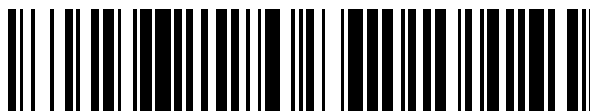


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 796 699**

51 Int. Cl.:

B63G 8/00 (2006.01)

G05D 1/00 (2006.01)

G05D 1/06 (2006.01)

G05D 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.03.2016 PCT/US2016/022340**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.09.2016 WO16149199**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2016 E 16715386 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 3271240**

54 Título: **Comunicaciones entre robots móviles de medio acuático**

30 Prioridad:

16.03.2015 US 201562133863 P

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

30.11.2020

73 Titular/es:

**SAUDI ARABIAN OIL COMPANY (100.0%)
1 Eastern Avenue
31311 Dhahran, SA**

72 Inventor/es:

**OUTA, ALI;
ABDELLATIF, FADL;
PATEL, SAHEJAD;
TRIGUI, HASSANE;
AMER, AYMAN y
OBEDAN, AMEEN, AL**

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 796 699 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

Comunicaciones entre robots móviles de medio acuático

5 Campo de la invención

Se proporciona un sistema, método, y dispositivos para realizar la inspección de los activos submarinos incluidas las tuberías y estructuras submarinas que incluye un robot submarino y un robot de superficie.

10 Antecedentes de la invención

Los robots móviles pueden desempeñar una importante función en la inspección de la infraestructura industrial, incluida la infraestructura ubicada bajo el agua y en medios marinos. Convencionalmente, con el fin de inspeccionar la infraestructura submarina (por ejemplo, tuberías submarinas), se usan buzos o vehículos operados de forma remota. Sin embargo, el uso de los buzos plantea problemas de seguridad y es costoso. Los vehículos operados de forma remota eliminan muchas de las preocupaciones de seguridad asociadas con los buzos, pero estos vehículos requieren un bote de apoyo para almacenar, lanzar, y proporcionar una plataforma para que los operadores humanos controlen el vehículo. Dichos botes de apoyo tienen diseños relativamente grandes y requieren una profundidad del agua mínima para funcionar de manera segura. En consecuencia, es difícil inspeccionar la infraestructura ubicada en aguas poco profundas, áreas cercanas a la costa, y otras áreas peligrosas debido a la limitación del bote de apoyo. Como tal, el uso de robots móviles puede permitir una inspección más eficiente de áreas particulares de un complejo industrial.

Las aguas poco profundas presentan un gran desafío en términos de accesibilidad ya que los grandes barcos, a los que se atan los grandes ROV de clase trabajadora, no pueden navegar por estas áreas por temor a chocar con el fondo marino. Por lo tanto, se usan pequeños zodiac (botes de goma) para acceder a estas áreas, pero solo pueden usarse para desplegar pequeños ROV de clase de observación. Estos ROV son lo suficientemente buenos para la inspección visual pero no son adecuados para tomar mediciones de UT y CP ya que las corrientes submarinas los moverían y evitarían que tomen lecturas estables de la tubería. El uso de buzos para estas tareas es extremadamente lento e ineficiente debido a la logística relacionada con la navegación de los botes en aguas poco profundas. La inspección de aguas poco profundas (0-10 m de profundidad) típicamente se realiza mediante el uso de buzos y con el apoyo de los buques de soporte submarino y zodiacs. El proceso es lento y la velocidad de inspección promedio es de alrededor de 0,5 km/día de las tuberías submarinas.

Si bien los robots móviles submarinos proporcionan una capacidad de inspección, si el bote de apoyo se encuentra a grandes distancias del robot móvil submarino, los robots no pueden controlarse de manera efectiva y/o los datos del robot no pueden recibirse de manera efectiva debido a las dificultades y limitaciones asociadas con la comunicación submarina en largas distancias.

La presente invención aborda estas y otras limitaciones asociadas con vehículos de inspección convencionales y protocolos de inspección.

El documento FR 2 659 290 A1 describe un sistema para exploración subacuática con embarcaciones autónomas que consiste en un barco de estación base, una primera y una segunda embarcación subacuática que son idénticas, y que comprende un motor de combustión interna, un motor/generador eléctrico, y una batería. Una de las embarcaciones subacuáticas viaja por debajo de la superficie del agua mediante el uso de su motor de combustión interna, proporcionado con aire a través de un esnórquel, y recargando su batería. Se encuentra en comunicación con el barco de estación base a través de un enlace de radio. La otra embarcación subacuática viaja completamente sumergida mediante el uso de su motor eléctrico y se encuentra en comunicación con la primera embarcación a través de un enlace acústico y/u óptico. Una vez que su batería se agota, las dos embarcaciones intercambian lugares.

50 Resumen de la invención

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema robótico de medio acuático de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye una estación de control, un vehículo robótico submarino, y un vehículo robótico de la superficie del agua. El primer y segundo módulo de comunicación se asocian con el vehículo robótico submarino y el vehículo robótico de la superficie del agua, respectivamente, en donde el primer y el segundo módulo de comunicación proporcionan una comunicación entre los vehículos a través del agua. El tercer y cuarto módulo de comunicación se asocian con el vehículo robótico de la superficie del agua y la estación de control, respectivamente, en donde el tercer y cuarto módulo de comunicación proporcionan una comunicación entre el vehículo robótico de la superficie del agua y la estación de control por aire. La estación de control se configura para controlar el funcionamiento del vehículo robótico submarino mediante el uso de señales de control que se comunican entre la estación de control y el vehículo robótico de la superficie del agua a través del tercer y cuarto módulo de comunicación y se retransmiten del vehículo robótico de la superficie del agua al vehículo robótico submarino a través del primer y segundo módulo de comunicación. El vehículo robótico submarino se configura para transmitir datos recopilados por el vehículo robótico submarino mediante el uso de señales de datos que se comunican entre el vehículo robótico submarino y el vehículo robótico de la superficie del agua a través del primer y segundo módulo de comunicación y son retransmitidos por el vehículo robótico de la superficie del

agua a la estación de control a través del tercer y cuarto módulo de comunicación.

De acuerdo con la presente invención, el sistema robótico de medio acuático incluye un sistema de control de alineación. El sistema de control de alineación incluye un emisor de señal de posición asociado con el vehículo robótico submarino y un detector de señal de posición asociado con el vehículo robótico de la superficie del agua, en donde el emisor de señal de posición emite señales que pueden ser detectadas por el detector de señal de posición. El sistema de control de alineación también incluye un procesador de control de alineación asociado con el vehículo robótico de la superficie del agua que recibe datos de señal del detector de señal de posición y determina las posiciones relativas del vehículo robótico submarino y el vehículo robótico de la superficie del agua.

De acuerdo con la presente invención, el vehículo robótico de la superficie del agua incluye además un sistema de propulsión de superficie y en donde el procesador de control de alineación controla el funcionamiento del sistema de propulsión de superficie con el fin de mover el vehículo robótico de la superficie del agua a lo largo de la superficie del agua de manera que mantiene la alineación vertical general entre el vehículo robótico de la superficie del agua y el vehículo robótico submarino.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, el emisor de señal de posición y el detector de señal de posición se seleccionan del grupo que comprende luz LED, acústica, láser, y varias combinaciones de las mismas.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, el sistema robótico del medio acuático incluye además un cable que se extiende entre el vehículo robótico de la superficie del agua y el vehículo robótico submarino y un sistema de control de alineación asociado con el vehículo robótico de la superficie del agua. El sistema de control de alineación incluye sensores que proporcionan datos de señal de fuerza del cable relacionados con las fuerzas sobre el cable y un procesador de control de alineación que recibe los datos de señal de fuerza del cable y determina las posiciones relativas del vehículo robótico submarino y el vehículo robótico de la superficie del agua.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, el primer y segundo módulo de comunicación se configuran para comunicarse al menos mediante el uso de uno de los siguientes, luz visible, frecuencias de radio, luz láser, comunicaciones acústicas, y un cable.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, el vehículo robótico de la superficie del agua y el vehículo robótico submarino se configuran para acoplarse entre sí.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, el vehículo robótico de la superficie del agua y el vehículo robótico submarino se configuran para engancharse eléctricamente para proporcionar energía eléctrica desde el vehículo robótico de la superficie del agua al vehículo robótico submarino.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, el vehículo robótico de la superficie del agua y el vehículo robótico submarino se configuran para engancharse mecánicamente.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, el vehículo robótico de la superficie del agua se configura para proporcionar al menos uno de los siguientes, agua presurizada, aire comprimido, o material pulido con chorro de arena y varias combinaciones de los mismos al vehículo robótico submarino a través de al menos de un enganche mecánico o un cable y varias combinaciones de los mismos.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, el vehículo robótico submarino incluye al menos un módulo de movimiento submarino y al menos un módulo de deslizamiento submarino.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, al menos un módulo de movimiento submarino incluye al menos uno de los siguientes, un propulsor vertical, un propulsor horizontal, o un dispositivo de control de flotabilidad y varias combinaciones de los mismos.

