



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA SECCIÓN DE NÁUTICA,  
MÁQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL

ULL

# **Buques semi-sumergibles**

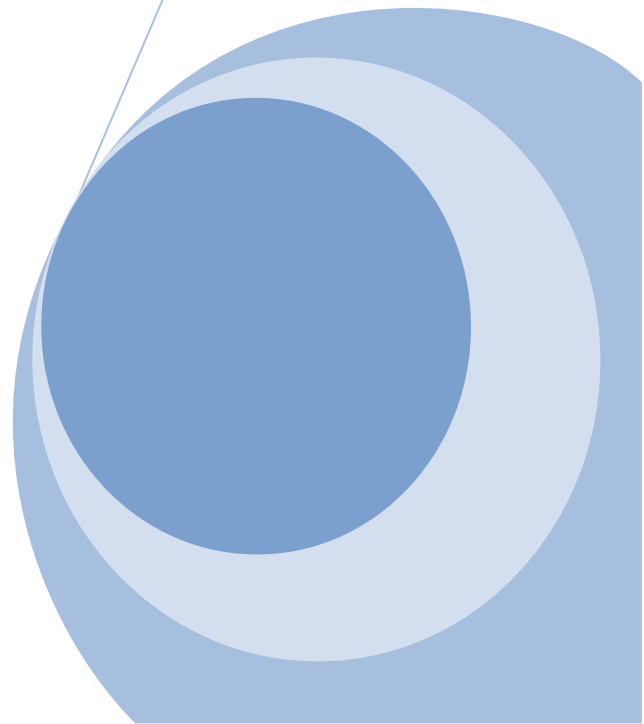
## **Los titanes del mar**

**Trabajo de Fin de Grado en Náutica y Transporte Marítimo**

**Autor: Siarhei Lukashyk**

**Tutor: Juan Antonio Rojas Manrique**

**Santa Cruz de Tenerife, Junio 2015**



## **Contenido**

Introducción .....	4
1- Operatividad.....	10
1.1- Conversiones.....	10
1.2- Medios de carga .....	12
1.2.1- El embarque de forma rodada .....	13
1.2.2- La carga izada .....	14
1.2.3- El embarque de forma flotada.....	15
1.3.4- El embarque de forma deslizada .....	16
2- Estabilidad y fondeo.....	17
2.1- Condiciones de estabilidad en los buques semisumergibles.....	17
2.2- Estabilidad durante la emersión e inmersión .....	23
2.3- Prueba de estabilidad .....	24
2.4- Compartimentado y estabilidad con avería en unidades estabilizadas por columnas .....	26
2.5- Medios de fondeo para las unidades de superficie y las estabilizadas por columnas .....	27
2.6- Sistemas de posicionamiento dinámico .....	29
3- Tanques de lastre.....	33
3.1- Entrada a los tanques de lastre .....	33
3.2- Inconvenientes de aguas de lastre .....	38
3.3- Ejemplo de invasiones .....	40
3.4- Métodos para el tratamiento del agua de lastre.....	42
3.4.1- Tratamientos mecánicos .....	44
3.4.2- Tratamientos físicos.....	45
3.4.3- Tratamientos químicos.....	46
3.5-Medios de bombeo de lastre en las unidades estabilizadas por columnas.....	47
3.5.1- Bombas y conductos de lastre .....	47
3.5.2- Sistemas indicadores y de control .....	49
4- MV Treasure .....	51
4.1- Lastrado del buque .....	52
4.2- Asegurar la carga.....	53

---

4.3- Motor .....	54
4.3.1- Funcionamiento motor diesel de dos tiempos .....	56
4.4- Funcionamiento de las bombas .....	60
4.5- Sensores .....	62
4.6- Estructura del buque .....	64
4.7- Válvulas de mariposa .....	66
4.8- Sensores de lastre .....	68
Conclusión .....	69
Bibliografía .....	70

## **Introducción**

El trabajo expuesto a continuación se trata sobre un tipo de buque utilizado para operaciones especiales, como lo son los buques semisumergibles. La elección de este tema se debe a un gran interés por conocer en profundidad su método de trabajo específico y distinto a los demás buques.

Los semisumergibles son únicos en su especialidad, durante más de 40 años han demostrado que no se puede dudar de su enorme capacidad a la hora de realizar trabajos complejos de forma satisfactoria y segura. Han sabido adaptarse a las distintas épocas gracias a que son un medio de transporte tan versátil y polivalente pudiendo amoldarse a cualquier tipo de carga.

A lo largo del trabajo se explica de manera detallada todo el funcionamiento que requiere este tipo de buques para poder realizar el transporte de una carga. Además cuenta con normativas específicas que son sólo aplicables a los semisumergibles debido su complejidad.

Antiguamente, antes de la década de los sesenta, para transportar cualquier carga flotante de grandes dimensiones se utilizaban remolcadores de altura. Esto era debido a que los buques existentes en esa época no tenían la capacidad de alojar esa carga dentro del mismo para su transporte. Todo esto implicaba un gran peligro por el hecho de que esto se hacía con una gran exposición a la mar, al viento y a las corrientes, además de una velocidad lenta, lo que en muchos casos supuso la pérdida de la mercancía.<sup>1</sup>

En el año 1972 se construye el primer buque semisumergible para el transporte de carga pesada y portador de barcasas (Dock Lift I). Pero esto seguía siendo insuficiente para el transporte de cargas aún mayores, ya que este buque transportaba mercancías hasta un tamaño limitado, como yates, pequeñas embarcaciones de recreo y de algunos artefactos de dimensiones limitadas a los medios de izada o deslizamiento disponibles en los muelles de embarque.



*Dock Lift I. Fuente: Derek Sands. July 1978*

Para dar con la solución definitiva al problema en 1976 comienza el transporte de mercancía en gabarras semisumergibles, arrastradas por remolcadores de alta potencia. Las gabarras contaban con la instalación de bastidores flotantes en las cuatro esquinas, para poder sumergirse horizontalmente sin que la profundidad se viera limitada. Durante la emersión e inmersión, la cubierta podía mantenerse paralela a la quilla de la carga. Además eran equipadas con dos propulsores, que servían solo como propulsión auxiliar en las maniobras, no para propulsarla por el mar (Ocean Servant II).



*Ocean Servant II. Fuente: Bureau Wijsmuller. [http://bureau-wijsmuller.nl/?Zware\\_Lading/Ocean\\_Servant\\_2](http://bureau-wijsmuller.nl/?Zware_Lading/Ocean_Servant_2)*

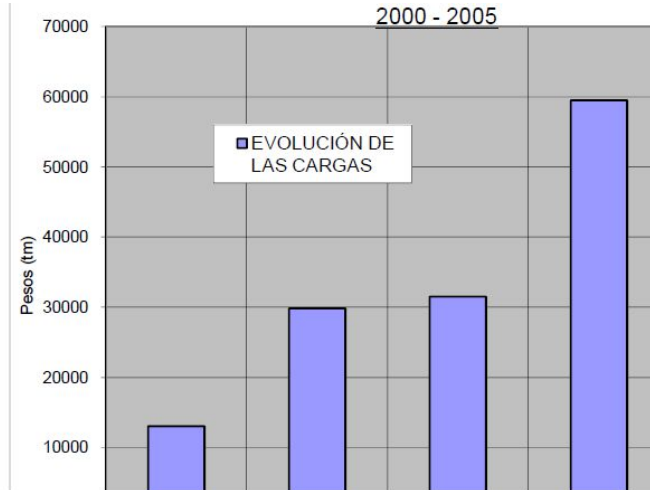
La misma empresa, pionera en poner en práctica esta manera de transporte, 3 años más tarde, en 1979 crea dos buques semisumergibles basándose en los conocimientos obtenidos de las gabarras, mencionadas anteriormente. El cambio más importante fue la introducción de dos máquinas propulsoras y maniobrabilidad propia. Esto supuso un incremento de fiabilidad y seguridad, suprimiendo así definitivamente los remolcadores.

En los años siguientes se sumaron un total de seis barcos de este tipo de similares características, que podían ser sumergidos hasta una profundidad de 15 metros, permitiendo así la entrada de la carga. El lastrado y deslastrado era mediante bombas impulsadas por unos compresores de aire.

En los años ochenta, algunos buques fueron convertidos a partir del petroleros Panamax. Estos tenían distintas características a los anteriores, pues el propio casco hacía la función de las torretas estabilizadoras. La parte central de la carena era retirada y reemplazada por una cubierta de carga más corta y con menor puntal. De esta manera la cubierta quedaba libre por los costados, pero limitado por el castillo de proa y la toldilla de popa. Esta técnica empezó a usarse en otros muchos casos ya que era más rentable convertir un buque que la construcción de uno nuevo. Este tipo de construcción fue la segunda clase de buques semisumergibles, mejorando de esta manera los anteriores mencionados.

