABG Patentes, S.L., Avda. de Burgos 16D, Edificio Euromor, E-28036 Madrid (ES).

(81) Estados designados *(a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados *(a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: FREE-FLOATING SYSTEM AND DEVICE FOR THE DIRECTIONAL CHARACTERISATION OF SURFACE WAVES

(54) Título : SISTEMA Y DISPOSITIVO DE LIBRE FLOTACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DIRECCIONAL DEL OLEAJE SUPERFICIAL

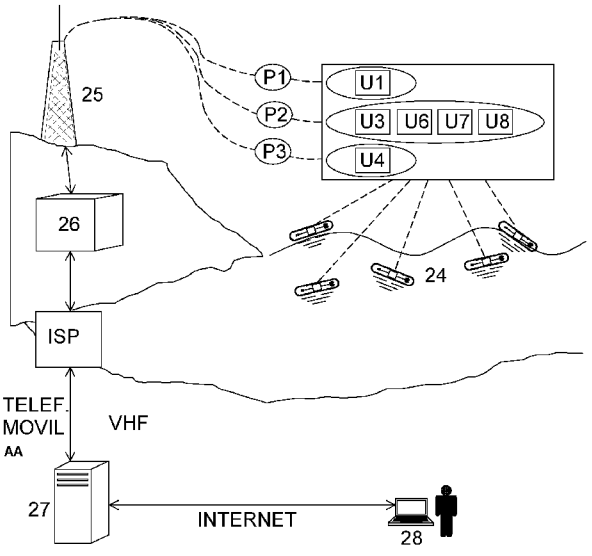


FIG. 6

AA MOBILE TELEPHONY

(57) Abstract: The invention relates to a free-floating device for the directional characterisation of waves, comprising a selection of the following elements: sensors that can measure the earth's acceleration, angular velocity and magnetic field along three orthogonal axes; a GNSS positioning system; an electronic module; a telecommunications module; energy collection and/or storage elements; and a sealed floating container for housing the aforementioned equipment, having an optimised shape so as to follow the slope of the surface of a body of water disturbed by waves. In addition, the information from the sensors and the GNSS positioning system is managed by the electronic module and sent by the telecommunications module to a remote base station. Since the device is not anchored, it can characterise the direction of the surface waves more precisely, with improved operability and in a more economically efficient manner than current systems.

(57) Resumen: La presente invención es un dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje que comprende una selección de los siguientes elementos: sensores capaces

[Continúa en la página siguiente]

WO 2013/186415 A2

Publicada:

— *sin informe de búsqueda internacional, será publicada nuevamente cuando se reciba dicho informe (Regla 48.2(g))*

de medir en tres ejes ortogonales la aceleración, la velocidad angular y el campo magnético de la Tierra, un localizador GNSS, un módulo electrónico,un módulo de telecomunicaciones, elementos de acumulación y/o captación de energía, un recipiente flotante y estanco para contener a los equipos mencionados y con una geometría optimizada para seguir la inclinación de la superficie de una masa de agua que es agitada por las olas. Además se ha previsto que la información proveniente de los sensores y del localizador GNSS sea gestionada por el módulo electrónico y enviada por el módulo de telecomunicaciones a una estación base remota. Al no estar fondeado, caracteriza la direccionalidad del oleaje superficial de forma más precisa, operativa y económicamente eficiente que los sistemas actuales.

SISTEMA Y DISPOSITIVO DE LIBRE FLOTACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DIRECCIONAL DEL OLEAJE SUPERFICIAL

OBJETO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere en primer lugar a un dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje que sigue la inclinación de la superficie de una masa de agua agitada por las olas y en segundo lugar se refiere a un sistema de caracterización direccional del oleaje que hace uso de al menos un dispositivo de libre flotación y una estación base desde la que un usuario lleva a cabo la gestión del citado sistema. Nótese que a lo largo del presente documento cuando se menciona que el dispositivo es de libre flotación, se refiere a que no está fondeado ni fijado o atado a ninguna estructura y que por tanto flota libremente en una masa de agua. El dispositivo descrito en la presente invención contiene una selección de los siguientes elementos: un recipiente flotante y estanco de geometría optimizada para seguir la inclinación de la superficie, un sistema de posicionamiento global (GNSS) para localizar el dispositivo y un módulo de telecomunicaciones para el envío y recepción de comunicaciones con una estación base así como sensores inerciales basados en tecnología MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*) para generar un dispositivo nuevo que realiza la caracterización direccional del oleaje superficial sin estar fondeado ni fijado a ninguna otra estructura. El dispositivo funciona mediante un procedimiento de gestión y operación que permite utilizar remotamente uno o varios de ellos. En comparación con los sistemas que existen en la actualidad, esta combinación de elementos permite una medición de oleaje más precisa y de menor coste así como de más fácil operatividad en zonas muy alejadas o cercanas a la costa.

El ámbito de aplicación de la presente invención se enmarca dentro de las administraciones y entidades privadas con interés en incorporar las características direccionales del oleaje dentro de sus operaciones de análisis del clima marítimo, asimilación del oleaje en modelos operacionales del océano o la atmósfera, predicción marina y avisos de seguridad marítima. Entre ellos se encuentran las autoridades portuarias o las agencias meteorológicas, aquellas que necesitan conocer el oleaje para el diseño de estructuras costeras e incluso las involucradas en operaciones militares en las que operatividad y seguridad dependen del oleaje.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

La reciente solicitud de patente de los Estados Unidos (Teng, US2011/0060525) SYSTEM FOR MONITORING, DETERMINING AND REPORTING DIRECTIONAL SPECTRA OF OCEAN SURFACE WAVES IN NEAR REAL-TIME FROM A MOORED BUOY realiza una exhaustiva revisión de los sistemas existentes para la caracterización del oleaje. Sucintamente, las patentes que existen en la actualidad miden exclusivamente la altura de la ola (Hue, U.S. Pat. No. 4,515,013; Luscombe, U.S. Pat. No. 4,986,121; Harigae, U.S. Pat. No. 6,847,326; Mayberry, Japanese Patent Application 6,014,991) o su periodo (Yamaguchi, Japanese Patent Application 2005,083,998) pero no su direccionalidad. Además de estas limitaciones, estas patentes o solicitudes de patente tienen la restricción (a excepción de Harigae) de que contienen diseños basados en el anclaje al fondo del mar de la plataforma que integra el sistema de medida de oleaje. La solicitud de Teng describe un diseño para caracterizar y transmitir a tierra no sólo la altura o el periodo sino una descripción detallada del espectro direccional de las olas superficiales en el mar. Esta solicitud incluye también la incorporación de sensores inerciales tipo MEMS en la descripción del oleaje.

El principio de funcionamiento de la solicitud de patente de Teng está basado, al igual que en la presente solicitud, en un sistema cuya geometría está optimizada para seguir la inclinación de la superficie de la masa de agua conforme ésta es agitada por las olas. Sin embargo, como el propio título de la solicitud de Teng indica, el conjunto del sistema está basado en una boya anclada al fondo del mar en lugar de tener flotación libre como se describe en la presente invención. Ésta es una característica común a otros documentos de patentes más antiguos que, además de plantear la medida de la dirección de la ola con tecnologías no MEMS, siempre han concebido que el dispositivo debe funcionar anclado al fondo. Es el caso de los documentos de patentes de Yung (FR 2275777 y FR 2355294), Erdely (FR2475747) o Brainard (US Patent 4158306).

El concepto de que el único modelo posible de funcionamiento para las boya de oleaje es el de estar ancladas al fondo del mar persiste incluso en la bibliografía no asociada a patentes. Es el caso de fabricantes que han conseguido reducir el tamaño de los dispositivos de medida pero que identifican inequívocamente en su información

comercial que las boyas están diseñadas para anclarse al fondo del mar. Así ocurre en la información comercial proporcionada por fabricantes de modelos como el Seawatch Mini-Buoy® de Oceanor©, MK® de Envirtech©, Wadibuoy® de Cnexo-Nereides©, Wavescan® de Seawatch©, la boya de Emerald Ocean Engineering© o el prototipo Norwave®. El modelo Triaxis® de la empresa Axys Technology© o el Wave-Track® de Endeco© sugieren en su información comercial que estas boyas pueden eventualmente funcionar sin estar fijadas al fondo del mar. Sin embargo, estas boyas funcionan bajo el principio de caracterizar la direccionalidad del oleaje mediante una geometría que, en lugar de seguir a la inclinación de la superficie como se propone en este invento, sigue a las partículas conforme éstas se mueven en el interior de las olas. El principio de seguir la inclinación de la superficie de la masa de agua conforme ésta es agitada por las olas (*slope-following* en terminología anglosajona), sobre el que se basa esta invención, es más exacto y menos sensible a defectos de fabricación y operación que los sistemas de caracterización direccional del oleaje diseñados para seguir a las partículas conforme éstas se mueven en el interior de las olas (*particle-following* en terminología anglosajona). Documentación no asociada a patentes mencionan sistemas direccionales de libre flotación pero basados en el principio seguir partículas (L. R. LeBlanc y F. H. Middleton; Pitch-Roll Buoy Wave Directional Spectra Analysis; Defense Technical Information Center; Publicado en 1982 con la colaboración de Rhode Island University of Kingston). D. E. Marshall et al. (*A Sonobuoy-Sized Expendable Air-Deployable Directional Wave Sensor*; Páginas 302-315 de Ocean Wave Measurement and Analysis; publicado en 1997) , describen un prototipo con una geometría optimizada para su lanzamiento aéreo pero no optimizada para seguir alguno de los dos principios (*slope-following* o *particle-following*) resultando, como se reconoce en la propia descripción, en medidas de escasa exactitud. Además, estos diseños no están optimizados para seguir funcionando aunque el dispositivo se invierta, un inconveniente común a los dispositivos basados en el principio *slope-following* porque este principio demanda una geometría aplanada que siga a la superficie de la ola con una mínima penetración en la misma.

La caracterización direccional del oleaje marino mediante plataformas ancladas al fondo del mar o atadas a otras estructuras sufre de importantes hándicaps que no están presentes en un dispositivo que flota libremente. Estos hándicaps son especialmente agudos para los sistemas de medida que están basados en seguir la

inclinación de la superficie. El efecto de la línea de fondeo y del viento sobre las importantes superestructuras que suelen tener las boyas fondeadas inhibe los movimientos acimutales en determinadas frecuencias de olas (D. E. Marshall, National Data Buoy Centre Technical Document 96-01; Nondirectional and Directional Wave Data Analysis Procedures; Neptune Sciences, Inc. 150 Cleveland Avenue, Slidell, Louisiana 70458; publicado en 1996). Estos efectos desplazan el espectro cruzado de elevación y pendiente de las olas con ángulos que son dependientes de la frecuencia de oleaje. La correcta caracterización de la direccionalidad del oleaje depende críticamente de estos ángulos (D. E. Marshall, 1996) cuya determinación no es trivial y que introducen incertidumbre en las medidas realizadas mediante boyas ancladas al fondo.

