

Análisis de la viabilidad de implantar un robot auxiliar autónomo para los buques FPSO

Trabajo Final de Grado (Bachelor Thesis)



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Lorena García López

Dirigido por:
Francesc Xavier Martínez de Osés

Grado en Náutica y Transporte Marítimo

Barcelona, 9 de mayo de 2022

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náuticas

Versió	Data	Modificacions
1	13/11/2021	Creación del documento
2	26/04/2022	Revisión 1

Escrit per:	
Autor/a:	Lorena García López
Data:	26/04/2022

Revisat i aprovat per:	
Tutor/a:	Francesc Xavier Martínez de Osés
Data:	26/04/2022
Revisat i aprovat per:	
Co-Tutor/a:	
Data:	

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres y hermanos por todo el apoyo que me han brindado durante toda mi vida. Mencionar también a Miquel Serra que me ha ayudado en algunos apartados de la parte de los robots ya que trabaja en la investigación robótica en la Universidad de las Illes Balears. También agradecer a mis amigos de universidad y mi amiga de la infancia Vanesa Mesas también por su apoyo.

Pero mi pilar principal ha sido y sigue siendo a día de hoy Albert Serra por ayudarme tanto con su experiencia como con sus ideas. Ha sido una brisa de aire fresco para inspirarme y poder realizar el trabajo con la mente abierta.

Agradecer a Pedro Rotger por ayudarme en el tema de asegurar el robot. Por último, pero no menos importante, agradecer a mi tutor Xavi Martínez de Osés por ayudarme a elegir el tema del proyecto y por sus consejos.

Resumen

Este proyecto ha sido realizado para analizar la viabilidad de instalar un robot autónomo para los buques FPSO.

Lo primero que se ha estudiado son las funciones que realizan estos vehículos, si son autónomos; gobernados a control remoto o híbridos, los componentes que necesitan para poder hacer sus funciones y los diferentes tipos de robots (tanto terrestres, como aéreos y acuáticos).

Seguidamente, los vehículos acuáticos se han analizado un poco más a fondo y se han expuesto unos cuantos robots autónomos, gobernados a control remoto o ambos, con las características y funciones que más se asemejen al robot del estudio de este proyecto.

Después se ha estudiado la viabilidad de implantar el robot en los buques FPSO. La investigación que se ha realizado en este proyecto ha dado como resultado la confirmación de la viabilidad de implantar un robot de estas características en estos buques, pero con alguna modificación a la idea base, al observar la incompatibilidad de las operaciones de perforación iniciales por parte del robot en el subsuelo para reducir las maniobras y el despliegue de maquinaria pesada que tendría que hacer el buque.

Una vez confirmada la viabilidad, se ha procedido a diseñar, de forma teórica, un prototipo de robot para estos buques al que se ha bautizado como Merry II.

Palabras clave: Robot autónomo – AUV – IAUV - Buque FPSO.

Abstract

This project has been carried out to find out if it was feasible or not to install an autonomous robot for FPSO ships.

The first thing that has been studied is the functions performed by the vehicles; whether they are autonomous, remote controlled or hybrid; the components they need to perform their functions and the different types of robots (terrestrial, aerial and aquatic).

After that, water vehicles have been analyzed a little more thoroughly and a few autonomous, remote controlled or hybrid robots have been presented, with the characteristics and functions that most closely resemble the robot in the study of this project.

Later, the feasibility of implanting the robot in FPSO ships has been studied. The research that has been carried out in this project has given as a result the confirmation of the feasibility to implant a robot with these characteristics in these ships, but with some modification to the basic idea, upon observing the incompatibility of the initial drilling operations by the robot in the subsoil to reduce the maneuvers and the deployment of heavy machinery that the ship would have to do.

Once the feasibility has been confirmed, a theoretical prototype of a robot for these ships has been designed, which has been baptized as Merry II.

Keywords: Autonomous Robot – AUV – IAUV – FPSO Ship.

Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	III
ABSTRACT.....	V
TABLA DE CONTENIDOS	VII
LISTADO DE FIGURAS	XI
LISTADO DE TABLAS.....	XIII
LISTADO DE GRÁFICOS	XV

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO 1. HISTORIA DE LA ROBÓTICA **3**

CAPÍTULO 2. FUNCIONES DE LOS ROBOTS ACUÁTICOS **5**

2.1. TIPO DE MISIÓN.....	5
2.1.1. INSPECCIÓN	5
2.1.2. MANIPULACIÓN	5
2.2. TIPO DE TRABAJO.....	6
2.2.1. INVESTIGACIÓN	6
2.2.2. REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS	6
2.2.3. REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLATAFORMAS PETROLÍFERAS	7
2.2.4. RECUPERACIÓN DE OBJETOS	7
2.2.5. MISIONES DE SALVAMENTO.....	7
2.2.6. MISIONES CONTRA LA CONTAMINACIÓN	8

CAPÍTULO 3. LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS..... **9**

3.1. MÉTODOS DE PROPULSIÓN.....	9
3.1.1. TIPO DE COMBUSTIBLE	9
3.1.2. TIPOS DE MOTOR.....	11
3.1.3. TIPO DE PROPULSIÓN	12
3.2. CASCOS.....	18
3.2.1. TIPOS DE MATERIALES	18

3.2.2.	FORMAS	20
3.3.	SENSORES.....	21
3.3.1.	POSICIONAMIENTO	22
3.3.2.	SENSORES DE ESTADO INTERNO.....	29
3.3.3.	SENSORES DE TRABAJO	33
<u>CAPÍTULO 4. TIPOS DE ROBOTS.....</u>		35
4.1.	AÉREOS.....	35
4.2.	TERRESTRES.....	37
4.3.	ACUÁTICOS.....	38
4.3.1.	PROFESIONAL.....	39
4.3.2.	USUARIO.....	42
<u>CAPÍTULO 5. ESTADO DEL ARTE.....</u>		45
5.1.	EELUME	45
5.2.	NEREUS	47
5.3.	SOFT ROBOT FISH	48
5.4.	MEJILLONES, NENÚFARES Y PECES.....	49
<u>CAPÍTULO 6. LOS BUQUES FPSO Y SUS NECESIDADES.....</u>		51
6.1.	DEFINICIÓN	51
6.2.	TIPOS DE BUQUES	53
6.2.1.	TRANSFORMADOS	55
6.2.2.	NUEVA CONSTRUCCIÓN	58
6.3.	TRABAJOS QUE REALIZAN	59
6.3.1.	PROSPECCIONES	59
6.3.2.	PLATAFORMA PETROLÍFERA	60
6.3.3.	ALMACENAMIENTO.....	60
6.4.	BUQUES Y EMPRESAS.....	61
<u>CAPÍTULO 7. MARCO LEGAL.....</u>		65
7.1.	NORMATIVA GENERAL PARA ROBOTS	65
7.2.	LLOYD’S REGISTER	66
7.3.	ASEGURADORA AXA	66

CAPÍTULO 8. PROPUESTA DE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO Y OPERATIVAS VIABLES	69
8.1. COSTES INSTALACIONES Y BUQUES FPSO	69
8.2. COSTES Y BENEFICIOS DE UN ROBOT	71
8.3. TRABAJO Y FUNCIONES DEL ROBOT EN EL BUQUE	72
8.3.1. ¿HAY ROBOTS EN LOS BUQUES FPSO?	73
8.3.2. ¿SALE RENTABLE INSTALAR UN ROBOT EN UN BUQUE FPSO?	73
8.4. VIABILIDAD	73
CAPÍTULO 9. DISEÑO DEL PROTOTIPO	75
9.1. SENSORES Y ACTUADORES	75
9.2. SISTEMAS DE PROPULSIÓN, MOTOR Y COMBUSTIBLE	79
9.3. MATERIALES	84
9.4. ESTRUCTURA	86
CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES	89
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXO A PÓLIZA AXA	99

Listado de Figuras

Figura 1: Barco que funciona con energía solar y energía del hidrógeno del agua de mar - Betech.	11
Figura 2: Hélice - Fuente Propia.	13
Figura 3: Hélice con tobera - Fuente propia.....	14
Figura 4: Azimut - Fuente propia.....	14
Figura 5: Scarlet Knight AUV con propulsión bioinspirada - Smithsonian.	15
Figura 6: Tuna Robot – El ciudadano.....	16
Figura 7: Propulsión MHD - Fuente propia.	16
Figura 8: Esquema de la embarcación Yamato I – Nuevo sistema de propulsión naval.....	17
Figura 9: Unidad IMU - Reddit.....	23
Figura 10: Brújula de estado sólido – Fuente propia.	23
Figura 11: Velocímetro Doppler - NauticExpo.....	24
Figura 12: Sónar - snl.no.....	25
Figura 13: Sensor de profundidad - NauticExpo.	25
Figura 14: Sistema de posicionamiento acústico - LinkQuest.....	26
Figura 15: Corredera hidrostática – naut.blogcindario.....	27
Figura 16: Sistema de visión - Sector marítimo.....	28
Figura 17: Voltímetro y amperímetro – Electrónica y más.	30
Figura 18: Sensor térmico termopar – srcsl.	31
Figura 19: Sensor térmico RTD - srcsl.....	31
Figura 20: Dron aéreo – Amazon.....	36
Figura 21: Furby – Official Furby Wiki.	37
Figura 22: Cheetah - MIT.....	38
Figura 23: Primer ROV acuático – Subaquatica.....	38
Figura 24: OKPO 6000 – Sector marítimo.	39

Figura 25: Remus 6000 – Sector marítimo.	40
Figura 26: Benthic Rover – Sector marítimo.	41
Figura 27: Sabertooth – Saabseaye.	42
Figura 28: V6S Fifish – Amazon.	43
Figura 29: OpenRov – Hacedores.	43
Figura 30: Eelume inspeccionando tuberías – Computerhoy.	45
Figura 31: Eelume cogiendo herramientas – Computerhoy.	46
Figura 32: Nereus – Sector marítimo.	47
Figura 33: Soft Robot Fish – El mundo.	48
Figura 34: Pez, nenúfar y mejillón – Euronews.	49
Figura 35: Torreta – Ingeniero marino.	52
Figura 36: Buque FSRU con conexión a tierra – Ingeniero marino.	53
Figura 37: Buque FDSPSO cilíndrico – Ingeniero marino.....	54
Figura 38: FPSO transformado y de nueva construcción – Va de barcos.....	54
Figura 39: Tuberías y cables/cadenas de fondeo – Ingeniero marino.	55
Figura 40: Capas de los risers – Nauhcмик2, Youtube.....	57
Figura 41: Sistema Swivels – SMB offshore, Youtube.	58
Figura 42: Reflexión sísmica – ABC.....	59
Figura 43: Diferentes trabajos del FPSO – Ingeniero marino.	60
Figura 44: Buque Terra Nova – Va de barcos.	62
Figura 45: MODEC Noah y M350 – Marinelink.	63
Figura 46: ROV haciendo operaciones de inspección – Ingeniero marino.....	69
Figura 47: Sensor térmico RTD – srcsl.	77
Figura 48: Brazo hidráulico casero – Eco inventos.	79
Figura 49: Estructura interna del Merry II - Fuente propia.	86
Figura 50: Primer diseño del Merry II - Fuente propia.	87

Listado de Tablas

Tabla 1: Materiales y resistencias - Robótica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control.....	18
Tabla 2: Autonomía de los modelos de las baterías de Li-ion - Securame.....	80
Tabla 3: Datos del modelo Tempra LiFePO4 - Fuente propia.	81
Tabla 4: Tabla de consumos - Fuente Propia.	83

Listado de Gráficos

Gráfico 1: Cronología de los Robots - Fuente propia.	4
Gráfico 2: Cronología de los Robots acuáticos - Fuente propia.	4
Gráfico 3: Temperatura del mar – Ventanas al universo.	76
Gráfico 4: Presión que hay en las profundidades marinas – Fuente propia.	77

Introducción

Este trabajo se ha realizado para saber si, gracias al gran avance que ha habido estos últimos 70 años sobre la robótica, y más en concreto sobre la robótica subacuática, es viable que las unidades flotantes de Producción y Descarga o buques FPSO cuenten con un robot autónomo para ayudar a las prospecciones iniciales y realizar las primeras perforaciones, para que el buque no tenga que realizarlas, y que además salga rentable. Normalmente son los mismos buques los que tienen que realizar dichas tareas usando maquinaria muy pesada, difícil de manejar y necesitan unos errores mínimos para poder realizar el trabajo.

Al estudiar la viabilidad de los robots autónomos se intentará cubrir las necesidades de los buques FPSO que de otra manera solo se podría realizar una parte con buzos profesionales, ya que un humano no puede bajar más de 300 m, alrededor de 30 atm¹. En instalaciones de profundidades de más de 300 m el mantenimiento e inspección de posibles fugas o de corrosión en las instalaciones subacuáticas queda desatendida. Por eso se estudiarán los buques FPSO y en caso que se pueda instalar un robot autónomo se estudiará un posible diseño básico (de forma teórica) para poder cubrir las necesidades de estos buques.

Para poder conseguir esto, lo primero de todo es ver si hay otro tipo de robots acuáticos y si son teleoperados o no. Si ya han inventado este tipo de robots el siguiente paso será saber que tipos de trabajos realizan (prospección del subsuelo, mantenimiento, etc.), a que profundidad pueden llegar, etc. Otro punto muy importante es saber qué características tienen los buques FPSO y si ya hay algún tipo de robot auxiliar de cualquier tipo. En el caso que sí existan vehículos subacuáticos se tendrá que estudiar los trabajos que realizan y que necesidades cubre a los barcos.

Una vez se tengan claros estos puntos hay que estudiar la viabilidad del robot. Se tienen que realizar cálculos y ver cuánto costaría crear un robot (de forma general) y el posterior estudio de

¹ Estos datos han sido extraídos de ¿Y si viajáramos al fondo del océano? Por Dankev, un video colgado en Youtube.

los beneficios y pérdidas en función de lo que puede ganar un FPSO pequeño a lo largo de su vida útil.

Una vez se tengan todos estos puntos claros ya sabremos si es viable o no crear un robot y por lo tanto se procederá al siguiente nivel y se empezará a bocetear los primeros diseños básicos del robot *Merry II*.

Capítulo 1. Historia de la robótica

Para empezar a entender este trabajo hace falta saber a lo que se denomina robot. Un robot no es más que una máquina, la cual se programa para que haga determinadas funciones e interactúe con el medio que la rodea.

Hoy en día hay un sinnúmero de robots, pero este proyecto se centrará básicamente en dos tipos. Los primeros son los robots que pueden ser manejados por una persona o ROV (Remotely Operated Vehicle) que son los que tienen el “cordón umbilical” denominado así porque tienen un cable que conecta el robot con la base para poder intercambiar información y poder ser manejado. El teleoperador recibirá el estado en el que se encuentra el robot en todo momento (temperatura, presión, etc.).

También se hablará de los robots autónomos o AUV (Autonomous Underwater Vehicle). Este tipo de robot no tiene el “cordón umbilical”, él solo hace su función y los datos son recopilados por el robot y posteriormente los datos son transferidos del robot a la base con algún otro tipo de conexión.

Finalmente existen los IAUV (Intervention Autonomous Underwater Vehicle) que es la versión híbrida de los ROV y los AUV. Estos robots funcionan de una manera autónoma para ciertos aspectos del trabajo a realizar (desplazamiento de la base hasta una coordenada) y cuando llegan a una posición concreta ya pasan a control remoto.

Una vez conocido el significado de robot y la terminología básica se podrá entender mejor el siguiente gráfico histórico de la robótica en la historia.

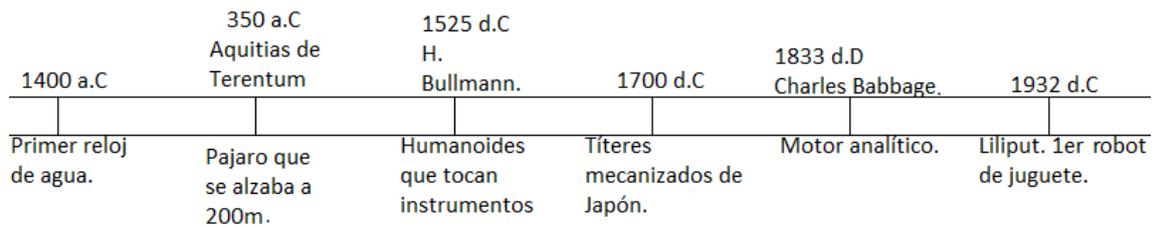


Gráfico 1: Cronología de los Robots - Fuente propia.

Como vemos, en el Gráfico 2 se muestra la historia de los robots submarinos ROV, AUV, IAUV.

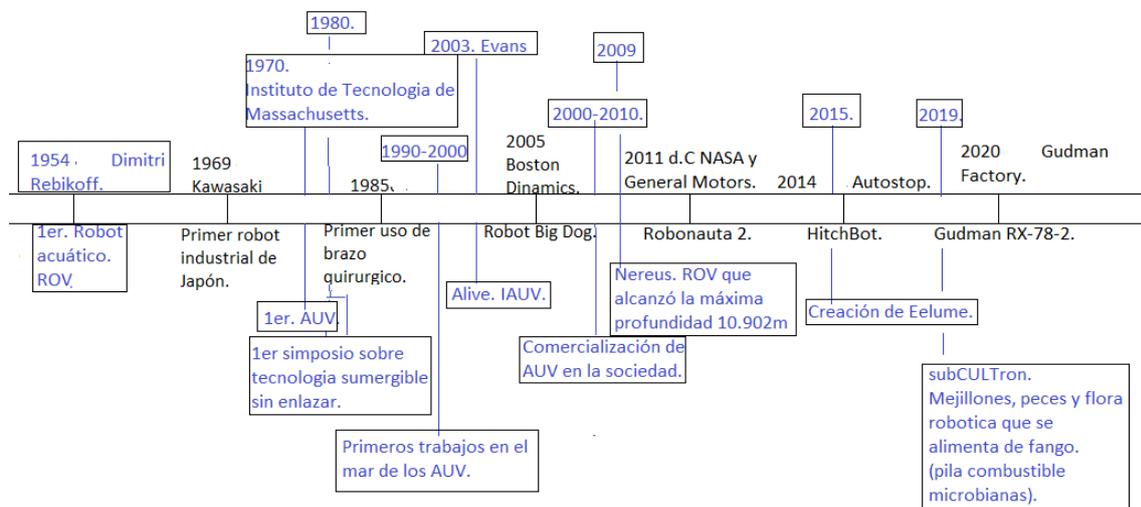


Gráfico 2: Cronología de los Robots acuáticos - Fuente propia.

Los robots acuáticos se crearon en la década de 1950 con la creación del Poodle. Se trata de un robot que es controlado por una persona o ROV. El Poodle fue creado por un ingeniero francés de nombre Dimitri Rebikoff y su mujer Ada Niggeler quienes fueron los padres de esta nueva clase de robots. Su primera misión fue en el 1954 y bajó a una profundidad de 200m.

Desde entonces se han ido creando robots de cada vez más sofisticados, que llegan a más profundidad y que tienen una autonomía mayor.

Capítulo 2. Funciones de los robots acuáticos

Este punto es fundamental para identificar las características que tiene que tener el robot que se instale en el buque, ya que tiene que realizar unos trabajos específicos y, según el trabajo que queramos que realice, éste tendrá que tener unas herramientas determinadas para poder cumplir con su función.

2.1. Tipo de misión

Hay básicamente dos tipos de misión. Independientemente de la misión, el robot podrá realizar unos trabajos específicos como se verá en el apartado siguiente.

2.1.1. Inspección

Este tipo de robots solamente hacen trabajos que no requieran interactuar con el medio en el que se encuentran. Además, realizan el trabajo mientras están en movimiento. Un ejemplo claro sería un robot que hiciera fotos del fondo marino o que estuviese programado para la recopilación de datos. Éstos no requieren ningún tipo de herramienta, solo necesitan sus sensores.

2.1.2. Manipulación

Este tipo de robots tienen que hacer una serie de trabajos más elaborados que los mencionados anteriormente, y por lo tanto serán más complejos. En muchas de las tareas tienen que estar parados para poder realizar con éxito el trabajo.

Estos robots sí interactúan con el medio ambiente y por lo tanto necesitan herramientas y sensores para poder realizar sus misiones. Hay que añadir que varios de los factores más importantes para poder realizar este tipo de misiones son cómo se comporta el robot, la

estructura, el diseño y la resistencia a la presión de las profundidades marinas. En el caso de los ROV necesitarán entre otras cosas una cámara que permita ver en tiempo real lo que está viendo el robot, si no la misión será un fracaso.

Las misiones principales que tienen estos robots acuáticos son por ejemplo el mantenimiento de las estructuras que están debajo del agua o de tuberías, también se encargan de la desactivación de minas, apertura o cierre de válvulas o ayudar en accidentes medioambientales (entre otras).

2.2. Tipo de trabajo

El trabajo son las acciones que realiza el robot estando en contacto con el medio que le rodea. Después de la introducción del punto anterior se ha podido extraer una serie de trabajos que los robots podrían realizar y así reducir costos en las empresas y prevenir que las personas tengan que realizar algunos trabajos peligrosos como podría ser la soldadura submarina o las inmersiones a grandes profundidades.

2.2.1. Investigación

Un trabajo de investigación puede estar incluido en misiones de investigación, pero también en misiones de manipulación. Se pueden realizar trabajos como cartografiar el fondo marino para poder hacer las cartas náuticas o podrían realizarse fotos de especies marinas para poder clasificarlas o descubrir alguna especie nueva, lo cual sería solamente inspección. Sin embargo, otros trabajos importantes de investigación a realizar son tomar muestras de agua de diferentes zonas para analizarla o la recolección de muestras arqueológicas, que implicaría una manipulación.

2.2.2. Reparación y mantenimiento de tuberías

Las tuberías a las que son encomendadas suelen ser oleoductos, gaseoductos, de agua corriente, etc. Estos robots se encargan de asegurarse que no haya ninguna fuga o alguna parte dañada por el óxido en cualquier parte de la tubería. Si se descubre que alguna parte está dañada, además de enviar la información pertinente, el robot procedería a su reparación.

Por el contrario, si solo tiene que hacer misiones de mantenimiento como por ejemplo aligerar válvulas o hacer algún tipo de comprobación, el robot también se encargaría de ello e iría recopilando imágenes e información para mandarla a la base.

2.2.3. Reparación y mantenimiento de plataformas petrolíferas

Como se ha explicado en el punto anterior, los robots se encargarían del mantenimiento, la recopilación de información y la reparación, pero en este caso no tienen que trabajar con tuberías si no con plataformas petrolíferas.

No solo tienen que inspeccionar la estructura de la plataforma, sino que también tienen que controlar la maquinaria que está perforando el subsuelo: si hay alguna fuga, el estado de las mangueras, aligerar válvulas, las entradas de agua salada, etc. Al mismo tiempo que van haciendo la ronda de reconocimiento por el mar tienen que ir haciendo fotos, tomando muestras del agua, recaudando información, etc. Después todos estos datos son enviados a la plataforma para que sepan el estado de la maquinaria que hay debajo de sus pies.

2.2.4. Recuperación de objetos

La misión de estos robots es ir recolectando objetos que hayan sido lanzados, que hayan caído o se hayan perdido en el fondo marino. Por ejemplo, podrían recoger objetos de un pecio o los objetos que caen en un puerto, tanto con el objetivo de la limpieza de las aguas, como del mantenimiento del calado seguro para la navegación o de la recuperación de objetos de gran valor. Después esos objetos serían llevados a un punto en tierra para su posterior reciclaje, estudio, investigación o para ser devueltos a sus dueños.

2.2.5. Misiones de salvamento

Está claro que un naufragio o un MOB (men over board) son asuntos muy delicados y las primeras 24 o 48h son críticas para maximizar las probabilidades de supervivencia. En las misiones de salvamento están las embarcaciones y aeronaves de salvamento haciendo unos recorridos específicos. También se puede encontrar patrullando el buque afectado en el caso de MOB.

Hay patrullas tanto por aire como por la superficie del mar, pero porque no hacer búsquedas por el fondo marino. Estos robots cubrirían el fondo rastreando con el sónar y otro tipo de dispositivos, para garantizar una búsqueda más efectiva.

2.2.6. Misiones contra la contaminación

El Prestige fue uno de los grandes accidentes de contaminación que ha habido en el mar. En este accidente se produjo un vertido de crudo cerca de la costa de Galicia que no pudo ser contenido y condenó las aguas y costas del atlántico y del mar Cantábrico.

Estos robots podrían ayudar a contener la contaminación formando barreras y recogiendo con mangueras los productos nocivos. También, junto con los robots de investigación, pueden ayudar recogiendo agua para poder analizarla y ver si hay algún conato de contaminación próximo a algún buque o en alta mar.

Capítulo 3. Los vehículos autónomos

En este punto se estudiarán los diferentes componentes que tienen los robots, los métodos de propulsión, el tipo de combustible y la forma y estructura que sea más óptima para los robots que tienen que aguantar presiones muy altas. También se hablarán de los diferentes sensores que pueden llevar incorporados (internos, de trabajo o de posición).

3.1. Métodos de propulsión

En este apartado se expondrán varios puntos a tener en cuenta a la hora de estudiar el método de propulsión de cualquier vehículo, incluidos los robots submarinos. Para poder saber cómo funciona un vehículo acuático hay que saber antes la clase de combustible que puede emplear o la clase de motores que existen, ya que el método de propulsión es un conjunto de elementos. También se estudiarán algunos métodos de propulsión no convencionales que podrían aplicarse a los robots submarinos.

3.1.1. Tipo de combustible

Energías renovables:

Las energías renovables de cada vez son más investigadas y están más adaptadas en la sociedad. El objetivo es poder quitar o reducir los combustibles fósiles, ya que crean unos residuos muy nocivos. Estas energías son las producidas por el sol, el viento, las mareas, las corrientes marinas, el calor de la tierra, etc. Sus principales ventajas son que resultan mucho menos contaminantes que otras fuentes de energía y además son fuentes de energía que no se van a agotar, al menos durante muchos miles de años.

Baterías:

Las baterías se encargan de recolectar y almacenar la energía eléctrica. A lo largo de los años se han mejorado notablemente este tipo de dispositivos. En comparación con las primeras baterías que aparecieron las de ahora son mucho más compactas, tienen un mayor almacenamiento, pesan menos y se pueden poner en cualquier posición. Aunque también hay que mencionar que las más modernas tienen un coste más elevado. A continuación, se procederá a nombrar las baterías más comunes:

- ✚ **Plomo-calcio:** No requieren mantenimiento y al estar selladas no hay derrames. SMF (sealed maintenance free).

- ✚ **Gel:** tienen el electrolito en forma de gel y por lo tanto no tienen derrames.

- ✚ **Electrolito absorbido:** AGM (Absorbed Glass Mat). Estas baterías son tres veces más caras que las de Plomo-calcio, pero como no tienen el electrolito líquido no pueden haber derrames y gracias a su diseño se pueden poner en cualquier posición.

- ✚ **LiFePO₄ o LFP:** son las baterías de ion litio más seguras que hay en el mercado, pesan un 70% menos que las tradicionales y también ocupan un 70% menos. También es cierto que son más caras que las tradicionales.

- ✚ **Li-Ion:** pueden almacenar mucha cantidad de energía, este tipo de baterías emplean un electrolito de sal de litio.

Combustibles fósiles:

Estos combustibles son los más usados hasta el momento, aun que de cada vez se usan menos. Éstos se consiguen a través de la descomposición del petróleo, creando gasolinas, gasóleos, metanos, naftas, etc.

Esta clase de combustibles son utilizados en los motores de combustión y el problema que tienen es que al combustionar crean unos residuos muy dañinos para el medio ambiente y los seres vivos causando, entre otras cosas, la destrucción de la capa de ozono o la contaminación de los mares.

Hidrógeno:

Mediante la hidrólisis del agua puede obtenerse O₂ y H₂. Si se almacena el hidrógeno en tanques presurizados sería un magnífico combustible para motores de explosión, con la ventaja que no produciría óxidos de carbono durante la combustión, reduciendo la contaminación producida por los combustibles fósiles. Aunque también se podría emplear para alimentar una batería para invertir la hidrólisis del agua y crear electricidad para alimentar un motor eléctrico.

Actualmente han creado un barco que funciona con paneles solares y, a la vez que emplea la energía del sol para impulsarse, la energía sobrante la usa para hacer la hidrólisis del agua de mar que va recogiendo y va almacenando el hidrógeno en unos tanques presurizados. Cuando cae la noche con el oxígeno que hay en el aire invierten el proceso de la hidrólisis y la energía que se produce la usan para que el motor eléctrico siga funcionando.



Figura 1: Barco que funciona con energía solar y energía del hidrógeno del agua de mar - Betch.

3.1.2. Tipos de motor

Los combustibles tratados anteriormente son la fuente de alimentación de los dos motores más empleados que hay en la historia. Los dos motores que se van a tratar a continuación son el eléctrico, que puede usar como fuente para poder funcionar tanto la batería, el hidrógeno (empleado como batería), las energías renovables y los combustibles fósiles en el caso de los

generadores; y el motor de combustión que básicamente puede emplear los combustibles fósiles o el hidrógeno.

Eléctrico:

Son motores trifásicos conectados en estrella o triángulo. Su funcionamiento es muy sencillo. Estos motores tienen un electroimán que al recibir electricidad se pone en funcionamiento y transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Esa energía que se crea, en el sector automovilístico permite que las ruedas giren, en el sector náutico se transmite esa energía mecánica al eje donde va acoplada la hélice.

Combustión:

Este motor es mucho más antiguo que el eléctrico y más utilizado. Los hay de dos tiempos (que solo se emplean en motores muy pequeños) y de cuatro tiempos. Éste último es el que más se conoce puesto que es con el que funcionan los coches y casi todos los motores marinos de combustión.

El resultado final es más o menos el mismo que el motor eléctrico, la rotación del eje, pero con la diferencia que, en vez de moverse por medio de la electricidad, éste lo hace por medio de los combustibles fósiles o el hidrógeno, transformando la energía química en energía mecánica.

Aunque el resultado al final es el mismo que con el motor eléctrico, lo malo de este tipo de motor es que al combustionar se crean unos residuos que son nocivos para el medio ambiente y los seres vivos. Sin embargo, al usar el hidrógeno como combustible se consigue reducir la cantidad de residuos nocivos que se expulsan durante la combustión.

3.1.3. Tipo de propulsión

Se denomina sistema de propulsión al conjunto de maquinaria que se encarga del movimiento del buque, submarino, robot acuático, ... La mayoría de estos tipos de propulsión están compuestos por un motor de combustión, eléctrico o ambos. Sin embargo, no todos son así. Vamos a ver algunos de los sistemas de propulsión más habituales y otros más innovadores.