Ya entre los años noventa y dos mil se construyó la última serie de semisumergibles que está en la actualidad, manteniendo e innovando los criterios de diseño que existían desde hacía más de dos décadas.<sup>2</sup>

Desde principio de este siglo, el mercado de los buques Heavy semisumergibles ha seguido evolucionado impulsado por la demanda para el transporte de artefactos offshore utilizados en el campo energético, tales como plataformas petrolíferas semisumergibles, de producción y de perforación de mayores dimensiones, con destino a los campos petrolíferos, entre otros, del Mar del Norte, Golfo de México, Brasil y Nigeria, y a astilleros para su reparación y modificación. Así mismo han surgido otros tipos de transporte tales como el transporte de buques de guerra a zonas de operaciones navales, reportándolos a la terminación de sus operaciones a las bases de origen. En los siguientes gráficos se puede apreciar el significativo aumento del peso y el tipo de las cargas entre los años 2000 y 2005:



*Valores de las cargas transportadas. Fuente: José Luis Aguilar Vázquez. Abril 2012*

SHIPS CARRIERS	CARGO PARTICULARS (Tabla 3-7)									
	Platforms, jack-up rigs, etc. (1)	Type	Weight (tm)	Lenght (m)	Windth (m)	Length/(m)	Overhang (m)	Loading	Discharging	Year
<u>MIGHTY SERVANT 1</u>	Maersk Innovator	3-leg jack-up design MSC CJ70-150-MC	29.800	88,80	102,50	205,00	26 m on both side	Flota -on	Flota - off	<u>2002</u>
<u>BLACK MARLIN</u>	Rowan Gorilla VII	LeTourneau Super Gorilla	25.757	93,27	91,44	174,85	21,22 m onbothside	Flota -on	Flota - off	<u>2002</u>
<u>TRANSSHELF</u>	Hung Tuah MOGPU	Mat supported rig designed by Arup	12.936	80,00	64,50	109,70		Skid-on	Flota - off with air	<u>2001</u>
<u>BLUE MARLIN (md)</u>	Thunder Horse	Semi-submersible PDQ	59.500	155,00	113,88	132,10	25,45 on both side	Flota -on	Flota - off	<u>2004</u>
<u>BLUE MARLIN (md)</u>	Dai Hung 1	Semi-submersible PDQ	13.200	108,20	67,36	80	25,67 Stbord 19,54 Port	Flota -on	Flota - off	<u>2001</u>
<u>MIGHTY SERVANT 1</u>	<u>Petrobras 40</u>	Converted DB-100 semi-sub crane vessel	31.500	81,20	81,20		15,6	Flota -on	Flota - off	<u>2003</u>
<u>MIGHTY SERVANT 1</u>	<u>Na Kika FPU</u>	Integrated ring pontoon FPU (Floating Production Unit)	31.500	81,20	81,20		15,6	Flota -on	Flota - off	<u>2003</u>

*Características de algunas cargas transportadas. Fuente: José Luis Aguilar Vázquez. Abril 2012*

La demanda de transporte de este tipo de buques se ha ido incrementando más allá de cualquier previsión, tanto que el armador del buque semisumergible Blue Marlin lo retira de operaciones apenas con tres años de explotación y procede a aumentar su manga en 22 metros, pasando su peso muerto de 57.021 toneladas a 76.061 toneladas.



*Modificación buque Blue Marlin. Fuente: Global Security.  
<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/flo-flo.htm>*

Las razones a las que se debe ese cambio, es que a principios del año 2000 un técnico de esta compañía entró en contacto con los astilleros DSME (Daewoo) en Corea del Sur donde se estaba construyendo la plataforma semisumergible “Thunder Horse”, la mayor construida por este astillero, y comienzan a estudiar el posible transporte de este artefacto desde el astillero de construcción a la base de operaciones situada a 16.000 millas. Las dimensiones de esta plataforma son superiores a todas las transportadas anteriormente por esta compañía y por cualquier otra. La compañía armadora apuesta por los transportes de estas características y después de dos años de explotación del Blue Marlin, conoce suficientemente sus limitaciones de estabilidad y solicita asistencias técnicas y pruebas de transporte a Marine Research Institute Netherlands (MARIN) en Wageningen (Holanda).

Se llevan a cabo los estudios de transporte en relación con una posible modificación de buque Blue Marlin. El 19 Junio de ese mismo año se firma el contrato de transporte con DSME y el 19 de septiembre se firma el contrato de transformación del buque con los astilleros Hyundai’s Mipo en Ulsan (Corea del Sur). La demanda del mercado de fletes que se abre en un futuro inmediato le da la razón a la compañía armadora: las limitaciones operativas de estos buques no podían hacer frente al flete que el mercado empezaba a demandar y las características técnicas de estos buques vienen desbordadas por la realidad de los hechos. A principios del 2004 el Blue Marlin ya modificado comienza a operar con la plataforma semisumergible “Thhunder Horse”, impensable unos años antes y la compañía armadora bate un nuevo récord al transportar la citada plataforma de 59.500 toneladas desde Ulsan, en Corea del Sur, hasta Corpus Christi en los Estados Unidos entregándola el 23 de septiembre de 2004.





*Blue Marlin transportando la plataforma Thunder Horse. Fuente: Dockwise.*

*<http://www.dockwise.com/page/fleet/fleetdata.html>*

A partir de ahí otros buques también entran en astilleros para aumentar su manga ya que comenzó un mercado de fletes especializados en el transporte de equipos de perforación de prospecciones petrolíferas, que además supuso a partir del año 2005 un significativo crecimiento de nuevos armadores.<sup>3</sup>

# **1- Operatividad**

## **1.1- Conversiones**

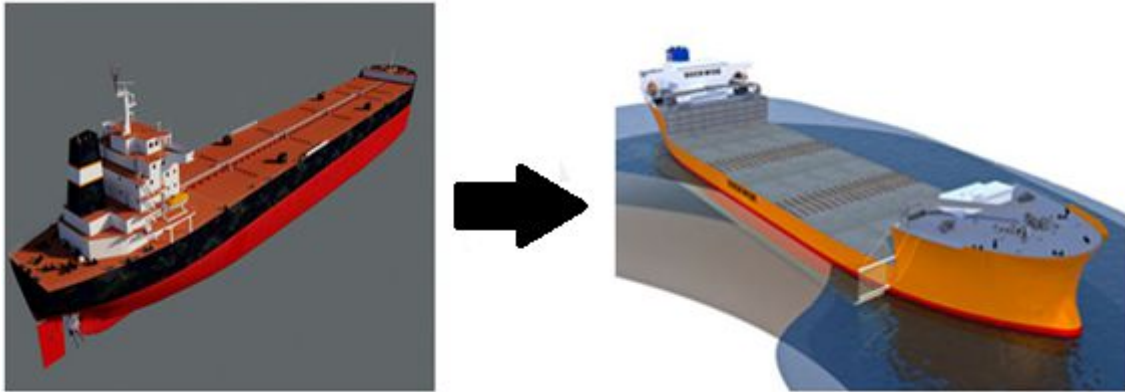
Se pueden encontrar dos principales tipos de conversiones que han sido cada vez más comunes en las últimas décadas. Esto se ha realizado debido a que era más económico una conversión, que la construcción de uno nuevo.

La primera clase de conversiones que se han realizado, han sido unas modificaciones de antiguos buques tanque de tipo Panamax, a los que han variado su eslora e instalado una cubierta reforzada a una altura relativamente baja, libre de los costados y larga desde la proa hasta la popa. Estos buques tenían los puentes de gobierno a popa, los cuales se han mantenido junto con la zona de maniobra de proa y unos metros más, con el fin de permitir la estabilidad del buque durante la inmersión.

El propósito de la conversión, ha sido obtener buques capaces de realizar el transporte de plataformas petrolíferas y otras plataformas de carga pesada sobre su cubierta. Toda la ingeniería y las obras de conversión se realizan de acuerdo a las reglas y bajo la supervisión de las sociedades clasificadoras. Los buques se reducen en unos 40-50 metros y se fabrica e instala una nueva cubierta principal unos 8 m por debajo de la anterior. Son necesarias modificaciones y refuerzos del casco, así como nuevos tanques de lastre incluyendo la superestructura de proa. Consiste en eliminar gran parte de componentes que llegan a pesar hasta 7000 toneladas y se instalan nuevas estructuras que no llegan a las 4000 toneladas.