De acuerdo con la presente invención, el robot submarino tiene una pluralidad de patas que se enganchan a un cuerpo y un módulo de deslizamiento para controlar las patas; el módulo de deslizamiento puede incluir además al menos uno de los siguientes, un patín de deslizamiento, una pista, una rueda, y varias combinaciones de los mismos.

De acuerdo con aspecto adicional de la presente invención, el vehículo robótico submarino incluye al menos un sensor ambiental.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, al menos un sensor ambiental incluye al menos uno de los siguientes, una cámara, sonar de imagen, altímetro, sensor de presión, sensor de profundidad, o sensor de temperatura y varias combinaciones de los mismos.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, el vehículo robótico submarino incluye al menos un dispositivo de inspección.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, al menos un dispositivo de inspección incluye al menos uno de los siguientes, una sonda de prueba ultrasónica, una sonda de protección catódica, una sonda de corriente parásita, una cámara infrarroja, un sistema de escaneo 3D, y varias combinaciones de los mismos.

- 5 De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, el vehículo robótico submarino incluye al menos un sistema de limpieza de la vida marina.

- 10 De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, el sistema incluye además al menos un vehículo robótico de la superficie del agua adicional en donde los múltiples vehículos robóticos de la superficie del agua se encuentran en comunicación inalámbrica para proporcionar un relé de comunicación entre los múltiples vehículos robóticos de la superficie del agua y la unidad de control.

Breve descripción de los dibujos

- 15 La Figura 1 ilustra un vehículo submarino que es útil para comprender la invención;
La Figura 2 ilustra un vehículo de superficie de acuerdo con una modalidad de la invención;
La Figura 3 ilustra el vehículo submarino y el vehículo de superficie en una relación de funcionamiento entre sí;
La Figura 4 ilustra el vehículo submarino, el vehículo de superficie, y la unidad de control en relación de funcionamiento entre sí;
20 Las Figuras 5A-D ilustran vehículos submarinos que son útiles para comprender la invención;
Las Figuras 6 y 7 ilustran un vehículo submarino que es útil para comprender la invención;
Las Figuras 8A y 8B ilustran un vehículo de superficie de acuerdo con otra modalidad de la invención; y
La Figura 9 ilustra un esquema de ciertos sistemas del vehículo de superficie.

- 25 Descripción detallada de ciertas modalidades de la invención

Con referencia a las Figuras 1-3, un sistema robótico de un medio acuático 10 incluye un robot submarino 100 y un robot de superficie 200. El robot submarino 100 se estructura de manera que pueda sumergirse bajo la superficie del agua y realizar diversas operaciones de mantenimiento e inspección en la infraestructura submarina. El robot de superficie 200 permanece en la superficie del agua y tiene su propio sistema de propulsión 202 para que pueda moverse a lo largo de la superficie del agua con el fin de mantenerse cerca del robot submarino 100. A medida que el robot submarino 100 se mueve bajo el agua, el robot de superficie 200 se mueve de manera correspondiente con el fin de mantener la proximidad con el robot submarino. Dado que el robot de superficie 200 se mueve para permanecer cerca del robot submarino 100, la distancia entre los dos robots se mantiene en la mínima. En consecuencia, la distancia de comunicación a través del agua entre el robot de superficie 200 y el robot submarino 100 se minimiza. Minimizar la distancia de comunicación a través del agua es muy ventajoso porque el envío de señales de comunicación a través del agua es difícil y un aumento de la distancia a través del agua aumenta la dificultad y reduce la efectividad de la comunicación. Esto es cierto para la comunicación inalámbrica a través del agua debido a la pérdida de señal y también para la comunicación por cable debido a la necesidad de cables más largos, lo que aumenta el peso, el gasto, y la posibilidad de que el cable se enrede.

Como tal, el robot de superficie 200 funciona como un relé de comunicación para el robot submarino 100. A medida que el robot submarino 100 realiza sus diversas tareas, el robot de superficie 200 usa su sistema de propulsión 202 para mantener una posición aproximadamente directamente sobre el robot submarino 100. Es aceptable cierta desviación entre la alineación de los dos robots y el robot de superficie 200 puede ajustar su posición para mantener el robot submarino 100 dentro de una zona en forma de cono de aproximadamente 15 grados debajo del robot, y esa zona puede expandirse a unos 45 grados.

Con el fin de mantener la posición relativa del robot submarino 100 y el robot de superficie 200, el robot de superficie 200 puede rastrear la posición relativa del robot submarino 100. El robot de superficie 200 puede incluir un módulo de rastreo 204 que incluye varios sensores que pueden usarse para determinar la posición del robot submarino 100. Por ejemplo, el módulo de rastreo puede incluir un sistema de localización acústica para rastrear y determinar la posición del robot submarino 100. Un sistema de localización acústica puede incluir dos transductores acústicos, uno montado en el robot de superficie 200 y otro montado en el robot submarino 100. Puede usarse un sistema Ultra Short Base Line (USBL) para rastrear el vehículo submarino. Mediante el uso de dos receptores, el transceptor montado en el vehículo de superficie detecta señales acústicas mediante el uso de los múltiples cabezales del transductor para determinar el alcance del vehículo submarino por el tiempo de ejecución de la señal y la dirección del vehículo submarino por el diferente cambio de fase de tiempo detectado por cada transductor. Por ejemplo, la diferencia en la señal recibida en los diversos detectores puede usarse para determinar la ubicación del vehículo submarino. El intervalo de rastreo puede superar los 500 m con una precisión de intervalo de 0,1 m y una precisión de rumbo de un grado. El sistema de localización acústica es un ejemplo de un sistema de rastreo que no usan cables.

Pueden usarse otros sistemas y métodos de rastreo y localización para rastrear la posición del robot submarino 100. Por ejemplo, un cable que se extiende entre el robot de superficie 200 y el robot submarino 100 que incluye sensores que puede usarse para rastrear. El cable puede incluir varias unidades/sensores de medición de inercia a lo largo del mismo. Al moverse el cable, ese movimiento puede detectarse mediante el uso de las unidades de medición de inercia, que a su vez pueden usarse para determinar la posición del robot submarino 100 en relación con el robot de superficie 200. Puede

usarse un carrito automatizado en el robot de superficie 200 para automatizar la liberación y recuperación del cable dependiendo de la profundidad del vehículo submarino. Los sensores de fuerza o tensión tridimensionales también pueden usarse en el carrito de cable del robot de superficie para determinar el ángulo en el que el robot submarino 100 tira del cable, que puede usarse para determinar la posición del robot. Las unidades de medición de inercia también pueden montarse en el robot de superficie 200 y el robot submarino como un medio para determinar la posición relativa y la orientación de los dos vehículos. Puede usarse un algoritmo de fusión de datos como un filtro de Kalman para fusionar las diversas estimaciones adquiridas de los diferentes métodos de rastreo para obtener una estimación más precisa.

Una vez que se ha rastreado el vehículo submarino, un algoritmo de control inteligente toma la ubicación estimada como una señal de retroalimentación y pone en funcionamiento propulsores/hélices del vehículo de superficie para seguir al vehículo submarino y permanecer dentro de una proximidad por encima del vehículo submarino. El objetivo del controlador es minimizar la distancia entre los dos vehículos y así lograr una alineación casi vertical. La alineación vertical general puede mantenerse dentro de 15 grados y hasta, por ejemplo, 45 grados. El algoritmo puede basarse en un controlador PID, control adaptativo, control óptimo, o cualquier otra estrategia de control comúnmente usada. Vale la pena mencionar que el operador controlará el movimiento del vehículo submarino mientras que el vehículo de superficie se conduce de forma autónoma y retransmite la comunicación entre el operador y el vehículo submarino. En el caso de perder la conexión con el robot submarino, será posible anular el controlador y navegar el vehículo de superficie manualmente a través de una comunicación aérea por parte del operador directamente.