Existen en la literatura científica menciones de medidas realizadas con sistemas no fondeados mediante el principio de seguir la inclinación de la superficie (M. S. Longuet-Higgins et al. "Observations of the directional spectrum of sea waves using the motion of a floating buoy"; Ocean Wave Spectra. pp. 111-136, Prentice-Hall, New York; publicado en 1963; o la publicacion de R. H. Steward "A discus-hulled wave measuring buoy"; Ocean Engng. Vol. 4, pp. 101-107. Publicado por Pergamon Press en el año 1974). Estos intentos históricos no tuvieron continuidad porque la naturaleza, fiabilidad y sensibilidad de los sensores necesarios para caracterizar el espectro direccional de olas superficiales del mar así como su tamaño y coste o los complejos cálculos que son necesarios para transmitir a tierra una selección de parámetros que caracterice este espectro eran simplemente inconcebibles antes de la llegada de la era digital. El coste de los acelerómetros, giroscopios o magnetómetros, de la potencia computacional necesaria para el procesado de estas señales y de la electrónica para transmitir a tierra hacía inconcebible su implementación en un flotador no fondeado cuya probabilidad de pérdida es muy elevada. Sin embargo, la robótica y la industria telefónica han convertido esta electrónica y los sensores inerciales tipo MEMS en un hardware de muy bajo costo, y el uso de un dispositivo no fondeado en un sistema que puede ser económicamente más eficiente así como proporcionar una medida más precisa y de mayor cobertura espacial que las boyas fondeadas a la hora de caracterizar en tiempo real la direccionalidad del oleaje. Existen ya (*off the shelf)* sistemas de posicionamiento inercial generados para diferentes sectores industriales que combinan sensores (acelerómetros, giroscopios y magnetómetros cada uno en tres ejes ortogonales) a un coste muy bajo pero que tienen la frecuencia de medida,

sensibilidad, robustez y fiabilidad suficientes para que, instalados dentro de un flotador que no se fija al fondo del mar, monitoricen toda la información necesaria para la completa caracterización direccional del oleaje en un amplio espectro de frecuencias. Además, esta nueva tecnología MEMS permite implementar, como se describe en esta invención, sistemas que mantienen la misma funcionalidad tanto si funcionan del derecho como del revés. Esta funcionalidad derecha e invertida no era factible con anterioridad a la tecnología MEMS. Dado lo revolucionario que resulta el concepto de integrar estos sistemas inerciales de extremada sofisticación en dispositivos de libre flotación que por su deriva con la corriente podrían tener dificultades de recuperación, no existen ni publicados ni patentados ningún invento con estas características.

La drástica caída de precios que han tenido estos sistemas en los últimos años, al igual que le ha ocurrido a los sistemas de posicionamiento global por GNSS y a la electrónica de telecomunicaciones, hace técnicamente viable y económicamente rentable su uso en dispositivos no fondeadas para la caracterización direccional del oleaje mediante el principio de seguir la inclinación de la superficie de las olas.

Además la presente invención hace uso de una realización particular de una geometría del flotador que minimiza el riesgo de vuelco del dispositivo y del procedimiento de funcionamiento del sistema de caracterización direccional del oleaje, que están descritos en la solicitud de patente española P201130980 “DISPOSITIVO PARA EL SEGUIMIENTO REMOTO DE MASAS DE AGUA Y PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN Y OPERACIÓN REMOTO Y SIMULTÁNEO DE UN CONJUNTO DE DICHOS DISPOSITIVOS” por lo que no son objeto como tal de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención consiste en un dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial mediante el uso de tecnología MEMS y el principio de seguir la inclinación de la superficie de la masa de agua cuando ésta es agitada por las olas. Dicho dispositivo está formado por el flotador estanco y la electrónica que contiene. El flotador estanco puede ser de dos tipos según se minimice la posibilidad de que el dispositivo se invierta o permita que el dispositivo conserve toda su funcionalidad independientemente de que esté invertido o no.

Su funcionalidad presenta una serie de novedades y ventajas con respecto al estado de la técnica actual al combinar una selección de elementos existentes (unidades inerciales MEMS, localizadores GNSS, controladores electrónicos inteligentes, electrónica de telecomunicaciones, elementos de acumulación y captación de energía, flotadores, y procedimientos de gestión y operación) para generar un nuevo dispositivo que, al operar sin necesidad de estar fondeado, caracteriza la direccionalidad del oleaje superficial de forma más precisa, operativa y económicamente eficiente que los sistemas actuales.

Así pues, un primer objeto de la invención es un dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial de una masa de agua. Dicha caracterización se realiza mediante el principio de inclinación de la superficie de las olas, es decir, el dispositivo sigue en todo momento la inclinación de las olas tanto en sus desplazamientos verticales como en la orientación zonal y meridional de su inclinación. El dispositivo comprende un flotador estanco externo dentro del que se sitúa una electrónica del dispositivo, comprendiendo la electrónica al menos:

- al menos un sensor inercial basado en sistemas microelectromecánicos, donde dicho sensor es un magnetómetro que mide el campo magnético de la Tierra en tres ejes ortogonales entre sí;
- un módulo electrónico que adquiere unas variables medidas por el al menos un sensor y que comprende medios de cálculo de un cabeceo, un balanceo y una orientación respecto al norte del dispositivo a partir de las variables adquiridas y medios de cálculo de la caracterización direccional del oleaje a partir del cabeceo, del balanceo y de la orientación respecto al norte calculados y que gestiona unos parámetros de funcionamiento del al menos un sensor, el funcionamiento del dispositivo y unos medios de almacenamiento de energía; y,
- los medios de almacenamiento de energía que alimentan a la electrónica del dispositivo.

En una realización particular de la invención, el dispositivo adicionalmente comprende al menos un sensor inercial basado en sistemas microelectromecánicos seleccionado entre:

- un acelerómetro que mide a lo largo de tres ejes ortogonales entre sí, la aceleración gravitatoria y una aceleración proporcionada por el oleaje al dispositivo;

- un giroscopio que mide sobre tres ejes ortogonales entre sí, una velocidad angular del dispositivo; y,
- una combinación de ambos.

En otra realización particular de la invención, el flotador estanco tiene una geometría que garantiza la no inversión del dispositivo sin aportar un par de adrizamiento excesivo que dificulte que el dispositivo se incline siguiendo la inclinación de las olas, y que al menos comprende:

- un cilindro inferior, abierto en su borde superior, para alojar los módulos de almacenamiento de energía;
- un primer cuerpo tronco-cónico con el extremo de menor diámetro unido al borde superior del cilindro inferior, que comprende al menos tres concavidades en su cara externa;
- un segundo cuerpo tronco-cónico con el extremo de mayor diámetro unido al extremo de mayor diámetro del primer cuerpo tronco-cónico;
- un disco para unir el extremo de mayor diámetro de la primera forma tronco-cónica con el extremo libre de la porción cilíndrica; y,
- un elemento cilíndrico con su extremo superior abombado y unido por su extremo inferior al extremo de menor diámetro de la segunda forma tronco-cónica, donde se aloja la antena GNSS y la antena de telecomunicaciones.

Además los extremos de mayor diámetro del primer y segundo cuerpo troncocónico están unidos mediante la interposición de un cuerpo cilíndrico, siendo el extremo de mayor diámetro del segundo cuerpo tronco-cónico de mayor diámetro que el extremo de mayor diámetro del primer cuerpo tronco-cónico uniéndose ambos extremos mediante un cuerpo anular, y siendo las paredes del elemento cilíndrico al menos un 50% más largas que el diámetro mayor de la parte abombada para alejar las antenas de la línea de flotación de la boya.

En otra realización particular de la invención, el flotador estanco acopla en su parte inferior elementos para proporcionar estabilidad adicional al flotador, estando los elementos seleccionados entre un lastre y un ancla de agua.

En otra realización particular de la invención, el flotador estanco tiene un ratio altura/diámetro inferior a uno y una geometría que tiene una simetría bilateral respecto al plano de flotación seleccionada entre una simetría completa y una simetría

suficiente para garantizar igual funcionamiento del dispositivo en su posición derecha e invertida, una simetría axial respecto al eje central en la dirección que define su altura seleccionada entre una simetría completa y una simetría suficiente como para no introducir desviaciones de medida en la caracterización direccional del oleaje y tener un ratio altura/diámetro inferior a uno. La electrónica del dispositivo se sitúa en la zona central del flotador para maximizar la flotabilidad de la periferia del flotador y minimizar la inercia rotacional respecto a unos ejes paralelos a la superficie de la masa de agua.

En otra realización particular de la invención, el dispositivo, independientemente de la geometría del flotador, integra un localizador de posicionamiento GNSS que determina la posición del dispositivo en cada momento.

En otra realización particular de la invención, independientemente de la geometría del flotador, el dispositivo integra un módulo de telecomunicaciones, gestionado por el módulo electrónico, que comprende medios de comunicación bidireccionales entre el dispositivo y una estación base y medios de gestión y operación remota del dispositivo.

En otra realización particular de la invención, cuando la geometría del flotador garantiza el igual funcionamiento del dispositivo en su posición derecha e invertida, el localizador de posicionamiento GNSS comprende una antena seleccionada entre una antena omnidireccional enfocada hacia uno de los laterales del dispositivo y una antena enfocada hacia cada una de las caras emergida y sumergida del dispositivo, que asegura la recepción de datos GNSS con el dispositivo en su posición derecha e invertida.

En otra realización particular de la invención, cuando la geometría del flotador garantiza el igual funcionamiento del dispositivo en su posición derecha e invertida, el dispositivo integra una antena seleccionada entre una antena omnidireccional enfocada hacia uno de los laterales del dispositivo y una antena enfocada hacia cada una de las caras emergida y sumergida del dispositivo, estando la antena conectada al módulo de telecomunicaciones y que asegura una comunicación bidireccional entre el dispositivo y la estación base con el dispositivo en su posición derecha e invertida.

En otra realización particular de la invención, cuando el flotador estanco tiene una geometría que garantiza la no inversión del dispositivo, dicho flotador integra elementos de captación en energía solar situados en la parte emergida del dispositivo, estando conectados los elementos de captación a los módulos de almacenamiento de energía.

En otra realización particular de la invención, cuando la geometría del flotador garantiza el igual funcionamiento del dispositivo en su posición derecha e invertida, el flotador integra elementos de captación de energía solar situados en las caras emergida y sumergidas del dispositivo para captar energía solar en su posición derecha e invertida, estando conectados los elementos de captación a los módulos de almacenamiento de energía.