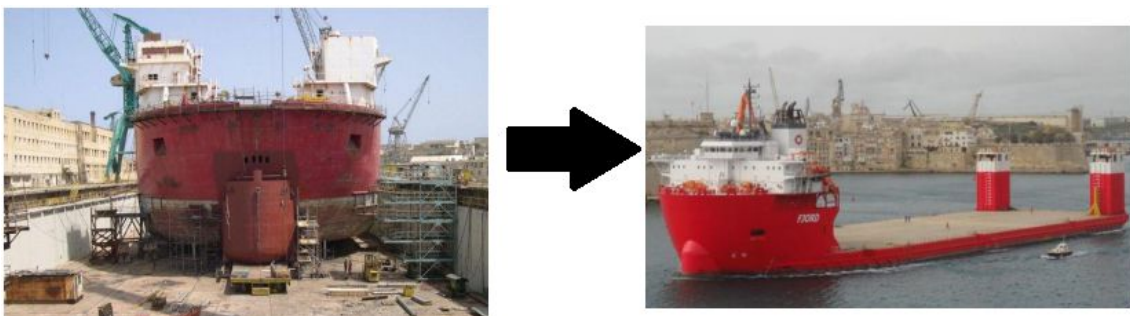
Estos nuevos buques requieren una amplia modificación y una nueva instalación de sistemas de lastre y ventilación por aire. Se modifican y se actualizan todos los sistemas de colectores, incluyendo nuevas válvulas hidráulicas de acero inoxidable con sistemas de control remoto. Para lograr una mejora en la maniobrabilidad de los buques, se instalan unos propulsores transversales en proa y en la popa. Se instala un nuevo puente de gobierno, mejorando así los equipos de navegación y automatización. Se crean nuevos compartimentos con todo el equipamiento necesario. Se instalan nuevos sistemas de salvamento, actualizando también todo el equipamiento que pueda llegar a crear algún tipo de contaminación del medio

ambiente. Además se modernizan los espacios de habitación para mayor comodidad del personal.



*Conversión de un petrolero a semisumergible. Fuente: Dockwise.  
<http://www.dockwise.com/page/fleet/fleetdata.html>*

El segundo tipo de conversiones realizado por empresas marítimas, ha sido las conversiones de unas gabarras, transformándolas en semisumergibles autopropulsados de popa abierta. Para ello han los han habilitado de maquinaria propulsora, de elementos para la navegación, y hasta modificarles la forma del bulbo, variando así la forma de su carena. La carena de una gabarra no está diseñada para navegar, por lo que se realizan pruebas de navegabilidad y de esfuerzos en 3D, logrando diseñar el nuevo bulbo.<sup>2</sup>



*Conversión de una gabarra a semisumergible. Fuente: Aleks Lindström. 2008/2009*

## **1.2- Medios de carga**

Los buques especializados en el transporte de grandes cargas, disponen de la gran mayoría de los medios de carga existentes hasta hoy en día en el transporte mundial. Algunos de estos buques tan sólo poseen un par de estas características, pero en general la gran mayoría de ellos puede embarcar las mercancías de todas las formas posibles, debido a su configuración.

Las principales formas de embarcar mercancías sobre la cubierta de un buque de este tipo son las siguientes:

Roll on-Roll off: El embarque de forma rodada.

Lift on-Lift off: El embarque de forma izada.

Float on-Float off: El embarque de forma flotada.

Skid on-Skid off: El embarque de forma deslizada.

### **1.2.1- El embarque de forma rodada**

Una forma muy común de embarcar las mercancías pesadas, es usando tráileres hidráulicos. Estos pueden ser tanto autopropulsados como remolcados. Ambos estilos tienen distintas formas y tamaños, aunque tienen ciertas características y consideraciones en común.

Esto lo pueden realizar los buques tipo dique, con unos costados muy altos y con unas rampas reforzadas en popa, para embarcar mercancía rodada. Pueden transportar contenedores sobre sus costados, además de las grandes cargas, permitiendo así el transporte combinado de mercancías.



*Buque semisumergible tipo dique. Fuente: Gregory Colomar Lix. Los semisumergibles de carga pesada.*

## **1.2.2- La carga izada**

El izado de la mercancía hacia y desde un buque, puede ser realizado mediante grúas fijas de tierra o usando las propias del buque.

Cuando se emplean grúas de tierra para el izado de las mercancías, el primer trabajo es el de identificar la capacidad requerida y seleccionar la grúa más favorable para la operación.

Los valores que deben ser tomados en cuenta, son la capacidad del muelle, el radio operacional, el tipo de soporte de la grúa, los izados de forma tándem, las cargas previstas, los valores de la marea durante la operación, la maquinaria para el izado y la localización de los puntos de sujeción.

El radio de operación de las grúas, viene definido en función de la envergadura de los arbotantes, los refuerzos, los contrapesos traseros utilizados y cualquier extensión súper-lift empleada. El punto clave es que la grúa debe ser capaz de colocar la mercancía a bordo del buque en una posición que permita la ejecución del diseño de refuerzos y soportes.

Los buques que poseen grúas propias, suelen tenerlas generalmente instaladas en un costado, pero hay algunos que tienen grúas puente que discurren sobre unos raíles, sobre los que están apoyados y les permiten deslizarse de proa a popa.

El uso de las grúas permite el transporte tanto de carga flotante o carga no flotante.



*Semisumergible con grúas propias. Fuente: Gregory Colomar Lix. Los semisumergibles de carga pesada.*

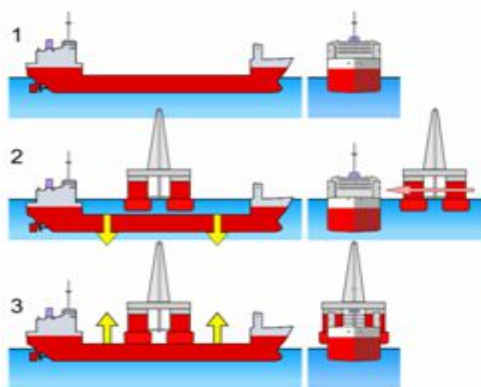
### **1.2.3- El embarque de forma flotada**

Cuando la carga es un objeto con flotabilidad propia, de un tamaño y forma que no hacen viable un remolque para una larga distancia, la opción del transporte mediante buques semisumergibles. Las cargas que corresponden con estas características son entre muchas, las siguientes:

- Perforadoras tipo Jack-Up
- Plataformas perforadoras semi-sumergibles
- Gabarras de carga previamente cargadas
- Buques dañados

Mediante el sistema de bombas de lastre, se llenan los tanques según la secuencia de lastrado acordada en los cálculos previos. Dependiendo del buque empleado y de la mercancía que vaya a ser cargada, la secuencia será distinta. Esta habrá sido diseñada con el fin de permanecer el menor tiempo posible el rango crítico, en el que la estabilidad positiva no está garantizada. Deben garantizarse en todo momento, valores positivos del GM, evitando estar el menor tiempo posible cerca del  $GM=0$ .

Una vez el buque se encuentra sumergido, unos remolcadores desplazan la mercancía flotante y con ayuda de las propias maquinillas del semisumergible, trabajan hasta situarla sobre el lugar exacto donde deba descansar. Cumpliendo con todas las premisas plasmadas en el plano de estiba, la mercancía deberá mantenerse en la posición correcta mientras que el buque emerja, para tomar correctamente la carga sobre su cubierta, y en la posición correcta.



*Embarque de forma flotada. Fuente: Gregory Colomar Lix. Los semisumergibles de carga pesada.*

### **1.3.4- El embarque de forma deslizada**

El deslizamiento de la carga supone el traslado de la misma sobre el muelle hasta su posición final en el buque. El sistema de deslizamiento está constituido por unos raíles que son soldados al suelo y a la cubierta, creando así un puente de unión entre el buque y el muelle. Sobre estos raíles van dispuestos unos cojinetes o zapatas deslizantes de bajo perfil compuestas por superficies de baja fricción, como puede ser el teflón.

Deslizar la carga puede ser una opción económica cuando hay que desplazar cargas de elevado peso, en vez de disponer de gran cantidad de ejes hidráulicos y de personal, como habría que hacer si se realizase de forma rodada.

Este sistema de carga implica un mayor tiempo de operación para el embarque de la mercancía, debido a que hay que colocarla sobre el sistema de deslizamiento. Otra de las razones por las que se requiere un largo tiempo para el desarrollo del sistema, es debido al hecho de que la mercancía se va a mover en incrementos de aproximadamente 200mm, dependiendo del equipamiento empleado, donde los tráileres permiten mover la carga de forma más rápida.