El vehículo/robot submarino 100 puede ser capaz de flotar/nadar bajo el agua y aterrizar/deslizarse lentamente en el fondo marino. El robot submarino puede equiparse con un brazo robótico 102 que puede controlarse de varias maneras, incluido el uso de un dispositivo háptico. El robot submarino puede incluir un conjunto de tecnologías 104 de inspección submarina, como sondas ultrasónicas, sondas de protección catódica, sondas de corrientes parásitas, cámara(s), sistema de limpieza de la vida marina, etcétera.

Con referencia a las Figuras 1-4, el robot submarino 100 puede comunicarse mediante el uso de señales A (por ejemplo, por luz/led, láser, acústica o vía umbilical) con el bote robótico de la superficie del mar 200 a través de los módulos de comunicación 106 y 206 ubicados en los robots submarino y de superficie, respectivamente. El robot de superficie 200 actúa como un enrutador/repetidor y retransmite a través de un dispositivo de comunicación por aire de regreso la comunicación (por ejemplo, usando Radiofrecuencia o láser) a una estación de control 300. La estación de control 300 puede ser una estación terrestre o puede ser una embarcación tripulada. Pueden usarse varias estaciones o botes para retransmitir la señal y extender el alcance.

El robot submarino 100 puede acoplarse con el bote robótico de superficie 200 para una variedad de funciones de soporte. Por ejemplo, el robot submarino puede acoplarse al robot de superficie para que pueda recargar sus baterías a bordo. El robot de superficie también puede proporcionar al robot submarino diferentes materiales como agua a presión, aire comprimido y arena (para chorro de arena) ya sea mediante un acoplamiento o a través de un cordón umbilical. El robot de superficie puede funcionar, por ejemplo, con baterías, energía solar, motor de combustión o cualquier otra fuente de energía. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 2, el robot de superficie 200 incluye celdas solares 210 para generar electricidad. El bote robótico de superficie puede usar un sistema de control inteligente de manera que el bote robótico de superficie siga al robot submarino de forma autónoma con el fin de mantener su posición relativa por encima del robot submarino.

La inspección de sitios de aguas poco profundas es una tarea tediosa y costosa, el sistema 10 puede permitir la inspección de los activos submarinos 1000 que se encuentran en aguas poco profundas, ahorrar dinero en costos de inspección en términos de costos de los Buques de Soporte Submarino (DSV), costos de buzos e inspección general costo al mejorar la velocidad y eficiencia de la inspección y así reducir el tiempo para inspeccionar estos activos. El sistema de comunicación y acoplamiento usado por el robot submarino y el robot de superficie podría adaptarse para su uso en una variedad de robots.

El sistema 10 aborda desafíos relacionados con la inspección en los sitios de aguas poco profundas a los que es muy difícil y costoso acceder. Mediante el uso de un bote de retransmisión de comunicación autónomo como el robot de superficie 200, el operador del barco 300 no necesita acercarse al sitio del área poco profunda. Además, tener capacidades de aterrizaje/deslizamiento en el fondo marino permite que un pequeño ROV de clase de observación se estabilice y tome lecturas precisas que generalmente solo pueden lograrse con un ROV de clase trabajadora.

En una modalidad, el vehículo submarino 100 puede ser una oruga/ROV híbrido que puede flotar y navegar mediante el uso de propulsores y el control de flotabilidad. Puede equiparse con baterías, pero también puede atarse. El robot submarino también puede equiparse con sensores de presión/profundidad para controlar la profundidad, y puede tener un sensor GPS para rectificar la posición si pierde la señal. El robot submarino puede equiparse con un sonar de imágenes y un altímetro para la navegación en baja visibilidad.

En caso de pérdida de señal, el vehículo del robot submarino puede navegar hacia arriba y una vez que está sobre el agua puede restablecer la comunicación mediante el uso, por ejemplo, de una combinación de RF y GPS.

El vehículo puede equiparse con bandas de rodamiento de tanques 108 (Figura 5B) u otro mecanismo de deslizamiento

mediante el uso de ruedas suspendidas 110 (Figura 5A) para navegar en superficies ásperas y desiguales. Las Figuras 5A-5D ilustran que el robot submarino 100 puede incluir varios medios de propulsión, incluye ruedas 110 y propulsores 112 (Figura 5A), bandas de rodamiento 108 y propulsores 112 (Figura 5B), bandas de rodamiento 108 y patas 114 (Figura 5C), y patas 116 y ruedas 110 (Figura 5D). Un beneficio potencial de la función de deslizamiento es permitir la navegación en el fondo marino lo que permitirá un ahorro de energía y proporcionará un mejor control. Las Figuras 6 y 7 ilustran otro ejemplo del robot submarino que incluye propulsores horizontales y verticales 112, ruedas 110, y dispositivos de control de flotabilidad 118.

El robot de superficie 200 puede alimentarse, por ejemplo, mediante el uso de celdas solares 210, baterías, motor diésel o cualquier otra fuente de energía incluidas las técnicas de recolección de energía y puede equiparse con un módulo/antena de Radio Frecuencia (RF) o antena inalámbrica 208 para comunicarse con un operador por encima del agua. Las Figuras 8A y 8B ilustran una modalidad de un diseño de un casco de un bote de superficie que puede usarse.

Preferentemente, el robot de superficie 200 se fabrica de manera que sea capaz de flotar en la superficie del agua (por ejemplo, como un bote) y tenga su propio sistema de propulsión 202 para que pueda moverse y navegar a lo largo de la superficie del agua. El robot de superficie 200 puede equiparse con otro módulo de comunicación 206 ubicado debajo del agua para comunicarse con el vehículo submarino 100. El módulo de comunicación submarina 206 puede ser acústico o de RF que puede alcanzar hasta 10 m bajo el agua, por ejemplo. Otra alternativa para proporcionar comunicación entre el robot de superficie 200 y el robot submarino 100 puede ser mediante el uso de la comunicación LED que es multidireccional o la comunicación láser que es unidireccional, pero puede proporcionar un ancho de banda mucho mayor (Gbps) y puede requerir un complejo sistema de rastreo láser para controlar la dirección.

El robot de superficie 200 también puede proporcionar carga inalámbrica/inductiva para cargar las baterías del vehículo submarino 100 y puede actuar como una estación de acoplamiento. En consecuencia, el robot de superficie 200 puede rastrear la posición del robot submarino 100 y el robot de superficie puede cambiar su posición en la superficie del agua mediante el uso de su propio sistema de propulsión para mantener una proximidad cercana al robot submarino (por ejemplo, el robot de superficie puede mantener su posición directamente por encima del robot submarino). A medida que el robot submarino se mueve a lo largo de la superficie submarina, el robot de superficie puede rastrear y moverse junto con el robot submarino. Como tal, el robot de superficie proporciona un soporte de proximidad y un relé de comunicación para el robot submarino. Si el robot submarino requiere suministros (por ejemplo, una carga de la batería), el robot submarino puede moverse hacia arriba en la columna de agua y acoplarse con el robot de superficie. El acoplamiento puede ser físico y/o inductivo para que los suministros (por ejemplo, una carga de la batería) puedan transferirse del robot de superficie al robot submarino. En consecuencia, el robot de superficie puede incluir un dispositivo de acoplamiento 212 y el submarino puede incluir un dispositivo de acoplamiento 120 correspondiente que puede configurarse para proporcionar un acoplamiento no físico y/o físico. El robot de superficie puede incluir baterías en exceso (muchas más de las que se requiere para su propio funcionamiento) para cargar el robot submarino, o puede tener otras capacidades de generación de energía (por ejemplo, solar, motor de combustión) que no serían prácticas para el robot submarino o reducirían las características de funcionamiento (tamaño, peso, movilidad) del robot submarino.

El robot de superficie 200 también puede usarse como repetidor/extensor de señal o simplemente como un sistema de comunicación submarino (enrutador móvil) que sería el punto medio entre el vehículo submarino y el operador que lo controla (el robot submarino también puede ser autónomo o semi- autónomo, en cuyo caso el repetidor de señal podría usarse para transmitir otros datos, como la fecha de inspección, por ejemplo). El vehículo de superficie 200 puede equiparse con un sistema GPS y sigue al vehículo submarino continuamente asegurándose de que siempre esté debajo de él, para lograr que el bote pueda usar triangulaciones de señal acústica proveniente del vehículo. En consecuencia, el vehículo de superficie 200 puede usarse para determinar la posición real del vehículo submarino 100 de modo que los datos de inspección recopilados por el robot submarino puedan asociarse con la ubicación geográfica de donde se han recopilado esos datos. Por ejemplo, el vehículo de superficie puede determinar la ubicación del vehículo submarino en relación con él y el vehículo de superficie puede determinar su ubicación geográfica que puede usarse para determinar la ubicación geográfica del vehículo submarino.