En otra realización particular de la invención, cuando la geometría del flotador garantiza el igual funcionamiento del dispositivo en su posición derecha e invertida, el flotador estanco tiene una geometría seleccionada entre:

- cilíndrica con una altura en su parte central seleccionada entre mayor, menor e igual que en su periferia;
- elipsoide con una altura en su parte central seleccionada entre mayor, menor e igual que su periferia;
- al menos un anillo concéntrico con cualquier perfil de sección; y,
- al menos un eje con cualquier perfil de sección que se extiende radialmente desde el centro del dispositivo

En otra realización particular de la invención, el módulo electrónico comprende medios de procesamiento digital de la información recogida de los sensores y en el módulo GNSS para convertirla en parámetros que caracterizan direccionalmente el oleaje en el lugar geográfico donde se encuentra el dispositivo. Además en otra realización, el módulo electrónico comprende medios seleccionados entre medios de encriptación y desencriptación, medios de compresión y descompresión y una combinación de ambos, de parámetros que caracterizan direccionalmente el oleaje para proteger y minimizar la información intercambiada por el módulo de telecomunicaciones a la estación base. Por su parte la estación base deberá comprender los correspondientes medios de encriptación y desencriptación, medios de compresión y descompresión y una combinación de ambos, en cada caso.

Un segundo objeto de la presente invención es un sistema de caracterización direccional del oleaje superficial de masas de agua. Dicho sistema hace uso de los dispositivos de libre flotación anteriormente descritos y comprende al menos un dispositivo de libre flotación de caracterización direccional del oleaje superficial y una estación base de gestión y operación remota. En una realización particular del sistema, la estación base de gestión y operación remota comprende:

- al menos un equipo informático con acceso a Internet y medios de comunicación inalámbricos con el al menos un dispositivo de caracterización direccional del oleaje;
- medios de almacenamiento de información;
- una interfaz de usuario para al menos un operario local y
- al menos un dispositivo electrónico de envío y recepción de notificaciones de al menos un operario remoto; y,
- medios de establecimiento de jerarquías de prioridades que asignan niveles de prioridad a un conjunto de unidades de información básica intercambiadas entre el al menos un dispositivo y la estación base.

Durante el funcionamiento del dispositivo, los sensores inerciales MEMS y el localizador GNSS monitorizan los movimientos del dispositivo mientras éste va siguiendo los cambios de elevación e inclinación de la superficie del mar, provocados por las olas. De esta forma, la monitorización del dispositivo que hacen los sensores y el localizador son un reflejo de las características direccionales del oleaje que, por lo tanto, son registradas para ser transmitidas en tiempo real o descargadas posteriormente por el usuario. El procedimiento de gestión y operación de estos dispositivos permite la posibilidad de un funcionamiento remoto y simultáneo de al menos un dispositivo.

La utilización de un dispositivo de libre flotación no fondeado ofrece numerosas ventajas sobre los sistemas fondeados pertenecientes al estado de la técnica. Algunas de estas ventajas son:

- El dispositivo de libre flotación realiza una medida más precisa de la direccionalidad del oleaje en comparación con los que están fijados a estructuras.

- Los costes de implementación y operación del dispositivo de libre flotación son menores a los dispositivos fijados a estructuras.
- El dispositivo de libre flotación permite la medida direccional de oleaje en zonas no operativas para los dispositivos fondeados o anclados por su cercanía/lejanía a la costa o por su profundidad.
- El dispositivo de libre flotación permite un registro más amplio de la banda de frecuencias del oleaje que los dispositivos fijados a estructuras.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1.- Muestra una vista en alzado de un ejemplo de realización del dispositivo objeto de la presente invención que sigue la elevación e inclinación de la superficie de una ola. En este caso se utiliza un tipo de geometría del flotador que minimiza la posibilidad de que el dispositivo quede invertido.

Figura 2.- Muestra una vista en alzado de otro ejemplo de realización del dispositivo objeto de la presente invención que sigue la elevación e inclinación de la superficie de una ola. En este caso se utiliza la geometría del flotador que mantiene la funcionalidad del dispositivo aunque éste esté invertido.

Figura 3.- Muestra un ejemplo de inversión del dispositivo mostrado en la figura 2 por una ola. Gracias a la simetría bilateral respecto al plano de flotación tanto de la geometría del flotador como de la electrónica que contiene, no existe ninguna diferencia de funcionalidad en el dispositivo antes y después del vuelco.

Figura 4.- Muestra mediante un diagrama de bloques los componentes electrónicos contenidos en un dispositivo en el que se incorporan todos los módulos y elementos que se describen en el texto.

Figura 5.- Ejemplo de realización del funcionamiento remoto de un sistema de caracterización objeto de la presente invención en una zona marina alejada de la costa.

Figura 6.- Ejemplo de realización del funcionamiento remoto de un sistema de caracterización objeto de la presente invención en una zona marina cercana a la costa.

DESCRIPCIÓN DE VARIOS EJEMPLOS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCIÓN

Seguidamente se realizan, con carácter ilustrativo y no limitativo, una descripción de varios ejemplos de realización de la invención, haciendo referencia a la numeración adoptada en las figuras.

La figura 1 muestra la primera de las geometrías. Dicho diseño geométrico del flotador ya ha sido descrito en la solicitud de patente española P201130980 llamada "DISPOSITIVO PARA EL SEGUIMIENTO REMOTO DE MASAS DE AGUA Y PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN Y OPERACIÓN REMOTO Y SIMULTÁNEO DE UN CONJUNTO DE DICHOS DISPOSITIVOS". Esta geometría incorpora la electrónica y las baterías de almacenaje de energía en un hueco inferior (1). Esto permite mantener el centro de gravedad del dispositivo por debajo de la línea de flotación y, por lo tanto, evita su inversión durante su operación en el mar. Igualmente, esta geometría permite estabilizar el dispositivo situando elementos pesados en la parte más inferior de (1) sin necesidad de que la parte sumergida del dispositivo sea grande. De esta forma se fuerza que la inclinación del dispositivo sea por el principio de *slope-following* y no una mezcla de los principios de *slope-following* y *particle-following*. La posición del centro de gravedad y de flotación del dispositivo se optimiza para evitar su inversión sin que el par de adrizamiento sea excesivamente alto y dificulte que el dispositivo escore siguiendo la inclinación de la superficie del mar que proporcionan las olas. El flotador incorpora otra forma de tronco cono invertido y un disco de flotación (2) que proporcionan flotabilidad y cuyo tamaño y forma se optimizan para que el dispositivo siga el movimiento de la superficie de la ola tanto en sus desplazamientos verticales como en la inclinación. Esta geometría permite combinar las necesidades de flotabilidad y de que el dispositivo no se invierta para continuar su operación con la de mantener forma de disco en la línea de flotación. La forma de disco es óptima bajo el principio de *slope-following*, frente a otras formas como por ejemplo una boya esférica, para asemejar el movimiento de un flotador (en elevación e inclinación) a aquel que sufre la superficie del mar por la existencia de olas. Además, frente a otras formas como la esférica, el diseño de flotador de la figura 1 ofrece una mínima superficie emergida (3). Esta reducción de la superficie emergida minimiza la inclinación que la fuerza del viento puede proporcionar al dispositivo. De esta forma se disminuyen las desviaciones que, por acción del viento, pudiera tener el dispositivo en su papel de

seguir los movimientos de las olas en elevación e inclinación. El componente emergido es necesario para incorporar las antenas de telecomunicaciones y GNSS que contiene el dispositivo. El diseño del flotador incluye componentes para anclar elementos en su parte inferior (4). Entre estos elementos se incluye, pero no está limitado a, la posibilidad de incorporar un lastre o un ancla de agua para dar estabilidad adicional al dispositivo. Así mismo, este flotador puede adaptar su superestructura emergida para la incorporación de elementos de captación de energía ambiental. Para la extracción de la energía del oleaje estos elementos pueden acoplarse internamente al flotador, para otras energías como la solar estos elementos pueden acoplarse externamente mediante la geometría contemplada en P201130980 o ligeras modificaciones de la misma.

La figura 2 muestra la segunda de las geometrías. En ella se implementa un diseño en el que el dispositivo cumple toda su funcionalidad independientemente de que esté invertido o no. En esta geometría el flotador (5) tiene simetría axial respecto al eje central en la dirección que define su altura y bilateral respecto del plano de flotación. El flotador tiene un ratio altura/diámetro inferior a uno. De esta forma se minimiza la superficie sumergida y se maximiza que el dispositivo mida según el principio de seguir la inclinación en lugar de las partículas de las olas. Igualmente, este ratio inferior a uno minimiza la exposición al viento de la superficie emergida. En este diseño se sitúa de forma centrada el conjunto de la masa aportada por los componentes electrónicos (6). De esta forma se consigue maximizar la flotabilidad en la periferia del flotador. Acumular flotabilidad en la periferia aumenta el momento de fuerza vertical respecto al centro del dispositivo generado por desvíos en la orientación del plano ecuador del mismo respecto de la superficie del agua. Igualmente, acumular la masa en el centro minimiza la inercia rotacional respecto al giro en ejes paralelos a la línea de flotación. Ambos efectos, incremento del momento de fuerza asociado a la flotabilidad y disminución de la inercia rotacional, hacen que el dispositivo reaccione con rapidez para seguir fielmente la elevación e inclinación de la superficie de la masa de agua cuando es agitada por las olas. Como le ocurre a los catamaranes, esta geometría es muy estable a no volcar pero una vez ha volcado es igualmente estable en posición invertida. Por ello, el diseño debe garantizar su funcionamiento tanto de forma derecha como invertida. La incorporación de sensores MEMS de tres ejes garantiza esa funcionalidad en lo que se refiere a la monitorización del cabeceo, balanceo u orientación respecto al norte del dispositivo. El acelerómetro puede

detectar si el dispositivo está derecho o invertido y operar consecuentemente para proporcionar, independientemente de que esté derecho o invertido, la inclinación zonal y meridional a partir de los datos de cabeceo, balanceo y orientación respecto al norte del dispositivo. Con sensores MEMS de tres ejes no existe diferencia funcional para el dispositivo en la posición de derecho e invertido.

Cuando el dispositivo incorpora un localizador GNSS, la recepción de datos GNSS se garantiza mediante la incorporación de dos antenas (cada una mirando hacia una de las caras del dispositivo) o una antena omnidireccional. Cuando el dispositivo es operado para que transmita datos de oleaje en tiempo real hay que garantizar, además, las comunicaciones. Para ello se sigue el mismo principio que el GNSS y se incorporan o dos antenas mirando hacia arriba y abajo o una antena omnidireccional. En la figura 2 se ejemplifica el funcionamiento de ambas posibilidades, con antena omnidireccional (7) y con doble antena (8). El dispositivo puede utilizar para GNSS y telecomunicaciones combinaciones de dos antenas dobles, dos antenas omnidireccionales o una omnidireccional junto con antena doble (que es la que se muestra a modo de ejemplo en la figura 2). Mediante la combinación de una geometría de flotador con simetría bilateral y axial junto con los sensores MEMS de tres ejes y un sistema de antenas como el descrito se mantienen operativas todas las funcionalidades posibles del dispositivo, independiente que éste esté del derecho o del revés. Cabe mencionar que de esta forma se resuelve uno de los inconvenientes que más frecuentemente se citan para los dispositivos de medida basados en seguir la inclinación de la superficie: la forma de disco que es necesaria en los flotadores que realizan este tipo de medidas es muy proclive a invertirse por acción de las olas. La disposición descrita anteriormente permite que el vuelco del dispositivo no sea un problema sino una forma natural de operación.