Hélice:

Este tipo de propulsión, después de la vela, es uno de los más antiguos. Este sistema cuenta con un eje que conecta la hélice al motor o a la reductora para poder transmitir el movimiento rotatorio que sale del motor, que puede ser eléctrico o de combustión.

La hélice es una de las piezas fundamentales de este sistema y no es más que unas palas (con cierto ángulo, longitud y forma) unidas a un núcleo. El núcleo tiene un orificio en el centro por el que se une la hélice con el eje.

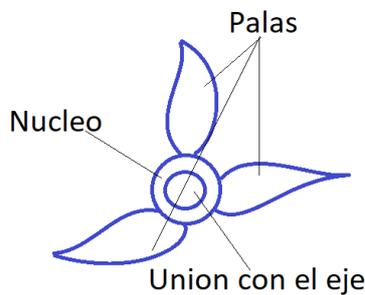


Figura 2: Hélice - Fuente Propia.

Otra cosa a tener en cuenta es la dirección en la que gira la hélice. Puede ser dextrógira, en sentido de las agujas del reloj, o levógira, en sentido contrario a las agujas del reloj.

En cuanto a las palas pueden ser fijas o variables. Dentro de la propulsión por hélices hay muchas variantes y esto es clave para entender los siguientes puntos.

- ✚ **Paso fijo:** Es la primera que apareció y se trata de una pieza rígida.
- ✚ **Paso variable:** El ángulo de las palas se puede ajustar para que tengan más o menos ángulo en relación con el sentido de avance, de manera que una circunferencia completa provoque un avance mayor o menor.
- ✚ **Paso controlable:** Las palas tienen un mecanismo hidráulico que hace que podamos orientar las palas de tal manera que podamos no solo controlar la velocidad, sino que también podemos parar y dar atrás.

- ✚ **Con tobera:** Solamente es instalar una estructura alrededor de la hélice para reducir la cavitación y proteger la hélice.

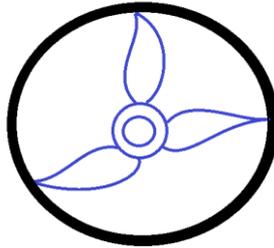


Figura 3: Hélice con tobera - Fuente propia.

- ✚ **Azimutal:** Son estructuras que van colocadas en la parte baja de la embarcación. Estas estructuras pueden girar 360º y normalmente se instalan por pares. En la parte baja de esta estructura puede haber una o dos hélices (en el segundo caso una a cada lado de la estructura).

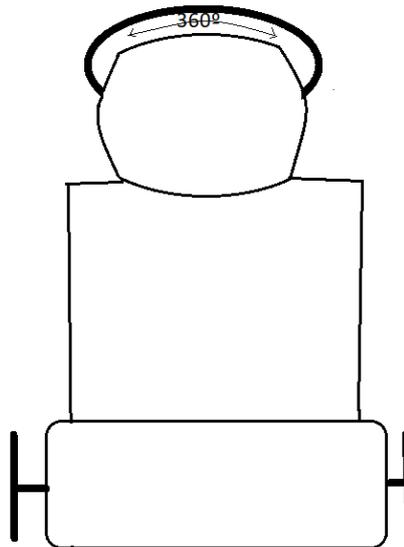


Figura 4: Azimut - Fuente propia.

- ✚ **Hélice contrarrotativa:** Este sistema pone dos hélices de diferente dirección de giro puestas en el mismo eje, esto hace que los vehículos acuáticos vayan a más velocidad con menos potencia.

- ✚ **Voith Schneider:** Son palas colocadas verticalmente sobre el casco, éstas giran 360º sobre si mismas y cada pala es independiente.

Jets:

Los jets están compuestos por unas entradas que se encargan de aspirar el agua de mar mediante unas turbinas que la impulsan con fuerza hacia unas toberas. Las entradas de agua cuentan con filtros para evitar posibles embozos en el sistema de propulsión. El agua es movida por unas turbinas que le dan velocidad al agua. Ésta después sale por unas toberas que hay instaladas en el vehículo y mediante unas cazoletas que van variando su ángulo, dirigen la salida del agua y la orientan para poder impulsar al vehículo a la velocidad y dirección deseadas. Este sistema no utiliza timón ya que pueden dirigir el agua en la dirección deseada.

Bioinspirados:

Son aquellos métodos de propulsión cuya forma y movimiento imitan a las diferentes especies marinas como peces, anguilas, etc. Estos métodos de propulsión no son tan habituales como los anteriores, y aunque se usan en algunas embarcaciones de cierto tamaño, es más habitual verlos en vehículos submarinos de pequeñas dimensiones.

Un ejemplo sería el uso de pequeños espacios que hay dentro del robot para introducir o extraer agua, con lo que también se puede controlar que el robot se sumerja o emerja a la superficie. Otro ejemplo es el uso de aletas para poder moverse por el agua como cualquier otro pez, como es el caso del Scarlet Knight que consiguió cruzar el Atlántico en 8 meses.

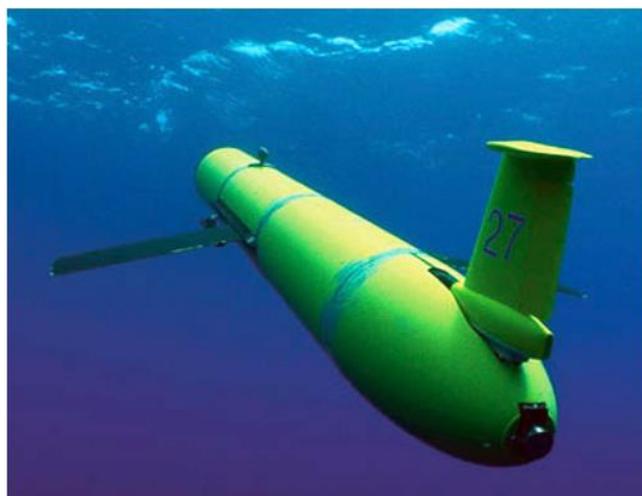


Figura 5: Scarlet Knight AUV con propulsión bioinspirada - Smithsonian.

Otro ejemplo es el Tuna Robot que con una aleta caudal ha logrado superar en velocidad a los peces que imita, los atunes. Este robot se mueve transversalmente con un movimiento de hasta 10 veces por segundo para lograr impulsarse.

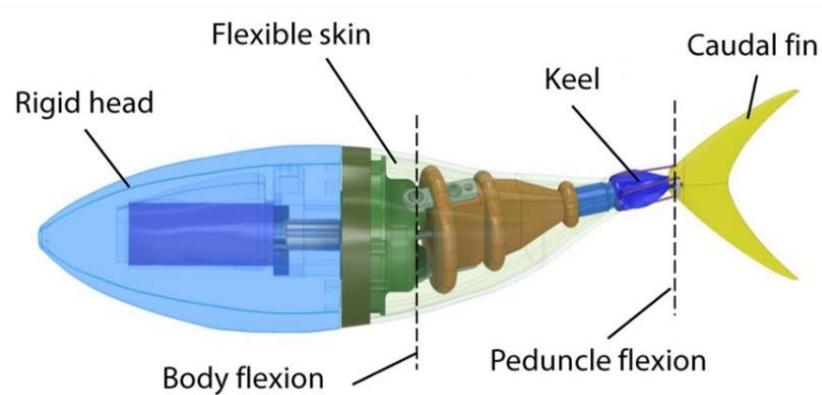


Figura 6: Tuna Robot – El ciudadano.

Magnetohidrodinámicos, MHD:

Este tipo de propulsión no necesita ningún tipo de hélice, ni chorro a alta velocidad, ni elemento móvil para poder moverse; solo necesita un electroimán y estar en contacto con el agua salada para poder moverse. Lo que permite que pueda desplazarse es la interacción entre un campo magnético y un campo eléctrico producido por dos electrodos que están conectados a una batería, corriente continua, que están en contacto directo con agua de mar.

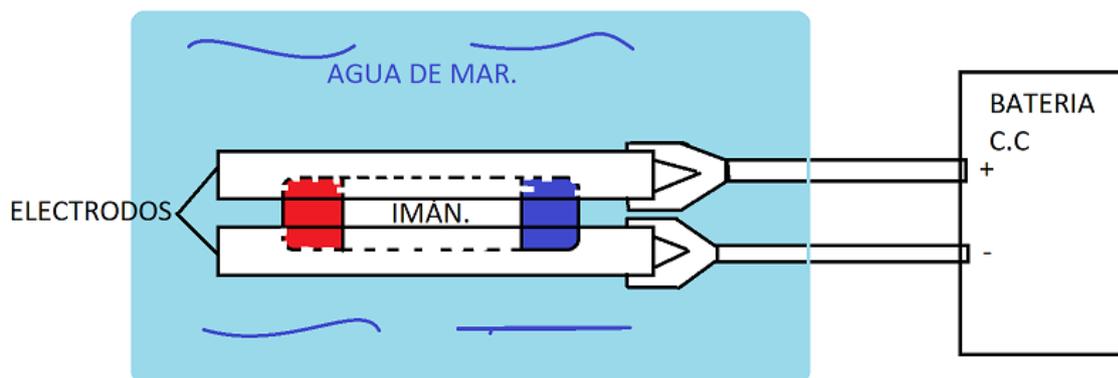


Figura 7: Propulsión MHD - Fuente propia.

Este tipo de propulsión fue un gran descubrimiento, ya que permite tener una propulsión sin ningún tipo de mecanismo móvil. Sin embargo, tiene un gran problema y es que su rendimiento es escaso. Para poder usarse como medio de propulsión se necesitarían unas inducciones magnéticas muy elevadas dentro de unos volúmenes muy grandes para poder tener un rendimiento admisible. Además de todo esto hay que tener en cuenta que la tierra también es un gran campo magnético y por lo tanto el MHD se vería afectado y se tendría que contrarrestar.

Si la parte propulsora se llegara a instalar en los buques o submarinos proporcionarían una serie de ventajas:

- ✚ Al no haber hélices no habría cavitaciones, lo cual podría permitir mayores velocidades y menos desgaste de los materiales.
- ✚ No habría ruidos porque no habría ninguna clase de motor.
- ✚ No se necesitarían gran parte de los elementos de un sistema de propulsión convencional, como el servo o la reductora, lo que reduciría notablemente el mantenimiento de la instalación.

Pese a que las desventajas son de una importancia considerable, la tecnología ha avanzado mucho en el ámbito de la superconductividad y esto ha permitido que se creara la primera embarcación propulsada por MHD, el Yamato I.

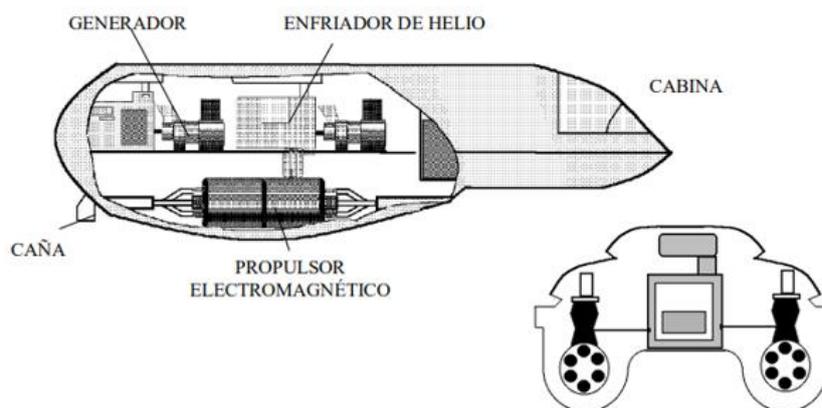


Figura 8: Esquema de la embarcación Yamato I – Nuevo sistema de propulsión naval.

3.2. Cascos

El casco también es una parte fundamental del robot, puesto que dentro de ésta se van a encontrar todos los diferentes elementos estudiados anteriormente y los puntos que se estudiarán a continuación (como el ordenador de a bordo, los sensores, los cables, tarjetas electrónicas, controladores, los elementos mecánicos del robot, sistemas de propulsión, etc.). Normalmente la parte que está dentro de la cabina no puede mojarse con agua de mar, si bien es cierto que en algunos robots ciertas partes de dentro del casco están inundadas de aceite o de una sustancia líquida para compensar las presiones ejercida por las profundidades del mar.

En este punto se tratará sobre los diferentes materiales que se pueden usar para construir el casco de los robots, teniendo en cuenta cómo afecta la presión del agua, y cuál sería la mejor forma del casco.

3.2.1. Tipos de materiales

Los materiales que más se emplean son los metales, las aleaciones y los plásticos. De cada uno de los materiales hay que tener en cuenta la resistencia, las presiones que deberán soportar, la resistencia a la corrosión y también se tendría que hacer un estudio del estrés térmico de dichos materiales ya que van a sufrir grandes cambios de temperatura.

Resistencias:

Material	Densidad (Kg/dm ³)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Módulo de tensión (GPa)	Resistencia Específica ($\frac{KNm}{Kg}$)
Acero alta resistencia (HY80)	7.86	550	207	70
Aleación de Aluminio (7075)	2.9	503	70	173
Aleación de Titanio (6-4 STOA)	4.5	830	120	184
CFRP Epoxy/S-Iass)	1.7	1200	210	706
GFRP (Epoxy/HS)	2.1	1200	65	571
Acrílico	1.2	103	3.1	86
PVC	1.4	48	35	34

Tabla 1: Materiales y resistencias - Robótica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control.

La densidad es una relación entre el peso de un material y el volumen que ocupa.

La resistencia a la fluencia es el punto donde el material a una determinada temperatura y aplicando una determinada tensión empieza a deformarse sin que regrese a su estado inicial, también se llama límite elástico aparente.

El módulo de tensión de un material es la resistencia que opone a doblarse al aplicarle una tensión externa.

En esta tabla la resistencia específica es la relación de la resistencia que tiene el material respecto a su peso.

Materiales:

Los materiales más comunes de los cascos son los siguientes:

-  Acero de alta resistencia (HY80).
-  Aleación de Aluminio (7075).
-  Aleación de Titanio (6-4 STOA).
-  CFRP (Epoxy/S-lass). Plásticos reforzados con fibra de carbono.
-  GFRP (Epoxy/HS). Plásticos reforzados con fibra de vidrio.
-  Acrílico.
-  PVC.

Unas de las características más convenientes son la alta resistencia y el bajo peso. Entre los tres metales que aparecen en la tabla, el titanio posee una mayor relación resistencia peso, seguido del aluminio y luego del acero.

En cuanto al precio de los materiales, los plásticos de fibra de vidrio son los más económicos de todos después de los PVCs. De los tres metales el más económico es el aluminio y el titanio es el más caro.

Los cascos construidos con aluminio tienen una gran desventaja y es que conduce muy bien la electricidad y se crean corrientes galvánicas que hace que se deteriore muy rápido el material en contacto con el agua, por eso hay que instalar ánodos de sacrificio para proteger la estructura.

Una vez comparados los metales se procede a comparar los no metales. El acrílico es un material de poca resistencia y que se emplea en robots que se sumergen hasta los 1000m. Se usa solo para impermeabilizar las zonas donde tiene que haber una apertura para los diferentes sensores o cámaras, ya que es un material transparente y no dificulta el trabajo de ninguno de estos elementos.

El PVC es el material más barato que hay pero que tiene menor resistencia de todos y solo se emplea en profundidades muy pequeñas.

Como podemos ver los materiales más resistentes en función de su peso son los plásticos recubiertos con fibra de vidrio o de carbono, el inconveniente de construir un robot con fibra de carbono es que es muy costoso.

3.2.2. Formas

Las formas son muy importantes ya que dependiendo de la forma se genera más o menos resistencia al avance y se reparten mejor las presiones ejercidas por el agua. El volumen que ocupa también es importante ya que tenemos que introducir dentro del robot todos los mecanismos pertinentes para poder funcionar y desempeñar su labor de una manera óptima. Para los elementos exteriores como por ejemplo el sistema propulsor deseado, los brazos robóticos o la disposición de los sensores, las cámaras y las luces también es importante la forma que tenga el robot ya que tienen que trabajar de la manera más óptima.

En cuanto a la resistencia al avance la mejor forma es una forma cilíndrica con ambas terminaciones en forma de cono redondeado ya que cuando el agua fluye alrededor de la cabeza se producen menos turbulencias haciendo que el robot se desplace mejor en el agua. La terminación trasera, por donde sale el agua, también tiene que tener una terminación de estas características puesto que si es una terminación muy grande o brusca se generarán unas fuerzas de succión creando, entre otras cosas, cavitación que no permitirá un correcto avance, consumirá más el robot y se dañará esa zona a causa de la cavitación.

Como bien es sabido, para repartir mejor las presiones, la mejor forma es un recipiente esférico ya que al ser redondo no tiene ningún punto débil ni de rotura, Al ser redondo las presiones quedan repartidas homogéneamente por toda la superficie de manera que a una misma presión exterior el material necesitará la mínima resistencia. Es muy poco práctico hacer un robot esférico a causa de los trabajos que tiene que realizar, el manejo del robot y la resistencia al avance que sufriría. Para ello solo hay que buscar la forma más parecida y lo más parecido a una esfera es un prisma, es decir un cilindro con las bases en forma de semiesfera.

En cuanto a la forma del volumen interior, tiene que tener el tamaño idóneo para que quepa todo el equipo que se necesitará instalar y no debe de sobrar mucho espacio, ya que como más pequeño sea el robot más económico y más práctico resultará. Pero también tenemos que tener en cuenta la forma que tenemos. Hemos dicho anteriormente que al ser más estrecho y cilíndrico, será mejor para reducir la resistencia al avance, pero al tener en cuenta el espacio interior, al ser más ancho será mejor, ya que se podrá disponer de más espacio para poder colocar de una forma óptima todos los aparatos.

Para las herramientas o mecanismos que quedan en el exterior del robot también tendremos que pensar que forma tiene que tener y donde lo instalaremos para que pueda realizar un buen trabajo y no haya fallos.

En definitiva, una forma cilíndrica es la mejor forma que puede tener nuestro robot, incluso se reducen costos ya que al ser de una forma tan hidrodinámica hace que no consuma tanto y por lo tanto tenga más autonomía con el mismo combustible. No debe ser coincidencia que la forma más óptima para nuestro robot sea la misma forma que tienen la mayoría de las especies acuáticas como los peces, serpientes, etc.

3.3. Sensores

En este apartado se tratarán los diferentes sensores que pueden haber instalados. Normalmente se dividen en tres categorías: posicionamiento, estado interno y medición del ambiente.

Los sensores sirven para captar el medio que rodea al dron acuático y con esto puede captar información que se almacenará y posteriormente se puede depositar en la base o pueden ser procesadas por el robot para que éste pueda interactuar con el medio y realizar su trabajo. Otra de las funciones que tienen es orientarse en el medio, puede determinar su velocidad mediante la posición de otros objetos. También le permitirán determinar su estado de funcionamiento, etc.

3.3.1. Posicionamiento

El posicionamiento es fundamental para que el dron acuático pueda orientarse y realizar su trabajo, sobre todo si son AUV o IAUV ya que, al no tener ningún tipo de enlace con el usuario, si no tuvieran sensores como por ejemplo sónar o laser irían totalmente a ciegas.

En cambio, en los robots ROV es muy importante que puedan tener una cámara para que el usuario pueda ver en todo momento lo que está haciendo, porque de otra manera también estaría a ciegas.

GPS:

Permite posicionarse en cualquier parte del mundo. El GPS funciona por triangulación desde los satélites. Se mide cuanto tarda la señal en ser transmitida por el satélite y recibida. Con 3 satélites puedes saber la latitud y longitud, con cuatro o más puedes saber la altitud. Cuando los satélites ya conocen tu ubicación la unidad de GPS entonces puede conocer otros datos como la velocidad, rumbo, etc.

Este tipo de sensor se usan sobre todo para los robots terrestres o en los planeadores acuáticos, se capta la posición cuando emergen a la superficie. El problema es que no puede ser usado debajo del agua, por lo que mientras el robot esté sumergido necesitará otros sistemas de posicionamiento.

Unidad de Medición Inercial, IMU:

Esta unidad se encarga de dar la información de la aceleración lineal y angular que tiene el robot. Esta unidad consta de tres giróscopos que permiten medir los ángulos de guiñada, cabeceo y alabeo. Más tarde la información adquirida es enviada a otro equipo interno mediante otro medio de comunicación. Los IMU además de los giróscopos también tienen integrados unos acelerómetros e incluso hay algunos que tienen una brújula electrónica.

Su método de navegación es muy simple, la IMU es alimentada por una computadora que calcula su posición mediante la velocidad, el tiempo transcurrido, las direcciones tomadas, etc.

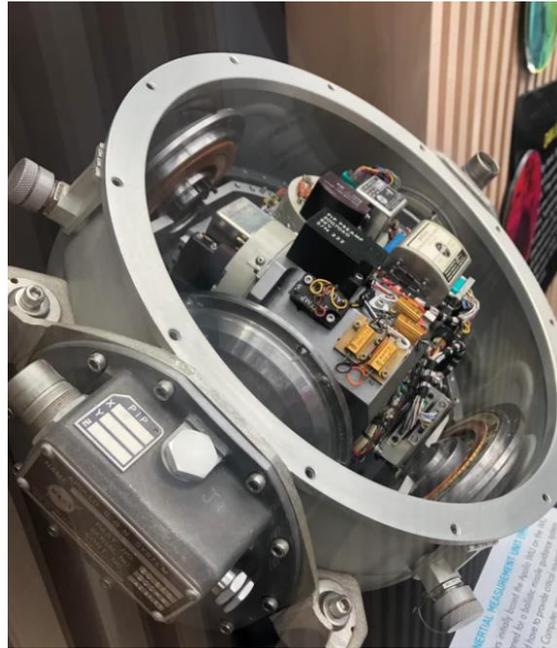


Figura 9: Unidad IMU - Reddit.

Brújula de estado sólido:

Se basa en la detección de los campos magnéticos de la tierra. Para conseguirlo el dispositivo tiene dos o tres magnetorresistencias o sensores de efecto Hall que están orientados a 90° entre ellos. Aplicando unos cálculos para saber la velocidad vectorial puede encontrar la posición del norte. Para poder funcionar correctamente es necesario compensar los imanes que vayan a bordo, con esto se consigue una fiabilidad de $\pm 1^\circ$ de error.



Figura 10: Brújula de estado sólido – Fuente propia.

Velocímetro Doppler de navegación:

Trabaja con la transmisión de unas tres o cuatro ondas ultrasónicas. Estas ondas van en diagonal con dirección al fondo, con un ángulo muy pequeño hacia los lados, hacia delante y hacia detrás. La unidad tiene un sistema de procesamiento que con el análisis de los ecos recibidos y sus conexiones calcula la velocidad. La posición se obtiene de una manera indirecta por edometría, estimaciones del posicionamiento del robot.

Este sensor tiene un problema y es que el velocímetro Doppler tiene que estar a cierta distancia del fondo marino, y no puede haber grandes profundidades, ya que el eco no volvería.



Figura 11: Velocímetro Doppler - NauticExpo.

Sónar para detección de obstáculos:

Consiste en varios emisores y receptores de ondas de sonido. Cuando se emiten las ondas acústicas se mide el tiempo en captar las ondas rebotadas. Por medio del análisis del tiempo transcurrido y de la dirección se hacen unos cálculos y se determina la distancia que hay hasta el objeto. Otra de las cosas que se puede saber es la forma aproximada del objeto. El sistema es parecido al sistema de radar de los barcos.

Otro método que se puede usar es el emisor láser, pero pueden tener problemas en aguas turbias, debido a que son muy sensibles a la materia.

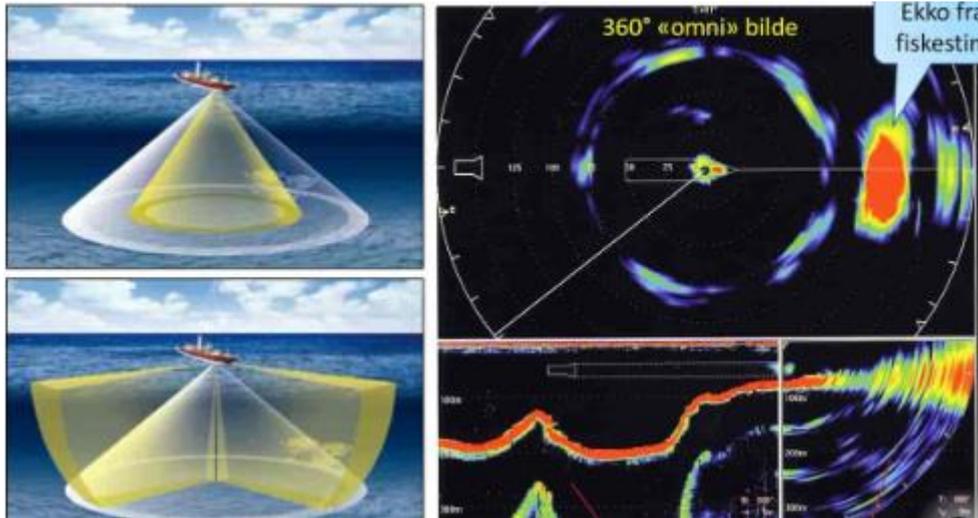


Figura 12: Sónar - snl.no.

Sensor de profundidad:

Este método es muy sencillo, solamente se tiene que instalar un sensor de presión absoluta que al contacto con el agua se activa. Este sensor funciona de una manera muy parecida a los sensores actuales de medición de tanques. Como la presión ejercida al sensor por el agua es proporcional a la profundidad solo es necesario instalar al robot los datos de las proporciones de la columna de agua con respecto a la densidad.



Figura 13: Sensor de profundidad - NauticExpo.

Sistema de posicionamiento acústico:

Este sistema determina la posición del dron subacuático en los planos X, Y, Z. El sistema tiene dos emisores y receptores que reciben (transceptor) y emiten (transpondedor) señales acústicas. Los receptores están instalados en el robot y los transpondedores están instalados en dispositivos que están dentro del mar en posiciones conocidas.

Cuando el transceptor envía las ondas acústicas, éstas son recibidas por tres o más transpondedores. Cuando los transpondedores reciben la señal automáticamente emiten una respuesta en forma de onda acústica (que es diferente a cada transpondedor para que se sepa cual emite) que será captado por el transceptor instalado en el robot. La distancia es medida a través del tiempo de las ondas emitidas por cada transpondedor y mediante una triangulación de las diferentes señales se obtiene la posición del robot y su orientación. Hay tres tipos de sistemas:

- ✚ Base larga (LBL *Long Baseline System*): Los transpondedores están instalados sobre el lecho marino.
- ✚ Base corta (SBL *Short Baseline System*): Los transpondedores están instalados en las embarcaciones de apoyo.
- ✚ Base Ultra Corta (USBL *Ultra Short Baseline System*): Los transpondedores están instalados en las embarcaciones de apoyo.

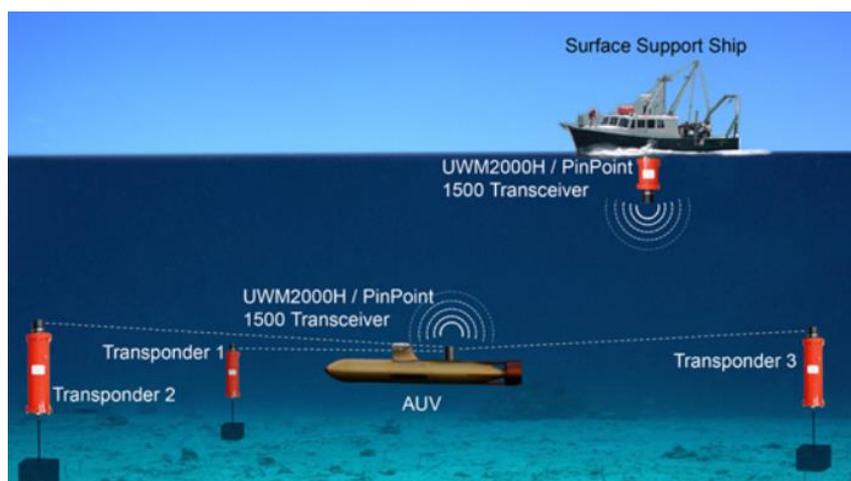


Figura 14: Sistema de posicionamiento acústico - LinkQuest.

Velocidad:

El sensor para medir las velocidades se denomina corredera, ha avanzado mucho desde el día en que se inventó. Hoy en día hay muchas variantes que funcionan de maneras diferentes, aunque algunas de ellas tienen la misma base.

- ✚ Electromagnética o hidrostática: Este sensor se basa en medir la diferencia de presiones que se crea entre la presión que es el resultado de la columna de agua y la presión dinámica del agua. Esta diferencia actúa sobre una varilla que, mediante un voltímetro y un presostato, indica la velocidad en nudos.

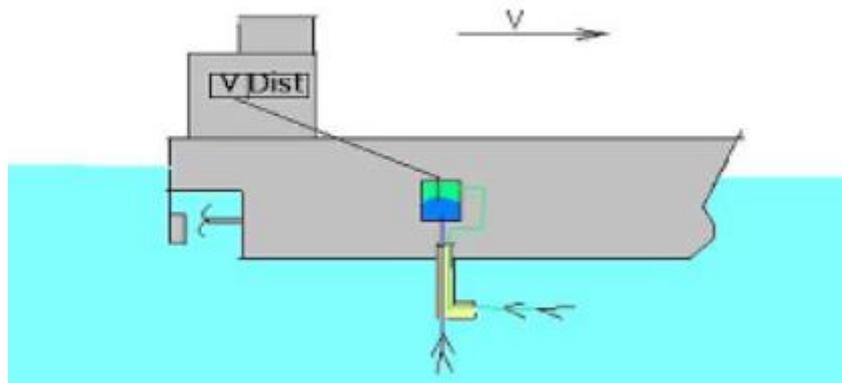


Figura 15: Corredera hidrostática – naut.blogcindario.

- ✚ Impulsor: Estos sensores emplean la corriente generada por el agua al estar en movimiento para hacer girar un impulsor. El impulsor al rotar crea una señal mecánica o eléctrica, esta señal es emitida de una manera intermitente que posteriormente son procesados. Una vez se obtenga el resultado, éste es mandado a un indicador de velocidad. Al ser un componente mecánico con el paso del tiempo se llega a perder la turbina, por eso de cada vez está más en desuso.
- ✚ Correlación acústica CVL: Estas correderas funcionan midiendo el cambio del tiempo cuando la información que proporciona el ECO de la misma fuente de dispersión en el lecho del mar a los dos receptores gracias a la correlación acústica. De esta manera se puede medir tanto la velocidad de la nave como la distancia.