Como entenderían los expertos en robótica, el vehículo de superficie puede incluir circuitos electrónicos que incluyen una memoria y/o un medio de almacenamiento legible por ordenador que se configuran para almacenar información relacionada con el funcionamiento del vehículo de superficie, como los ajustes de configuración y uno o más programas de control.

Más específicamente, con referencia a la Figura 9, en donde el vehículo de superficie puede comprender un módulo de control 902. El módulo de control 902 puede disponerse con varios componentes de hardware y software que sirven para permitir el funcionamiento del sistema, incluido un procesador 904, una memoria 906, un módulo de localización 908, un módulo de propulsión 910, un módulo de comunicación submarino 912, un módulo de comunicación por encima del agua 914, y un medio de almacenamiento legible por ordenador 916. El procesador 904 sirve para ejecutar instrucciones de software que pueden cargarse en la memoria 906. El procesador 904 puede formarse por varios procesadores, un núcleo de múltiples procesadores, o algún otro tipo de procesador, en dependencia de la implementación concreta.

Preferentemente, la memoria 906 y/o un medio de almacenamiento 916 son accesibles por el procesador 904, permitiendo de esta manera que el procesador 904 reciba y ejecute instrucciones almacenadas en la memoria 906 y/o en el

almacenamiento 916. La memoria 906 puede ser, por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM) o cualquier otro medio de almacenamiento legible por ordenador, volátil o no volátil, adecuado. Además, la memoria 906 puede ser fija o extraíble. El almacenamiento 916 puede adoptar diversas formas, dependiendo de la implementación concreta. Por ejemplo, el almacenamiento 916 puede contener uno o más componentes o dispositivos como un disco duro, una memoria flash, un disco óptico regrabable, una cinta magnética regrabable, o alguna combinación de los anteriores. El almacenamiento 916 también puede ser fijo o extraíble o remoto como los sistemas de almacenamiento de datos basados en la nube.

Uno o más módulos de software se codifican en el almacenamiento 916 y/o en la memoria 906. Los módulos de software pueden comprender uno o más programas o aplicaciones de software que contienen código de programa informático o un conjunto de instrucciones ejecutadas en el procesador 904. Dicho código de programa informático o instrucciones para llevar a cabo el funcionamiento e implementar aspectos de los sistemas y métodos descritos en la presente descripción pueden escribirse en cualquier combinación de uno o más lenguajes de programación. El código de programa puede ejecutarse completamente en el vehículo de superficie 200, como un paquete de software independiente, una parte en el vehículo de superficie 200 y otra parte en un ordenador/dispositivo remoto o completamente en dichos ordenadores/dispositivos remotos. En este último escenario, el ordenador remoto puede conectarse al dispositivo móvil 200 a través de cualquier tipo de red, incluida una red de área local (LAN) o una red de área amplia (WAN), o la conexión puede realizarse a través de un ordenador externo (por ejemplo, a través de Internet mediante el uso de un proveedor de servicios de Internet).

Preferentemente, se incluyen entre los módulos de software un módulo de localización 908, un módulo de propulsión 910, un módulo de comunicación submarina 912, y un módulo de comunicación por encima del agua 914 que son ejecutados por el procesador 904. Durante la ejecución de los módulos de software, el procesador 904 se configura para realizar diversas operaciones relacionadas con la configuración del vehículo de superficie. Además, debe tenerse en cuenta que otra información y/o datos relevantes para el funcionamiento de los sistemas y métodos actuales también pueden almacenarse en el almacenamiento 916, por ejemplo, diversos programas de control que se usan en la configuración del vehículo de superficie 200.

De manera similar, el vehículo submarino puede incluir un módulo de control que puede disponerse con varios componentes de hardware y software que sirven para permitir el funcionamiento del sistema, incluido un procesador, una memoria, un módulo de localización, un módulo de propulsión, un módulo de comunicación submarina, un módulo de inspección, y un medio de almacenamiento legible por ordenador con el fin de ejecutar las diversas funciones del vehículo submarino.

Con referencia al vehículo submarino 100, puede incorporarse al vehículo un módulo compuesto por uno o más brazos robóticos 102 que pueden usar hápticos para detectar y sentir los activos submarinos. La retroalimentación háptica puede usarse para proporcionar un mejor control como resultado del uso de sensores de retroalimentación de fuerza. Este módulo permitiría realizar todo tipo de actividades que normalmente realizan los buzos mientras el operador está en la sala de control sobre el agua.

En ciertas modalidades, el sistema puede tener una estación de control 300 que puede usar un joystick háptico para controlar el robot subacuático y su brazo robótico. El operador también puede controlar y navegar el bote robótico de superficie, el vehículo submarino y manipular el brazo robótico de forma remota y realizar las actividades de inspección.

El robot submarino 100 puede equiparse con módulos de inspección 104 que incluyen módulos de prueba no destructivos que pueden incluir, sondas para Ensayo de Ultrasonido (UT), sondas de corrientes parásitas (que permiten la inspección a través del recubrimiento de concreto y la vida marina), sondas de inspección para protección catódica (CP), cámaras que incluyen cámaras infrarrojas para inspección visual y otros posibles sensores NDT.

El robot submarino 100 puede equiparse con uno o varios mecanismos de limpieza 122 que usan cepillos, cavitación, chorro de agua, chorro de arena, o abrasión mecánica para limpiar el crecimiento marino (percebes) que residen en estos activos submarinos. Por ejemplo, el bote robótico de superficie puede proporcionar a través de un cordón umbilical el chorro de material o agua al robot submarino.

El robot submarino puede tener más de una cámara montada en diferentes ubicaciones y ángulos.

De acuerdo con ciertas modalidades, el sistema robótico en alta mar 10 puede incluir al menos el subsistema robótico submarino 100 y al menos un subsistema de la superficie del mar 200. El vehículo de la superficie del mar 200 puede incluir al menos un módulo de comunicación aérea 208 para comunicarse con una estación de control que incluye un controlador para controlar las comunicaciones. En consecuencia, el subsistema de la superficie del mar 200 actúa como un enrutador o repetidor para la señal de comunicación. El sistema robótico submarino 100 y el subsistema de la superficie del agua 102 tienen al menos un medio de comunicación 106, 206 entre los dos dispositivos. Pueden usarse un controlador para controlar ciertas operaciones del vehículo de superficie y del vehículo submarino.

El robot submarino puede incluir módulos de propulsión, que pueden incluir al menos un módulo de movimiento submarino 112a para proporcionarle un control de profundidad bajo el agua en la columna de agua y módulos de control de