Tal como se muestra en la Figura 3 no existe ninguna diferencia de funcionalidad en el equipo si este es volcado por una ola. No existe diferencia de funcionamiento ni en la caracterización direccional del oleaje, ni en el posicionamiento GNSS, ni en las telecomunicaciones independientemente de que el dispositivo se encuentre derecho o invertido respecto a la superficie del mar. Para aplicaciones que requieran la obtención de energía ambiental se pueden alojar elementos en el interior del flotador que extraigan energía del oleaje o paneles solares en ambas caras del dispositivo. El diseño que se muestra en la figura tiene forma de disco con una simetría axial

perfecta. El diseño sería igualmente eficaz para implementar el principio de *slope-following* si se producen desviaciones de la simetría axial (por ejemplo con proyecciones en planta con forma de elipses, polígonos,...) que no son tan grandes como para comprometer la respuesta dinámica del dispositivo en su función de seguir la inclinación de la ola. El diseño es igualmente válido frente a desviaciones de la simetría bilateral con respecto al plano de flotación (porque uno de los lados es mayor o tiene una forma diferente del otro) si éstas no comprometen que el dispositivo mantiene su funcionalidad del derecho y del revés.

Cualquiera de las dos geometrías de flotador contiene una selección de los elementos electrónicos necesarios para que el conjunto del dispositivo desarrolle su función (Figura 4). La reserva de energía (9) puede estar conectada a un elemento generador de energía (10). Puede contener antenas con las que realizar la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas necesarias si se quieren incorporar las funciones de telecomunicaciones y posicionamiento del dispositivo (11). Si se desea incorporar la función de telecomunicación, la o las antenas se conectan al módulo de telecomunicaciones (12) que transmite y recibe las unidades de información básica necesarias en el procedimiento de gestión y operación remoto y simultáneo. El módulo de telecomunicaciones interacciona de forma bidireccional con el módulo electrónico (13). A su vez, este módulo electrónico (13) interactúa con el localizador GNSS (14) y el conjunto de los sensores (15,16,17) que contiene el dispositivo e implementa los diferentes protocolos de operación y comunicación.

Si se desea incorporar la función de localización GNSS, entonces el localizador GNSS (14) permite en todo momento conocer la latitud y longitud en las que se encuentra el dispositivo. Las variaciones de esta longitud y latitud así como las medidas de altitud proporcionadas por el GNSS pueden ser utilizadas por el módulo electrónico (13) en sus procedimientos para la caracterización direccional del oleaje. Los sensores (15,16,17) interactúan bidireccionalmente con el módulo electrónico (13) y son controlados por él. El intervalo durante el cual miden y su frecuencia de muestreo están controlados por el modulo electrónico (13) y hacia él vuelcan sus datos. Estos sensores pueden incluir, sin estar limitados a, un acelerómetro (15) de tres ejes con capacidad de medir la aceleración de origen gravitatorio o la proporcionada por el oleaje al conjunto del dispositivo a lo largo de tres ejes ortogonales entre sí, un giroscopio (16) con capacidad de medir la velocidad angular del dispositivo en el giro

sobre tres ejes ortogonales entre sí y un magnetómetro (17) con capacidad de medir el campo magnético de la Tierra sobre tres ejes ortogonales entre sí. Todos estos sensores están basados en sistemas microelectromecánicos (MEMS) con un coste muy bajo y con la suficiente fiabilidad, precisión, sensibilidad y frecuencia de muestreo como para monitorizar las características direccionales del oleaje superficial.

El modulo electrónico (13) controla el conjunto de la operación de la electrónica interna del dispositivo. Entre las funciones que realiza este módulo electrónico se incluyen, pero no están limitadas a, las siguientes:

- Obtener la posición a partir de los datos obtenidos del localizador GNSS cuando se incorpora esta funcionalidad.
- Obtener los valores de las variables que miden los sensores. Para obtener estos valores el módulo electrónico debe de ser capaz de calibrar cada sensor, cambiar la frecuencia de muestreo de cada sensor, cambiar el tiempo durante el que registran los datos generados por los sensores y, además, controlar la calidad de las medidas de estos sensores así como tomar decisiones en caso de que alguno de ellos tenga anomalías de funcionamiento.
- Los intervalos y frecuencia de medida necesarios para la determinación del régimen direccional de oleaje pueden hacer inviable el enviar esta información en estado bruto a través del modulo de telecomunicaciones (12). Los costes de transmisión podrían ser especialmente elevados y el consumo energético excesivo. El módulo electrónico (13) puede en estos casos estar encargado de realizar el procesado matemático de la información bruta recogida por los sensores (acelerómetro (15), giroscopio (16), magnetómetro (17) y GNSS (14)) para que el dispositivo sólo envíe los parámetros necesarios para la caracterización direccional del oleaje. Estos parámetros pueden incluir, sin estar limitados a, serie temporal de la elevación o de la aceleración vertical de la ola así como de su grado de inclinación respecto al norte y el este, la altura significativa de la ola (H_{mo}), el periodo medio (T_{zero}) o la dirección (α) y periodo (T_{peak}) dominante de las olas así como sus características espectrales tales como la densidad espectral no-direccional de cada frecuencia (C_{11}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones tanto en su componente de *cospectrum* (C_{ij}) como de *quadrature spectrum* (Q_{ij}) para cada frecuencia o los coeficientes direccionales de Fourier para cada frecuencia. También pueden incluir, sin estar limitados a, los valores máximos, mínimos y

la desviación típica de los registros de cabeceo, balanceo y la inclinación total de la unidad, de su orientación respecto al campo magnético de la Tierra y de sus velocidades de giro durante el intervalo de medida. La determinación de los elementos necesarios para la obtención de estos parámetros a partir de los sensores incluidos en el dispositivo se realizará mediante procedimientos y algoritmos de dominio público. El modulo electrónico recoge los datos producidos por los sensores y los transforma en los parámetros a transmitir por el módulo de telecomunicaciones (12) incluyendo su posible codificación para ahorrar costes y energía en las telecomunicaciones.

- Implementar el procedimiento de gestión y operación remoto con la estación base de gestión y operación remota y con los operarios remotos cuando el dispositivo incorpora la funcionalidad de telecomunicaciones. Mediante este procedimiento el módulo electrónico puede enviar y recibir unidades de información básica con el resto de elementos del sistema. Entre los elementos de información básica se encuentran la consulta y confirmación de dispositivo disponible, parámetros periódicos, parámetros de configuración, eventos críticos u otros eventos.
- Cuando el dispositivo incorpora la funcionalidad de telecomunicaciones, ejecutar las operaciones de medida y comunicación de manera simultánea, asignando los recursos necesarios a cada una, para que ninguna de las dos fases altere el funcionamiento de la otra.
- Gestionar el consumo de energía de todos los módulos encendiéndolos sólo los periodos de tiempo en los que son necesarios y pasar a un modo de bajo consumo en los periodos de baja en los que no se requiere actividad.

Por otro lado, cuando el dispositivo incorpora la funcionalidad de telecomunicaciones, el procedimiento de gestión y operación remota y simultánea de un conjunto de dispositivos de libre flotación para la caracterización direccional y remota en tiempo real del oleaje superficial opera de idéntica forma que el procedimiento de gestión y operación remota y simultánea de un conjunto de dispositivos de seguimiento de masas de agua descrito en la solicitud de patente española P201130980, salvo algunas ampliaciones para albergar las nuevas funciones añadidas en el nuevo dispositivo de caracterización del oleaje superficial.

Dicho procedimiento de gestión y operación remota implica el intercambio de información relativa a determinadas características del oleaje (características determinadas por los sensores que incorpora el flotador) y hace uso de una serie de elementos involucrados en el procedimiento que son: al menos un, en este caso, dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, una jerarquía de prioridades previamente establecidas (denominadas P1 a P3) asignadas a unas unidades de información básicas y las unidades de información básica (denominadas U1 a U8) con la asignación de sus prioridades (P1 a P3). Así mismo, el procedimiento detalla el flujo de dichas unidades de información entre los diferentes elementos involucrados, véase, el conjunto de dispositivos de libre flotación y la estación base.

La jerarquía de prioridades de la información intercambiada entre dichos elementos contempla los siguientes tres niveles de prioridad:

- P1: información que debe ser intercambiada entre dos de algunos de los elementos descritos anteriormente, cuya recepción debía ser garantizada en tiempo real.
- P2: información transmitida entre dos de algunos de los elementos descritos anteriormente, cuya recepción debía ser garantizada aunque se permite un lapso de tiempo entre el envío y la recepción de la misma.
- P3: información transmitida por uno de los elementos anteriores, en el que la recepción por parte de otro de dichos elementos podía no estar garantizada, pero de cuya recepción o no, el emisor debía tener constancia para poder decidir volver a enviarla o no con posterioridad.

Las unidades de información básica que se intercambian en el procedimiento descrito son las siguientes:

U1.- si un dispositivo está accesible o no por parte del centro de operación.

U2.- petición del conjunto de parámetros registrado por alguno de los dispositivos.

U3.- respuesta a una petición de tipo U2, conteniendo el conjunto de parámetros registrado por el dispositivo en cuestión.

U4.- conjunto de parámetros registrados por los dispositivos que se envían de manera periódica al centro de gestión y operación remotas, conforme a una cadencia previamente establecida por el operario local de dicho centro.

U5.- peticiones de cambio de configuración de los dispositivos de seguimiento

U6.- confirmación o no de un cambio de configuración por parte de los dispositivos

El procedimiento identifica unas unidades de información básica especiales, generadas en los dispositivos y denominadas eventos, que responden a la detección de cambios de estado en su funcionamiento y que pueden afectar a la operatividad de los mismos y/o suponer un cambio importante en el funcionamiento de los mismos y/o en la información que generan. Son las únicas unidades de información que, opcionalmente, pueden ser reenviadas al conjunto adicional de operarios y/o supervisores. Atendiendo a su prioridad se dividen en dos grupos:

U7.- eventos críticos generados en los dispositivos, que informan de cambios de estado o de funcionamiento de gran relevancia para la gestión y operación de los dispositivos que los han generado

U8.- otros eventos generados en los dispositivos , que informan de cambios en su estado o de su funcionamiento que es importante que sean conocidos por el operario local para realizar una operación y gestión eficiente del procedimiento

Nótese que el procedimiento de gestión de los elementos que comprende el sistema de caracterización del oleaje superficial objeto de la presente invención, se ha previsto que sea, en una realización particular de la invención, el procedimiento descrito en la solicitud de patentes española P201130980, siendo la información transmitida por los dispositivos que siguen la masa de agua, la que corresponde con la obtenida de la caracterización del citado oleaje superficial. Sin embargo otros procedimientos de gestión del sistema no mencionados en el presente documento serían perfectamente válidos.