- ✚ Electromagnética: Esta sonda crea una pequeña CA en el transductor, esto hace que aparezca un campo electromagnético en el agua de alrededor. Cuando el buque o el robot avanza el voltaje, que es proporcional a la velocidad, se crea con un ángulo de 90º respecto al rumbo que navega la nave. Cuando la señal es detectada ésta es enviada a la unidad maestra para que amplifique la señal y se pueda procesar, una vez finalizada la operación la señal digitalizada es pasada al monitor.
- ✚ Doppler: Es una corredera que emite ondas acústicas que se basa en el efecto Doppler, es decir que en relación con el observador la longitud de onda de los objetos que tienen un cierto movimiento varía.

Sistema de visión:

Básicamente es una cámara. En caso de los ROVs emiten en tiempo real para que el usuario pueda ver por dónde va el robot. En el caso de los AUV almacenan las capturas o los vídeos para posteriormente enviarlos a base o procesarlos para que el robot pueda continuar con su labor.

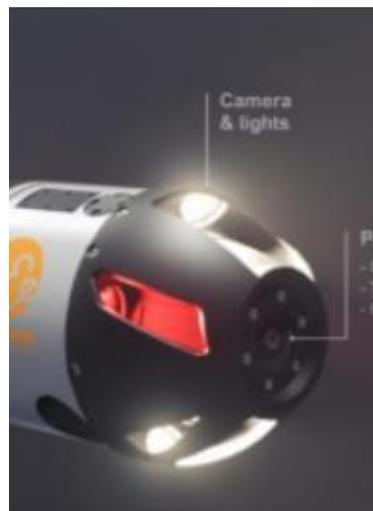


Figura 16: Sistema de visión - Sector marítimo.

El AUV, al procesar las imágenes recibidas, puede posicionarse si reconocen algún objeto o también puede calcular su movimiento relativo. Estos sensores son una perfecta herramienta para los robots que o son controlados por un usuario o por los AUV, en cuyo caso podrían realizar tareas como el mantenimiento de tuberías o de plataformas petrolíferas, etc.

3.3.2. Sensores de estado interno

Estos sensores miden los diferentes parámetros del robot que hay que tener en cuenta durante las misiones, ya que si hay algún fallo el robot puede regresar a la base automáticamente o desde la base puede verlo e ir a buscarlo si es necesario. Los medidores más frecuentes son los de temperatura, presión, consumo, etc.

Estos sensores adquieren una mayor importancia en los robots ROV ya que le permiten al usuario saber cuál es el estado del dron, porque si está averiado hay que tomar ciertas medidas. En el caso de los AUV no es tan importante ya que la información que va adquiriendo la pasa a la base cada cierto tiempo, si bien es verdad que ellos mismos al darse cuenta de la existencia de algún parámetro que no está del todo bien se dirigen directamente a base para ser reparados.

Los sensores de este tipo que se pueden encontrar de forma más habitual son los siguientes:

Inundación:

Este sensor es muy importante ya que al ser un robot subacuático si hay alguna vía de agua podría ser, no solo un gran problema debido a que puede haber algún cortocircuito en alguno de los elementos que componen la parte interna del robot, sino porque podría dejar de funcionar en las profundidades del mar y perder el robot y toda la inversión que ello supone.

Se pueden distinguir tres tipos de sensores de inundación:

-  De humedad.

-  De conductividad.

-  Óptico.

De los tres tipos el óptico es el que mejores resultados da. Funciona colocando un prisma con el mismo grado de refracción que el agua. También deberá instalarse un led que emita una señal óptica y si recibe el mismo grado de refracción del agua es que hay una vía. El detector de humedad es más lento ya que va con un poco de retardo y el de conductividad al estar rodeado de aparatos eléctricos en la atmósfera del robot hay mucho ruido y podría dar fallos.

Consumo eléctrico:

Son los amperímetros y voltímetros lo que permite controlar cuanto consumo se está produciendo en el robot. Sus mediciones se toman en las baterías y el motor, ya que los diferentes dispositivos que están instalados solo consumirán energía y se alimentarán a partir de las baterías.

El voltímetro convierte la señal analógica en una digital. El amperímetro funciona de una manera muy diferente, solo se tiene que instalar en el lugar donde se quiere medir el consumo una resistencia en paralelo.

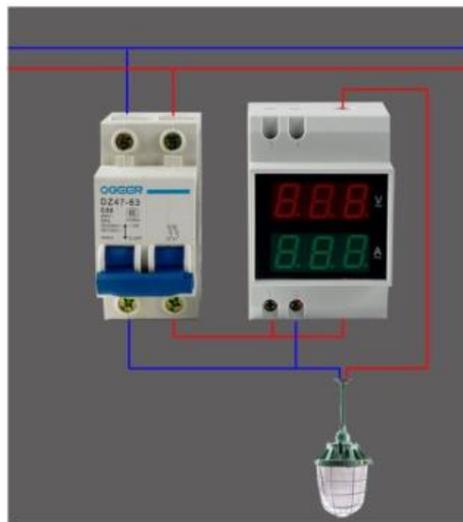


Figura 17: Voltímetro y amperímetro – Electrónica y más.

Temperatura:

Su función es muy básica. Sólo se tiene que colocar el sensor en contacto con el fluido que quieras medir, cuando el sensor capte la temperatura éste la transforma en una señal eléctrica. Después esa señal indica al receptor la temperatura para posteriormente poder comprobar si está o no al nivel óptimo de funcionamiento.

Hay diferentes tipos de termómetros en el mercado:

- ✚ Termopares: Son de respuesta lenta pero su fácil instalación y bajo coste son lo que hacen de este sensor uno de los más utilizados. Este sistema consta de dos filamentos de diferente material que están unidos por un extremo. Al calentarse los dos filamentos se

produce una tensión diferente entre ellos, esta tensión es la que envía la señal de la temperatura a la que se encuentra el sensor.



Figura 18: Sensor térmico termopar – srcsl.

- RTD: Éstos trabajan con las resistencias del material del cual están hechos. A estos sensores no les afectan los ruidos eléctricos.



Figura 19: Sensor térmico RTD - srcsl.

- Termistores: Son un conjunto de materiales semiconductores, su resistencia puede cambiar dependiendo de la temperatura a la que se encuentre. También cuentan con unos electrodos que cuando detectan el calor lo transforman en impulsos eléctricos, después esos impulsos pueden ser leídos en el medidor.

Hay dos tipos de termistores, el primero es el NTC que detecta un rango de temperatura muy elevado. Después están los PTC que son perfectos para la detección de cambios drásticos de temperatura. Están contruidos en titanio de bario.

- ✚ Sensores infrarrojos sin contacto: Estos sensores tienen un rendimiento muy alto y se emplean sobre todo para zonas remotas de difícil acceso. Tienen un rango de entre -20°C y $+2000^{\circ}\text{C}$. Estos sensores se configuran por medio de una computadora con un software de uso fácil.

Presión:

Los sensores de presión son fundamentales para saber a qué profundidad se está navegando. Como se ha comentado en apartados anteriores es muy importante saber cuánta resistencia pueden aguantar los materiales del casco. Saber la presión en la que se encuentra el dron acuático puede hacer la diferencia entre que el robot navegue durante muchos años de una manera óptima o que navegue poco tiempo a causa de la fatiga de los materiales del casco por sobrepresión, o lo que es peor, descender tanto que la sobrepresión cree vías de agua tan importantes como para perderlo.

Los sensores de presión están compuestos por dos elementos básicos. El primero es un detector que determina la presión real que se crea y los segundos son los elementos que transforman la información en una señal de salida. Los diferentes sensores de presión que pueden usarse son los siguientes:

- ✚ Galgas extensométricas: en el elemento de medición, que puede ser tipo membrana o puede ser tipo tubular, se adhieren unas galgas extensométricas que son las que se desplazan por la presión. Este tipo de sensor puede medir presiones elevadas, además que los resultados son muy precisos.
- ✚ Presión capacitivos: Este sensor es muy básico, se instala una membrana sensible a la presión en una cavidad de presión, cuando varía la presión en el medio hace que la membrana sea absorbida o repelida y crea una variación de presión dentro de la cavidad. La variación de la presión se mide eléctricamente gracias a la proporción presión/señal eléctrica. Solo se pueden emplear a presiones bajas.

- ✚ Presión piezorresistivos: Está compuesto por una membrana a la cual se le han instalado unas galgas que se deforman con la presión. Como el material a usar (silicio) no es muy resistente solo llega a unos 1000 bars.
- ✚ Presión resonante: Así como los otros sensores utilizaban piezas que son deformadas con la presión, éstas utilizan los cambios en las frecuencias de resonancia en un elemento de detección para medir el esfuerzo provocado a causa de la presión. En el caso que el detector estuviera en contacto con el fluido a medir la frecuencia de resonancia tendrá que ir en función con la densidad del medio donde se encuentre.

3.3.3. Sensores de trabajo

Los sensores que se han expuesto hasta ahora pueden tener una aplicación en este apartado para unos trabajos concretos o también cambiando algunos parámetros de los sensores para que puedan ser utilizados de otra forma. Sin embargo, para algunos trabajos harán falta otros tipos de sensores.

Estos sensores entre otras cosas se pueden usar para extraer y analizar muestras del agua. Lo consiguen mediante algún reactivo que el robot debe llevar instalado en el interior. Una vez el robot tenga los resultados podrá saber datos del agua como: el PH, si hay disueltos hidrocarburos o metales, o cualquier otro tipo de sustancia química.

Si el agua es más clara o por el contrario contiene fangos. Estos sensores se han introducido anteriormente en la sección de sensores de posicionamiento por sónar, pero la aplicación que tenían en ese caso no era muy óptima debido a la sensibilidad que tenía, en este punto sí que sería una buena opción.

La conductividad que hay en el agua también podría ser medida por sensores. En zonas como las marinas de agua dulce sería muy útil para evitar accidentes mortales. Debido a que en este tipo de marinas las embarcaciones están en agua dulce, si hay algún cable en mal estado o que se haya roto y está en contacto con el agua es muy delicado que una persona se caiga al agua por accidente. Como el ser humano tiene menos resistencia al paso de la electricidad que el agua dulce toda la electricidad podría pasar por su cuerpo electrocutándolo.

El oxígeno que hay en el mar puede ser útil para saber la calidad del agua para asegurar la supervivencia de las especies marinas, al igual que la temperatura. Si hay algún cambio en la

temperatura media o en el nivel medio de oxígeno puede ser mortal para las especies. Los robots que tengan estos sensores harán trabajos de investigación.

Otro ejemplo muy claro sobre sensores de trabajo es el sónar, éste se puede encargar de cartografiar el fondo marino para hacer mapas, saber dónde están los bajos, ver el estado de los puertos o en general del lecho marino, etc.

Capítulo 4. Tipos de robots

El objetivo de este punto es coger ideas, analizar y descubrir qué clase de drones existen actualmente tanto terrestres como acuáticos. La finalidad de esto es ver si algunos de estos drones pueden servir íntegros o con alguna modificación para instalarlos en los buques FPSO.

En este apartado se hablará de las clases de robots autónomos o no que existen hoy en día, hablaremos tanto de los que son usados en tierra y aire, se hablará de la descripción que tienen estos drones, su manejo y los diferentes modelos que existen en el mercado actualmente a nivel usuario.

También se hablará de los drones que se usan en la mar, se describirán tanto su forma como los trabajos que realizan. Dentro de esta clase de drones acuáticos se distinguen de dos tipos:

- ✚ Los de carácter profesional que son los que nos estamos centrando en este proyecto.
- ✚ Los que se usan a nivel usuario para entretenimiento o hacer videos caseros.

En ambos casos aparecerán ejemplos para su mejor visualización.

4.1. Aéreos

Estos drones son los más famosos a nivel usuario, ya que el aire es muy atractivo para los humanos y simplemente añadiéndole una cámara de alta definición se pueden sacar videos y fotos espectaculares.

Una descripción genérica para estos drones es que su estructura es en forma de equis. En cada extremo de la X tiene una hélice, normalmente se compone por 4 hélices, pero hay algunos que tiene más o menos de 4. La cámara normalmente va alojada a la cabeza o en la parte baja del dron (según el modelo).

Esta clase de drones son ROVs ya que suelen estar dirigidos por un teleoperador, pero esto de cada vez está cambiando debido a su progresiva incorporación al mundo profesional.



Figura 20: Dron aéreo – Amazon.

En la actualidad cuando se hace referencia a los drones se piensa en el tipo de dron que podemos ver en la Figura 20, pero hay muchos otros tipos de drones aéreos como por ejemplo con forma de pájaros, helicópteros, o con forma de insecto como moscas, mosquitos, libélulas o abejas, sobre los que se están haciendo investigaciones activas en estos momentos.²

Después también hay drones con forma de aviones que son muy usados por los militares para poder hacer misiones de reconocimiento, drones armados por si entran en combate, etc.

El manejo de estos drones son teleoperados por una persona. Esta clase de dron al estar por fuera del agua es muy fácil que tengan siempre la posición y que puedan transmitir lo datos del dron a la base sin que tenga que estar unidos por el “cordón umbilical”. También existen los drones AUV, pero éstos son más sofisticados y son empleados mayoritariamente por los militares.

El dron que aparece en la Figura 20 tiene un coste de 117€, la empresa fabricante es Loolin y se vende por Amazon.

² Información extraída de TecnoXplora.

4.2. Terrestres

Los drones terrestres se han estado usando desde hace muchos años. Los ROVs más comunes a nivel usuario son los llamados coches teledirigidos, aunque en la actualidad a nivel usuario hay una inmensa variedad de drones.

Además de los coches teledirigidos también ha habido “juguetes” como por ejemplo el Furby que aprendía con el niño pudiendo interactuar con el robo-juguete.



Figura 21: Furby – Official Furby Wiki.

El coste de este robot es muy variable, ya que el primero se fabricó en 1998 por la empresa Tiger electronics, actualmente un Furby que se fabricó en sus primeros años puede alcanzar los 350\$, los Furbys más actuales tienen precios muy variados, pero ninguno supera los 100\$.

A nivel profesional también existen todo tipo de robots, desde humanoides hasta perros con la salvedad que en este grupo no solo son ROV, sino que también hay AUV y IAUV. Estos robots no solo pueden dedicarse a hacer trabajos físicos como por ejemplo servir a las personas en un restaurante (como hay en algunos restaurantes de Japón) sino que también pueden ir aprendiendo sobre la marcha de una manera muy sofisticada.

Uno de los robots que va aprendiendo sobre la marcha para después ponerlo en práctica es el robo-guepardo Cheetah del MIT. Este robot va aprendiendo a correr más rápido y almacenar en la base de datos los diferentes cambios de nivel, obstáculos etc. Gracias a un modelo de aprendizaje que le han instalado.



Figura 22: Cheetah - MIT.

El coste de este robot no lo quieren revelar, pero el robot Go1, que se considera la versión sencilla y remota del Cheetah, en estos momentos lo están usando en la universidad de les Illes Balears para estudios de inteligencia artificial, ha tenido un coste de 3.300€.

4.3. Acuáticos

En el caso de los robots acuáticos, como se ha mencionado en la historia de los robots, el primer creador de un dron submarino fue Dimitri Rebikoff con el primer robot ROV de la historia del mar. Además del robot inventó diferentes mecanismos como el flash inalámbrico para poder vislumbrar las profundidades del mar mediterráneo.



Figura 23: Primer ROV acuático – Subaquatica.

De cada vez existen robots más sofisticados que pueden bajar a más profundidad y que pueden realizar trabajos bajo el agua de una manera teleoperada o de forma autónoma.

Como sus hermanos, los drones terrestres y aéreos, los drones acuáticos también se pueden diferenciar dos clases, de carácter profesional o usuario. En los siguientes puntos haremos una pequeña descripción de cómo son cada uno de ellos, se mostrarán diferentes clases de robots que ya existen y se explicará cuál es su trabajo o misión.

4.3.1. Profesional

Para las empresas no muy grandes que necesiten cubrir inspecciones de la obra viva de sus embarcaciones para saber si tienen que limpiar el casco o no se podrían usar perfectamente los robots para usuarios que se expondrán en el siguiente apartado, ya que los trabajos a realizar solamente necesitan que el dron lleve incorporada una cámara.

En este apartado se hablará más sobre los robots que trabajen a una cierta profundidad o los que trabajen en cualquier otro ámbito que no sea turístico.

- ✚ Uno de los robots más modernos es un robot con forma de pelota de rugby cuyo creador es Rahul Bhattacharyya del MIT que tiene un coste de 600\$, su trabajo principal es contra la contaminación y la seguridad de los puertos.
- ✚ El OKPO 6000 es el primer robot AUV hecho en Corea que alcanza una profundidad de hasta 6.000m. Su estructura es parecida a la de un supositorio con varios propulsores de hélice en la parte trasera. Lleva instalada una cámara fija en la parte frontal junto con una videocámara y en la parte baja un sónar para poder explorar el subsuelo marino.



Figura 24: OKPO 6000 – Sector marítimo.

Las dimensiones de esta máquina son: 3.8m de eslora y 0.70m de diámetro y llega a unas velocidades de 1.54 m/s, es decir a 3 nudos con un peso de 0.95 Tm.

La finalidad de este robot es hacer estudios geofísicos, de campo, para poder encontrar objetos hundidos y realizar análisis oceanográficos.

- ✚ REMUS 6000 (AUV): Su estructura es muy parecida a la de un torpedo, cuenta con un propulsor de hélice en la parte trasera junto con una aleta que sirve para tener una mayor estabilidad y reducir la cavitación. Cuenta con sensores en la parte inferior y superior del dron, también tienen una cámara instalada en la parte frontal del vehículo.

Con un peso de 0.86 Tm y unas dimensiones de 3.84m de eslora y 0.71m de diámetro máximo tiene instalado un paquete de baterías de li-ion que suministran 11KW/h. Su autonomía es de 22horas con una velocidad de crucero de 4 nudos. Este robot también alcanza los 6000m de profundidad.

Este robot va a bordo de un barco, cada vez que se tiene que realizar una exploración tiene que ser lanzado desde la popa del barco. La principal función de este robot es hacer estudios oceanográficos, así como verificar el buen estado de tuberías submarinas y recopilar información de todos los lugares por donde pase.



Figura 25: Remus 6000 – Sector marítimo.

- ✚ El Benthic Rover tiene una estructura un poco peculiar de tipo espacial abierta. Este robot realiza un trabajo un poco diferente a los que hemos visto, pues realiza la extracción de minas. Además, también está programado para realizar estudios geofísicos, alcanza los 6.000 m de profundidad con un peso de 1,4 Tm y unas dimensiones de 2.5m x 1.5m x 1.3m y una velocidad de crucero de 0.04 nudos.



Figura 26: Benthic Rover – Sector marítimo.

Este robot no cuenta con propulsores convencionales empleados en el agua, si no que cuenta con unas ruedas para desplazarse como un coche por el fondo marino. Al moverse por el fondo el robot tiene que ir con cuidado ya que no todos los fondos son de arena, sino que se puede encontrar con lodazales. Para ello el robot cuenta con unos flotadores de espuma incompresible para evitar que el robot se hunda del todo y quedar siempre al ras del suelo donde puede desplazarse.

También cuenta con una placa de titanio protegiendo la computadora donde procesa todos los datos y con un brazo de titanio para por coger muestras, hacer conexiones en infraestructuras, etc.

- ✚ El Sabertooth es un vehículo compacto e híbrido. Tiene dos formas, una conformada por un casco simple que puede llegar hasta los 1.200m de profundidad y la segunda conformada por un doble casco que le permite bajar hasta los 3.000m.

Este robot puede estar funcionando durante seis meses sin mantenimiento de ningún tipo, esto es debido a que cuenta con una estructura que está anclada en el lecho marino que le proporciona recarga y un lugar donde cobijarse mientras no trabaja.

El vehículo acuático lo conforman mediante seis propulsores en el caso del robot con el casco simple y hay 10 en el caso del doble casco, esto le permite al robot una movilidad de 360º mientras se desplaza por el mar. En la base también tienen instalados las diferentes herramientas que puede usar, dependiendo del trabajo que tenga que realizar solo tiene que ir a cogerla. Estos robots están equipados con las tecnologías como por ejemplo el velocímetro Doppler, sensores de profundidad, sondas, unidad de comunicación, leds, etc.



Figura 27: Sabertooth – Saabseaye.

Este robot al ser híbrido puede ser controlado vía remota, en cuyo caso llevará el conocido “cordón umbilical” pero cuando está en modo autónomo se desconecta para desplazarse libremente y puede transferir toda la información que vaya captando por medio de satélite, si éste sube a la superficie, o mediante conexiones que están instaladas en la base submarina.

Este robot tiene una velocidad de crucero de 5 nudos y unas dimensiones de 3,8m de eslora, 0,5m de puntal y 0,7m de manga y tiene una autonomía de 10 horas.

4.3.2. Usuario

Estos robots se emplean básicamente como juguetes para fines lúdicos. Como en el caso de los terrestres hay de todo tipo. Aunque no todos pueden ser tratados como juguetes, ya que algunos son tan sofisticados que hasta tienen incorporado un brazo robot para poder coger cosas del fondo marino y pueden llegar a una profundidad de 100m. Este es el caso del V6S Fifish con un coste de 3.299€.

Este robot como se puede observar en la Figura 28 consta de seis propulsores con diferente orientación para cada par, también dispone de un brazo para poder coger objetos y vemos que su carcasa es parecida al de un escarabajo. Si nos fijamos bien en la imagen podemos ver el “cordón umbilical” que está situado en la parte posterior del dron. Tienen una autonomía de 6 horas.

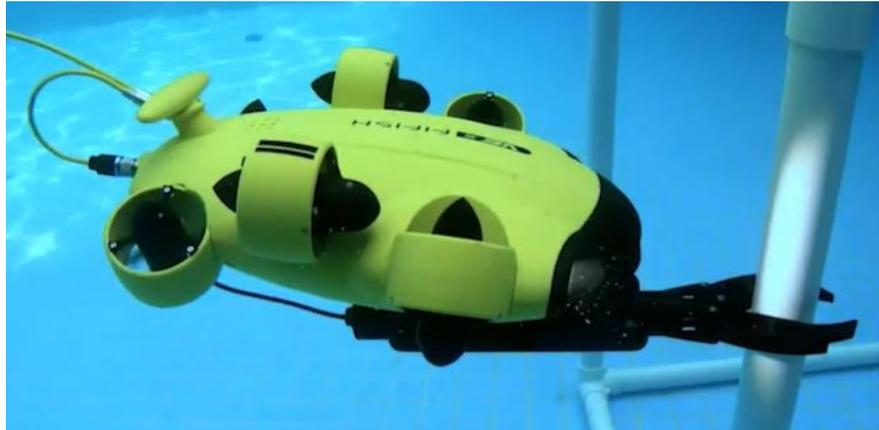


Figura 28: V6S Fifi fish – Amazon.

También es el caso del OpenRov que es el primer robot con código abierto, es decir que se puede descargar el software en cualquier dispositivo electrónico como tabletas, móviles, ordenadores, ... Su coste no supera los 1000€, este robot fue creado por David Lang, Eric Stackpole (ingeniero de la NASA) y un grupo de robo-aficionados. Este robot es teleoperado y puede planear por el agua o sumergirse ya que su diseño así lo permite.

La versión más moderna se llama Trident que además de tener el código de software abierto también tienen unas gafas de realidad virtual que permiten al usuario ver lo que están captando las cámaras del ROV.

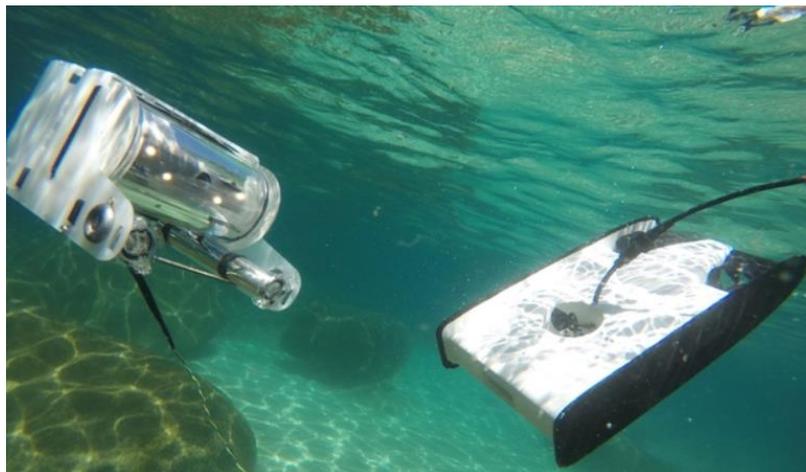


Figura 29: OpenRov – Hacedores.

Como podéis ver en la Figura 29: OpenRov – Hacedores. Figura 29, el Trident (derecha) tiene una forma rectangular y estrecha. El extremo opuesto a la cabeza podemos ver que termina en forma de punta. Mientras que el primer prototipo es más ancho y termina con una forma muy brusca. Ambos tienen incorporado el “cordón umbilical” que conecta el ROV con el usuario para poder enviarle las órdenes y recibir las imágenes de las cámaras.

Capítulo 5. Estado del arte

En este punto se expondrán los robots acuáticos más destacados de este nuevo siglo, algunos de éstos pueden servir como idea para el robot marino que se pretende instalar a bordo de los buques FPSO en este proyecto. También pueden servir como inspiración para otros futuros proyectos. Como se verá a continuación, en varios de los nuevos modelos de robots submarinos que se están creando se están usando formas que recuerdan a la vida marina.

5.1. Eelume

Eelume es un robot con forma de serpiente marina que está compuesto por secciones. Dichas secciones se pueden separar para poder agregarle más partes con diferentes sensores y actuadores. Estas secciones están articuladas y con ayuda de turbinas internas y externas permite mover al robot en todas direcciones con movimientos homogéneos y armónicos, además de tener la capacidad de doblarse y mantener la forma para realizar las inspecciones de tuberías tanto por el exterior como por el interior de la tubería.

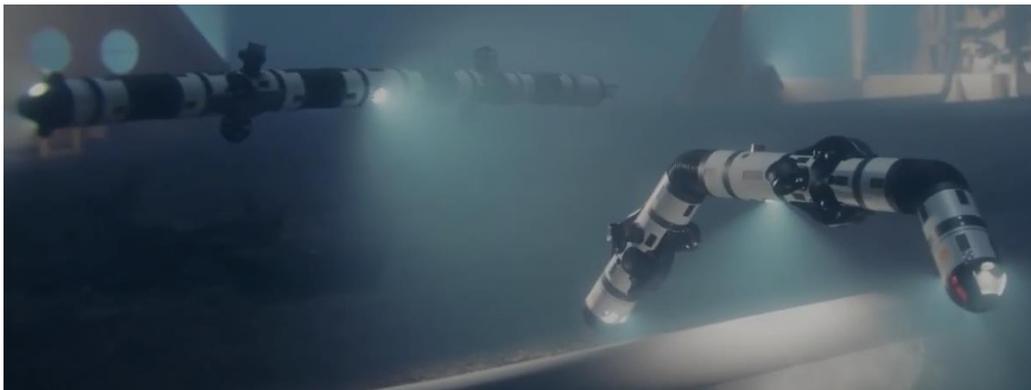


Figura 30: Eelume inspeccionando tuberías – Computerhoy.

La cabeza del robot cuenta con un dispositivo de enganche donde permite adherirse las diferentes herramientas para poder realizar sus distintas funciones. Si la ronda del día es

inspeccionar tuberías se llevará la cámara y si hay que apretar una tuerca cogerá la llave que corresponda.

Además, con la forma que tiene le permite ahorrar energía ya que al impulsarse puede estar moviéndose unos metros sin motor. También puede aprovechar las corrientes marinas para desplazarse. Otra cosa a tener en cuenta es que gracias a su forma estrecha puede introducirse por huecos o tuberías muy estrechas para poder inspeccionarlas o limpiarlas.

El Eelume está programado para realizar tareas de mantenimiento de tuberías, limpieza de algunos espacios confinados, detectar si hay alguna fuga de gas o petróleo y revisar que en la estructura no haya ningún punto frágil, como puede ser la corrosión.

Esta serpiente-robot no sale a la superficie, ya que cuenta con una instalación en el fondo marino donde se puede recargar mientras no trabaja. Esta estación es una base genérica para que diferentes drones submarinos puedan acoplarse, recargarse y si es necesario cambiar la misión con la que está programado inicialmente, si se cree necesario. Cada dron tiene una identificación para que el puerto de recarga de dicho dron lo identifique y así pueda recibir la información pertinente. Cabe destacar que esta estación base sirve también para que el robot en cuestión transmita la información adquirida durante su funcionamiento a la empresa para la que está trabajando.

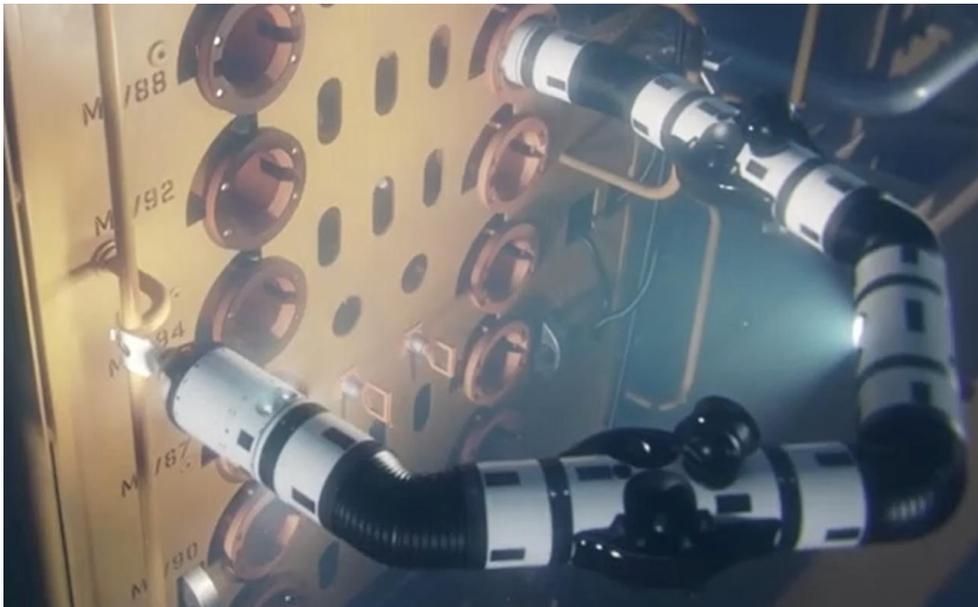


Figura 31: Eelume cogiendo herramientas – Computerhoy.