El principal factor que afecta a este tipo de embarques, es el valor de la marea, dado que en algunos casos la diferencia de niveles entre la cubierta y el muelle debe ser de 25mm como valor máximo. La gran ventaja de algunos buques para este tipo de embarque, es su capacidad de variar su calado de una forma muy precisa, haciéndoles idóneos para este medio de carga. Dado que la única forma de controlar la diferencia de altura entre el muelle y el buque es mediante la secuencia de lastrado idónea.<sup>2</sup>



*Embarque de forma deslizada. Fuente: Gregory Colomar Lix. Los semisumergibles de carga pesada.*



## **2- Estabilidad y fondeo**

### **2.1- Condiciones de estabilidad en los buques semisumergibles**

Debido a la pluralidad de las cargas que suelen transportar, es evidente que no sea del todo viable la elaboración de criterios internacionales de estabilidad sin averías que abarquen todos los casos especiales que se puedan presentar en la práctica, resultando lógico que estos buques especiales no cuenten con unos criterios de aplicación específica como sucede con los buques mercantes. Por consiguiente, a menudo se suele solicitar a la Administración Marítima competente que conceda una autorización válida por un único viaje unida a condiciones operacionales específicas, como se recoge en el IMO Sub-Committee on Stability and Load Lines, en su sección 49, agenda 5, de 2 de junio de 2006. Las sociedades de clasificación de buques deben estar disponibles para verificar que estos buques cumplen con los requisitos especiales impuestos de acuerdo con las características de su carga.

Por consiguiente, se convino en que no era viable la elaboración de una serie de criterios adecuados que abarquen todos los casos especiales. Estados Unidos y Australia habían propuesto algunos criterios al respecto. En el apartado B del IMO\SLF\49\5\12, recomienda aplicar a estos buques los siguientes criterios:

- 1) Los requisitos de estabilidad sin averías en la condición de navegación deben aplicarse los establecidos por el capítulo 2, parte A, puntos 2.2 y 2.3 del Código IS 2008.
- 2) Cuando las características del buque semi sumergible hagan impracticable el cumplimiento de lo dispuesto en el punto 1, se recomienda aplicar el criterio recogido por el capítulo 2. Parte B, punto 2.4.5 del Código IS 2008.
- 3) Cuando la estabilidad sin averías para estos buques cumpla con la parte A, capítulo 2.3 del Código IS 2008, el criterio adicional del 80% del ángulo de inmersión del borde de la cubierta requerido por el párrafo 2.3.1.2 puede ser ignorado.

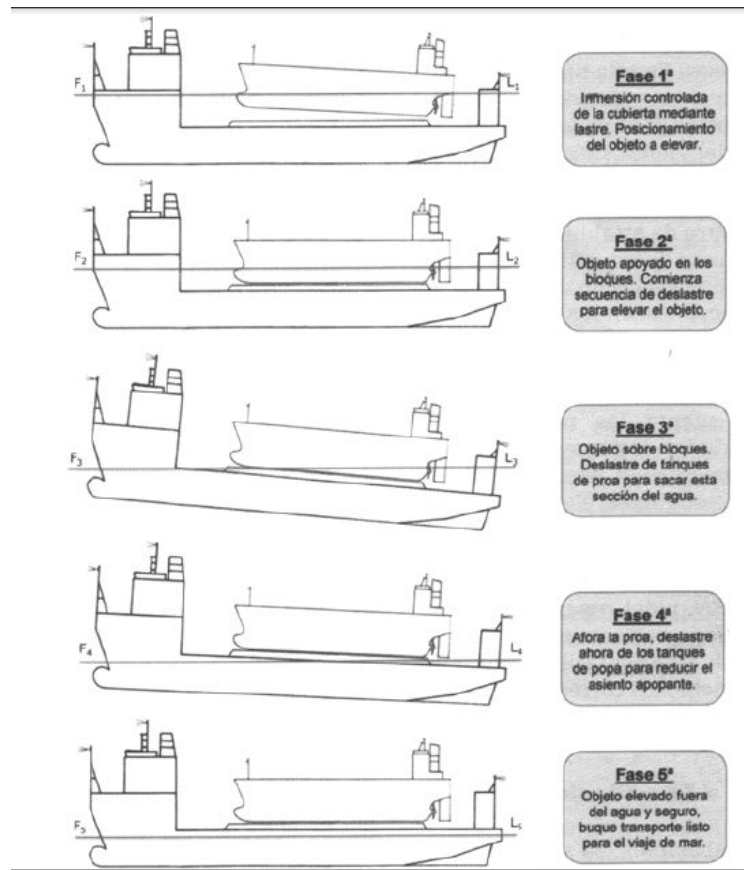
4) La flotabilidad que proporciona parte de la carga elevada puede tenerse en cuenta como aplicable a la del buque transporte, siempre que por separado se apruebe el acuerdo de seguridad.

5) La estabilidad con avería, el conjunto buque/carga debe cumplir con los requisitos especificados por la IMO y las sociedades de clasificación. Estos requisitos deberán ser estudiados para entender los límites y riesgos implicados con referencia a un daño estructural. Conviene revisarlos mediante supuestos donde no deben faltar daños de un compartimento en combinación con un viento de 50 nudos; la inundación de un tanque grande lateral que produzca una escora que se verá incrementada por la acción de un viento de 50 nudos, etc.<sup>4</sup>

Previo a la operación de carga, se debe realizar un cálculo completo de estabilidad con el fin de seleccionar la secuencia más óptima de lastre/deslastre, ya que se pueden presentar algunos aspectos específicos relacionados con la estabilidad que deben ser valorados de forma minuciosa. Debido a que la cubierta de carga se sumerge y/o emerge en la mar, la estabilidad se verá afectada por cambios rápidos y sustanciales originados por la oscilación del valor del área del plano de flotación del buque. Entonces cuando la cubierta de carga está sumergida, el plano de flotación se limita al castillo y a las torretas de flotabilidad; durante esta fase, la sonda de los tanques de lastre esta oscilando por no estar completamente llenos, detectándose la presencia de las superficies libres que como se sabe, disminuyen la estabilidad del cualquier buque. El resultado de todo esto, es que el buque semisumergible, mientras que su cubierta de carga está sumergida, atraviesa una fase de estabilidad límite. Por lo general, para controlar este importante problema, estos buques atraviesas esta fase con algo de escora y asiento.

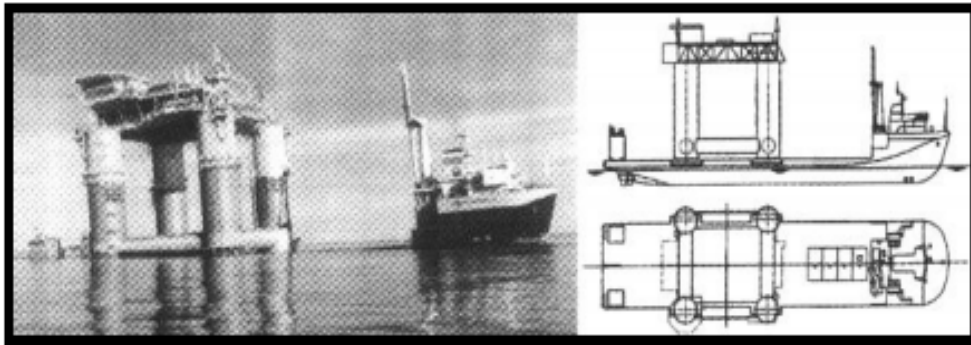
Es importante conocer el instante cuando se produce la estabilidad límite en el buque semisumergible, para compararlo con el momento en que alcanza el objeto que se está elevando su calado de inestabilidad, y asegurar que estos no coincidan al tiempo. Si esto ocurriera, ambos podrían balancearse fuera de fase, causando problemas de apoyo o incluso peor, haciendo que el objeto flotante o el buque semi sumergible lleguen a ser inestables, generando una gran escora que pueda llevar a su hundimiento. Resulta pues que durante la maniobra de elevación de un objeto, el buque semi sumergible tiene que mantener una determinada altura metacéntrica

corregida por superficies libres y el objeto a elevar debe estar apoyado por completo en la cama de bloques antes de llegar a la condición de mínima estabilidad que se viene haciendo referencia.



*Fases de estabilidad durante la maniobra de elevación. Fuente: Sebastián Rojo García. Marzo 2012*

El asiento y sus efectos deben ser estudiados detalladamente para tener la certeza que es el satisfactorio ya que el buque semi sumergible puede llegar hasta los 3° para cumplir con el mínimo GM; un asiento mayor puede provocar que el objeto elevado flote sobre la cama de bloque por alguna de sus partes o bien se deslice sobre estos. Normalmente, si el asiento que alcanza la cubierta del buque semisumergible origina en uno de los extremos del objeto elevado un calado de cero y en el otro extremo el calado es menor de 5 pies del calado inicial a flote, el objeto elevado no debe deslizarse ni flotar.