- movimiento horizontal 112b para proporcionarle movimiento a través del agua en direcciones horizontales. Los módulos de propulsión también pueden incluir un módulo de deslizamiento submarino (por ejemplo, pistas de control 108, ruedas 110, y patas 114 y 116) para aterrizar, navegar y estabilizarse en el fondo marino para moverse a lo largo del fondo marino. El módulo de movimiento submarino puede incluir propulsores 112 para controlar la movilidad bajo el agua en diferentes direcciones. La cantidad, las posiciones y las orientaciones de los propulsores 112 determinan los grados de libertad de movilidad del robot submarino. El módulo de movimiento submarino puede incluir un dispositivo de control de flotabilidad 118 y/o un generador de vórtice (por ejemplo, hélice de propulsión vertical 112a) para regular la profundidad del robot y modificar la orientación del robot submarino. El módulo de movimiento submarino también puede incluir propulsores horizontales 112b para el movimiento horizontal. El módulo de deslizamiento submarino puede incluir una rampa de deslizamiento con bandas de rodamiento 108 para navegar con gran movilidad sobre superficies ásperas e irregulares en el fondo marino. Alternativamente o, además, el módulo de deslizamiento submarino puede incluir ruedas suspendidas 110 similares a los mecanismos de balanceo móviles para navegar con gran movilidad sobre superficies ásperas e irregulares en el fondo marino. Las ruedas 110 también pueden montarse sobre las patas de accionamiento 116.
- El subsistema robótico submarino puede usar un conjunto de sensores 126 que incluyen, pero no se limitan a, cámaras, sonares de imagen, altímetros, sensores de presión y profundidad, y sensores de temperatura que proporcionan información sobre el entorno y sus propiedades físicas.
- El subsistema robótico submarino puede incluir al menos un brazo robótico 102 para realizar diversas tareas bajo el agua, incluidas tareas de inspección y manipulación. El brazo robótico 102 puede usar retroalimentación háptica para un control más fácil y realizar un mejor contacto con el medio exterior.
- El subsistema robótico submarino puede incluir al menos un dispositivo 104 de inspección/ensayos no destructivos (NDT) para realizar diversas tareas de inspección bajo el agua típicamente realizadas por buzos de inspección. El dispositivo NDT 104 puede ser una sonda para Ensayo de Ultrasonido (UT) para medir el grosor de los activos submarinos y verificar la pérdida de grosor que puede deberse a una corrosión, erosión, grietas o cualquier otra anomalía. El dispositivo NDT puede ser una sonda de Protección Catódica (CP) para inspeccionar los ánodos de CP colocados en los activos submarinos. El dispositivo NDT puede ser una sonda de prueba de Corrientes Parásitas (EC) para inspeccionar defectos y anomalías en los activos submarinos. El dispositivo NDT puede ser una cámara infrarroja para detectar fugas y gradiente de temperatura para inspeccionar fugas. El dispositivo NDT puede ser un sistema de escaneo 3D para reconstruir el entorno en 3D y detectar la topografía del fondo marino, incluidos los tramos libres debajo de las tuberías submarinas. El sistema de escaneo 3D puede ser una cámara de estereovisión para medir el volumen de los ánodos CP después de la reconstrucción 3D y, por lo tanto, detecta el agotamiento del ánodo. El subsistema robótico submarino puede incluir varios dispositivos NDT en varias combinaciones y disposiciones.
- El sistema robótico submarino puede incluir un sistema de limpieza de la vida marina 112 para eliminar percebes y preparar las superficies de los activos submarinos para su inspección. El sistema de limpieza de la vida marina puede usar chorros de agua y/o chorros para la cavitación para limpiar y eliminar la vida marina de los activos submarinos. El sistema de limpieza de la vida marina también puede incluir cepillos accionados para limpiar y eliminar la vida marina. Alternativamente o, además, el sistema de limpieza de la vida marina puede usar un chorro de arena para limpiar y eliminar la vida marina.
- El subsistema de la superficie del mar es un bote robótico controlado a distancia capaz de navegar en la parte superior del agua. En ciertas disposiciones, el subsistema de la superficie del mar puede ser un globo flotante que se une con un umbilical al subsistema submarino y se arrastra a lo largo de la superficie del mar a medida que el subsistema submarino se mueve debajo del agua. En otras disposiciones, el subsistema de la superficie del mar puede incluir un dispositivo de propulsión 202 para que pueda moverse de forma autónoma con el fin de mantener la alineación vertical a través de la columna de agua con el subsistema robótico submarino mediante el uso de una técnica de control inteligente. La técnica de control puede usar al menos un detector 204 montado debajo del subsistema 200 de la superficie del mar y al menos un emisor 125 montado en el subsistema submarino 100. El detector puede ser al menos una cámara montada debajo del subsistema de la superficie del mar con un algoritmo de visión por ordenador para la segmentación con el fin de localizar el subsistema robótico submarino. El emisor puede ser un conjunto de diodos emisores de luz ubicados en el subsistema robótico submarino que puede proporcionar la luz requerida para que la cámara la detecte con poca visibilidad. La técnica de control también puede usar la acústica en la que el subsistema de la superficie del mar incluye sensores acústicos para detectar las ondas acústicas emitidas por los transductores acústicos montados en el subsistema robótico submarino con el fin de determinar la posición relativa del subsistema de la superficie del mar en comparación con el subsistema de la superficie del mar. La técnica de control a través de la acústica puede usar la triangulación de señales acústicas provenientes de al menos dos transductores acústicos montados en el subsistema robótico submarino con el fin de determinar su posición relativa en comparación con el subsistema de la superficie del mar. La técnica de control también puede usar un sistema de rastreo láser accionado para rastrear el subsistema robótico submarino con el fin de determinar su posición relativa en comparación con el subsistema de la superficie del mar. Pueden usarse varias combinaciones que usan más de una de estas técnicas de control para determinar la posición relativa de los subsistemas.

El módulo de comunicación aérea 120, como se describió anteriormente, puede usar Radio Frecuencia (RF) para comunicarse con la estación de control 300. La estación de control puede ubicarse en un bote de soporte 302 o en la orilla 304. El módulo de comunicación aérea 120 también puede usar un sistema de comunicación láser para comunicarse con la estación de control 300.

Los subsistemas de la superficie del mar y los submarinos pueden comunicarse entre sí mediante la luz visible, como los Diodos Emisores de Luz (LED). Los subsistemas también pueden comunicarse mediante radiofrecuencia en distancias cortas. Los subsistemas también pueden comunicarse mediante el uso de luz láser, comunicaciones acústicas y/o un cordón umbilical para comunicarse.

El subsistema 200 de la superficie del mar también puede proporcionar la funcionalidad de ser una estación de acoplamiento para el subsistema robótico submarino 100. La estación de acoplamiento 212 puede incluir un dispositivo de acoplamiento eléctrico que se dispone para proporcionar un acoplamiento eléctrico con el subsistema robótico submarino (por ejemplo, para proporcionar carga y/o comunicación de datos). En consecuencia, el subsistema de la superficie del mar puede cargar las baterías del módulo de energía del subsistema robótico submarino. El enganche eléctrico puede lograrse mediante el uso de un enganche inductivo en el que la carga inductiva puede cargar las baterías sin tener una conexión eléctrica física. El funcionamiento de la estación de acoplamiento del subsistema de la superficie del mar puede incluir un enganche mecánico para el enganche físico con el subsistema robótico submarino. El subsistema de la superficie del mar puede proporcionar diferentes materiales como agua a presión, aire comprimido y arena (para chorro de arena) ya sea mediante un acoplamiento o a través de un cordón umbilical (no se muestra).

El subsistema robótico submarino 100 puede autoalimentarse a través de sus baterías integradas. Alternativamente o, además, el subsistema robótico submarino puede tener una alimentación mediante el uso de un cordón umbilical (no mostrado) conectado al subsistema de la superficie del mar. El subsistema 200 de la superficie del mar puede tener una alimentación mediante el uso de baterías, energía solar, motor de combustión o cualquier otra fuente de energía incluida la recolección de energía.

En ciertas disposiciones, pueden usarse múltiples subsistemas de la superficie del mar 200 para extender el alcance de la señal de comunicación hasta la estación de control. En consecuencia, los múltiples subsistemas de la superficie del mar pueden actuar como repetidores de señal. También puede usarse múltiples subsistemas de la superficie del mar para mejorar la estrategia de localización y control para determinar la posición del subsistema submarino y mantener una posición relativa al mismo.

La maniobrabilidad híbrida de usar un subsistema submarino que se mueve sobre el fondo marino y el subsistema de la superficie del mar flotando por encima tal como en el sistema descrito en la presente descripción es una disposición novedosa que mejora el proceso de inspección ya que es más eficiente y ahorra energía. Los ROV existentes requieren cordones umbilicales que necesitarían los DSV sin embargo los sitios de aguas poco profundas pueden ser inaccesibles para ellos. La comunicación submarina con un sistema robótico submarino es un gran desafío que se aborda introduciendo el bote robótico autónomo en la superficie del mar. La baja visibilidad en aguas poco profundas es otro desafío y por lo tanto la introducción del mecanismo de deslizamiento mejoraría el proceso de inspección visual ya que el robot submarino no requeriría activar sus propulsores mientras navega en el fondo marino lo que da como resultado una visibilidad mejorada sobre las características flotantes como en el caso de las tecnologías ROV anteriores.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema robótico de medio acuático, que comprende:

- una estación de control (300);
- un robot submarino (100) que tiene un cuerpo, una pluralidad de patas (114, 116) que se enganchan al cuerpo, propulsores (112) para el movimiento submarino del cuerpo, un módulo de movimiento submarino para controlar los propulsores (112) y un módulo de deslizamiento para controlar las patas (114, 116) a lo largo del fondo marino;
- un robot de superficie del agua (200);
- primer y segundo módulo de comunicación (106, 206) asociados con el robot submarino (100) y el robot de superficie del agua (200), respectivamente, en donde el primer y segundo módulo de comunicación (106, 206) proporcionan comunicación entre los robots (100, 200) a través del agua;
- tercer y cuarto módulo de comunicación asociados con el robot de la superficie del agua (200) y la estación de control (300), respectivamente, en donde el tercer y cuarto módulo de comunicación proporcionan comunicación entre el robot de la superficie del agua (200) y la estación de control (300) a través del aire; y
- un sistema de control de alineación, que comprende:
 - un emisor de señal de posición (125) asociado con el robot submarino (100);
 - un detector de señal de posición (204) asociado con el robot de superficie del agua (200), en donde el emisor de señal de posición (125) emite señales que pueden ser detectadas por el detector de señal de posición (204);
 - un sistema de propulsión superficial (202); y
 - un procesador de control de alineación asociado con el robot de superficie del agua (200) que recibe los datos de señal del detector de señal de posición y determina una posición relativa del robot submarino (100) con respecto al robot de la superficie del agua (200), el procesador de control de alineación que controla el funcionamiento del sistema de propulsión de superficie (202) para mover el robot de superficie del agua (200) a lo largo de la superficie del agua de manera que mantenga una alineación vertical en un intervalo de cero a 45 grados entre el robot de superficie del agua (200) y el robot submarino (100),

en donde la estación de control (300) se configura para controlar el funcionamiento del robot submarino (100) mediante el uso de señales de control que se comunican entre la estación de control (300) y el robot de superficie del agua (200) a través del tercer y cuarto módulo de comunicación y que son retransmitidas por el robot de superficie del agua (200) al robot submarino (100) a través del primer y segundo módulo de comunicación (106, 206); en donde el robot submarino (100) se configura para transmitir datos recogidos por el robot submarino (100) mediante el uso de señales de datos que se comunican entre el robot submarino (100) y el robot de superficie del agua (200) a través del primer y segundo módulo de comunicación (106, 206) y que son retransmitidas por el robot de superficie del agua (200) a la estación de control (300) a través del tercer y cuarto módulo de comunicación; y en donde el módulo de movimiento submarino controla los propulsores (112) para proporcionar el movimiento submarino y en donde el módulo de deslizamiento controla las patas (114, 116) para la movilidad a lo largo del fondo marino sin requerir el accionamiento del propulsor mediante el módulo de movimiento submarino.

2. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 1, en donde el emisor de señal de posición (125) y el detector de señal de posición (204) se seleccionan, como un par, del grupo que comprende luz LED, acústica, láser, y varias combinaciones de los mismos.

3. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 1, que comprende, además:

- un cable que se extiende entre el robot de superficie del agua (200) y el robot submarino (100); en donde el sistema de control de alineación asociado con el robot de superficie del agua (200) incluye sensores que proporcionan los datos de la señal de fuerza del cable relacionados con las fuerzas sobre el cable; y en donde el procesador de control de alineación se configura para recibir los datos de la señal de fuerza del cable de los sensores y para determinar la posición relativa del robot submarino (100) con respecto al robot de la superficie del agua (200).

4. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 1, en donde el primer y segundo módulo de comunicación (106, 206) se configuran para comunicarse mediante el uso de al menos uno de los siguientes, luz visible, frecuencias de radio, luz láser, comunicaciones acústicas, y a través de un cable.

5. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 1, en donde el robot de superficie del agua (200) se configura para proporcionar al menos uno de los siguientes, agua presurizada, aire comprimido, o material pulido con chorro de arena y varias combinaciones de los mismos al robot submarino (100) a través de al menos de un enganche mecánico o un cable.

6. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 1, en donde el módulo de movimiento submarino incluye al menos uno de los siguientes, un propulsor vertical, un propulsor horizontal o un dispositivo de control de flotabilidad y varias combinaciones de los mismos.
- 5 7. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 1, en donde el módulo de deslizamiento submarino controla además al menos a uno de los siguientes, un patín de deslizamiento, una pista, o una rueda.
8. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 1, en donde el robot submarino (100) incluye al menos un sensor ambiental (126).
- 10 9. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 8, en donde al menos un sensor ambiental (126) incluye al menos uno de los siguientes, una cámara, sonar de imágenes, altímetro, sensor de presión, sensor de profundidad o temperatura.
- 15 10. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 1, en donde el robot submarino (100) incluye al menos un dispositivo de inspección (104).
11. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 10, en donde al menos un dispositivo de inspección (104) incluye al menos uno de los siguientes, una sonda de prueba ultrasónica, una sonda de protección catódica, una sonda de corriente parásita, una cámara infrarroja, o un sistema de escaneo 3D, y varias combinaciones de los mismos.
- 20 12. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 1, en donde el robot submarino (100) incluye al menos un sistema de limpieza de la vida marina (112).
- 25 13. El sistema robótico de medio acuático de la reivindicación 1, que incluye además al menos un robot adicional de superficie del agua en donde los múltiples robots de superficie del agua se encuentran en comunicación inalámbrica para proporcionar un relé de comunicación entre los múltiples robots de superficie del agua y la estación de control (300).
- 30