El Eelume fue construido por la empresa que contrató los servicios de un grupo compuesto por miembros de la universidad tecnológica de Noruega contratada por una de las mayores empresas proveedoras de gas, Equinor. Esta serpiente se encarga mayoritariamente de la vigilancia y mantenimiento de los gasoductos y oleoductos que atraviesan el mar. Gracias a las tareas que realiza Eelume se han podido ahorrar un 90% de los costes de las operaciones bajo el mar.

5.2. Nereus

Este robot es conocido como el robot que ha alcanzado la máxima profundidad de los robots IAUV, con un peso de 2.8Tm y unas dimensiones de 5x2x1.5m y con un “cordón umbilical” del mismo diámetro que el de un pelo humano de fibra óptica a recorrido las profundidades de la Fosa de Challenger con 10.902m que se encuentra en la Fosa de las Marianas. Con esta proeza el Nereus ha puesto a disposición de los humanos la posibilidad de conocer el 100% del fondo marino, si no fuera porque hubo un accidente cuyo final fue la desaparición del Nereus en otra expedición.



Figura 32: Nereus – Sector marítimo.

Su estructura estaba compuesta por dos quillas unidas entre si como si fuera un catamarán. En la parte baja tenía una cesta metálica para depositar los distintos sedimentos, en la parte frontal, unido a una de las quillas está instalado un brazo robótico que tiene una muy buena relación resistencia/peso. Se trata de un robot híbrido³ propulsado por dos hélices que están situadas en la

³ Un robot híbrido es un IAUV, un robot que puede funcionar de forma autónoma o por control remoto.

parte posterior de las quillas. Se propulsa por dos motores eléctricos alimentados por unas 4000 baterías de ion litio ultra compactas. Rodeando las hélices están instaladas dos quillas que permiten el movimiento lateral del robot.

Este robot fue operativo en 2009, pero en el 2014 sufrió un accidente en el cual el Nereus fue destruido. No fue hasta más tarde que descubrieron que el Nereus implosionó debido a las altas presiones ejercidas por el agua a una profundidad de 9.900m.

En cuanto al coste de este robot construido por WHOI Instituto de Oceanografía de Woods Hole no se ha encontrado información, pero esta misma empresa ha creado el hermano pequeño del Nereus, el Nui, con un coste aproximado de 3 millones de \$.

5.3. Soft Robot Fish

El MIT ha vuelto a realizar otro gran descubrimiento el Pez robot con caparazón blando. Es el primer AUV con forma de pez que tiene un casco blando imitando a un pez. Su aleta caudal también es blanda, imitando la de un pez real, lo cual tiene una ventaja y es que se consiguen movimientos más harmónicos y amplios mejorando así el rendimiento del robot. Además, al parecerse más a un ser vivo éste puede interactuar mejor con las especies acuáticas.

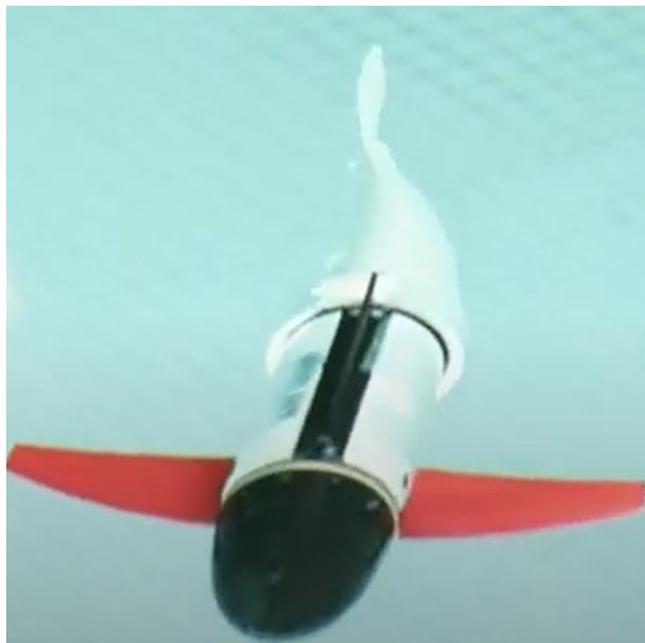


Figura 33: Soft Robot Fish – El mundo.

El hecho de ser blando les permite añadirle sensores táctiles y así poder sentir como si fuera una piel, este gran descubrimiento puede ayudar al robot a recopilar información o inspeccionar cuando haya mala visibilidad, lo cual es muy habitual en el lecho marino y sobre todo en los puertos es muy común que haya mala visibilidad por lodos, fangos, etc. y la visibilidad se vuelve casi nula.

Estos robots al ser blandos son mucho más seguro al interactuar con seres vivos ya que si fuera duro podría dañar la flora y fauna acuática y asustaría a estos últimos con los movimientos bruscos de la cola al ser impulsado. El inconveniente de este tipo de robot es que aún están a prueba, sobre todo en la investigación de nuevos materiales para poderlos instalar a los robots.

5.4. Mejillones, nenúfares y peces

Estos robots autónomos fueron creados para recopilar información de los canales que hay en Venecia para poder identificar los problemas de la flora y fauna de estos canales creados por las embarcaciones que navegan en esas aguas. Se trata de un conjunto de más de 120 robots formado por tres clases: los peces (aFish), los nenúfares (aPads) y los que son denominados mejillones (aMussels).

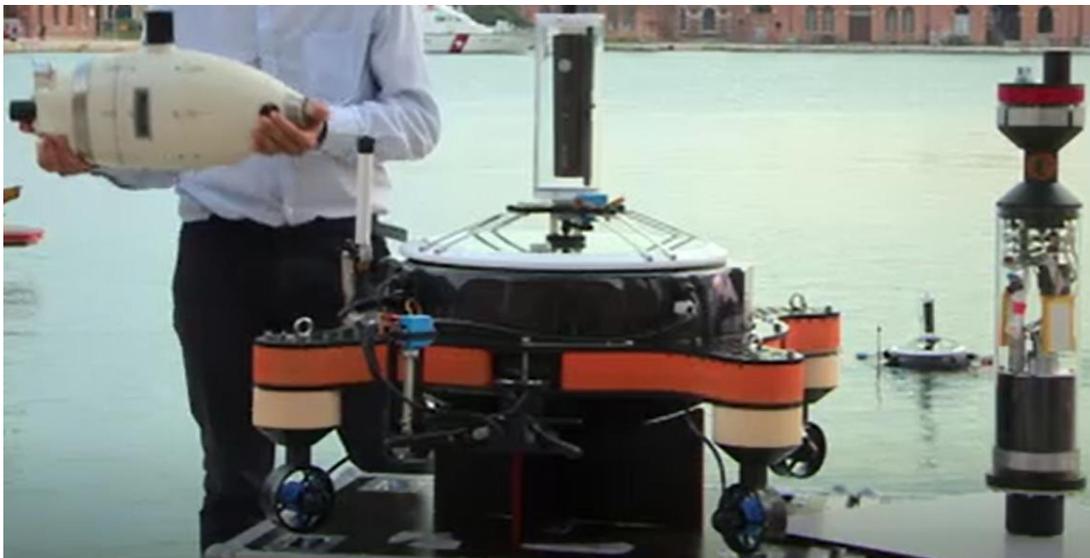


Figura 34: Pez, nenúfar y mejillón – Euronews.

Los mejillones cuentan con un sofisticado sistema de anclaje reversible que les permite estar anclados en el fondo por un periodo largo de tiempo para ir recopilando información. Los peces son bastante rápidos y se encarga de ir buscando objetos que se vayan cayendo. Los nenúfares,

sin embargo, son los que interconectan a los mejillones con los peces y envían los datos obtenidos por las dos otras clases de robots a los científicos, gracias a que no se encuentran sumergidos como los peces y mejillones, sino que están flotando por la superficie, de modo que pueden estar enviando información con los métodos terrestres.

Estos robots están conectados entre sí para transmitirse la información, para resolver el problema del agua turbia han creado un método de comunicación basado en algunas especies de peces. Este método lo llaman “sentido eléctrico” consiste en emitir un campo eléctrico para poder ver y comunicarse.

Han instalado una red de estaciones por los canales y algunos barcos para que se puedan recargar ellos solos por medio de la inducción, de esta manera no hay que sacarlos fuera del agua y abrirlos para poder cambiarle la batería o recargarlos, ni tienen que instalar ningún tipo de conexión para poder recargarse con cable. Esto evitará futuras oxidaciones o vías de agua, ya que las conexiones son por donde suelen aparecer.

Las misiones de estos animales robot es analizar el agua constantemente, ver cómo afectan las velocidades de las lanchas al medio marino, controlar la temperatura del agua, PH, etc. Este proyecto tiene un coste de 4,5 millones de €. La empresa que está detrás de este gran proyecto es Futuris.

Capítulo 6. Los buques FPSO y sus necesidades

Este punto se dedicará a definir y clasificar los tipos de buque FPSO que se encuentran en la actualidad y los diferentes trabajos que realizan, para poder identificar cómo podrían ayudar los robots a este tipo de buques. Se explicarán los diferentes trabajos que pueden hacer, sus características generales, etc. Hay que añadir que nos centraremos en los buques FPSO de perforación.

6.1. Definición

Los buques FPSO se denominan así por sus siglas en ingles Floating, Production, Storage and Offloading que significa Unidades flotantes de producción, almacenaje y descarga. Estos buques se encargan de sustituir a las plataformas petrolíferas en zonas muy profundas o de darles apoyo almacenando el petróleo y el gas natural.

La construcción de una plataforma petrolífera en aguas muy profundas no es muy segura debido a su estructura fija, y también sería económicamente muy costosa. En cambio, un buque FPSO no tiene esos problemas en zonas muy profundas. Además, cuando se termine de explotar el pozo petrolífero solo tiene que llevar anclas y trasladarse a otro pozo. También se puede usar de planta de almacenaje de una plataforma petrolífera.

Los buques FPSO surgieron debido a la necesidad de poder perforar en zonas mucho más profundas. ¿Por qué elegir un buque en vez de una plataforma mejorada? Pues la respuesta es sencilla, gracias a que es un buque tiene facilidad y fiabilidad de fondeo, el mantenimiento de un buque es mucho más fácil y menos costoso que el de una plataforma.

Estos buques suelen ser de dos tipos: de nueva construcción o un antiguo petrolero/buque tanque que ha sido transformado en un FPSO. Sean de un tipo o de otro las características generales son las mismas:

- ✚ Una gran cantidad de almacenamiento de petróleo o gas gracias a sus tanques.
- ✚ Llevan una planta de tratamiento de hidrocarburos para poder tratar el petróleo que extraen del pozo, agua o gases.
- ✚ El gas que consiguen extraer normalmente lo usan de combustible, mientras que el petróleo se almacena hasta que los tanques están llenos. Cuando esto ocurre solo tienen que llamar a un buque cisterna para trasegar la mercancía y que éstos los lleven a las refinerías.
- ✚ Los FPSO deben de contar con diferentes seguros para poder operar: Casco y maquinaria, protección e indemnización y el seguro de Responsabilidad Civil del Fletador.
- ✚ Las líneas suelen estar conectadas a la torreta que permite girar al buque para aproarse a la meteorología. Para zonas con muy mal tiempo las torres suelen estar dentro del casco mientras que si opera en zonas tranquilas se suele instalar en la parte exterior.

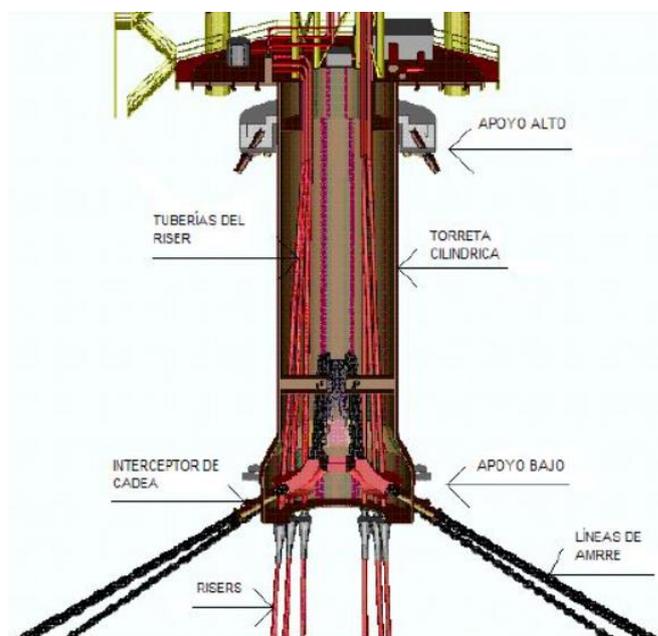


Figura 35: Torreta – Ingeniero marino.

6.2. Tipos de buques

Hay tres tipos de buques FPSO, el primero es la versión simple llamado FSO. Estos buques son unidades flotantes de almacenamiento y descarga, pero no tiene la planta productora, estos buques suelen estar conectados directamente a un pozo de producción.

Después están los buques FSRU, unidad flotante de almacenamiento y regasificación. Estos buques realizan la regasificación a bordo. Debido a que es mucho más barato y rápido permite a los países emergentes como Egipto o Pakistán importar el GNL. Estos buques normalmente (si lo permiten las condiciones) suelen fondear junto a los puertos para poder tener una conexión directa y próxima a tierra.



Figura 36: Buque FSRU con conexión a tierra – Ingeniero marino.

Estos buques reciben “pequeñas” cargas dependiendo de cómo fluctúe el mercado y éste las descarga por dos métodos: uno sería conectándose directamente a las plantas gaseras mediante un brazo fijo y la otra sería conectándose directamente a los gaseoductos que hay en el fondo marino.

Por último, encontramos al FDSPSO, Unidad flotante, perforadora de producción y almacenamiento. A día de hoy estos “buques” pueden tener aspecto cilíndrico, estos nuevos diseños los desarrollaron *Seavanmarine*.

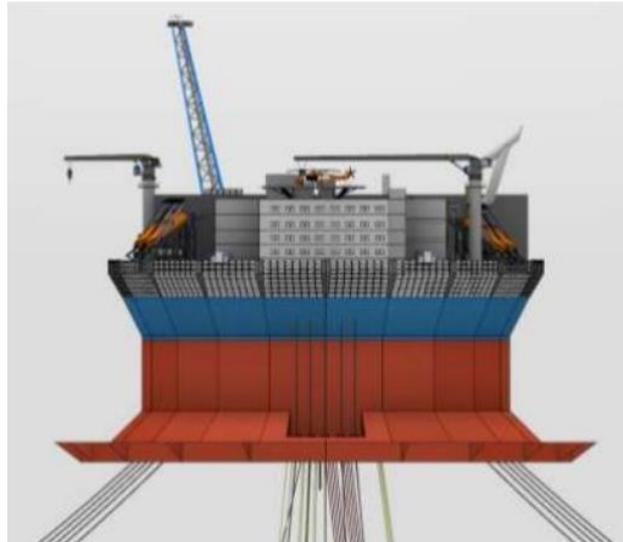


Figura 37: Buque FDSPSO cilíndrico – Ingeniero marino.

Como se ha mencionado antes existen en la actualidad dos clases de buques FPSO: los que son de nueva construcción y los petroleros o buques tanque que se han transformado en FPSO. En este apartado se analizará, en el caso de los transformados qué cambios tienen que realizarse para poder convertirse, y en el caso de los de nueva construcción ver que nuevas instalaciones tienen y las similitudes y diferencias que tienen con los transformados.



Figura 38: FPSO transformado y de nueva construcción – Va de barcos.

Pero en general están compuestos por un rodamiento o torreta de dimensiones considerables que está situado entre la cuaderna maestra y la proa. Este rodamiento se encarga de dar estabilidad al buque cuando hay mala mar haciendo que la proa gire hacia donde esté viniendo el viento. A su vez está conectado con el pozo a través de los “risers” que son unas tuberías flexibles, que permiten una movilidad que con tuberías fijas no sería posible.

Hay diferentes tipos de sistemas de fondeo, el más habitual es el de torreta. Ésta está anclada al lecho marino con cadenas y el barco pivota sobre ésta.

Los Risers son unas conexiones de doble vía que, por una parte, conducen los productos químicos que son necesario para la extracción y también llevan el petróleo o el gas a la planta de producción donde se separan todas las sustancias ajenas al petróleo o el gas como la sal, el agua, etc. Una vez tratado es conducido a los tanques del FPSO. Una vez que los tanques estén llenos un Shuttler tanker se abarboa por la popa y se produce el trasiego de mercancías. Una alternativa viable es conectar el FPSO directamente a un oleoducto, si fuera el caso que hubiera uno cerca.

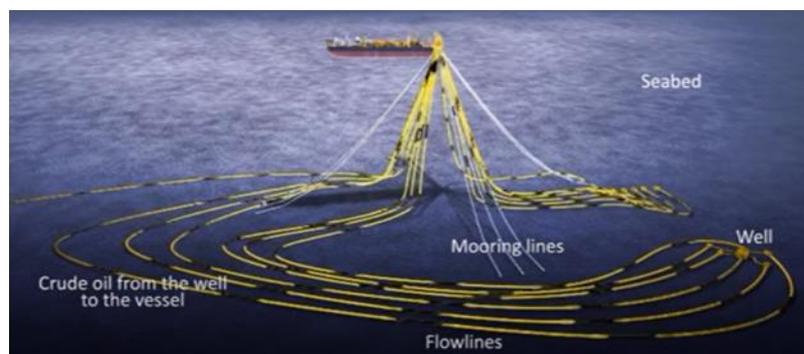


Figura 39: Tuberías y cables/cadenas de fondeo – Ingeniero marino.

6.2.1. Transformados

Los primeros buques FPSO se emplearon para desarrollar pequeños campos petrolíferos alejados de los oleoductos. Una vez se vio que estos nuevos buques servían bien, las nuevas tecnologías permitieron crear buques FPSO para poder trabajar en los medios más duros del planeta, el mar del norte y el Atlántico Norte. En verdad la idea principal no era reconstruir un petrolero, sino que intentaban crear un artefacto flotante que pudiera perforar en campos marginales.

Estos tipos de buques, al ser transformados han ido sufriendo una serie de fallos a lo largo del tiempo. Estos problemas se pueden dividir en tres tipos: muy graves, graves y moderados.

- ✚ Muy graves: El agua embarcada o agua verde provocadas por el mal tiempo. Afecta a la superestructura y escaleras (ventanas y escaleras rotas) y también han llegado a producir daños en los sistemas contraincendios, conexiones eléctricas, tuberías, etc.

Estos buques tienen que tener un peso mayor que los buques normales debido a las capas extras de acero para poder soportar las condiciones meteorológicas, toda la instalación para procesar el petróleo y gas, el trasiego de la mercancía que embarca y el peso de los primeros diseños de los risers por un diseño inapropiado.

La torreta tiene que estar a más de un 75% de la eslora de flotación garantizando que cuando haya mala mar el buque se oriente proa al temporal él solo. Mientras que si se encuentra entre el 65 y 75% el buque necesitará alguna clase de ayuda para poder orientarse correctamente.

Otros problemas que se vieron a lo largo del tiempo son los problemas de poner la instalación de los generadores muy cerca de la acomodación, problemas de los gases de escape y radiación en la antorcha, una mala ubicación de la planta de procesado del petróleo, las salidas de emergencia obstaculizadas por cableado y tuberías, mala disposición del sistema de ventilación y aireadores, ubicaciones pésimas en cuanto a talleres y pañoles, etc.

- ✚ Graves: Uno de los problemas más frecuentes es que casi todos los FPSO apoyan casi todo el trabajo en los empujadores⁴ para poderse mantener en la posición correcta, cuando se produce un fallo en ellos debido a las condiciones climatológicas durante la producción obligan a tener que detenerla para volver a poner en marcha el empujador y casi todos se desmontan por el exterior del casco y tienen que usar robots ROV que son sensibles a las condiciones climatológicas adversas que se forman en la superficie del océano.

Otro problema que se ha encontrado con referencia a la forma del casco es que los buques que tienen la proa fina hacen que embarque más cantidad de agua a bordo, deja poco espacio para la maquinaria requerida, disminuye el volumen de los pañoles y castillos de proa además que las formas que tendrán no son regulares. Por otra parte, una proa fina reduce las cargas que se producen en el fondeo. En el caso de una proa que sea amplia aumenta mucho los pesos y la estructura se resiente más con las olas.

⁴ Los empujadores son los diferentes sistemas de propulsión, como por ejemplo los propulsores azimutales, que sirven para mantener el buque estable en su posición de fondeo mientras realiza una perforación o extracción.

Las tuberías que se emplean en los buques normalmente no sirven para los FPSO ya que dan fallos en uniones, también se han detectado pérdidas y corrosión debido a las altas presiones en las que se trabajan y el las condiciones del medio que crea una atmósfera húmeda y con salitre todo el tiempo. Por eso es muy importante escoger unos materiales adecuados para los trabajos que tienen que realizar y las condiciones climáticas que tienen que aguantar.

En estos buques no se puede emplear un sistema de fondeo normal, es necesario instalar chigres hidráulicos individuales.

En cuanto a los problemas de los risers son muy sensibles a cualquier daño originado en la capa externa, a las vibraciones y daños que se puedan originar en la capa interna debido a las turbulencias originadas por el gas, etc.

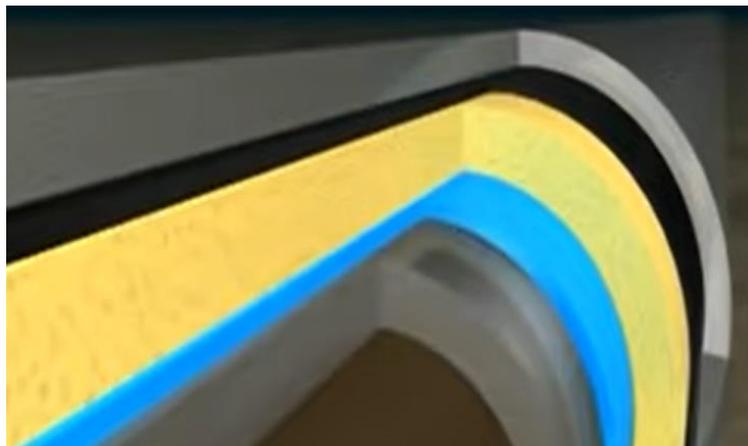


Figura 40: Capas de los risers – Nauhcмик2, Youtube.

También ha habido problemas con los sistemas de transferencias de fluido que son los que se encargan de guardar o sacar los risers, hay dos sistemas diferentes para poder solucionar el problema. Uno es de tipo mecánico que permite enrollar los risers efectuando giros de 270° en ambos sentidos. Consta de un tambor por donde está enrollado una longitud considerable del riser, para desenrollarlo es preciso la ayuda de los empujadores para poder ir girando esta tubería flexible alrededor de la torreta. El riesgo de fallo es muy pequeño, este sistema se llama de Drag Chain. El otro sistema llamado Swivels son piezas metálicas que forman un toro por cada riser de esta manera la parte interior del toro gira solidario a la torreta y la externa al casco. De este modo se consigue un giro fluido y sin parones, este último sistema tiene más ventajas que el de Drag Chain

debido a que no necesita unos empujadores potentes, el mantenimiento es más fácil y menos costoso.



Figura 41: Sistema Swivels – SMB offshore, Youtube.

- ✚ Moderados: Uno de los problemas era el sistema de calefacción y aire acondicionado que producían muchísimo ruido cuando estaban operativos, tanto que superaban de los decibelios máximos autorizados. Este es un problema de descanso y bienestar de la tripulación que vivía y trabajaba en el barco.

Otro de los problemas que había es que la mayoría de válvulas eran de mariposa, que tienen una vida útil muy limitada y tenían que ir cambiando las válvulas frecuentemente, con el volumen que ocupa tener en el pañol todos los respetos. Normalmente se aconseja usar válvulas de compuerta ya que tienen una vida útil más duradera.

Los talleres son fundamentales para el buen mantenimiento y ánimo de los trabajadores, tienen que estar en situaciones cerca de los pañoles.

6.2.2. Nueva construcción

Los buques de nueva construcción han sido fabricados gracias al aumento de campos petrolíferos y por ende de clientes. Los diseños son más personalizados, los construyen teniendo en cuenta el tipo de trabajos que va a realizar.

Los FPSO han podido diseñarse y construirse gracias a los fallos que se han ido encontrando y se han mencionado en el punto anterior de los buques transformados.

6.3. Trabajos que realizan

Los trabajos que realizan lo indica su propio nombre, dependiendo del tipo de FPSO sabremos que realizan un trabajo u otro. Los principales trabajos que son comunes a todos los buques son el almacenamiento y la producción. Pero otros tipos de FPSO también pueden regasificar FSRU y otros pueden perforar FDSPSO. A continuación, describiremos los trabajos que pueden realizar estos buques:

6.3.1. Prospecciones

Primero se realiza un estudio del lecho marino mediante técnicas acústicas no destructivas, método de reflexión sísmica. Esta técnica consiste en emitir ondas acústicas en dirección al lecho marino y cronometrar lo que tarda la onda desde que son emitidos hasta que la onda retorna después de haber rebotado en el lecho, los receptores se denominan hidrófonos. Cuando los datos son procesados el siguiente paso es transferir los datos a una imagen del lecho marino. Existen dos métodos de reflexión, en 2D que se realizaría el mapa de la superficie y el 3D que revelan la geometría tridimensional de hasta unos cuantos kilómetros de profundidad.

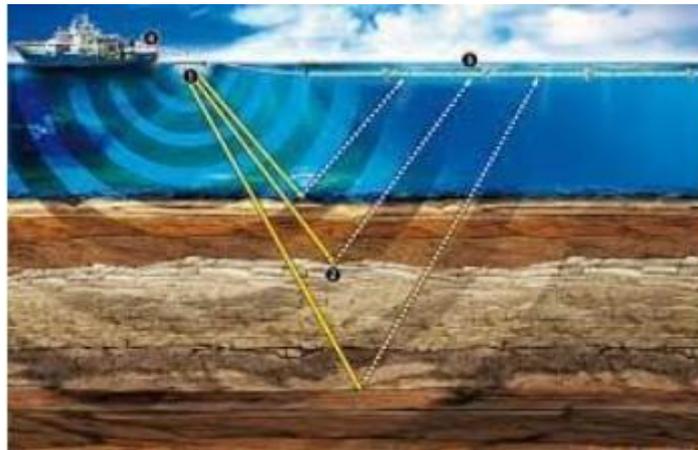


Figura 42: Reflexión sísmica – ABC.

Cuando se analiza el estudio obtenido, si resulta ser viable entonces se procede a la primera perforación que consiste en verificar que los datos obtenidos por el sónar son correctos y de paso analizan la calidad y cantidad de petróleo que hay en el pozo.

Una vez se ha verificado que hay petróleo y si merece la pena perforar en esa zona, se procederá a realizarse la perforación que servirá para extraer el petróleo para posteriormente instalar las

diferentes maquinarias, válvulas, conexiones, etc. Cuando toda la instalación esté preparada y comprobada se instalará el FPSO para proceder a la extracción.

6.3.2. Plataforma petrolífera

Uno de los trabajos que hacen desbanicar de cada día más a las plataformas petrolíferas son los FPSO que pueden perforar el lecho marino. Como se ha visto en el apartado anterior, uno de los buques FPSO que existen es el barco que puede hacer perforaciones en el subsuelo marino, este barco se llama FDSPSO por sus siglas en inglés que significan Floating Drilling Production Storage and Offloading.

En la siguiente figura se muestran los diferentes trabajos que puede realizar un FPSO, entre ellos está la manera en que pueden perforar los FDSPSO.

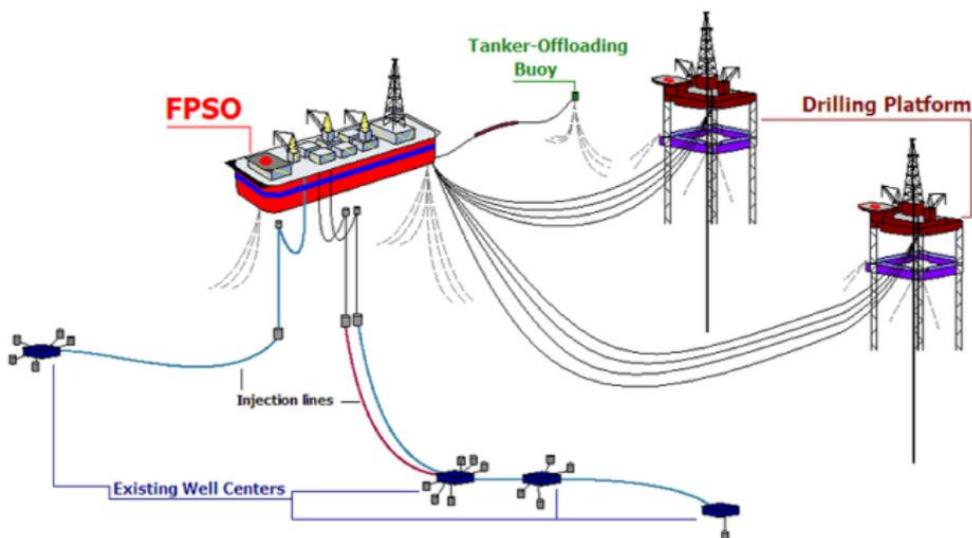


Figura 43: Diferentes trabajos del FPSO – Ingeniero marino.

6.3.3. Almacenamiento

Los buques que han sido transformados suelen ser los VLCC o los LPC que al pasar por astillero quedan con unas cubiertas más grandes y pesadas, eso es malo ya que hace perder estabilidad ya que sube mucho el centro de gravedad y además, aunque sean buques especializados en transportar petróleo, la mala configuración con las cubiertas hacen que tengan una capacidad

insuficiente de almacenamiento y por lo tanto que tenga que estar en constante trasvase de petróleo al Shuttler.

Los de nueva construcción, sin embargo, han tenido la oportunidad de cambiar estos fallos y por ende la estética del propio buque, una nueva configuración que va en función de los trabajos que va a realizar el buque en su vida útil.

6.4. Buques y empresas

El primer buque FPSO reconstruido fue el Shell Castellón en el año 1977, operó en el mar mediterráneo.

Una de las empresas petrolífera llamada Petrobas también envió al astillero al buque Presidente Prudente de Moraes para que se hiciera el cambio en el año 1978 para ocupar el campo de Garoupa.