Debido a las diferencias entre la electrónica interna de la presente invención y la invención descrita en la solicitud española P201130980, se han previsto, para la realización particular mencionadas, las ampliaciones siguientes en el procedimiento:

- Ampliar los parámetros solicitados por el centro de gestión y operación remoto (estación base en la presente invención) para que incluyan las variables generadas por el localizador GNSS, temperatura interior del dispositivo de libre flotación, nivel de alimentación del dispositivo, serie temporal de la elevación o de la aceleración vertical de la ola así como de su grado de inclinación respecto al norte y el este, dirección dominante del oleaje (α), periodo dominante del oleaje (T_{peak}), altura significativa (H_{mo}), periodo medio del oleaje (T_{zero}), densidad espectral no direccional de cada frecuencia del oleaje (C_{11}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones en sus componentes coespectrales para cada frecuencia (C_{ij}), coeficientes del espectro cruzado de

altura e inclinaciones en sus componentes espectrales en cuadratura para cada frecuencia (Q_{ij}), coeficientes direccionales de Fourier para cada frecuencia, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del cabeceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del balanceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la inclinación del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la orientación con respecto al campo magnético de la tierra durante el tiempo de integración y una combinación de los mismos.

- Ampliar los parámetros enviados periódicamente por al menos un dispositivo descrito en la solicitud de patente P201130980 para que incluyan las variables generadas por el localizador GNSS, temperatura interior del dispositivo del oleaje superficial, nivel de alimentación del dispositivo, serie temporal de la elevación o de la aceleración vertical de la ola así como de su grado de inclinación respecto al norte y el este, dirección dominante del oleaje (α), periodo dominante del oleaje (T_{peak}), altura significativa (H_{mo}), periodo medio del oleaje (T_{zero}), densidad espectral no direccional de cada frecuencia del oleaje (C_{11}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones en sus componentes coespectrales para cada frecuencia(C_{ij}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones en sus componentes espectrales en cuadratura para cada frecuencia(Q_{ij}), coeficientes direccionales de Fourier para cada frecuencia, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del cabeceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del balanceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la inclinación del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la orientación con respecto al campo magnético de la tierra durante el tiempo de integración y una combinación de los mismos.
- Ampliar la lista de peticiones de cambio de configuración del dispositivo descritas en la solicitud de patente P201130980 para que la petición de configuración del dispositivo comprenda ser una petición seleccionada entre:
  - una petición de cambio de configuración de los valores de calibración de los sensores que son necesarios para la caracterización direccional del oleaje superficial.

- una petición de cambio de configuración de una cadencia de registro de unas variables generadas por el localizador GNSS;
- una petición de cambio de configuración de una cadencia de registro de la temperatura interna del dispositivo;
- una petición de cambio de configuración de una cadencia de registro de las variables generadas por los sensores que son necesarios para la caracterización direccional del oleaje superficial;
- una petición de cambio de configuración de una cadencia de registro de variables intermedias necesarias para la caracterización del oleaje direccional superficial obtenidas de las series de valores registrados de los sensores;
- una petición de cambio de configuración de una cadencia de registro de de la elevación o de la aceleración vertical de la ola así como de su grado de inclinación respecto al norte y el este, dirección dominante del oleaje (α), periodo dominante del oleaje (T_{peak}), altura significativa (H_{mo}), periodo medio del oleaje (T_{zero}), densidad espectral no direccional de cada frecuencia del oleaje (C_{11}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones en sus componentes coespectrales para cada frecuencia(C_{ij}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones en sus componentes espectrales en cuadratura para cada frecuencia(Q_{ij}), coeficientes direccionales de Fourier para cada frecuencia, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del cabeceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del balanceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la inclinación del dispositivo durante el tiempo de integración y valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la orientación con respecto al campo magnético de la tierra durante el tiempo de integración;
- una petición de cambio de configuración de una cadencia del envío de los parámetros enviados periódicamente por al menos un dispositivo que requieren un menor proceso matemático seleccionados entre variables generadas por el localizador GNSS, temperatura interior del dispositivo, un nivel de alimentación del dispositivo y una combinación de los mismos;
- una petición de cambio de configuración de una cadencia del envío de los parámetros enviados periódicamente por al menos un dispositivo que requieren un mayor procesado matemático seleccionados entre serie

temporal de la elevación o de la aceleración vertical de la ola así como de su grado de inclinación respecto al norte y el este, dirección dominante del oleaje (α), periodo dominante del oleaje (T_{peak}), altura significativa (H_{mo}), periodo medio del oleaje (T_{zero}), densidad espectral no direccional de cada frecuencia del oleaje (C_{11}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones en sus componentes coespectrales para cada frecuencia(C_{ij}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones en sus componentes espectrales en cuadratura para cada frecuencia (Q_{ij}), coeficientes direccionales de Fourier para cada frecuencia, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del cabeceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del balanceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la inclinación del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la orientación con respecto al campo magnético de la tierra durante el tiempo de integración y una combinación de los mismos;

- una petición de cambio de configuración de un umbral medio de temperatura del interior del dispositivo;
- una petición de cambio de configuración de un contorno cerrado para delimitar una zona geográfica de interés cuando el dispositivo sale de la zona geográfica;
- una petición de cambio de configuración de un contorno cerrado para delimitar una zona geográfica de interés cuando el dispositivo entra en la zona geográfica; y,
- una combinación de las anteriores.

- Ampliar la lista de peticiones de cambio de configuración del dispositivo descrita en la solicitud de patente P201130980 para que la petición de configuración del dispositivo comprenda ser una petición seleccionada entre:
  - una petición de cambio de configuración de los valores de calibración de los sensores que son necesarios para la caracterización direccional del oleaje superficial.
  - una petición de cambio de configuración de una cadencia de registro de unas variables generadas por el localizador GNSS;
  - una petición de cambio de configuración de una cadencia de registro de la temperatura interna del dispositivo;

- una petición de cambio de configuración de una cadencia de registro de las variables generadas por los sensores que son necesarios para la caracterización direccional del oleaje superficial;
- una petición de cambio de configuración de una cadencia de registro de variables intermedias necesarias para la caracterización del oleaje direccional superficial obtenidas de las series de valores registrados de los sensores;
- una petición de cambio de configuración de una cadencia de registro de serie temporal de la elevación o de la aceleración vertical de la ola así como de su grado de inclinación respecto al norte y el este, dirección dominante del oleaje (α), periodo dominante del oleaje (T_{peak}), altura significativa (H_{mo}), periodo medio del oleaje (T_{zero}), densidad espectral no direccional de cada frecuencia del oleaje (C_{11}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones en sus componentes coespectrales para cada frecuencia(C_{ij}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones en sus componentes espectrales en cuadratura para cada frecuencia (Q_{ij}), coeficientes direccionales de Fourier para cada frecuencia, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del cabeceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del balanceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la inclinación del dispositivo durante el tiempo de integración y valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la orientación con respecto al campo magnético de la tierra durante el tiempo de integración;
- una petición de cambio de configuración de una cadencia del envío de los parámetros enviados periódicamente por al menos un dispositivo que requieren un menor proceso matemático seleccionados entre variables generadas por el localizador GNSS, temperatura interior del dispositivo, un nivel de alimentación del dispositivo y una combinación de los mismos;
- una petición de cambio de configuración de una cadencia del envío de los parámetros enviados periódicamente por al menos un dispositivo que requieren un mayor procesado matemático seleccionados entre serie temporal de la elevación o de la aceleración vertical de la ola así como de su grado de inclinación respecto al norte y el este, dirección dominante del oleaje (α), periodo dominante del oleaje (T_{peak}), altura significativa (H_{mo}),

periodo medio del oleaje (T_{zero}), densidad espectral no direccional de cada frecuencia del oleaje (C_{11}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones en sus componentes coespectrales para cada frecuencia(C_{ij}), coeficientes del espectro cruzado de altura e inclinaciones en sus componentes espectrales en cuadratura para cada frecuencia (Q_{ij}), coeficientes direccionales de Fourier para cada frecuencia, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del cabeceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica del balanceo del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la inclinación del dispositivo durante el tiempo de integración, valor máximo, mínimo, medio y desviación típica de la orientación con respecto al campo magnético de la tierra durante el tiempo de integración y una combinación de los mismos;

- una petición de cambio de configuración de un umbral medio de temperatura del interior del dispositivo;
- una petición de cambio de configuración de un contorno cerrado para delimitar una zona geográfica de interés cuando el dispositivo sale de la zona geográfica;
- una petición de cambio de configuración de un contorno cerrado para delimitar una zona geográfica de interés cuando el dispositivo entra en la zona geográfica; y,
- una combinación de las anteriores.

El procedimiento puede incluir la compresión y/o encriptación previa de unidades de información básicas antes de ser enviadas para su posterior descompresión y/o des-encriptación después de la recepción de dichas unidades de información básica. Esta inclusión permite minimizar el tamaño de dichas unidades de información básica y/o mantener su privacidad. También puede incluir que las unidades de información básica puedan ser enviadas y recibidas directamente o previa compresión por el emisor y posterior descompresión por el receptor o previa compresión y encriptación por el emisor y descompresión y des-encriptación por el receptor.