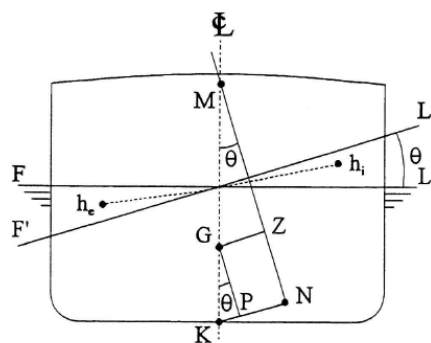


*Maniobra de elevación de una carga. Fuente: Sebastián Rojo García. Marzo 2012*

Con referencia a la estabilidad estática, la altura metacéntrica corregida por superficies libres (según el Código IS 2008)<sup>5</sup>, no será inferior a 0,13 metros. En este tipo de buques, se requiere un valor del GM mayor que en otros para poder resistir las cargas del viento, olas, etc., lógicamente un valor así de la altura metacéntrica lo convierte en un buque duro de estabilidad, es decir, tiene exceso de estabilidad que trae como consecuencia un valor pequeño en el periodo de balance dando balances bruscos y rápidos.

Con respecto a la condición de carga, esta necesita ser óptima teniendo en cuenta los requisitos de estabilidad y los movimientos de respuesta. Así pues, para un desplazamiento cualquiera, el trazado de la curva de estabilidad estática depende de sus formas obtenidas por las curvas cruzadas o transversales de brazos KN, y del reparto de pesos, cuyo cuadro de momentos respecto a la línea de base nos facilita el valor de KG que debemos corregir por superficies libres para poder aplicarlo en la siguiente fórmula.

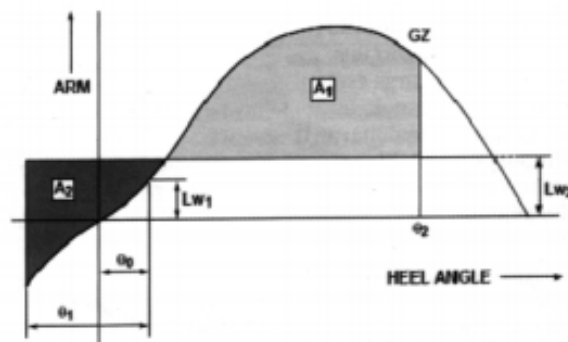
$$GZ = KN - KG \cdot \text{sen}\theta$$



*Par de estabilidad estática transversal. Fuente: Sebastián Rojo García. Marzo 2012*

Si se trabaja la fórmula con los diferentes valores de KN obtenidos de las curvas cruzadas de estabilidad o curvas pantocarenas, entrando con los valores del desplazamiento y para diferentes ángulos de escora, confeccionamos una curva envolvente de los brazos de adrizamiento para el desplazamiento y el reparto de carga que se halla considerado. Si ahora integramos la curva de estabilidad estática, lo que obtenemos será la curva de estabilidad dinámica, pero con las coordenadas en metros/radianes. Así queda reflejada en el Libro de estabilidad y trimado; para conocer el valor del trabajo efectuado por el par de estabilidad, no tenemos más que multiplicar el brazo dinámico obtenido con la curva, por el desplazamiento considerado.

La estabilidad dinámica permite conocer el comportamiento real del buque en la mar, esta se calcula incluyendo la contribución de flotabilidad del objeto transportado que ha sido considerado como parte del peso total del buque en los cálculos de estabilidad estática inicial. La estabilidad dinámica del buque y su carga, tiene que estar calculada para resistir los pares escorantes debido al efecto del viento, las olas, o una combinación de estas y otras fuerzas, como estos efectos no son nada fáciles de obtener, se les suponen valores máximos que no deben de alcanzar nunca, y en función de estos se deduce la mínima estabilidad dinámica del buque para ciertas inclinaciones. Para que el equilibrio se verifique debe existir igualdad entre los trabajos efectuados por el par motor (escorante) y el par resistente (adrizante).



*El viento y balanceo intenso. Fuente: Sebastián Rojo García. Marzo 2012*

Sobre la curva de brazos adrizantes debe también representarse la curva de influencia de un par escorante cualquiera que representa la energía de escora desarrollada por la acción del viento sobre el área bélica del buque con el objeto a bordo. El área bélica cambia cuando el buque y el objeto se escoran lo que produce un arqueado de la curva

del par escorante hacia el eje de abscisas. Para los propósitos de análisis, se considera el máximo viento, incluyendo las rachas, esperadas durante el viaje de mar.

La acción del viento sobre el buque y su carga tiende a generar abatimiento debido a la presión del mismo por unidad de superficie y como el punto de aplicación donde se supone concentrada toda la fuerza de este, se encuentra en distinto plano vertical que el punto de aplicación donde se supone concentrada toda la resistencia que ofrece el agua de la mar; este movimiento lateral además de abatimiento produce escora. La curva de brazo de viento aumenta sustancialmente con el incremento del ángulo de escora debido a los efectos de aumento del gran área bajo cubierta, por ejemplo, un viento de 57 nudos sostenido durante 1 minuto produce un brazo escorante (en una condición de adrizamiento) de 0,26 metros, a un ángulo de inclinación de 40" el brazo alcanzara su máxima de 0,47 metros después del cual disminuirá lentamente con la disminución del ángulo de escora.<sup>6</sup>

Un caso real se produjo durante el transporte de la plataforma P-40 en el buque semi-sumergible "Mighty Servant 1". Este atravesó los océanos Índico y Atlántico, llegando a enfrentarse a condiciones de viento de más de 30 nudos y olas de más de 4 metros, sin que la plataforma sufriera averías significativas, tan solo pequeños problemas que el mismo observador de Petrobras embarcado pudo solucionar. En algunas ocasiones, el buque perdió más de 6 nudos de velocidad en función de la acción del viento de proa.<sup>7</sup>



*Descarga de la plataforma P-40. Fuente: Popa. <http://www.popa.com.br/diarios/P40/>*

## **2.2- Estabilidad durante la emersión e inmersión**

Es necesario que el buque semisumergible no solamente navegue en condiciones de estabilidad adecuadas al calado reglamentario de máxima carga sino que sea capaz de recoger y liberarse de la carga, por lo que habrá que tener presente que las condiciones de inmersión y emersión podrían limitar la capacidad final de transporte en el caso de no cumplir con los criterios de estabilidad preceptivos en estas dos maniobras.

Se pueden dividir estas dos maniobras en dos fases diferenciadas:

- a) Fase durante la cual el buque se sumerge en lastre por debajo de la quilla del artefacto para proceder a su carga sobre la cubierta intemperie y emerger posteriormente con el mismo hasta la flotación de verano (Proceso de carga)
- b) Fase durante la cual el buque se sumerge a plena carga con el artefacto sobre la cubierta intemperie hasta un calado en el que este artefacto flote establemente y se independice entonces de la carga. (Proceso de descarga)

Los valores operativos de inmersión serán función del flotador transportado (más ó igual a 10 metros de calado), y por lo tanto deberán estar como máximo en torno a los 23 m de calado del buque, lo que supone que la cubierta de cierre o de francobordo estará como máximo aproximadamente a 10 m por debajo de la superficie del agua.<sup>3</sup>

## **2.3- Prueba de estabilidad**

2.3.1- Se exigirá realizar una prueba de estabilidad en la primera de las unidades de una serie que se ajuste al mismo proyecto, tan cerca de la terminación de su construcción como resulte posible, a fin de determinar con precisión los datos relativos a la unidad en rosca.

2.3.2- Para las unidades sucesivas que se ajusten un mismo proyecto, la Administración podrá aceptar los datos relativo a la unidad en rosca de la primera unidad de la serie en lugar de la prueba de estabilidad, siempre que la diferencia en el desplazamiento en rosca o en la posición del centro de gravedad debida a pequeñas variaciones en la maquinaria, armamento o equipo, confirmada por un reconocimiento para la determinación del peso muerto, sea inferior al 1% de los valores del desplazamiento en rosca y de las principales dimensiones horizontales, determinados para la primera unidad de la serie. Se tendrá cuidado especial al hacer los cálculos detallados de peso muerto y la comparación con la unidad original de una serie de unidades semisumergibles estabilizadas por columnas de las que aun cuando respondan a un mismo proyecto, se estime improbable que tengan la similitud aceptables en peso o centro de gravedad que justifique la exención de la prueba de estabilidad.

2.3.3- Los resultados de la prueba de estabilidad, o los del reconocimiento para la determinación del peso muerto y de la prueba de estabilidad corregidos en consideración a las diferencias de peso, se consignarán en el manual de instrucciones.

2.3.4- En el manual de instrucciones o en el cuaderno de alteraciones de los datos relativos a la unidad en rosca, se consignarán todos los cambios de maquinaria, estructura, armamento y equipos que afecten a los mencionados datos, cambios que se tendrán en cuenta en las operaciones diarias.

2.3.5- En las unidades estabilizadas por columnas se efectuará a un reconocimiento para la determinación del peso muerto a intervalos que no excedan de 5 años. Cuando ese reconocimiento indique que el desplazamiento en rosca calculado se ha producido un cambio superior al 1% del desplazamiento de servicio, se llevará a cabo una prueba de estabilidad.