Más tarde, debido a las necesidades de producción por el incremento de trabajo, surgió el primer FDPSO, Azurite, fue un buque transformado. Fue construido en el 1988 como un VLCC y en el 2007 se metió en astillero y hasta el 2009 no fue botado.

El buque FPSO Terra Nova fue diseñado por Brown and Root Energy Services (BRES) y construido por un astillero en el sur de Corea por Daewoo Shipbuilding and Marine en Okpo. En principio tenía un presupuesto de 1.600 millones € pero al final su coste fue de 2.090 millones €, convirtiendo este buque en el más grande de los buques FPSO que operó a 350km al sur de Terra Nova y la Península del Labrador hasta el año 2019, cuando fue cerrado el campo debido a problemas de seguridad del buque y la pérdida de la licencia para poder operar como un FPSO. El mismo año se llevó al buque a un astillero para modernizarlo y alargar la vida útil del buque 10 años más. Se prevé que para finales de este mismo año (2022) vuelva a estar operativo en el campo petrolífero.

Éste fue el primer buque diseñado para navegar entre icebergs. El buque tiene un doble casco reforzado para navegar entre hielos, también cuenta con un sistema de posicionamiento que le permite poder quedarse en lugar sin moverse mucho a pesar de los vientos, olas y corrientes marinas que se forman en esa parte del océano.



Figura 44: Buque Terra Nova – Va de barcos.

MODEC ha unido fuerzas con Mitsui para crear dos buques FPSO de nueva generación, uno se llama MODEC Noah y el otro M350 FPSO. Estos nuevos buques han sido diseñados para cubrir el reciente déficit en este tipo de buques creado por el aumento de producción y almacenamiento al descubrir nuevos pozos petrolíferos, el aumento de clientes, etc.

Mejoras de estos nuevos buques FPSO:

- ✚ Han mejorado el casco de los buques que están más adaptados al tipo de clima que se encuentra en alta mar.
- ✚ Tienen una gran variedad de gamas para poderlo construir en astilleros de todo el mundo.
- ✚ Tienen un diseño modular, que puede servir tanto para que el buque se adapte a las necesidades de sus proyectos como a la hora de amarrar.
- ✚ Consta de tres módulos, todos ellos con medidas estándar. Se divide en Proa, Popa y el cuerpo del buque. Éste último se pueden añadir diferentes longitudes para hacer el buque más a medida.
- ✚ Una nueva forma de los materiales del casco, éstos utilizan placas planas de flexión o bidimensionales. Esto hace que la construcción sea más barata pero que mantengan el mantenimiento de los buques convencionales.

- ✚ La nueva forma del casco asegura un mayor espacio en la zona de máquinas; una mayor seguridad para la superestructura donde están los camarotes, puente y demás; y mejoras para un trabajo de la hélice más óptimo.
- ✚ La forma del casco permite buenas condiciones de trabajo y mantenimiento.



Figura 45: MODEC Noah y M350 – Marinelink.

La empresa BW Offshore con el barco BW Pionere es el primer buque FPSO que puede perforar gracias a una maquinaria avanzada que llaman “La Boya” y permite procesar el petróleo crudo, recoge por día 700.000 barriles, 388 descargas al año a otros buques.

Capítulo 7. Marco legal

Hoy en día todo está regulado por leyes, la normativa española la publican en el BOE y muchas de las leyes que se rigen en el país también son de carácter europeo. El BOE se actualiza inmediatamente haya un cambio en una de las normas o si hay normas nuevas. Después la OMI (Organización Marítima Internacional), rige la normativa marítima mundial en todos los ámbitos del sector.

Actualmente no hay una normativa específica para los robots acuáticos ya que es un tipo de robótica que está emergiendo de cada vez más en estos tiempos, por lo que se rige por la normativa general de la robótica.

7.1. Normativa general para robots

La Normativa española que rige la robótica se encuentra en el BOE. Los Reales Decretos que hablan sobre los vehículos ROV, AUV, IAUV, UAV, etc. Éstos son:

- ✚ Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre especifica la normativa de los drones aéreos.
- ✚ Real Decreto 1020/1985, de 19 de junio, especifica la normativa de la construcción en régimen de fabricación mixta, de robots industriales regidos por sistema de información codificada con capacidad de carga de hasta 60Kg.
- ✚ Real Decreto 734/1984, de 22 de febrero, especifica la normativa de la construcción en régimen de fabricación mixta, de robots industriales regidos por sistema de información codificada con capacidad de carga de más de 60Kg.

La normativa dice que en ningún momento se pueden usar estos robots para usarlos en países que no sean el de origen, pero si se quiere usar fuera del país es necesario disponer de una autorización expedida por el estado en el que se va a usar el vehículo.

En el caso que el robot o vehículo se vaya a emplear para fines lucrativos es necesario que la empresa cuente con personal con el certificado que te faculta para poder controlar y usar los robots, además tienen que tener un certificado médico que acredite su capacidad para manejar estos vehículos y tiene que ser mayor de edad para poderlo controlar (en el caso de los ROV o IAUV en modo control remoto).

Si no se cumple con la normativa se puede multar a la empresa con hasta millones de euros. Por eso es obligatorio que la empresa haga un seguro al robot.

Se tiene que construir de tal manera que sea respetuoso con el medio ambiente.

7.2. Lloyd's Register

La SC⁵ mundialmente famosa Lloyd's Register se ha modernizado a los nuevos avances en la tecnología y ha actualizado sus pólizas para poder asegurar los vehículos ROV, AUV y los IAUV y así poder entrar en el sector de la robótica subacuática.

Tras contactar con la sociedad de clasificación para intentar obtener las cláusulas referentes a los robots submarinos no se pudo conseguir esa información.

7.3. Aseguradora AXA

En estos momentos la aseguradora AXA está calculando la póliza de "Condiciones Generales para Equipos Electrónicos". Se trata de una póliza inglesa, en estas pólizas todos los puntos que no aparecen en el contrato son los que se cubren y los que aparecen en la póliza son los puntos que

⁵ Siglas de Sociedad de Clasificación.

no cubren o que se tenga que pactar o poner una franquicia. Las pólizas inglesas son contrarias a las españolas, en las que solo aparecen las cláusulas que se hayan especificado anteriormente.

- ✚ Los datos con los que la aseguradora está revisando la póliza son:
- ✚ Precio del robot entre 3 y 5 millones de euros.
- ✚ Instalado en un buque FPSO con puerto base en Santa Cruz de Tenerife.
- ✚ Duración de trabajo en el buque 20 años (vida útil del buque).
- ✚ Precio del buque 300 millones de euros.
- ✚ Buque faenará a 350 millas de Terra Nova.
- ✚ El robot se encargará de realizar mantenimiento e inspección en estructuras subacuáticas, hacer prospecciones, recolectar muestras del fondo marino, controlar la calidad del agua para prevenir fugas de las instalaciones, etc.

Esta póliza se puede consultar en el Anexo A.

Capítulo 8. Propuesta de un vehículo autónomo y operativas viables

Para empezar, comentar que en algunos buques FPSO, como el Discoverer Enterprise ya han implementado a bordo un robot ROV controlado desde el FPSO para ir comprobando los diferentes sistemas de producción que se encuentran operando en el fondo marino. Este robot cuenta con un brazo hidráulico que le permite hacer pequeñas reparaciones mientras es controlado por el usuario dentro del buque. También lo usan para poder ver cómo y dónde va el taladro para perforar el subsuelo marino.



Figura 46: ROV haciendo operaciones de inspección – Ingeniero marino.

8.1. Costes instalaciones y buques FPSO

En el caso del Eelume la empresa que lo mandó construir, Equinor, ha hecho los cálculos de lo que cuesta comprar un robot autónomo con funciones de inspección, mantenimiento, limpieza, etc. También calcularon el coste que le ocasionaría poner a personas haciendo los mismos trabajos que el AUV y los resultados le salieron que se ahorraban un 90% de los costes de mantenimiento al implantar un robot. Es verdad que el Eelume es un robot que vive en las profundidades del mar sin salir a la superficie. Esto quiere decir que en el caso del robot que se pretende implantar en

este proyecto no haría falta construir una base en el fondo del mar como el Eelume, para que pudiera hacer el trabajo que ha sido programado, ya que sí que está la base de operaciones (buque FPSO) en la misma zona que está la instalación de extracción del petróleo.

Al eliminar los costes de la base subacuática se reducen los costos de la instalación y creación del refugio que tiene que estar construido para aguantar las grandes presiones que se encuentran en el fondo del mar. A cambio, simplemente habría que construir una base dentro del barco, la cual no necesitaría estar diseñada para aguantar altas presiones, por lo que sería más fácil de conseguir.

Como se ha comentado en un capítulo anterior, el FPSO más grande de la historia, tuvo un coste de 2.090 millones de €, un buque más pequeño como es el caso del Discoverer Enterprise costó 225 millones de €. El Discoverer Enterprise tiene una capacidad de almacenamiento de 100.000 barriles de petróleo, cada barril son unos 159 litros, 100.000 barriles son 15.898.700 litros de petróleo. Si el precio medio del barril en abril del 2022 es de 105.52\$, una carga completa equivaldría a 10,55 millones de dólares aproximadamente. Si bien este buque no cuenta con una cantidad enorme de almacenamiento, solo hay que multiplicar esta última cifra por la cantidad de veces que descarga sus tanques a un Shuttler.

El Discoverer Enterprise puede producir y almacenar 15.000 barriles por día, si se divide el total de barriles que puede almacenar entre los 15.000 que produce en un día se obtendrá el período de tiempo que tarda en tener el buque sus tanques llenos y por lo tanto tiene que proceder a descargarlo. Al hacer la división obtenemos que tarda 6,67 días en llenar sus tanques. Cojamos una media de 7 días (1 descarga semanal), al cabo del mes son 4 descargas de media que al cabo del año se traducen a 48 veces al año. Suponiendo que este buque tenga una vida útil media de 20 años equivaldría a unas 960 descargas que se producen a lo largo de su vida útil. Al multiplicar todas las descargas por los 10.55 millones de \$ por descarga son 10.130 millones de dólares aproximadamente que se producen a lo largo de la vida útil de este buque.

Si bien es verdad que esos 10.130 millones no es un beneficio neto ya que habría que restarle los costes del flete del Shuttler o los gastos de mantenimiento en el caso que el buque fuera de la compañía. También habría que pagar a todo el personal del buque, más los gastos de logística, etc. De todas formas, la rentabilidad del buque es bastante buena.

8.2. Costes y beneficios de un robot

En cuanto a los costes de los robots se tomarán como referencia los que se han estudiado en el estado del arte, puesto que son los robots más parecidos a lo que se pretende implantar, añadiéndoles las mejoras tecnológicas que han aparecido en otros robots.

El robot más similar al que se quiere implantar es el Eelume gracias a su desplazamiento de 360º y a los trabajos que realiza de mantenimiento, y no solo de inspección.

Otros robots como los subCULTron⁶ que además de poderse cargar por inducción en algunos puntos de los canales venecianos también pueden recargarse “comiendo lodos”, cuentan con una pila de combustible microbiana que consiste en la transformación de la energía química en eléctrica por medio de la acción bacteriana que oxida agentes biodegradables que los robots mejillón encuentran en los lodos de los canales Venecianos.

El subCULTron tuvo un coste de 4.5 millones de euros, pero cuenta con más de 120 AUV. También es cierto que la única función que éstos tienen es la de recopilar información del ambiente para después poderla enviar y procesarla desde la base. Estos robots, al no tener una función que reduzca la mano de obra, no tienen beneficios económicos ya que solo se encargan de investigar para la posterior adopción normativa sobre esas aguas en función a los datos recopilados.

El Nereus no se ha podido encontrar cuánto costó en su entonces, pero su hermano pequeño el Nui tuvo un coste de 3 millones de dólares. Este robot sí desempeñó una labor más parecida a la que se quiere instalar en los buques FPSO.

De todos estos robots el más parecido en cuanto a funciones es el Eelume cuyo costo no ha salido a la luz pública pero lo que sí sabemos es que ha reducido los costes de mantenimiento un 90%.⁷

⁶ Proyecto en el que se construyeron los robots mejillón, nenúfar y pez que han sido introducidos anteriormente.

⁷ Datos extraídos de la página web de Eelume.

8.3. Trabajo y funciones del robot en el buque

Como se ha visto en los capítulos anteriores las funciones de los robots pueden ser todas las que los diseñadores y programadores quieran, siempre teniendo en cuenta el presupuesto que se tenga.

El robot que se quiere implantar en los buques FPSO es un robot que tenga la base de recarga dentro del buque (en un compartimento lateral del buque que se abra hidráulicamente). Cuando llegue su momento se tiene que abrir la puerta y el robot saldrá a hacer las funciones que esté programado.

Teniendo en cuenta que el robot a lo mejor tiene una autonomía de 20 horas y la velocidad media sea de 5 nudos, hay que tener en cuenta las profundidades donde va a operar el robot. Estos datos son muy importantes porque si tiene que salir del barco y descender 3000m eso significa que el robot tardará 19,45 min en descender. Para tener margen se supondrá que el robot tarda una hora entre el ascenso y el descenso, si tiene una autonomía de 20 horas, quedan 19 horas para poder realizar sus funciones.

Los trabajos que realizaría el robot serían: la inspección y mantenimiento de toda la estructura subacuática; reparaciones y limpieza de las mismas; ayudar al buque a que se efectúe una correcta perforación; poder realizar las primeras prospecciones por los métodos sísmicos, abarcando una gran zona de investigación; analizar el agua para evitar posibles fugas; poder coger muestras; etc.

Se descarta una de las ideas que se habían planteado antes de empezar el proyecto que consistía en que el robot también hiciera las primeras perforaciones para poder verificar si había petróleo, posteriormente analizarlo y decidir si fuera factible que el buque empezara a instalarse para hacer la perforación definitiva. Debido a las profundidades bajo tierra que tiene que llegar, el peso y el consumo de la maquinaria necesaria para poder realizar dicha perforación ahora se puede decir que esa parte no es plausible.

A estas alturas del trabajo el lector se estará preguntando si existe algún tipo de robot autónomo o no que opere en este tipo de buques. Otra opción es que el lector se pregunte si es viable económicamente. Pues bien, en este punto se resolverán esas dos dudas, que son fundamentales para saber si se puede implantar un robot AUV en los buques FPSO.

8.3.1. ¿Hay robots en los buques FPSO?

Para la pregunta que se formula se ha tenido que hacer un estudio extenso para poder contestar a la pregunta. Pero la respuesta es sí, existen robots que van dirigidos por un tele operador para ayudar a realizar la perforación gracias a que permite la visión dentro del agua y así los oficiales que estén de guardia, realizando las operaciones de perforación, puedan visualizar todo lo que está ocurriendo en cada fase y para coger muestras del agua.

Pero no hay robots autónomos que hagan las rondas de mantenimiento e inspección y que después vuelvan al barco para recargarse, aunque sí que hay robots parecidos que van a cargar las baterías en una costosa base submarina.

8.3.2. ¿Sale rentable instalar un robot en un buque FPSO?

Después de mucha investigación no se han encontrado cifras de los robots que más se puede asemejar a lo que se quiere implantar y se optó por contactar con las empresas constructoras y diseñadoras, aunque no se obtuvo ninguna respuesta por parte de ellos. Lo que sabemos gracias al Nui es que se puede calcular que el robot tenga un presupuesto de 3 a 5 millones de euros, teniendo en cuenta que un buque pequeño durante su vida útil saca unos 10 mil millones de euros y que reducirá los costos de mantenimiento de las instalaciones en un 90%. Se podría decir que sí sale rentable instalar un robot de estas características en el buque.

8.4. Viabilidad

Gracias a los puntos que se han tratado anteriormente y a que se han respondido las preguntas clave que se hacían en este proyecto se puede decir que sí que es viable instalar un robot de estas condiciones en los buques FPSO, no solo se reducirán costes, sino que tampoco se requeriría que personas hicieran estos trabajos tan peligrosos para la vida humana.

Durante todo el proyecto se ha hablado de instalar un AUV, pero la autora ha considerado que sería más útil un robot IAUV, es decir que fuera un robot híbrido. El robot tendría instalado un conmutador en el propio robot para cambiar su modo principal de AUV para pasar a modo de control remoto (IAUV), ya que en algunos trabajos sí que podría ser útil que la persona responsable tuviera ojos debajo del agua en tiempo real, o realizar ciertos trabajos puntuales que no estuviera el robot programado para ellos pero que sí que sería factible que se pudieran realizar.

Capítulo 9. Diseño del prototipo

Ahora que se ha visto que el estudio realizado para este proyecto es viable se procederá a realizar el diseño utilizando la información obtenida en el estudio realizado a lo largo de todo el proyecto hasta ahora. En este punto se tratará de instalar los sensores y actuadores que le vayan mejor al prototipo del robot. También se analizará que método de propulsión es más adecuado y que tipo de motor y combustible llevará. En el tipo de combustible se tiene que estudiar que es más efectivo si un grupo de baterías de Li-ion o unas pilas de combustible de hidrógeno. En los siguientes apartados se realizará el diseño de la estructura del robot y los materiales con los que tiene que estar construido para que aguante las presiones tan elevadas que tendrá que soportar.

9.1. Sensores y actuadores

Como se ha expuesto en el apartado 3.3 hay tres clases de sensores: los internos, los de trabajo y los de posicionamiento.

Primero se enumerarán los sensores internos del robot:

- ✚ Sensor para detectar vías de agua: como se indicó anteriormente el mejor de los tres sensores (el de humedad, el de conductividad y el óptico) es el óptico, ya que no son lentos detectando la vía de agua como el detector de humedad ni pueden dar falsos resultados debido a el ruido provocado por los aparatos electrónicos que están dentro del robot como el de conductividad.
- ✚ Sensor de temperatura: Los termopares no serían una buena opción debido a que su rango de temperatura es limitado y no está diseñado para cambios de temperatura drásticos. Sin embargo, los termistores PTC son muy útiles para cambios drásticos de temperatura. Los RTD tienen la ventaja que no le afecta los ruidos eléctricos debido a que trabaja con resistencias de los materiales. Después están los sensores de infrarrojos sin contacto que tienen un alto rendimiento y miden un rango de temperatura entre los

-20°C y los + 2000°C, estos sensores se configuran por un software que viene con el sensor en sí.

Como se puede observar en el Gráfico 3 la temperatura del mar está entre +25°C y 1°C, como se ve en el gráfico la termoclina empieza a partir de 1000m de profundidad, a partir de ahí la temperatura va disminuyendo muy lentamente hasta llegar a 1°C. Mientras que el rango de temperatura que hay entre la superficie del mar y los 1000m desciende muy bruscamente.

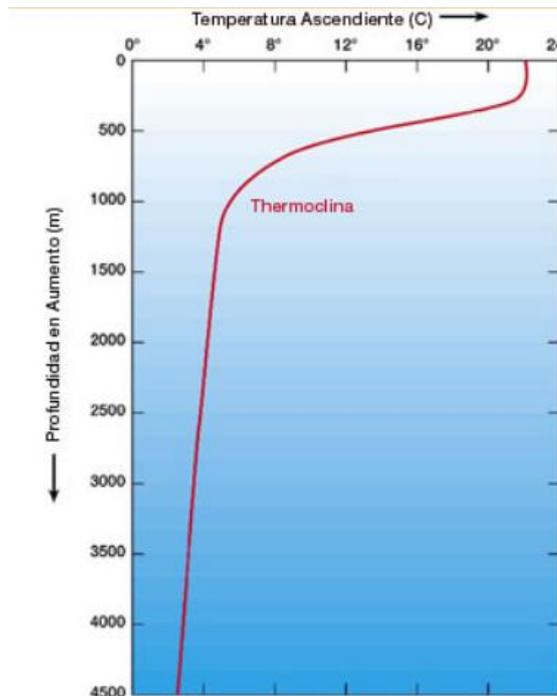


Gráfico 3: Temperatura del mar – Ventanas al universo.

Con estos datos podríamos decir que el cambio de temperatura no varía mucho, $\pm 25^{\circ}\text{C}$, por lo tanto, no se necesitarían los sensores de temperatura tipo termistor. De los dos que quedan el mejor es el RTD ya que están hechos de platino que es un material con una gran resistencia a la corrosión.



Figura 47: Sensor térmico RTD – srcls.

- ✚ Sensor de consumo eléctrico: La mejor opción es insertar un amperímetro en la zona donde queramos medir el consumo eléctrico, pero se tiene que instalar de forma paralela.
- ✚ Sensor de presión: Los capacitivos y piezorresistivos no son aptos debido a que solo miden presiones bajas. De los dos métodos que se estudió anteriormente (Sensor por presión resonante o por galgas extensométricas), la más adecuada son las galgas extensométricas debido a que es un sistema que ocupa poco volumen y resiste presiones muy elevadas.



Gráfico 4: Presión que hay en las profundidades marinas – Fuente propia.

Una vez finalizado con los sensores que nos permitirán saber el estado del robot ahora se elegirán los sensores que harán que el robot pueda posicionarse en el fondo del mar. Como el sistema de posicionamiento es uno de los aspectos clave del robot, en vez de instalar solo un tipo, se instalarán más.

- ✚ Cómo es lógico el GPS y la Brújula sólida los descartamos. El GPS no puede localizar la posición debajo del mar y la brújula se tendría que estar compensando muy frecuentemente. La IMU ocupa mucho espacio y peso a causa de los giróscopos por lo tanto tampoco sería una buena opción y el sistema de posicionamiento acústico se descarta ya que hay que instalar unos transpondedores en el fondo del mar para que se pueda posicionar.
- ✚ Primero se le instalará un sensor de la velocidad. El tipo impulsor no sería muy adecuado ya que necesitaría tener elementos fuera del agua y eso añadiría resistencia al avance. El de correlación acústica tampoco serviría ya que necesita elementos que estén en el fondo del mar para poder medir la velocidad. Del resto de tipos de sensor el más apropiado es el velocímetro Doppler que trabaja con ondas acústicas.
- ✚ También llevará instalado un sensor de profundidad, para que pueda saber cuándo ha llegado a la profundidad deseada, calculando la presión de la columna de agua.
- ✚ Como se ha indicado en el apartado de viabilidad, en vez de un AUV será un robot IAUV y por lo tanto se necesitará un sistema de posicionamiento por visión.
- ✚ Además de este sistema también se le instalará el sistema de posicionamiento por sónar para la detección de obstáculos.

En cuanto a los sensores de trabajo el robot tendría los siguientes instalados:

- ✚ Están los que comprueban los diferentes componentes químicos del agua, como por ejemplo la presencia de hidrocarburos, en busca de alguna vía que se haya abierto en los risers, tuberías o los diferentes elementos submarinos.
- ✚ Para el uso de los brazos hidráulicos para poder coger muestras del subsuelo marino o cualquier otro objeto cuando el robot trabaje en modo autónomo, necesitará unos

sensores de final de carrera y contadores para que el robot sepa cuando ha cogido el objeto y cuando debe abrir y cerrar la compuerta para almacenar muestras.

En cuanto a los actuadores que se instalarán serán de carácter electrohidráulicos, hidráulicos y eléctricos.

- ✚ Los actuadores electrohidráulicos son principalmente las electroválvulas que permitirán dejar pasar el flujo de aceite a los pistones o a otra parte del circuito que sea necesario. Normalmente será la unidad de procesamiento del robot la que dé esa señal de salida ya que será la respuesta de alguna señal de entrada que se recibirá a través de los sensores del robot.
- ✚ Los actuadores hidráulicos son dispositivos que se moverán por medio de aceite, que permite un movimiento lento pero que ejercen grandes fuerzas. Dos funciones del robot irán con este tipo de actuadores, los brazos mecánicos del robot y la puerta para almacenar las muestras.

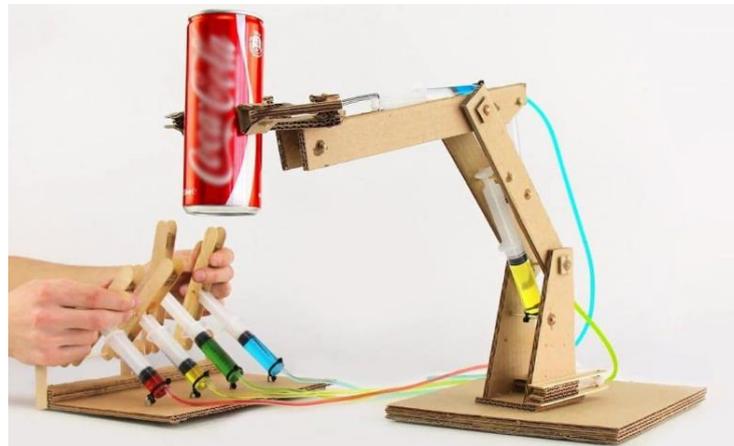


Figura 48: Brazo hidráulico casero – Eco inventos.

- ✚ Los actuadores eléctricos son: el motor de corriente continua, las electroválvulas, etc.

9.2. Sistemas de propulsión, motor y combustible

En el apartado 3.1.1. se habló de los tipos de baterías que había en el mercado entre ellas estaban las de Plomo-Calcio, gel, electrolito absorbido, Li-ion y LiFePO4. De estos cinco tipos de baterías

que hay actualmente en el mercado solo las de Li-ion y LiFePO4 son aptas para el robot debido a que son las que más capacidad de almacenar energía eléctrica tienen, se pueden poner en cualquier posición y tienen una relación peso/potencia mejor que las otras baterías.

De estas dos baterías la Li-ion se caracteriza por tener una descarga lineal, alto voltaje por célula, baja tasa de autodescarga. Pero no aguanta temperaturas muy altas (ya que las altas temperaturas hacen que disminuya su efectividad un 25%), tiene una vida útil de 3 años, dura entre 300 y 1000 ciclos⁸. Sin embargo, las baterías de LiFePO4 son más respetuosas con el medio ambiente (ya que no tienen cobalto), tiene una relación potencia/peso mayor que la Li-ion, duran entre 2000 y 3000 ciclos, resisten las altas temperaturas (aunque este dato no es importante ya que el rango de temperatura en el que trabajará es entre 1°C-15°C), son más estables que las baterías de Li-ion, no sufren acortamientos del nivel de carga con el paso del tiempo, etc.

Para saber cuál de estas baterías es mejor para el IAUV primero hay que saber que autonomía tienen y su coste:

- ✚ Li-ion: Como se muestra en la tabla siguiente⁹ la capacidad y autonomía de modelos diferentes de Li-ion. La YSD-12-18 es la que más aguanta con una autonomía media de 49 horas y 43 minutos y una capacidad de 12 350 mAh (12,350 Ah). Esta batería tiene un peso de 170g y tiene unas dimensiones de 6x10x2,2 cm.

Modelo	Media	Capacidad	Real
YSD-12300	6h58m	3000mAh	1740mAh
YSD-12480	10h03m	4800mAh	2510mAh
YSD-12650	12h33m	6500mAh	3140mAh
YSD-12900	19h43m	9000mAh	4930mAh
YSD-12-18	49h24m	18000mAh	12350mAh
YSD-12-5	5h43m	3800mAh	1430mAh
YSD-N12V	7h 26m	4500mAh	1860mAh
YSD-998	13h 03m	6500mAh	3260mAh

Tabla 2: Autonomía de los modelos de las baterías de Li-ion - Securame.

⁸ Cada ciclo es el proceso de la batería que consiste en cargarse y descargarse.

⁹ Esta tabla está extraída de la página securame, es una empresa de seguridad de hogar con video-vigilancia.

- LiFePO₄: Tempra tiene una capacidad de 150 000 mAh (150 Ah). Como se puede observar en la siguiente tabla se encuentran varios tipos del mismo modelo. El modelo que tiene mayor capacidad es el TLB 150 con un peso de 16 Kg (bastante más peso que el de la batería Li-ion) y unas dimensiones de 34,1x17,6x19,0 cm (tiene unas dimensiones superiores que el modelo de batería Li-ion). Como se ha comentado antes estas baterías duran entre los 2000 – 3000 ciclos, incluso las más modernas duran entre 4000 – 5000 ciclos.

Modelo	TLB 100	TLB 100 F	TLB 120	TLB 120 F	TLB 150	TLB 150F
Voltaje (V)	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
Capacidad (Ah)	100	100	120	120	150	150
Peso (kg)	12,7	12,8	13,4	13,5	16	16,1
Dimensiones (cm)	34,1x17,6x19,0	34,1x17,6x19,0	34,1x17,6x19,0	34,1x17,6x19,0	34,1x17,6x19,0	34,1x17,6x19,0

Tabla 3: Datos del modelo Tempra LiFePO₄ - Fuente propia.¹⁰

El tipo de batería tradicional es muy útil ya que se carga con energía eléctrica producida por el mismo barco que permitirá recargar el robot, pero otro tipo de batería está entrando en el mercado hace poco. Incluso ya se está comercializando en el mundo de la automoción, marcas como Toyota o Hyundai ya están sacando modelos para su venta en estos momentos. Se trata de la pila de combustible de hidrógeno. Estas pilas lo que hacen es hacer la hidrólisis inversa del agua a través de hidrógeno y oxígeno además el residuo de la hidrólisis no es más que vapor de agua que no contamina.

El robot tendría un depósito (presurizado) de hidrógeno y otro de oxígeno para poder estar recargando constantemente una batería pequeña convencional, de este modo el robot podría disponer de una fuente de energía que tuviera residuos no contaminantes. Los tanques presurizados de los vehículos están a 700 bares, esto permite poder almacenar entre 4 y 5 Kg de hidrógeno con una autonomía de casi 500 km. Sabiendo que 1 milla náutica son 1853m, se podría hacer unas 270 millas. Es verdad que estos tanques pesan y ocupan mucho volumen y que no sería factible, pero la universidad del Northwestern ha creado un tanque con un volumen mucho

¹⁰ Los datos están extraídos de la página de NDS energy.

más reducido y menos peso. Este tanque está compuesto por nano poros en su interior que “absorben” el hidrógeno y lo mantiene almacenado, además trabaja a unas presiones mucho menores que la de los tanques convencionales haciéndolos así más seguros. Desafortunadamente la tecnología de ahora no permite que sea rentable ya que las pilas de hidrogeno tienen que mejorar su rendimiento que actualmente es del 70%.¹¹

Como el hidrógeno se puede extraer de muchas partes (combustibles derivados del petróleo), pero también se puede extraer del agua de mar. La idea es instalar en el barco un sistema de hidrólisis de agua de mar para ir almacenando hidrógeno, a presión, las horas que el robot estuviera faenando, cuando éste fuera a recargarse solo tendría que conectarse a repostar hidrógeno y oxígeno. La ventaja de esta “batería” es que el robot se puede recargar en 3 minutos¹² pudiendo seguir haciendo sus funciones casi de inmediato.