La figura 5 muestra un ejemplo concreto de realización en el que se implementan dispositivos de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje en una zona marina muy alejada de la costa y profunda que, por lo tanto, resulta inoperativa para

los dispositivos actuales que se fijan al fondo del mar. En este ejemplo de realización se utiliza la geometría que minimiza la posibilidad de inversión del dispositivo. Los flotadores (18) llevan incorporados paneles solares. La incorporación de paneles solares les permite captar energía para tener una larga vida de operación. El dispositivo integra en un flotador no fondeado y de la geometría adecuada la electrónica necesaria para su operación, incluyendo la de telecomunicaciones, control, alimentación y medida. Puesto que la zona está muy alejada de la costa puede ser más rentable no utilizar un barco *ad hoc* para el lanzamiento de los dispositivos por los enormes costes que esto implicaría. En su lugar pueden ser lanzados desde vehículos no especializados en operaciones de fondeo marino como por ejemplo una avioneta. En otra realización se podría utilizar un barco de pasajeros, en otra un buque de transporte de mercancías y en otra un buque de náutica deportiva. Una vez en el agua, el localizador GNSS de cada unidad identifica su posición y, junto a los sensores inerciales, monitoriza el oleaje. El módulo electrónico procesa esta información para ser transmitida junto con otra información auxiliar sobre el funcionamiento del dispositivo. El módulo de telecomunicaciones transmite esa información vía satélite (19) pues la lejanía de la costa impide, por ejemplo, el uso de la red de telefonía móvil. En este ejemplo se identifica la red Iridium pero en otra realización podrían utilizar otras redes como Globalstar u Orbcomm y en otra realización utilizar telecomunicaciones de radio en frecuencias VHF, MF o HF. Desde las antenas receptoras en tierra (20) esa información se hace disponible a una estación base (21) y finalmente a un servidor (22) a través de internet vía un *Internet Service Provider* (ISP) si procede. Este servidor puede a su vez mandar órdenes de gestión y operación hacia los dispositivos vía la estación base, las antenas y los satélites. Este servidor u otro elemento computacional pueden continuar el procesado de la información para distribuirla a las agencias interesadas en las características del oleaje en el mar (23). Entre ellas se encuentran las encargadas de proporcionar las predicciones meteorológicas que son elementos claves en la seguridad marítima y la prevención de accidentes. Las telecomunicaciones entre los dispositivos y el servidor están regidas por un protocolo bidireccional que permite gestionar remotamente el conjunto del sistema, modificar las características de medida de los sensores y reaccionar frente a eventos que puedan poner en peligro el funcionamiento de las unidades. Nótese que el procedimiento empleado en el intercambio de información entre los dispositivos de libre flotación y la estación base es el correspondiente al descrito en la solicitud de patente española P201130980 pero con las modificaciones mencionadas

anteriormente. Estas modificaciones, que son principalmente peticiones de parámetros solicitados por la estación base, parámetros enviados periódicamente por el dispositivo de libre flotación y peticiones de cambio de configuración del dispositivo de libre flotación, son unidades de información básica de tipo U4 (conjunto de parámetros registrados por los dispositivos que se envían de manera periódica al centro de gestión y operación remotas, conforme a una cadencia previamente establecida por el operario local de la estación base) con prioridad de tipo P3 (información transmitida por los dispositivos o la estación, en el que la recepción por parte de otro de dichos elementos podía no estar garantizada, pero de cuya recepción o no, el emisor debía tener constancia para poder decidir volver a enviarla o no con posterioridad). Las unidades de información básica U1a U3 y U5 a U7 se corresponden con las descritas en la solicitud de patente española P201130980.

En otro ejemplo de realización se implementan dispositivos de igual manera a la contemplada en la Figura 5 pero se utiliza la segunda de las geometrías que mantiene su funcionalidad tanto del derecho como del revés. Para ello se implementa una geometría de flotador similar a (5) en lugar de a (18), utilizando un diseño en forma de disco con paneles solares en ambas caras.

La figura 6 muestra otro ejemplo concreto de realización. En este caso para una zona que por estar cercana a la costa permite el lanzamiento de dispositivos desde una simple lancha neumática. El bajo coste y la facilidad de implementación permiten obtener información sobre las características direccionales del oleaje resolviendo la estructura espacial mediante una red de dispositivos (24). En este ejemplo de realización se utiliza la geometría que mantiene su funcionalidad tanto del derecho como del revés. El dispositivo monitoriza, procesa y transmite las características direccionales del oleaje vía antenas en tierra (25) para telefonía móvil o VHF. Desde las antenas receptoras en tierra esa información se hace disponible a una estación base (26) y finalmente a un servidor (27) a través de internet. Este servidor puede a su vez mandar órdenes de gestión y operación hacia los dispositivos vía la estación base. Este servidor u otro elemento computacional pueden continuar el procesado de la información para ayudar, por ejemplo, en la planificación de obras de ingeniería de costas (28). Nuevamente el procedimiento empleado en el intercambio de información entre los dispositivos de libre flotación y la estación base en este ejemplo de realización es el correspondiente al descrito en la solicitud de patente española P201130980 pero con las modificaciones mencionadas anteriormente.

En otro ejemplo de realización se implementan dispositivos de igual manera a la contemplada en la Figura 6 pero se utiliza la primera de las geometrías que minimiza la posibilidad de inversión del dispositivo.

En otro ejemplo de realización se implementan dispositivos con cualquiera de las dos geometrías posibles pero no se incorpora la funcionalidad de telecomunicaciones. En este caso el dispositivo es operado durante un tiempo en la masa de agua, el modulo electrónico almacena los registros en una memoria interna y, al final de la operación, el usuario recoge el dispositivo para descargar la información directamente de él (mediante un puerto USB o sistemas inalámbricos como Wi-Fi o Bluetooth). En este caso el operario, además de descargar la información directamente, debe poder localizar fácilmente el dispositivo al final del muestreo. Para ello se le podrían incorporar al dispositivo señales luminosas tipo leds y/o acústicas. En otro ejemplo de realización el dispositivo prescinde de la funcionalidad de telecomunicaciones y de la del localizador GNSS

En otro ejemplo de realización la información proporcionada por una red de dispositivos no fondeados como la descrita en los ejemplos de las figuras 5 y 6 es utilizada como sustituto de los sistemas de observación del oleaje basados en dispositivos fondeados que rutinariamente operan los países con litoral para la seguridad marítima en sus aguas, utilizando para ello telecomunicaciones vía antenas terrestres o satélites según sea necesario y/o conveniente.

Las ventajas de esta invención sobre los sistemas de caracterización direccional del oleaje mediante el principio de inclinación de la superficie que existen en la actualidad vienen derivadas del uso de tecnología MEMS integrada en geometrías optimizadas para funcionar sin que el dispositivo esté anclado al fondo marino o fijado a otras estructuras. Los sistemas existentes para la medida direccional del oleaje mediante el principio de seguir la inclinación de la superficie o no utilizan tecnología MEMS o están fundamentados sobre el concepto de que el dispositivo debe estar fijado al fondo o a otras estructuras. El concepto de que el dispositivo debe estar fijado es natural frente al elevado coste que hasta hace poco han tenido los sensores inerciales, los localizadores GPS y la tecnología de telecomunicaciones. Sin embargo, la drástica caída de precios que han tenido estos componentes electrónicos y su robustez abren un nuevo escenario que hace técnica y económicamente rentable el invento que se propone, y que le confieren numerosas e importantes ventajas sobre la tecnología existente. Algunas de estas ventajas se exponen a continuación:

- La caracterización direccional del oleaje es más exacta como consecuencia de tres ventajas de los sistemas de libre flotación frente a los fijados. Por un lado los dispositivos fijos tienen una línea de fijación que resulta necesaria para mantener el sistema fijado a la estructura correspondiente. Esta línea de fijación incluye, entre otros, las cadenas y los elementos de lastre y/o acoplo. En su conjunto, esta línea supone un elemento que interacciona con el movimiento de la boya y la desvía de su función de seguir fielmente la superficie del mar cuando ésta se ve alterada en elevación e inclinación por el efecto de las olas. Además, la acción del viento combinada con la fijación proporciona una tendencia a orientar las boyas fondeadas respecto al viento (como una veleta). Este efecto también introduce distorsiones en la función que tiene el flotador para seguir de forma precisa la elevación e inclinación del mar. Por último, la existencia de corrientes marinas fuerza una inclinación sin origen en las olas a los flotadores en forma de disco (necesarios para medir mediante el principio de inclinación) que son fijados, por lo tanto introduciendo artefactos en la caracterización direccional del oleaje.
- Un dispositivo de libre flotación que funciona mediante el principio de seguir la inclinación puede diseñarse para cumplir toda su funcionalidad del derecho y del revés (Figuras 2 y 3). De esta forma se evita uno de los mayores inconvenientes que tradicionalmente han tenido los equipos de medida mediante el principio de seguir la inclinación de la ola: la posibilidad de que el conjunto del dispositivo se de la vuelta.
- Un dispositivo de libre flotación es más barato que otro diseñado para su fondeo. La caída drástica en el precio de los sensores inerciales MEMS hace que ésta sea en la actualidad una parte mínima del coste necesario para la caracterización direccional del oleaje. Los dispositivos de libre flotación no demandan flotadores tan complejos y resistentes ni los costosos elementos de fondeo que son necesarios en los sistemas que se anclan al fondo.
- Los costes globales de operación son menores. La gran reducción de costes que supone utilizar un dispositivo de libre flotación implica también que están ausentes los costes de mantenimiento que gravan a los sistemas anclados al fondo o fijos a otras estructuras. El dispositivo de libre flotación tiene un coste que hace económicamente eficiente una estrategia en la que éste es liberado en el mar y cumple toda su vida en él, asumiendo que al final se pierde y, por tanto, sin necesidad de mantenimiento posterior. Al contrario que los sistemas fondeados o fijados a estructuras, esta estrategia elimina la necesidad de hacer uso de tiempo

de barco, con el elevado coste que esto implica, para acceder al dispositivo y realizar su mantenimiento. A modo de ejemplo se puede mencionar que el tiempo de un día de barco con capacidad de realizar este mantenimiento está entre los miles y las decenas de miles de euros mientras que el coste de mercado de los MEMS está en la actualidad en las decenas de euros.

- Al no necesitar estar fijados y no necesitar mantenimiento, el dispositivo de libre flotación puede ser implementado en zonas que en la actualidad no son accesibles mediante sistemas fondeados. Esta circunstancia se da en las zonas centrales de los grandes océanos que demandan medidas *in situ* con las que alimentar los modelos operacionales para predicción meteorológica y de seguridad marítima. Estas medidas no son operacionales mediante sistemas fondeados por las enormes dificultades para fijar la plataforma de medida a un fondo profundo y porque los artefactos de una larga línea de fondeo pueden distorsionar las medidas del oleaje. Además, los costes de barco que implica el mantenimiento de estaciones de medida a varios cientos de millas náuticas de la costa son prohibitivos. Todos estos inconvenientes están ausentes en los dispositivos de medida de libre flotación como el que se presenta en esta patente. Estas zonas alejadas del océano u otras de difícil navegación como las polares pueden ser sembradas con este dispositivo de libre flotación y simplificar enormemente la medida de oleaje en ellas.
- Los costes de implementación del dispositivo no fondeado se reducen. Su pequeño tamaño y la robustez de los MEMS hacen viable su lanzamiento desde aeronaves o desde buques comerciales de carga o pasajeros, no es necesario un buque especializado y con capacidad de realizar maniobras de fondeo y mantenimiento.
- Su pequeño tamaño también hace viable su utilización en zonas muy cercanas a la costa donde a menudo resulta necesario conocer las características direccionales del oleaje para operaciones de ingeniería o prevención sin que sea operativo, por su propia cercanía a la costa, utilizar sistemas fondeados. Por su pequeño tamaño, las embarcaciones tipo neumáticas son más que suficientes para transportar un número elevado de estos dispositivos en operaciones muy cercanas a la costa.
- El pequeño tamaño de estos dispositivos también permite incrementar la banda de frecuencias de olas que caracterizan. La monitorización de la energía de las olas contenida en las frecuencias más altas está limitada por las dimensiones físicas

del equipo. Al ser los dispositivos no fondeados de un tamaño inferior a los fondeados, pueden monitorizar frecuencias mayores.