2.3.6- La prueba de estabilidad o el reconocimiento para la determinación del peso muerto se llevarán a cabo en presencia de un funcionario de la Administración o de una persona o un representante de una organización aprobada que tenga la necesaria autorización.

## **2.4- Compartimentado y estabilidad con avería en unidades estabilizadas por columnas**

2.4.1- La unidad tendrá un francobordo suficiente y estará compartimentada por medio de cubiertas y mamparos estancos que le den flotabilidad y estabilidad suficiente para resistir el momento escorante producido por un viento de cualquier dirección con una velocidad de 50 nudos en cualquier condición operacional o de tránsito, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El ángulo de inclinación después de la avería no será superior a 17°;
- Toda abertura situada por debajo de la flotación final quedará cerrada de manera estanca, y las aberturas situadas hasta 4 metros por encima de la flotación final se harán estancas a la intemperie;

2.4.2- La unidad tendrá suficiente flotabilidad y estabilidad para resistir, en cualquier condición operacional o de tránsito, la inundación de cualquier compartimiento estanco situado total o parcialmente por debajo de la flotación de que se trate y que sea una cámara de bombas, una cámara que contenga maquinaria como un sistema de refrigeración por agua de mar o un compartimiento adyacente al mar, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- En ángulo de inclinación después de la inundación no será superior a 25°;
- Toda abertura situada por debajo de la flotación final quedará cerrada de manera estanca;
- La gama de estabilidad positiva, más allá del ángulo de inclinación calculado para esa condición, será de 7° como mínimo.

## **2.5- Medios de fondeo para las unidades de superficie y las estabilizadas por columnas**

2.5.1- Los medios de fondeo, de estar instalados como sistema único de mantenimiento de la situación, tendrán factores de seguridad adecuados y se proyectarán de modo que puedan mantener la unidad en su emplazamiento en todas las condiciones previstas en el proyecto. Esos medios serán tales que el fallo de uno cualquiera de sus componentes no provoque el fallo en cadena de los restantes.

2.5.2- Las anclas, cables, grilletes y demás equipo asociado de acoplamiento serán proyectados, fabricados y sometidos a prueba siguiendo una norma reconocida. Se tendrá siempre disponible evidencia, que sea satisfactoria a juicio de la Administración, de que el equipo ha sido sometido a prueba y de que ha sido aprobado. A bordo se dispondrá lo necesario para dejar constancia de los cambios y las inspecciones del equipo.

2.5.3- Los cables de anclas podrán ser de alambre de acero, de cabo, de cadena o de una combinación de éstos.

2.5.4- Se dispondrán medios que permitan soltar el cable del ancla de la unidad después de que ésta haya perdido la potencia principal.

2.5.5- Las guías y las roldanas se proyectarán de modo que se evite la flexión y el desgaste excesivo del cable del ancla. Los elementos de sujeción al casco o a la estructura serán tales que resistan adecuadamente los esfuerzos impuestos cuando el cable del ancla queda sometido a su carga de rotura.

2.5.6- Se dispondrán de medios adecuados para estibar las anclas de modo que se impida el movimiento de éstas en mar encrespada.

2.5.7- Cada uno de los molinetes estará provisto de dos frenos independientes de accionamiento a motor. Cada freno tendrá capacidad para retener una carga estática en el cable del ancla que como mínimo sea igual al 50% de su carga de rotura. De permitirlo la Administración, uno de estos frenos podrá sustituirse por un freno de accionamiento manual.

2.5.8- El proyecto de los molinetes se preverá una capacidad adecuada de frenado dinámico que permita controlar las combinaciones normales de cargas resultantes del ancla, del cable del ancla y de la embarcación que la esté manejando mientras se

estén fondeando las anclas a la máxima velocidad de arriado de proyecto del molinete.

2.5.9- En el caso de que el molinete pierda potencia, el sistema de frenado de accionamiento a motor entrará en funcionamiento automáticamente y tendrá capacidad para retener una carga equivalente al 50% de la capacidad total de frenado estático del molinete.

2.5.10- Los molinetes se podrán controlar desde una posición que ofrezca una visión cómoda de operaciones.

2.5.11- Se instalarán medios en el puesto de control de los molinetes que permitan vigilar la tensión de los cables y la carga eléctrica de los molinetes, e indicar la longitud de cable que se haya filado.

2.5.12- Se dispondrá un puesto de control con dotación permanente y medios para indicar la tensión de los cables y la velocidad y dirección del viento.

2.5.13- Se dispondrán medios fiables que permitan la comunicación entre los lugares que sean esenciales para las operaciones de fondeo.

2.5.14- Se dará consideración especial a todo dispositivo que permita la utilización conjunta de los sistemas de fondeo instalados y de los impulsores laterales, para mantener a la unidad en su desplazamiento.<sup>8</sup>

## **2.6- Sistemas de posicionamiento dinámico**

Los sistemas de posicionamiento dinámico utilizados como único medio de mantenimiento de la situación tendrán un grado de seguridad equivalente al que ofrecen los medios de fondeo, que sea satisfactorio a juicio de la Administración.

El posicionamiento dinámico no es una mera pieza de equipamiento. Es una capacidad del buque lograda mediante la integración de una gran variedad de sistemas y funciones. Es un sistema que automáticamente controla la posición y el rumbo exclusivamente con el uso de propulsión activa.

El corazón y el cerebro de cualquier sistema de posicionamiento dinámico es su ordenador controlador. Este recibe información de una gran variedad de fuentes y genera comandos de propulsión con los que controla y maniobra el buque. Su punto de referencia es una posición geográfica y un rumbo, ambos introducidos por el oficial encargado de este sistema o el oficial al cargo de la guardia. La medida de la posición y el rumbo es continuamente transmitida al ordenador, obteniendo este la desviación o diferencia con el valor de referencia y dando este las órdenes pertinentes al sistema de propulsión y gobierno para reducir o mantener error a cero.

El sistema en su conjunto es controlado y operado usando la consola que contiene los controles operacionales, botones, pantallas y joystick manual, la cual se encuentra en una zona de buena visibilidad de las inmediaciones del buque, como lo es el puente. Los sistemas utilizados hoy en día funcionan bajo la interfaz Windows.

Para controlar cualquier función, lo más importante es saber medirla, por lo que el ordenador controlador se encuentra conectado a diferentes sistemas suministradores de posición y rumbo, como son PRS (Position Reference Systems) y giróscopos.

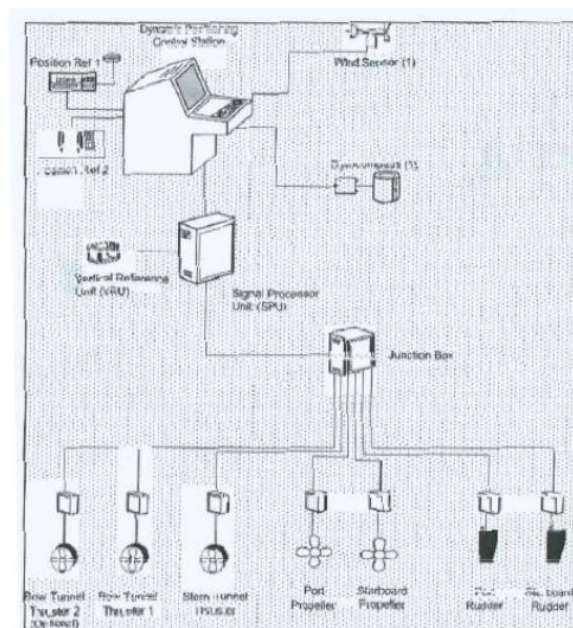
Los PRS suministran información acerca de la posición del buque. A nivel de posicionamiento dinámico las precisiones requeridas son mayores que las normalmente suministradas para la navegación convencional, esta precisión de la posición se encuentra en el rango de un metro o menos. Los PRS son independientes unos de otros y a su vez están independientemente conectados al ordenador controlador, pudiendo ser sus principios de operación completamente diferentes, basados en satélites, en láser, en microondas, sistemas hidroacústicos o incluso mecánicos. Cuanto mayor sea el número de sistemas suministradores de la posición, mayor será la precisión de ésta y menor el impacto de la pérdida de un sistema.

Los buques con sistemas de posicionamiento dinámico llevan a cabo diferentes tareas y operaciones algunas de las cuales son críticas desde el punto de vista de la seguridad. Es por ello que previamente a las operaciones deben de analizarse las posibles consecuencias de un fallo del sistema. Para evitar errores innecesarios, existe un término denominado “redundancia”, que puede definirse como la habilidad del buque para soportar la pérdida de cualquier componente individual sin perder la posición o el rumbo.

Visto desde un punto de vista más práctico, la redundancia en el sistema permite el abandono y cancelación seguro de las operaciones, permitiendo al barco salir de la zona de trabajo de una manera segura y bajo el control del posicionamiento dinámico.