Para una batería de 12V solo son necesarias 7 celdas, éstas producen 1 A de corriente por cada 64 ml/min de hidrógeno (3,84 L/h)¹³. Para igualar la batería LiFePO₄ con 150 Ah necesitaríamos 576 L de hidrógeno para poder abastecer el consumo de los diferentes elementos. Si lo llevamos presurizado a 700 bares esos 576 litros ocuparían menos de 1 litro. En lo que respecta al volumen, sería menor que el de la batería de LiFePO₄, pero haría falta llevar un tanque presurizado a 700 bares, lo que presenta varios inconvenientes. Como de momento la tecnología de las baterías de hidrógeno no está muy avanzada, se usarán baterías convencionales.

Para poder decidir bien qué tipo de batería tendría que llevar el robot primero hay que hacer una estimación del consumo que tendrá el robot. En la siguiente tabla se muestran los elementos que consumirán la energía eléctrica de las baterías con lo que consumen, el peso que tienen y la suma de todos los consumos.

Para el motor se usarán motores eléctricos de CC¹⁴ de 3500rpm de 21W modelo 770-4087. Se usarán 7 motores, uno para cada turbina.

¹¹ Estos datos están extraídos de la revista Híbridos y eléctricos.

¹² Estos datos han sido obtenidos de las páginas web de Hyundai y Toyota.

¹³ Los datos son extraídos de la página web Better Fuel.

¹⁴ Corriente continua (CC).

Consumibles	Consumo	Peso (Kg)	Precio €
Sensor óptico de vía de agua.	< 150 mA	0,300	273
Sensor de temperatura RTD.	4-20 mA	0.03	370
Amperímetro	1-10 mA	0.033	64
Electroválvulas	0.55-1.4 mAh/u	0,1 – 0,5	20-500
Motor eléctrico	2,8 Ah/u	0,48	70
Bomba hidráulica.	13 Ah	0,99	600
Transformador de CC a CA.	100Ah	3,4	180
Suma	132,6 Ah	11	8007

Tabla 4: Tabla de consumos - Fuente Propia.

El consumo total es de 132,6 Ah, una batería LiFePO4 T de las que se mencionó en este mismo punto tiene una capacidad de 150 Ah, como se puede observar cubriría el consumo del robot para una hora y dejaría un margen. Una batería sería capaz de alimentar todo el circuito eléctrico durante una hora con un peso de 16 Kg y unas dimensiones de 34,1x17,6x19,0 cm, mientras que la batería Li-ion tiene una capacidad de 12,35 Ah (para igualar a la batería LiFePO4 necesitaríamos 12,15 baterías, se contará como si fueran 13 baterías) cada unidad pesa 0,17 Kg/u (2,21 Kg) y cada una tiene unas dimensiones de 0,06x0,1x0,02m (esto hace unas dimensiones totales aproximadas de 0,12x0,1x0,12 m).

Como se puede ver las baterías de Li-ion son mucho más pequeñas, pesan mucho menos y tienen una mayor autonomía que las de Ferro fosfato de Litio, así que se usarán las baterías de Li-ion.

El consumo total que se ha calculado antes es el consumo que tendrá el robot mientras esté usando la bomba hidráulica (para la cual también necesita el transformador). Se estima que el robot tendrá que trabajar en estas condiciones un máximo de 4 horas por inmersión. Sin embargo, el resto del tiempo el robot solamente usará los 7 motores eléctricos para moverse, que suman un consumo de unos 20 A/h. En estas condiciones tendrá que navegar un máximo de 16 horas. Si se suma el consumo mientras se desplaza y el consumo mientras está efectuando tareas nos da un total de 850 A/h para tener una autonomía total de 20 horas. Se aplicará un 30% de

margen para incluir el consumo de todos los sensores y cámaras del robot, con lo que finalmente se obtienen unos 1100 A/h.

Por lo tanto, como las baterías de Li-ion tienen una capacidad de 12,35 A/h se necesitarán unas 90 baterías para cubrir ese consumo. Tendrán un peso total de 15,3 Kg y ocuparán un volumen aproximado de 18x30x20.

9.3. Materiales

A continuación, se van a analizar las resistencias de los materiales que se vieron en el apartado 3.2.1. para averiguar cuál de los 7 distintos materiales es más óptimo para bajar a una profundidad de alrededor de 9000m de profundidad y 900 atm.

¿Por qué bajar a una profundidad de 9000m? La respuesta es sencilla, una de las mayores petroleras españolas encontró y explotó un pozo petrolífero a esa profundidad. Hay que tener en cuenta que el robot no está obligado a trabajar a esa profundidad, solo se coje como referencia los pozos petrolíferos que estén a la máxima profundidad.

Ahora se procederá a calcular el espesor que tiene que tener el casco del IAUV, para ello se necesita:

- ✚ La resistencia a la fluencia de cada material en $\frac{N}{mm^2}$. (1MPa = $1\frac{N}{mm^2}$).
- ✚ La presión a la que el material estará sometido (900 atm, que son 91,2 MPa. En la fórmula se introducirán MPa).
- ✚ El Radio del robot en mm (El robot tendrá un radio de 300mm).

$$Resistencia\ del\ material\ \left(\frac{N}{mm^2}\right) = \frac{Presión\ (Mpa) \times Radio\ (mm)}{Espesor\ (mm)} \quad (1)^{15}$$

¹⁵ Esta fórmula ha sido extraída del Manual de Calderas, del TFG de Kohan, A.L.

Usando la fórmula (1) y despejándola queda que el espesor es igual al producto del radio y la presión, el resultado se dividirá entre la resistencia de fluencia. Ahora se calculan los espesores requeridos para una presión de 900 atm o 91,2 MPa:

$$\begin{array}{l} \text{Acero alta resistencia} \\ \text{(HY80)} \end{array} \quad \text{espesor (mm)} = \frac{91,2\text{MPa} \times 300\text{mm}}{550} = 49.8\text{mm} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{Aleación de Aluminio} \\ \text{(7075)} \end{array} \quad \text{espesor (mm)} = \frac{91,2\text{MPa} \times 300\text{mm}}{503} = 54.4\text{mm} \quad (3)$$

$$\begin{array}{l} \text{Aleación de Titanio} \\ \text{(6-4 STOA)} \end{array} \quad \text{espesor (mm)} = \frac{91,2\text{MPa} \times 300\text{mm}}{830} = 33.0\text{mm} \quad (4)$$

$$\text{CFRP (Epoxy/S-lass)} \quad \text{espesor (mm)} = \frac{91,2\text{MPa} \times 300\text{mm}}{1200} = 22.8\text{mm} \quad (5)$$

$$\text{GFRP (Epoxy/HS)} \quad \text{espesor (mm)} = \frac{91,2\text{MPa} \times 300\text{mm}}{1200} = 22.8\text{mm} \quad (6)$$

$$\text{Acrílico} \quad \text{espesor (mm)} = \frac{91,2\text{MPa} \times 300\text{mm}}{103} = 265.6\text{mm} \quad (7)$$

$$\text{PVC} \quad \text{espesor (mm)} = \frac{91,2\text{MPa} \times 300\text{mm}}{48} = 570\text{mm} \quad (8)$$

Como se puede ver en los resultados el PVC, el Acrílico, la aleación de Aluminio 7075, y el Acero de alta resistencia HY80 quedan descartados ya que se tendría que construir con un material que tendría 5cm o más de espesor. Si bien es verdad que en estos cálculos no se han tenido en cuenta los refuerzos estructurales que permitirían reducir el espesor.

El polímero recubierto con fibra de carbón (CFRP), el polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) y la aleación de titanio (6-4 STOA) son los materiales mejores para usar en el robot.

De estos tres materiales el que presenta menos densidad es el CFRP, por ser el material (junto al GFRP) que más resistencia tiene y por ser el que menos densidad tiene de los tres materiales que son adecuados, escogeremos el CFRP para el IAUV.

En el mercado se pueden encontrar muchos formatos del polímero reforzado con fibra de carbono y su precio varía desde los 4 dólares la unidad (en el caso de telas de pocos mm de espesor), barras por 40 dólares, etc.

Además del polímero revestido también se añadirán parte de la estructura con titanio 6-4 STOA como los brazos robóticos, la estructura del tanque y compuerta para almacenar las muestras geológicas y la estructura del propio robot. Este material tiene una densidad de 4,5 Kg/dm³ siendo así casi tres veces más que el polímero reforzado con fibra de carbono, esto aportará peso al robot para que pueda descender más fácilmente a las profundidades del océano.

9.4. Estructura

Como se ha visto en el apartado 3.2.2. la forma del robot tiene que ser cilíndrica debido a que es la forma que más resiste la presión, después de la esfera. Se acordarán los lectores que no es muy adecuado crear un robot en forma de esfera ya que su forma crearía una gran resistencia al avance, su distribución interior sería muy complicada y solo habría espacio en el centro del robot. Se tendría que insertar una compleja estructura en forma de celdas para poder ubicar los diferentes componentes que están dentro del robot.

La estructura como se ha mencionado anteriormente estará hecha de titanio para poder dar consistencia, peso y robustez al robot. El diseño inicial del robot que se llamará Merry II es el siguiente:



Figura 49: Estructura interna del Merry II - Fuente propia.

Cuenta con tres aros puestos paralelamente unidos con cuatro barras que atraviesan el robot longitudinalmente. Dos de las cuatro barras están en el exterior de los aros, mientras que las dos restantes están en la parte interna.

Las extremidades, también de titanio, son semiesferas huecas en su interior. En las semiesferas se instalará la cámara con los leds (en la parte frontal o cabeza) y en el otro extremo se instalará uno de los varios propulsores que tendrá el Merry II.

Las dimensiones del IAUV son de 0.60m de diámetro y una longitud de 1.60m. Como se expuso anteriormente la estructura sería de CFRP y los brazos de titanio. En la siguiente imagen podemos apreciar la fibra de carbono reforzada del robot que es de color tierra, los brazos de titanio son de color gris claro metalizado y las extremidades de un color gris oscuro metalizado. Aunque el titanio de los brazos hidráulicos, las extremidades y estructura están representado de diferentes tonos de gris se trata del mismo material, aleación de Titanio 6-4 STOA.

En la parte frontal se puede apreciar las luces led que forman un círculo alrededor de la cámara de visión.

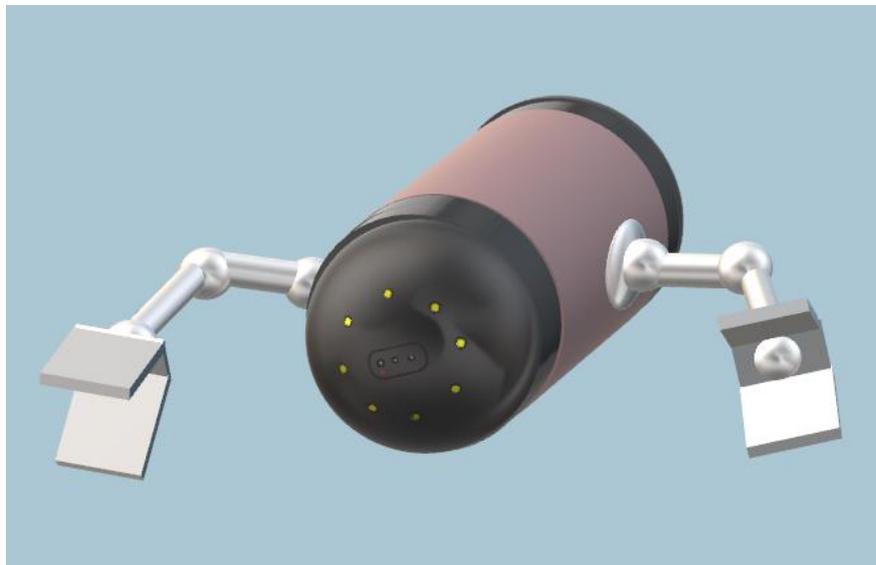


Figura 50: Primer diseño del Merry II - Fuente propia.

En el interior de la cabeza además de ir instalada la cámara y los leds también irá la unidad de procesamiento. Los demás sensores irán instalados a lo largo y ancho del robot, junto con el

sistema de propulsión. En la extremidad opuesta a la cabeza se instalará una hélice para que el robot pueda ser impulsado hacia delante.

Todos los componentes internos del robot irán conectados a la unidad de procesamiento para que el dron pueda moverse automáticamente.

Capítulo 10. Conclusiones

El lector se acordará que la idea inicial de este proyecto era estudiar la posibilidad de implantar un robot autónomo en los buques FPSO, si bien el resultado ha sido positivo, la idea base ha variado.

Se ha visto que el vehículo no puede hacer la tarea de realizar la primera perforación para extraer muestras del petróleo y evitar que el buque tenga que hacerlo, ahorrando así la energía y el tiempo que tardaría el barco. No puede realizarse esa tarea porque no hay un método que no necesite una maquinaria grande y pesada para poder perforar el subsuelo unos cuantos cientos de metros de profundidad.

Otro cambio que ha habido sobre la idea principal es que, en vez de implantar en los buques un robot autónomo (AUV), se instale un robot híbrido (IAUV) para que puedan realizarse también tareas para las que no haya sido programado, pero mediante una persona que lo controle sí que pueda realizarlas.

Lo que sí es seguro es que para construir un robot de estas características se necesita a mucho personal detrás del vehículo, ya no solo para poder instalar todos los elementos necesarios para que pueda realizar las tareas, sino que tendrán que realizar horas de trabajo para poder desarrollar un programa que permita al robot desempeñar sus funciones por medio de las señales de entrada, que le llegan del medio a través de los sensores, para él poder procesarlas y crear señales de salida (respuestas) para realizar la operación. El robot necesita un “cerebro” para poder funcionar y esa es la parte más difícil de todo el proyecto.

Además de la idea principal, se han descubierto diferentes formas de cómo usar el hidrógeno y las ventajas que supondrá cuando la tecnología esté lo suficientemente desarrollada para poder implantarlo en vehículos pequeños. En el caso de los robots tele operados es prescindible ya que a través del “cordón umbilical” puede estar conectado a una fuente eléctrica constante. De todas formas, se está apostando fuerte en el mundo de la automoción y seguro que gracias a este

sector se consigue desarrollar lo suficientemente rápido para que no se tenga que esperar mucho en ver baterías de hidrógeno funcionando por el mundo.

Si alguien quisiera llevar a cabo la construcción de un robot para esta finalidad, aunque solo fuera para hacer pruebas, se recomienda que lo realizaran entre un grupo de personas que hayan estudiado o estén interesadas en diferentes sectores que son necesarios para construir el vehículo (Robótica, electrónica, informática (sobre todo programación), mecánica y navegación). Se espera que este proyecto vaya a ayudar a alguien o lo inspire para poder realizar su propio proyecto.

Bibliografía

- [1] Álvarez, C; at al. Concepto, Desarrollo y Avances en el control de Navegación de Robots Submarinos Paralelos: El Robot Remo I [en línea]. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. Julio de 2009. Vol. 6, Nº3, p. 92-100. ISSN: 1697-7912. [consulta: 17 abril 2022]. Disponible a: <file:///C:/Users/MSI/Downloads/S1697791209702687.pdf>
- [2] Amazon. Drone submarino FIFISH V6S 100m de Cable brazon Robotico con maletín amarillo [en línea]. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a: https://www.amazon.es/Submarino-Rob%C3%B3tico-Malet%C3%ADn-Amarillo-8500561/dp/B08QD6675Q/ref=sr_1_13?_mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=ZDFA10UYSPCY&keywords=robot+submarino&qid=1645901756&srefix=robots+submarinos%2Caps%2C113&sr=8-13
- [3] Arteaga, S. RoboFly un minidron inspirado en las moscas reales que vuela sin batería para tareas de vigilancia. TecnoXplora [en línea]. Madrid. Mayo 2018. [consulta: 22 enero 2022]. Disponible a: https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoxplora/gadgets/robofly-minidron-inspirado-moscas-reales-que-vuela-bateria-tareas-vigilancia_201805185afe84070cf21eba122d67bb.html
- [4] Aula 21. Como funciona un motor eléctrico [en línea]. Centro de formación técnica para la industria. Barcelona: Ceràmica, 1. [consulta: 17 enero 2022]. Disponible a: <https://www.cursosaula21.com/como-funciona-un-motor-electrico/>
- [5] Baterías Li-ion: Batería recargable litio (Li-ion) [en línea]. Securame. Marzo del 2014. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.securame.com/bateria-recargable-li-ion-12v-1800mah-ysd12180-p-122.html>
- [6] Baterías Li-ion: Pruebas de autonomía de baterías recargables Li-ion de 12V [en línea]. Securame. Diciembre 2012. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.securame.com/blog/pruebas-de-autonomia-de-baterias-recargables-li-ion-de-12v/>
- [7] Baterías Li-ion: Ventajas, desventajas y mantenimiento [en línea]. Securame. Marzo del 2014. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.securame.com/blog/baterias-de-li-ion-ventajas-desventajas-y-mantenimiento/>
- [8] Bergman, J. Temperatura del agua de los océanos [en línea]. *Ventanas al Universo*. Febrero del 2011. [consulta: 2 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.windows2universe.org/earth/Water/temp.html&lang=sp>
- [9] Carbon fibre Price [en línea]. Alibaba. 2022. [consulta: 4 mayo 2022]. Disponible a: https://spanish.alibaba.com/g/carbon-fiber-price-per-kg_1.html?spm=a2700.7724857.0.0.20dd3659yoFXiy

- [10]Carvalza. ¿Qué es un gps? [en línea]. Diciembre del 2020. [consulta: 21 enero 2022]. Disponible a: <https://www.carvalza.es/que-es-un-gps/>
- [11]Castelló, E. El fondo del mar ¿La siguiente frontera para los robots? [en línea]. El mundo. Diciembre 2014. [consulta: 25 febrero 2022]. Disponible a: <https://www.elmundo.es/economia/2014/12/10/5488235bca474151388b4579.html>
- [12]Centramar. Principales sistemas de propulsión en buques. Centralmar. Madrid: Newton, 1. [consulta: 15 enero 2022]. Disponible a: <https://www.centramar.es/sistemas-de-propulsion-en-buques/>
- [13]Como construir un brazo hidráulico de cartón [en línea] imagen. Ecoinventos. Marzo 2022. [consulta: 2 mayo 2022]. Disponible a: <https://ecoinventos.com/como-construir-un-brazo-robot-hidraulico-de-carton/>
- [14]Conduce hacia un futuro más limpio [en línea]. Hyundai. 2022. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.hyundai.com/es/modelos/nexo.html>
- [15]Datos sobre el hidrógeno [en línea]. Betterfuel. 2022. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.hho-1.com/datos-hidrogeno-hho/?lang=es>
- [16]De la Llana, M. Nuevo sistema de propulsión naval [en línea]. Tesis doctoral. Universidad del país Vasco, 2011. [consulta: 8 enero 2022]. Disponible a: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/12273/DeLaLlanaMartinez.pdf?sequence=1>
- [17]Descubren un nuevo material que puede ser revolucionario para los coches de hidrógeno [en línea]. El confidencial. Abril del 2020. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: https://www.elconfidencial.com/motor/2020-04-20/material-revolucionario-coches-hidrogeno_2556635/
- [18]Elder, R. El robot submarino Nereus llega hasta el punto más profundo de los océanos [en línea]. Zientzia.eus. Septiembre 2009. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a: <https://zientzia.eus/artikuluak/ozeanoen-punturik-sakoneneraino-iritsi-da-nereus-u/es/>
- [19]Electrónica y más. Voltímetro+Amperímetro 200-450V CT 200ª carril din [en línea]. Electronicaymas. Madrid: travesía de Pizarro. [consulta: 21 enero 2022]. Disponible a: <https://electronicaymas.com/medidores-de-panel/voltimetroamperimetro-200-450v-ct-200a-carril-din-9320>
- [20]Engineering Explained. Nota II engine oils are created equal [en línea]. Youtube. Abril 2022. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.youtube.com/channel/UCIqhvGmHcvWL9w3R48t9QXQ>
- [21]Equipos de prospección sísmica [en línea]. Panatec: industria e investigación. 2022. [consulta: 6 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.panatec-industria.com/prospeccion-sismica.php>
- [22]Este coche a hidrógeno tendrá 400 km de autonomía y costará solo 15 000 euros [en línea]. Forococheselectricos. Diciembre del 2021. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://forococheselectricos.com/2021/12/coche-a-hidrogeno-400-km-de-autonomia-precio-15000-euros.html>
- [23]Expansión. Precio del petróleo [en línea]. Datosmacro. Abril 2022. [consulta: 2 mayo 2022]. Disponible a: <https://datosmacro.expansion.com/materias-primas/opec>
- [24]Full mecánica. Resistencia de Fluencia [en línea]. Full Mecánica 2014. [consulta: 21 enero 2022]. Disponible a: <http://www.fullmecanica.com/definiciones/r/1206-resistencia-a-la-fluencia>

- [25]García Domínguez, R. Crean un barco que funciona con agua de mar [en línea]. Betech. Octubre del 2019. [consulta: 14 abril 2022]. Disponible a:
https://as.com/meristation/2019/10/08/betech/1570566557_587759.html
- [26]García Soutullo, R. Buques FPSO. Offsgire [en línea]. Ingeniero Marino. Mayo 2016. [consulta: 5 febrero 2022]. Disponible a: <https://ingenieromarinom.com/buques-fps-offshore/>
- [27]García, G. *Coches de hidrógeno sin tanque de almacenamiento a presión gracias a un material que funciona como una esponja* [en línea]. Híbridos y eléctricos. Abril 2020. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a:
<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/coches-hidrogeno-tanque-almacenamiento-presion-material-esponja/20200422113218034608.html>
- [28]García, G. *Pilas de combustible de hidrógeno baratas gracias a un catalizador que elimina el platino* [en línea]. Híbridos y eléctricos. Abril 2022. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/pilas-combustible-hidrogeno-baratas-gracias-catalizador-elimina-platino/20220328130118056128.html>
- [29]Geotechnical consulting. ¿Qué es la reflexión sísmica? [en línea]. ABC. [consulta: 7 febrero 2022]. Disponible a: <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/reflexion-sismica/>
- [30]Gómez Dabic, M. La regulación de los drones [en línea]. Garrigues artículos profesionales. Junio 2015. [consulta: 17 abril 2022]. Disponible a:
https://www.garrigues.com/es_ES/noticia/la-regulacion-de-los-drones-marinos
- [31]Gómez Traviño, N. J. et al. Estrategia de Pemex para la extracción de hidrocarburos [en línea]. CULCyT. Nº 190, p. 400. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a:
<file:///C:/Users/MSI/Downloads/Dialnet-EstrategiaDePemexParaLaExtraccionDeHidrocarburos-7299745.pdf>
- [32]González Esteve, A. A. Corredoras Doppler. [en línea]. Trabajo final de grado. Universidad de la Laguna, Escuela politécnica superior de ingeniería. Departamento de náutica, máquinas y radioelectrónica naval. 2020. [consulta: 22 enero 2022]. Disponible a:
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/21287/Corredoras%20Doppler.pdf?sequence=4>
- [33]GPASearobots. ¿Para qué sirve la robótica? [en línea]. 21 noviembre 2021. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a: <https://www.gpaseabots.com/post/para-qu%C3%A9-sirve-la-rob%C3%B3tica-naval>
- [34]HBM. Definición de un sensor de presión [en línea]. [consulta: 22 enero 2022]. Disponible a: <https://www.hbm.com/es/7646/que-es-un-sensor-de-presion/>
- [35]I'MNOVATION, Acciona. Robótica submarina para la sostenibilidad y la observación del océano [en línea]. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a: https://www.imnovation-hub.com/es/transformacion-digital/robotica-submarina-para-la-sostenibilidad-y-la-observacion-del-océano/?_adin=02021864894
- [36]Iglesias Fraga, A. 5 cosas que debes si quieres volar un dron legalmente [en línea]. Computer hoy. Septiembre del 2019. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a:
<https://computerhoy.com/listas/tecnologia/5-cosas-debes-saber-quieres-volar-dron-legalmente-487261>
- [37]Ingeniero Marino. *Operaciones offshore buque FPSO + Plataforma*. [en línea]. Youtube.2014. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a:
https://www.youtube.com/watch?v=07tF8cxjNo&ab_channel=IngenieroMarino

- [38]Kickstarter. Openrob Trident-an Underwater Dron for Everyone [en línea]. Diciembre 2018. [consulta: 14 abril 2022]. Disponible a: <https://www.kickstarter.com/projects/openrov/openrov-trident-an-underwater-drone-for-everyone?lang=es>
- [39]Kjerstad, N. Sónar: imagen [en línea]. Snl.no. Marzo 2020. [consulta: 21 enero 2022]. Disponible a: <https://snl.no/sonar>
- [40]Klam, A. Fabricar gasolina con agua. Analizando combustibles para HHO [en línea]. YouTube. Septiembre 2020. [consulta: 14 abril 2022]. Disponible a: https://www.youtube.com/watch?v=m9J1T6NyGHI&ab_channel=ArkangelKlamMedia%21
- [41]Kohan, A.L. Manual de calderas [en línea]. Recursos biblio. Trabajo de final de grado. Universidad Rafael Landívar. Septiembre 2015. [consulta: 4 mayo 2022]. Disponible a: http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicig/biblio_sin_paredes/fac_ing/Manu_cald/I/cap/09.pdf
- [42]La distancia recorrida por el buque. Las correderas y su coeficiente. Náutica. Noviembre 2008. [consulta: 21 enero 2022]. Disponible a: <https://naut.blogcindario.com/2008/11/00022-la-distancia-recorrida-por-el-buque-las-correderas-y-su-coeficiente.html>
- [43]Loolin. Dron con tecnología de posicionamiento: imagen [en línea]. Amazon. [consulta: 24 enero 2022]. Disponible a: https://www.amazon.es/dp/B09NVHTN28?pd_rd_i=B09NVHTN28&pd_rd_w=28nQq&pf_rd_p=fbf47ff3-081c-4842-be54-46d1ab576b91&pd_rd_wg=wE8g5&pf_rd_r=4C47GA0HMD1Z0S2XZW80&pd_rd_r=77f661db-5986-4209-b962-621430345019&th=1
- [44]López Gómez, J. Robots subacuáticos para proteger la laguna de valencia. Euronews. Octubre 2017. [consulta: 28 enero 2022]. Disponible a: <https://es.euronews.com/next/2017/10/02/robots-subacuaticos-para-proteger-la-laguna-de-venecia>
- [45]MarineLink. MODEC presenta nuevos modelos de FPSO [en línea]. Maritime Activity Reports. Agosto 2019. [consulta: 14 abril 2022]. Disponible a: <http://es.marinelink.com/news/modec-presenta-nuevos-dise%C3%B1os-fps0-284588>
- [46]Monastersky, R. Robot submarino explora la vida debajo del hielo del Ártico [en línea]. Scientific American. Diciembre 2014. [consulta: 1 febrero 2022]. Disponible a: <https://www.scientificamerican.com/espanol/noticias/robot-submarino-explora-la-vida-debajo-del-hielo-del-artico-video/>
- [47]Motor DC 12VDC 2,8A 3500rpm 21W [en línea]. Transmotec. 2022. [consulta: 6 mayo 2022]. Disponible a: https://www.transmotec.es/product/770-4087-cc/?vat=true&gclid=EAlaIqobChMlwZOR3L_L9wIVqpBoCR3iOQj6EAQYAiABEgI6ffD_BwE
- [48]Muñoz Agustín, J et al. Presupuesto y desarrollo de los procedimientos de ejecución para las plataformas marinas asociadas al complejo AKAL “C” [en línea]. Tesis. Instituto Politécnico Nacional, escuela superior de ingeniería y arquitectura, 2015. [consulta: 5 febrero 2022]. Disponible a: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/15293/1/TESIS%20ESIA.pdf>

- [49]Nauhcmik2. FPSO (Floating Production, Storage and Offloading Unit). [en línea]. Youtube. 2014. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a: https://www.youtube.com/watch?v=bpgh4XpQ9eQ&ab_channel=nauhcmik2
- [50]NauticExpo. Sensor de profundidad: imagen [en línea]. NauticExpo. [consulta: 21 enero 2022]. Disponible a: <https://www.nauticexpo.es/fabricante-barco/sensor-profundidad-19343.html>
- [51]NauticExpo. Velocimetro Doppler: imagen [en línea]. NauticExpo. [consulta: 21 enero 2022]. Disponible a: <https://www.nauticexpo.es/fabricante-barco/velocimetro-doppler-19978.html>
- [52]Navantia. Floating Production Storage and Offloading [en línea]. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a: <https://www.navantia.es/es/productos-y-servicios/otros-productos/buques-civiles/fpso/>
- [53]NRGY Broker. ¿Qué es un FPSO? [en línea]. 2017. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a: <https://nrgibroker.com/que-es-un-fpso/>
- [54]O1D300 [en línea]. Electronic gmbh. Marzo del 2012. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: file:///C:/Users/MSI/Downloads/O1D300-04_ES-MX.pdf
- [55]Oceansnell. Muestreo y prospección del medio marino [en línea]. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a: <https://oceansnell.com/muestreo-prospeccion-medio-marino>
- [56]Official Furby Wiki. Wolf Furby: imagen [en línea]. Official Furby fandom. Mayo 2020. [consulta: 24 enero 2022]. Disponible a: https://official-furby.fandom.com/wiki/Wolf_Furby
- [57]Olivera, J. A. Buques de perforación, el Discoverer Enterprise [en línea]. Va de barcos. 2015. [consulta: 7 febrero 2022]. Disponible a: <https://vadebarcos.net/2015/01/10/buques-perforacion-discoverer-enterprise-drillship/>
- [58]Olivera, J. A. El FPSO Terra Nova, uno de los mayores buques de producción, almacenamiento y descarga de petróleo del mundo [en línea]. Enero del 2022. [consulta: 5 febrero 2022]. Disponible a: <https://vadebarcos.net/2022/01/07/el-fpso-terra-nova-uno-de-los-mayores-buques-de-produccion-almacenamiento-y-descarga-de-petroleo-del-mundo/>
- [59]Openrob Estaña. OpenRob, el robot submarino con código abierto [en línea]. Hacedores. octubre 2015. [consulta: 14 abril 2022]. Disponible a: <https://hacedores.com/openrov-el-robot-submarino-de-codigo-abierto/>
- [60]Ortega, D. Historia de la Robótica. Prezi. Septiembre 2021. [consulta: 10 marzo 2022]. Disponible a: <https://prezi.com/p/ehzx3gy6fkqp/historia-de-la-robotica/>
- [61]Pascual Estapé, J. A. Eelume, la serpiente marina robótica que vigila los mares [en línea]. Computes Hoy. Febrero 2022. [consulta: 25 febrero 2022]. Disponible a: <https://computerhoy.com/noticias/tecnologia/eelume-serpiente-marina-robotica-vigila-mares-1009593>
- [62]Pepper + Fuch, S. A. Petroleros, buques FPSO y metaneros [en línea]. [consulta: 14 abril 2022]. Disponible a: <https://www.pepperl-fuchs.com/spain/es/9586.htm>
- [63]Perez Oliva, P. Los drones submarinos de Dimitri Rebikoff: orígenes del mundo ROV [en línea]. SubaQuatica magazine. Febrero 2021. [consulta: 10 marzo 2022]. Disponible a: <https://www.subaquaticamagazine.es/los-drones-submarinos-de-dimitri-rebikoff-origenes-del-mundo-rov/>