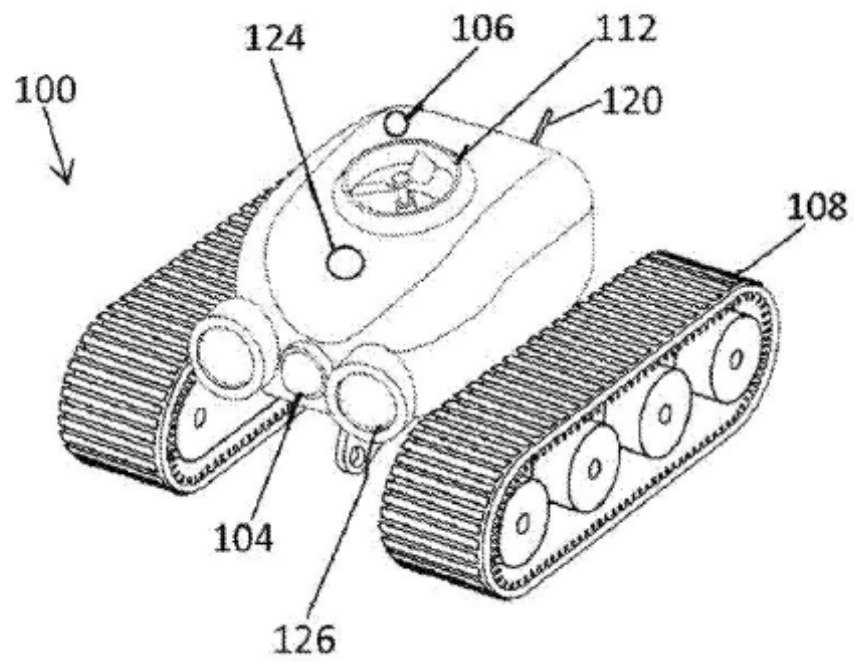


Figura 1

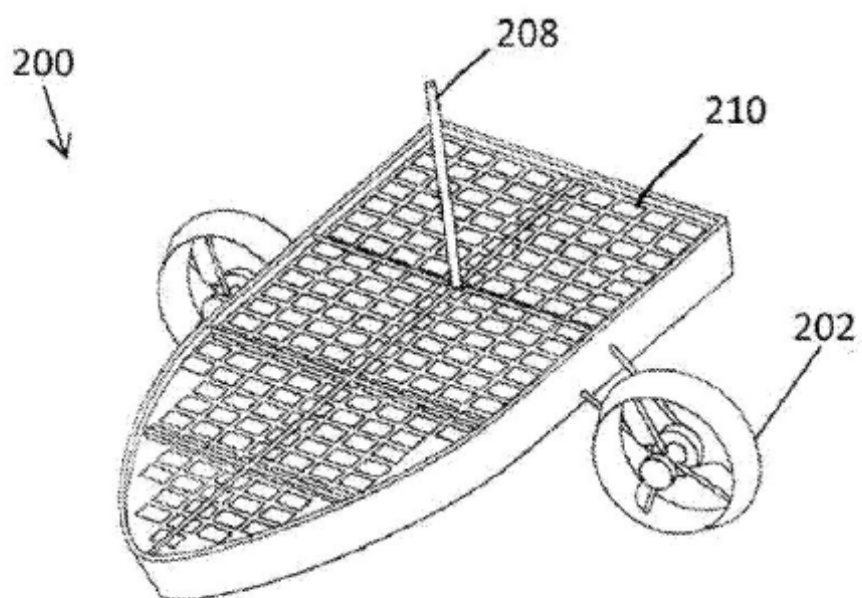
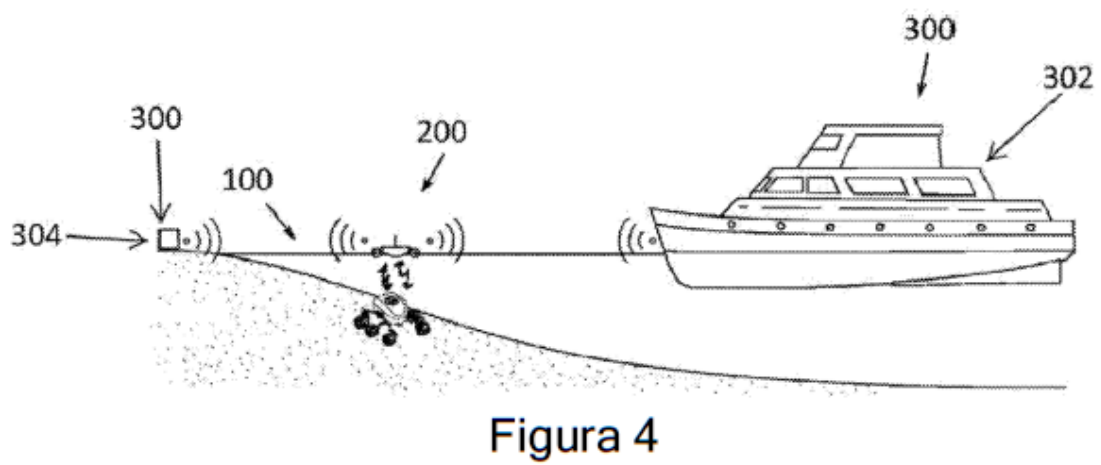
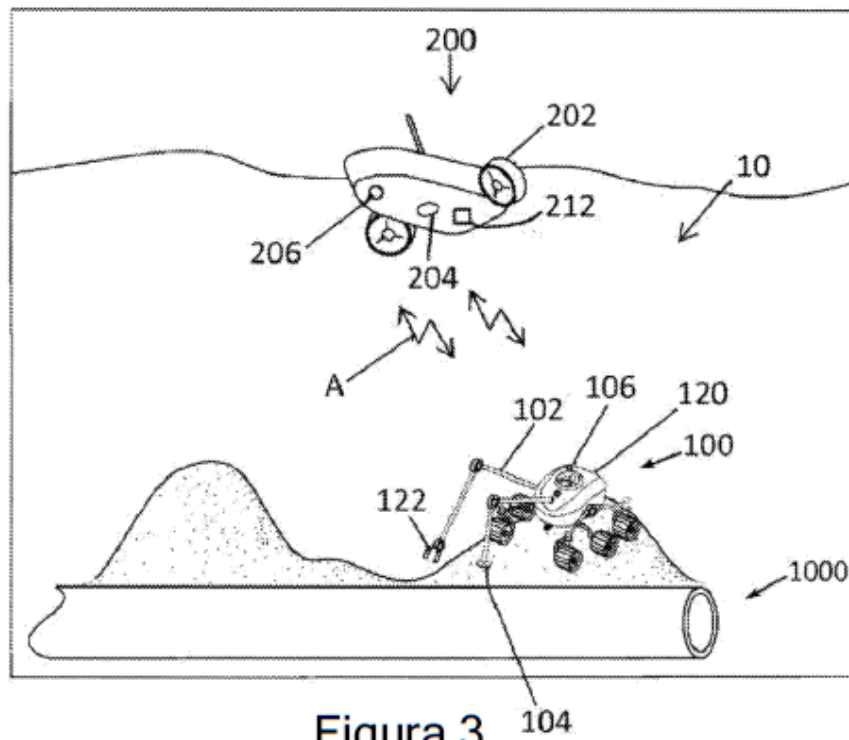