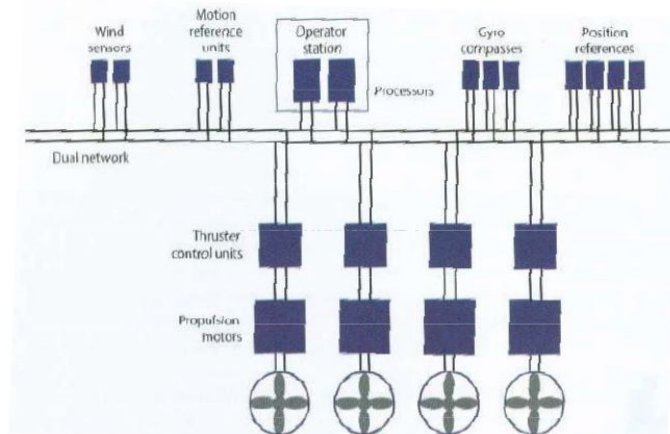
La “IMO Guidelines for Vessels with DP systems”, especifica 3 niveles diferentes de redundancia conocidos como equipamiento de clase. Existen 3 niveles diferentes de equipamientos de clase, en los cuales a mayor número de clase, mayor nivel de redundancia. Por lo tanto, los buques pueden ser DP1, DP2 o DP3. Estas recomendaciones de la OMI publicadas en 1994 (MSC Circ 645) son aceptadas en la industria como estándar a nivel mundial.

Para el equipamiento clase 1, en el caso de fallo aislado puede perderse posición y rumbo.



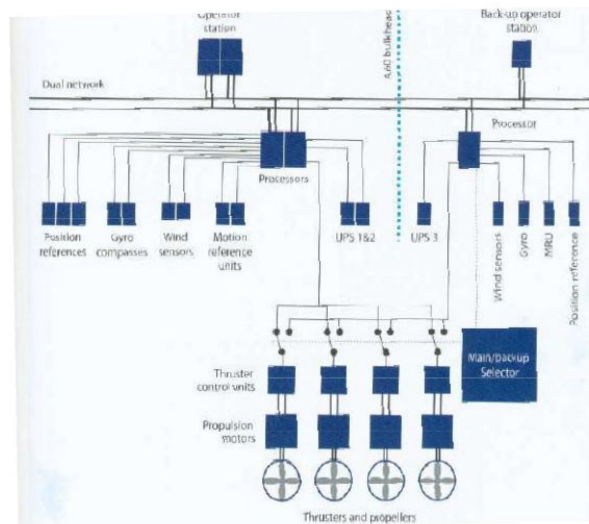
*Distribución DP1. Fuente: José Manuel Villar Arenal. Octubre 2012*

Para el equipamiento clase 2, en casa de fallo aislado en cualquier sistema o componente activo no se pierde posición y rumbo. Normalmente se considera que los componentes estáticos no fallan, cuando se puede demostrar suficiente protección estando ésta bajo los parámetros y a satisfacción de la administración de la bandera.



*Distribución DP2. Fuente: José Manuel Villar Arenal. Octubre 2012*

Para equipamiento clase 3, un fallo aislado engloba los ítems incluidos en la clase 2, además considerándose que cualquier sistema estático puede fallar, debiendo de estar todos los componentes por duplicado en un compartimento estanco e ignífugo.



*Distribución DP3. Fuente: José Manuel Villar Arenal. Octubre 2012*

Por lo tanto, los buques DP1 no serán completamente redundantes en todas las áreas. Los buques DP2 tienen completa redundancia en equipamientos y sistemas, mientras

que los buques DP3 son capaces de mantener la posición y rumbo tras la pérdida de todos sus componentes en un compartimento estanco e ignífugo. En DP3 un fallo aislado puede ser la pérdida de un compartimento completo.

La OMI en sus recomendaciones estipula que para una operación en particular, el equipamiento de clase debe de ser acordado entre el armador y el fletador en función del análisis de riesgos de la operativa basado en las consecuencias potenciales de una pérdida de posición. En su defecto, la administración competente debe decidir el equipamiento de clase para una operación en concreto. Por lo tanto, el armador y el fletador deben diseñar la operación incorporando una evaluación de riesgos y unos procedimientos de seguridad en caso de incidente. Los resultados de este análisis indican las potenciales consecuencias de posición o rumbo, permitiendo tomar una decisión a las partes sobre el equipamiento de clase a utilizar. Cuantas más altas sean estas consecuencias, más alto será el equipamiento de clase necesario.<sup>9</sup>



## 3- Tanques de lastre

### 3.1- Entrada a los tanques de lastre

Los tanques de lastre de agua son espacios cerrados a bordo del buque, es decir, tienen aberturas limitadas de entrada y salida, cuentan con ventilación natural insuficiente y no está proyectado para que constantemente haya en él trabajadores. Por ello existe un procedimiento que hay que seguir para poder acceder al tanque y realizar las operaciones que se consideren oportunas dentro del mismo.

Para garantizar la seguridad, una persona competente realizará siempre una evaluación preliminar de los riesgos del espacio en el que va a entrar, determinando la posible presencia de una atmósfera pobre en oxígeno. En el caso de que la evaluación preliminar demuestre que existe un riesgo mínimo para la salud mientras se realiza el trabajo, se tomarán precauciones.

Para acceder a un espacio cerrado es necesario tener la autorización del capitán o la persona responsable designada, además de haber seguido los procedimientos de seguridad especificados en el buque, como los que se pueden ver a continuación. La inobservancia de estos sencillos procedimientos puede provocar que las personas se sientan repentinamente indispuestas al entrar en espacios cerrados. Sin embargo, su cumplimiento sí constituirá una base fiable para la evaluación de riesgos en tales espacios así como para tomar las precauciones necesarias.<sup>10</sup>

**Generalidades**

Ubicación/nombre del espacio cerrado .....

Motivos para la entrada .....

Este permiso es válido De: ..... h Fecha: .....

A: ..... h Fecha: .....

(véase la nota 1)

**Sección 1 – Preparación previa a la entrada**

(El capitán o el oficial responsable verificarán los siguientes puntos) Sí No

• ¿Se ha ventilado concienzudamente el espacio?

• ¿Se ha segregado el espacio mediante el aislamiento de todas las tuberías de conexión y el equipo eléctrico/la energía eléctrica?

• ¿Se ha limpiado el espacio en caso de que fuera necesario?

• ¿Se han efectuado ensayos en el espacio y se ha concluido que cabe entrar en él sin riesgo? (Véase la nota 2)

• Ensayos de la atmósfera previos a la entrada:

Lecturas

- Oxígeno ..... % vol (21%) Por: .....

- Hidrocarburo ..... % límite inferior de inflamabilidad (inferior al 1%)

- Gases tóxicos ..... ppm (gas específico y límite de exposición personal) Hora: ..... (véase nota 3)

• ¿Se ha dispuesto lo necesario para realizar comprobaciones frecuentes de la atmósfera del espacio mientras haya personal en él y después de los descansos?

• ¿Se ha dispuesto lo necesario para que el espacio esté continuamente ventilado mientras haya personal en él y durante los descansos?

	Sí	No
• ¿Son adecuados el acceso al espacio y la iluminación?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• ¿Hay equipo de salvamento y reanimación, listo para ser utilizado, junto a la entrada del espacio?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• ¿Se ha designado una persona responsable que esté constantemente de servicio a la entrada del espacio?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• ¿Se ha informado al oficial de guardia (puente, cámara de máquinas, cámara de control de la carga) de la entrada prevista?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• ¿Se ha sometido a ensayo un sistema de comunicaciones entre todas las partes y se han acordado señales de emergencia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• ¿Se han establecido procedimientos de emergencia y de evacuación, y los ha comprendido todo el personal que participa en la entrada en los espacios cerrados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• ¿Está todo el equipo en buenas condiciones de funcionamiento y ha sido debidamente inspeccionado antes de la entrada?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• ¿Lleva el personal la indumentaria y el equipo adecuados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Sección 2 – Comprobaciones previas a la entrada**

(El jefe del equipo autorizado o la persona que entre en el espacio verificará los siguientes puntos)

	Sí	No
• He recibido instrucciones o permiso, del capitán o de la persona responsable designada, para entrar en el espacio cerrado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• El capitán o la persona designada ha cumplimentado correctamente la sección 1 de este permiso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• He acordado y comprendido los procedimientos de comunicación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• He convenido en un intervalo de notificación de . . . . minutos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Se han acordado y comprendido los procedimientos de emergencia y de evacuación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• <b>Estoy enterado/a de que debe abandonarse inmediatamente el espacio en caso de que falle el sistema de ventilación y si los ensayos de la atmósfera muestran un cambio con respecto a los criterios de seguridad acordados</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Sección 3 – Aparatos respiratorios y otros equipos**

(El capitán o la persona responsable designada y la persona que entre en el espacio verificarán conjuntamente los siguientes puntos)      Sí      No

- El personal que entra en el espacio está familiarizado con el aparato respiratorio que se va a emplear
- Se han hecho las siguientes comprobaciones del aparato respiratorio:
  - presión y capacidad del suministro de aire      .....
  - alarma audible de baja presión      .....
  - mascarilla – presión positiva y estanquidad      .....
- Se ha sometido a ensayo el medio de comunicación y se han convenido las señales de emergencia
- Se ha facilitado a todo el personal que entre en el espacio correajes de salvamento y, de ser posible, cabos salvavidas

Firmado una vez completadas las secciones 1, 2 y 3 por:

El capitán o la persona responsable designada..... Fecha .... Hora .....