- El bajo coste de cada dispositivo de libre flotación permite la posibilidad de sembrar de dispositivos una zona determinada del mar. El protocolo que las controla, permite gestionar esa red de dispositivos para realizar una caracterización del oleaje con mayor resolución espacial que la que, en la actualidad, son capaces de conseguir los sistemas fijos.
- Un dispositivo de libre flotación pueden funcionar también como trazador lagrangiano de la corriente por lo que puede realizar una monitorización conjunta de corriente y oleaje, una combinación para la cual no existe ningún equipo comercial en la actualidad.

REIVINDICACIONES

1.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial de una masa de agua, realizándose la caracterización direccional del oleaje mediante el principio de inclinación de la superficie de las olas, que comprende un flotador estanco externo dentro del que se sitúa una electrónica del dispositivo, caracterizado porque el dispositivo comprende al menos,

- al menos un sensor inercial basado en sistemas microelectromecánicos, donde dicho sensor es un magnetómetro que mide el campo magnético de la Tierra en tres ejes ortogonales entre sí.
- un módulo electrónico que adquiere unas variables medidas por el al menos un sensor y que comprende medios de cálculo de un cabeceo, un balanceo y una orientación respecto al norte del dispositivo a partir de las variables adquiridas y medios de cálculo de la caracterización direccional del oleaje a partir del cabeceo, del balanceo y de la orientación respecto al norte calculados y que gestiona unos parámetros de funcionamiento del al menos un sensor, el funcionamiento del dispositivo y unos medios de almacenamiento de energía; y,
- los medios de almacenamiento de energía que alimentan a la electrónica del dispositivo.

2.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial de una masa de agua, según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende al menos un sensor inercial basado en sistemas microelectromecánicos seleccionado entre:

- un acelerómetro que mide a lo largo de tres ejes ortogonales entre sí, la aceleración gravitatoria y una aceleración proporcionada por el oleaje al dispositivo;
- un giroscopio que mide sobre tres ejes ortogonales entre sí, una velocidad angular del dispositivo; y,
- una combinación de ambos.

3.-Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque el flotador estanco tiene una geometría que garantiza la no inversión del dispositivo sin aportar un par de

adrizamiento excesivo que dificulte que el dispositivo se incline siguiendo la inclinación de las olas, y que al menos comprende:

- un cilindro inferior, abierto en su borde superior, para alojar los módulos de almacenamiento de energía;
- un primer cuerpo tronco-cónico con el extremo de menor diámetro unido al borde superior del cilindro inferior, que comprende al menos tres concavidades en su cara externa;
- un segundo cuerpo tronco-cónico con el extremo de mayor diámetro unido al extremo de mayor diámetro del primer cuerpo tronco-cónico;
- un disco para unir el extremo de mayor diámetro de la primera forma tronco-cónica con el extremo libre de la porción cilíndrica ; y,
- un elemento cilíndrico con su extremo superior abombado y unido por su extremo inferior al extremo de menor diámetro de la segunda forma tronco-cónica, donde se aloja la antena GNSS y la antena de telecomunicaciones;

estando unidos los extremos de mayor diámetro del primer y segundo cuerpo troncocónico mediante la interposición de un cuerpo cilíndrico, siendo el extremo de mayor diámetro del segundo cuerpo tronco-cónico de mayor diámetro que el extremo de mayor diámetro del primer cuerpo tronco-cónico uniéndose ambos extremos mediante un cuerpo anular, y siendo las paredes del elemento cilíndrico al menos un 50% más largas que el diámetro mayor de la parte abombada para alejar las antenas de la línea de flotación de la boya.

4.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según la reivindicación 3, caracterizado porque el flotador estanco acopla en su parte inferior elementos para proporcionar estabilidad adicional al flotador, estando los elementos seleccionados entre un lastre y un ancla de agua.

5.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque el flotador estanco tiene una geometría que al menos comprende,

- tener una simetría bilateral respecto al plano de flotación seleccionada entre una simetría completa y una simetría suficiente para garantizar igual funcionamiento del dispositivo en su posición derecha e invertida;
- tener una simetría axial respecto a un eje central en una dirección que define su altura seleccionada entre una simetría completa y una simetría suficiente como

para no introducir desviaciones de medida en la caracterización direccional del oleaje; y,

- tener un ratio altura/diámetro inferior a uno,

estando la electrónica del dispositivo situada en la zona central del flotador para maximizar la flotabilidad de la periferia del flotador y minimizar la inercia rotacional respecto a unos ejes paralelos a la superficie de la masa de agua.

6.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según una cualquiera de las reivindicaciones 3 y 4, caracterizado porque comprende un localizador de posicionamiento GNSS que determina la posición del dispositivo.

7.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según la reivindicación 5, caracterizado porque comprende un localizador de posicionamiento GNSS que determina la posición del dispositivo.

8.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según una cualquiera de las reivindicaciones 3, 4 y 6, caracterizado porque comprende un módulo de telecomunicaciones, gestionado por el módulo electrónico, que comprende medios de comunicación bidireccionales entre el dispositivo y una estación base y medios de gestión y operación remota del dispositivo.

9.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según una cualquiera de las reivindicaciones 5 y 7, caracterizado porque comprende un módulo de telecomunicaciones, gestionado por el módulo electrónico, que comprende medios de comunicación bidireccionales entre el dispositivo y una estación base y medios de gestión y operación remota del dispositivo.

10.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según la reivindicación 7, caracterizado porque el localizador de posicionamiento GNSS comprende una antena seleccionada entre una antena omnidireccional enfocada hacia uno de los laterales del dispositivo y una antena enfocada hacia cada una de las caras emergida y sumergida del dispositivo, que asegura la recepción de datos GNSS con el dispositivo en su posición derecha e invertida.

11.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según la reivindicación 9, caracterizado porque comprende una antena seleccionada entre una antena omnidireccional enfocada hacia uno de los laterales del dispositivo y una antena enfocada hacia cada una de las caras emergida y sumergida del dispositivo, estando la antena conectada al módulo de telecomunicaciones y que asegura una comunicación bidireccional entre el dispositivo y la estación base con el dispositivo en su posición derecha e invertida.

12.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según una cualquiera de las reivindicaciones 3, 4, 6 y 8, caracterizado porque el flotador integra elementos de captación de energía solar situados en la parte emergida del dispositivo, estando conectados los elementos de captación a los módulos de almacenamiento de energía.

13.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según una cualquiera de las reivindicaciones 5, 7, 9, 10 y 11, caracterizado porque el flotador integra elementos de captación de energía solar situados en las caras emergida y sumergidas del dispositivo para captar energía solar en su posición derecha e invertida, estando conectados los elementos de captación a los módulos de almacenamiento de energía.

14.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según una cualquiera de las reivindicaciones 5, 7, 9, 10,, 11 y 13, caracterizado porque el flotador estanco tiene una geometría seleccionada entre:

- cilíndrica con una altura en su parte central seleccionada entre mayor, menor e igual que en su periferia;
- elipsoide con una altura en su parte central seleccionada entre mayor, menor e igual que su periferia;
- al menos un anillo concéntrico con cualquier perfil de sección; y,
- al menos un eje con cualquier perfil de sección que se extiende radialmente desde el centro del dispositivo

15.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado

porque el módulo electrónico comprende medios de procesamiento digital de la información recogida de los sensores y en el módulo GNSS para convertirla en parámetros que caracterizan direccionalmente el oleaje en el lugar geográfico donde se encuentra el dispositivo.

16.- Dispositivo de libre flotación para la caracterización direccional del oleaje superficial, según la reivindicación 15, caracterizado porque el módulo electrónico comprende medios seleccionados entre medios de encriptación y desencriptación, medios de compresión y descompresión y una combinación de ambos, de parámetros que caracterizan direccionalmente el oleaje para proteger y minimizar la información intercambiada por el módulo de telecomunicaciones a la estación base.

17.- Sistema de caracterización direccional del oleaje superficial de masas de agua, que hace uso de los dispositivos de libre flotación definidos en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, caracterizado porque comprende al menos un dispositivo de libre flotación de caracterización direccional del oleaje superficial y una estación base de gestión y operación remota.

18.- Sistema de caracterización direccional del oleaje superficial de masas de agua, según la reivindicación 17, caracterizado porque la estación base de gestión y operación remota comprende:

- al menos un equipo informático con acceso a Internet y medios de comunicación inalámbricos con el al menos un dispositivo de caracterización direccional del oleaje;
- medios de almacenamiento de información;
- una interfaz de usuario para al menos un operario local y
- al menos un dispositivo electrónico de envío y recepción de notificaciones de al menos un operario remoto; y,
- medios de establecimiento de jerarquías de prioridades que asignan niveles de prioridad a un conjunto de unidades de información básica intercambiadas entre el al menos un dispositivo y la estación base.