Figura 2



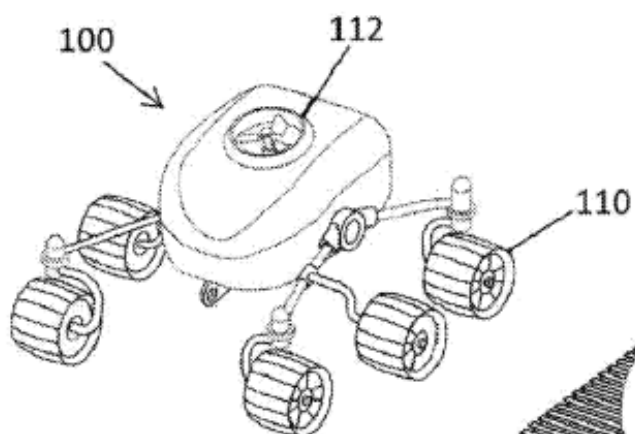


Figura 5A

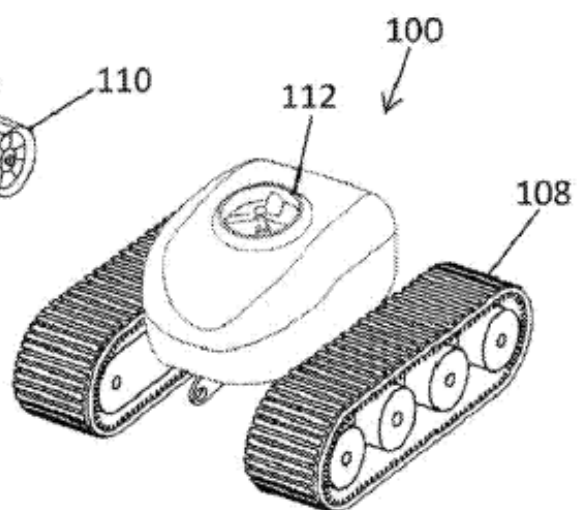


Figura 5B

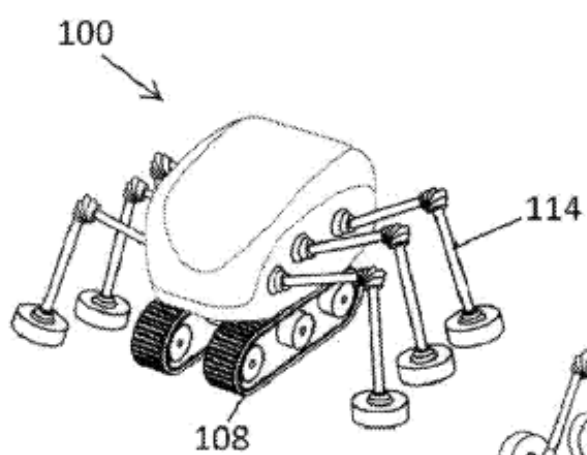


Figura 5C

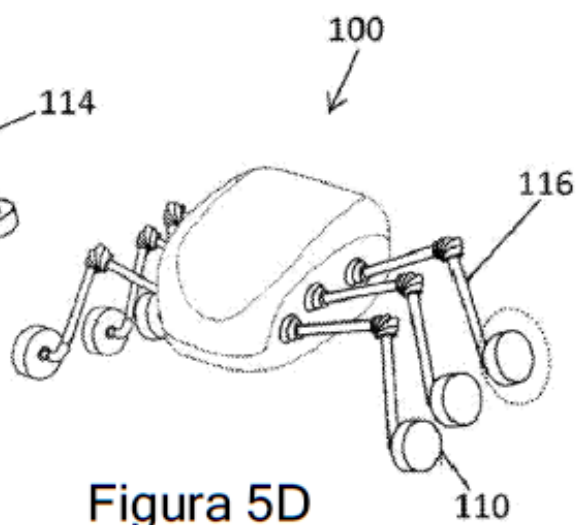


Figura 5D

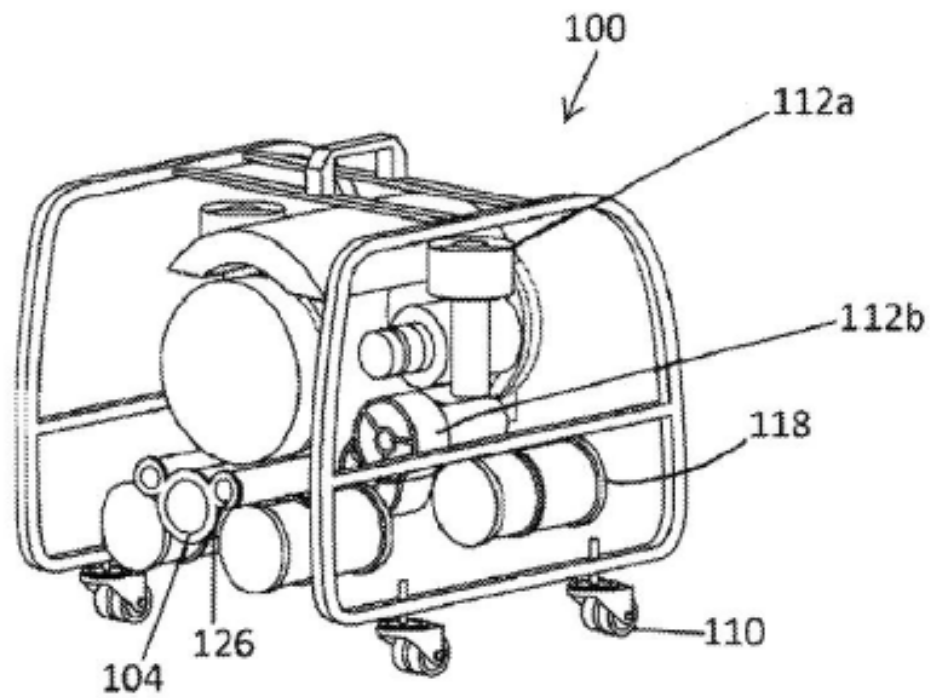


Figura 6

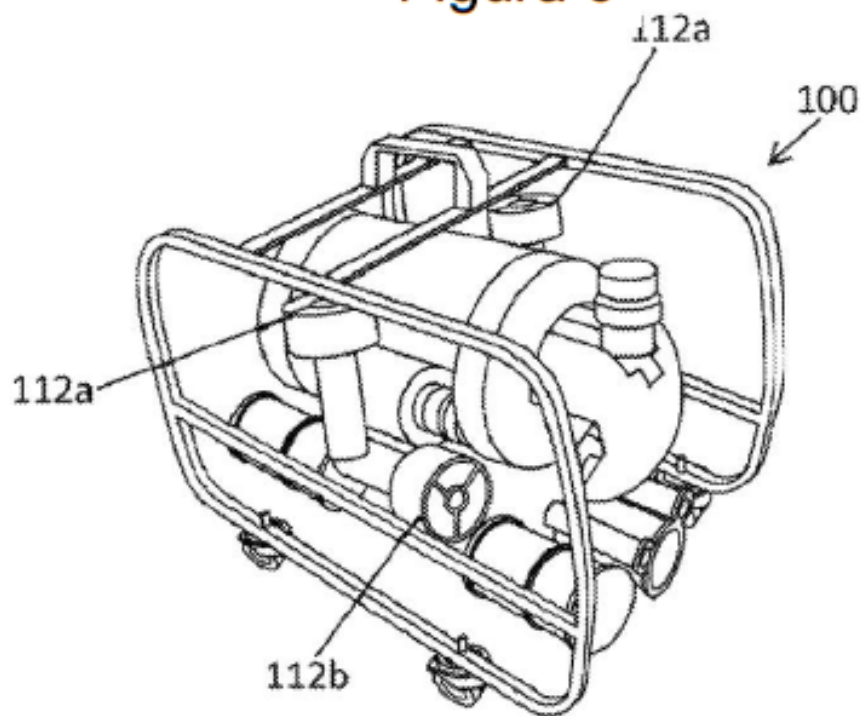


Figura 7

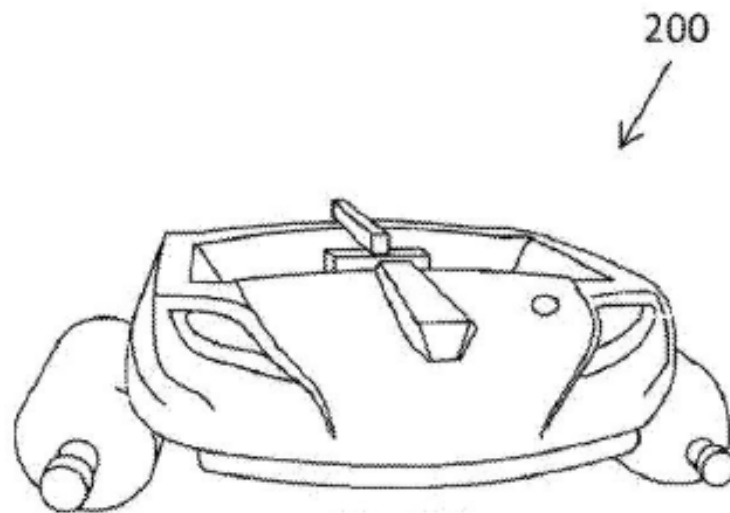


Figura 8A

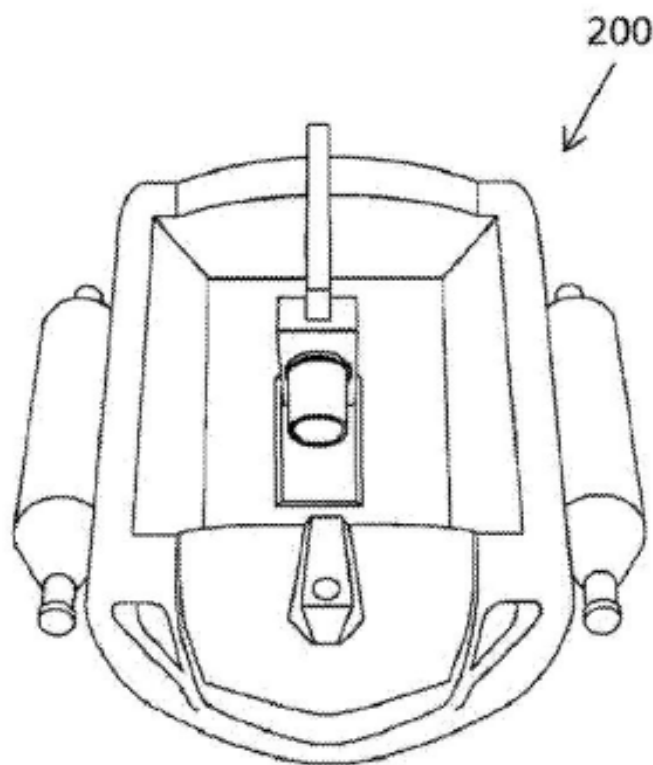


Figura 8B

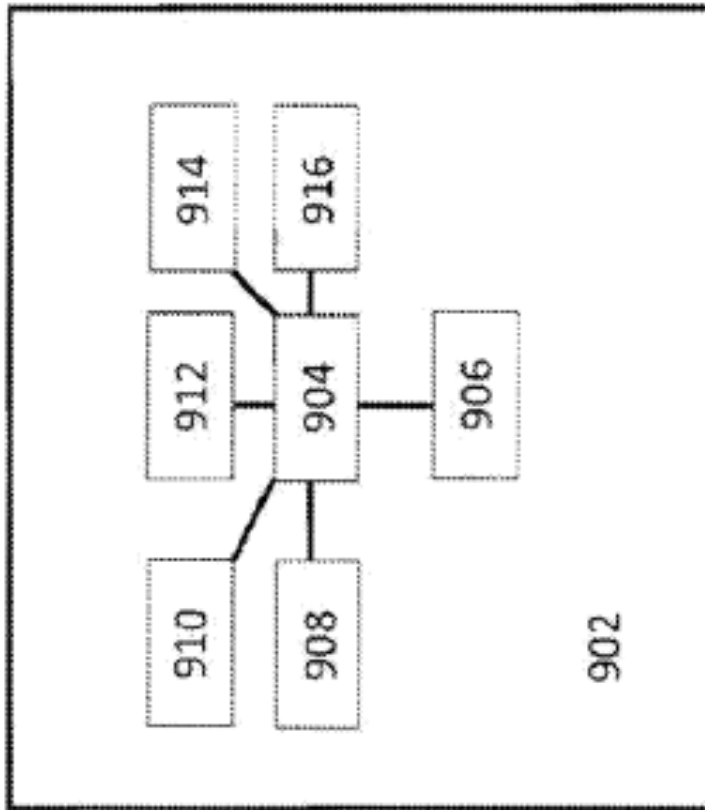


Figura 9