- [64]Perez, P. Tuna rob: fotografía. Abril 2020. Elciudadano. [consulta: 15 enero 2022]. Disponible: <https://www.elciudadano.com/ciencia-tecnologia/crean-un-robot-atun-capaz-de-nadar-mas-rapido-que-los-peces-reales/09/21/>
- [65]Póliza AXA para equipos electrónicos. Condiciones generales. AXA Seguros Generales S.A. de Seguros y Reaseguros. Junio 2009.
- [66]Pregunta a Toyota: Hidrógeno. Toyota. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.toyota.es/hidrogeno/cuanto-dura-pila-coche-hidrogeno>
- [67]Quintero, L.F. Repsol encuentra petróleo a 9000m de profundidad. Libre mercado. Octubre 2014. [consulta: 4 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.libremercado.com/2014-10-27/repsol-encuentra-petroleo-a-9000-metros-de-profundidad-1276531819/>
- [68]RAE. Significado de Robot [en línea]. Madrid: Felipe IV, 4. [consulta: 15 marzo 2022]. Disponible a: <https://dle.rae.es/robot>
- [69]Rao Karukola, D. First FPSO, Castellon 1977, imagen [en línea]. ResearchGate. 2019. [consulta: 7 febrero 2022]. Disponible a: https://www.researchgate.net/figure/First-FPSO-Castellon-1977-Credits-Shell_fig6_331382546
- [70]Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre [en línea]. BOE. Diciembre del 2017. [consulta: 6 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.boe.es/boe/dias/2017/12/29/pdfs/BOE-A-2017-15721.pdf>
- [71]Roadtrip-ne. Unidad IMU. Reddit. Imagen: abril del 2019. [consulta: 21 enero 2022]. Disponible a: https://www.reddit.com/r/Spaceexploration/comments/cfs798/apollo_capsule_inertial_measurement_unit_part_of/
- [72]Robertson, S et al. Strong Growth Forecast in Floating Production Sector [en línea].Royal Belgian Institute of Marine Engineers. 2008. [consulta: 7 febrero 2022]. Disponible a: https://www.gallois.be/ggmagazine_2004/gg_05_09_2004_219.pdf
- [73]S. Ventajas de las baterías LiFePO₄. Energybatt. Junio del 2021. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://energybatt.es/blog/ventajas-de-las-baterias-lifepo4>
- [74]Saab. Sabertooth [en línea]. Saabseaeze. [consulta: 24 enero 2022]. Disponible a: <https://www.saabseaeze.com/solutions/underwater-vehicles/sabertooth-single-hull>
- [75]Sanz Romero, M. Si vas a volar un dron, estas son las nuevas leyes de 2020 que te afectan [en línea]. Computer Hoy. Enero del 2020. [consulta: 6 mayo 2022]. Disponible a: <https://computerhoy.com/noticias/tecnologia/volar-dron-nuevas-leyes-2020-559255>
- [76]SBM offshore. FPSO fundamentals [en línea]. You tube. 2014. [consulta: 5 febrero 2022]. Disponible a: https://www.youtube.com/watch?v=70XwYmmZFWs&ab_channel=SBMOffshore
- [77]Sector marítimo. Los diez robots submarinos que más profundidad alcanzan en la actualidad [en línea]. Revista Ingeniería Naval. Octubre 2012. [consulta: 25 febrero 2022]. Disponible a: <https://sectormaritimo.es/los-diez-robots-submarinos-que-mas-profundidad-alcanzan-en-la-actualidad>
- [78]Serrano, J. M. at al. Unidad FPSO North Sea [en línea]. Trabajo final de grado, Universidad Politécnica de Madrid, 2005. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a: http://oa.upm.es/1331/1/PFC_M_OTHEGUY_J_M_SERRANO.pdf
- [79]Smithsonian Institution. Scarlet Knight: fotografía. Diciembre 2010. Smithsonian. [consulta: 15 enero 2022]. Disponible

- <https://www.si.edu/newsdesk/releases/smithsonian-exhibits-scarlet-knight-first-robotic-ocean-glider>
- [80] Sonda superficie RTD [en línea]. Raptor Supplies. 2022. [consulta: 6 mayo 2022]. Disponible a: https://www.raptorsupplies.es/pd/love/rtd-686?acc_typ=rp_spain&campaign_id=11994728280&campaign_network=g&device=c&keyword=&matchtype=&utm_source=google&utm_medium=cpc&gclid=EA1aIQobChMllo211KPL9wIVgarVCh0hZggoEAQYAIAABEgJIXPD_BwE
- [81] SRC. Tipos de sensores de temperatura y sus diferencias [en línea]. SRC SL. País vasco: av del cantábrico, 11. [consulta: 21 enero 2022]. Disponible a: <https://srcsl.com/tipos-sensores-temperatura/>
- [82] Sreenivas Marine. *FPSO Floating, Production, Storage and Offloading Uni*. [en línea]. Youtube. 2015. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a: https://www.youtube.com/watch?v=CjX69w6Q4AM&ab_channel=SreenivasMarine
- [83] STS. Prospección de petróleo debajo del lecho marino [en línea]. 2020. [consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible a: <https://www.stssensors.com/es/blog/2020/07/01/oil-prospecting-below-the-seabed/>
- [84] Tempra batería de Litio de alta gama [en línea]. NDS. 2022. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://www.ndsenergy.es/prodotto/3lion-la-batteria-litio-copia/>
- [85] The Action Lab. I made a real Magnetohydrodynamic Drive [en línea]. Youtube. Diciembre 2020. [consulta: 8 enero 2022]. Disponible a: https://www.youtube.com/watch?v=bPSowtQ9rjI&ab_channel=TheActionLab
- [86] The Eelume. Eelume Project [en línea]. Eelume. [consulta: 1 febrero 2022]. Disponible a: <https://eelume.com/>
- [87] Torralba Cavilán, J. Descripción de los sistemas en las embarcaciones de recreo. Barcelona: Universidad politécnica de Barcelona. Facultad de Náutica. [consulta: 20 enero 2022]. Disponible a: [Atenea, asignatura de inspecciones de embarcaciones de recreo. Año escolar 2021-2022.](#)
- [88] Unitree. Go1 robot cuadrúpedo [en línea]. Rossccomponents. [consulta: 1 febrero 2022]. Disponible a: https://www.roscomponents.com/es/robots-moviles/299-go-1-robot-cuadrupedo.html#/unitree_version-go_1_edu
- [89] University of British Columbia. Sistema de posicionamiento acústico: imagen [en línea]. LinkQuest. [consulta: 21 enero 2022]. Disponible a: https://www.linkquest.com/html/lbl_applications.htm
- [90] Valdés Ruiz, D. Estado del Arte en robótica submarina [en línea]. Trabajo final de master. Universidad Politécnica de Valencia, 2010. [consulta: 25 marzo 2022]. Disponible a: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59038/TFM%20-%20Vald%20E9s%20Ruiz,%20D..pdf?sequence=1>
- [91] Ventajas del Litio Ferroso (LiFePO₄) frente al Litio-ion tradicional [en línea]. Next City Labs. Julio del 2021. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible a: <https://nextcitylabs.com/global/es/ventajas-del-litio-ferroso-lifepo4-frente-al-litio-ion-tradicional/>
- [92] Vista al mar. Enjambres de robots explorarán los canales de Venecia [en línea]. Vistaalmar. Octubre 2017. [consulta: 28 enero 2022]. Disponible a: <https://www.vistaalmar.es/ciencia-tecnologia/71-ingenieria-innovacion/5250-enjambres-de-robots-exploraran-los-canales-de-venecia.html>

- [93] Woods hole oceanographic institucion, REMUS 6000: Deep ocean, large área search/survey. [en línea]. Oceanographic System Lab [consulta: 14 abril 2022]. Disponible a: <https://www2.whoi.edu/site/osl/vehicles/remus-6000/>
- [94]Xinhua español. Robot submarino de China establece récord nacional de profundidad. Xinhuanet. Octubre 2018. [consulta: 15 enero 2022]. Disponible a: http://spanish.xinhuanet.com/photo/2018-10/30/c_137568919.htm#

Anexo A Póliza AXA

Empresas

Condiciones Generales / Equipos Electrónicos



Lo que necesita conocer



Indice

Condiciones Generales para Equipos Electrónicos

	Página
Artículo Preliminar: Definiciones	3
Legislación aplicable	3
Riesgos cubiertos	4
Riesgos opcionales	4
Riesgos excluidos	4
Sumas aseguradas	6
Bases del contrato	6
Declaraciones sobre el riesgo	6
Agravación del riesgo	6
Disminución del riesgo	7
Transmisión de los bienes asegurados	7
Obligaciones del Asegurado	7
Perfección, efecto del contrato y duración del seguro	8
Pago de la prima	8
Tramitación de siniestros	8
Tasación de los daños	10
Determinación de la indemnización	10
Franquicia	11
Pago de la indemnización	11
Resolución del contrato	11
Subrogación	12
Extinción y nulidad del contrato	12
Prescripción	12
Arbitraje	12
Solución de conflictos entre las partes. Instancias de reclamación	13
Comunicaciones	13
Cláusula de protección de datos	13
Cláusula de Coberturas de riesgos extraordinarios acaecidos en España	13

Condiciones Generales

Artículo preliminar: Definiciones

En este contrato se entiende por:

Asegurador

AXA SEGUROS GENERALES, S.A. de Seguros y Reaseguros, con domicilio social en calle Monseñor Palmer 1, 07014 Palma de Mallorca, inscrita en el Registro Mercantil de Palma de Mallorca Tomo 2325, Folio 63, Hoja nº PM-61041. CIF A-60917978, **sometida al control de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, organismo dependiente del Ministerio de Economía y Hacienda del Estado Español.**

Tomador del Seguro

La persona, física o jurídica que conjuntamente con el Asegurador, suscribe esta póliza, y al que corresponden las obligaciones que de la misma se deriven, salvo las que por su naturaleza deban ser cumplidas por el Asegurado.

Asegurado

La persona, física o jurídica titular del interés objeto del seguro y que en defecto del Tomador asume las obligaciones derivadas del contrato.

Beneficiario

La persona, física o jurídica que, previa cesión por el Asegurado, resulta titular del derecho a la indemnización.

Póliza

El documento que contiene las Condiciones reguladoras del seguro. Forman parte integrante de la póliza: las Condiciones Generales, las Particulares que individualizan el riesgo, las Especiales, si procedieren, y los Suplementos o Apéndices que se emitan a la misma para complementarla o modificarla.

Prima

El precio del seguro, incluidos los recargos, tasas e impuestos legalmente repercutibles al Tomador del Seguro.

Suma Asegurada

La cantidad fijada en cada una de las partidas de la póliza, que constituye el límite máximo de la indemnización a pagar por todos los conceptos por el Asegurador en caso de siniestro.

Daño Material

El deterioro o destrucción de los bienes asegurados descritos en las Condiciones Particulares de la Póliza.

Franquicia

La cantidad expresamente pactada que se deducirá de la indemnización que corresponda satisfacer por el Asegurador en cada siniestro.

Bienes Asegurados

Los diferentes equipos, máquinas e instalaciones técnicas, designados en las Condiciones Particulares, una vez concluidas la instalación y las pruebas iniciales y se encuentren en perfecto estado de funcionamiento.

Siniestro

Todo hecho accidental, súbito e imprevisible, ajeno a la voluntad del Asegurado, cuyas consecuencias puedan estar cubiertas por alguna de las garantías del contrato. Constituye un sólo y único siniestro el conjunto de daños derivados de un mismo evento.

Contrato integral de mantenimiento

La prestación regular de trabajos de control, reparación de defectos de material, de diseño y de fabricación, así como la eliminación de fallos por desgaste, deterioro y envejecimiento.

Legislación Aplicable

El presente contrato se encuentra sometido a:

- **Ley 50/1980**, de 8 de octubre, de Contrato de Seguro;
- **Real Decreto 2486/1998**, de 20 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados;
- **Ley Orgánica 5/1999**, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal;
- **Real Decreto Legislativo 6/2004**, de 29 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados;
- **Real Decreto Legislativo 7/2004**, de 29 de octubre, que aprueba el texto refundido del Estatuto Legal del Consorcio de Compensación de Seguros de Seguros.
- **Ley 26/2006**, de 17 julio de Mediación en Seguros y Reaseguros Privados;

Y cualquier otra norma que durante la vigencia de esta póliza pueda ser aplicable.

El Asegurador queda sometido al control de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, organismo dependiente del Ministerio de Economía de España.

Riesgos Cubiertos

Artículo 1º.

Dentro de los límites establecidos en la póliza, el Asegurador asume la cobertura de los riesgos que más adelante se indican.

La responsabilidad del Asegurador no podrá exceder en ningún caso de las respectivas sumas aseguradas determinadas independientemente en el Condicionado Particular.

El Asegurador indemnizará los daños materiales sufridos por los bienes asegurados, descritos en las Condiciones Particulares, como consecuencia directa de una causa accidental, súbita e imprevista, no clasificada como riesgo excluido.

Por consiguiente el Asegurador indemnizará los daños debidos a:

1. Impericia, negligencia y actos malintencionados del personal del Asegurado o de extraños.
2. La acción directa de la energía eléctrica como resultado de cortocircuitos, arcos voltaicos, sobretensiones, falta de aislamiento y otros efectos similares, así como la debida a perturbaciones eléctricas consecuentes a la caída del rayo.
3. Errores de diseño, fabricación o montaje, defectos de fundición, de material, de construcción, de mano de obra y empleo de materiales defectuosos, cuando hayan expirado las correspondientes garantías.
4. Robo, atraco y secuelas materiales de estos actos.
5. Incendio, humo, hollín, gases corrosivos, chamuscamiento, caída del rayo, explosión, así como los producidos con motivo de la extinción de incendios, derribos, evacuaciones o traslados, como consecuencia de dichos hechos.
6. Caídas, impacto, colisión, así como obstrucción y entrada de cuerpos extraños.
7. Defectos de engrase, aflojamiento de piezas, esfuerzos anormales y autocalentamiento.
8. Fallo en los dispositivos de regulación.
9. Acción del agua y humedad.
10. Cualquier otra causa no excluida expresamente en esta póliza, siempre que reúna las condiciones previstas en el 3º párrafo de este Artículo.

El Seguro cubre los bienes asegurados desde el momento en que finalizada la instalación y/o montaje y realizadas las pruebas, estén preparados para comenzar la explotación normal, permaneciendo cubiertos tanto en funcionamiento o parados, como durante su desmontaje y montaje subsiguiente con objeto de proceder a su limpieza, revisión o mantenimiento.

Riesgos Opcionales

Artículo 2º.

Sólo mediante expresa declaración que debe constar en póliza, pueden garantizarse los siguientes riesgos y gastos, como complementarios de los riesgos indicados en el Artículo 1º, y siempre como consecuencia de un siniestro indemnizable por este contrato, siéndoles de aplicación las Condiciones Generales, Especiales y Particulares de la póliza:

1. Equipos móviles y portátiles.
2. Portadores externos de datos y gastos de reproducción de la información.
3. Gastos adicionales por el uso de una instalación ajena en caso de siniestro.
4. Gastos adicionales por horas extraordinarias o por trabajos nocturnos o en días festivos y por transportes urgentes.

Riesgos Excluidos

Artículo 3º.

1. Los daños producidos cuando el siniestro se origine por dolo o culpa grave del Asegurado o Tomador del Seguro.
2. La destrucción o deterioro de los bienes asegurados fuera del lugar descrito en la póliza, a menos que su traslado o cambio hubiera sido previamente comunicado por escrito al Asegurador y éste no hubiese manifestado en el plazo de quince días su disconformidad.
3. Los siniestros producidos con motivo o a consecuencia de:
 - 3.1. Conflictos armados, nacionales o internacionales, haya o no mediado declaración oficial, pronunciamientos, fuerzas o medidas militares, actos realizados por tropas españolas o extranjeras, motín o tumulto popular, asonada, sedición, rebelión, revolución, terrorismo, alborotos, algaradas, cierre patronal, huelga, catástrofe o calamidad nacional, así como los ocasionados por orden de un gobierno de hecho o de derecho o por cualquier Autoridad, excepto cuando se produzcan para limitar o extinguir un daño cubierto por este contrato.
 - 3.2. Efectos mecánicos, térmicos y radiactivos debidos a reacciones o transmutaciones nucleares cualquiera que sea la causa que las produzca.

- Los gastos de descontaminación, búsqueda y recuperación de los isótopos radiactivos, de cualquier naturaleza y aplicación, a consecuencia de un siniestro amparado por el contrato.
- 3.3. Los riesgos extraordinarios amparados por el Consorcio de Compensación de Seguros, cuya cobertura, resumen de normas y procedimiento de actuación en caso de siniestro, figuran como anexo en las presentes Condiciones Generales.
 - 3.4. Los riesgos extraordinarios amparados en España por el Consorcio de Compensación de Seguros, cuya cobertura, resumen de normas y procedimiento de actuación en caso de siniestro, figuran como anexo en las presentes Condiciones Generales, cuando los bienes asegurados se encuentren fuera de España, así como los daños consecuenciales derivados de dichos riesgos.
4. Los daños causados por:
 - 4.1. Defectos o vicios ya existentes que fueran conocidos por el Asegurado al contratar el seguro.
 - 4.2. Desgaste o deterioro paulatino como consecuencia del uso o funcionamiento normal, erosión, corrosión, oxidación, cavitación, herrumbre o incrustaciones.
 - 4.3. Uso o mantenimiento no conforme con las normas técnicas de los constructores y fabricantes de los materiales y/o equipos.
 - 4.4. Experimentos, ensayos o pruebas en cuyo transcurso sean sometidos los bienes asegurados, intencionadamente, a un esfuerzo superior al normal.
 - 4.5. Mantenimiento en servicio de un objeto asegurado después de un siniestro, antes de que haya terminado la reparación definitiva a satisfacción del Asegurador.
 5. Los daños y pérdidas de los que sea responsable legal o contractualmente el fabricante o proveedor de los bienes asegurados, o la empresa encargada del mantenimiento.
 6. Los perjuicios y pérdidas indirectas de cualquier clase que se produzcan con ocasión del siniestro, como falta de alquiler o uso, suspensión o paralización del trabajo, incumplimiento o rescisión de contratos, multas contractuales y, en general, cualquier perjuicio o pérdida de beneficios resultantes y responsabilidad civil de cualquier naturaleza.
 7. Los daños y pérdidas causados, exclusivamente, a partes y elementos desgastables, tales como válvulas, tubos, bandas, fusibles, sellos, cintas, alambres, cadenas, neumáticos, herramientas cambiables, rodillos grabados, objetos de vidrio y porcelana, así como a lubricantes, refrigerantes y agentes químicos.
Los tubos, válvulas y lámparas del propio equipo se cubren únicamente contra daños por:
 - Incendio, caída del rayo, explosión o implosión, así como los derivados de extinción, derribo o evacuación.
 - Agua y humedad.
 8. Los defectos estéticos, como raspaduras de superficies pintadas, pulidas o barnizadas.
 9. Los gastos realizados con objeto de averiguar o eliminar averías o fallos operacionales, a menos que fueran causados por daños indemnizables.
 10. Los hurtos y desapariciones.
Se entiende por hurto la toma de los bienes designados en la póliza contra la voluntad del Asegurado, sin empleo de fuerza o violencia en las cosas, ni intimidación ni violencia sobre las personas.
 11. Daños, pérdidas o mal funcionamiento cubiertos o que pudieran ser cubiertos por un Contrato Integral de Mantenimiento.
 12. Los daños y gastos a que se refieren los riesgos opcionales que no se hallen incluidos expresamente en las Condiciones Particulares.

Sumas Aseguradas

Artículo 4º.

Las sumas aseguradas, que en todo caso son fijadas por el Tomador del Seguro o Asegurado, serán las establecidas para cada riesgo en las Condiciones Particulares de la Póliza y deberán corresponder:

1. Para los riesgos cubiertos en el **Artículo 1º**, las sumas aseguradas son fijadas por el Tomador del Seguro o Asegurado y deben ser para cada partida, igual al valor de reposición a nuevo, entendiéndose como tal la cantidad que exigiría la adquisición de un objeto nuevo de la misma clase y capacidad, incluyendo los gastos de transporte, de montaje, derechos de aduana, si los hubiese, así como cualquier otro concepto que incida sobre el mismo.
2. Para los riesgos opcionales, las sumas aseguradas se fijarán mediante pacto expreso entre el Asegurado y el Asegurador.

Bases del Contrato

Artículo 5º.

La solicitud y el cuestionario cumplimentados por el Tomador del Seguro, así como la proposición del Asegurador en su caso, en unión de esta póliza, constituyen un todo unitario, fundamento del seguro, que sólo alcanza, dentro de los límites pactados, a los bienes y riesgos especificados en la misma. **Si el contenido de la póliza difiere de la**

proposición de seguro o de las cláusulas acordadas, el Tomador del Seguro podrá reclamar al Asegurador, en el plazo de un mes a contar desde la entrega de la póliza, para que subsane la divergencia existente. Transcurrido dicho plazo sin efectuar la reclamación, se estará a lo dispuesto en la póliza.

Declaraciones sobre el Riesgo

Artículo 6º.

1. La presente póliza ha sido concertada sobre la base de las declaraciones formuladas por el Tomador del Seguro en el cuestionario que le ha sometido el Asegurador que han motivado la aceptación del riesgo por el Asegurador, la asunción por su parte de las obligaciones para él derivadas del contrato y la fijación de la prima.
2. **El Tomador del Seguro o el Asegurado deberán, durante el curso del contrato, comunicar al Asegurador, tan pronto como le sea posible, todas las circunstancias que agraven el riesgo** y sean de tal naturaleza que si hubieran sido conocidas por éste en el momento de la perfección del contrato no lo habría celebrado o lo habría concluido en condiciones más gravosas.
3. El Tomador del Seguro o Asegurado quedarán exonerados de tal deber si el Asegurador no les somete cuestionario o cuando, aún sometiéndoselo, se trate de circunstancias que puedan influir en la valoración del riesgo y que no estén comprendidas en él.
4. **El Tomador del Seguro o el Asegurado quedan obligados a comunicar anticipadamente al Asegurador la existencia de otras pólizas, contratadas con distintos Aseguradores, cubriendo los efectos que un mismo riesgo puede producir sobre el mismo interés y durante idéntico tiempo.**

Agravación del Riesgo

Artículo 7º.

1. **En caso de que durante la vigencia de la póliza le fuese comunicado al Asegurador una agravación del riesgo, éste puede proponer una modificación de las Condiciones del contrato en un plazo de dos meses a contar desde el día en que la agravación le haya sido declarada.** En tal caso, el Tomador del Seguro dispone de quince días, a contar desde la recepción de esta proposición, para aceptarla o rechazarla. En caso de rechazo, o de silencio, el Asegurador puede, transcurrido dicho plazo, rescindir el contrato previa advertencia al Tomador del Seguro, dándole para que conteste, un nuevo plazo de quince días, transcurridos los cuales y dentro de los ocho siguientes, comunicará al Tomador del Seguro la rescisión definitiva.
2. **El Asegurador podrá, igualmente, rescindir el contrato comunicándolo por escrito al Asegurado dentro de un mes, a partir del día en que tuvo conocimiento de la agravación del riesgo.**
3. **Si sobreviniera un siniestro sin haberse realizado declaración de agravación del riesgo, el Asegurador queda liberado de su prestación, si el Tomador o el Asegurado ha actuado con mala fe. En otro caso, la prestación del Asegurador se reducirá proporcionalmente a la diferencia entre la prima convenida y la que se hubiera aplicado de haberse conocido la verdadera entidad del riesgo.**
4. En el caso de agravación del riesgo durante el tiempo del seguro que dé lugar a un aumento de prima, cuando por esta causa queda rescindido el contrato, si la agravación es imputable al Asegurado, el Asegurador hará suya en su totalidad la prima cobrada. Siempre que dicha agravación se hubiera producido por causas ajenas a la voluntad del Asegurado, éste tendrá derecho a ser reembolsado de la parte de la prima satisfecha correspondiente al período que falte por transcurrir de la anualidad en curso.
5. El Asegurador podrá rescindir el contrato mediante declaración dirigida al Tomador del Seguro, en el plazo de un mes a contar del conocimiento de la reserva o inexactitud del Tomador del Seguro. Desde el momento mismo en que el Asegurador haga esta declaración, quedarán de su propiedad las primas correspondientes al período en curso, salvo que concorra dolo o culpa grave por su parte.
6. Si el siniestro sobreviniere antes de que el Asegurador hubiere hecho la declaración a que se refiere el número anterior, la prestación de éste se reducirá en la misma proporción existente entre la prima convenida en la póliza y la que corresponda de acuerdo con la verdadera entidad del riesgo. Cuando la reserva o inexactitud se hubiere producido mediante dolo o culpa grave del Tomador del Seguro, el Asegurador quedará liberado del pago de la prestación.

Disminución del Riesgo

Artículo 8º.

1. El Tomador del Seguro o el Asegurado podrán, durante el curso del contrato, poner en conocimiento del Asegurador todas las circunstancias que disminuyan el riesgo y sean de tal naturaleza que si hubieran sido conocidas por éste en el momento de la perfección del contrato, lo habría concluido en condiciones más favorables para el Tomador del Seguro.
2. En tal caso, al finalizar el período en curso cubierto por la prima, el Asegurador deberá reducir el importe de la prima futura en la proporción correspondiente, teniendo derecho el Tomador del Seguro, en caso contrario, a la

resolución del contrato y a la devolución de la diferencia entre la prima satisfecha y la que le hubiera correspondido pagar desde el momento de la puesta en conocimiento de la disminución del riesgo.

Transmisión de los Bienes Asegurados

Artículo 9º.

1. En caso de transmisión del objeto asegurado, el adquirente se subroga, en el momento de la enajenación, en los derechos y obligaciones que correspondían en la póliza al anterior titular.
2. El Asegurado está obligado a comunicar por escrito al adquirente la existencia de la póliza sobre la cosa transmitida. Una vez verificada la transmisión, también deberá comunicarla por escrito al Asegurador o a sus representantes en el plazo de quince días.
3. Serán solidariamente responsables del pago de las primas vencidas en el momento de la transmisión el adquirente y el anterior titular o, en caso de que éste hubiera fallecido, sus herederos.
4. **El Asegurador podrá rescindir el contrato dentro de los quince días siguientes a aquel en que tenga conocimiento de la transmisión verificada.** Ejercitado su derecho y notificado por escrito al adquirente, el Asegurador queda obligado durante el plazo de un mes, a partir de la notificación. El Asegurador deberá restituir la parte de prima que corresponda al período de seguro por el que, como consecuencia de la rescisión, no haya soportado el riesgo.
5. El adquirente de la cosa asegurada también puede rescindir el contrato si lo comunica por escrito al Asegurador en el plazo de quince días contados desde que conoció su existencia. En este caso, el Asegurador adquiere el derecho a la prima correspondiente al período que hubiera comenzado a correr cuando se produce la rescisión.
6. Estas mismas normas regirán para los casos de muerte, suspensión de pagos, quita y espera, quiebra o concurso del Tomador del Seguro o del Asegurado.

Obligaciones del Asegurado

Artículo 10º.

El Asegurado está obligado a cumplir las normas de seguridad y prevención de accidentes que establecen los Reglamentos y demás Disposiciones vigentes.

El Asegurado deberá adoptar los medios a su alcance para evitar la ocurrencia del siniestro.

Si se pacta en Condiciones Particulares, el Asegurado facilitará al Asegurador en todo momento, el libre acceso a los bienes asegurados, a fin de poder efectuar la inspección de los mismos, así como examinar la documentación relativa a ellos.

Perfección, Efecto del Contrato y Duración del Seguro

Artículo 11º.

1. El contrato se perfecciona por el consentimiento, manifestado por la suscripción de la póliza o del documento provisional de cobertura por las partes contratantes. **La cobertura contratada y sus modificaciones o adiciones no tomarán efecto, mientras no haya sido satisfecho el recibo de prima, salvo pacto en contrario en las Condiciones Particulares.**
 2. Las garantías de la póliza entran en vigor a las **cero horas** de la fecha indicada en las Condiciones Particulares, salvo pacto en contrario.
 3. A la expiración del período indicado en las Condiciones Particulares se entenderá prorrogado el contrato por el plazo de un año, y así sucesivamente a la expiración de cada anualidad.
- Las partes podrán oponerse a la prórroga del contrato mediante una notificación escrita a la otra parte, efectuada con un plazo de dos meses de antelación a la conclusión del período del seguro en curso. La prórroga tácita no es aplicable a los seguros contratados por menos de un año

Pago de la Prima

Artículo 12º.

Fuera del caso de la domiciliación bancaria de los recibos, el pago de la prima deberá efectuarse en el domicilio del Asegurador o en cualquiera de sus oficinas.

El pago de la prima efectuado por el Tomador del Seguro al Corredor de Seguros no se entenderá realizado al Asegurador, salvo que, a cambio, el Corredor entregue al Tomador el recibo de prima emitido por el Asegurador.

Domiciliación bancaria de los recibos

Si se pacta la domiciliación bancaria de los recibos de prima, se aplicarán las siguientes normas:

- a) El Tomador del Seguro entregará al Asegurador carta dirigida al establecimiento bancario, caja de ahorros o entidad de financiación, dando la orden oportuna al efecto.

b) La prima se entenderá satisfecha a su vencimiento salvo que, intentando el cobro dentro del plazo de gracia de un mes a partir de dicha fecha, no existiesen fondos suficientes en la cuenta del obligado al pago. En este caso, el Asegurador notificará al Asegurado que tiene el recibo a su disposición en su domicilio, debiendo el Asegurado satisfacer la prima en dicho domicilio.