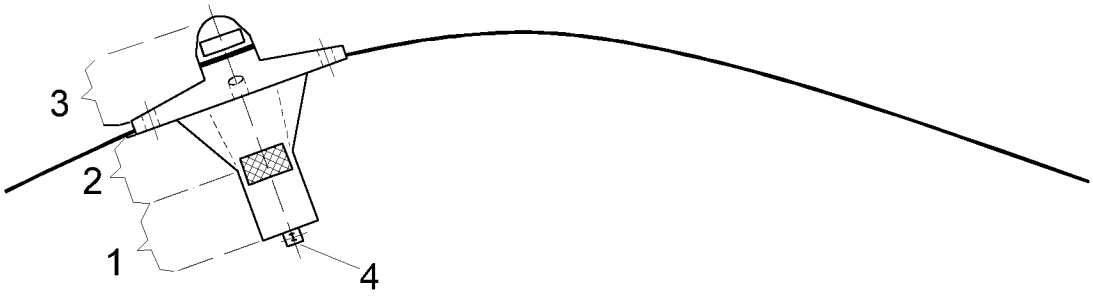


FIG. 1

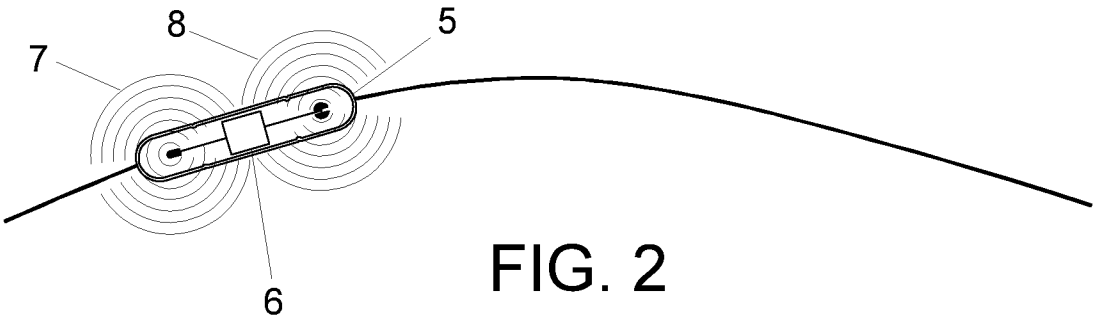


FIG. 2

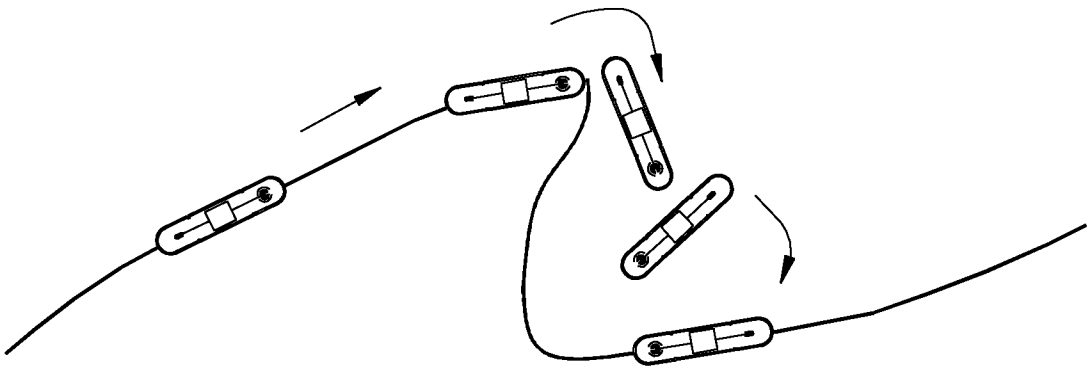


FIG. 3

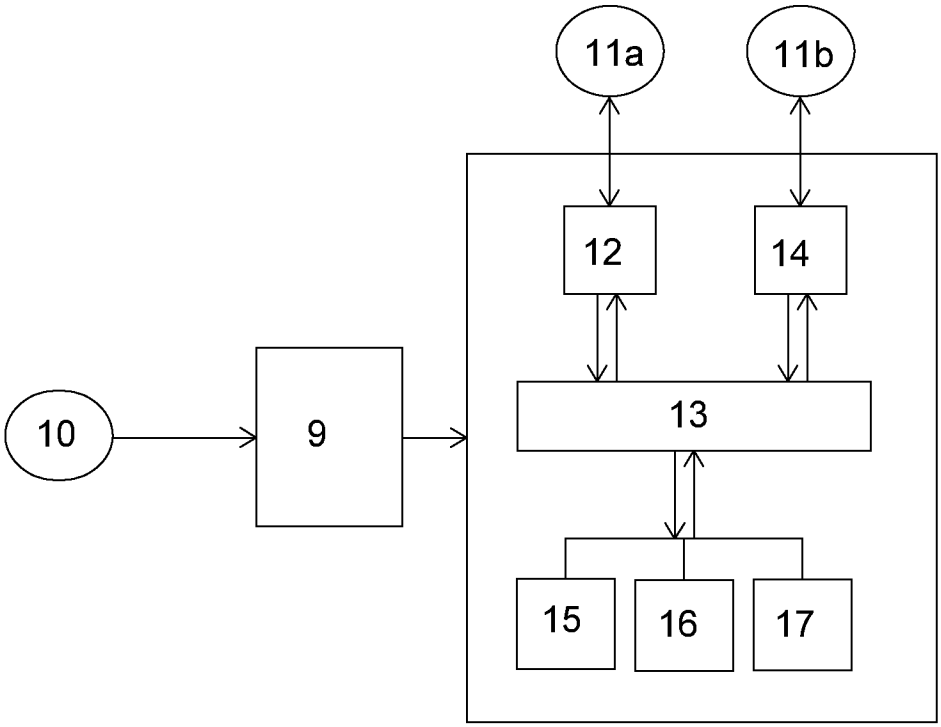


FIG. 4

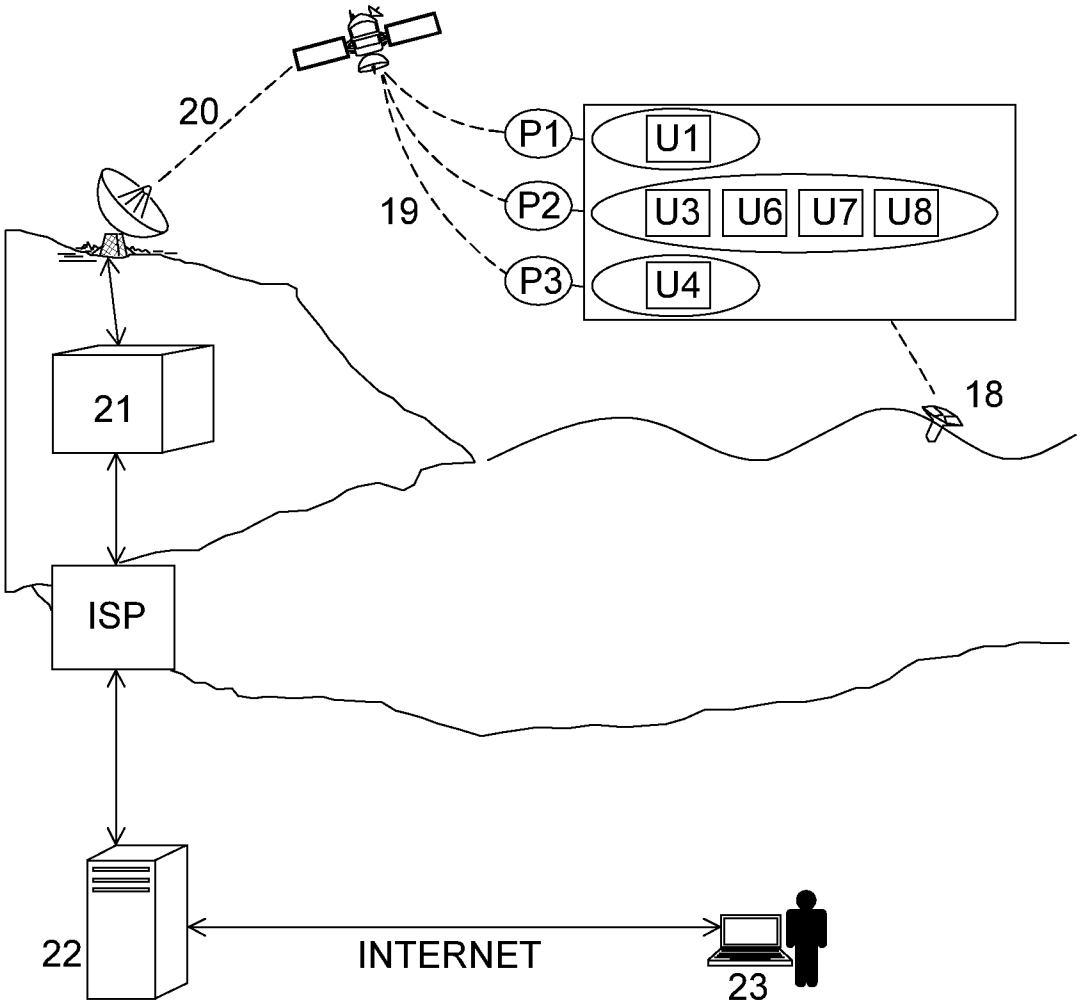


FIG. 5

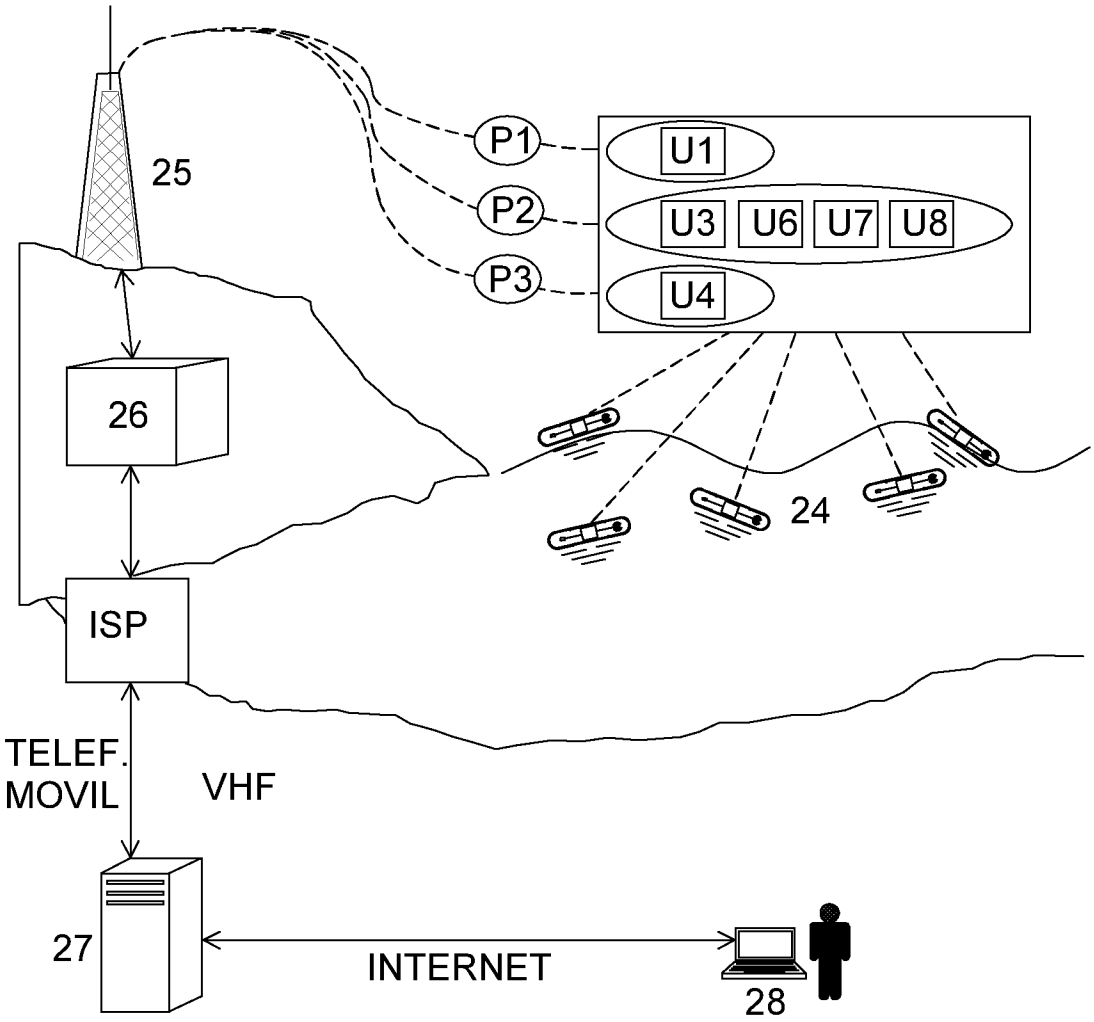

25
P1
P2
P3
U1
U3
U6
U7
U8
U4
26
24
ISP
TELEF.
MOVIL
VHF
27
INTERNET
28

FIG. 6