Si el Asegurador dejase transcurrir el plazo de un mes a partir del vencimiento sin presentar el recibo al cobro, y al hacerlo no existiesen fondos suficientes en la cuenta, aquel deberá notificar tal hecho al obligado a pagar la prima, por carta certificada, o un medio indubitado, concediéndole un nuevo plazo de un mes para que comunique al Asegurador la forma en que satisfará su importe. Este plazo se computará desde la recepción de la expresada notificación en el último domicilio comunicado al Asegurador.

Tramitación de Siniestros

Artículo 13°.

1. Tan pronto como se inicie el siniestro, el Tomador del Seguro o el Asegurado deberán emplear todos los medios que estén a su alcance para salvar, conservar los objetos asegurados y aminorar las consecuencias del mismo.

Se confiere al Asegurador el derecho de acceso a las propiedades en que haya ocurrido el siniestro, con el fin de adoptar cuantas medidas sean razonables para aminorar las consecuencias del mismo.

2. Asimismo, el Tomador del Seguro, el Asegurado o el Beneficiario deberán comunicar al Asegurador el acaecimiento del siniestro dentro del plazo máximo de siete días, contados a partir de la fecha en que fue conocido, pudiendo reclamar el Asegurador los daños y perjuicios causados por la falta de esta declaración, salvo que se demuestre que éste tuvo conocimiento del siniestro por otro medio.

3. El Tomador del Seguro o el Asegurado deberán remitir al Asegurador en el plazo de cinco días a partir de la notificación prevista en el número 2 de este Artículo, estado detallado, firmado por el propio Tomador del Seguro o Asegurado, en el que se especificarán todos los bienes asegurados existentes al tiempo del siniestro y los destruidos, deteriorados o salvados con o sin daños, con indicación de su valor.

4. El Tomador del Seguro o el Asegurado deberá, además, dar al Asegurador toda clase de informaciones sobre las circunstancias y consecuencias del siniestro. **En caso de violación de este deber, la pérdida del derecho a la indemnización sólo se producirá en el supuesto de que hubiese concurrido dolo o culpa grave.**

En caso de existir varios Aseguradores, esta comunicación deberá hacerse a cada uno de ellos, con indicación del nombre de los demás.

5. El Tomador del Seguro o el Asegurado deberá dar cuenta a la Autoridad competente, en caso de daños intencionados o robo, de cuya denuncia se dará completa información al Asegurador, con el fin de que éste pueda entablar las acciones que procedan.

6. El Tomador del Seguro o Asegurado deberá vigilar y conservar los objetos y partes dañados, y tenerlos a disposición del Asegurador, hasta terminada la liquidación de los daños, salvo caso de imposibilidad material justificada. Tal obligación no puede, en ningún caso, dar lugar a indemnización especial.

Artículo 14°.

1. **El incumplimiento del deber de salvamento establecido en el número 1 del Artículo 13°, dará derecho al Asegurador a reducir su prestación en la proporción oportuna, teniendo en cuenta la importancia de los daños derivados del mismo y el grado de culpa del Asegurado. Si este incumplimiento se produjera con la manifiesta intención de perjudicar o engañar al Asegurador, éste queda liberado de toda prestación derivada del siniestro.**

2. Los gastos que se originen por el cumplimiento de esta obligación, siempre que no sean inoportunos o desproporcionados a los bienes salvados, serán de cuenta del Asegurador hasta el límite fijado en las Condiciones Particulares del contrato, incluso si tales gastos no han tenido resultados efectivos o positivos.

3. En defecto de pacto se indemnizarán los gastos efectivamente originados, cuyo montante, no podrá exceder en su conjunto de la suma asegurada. El Asegurador que en virtud del contrato sólo deba indemnizar una parte del daño causado por el siniestro, deberá indemnizar la parte proporcional de los gastos de salvamento, a menos que el Tomador del Seguro o Asegurado hayan actuado siguiendo las instrucciones del Asegurador.

Artículo 15°.

Incumbe al Asegurado la prueba de la preexistencia de los objetos. No obstante, el contenido de la póliza constituirá una presunción a favor del Asegurado cuando razonablemente no puedan aportarse pruebas más eficaces.

Artículo 16°.

Si las partes se pusiesen de acuerdo en cualquier momento sobre el importe y la forma de la indemnización, se estará a lo estipulado en el **Artículo 26°.**

Artículo 17°.

1. Si no se lograra el acuerdo mencionado en el **Artículo 16°** dentro del plazo de 40 días a partir de la recepción de la declaración de siniestro, cada parte designará un Perito, debiendo constar por escrito la aceptación de éstos.

2. Una vez designados los peritos y aceptado el cargo, el cual será irrenunciable, darán seguidamente principio a sus trabajos.
3. En caso de que los peritos lleguen a un acuerdo, se reflejará en un acta conjunta, en la que se harán constar las causas del siniestro, la valoración de los daños, las demás circunstancias que influyan en la determinación de la indemnización y la propuesta del importe líquido de la indemnización.

Artículo 18°.

Si una de las partes no hubiera hecho la designación, estará obligada a realizarla en los ocho días siguientes a la fecha en que sea requerida por la que hubiere designado el suyo y, de no hacerlo en este último plazo, se entenderá que acepta el dictamen que emita el perito de la otra parte, quedando vinculado por el mismo.

Artículo 19°.

Cuando no haya acuerdo entre los peritos, ambas partes designarán un tercer perito de conformidad, y de no existir ésta, la designación se hará por el Juez de Primera Instancia del lugar en que se hallaren los bienes. En este caso, el dictamen pericial se emitirá en el plazo señalado por las partes o, en su defecto, en el de treinta días a partir de la aceptación de su nombramiento por el perito tercero.

Artículo 20°.

El dictamen de los peritos, por unanimidad o por mayoría, se notificará a las partes de manera inmediata y de forma indubitada, siendo vinculante para éstos, salvo que se impugne judicialmente por alguna de las partes, dentro del plazo de treinta días en el caso del Asegurador y ciento ochenta en el del Asegurado, computados ambos desde la fecha de su notificación. Si no se interpusiese en dichos plazos la correspondiente acción, el dictamen pericial vendrá inatacable.

Artículo 21°.

Cada parte satisfará los honorarios de su perito. Los del perito tercero y demás gastos que ocasione la tasación pericial, serán por cuenta y mitad entre el Asegurado y Asegurador. No obstante, si cualquiera de las partes hubiera hecho necesaria la peritación por haber mantenido una valoración del daño manifiestamente desproporcionada, será ella la única responsable de dichos gastos.

Tasación de los Daños**Artículo 22°.**

La tasación de los daños a los bienes asegurados se efectuará siempre con sujeción a las normas siguientes:

1. PÉRDIDA PARCIAL:

Si los daños en los equipos asegurados pueden ser reparados, el cálculo de la indemnización se efectuará teniendo en cuenta todos los gastos necesarios para dejar los equipos deteriorados o dañados en condiciones de funcionamiento similares a las que tenían inmediatamente antes de ocurrir el siniestro, deduciendo el valor de los restos. Asimismo, se tendrá en cuenta los gastos de desmontaje y montaje motivados por la reparación, así como los transportes ordinarios y derechos de aduana, si los hay.

Los costos de cualquier reparación provisional irán a cargo del Asegurado, a menos que constituyan, a la vez, parte de los gastos de la reparación definitiva.

Si las reparaciones son efectuadas en un taller propio del Asegurado, el cálculo de la indemnización se efectuará teniendo en cuenta el costo de la mano de obra y materiales empleados más el porcentaje sobre los salarios, para cubrir los gastos de administración justificables.

No se harán deducciones en concepto de depreciación respecto a las partes repuestas, a excepción de los elementos señalados en el apartado 7. del Artículo 3°, caso de haberse pactado su cobertura en Condiciones Particulares.

Si a consecuencia de la reparación se produjera un aumento del valor por mejora de sistemas o incremento de producción en relación con el que tenía el equipo antes del siniestro, se descontará dicho aumento de los gastos de reparación.

Son de cuenta del Asegurado, en todo caso, los gastos complementarios que se produzcan por haberse aprovechado la reparación para introducir modificaciones, mejoras o para repasar o hacer otras reparaciones o arreglos en los equipos.

1. PÉRDIDA TOTAL:

En caso de destrucción total del objeto asegurado, la indemnización se calculará tomando como base el valor que, según su uso y estado de conservación, tuviese en el momento antes del siniestro (incluido: los gastos de transporte, aduana y montaje), y deduciendo el valor de los restos.

Se considera un equipo u objeto totalmente destruido cuando los gastos de reparación, (incluidos gastos de transporte, aduana y montaje), alcancen o sobrepasen el valor del mismo, según su uso y estado de conservación en el momento del siniestro.

Determinación de la Indemnización

Artículo 23°.

1. La suma asegurada representa el límite máximo de la indemnización a pagar por el Asegurador en cada siniestro. En ningún caso, el Asegurador puede venir obligado a pagar más de la suma asegurada por cada partida, una vez deducidas las franquicias que se establecen en el **Artículo 25°**.
2. **En caso de siniestro, si resulta que la suma asegurada es inferior al valor que según el Artículo 4°, debería haber sido asegurado, la indemnización debida al Asegurado, será reducida en la misma proporción que exista entre ambos valores. Esta regla será de aplicación para cada máquina u objeto asegurado por separado.**
Las partes, de común acuerdo, podrán excluir en la póliza o con posterioridad a la celebración del contrato, la aplicación de la regla proporcional prevista en el párrafo anterior.
3. Si la suma asegurada supera notablemente el valor del interés asegurado, cualquiera de las partes del contrato podrá exigir la reducción de la suma y de la prima, debiendo restituir el Asegurador el exceso de las primas percibidas. Si se produjera el siniestro, el Asegurador indemnizará el daño efectivamente causado.
4. Cuando el sobreeseguro previsto en el número anterior se debiera a mala fe del Asegurado, el contrato será ineficaz. El Asegurador de buena fe podrá, no obstante, retener las primas vencidas y las del período en curso.
5. En cualquier caso será de aplicación, si procede, lo estipulado en el **número 3. del Artículo 7°**.

Artículo 24°.

Si existen varios seguros sobre los mismos objetos y riesgos declarados, de conformidad con lo estipulado en el número 4. del Artículo 6°, el Asegurador contribuirá a la indemnización y a los gastos de tasación a prorrata de la suma que asegure. Si por dolo se hubiera omitido esta declaración, el Asegurador no está obligado al pago de la indemnización.

Franquicia

Artículo 25°.

1. **En todo siniestro, cualquiera que sea su causa, quedarán a cargo del Asegurado en concepto de franquicia, las cantidades y/o porcentajes detallados en las Condiciones Particulares del contrato, que no podrán ser nunca objeto de seguro.**
2. Si a consecuencia de un mismo siniestro resultase destruido o dañado más de un objeto, la franquicia se deducirá una sola vez. De existir franquicias desiguales en su importe, se restará la más elevada.
El Asegurador sólo indemnizará aquellos daños que excedan de dicha franquicia, una vez deducido el importe de ésta.

Pago de la Indemnización

Artículo 26°.

1. El pago de la indemnización se sujetará a lo siguiente:
 - Si la fijación de los daños se hizo por arreglo amistoso, el Asegurador deberá pagar la suma convenida en el plazo máximo de cinco días a contar de la fecha en que ambas partes firmaron el acuerdo o realizar las operaciones necesarias para reemplazar el objeto asegurado si su naturaleza así lo permitiera. Todo ello sin perjuicio de la obligación del Asegurador de satisfacer el importe mínimo a que esté obligado en el plazo de cuarenta días desde que fue declarado el siniestro.
 - Si la tasación de los daños se hizo por acuerdo de peritos, el Asegurador abonará el importe señalado por aquéllos en un plazo de cinco días a partir del momento en que ambas partes hayan consentido y aceptado el acuerdo pericial, con lo que el mismo devendrá inatacable.
2. Si el dictamen de los peritos fuera impugnado, el Asegurador deberá abonar el importe mínimo de lo que el mismo pueda deber, según las circunstancias por él conocidas.
3. Si en el plazo de tres meses desde la producción del siniestro el Asegurador no hubiere realizado la reparación del daño o indemnizado su importe en metálico por causa no justificada o que le fuere imputable, la indemnización debida se incrementará en el porcentaje que establece la Ley de Contrato de Seguro.
4. La indemnización podrá ser sustituida por la reparación o la reposición del objeto siniestrado, cuando la naturaleza del seguro lo permita y el Asegurado lo consienta.

Artículo 27°.

El Asegurador antes de proceder al pago de la indemnización podrá exigir al Tomador del Seguro o Asegurado certificación acreditativa de la libertad de cargas de los bienes siniestrados.

Artículo 28°.

Si después de fijada la indemnización se obtuviesen rescates, recuperaciones o resarcimientos, el Asegurado está obligado, una vez que tenga conocimiento de ello, a ponerlo a su vez, a la mayor brevedad posible, en el del Asegurador y aceptar la reducción o proceder a la devolución del importe con el que los mismos hubiesen sido comprendidos en la indemnización, deducción hecha de las depreciaciones sufridas como consecuencia del siniestro.

Resolución del Contrato**Artículo 29°.**

1. El Tomador del Seguro o el Asegurador podrán resolver el contrato de seguro, antes de su vencimiento, con posterioridad al acaecimiento de un siniestro, haya dado éste lugar o no a la indemnización.

2. Para que se pueda dar esta resolución anticipada, la parte que decida resolver el contrato de seguro se lo deberá comunicar a la otra por carta certificada, en un plazo máximo de 30 días desde la fecha de comunicación del siniestro, si no hubiera lugar a indemnización, o de efectuada la prestación, si hubiera lugar a ella. Esta comunicación deberá efectuarse con una anticipación mínima de 30 días a la fecha en que la resolución del contrato de seguro haya de surtir efecto.

3. Cualquiera que sea la parte que tome la iniciativa de resolver el contrato, el Asegurador deberá reintegrar al Tomador del Seguro la parte de prima correspondiente al tiempo que medie entre la fecha de efecto de la resolución del contrato y la de expiración del período de seguro cubierto por la prima satisfecha.

4. En el caso de que el Asegurado sea persona distinta del Tomador del Seguro, el Asegurador le comunicará el efecto de la resolución del contrato de seguro con una antelación mínima de 15 días de la fecha de la misma, pudiendo aquel impedir la resolución del contrato cumpliendo los siguientes requisitos:

- Comunicárselo por escrito al Asegurador antes de que la resolución tome efecto.
- Satisfacer el importe de la prorrata de prima indicada en el punto 3. de este Artículo.
- Adquirir la condición de Tomador del Seguro sustituyendo al anterior.

5. La resolución del contrato de seguro, efectuada de acuerdo con lo previsto en este Artículo, no modificará los respectivos derechos y obligaciones de las partes en relación con los siniestros declarados.

Subrogación**Artículo 30°.**

1. Una vez pagada la indemnización y sin que haya necesidad de ninguna otra cesión, traslado, título o mandato, el Asegurador queda subrogado en todos los derechos, recursos y acciones del Asegurado, contra todos los autores o responsables del siniestro, y aún contra otros Aseguradores, si los hubiere, hasta el límite de la indemnización, siendo el Asegurado responsable de los perjuicios que con sus actos u omisiones pueda causar al Asegurador en su derecho a subrogarse. No podrá en cambio el Asegurador ejercitar en perjuicio del Asegurado los derechos en que se haya subrogado.

2. El Asegurador no tendrá derecho a la subrogación contra ninguna de las personas cuyos actos u omisiones den origen a responsabilidad del Asegurado, de acuerdo con la Ley, ni contra el causante del siniestro que sea, respecto del Asegurado, pariente en línea directa o colateral dentro del tercer grado civil de consanguinidad, padre adoptante o hijo adoptivo que convivan con el Asegurado. Pero esta norma no tendrá efecto si la responsabilidad proviene de dolo o si la responsabilidad de los mismos está amparada por un contrato de seguro. En este último supuesto, la subrogación estará limitada en su alcance de acuerdo con los términos de dicho contrato.

3. En caso de concurrencia del Asegurador y Asegurado frente a tercer responsable, el recobro obtenido se repartirá entre ambos, en proporción a su respectivo interés.

Extinción y Nulidad del Contrato**Artículo 31°.**

1. Si durante la vigencia del seguro se produjera la desaparición del interés o del bien asegurado, desde este momento el contrato de seguro quedará extinguido y el Asegurador tiene el derecho de hacer suya la prima no consumida.

2. El contrato será nulo si en el momento de su conclusión no existía el riesgo, había ocurrido el siniestro o no existe un interés del Asegurado a la indemnización del daño.

Prescripción**Artículo 32°.**

Las acciones derivadas del contrato prescriben a los **dos años** a contar desde el día en que pudieron ejercitarse.

Arbitraje

Artículo 33º.

Si las dos partes estuviesen conformes, podrán someter sus diferencias al juicio de árbitros de conformidad con la Legislación vigente, en cuyo caso, ambas partes se obligan expresamente, desde este momento al cumplimiento de la decisión de los árbitros.

Solución de conflictos entre las Partes. Instancias de Reclamación

Artículo 34º.

De conformidad con lo establecido en el Real Decreto Legislativo 6/2004, de 29 de octubre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados, y el Real Decreto 2486/1998, de 20 de Noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados, los conflictos que puedan surgir entre las partes podrán resolverse, como sigue:

a.) El Tomador podrá formular sus reclamaciones por escrito, ante el CENTRO DE ATENCIÓN DE RECLAMACIONES Y QUEJAS de la Entidad Aseguradora, Camino Fuente de la Mora, 1, 28050, Madrid. Dicho Centro acusará recibo por escrito de las reclamaciones que se les presenten y las resolverá siempre por escrito motivado.

Una vez transcurrido el plazo de dos meses desde la fecha de presentación de la reclamación, sin que el CENTRO DE ATENCIÓN DE RECLAMACIONES Y QUEJAS haya resuelto, o bien una vez que haya sido denegada expresamente la admisión de reclamación o desestimada la petición, podrá acudir ante el Comisionado para la Defensa del Asegurado y del Partícipe en Planes de Pensiones, mediante presentación de la queja o reclamación, en soporte papel o por medios informáticos, electrónicos o telemáticos, ante cualquiera de los Comisionados previstos por la Ley 44/2002, de 22 de noviembre, de medidas para la reforma del sistema financiero y directamente en los servicios de reclamaciones o unidades administrativas equivalentes que radiquen en la sede central del Banco de España, de la Comisión Nacional de Mercado de Valores y de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, respectivamente, o en sus delegaciones. La reclamación o queja será tramitada de conformidad con el procedimiento previsto en el Real Decreto 303/2004, de 20 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de los comisionados para la defensa del cliente de los servicios financieros.

b.) Por decisión arbitral en los términos de los artículos 57 y 58 del Real Decreto Legislativo 1/2007, de 16 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley General para la Defensa de los Consumidores y Usuarios y leyes complementarias; o en los términos de la Ley 60/2003, de 23 de diciembre, de Arbitraje, en materia de libre disposición conforme a derecho y salvo aquellos supuestos en que la legislación de protección de los consumidores y usuarios lo impida (siempre que hubiera acuerdo por ambas partes para someterse a este mecanismo de solución de conflictos), siendo los gastos ocasionados satisfechos por mitad entre Tomador y Asegurador.

c.) Por los Jueces y Tribunales competentes, siendo Juez competente para el conocimiento de las acciones derivadas del contrato de seguro el del domicilio del Asegurado.

Comunicaciones

Artículo 35º.

1. Las comunicaciones al Asegurador, por parte del Tomador del Seguro, del Asegurado o del Beneficiario, se realizarán en el domicilio social de aquél, señalado en la póliza, o, en su caso, a través del Agente de Seguros.

2. Cuando la comunicación al Asegurador sea efectuada por el mediador de seguros en nombre del tomador, solamente surtirá idéntica eficacia como si la hubiera realizado éste último, cuando haya prestado su consentimiento expreso al efecto.

3. Las comunicaciones del Asegurador al Tomador del Seguro, al Asegurado o al Beneficiario se realizarán en el domicilio de los mismos recogido en la póliza, salvo que hubieren notificado al Asegurador el cambio de su domicilio.

4. El contrato de seguro y sus modificaciones o adiciones deberán ser formalizadas por escrito.

Cláusula de Protección de Datos

Artículo 36º.

De conformidad con la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal, el Tomador/ Asegurado queda informado y autoriza la incorporación de sus datos a los ficheros automatizados de AXA SEGUROS GENERALES SA DE SEGUROS Y REASEGUROS y el tratamiento automatizado de los mismos. La cumplimentación de todos los datos personales facilitados es totalmente voluntaria, pero necesaria para la relación contractual.

Si el Tomador/Asegurado no consintiera la inclusión de sus datos en estos ficheros o su posterior tratamiento informático, la contratación no podrá llevarse a cabo. Sus datos serán tratados de forma confidencial tanto por AXA SEGUROS GENERALES SA DE SEGUROS Y REASEGUROS como por aquellas entidades que, de acuerdo con la finalidad y objeto del contrato, así como por cuestiones de reaseguro y coaseguro, intervengan en la gestión de la póliza.

El usuario podrá dirigirse a AXA SEGUROS E INVERSIONES, (Departamento de Marketing- CRM), Camino Fuente de la Mora, 1 Madrid Edificio AXA 28050 Madrid, para ejercitar los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición, en los términos establecidos en la legislación vigente o bien a través de cualquiera de los teléfonos 901 90 00 09 ó 93 366 93 51.

Conforme al artículo 25 del RD Legislativo 6/2004 se notifica que los datos o parte de ellos, así como los que se generen en caso de siniestro serán cedidos a organismos públicos o privados relacionados con el sector asegurador con fines estadístico actuariales y de prevención del fraude, en la selección de riesgos y en la liquidación de siniestros.

Cláusula de indemnización por el consorcio de compensación de seguros de las pérdidas derivadas de acontecimientos extraordinarios acaecidos en España en seguros de daños en los bienes

De conformidad con lo establecido en el texto refundido del Estatuto legal del Consorcio de Compensación de Seguros, aprobado por el Real Decreto Legislativo 7/2004, de 29 de octubre, y modificado por la Ley 12/2006, de 16 de mayo y el R.D.1265/2006, de 8 de noviembre, el tomador de un contrato de seguro de los que deben obligatoriamente incorporar recargo a favor de la citada entidad pública empresarial tiene la facultad de convenir la cobertura de los riesgos extraordinarios con cualquier entidad aseguradora que reúna las condiciones exigidas por la legislación vigente.

Las indemnizaciones derivadas de siniestros producidos por acontecimientos extraordinarios acaecidos en España y que afecten a riesgos en ella situados serán pagadas por el Consorcio de Compensación de Seguros cuando el tomador hubiese satisfecho los correspondientes recargos a su favor y se produjera alguna de las siguientes situaciones:

- a) Que el riesgo extraordinario cubierto por el Consorcio de Compensación de Seguros no esté amparado por la póliza de seguro contratada con la entidad aseguradora.
- b) Que, aún estando amparado por dicha póliza de seguro, las obligaciones de la entidad aseguradora no pudieran ser cumplidas por haber sido declarada judicialmente en concurso o por estar sujeta a un procedimiento de liquidación intervenida o asumida por el Consorcio de Compensación de Seguros.

El Consorcio de Compensación de Seguros ajustará su actuación a lo dispuesto en el mencionado Estatuto legal, (modificado por la Ley 30/1995, de 8 de noviembre, de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados, por la Ley 44/2002, de 22 de noviembre, de Medidas de Reforma del Sistema Financiero, y por la Ley 34/2003, de 4 de noviembre, de modificación y adaptación a la normativa comunitaria de la legislación de seguros privados), en la Ley 50/1980, de 8 de octubre, de Contrato de Seguro, en el Real Decreto 300/2004, de 20 de febrero, por el que se aprueba el reglamento del seguro de riesgos extraordinarios, y disposiciones complementarias.

I. RESUMEN DE NORMAS LEGALES

1. Acontecimientos extraordinarios cubiertos

- a) Los siguientes fenómenos de la naturaleza: terremotos y maremotos, inundaciones extraordinarias (incluyendo los embates de mar), erupciones volcánicas, tempestad ciclónica atípica (incluyendo los vientos extraordinarios de rachas superiores a 135 km/h y los tornados) y caídas de meteoritos.
- b) Los ocasionados violentamente como consecuencia de terrorismo, rebelión, sedición, motín y tumulto popular.
- c) Hechos o actuaciones de las Fuerzas Armadas o de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad en tiempo de paz.

2. Riesgos excluidos

- a) Los que no den lugar a indemnización según la Ley de Contrato de Seguro.
- b) Los ocasionados en bienes asegurados por contrato de seguro distinto a aquellos en que es obligatorio el recargo a favor del Consorcio de Compensación de Seguros.
- c) Los debidos a vicio o defecto propio de la cosa asegurada, o a su manifiesta falta de mantenimiento.
- d) Los producidos por conflictos armados, aunque no haya precedido la declaración oficial de guerra.
- e) Los derivados de la energía nuclear, sin perjuicio de lo establecido en la Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear. No obstante lo anterior, sí se entenderán incluidos todos los daños directos ocasionados en una instalación nuclear asegurada, cuando sean consecuencia de un acontecimiento extraordinario que afecte a la propia instalación.

- f) Los debidos a la mera acción del tiempo, y en el caso de bienes total o parcialmente sumergidos de forma permanente, los imputables a la mera acción del oleaje o corrientes ordinarios.
- g) Los producidos por fenómenos de la naturaleza distintos a los señalados en el artículo 1 del Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios, y en particular, los producidos por elevación del nivel freático, movimiento de laderas, deslizamiento o asentamiento de terrenos, desprendimiento de rocas y fenómenos similares, salvo que estos fueran ocasionados manifiestamente por la acción del agua de lluvia que, a su vez, hubiera provocado en la zona una situación de inundación extraordinaria y se produjeran con carácter simultáneo a dicha inundación.
- h) Los causados por actuaciones tumultuarias producidas en el curso de reuniones y manifestaciones llevadas a cabo conforme a lo dispuesto en la Ley Orgánica 9/1983, de 15 de julio, reguladora del derecho de reunión, así como durante el transcurso de huelgas legales, salvo que las citadas actuaciones pudieran ser calificadas como acontecimientos extraordinarios conforme al artículo 1 del Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios.
- i) Los causados por mala fe del asegurado.
- j) Los derivados de siniestros cuya ocurrencia haya tenido lugar en el plazo de carencia establecido en el artículo 8 del Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios.
- k) Los correspondientes a siniestros producidos antes del pago de la primera prima o cuando, de conformidad con lo establecido en la Ley de Contrato de Seguro, la cobertura del Consorcio de Compensación de Seguros se halle suspendida o el seguro quede extinguido por falta de pago de las primas.
- l) Los indirectos o pérdidas derivadas de daños directos o indirectos, distintos de la pérdida de beneficios delimitada en el Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios. En particular, no quedan comprendidos en esta cobertura los daños o pérdidas sufridas como consecuencia de corte o alteración en el suministro exterior de energía eléctrica, gases combustibles, fuel-oil, gasoil, u otros fluidos, ni cualesquiera otros daños o pérdidas indirectas distintas de las citadas en el párrafo anterior, aunque estas alteraciones se deriven de una causa incluida en la cobertura de riesgos extraordinarios.
- m) Los siniestros que por su magnitud y gravedad sean calificados por el Gobierno de la Nación como de “catástrofe o calamidad nacional”.

3. Franquicia

En el caso de daños directos (excepto automóviles y viviendas y sus comunidades), la franquicia a cargo del asegurado será de un 7 por ciento de la cuantía de los daños indemnizables producidos por el siniestro.

En el caso de la cobertura de pérdida de beneficios, la franquicia a cargo del asegurado será la prevista en la póliza para pérdida de beneficios en siniestros ordinarios.

4. Extensión de la Cobertura.

La cobertura de los riesgos extraordinarios alcanzará a los mismos bienes y sumas aseguradas que se hayan establecido en la póliza a efectos de los riesgos ordinarios.

No obstante, en las pólizas que cubran daños propios a los vehículos a motor, el Consorcio garantiza la totalidad del interés asegurable aunque la póliza sólo lo haga parcialmente.

II. PROCEDIMIENTO DE ACTUACIÓN EN CASO DE SINIESTRO INDEMNIZABLE POR EL CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS

En caso de siniestro, el asegurado, tomador, beneficiario, o sus respectivos representantes legales, directamente o a través de la entidad aseguradora o del mediador de seguros, deberá comunicar, dentro del plazo de siete días de haberlo conocido, la ocurrencia del siniestro, en la delegación regional del Consorcio que corresponda, según el lugar donde se produjo el siniestro. La comunicación se formulará en el modelo establecido al efecto, que está disponible en la página “web” del Consorcio (www.consortseguros.es), o en las oficinas de éste o de la entidad aseguradora, al que deberá adjuntarse la documentación que, según la naturaleza de los daños, se requiera.

Asimismo, se deberán conservar restos y vestigios del siniestro para la actuación pericial y, en caso de imposibilidad absoluta, presentar documentación probatoria de los daños, tales como fotografías, actas notariales, vídeos o certificados oficiales. Igualmente, se conservarán las facturas correspondientes a los bienes siniestrados cuya destrucción no pudiera demorarse. Se deberán adoptar cuantas medidas sean necesarias para aminorar los daños.

La valoración de las pérdidas derivadas de los acontecimientos extraordinarios se realizará por el Consorcio de Compensación de Seguros, sin que éste quede vinculado por las valoraciones que, en su caso, hubiese realizado la entidad aseguradora que cubriese los riesgos ordinarios.

Para aclarar cualquier duda que pudiera surgir sobre el procedimiento a seguir, el Consorcio de Compensación de Seguros dispone del siguiente teléfono de atención al asegurado: 902222665.

LAS CONDICIONES GENERALES QUE ANTECEDEN Y LAS PARTICULARES DEL SEGURO QUE APARTE SE ENTREGAN AL TOMADOR, CONSTITUYEN EL PRESENTE CONTRATO Y NO TIENEN VALIDEZ NI EFECTO POR SEPARADO.

El Tomador/Asegurado reconoce haber recibido, leído y verificado esta póliza de seguro, acepta expresamente su clausulado y declara conocer tanto las condiciones que delimitan el riesgo, como las exclusiones y limitaciones del mismo, que aparecen expresamente indicadas en negrita.

El Tomador/ Asegurado abajo firmante reconoce haber recibido antes de la celebración del contrato de seguro toda la información requerida en el artículo 104 del Real Decreto 2486/1998, de 20 de noviembre, por el que se aprueba el reglamento de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados.

En prueba de conformidad y autorización

EL TOMADOR/ASEGURADO

AXA SEGUROS GENERALES, S.A. de Seguros y Reaseguros
P.P.