Persona responsable de supervisar la entrada ..... Fecha .... Hora .....

Persona que entra en el espacio  
o jefe del equipo autorizado ..... Fecha .... Hora .....

**Sección 4 – Entrada del personal**

(La persona responsable de supervisar la entrada completará esta sección)

Nombres	Hora de entrada	Hora de salida
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

Sección 5 - Finalización de la labor

(La persona responsable de supervisar la entrada cumplimentará esta sección)

- Labor finalizada Fecha ..... Hora .....
- Espacio correctamente cerrado Fecha ..... Hora .....
- Se ha informado debidamente al oficial de guardia Fecha ..... Hora .....

Firmado una vez completadas las secciones 4 y 5 por:

Persona responsable de supervisar la entrada ..... Fecha .... Hora .....

ESTE PERMISO NO TENDRÁ VALIDEZ EN CASO DE QUE DEJE DE FUNCIONAR LA VENTILACIÓN DEL ESPACIO O CAMBIEN LAS CONDICIONES INDICADAS EN LA LISTA DE COMPROBACIONES

**¡ALTO!**

¿Ha cumplido las consignas?



**¡Los espacios cerrados matan!**

**NUNCA** entrar en un espacio cerrado sin el permiso correspondiente

No lo ignore ni lo olvide . . .

podría acabar así . . .



941626

### **3.2- Inconvenientes de aguas de lastre**

El lastre se puede definir como todo sólido o líquido colocado en un buque para aumentar su calado, modificar el asiento, regular la estabilidad o como lo es nuestro caso usado, además de los mencionados, es utilizado para sumergir el buque y permitir la entrada de grandes cargas a bordo.

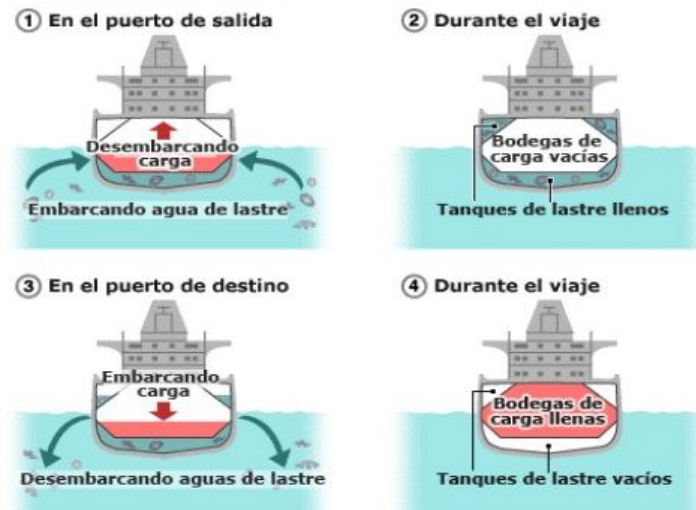
Antiguamente para lastrar los buques se utilizaban materiales sólidos como arena, piedras o ladrillos, por lo que se impedía la propagación de organismos no deseados. Cuando los buques empezaron a cargar millares de toneladas de agua del mar en puertos alejados como lastre, empezaron a recogerse inadvertidamente formas de vida locales que se transportarían a nuevas regiones a través de los océanos. La mayor velocidad de los buques contribuyó también que dichas especies sobrevivieran a las travesías, para instalarse en nuevos mares en los que no tengan depredadores naturales.

Los organismos foráneos que se desplazan a través de los océanos aprovechando el agua de lastre de los buques han venido creando importantes problemas para el medio marino, las instalaciones marítimas y la salud humana.

A diferencia de los derrames de hidrocarburos y otras contaminaciones marinas causadas por el tráfico marítimo, los organismos y las especies marinas exóticas no pueden ser limpiados ni absorbidos por los océanos. Una vez introducidas son casi imposibles de eliminar y pueden causar graves daños.

Se calcula que en todo el mundo se transfieren unos 10.000 millones de toneladas de agua de lastre cada año, lo que implica con ello que cada día se transportan más de 3.000 especies de animales y plantas en todo el mundo.

La tasa de supervivencia de las especies después de la descarga depende de las condiciones de la zona receptora, habiendo especies que tienen más probabilidades de arraigar cuando las condiciones son parecidas a las de su procedencia, especialmente la salinidad y la temperatura del agua. Los estudios realizados indican que normalmente menos del 3% de las especies transportadas llegan a establecerse en las nuevas regiones, pero con que sólo una especie de peces depredadores lo lograse, podría dañar gravemente el ecosistema local.



*Ciclo de las aguas de lastre. Fuente: Globallast Water Management Programme, IMO 2008*

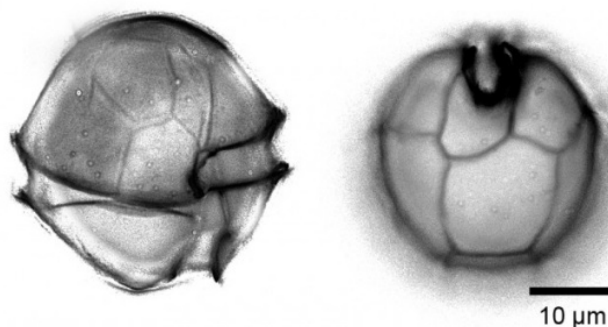
A partir de los años noventa, la Organización Marítima Internacional (OMI) ha trabajado a través de sus Estados Miembros para abordar el problema. En 1991 se adoptaron por primera vez las Directrices internacionales para impedir la introducción de organismos acuáticos y agentes patógenos indeseados por los buques y la OMI trabaja ahora para la formulación de disposiciones obligatorias sobre la gestión del agua de lastre.

### 3.3- Ejemplo de invasiones

Todos los años, unos 150 millones de toneladas de agua de de agua de lastre son descargadas en los 64 puertos internacionales de Australia por 10.000 buques procedentes de 300 puertos extranjeros. Además, unos 34 millones de toneladas de agua de lastre son trasladados por buques nacionales todos los años de un puerto australiano a otro. El Programa Australiano de agua de lastre comprende el Concejo asesor de gestión de agua de lastre y su grupo de investigación. En 1997, el Servicio de inspección de cuarentena de Australia calculó que se habían introducido más de 170 especies en aguas australianas, la mayor parte a través del agua de lastre.

En 1990, Australia introdujo directrices voluntarias sobre el agua de lastre para los buques que tocan en puertos australianos. Ello se produjo a raíz de la introducción de los dinoflagelados tóxicos en aguas australianas, que representan una auténtica amenaza para los criaderos de los mariscos de las costas de Tasmania, Victoria y Nueva Gales del Sur.

Los dinoflagelados tóxicos son un tipo de algas que pueden causar la intoxicación de los seres humanos al ingerir mariscos. Las pruebas reunidas indican que el dinoflagelado tóxico *Gymnodinium catenatum* se estableció en aguas australianas después de llegar en el agua de lastre, y la especie se encontraba ya presente en aguas de Argentina, España, Japón, México, Portugal, Venezuela y en los puertos del mediterráneo. Los dinoflagelados tóxicos de las especies *Alexandrium tamarense* están muy extendidos en aguas de Melbourne.



*Alexandrium tamarense*. Fuente: MELÓN RODRÍGUEZ, E. et al. 2003



Los dinoflagelados tóxicos, introducidos por aguas de lastre, han causado también problemas a la industria marisquera en otras partes del mundo, incluyendo China, la India y Sudáfrica.

Los dinoflagelados pueden reproducirse por simple bipartición, lo que les permite multiplicarse cuando las condiciones les son favorables. La especie *Gymnodinium catenatum* también puede reproducirse por la unión de dos células de distinto sexo, normalmente inducida por condiciones desfavorables. Ello da como resultado la formación de una spora encapsulada muy resistente, que puede sobrevivir en condiciones difíciles, permaneciendo en estado latente en los sedimentos. Las esporas pueden vivir de 20 a 30 años, y, cuando las condiciones les son favorables, germinan, adoptando la forma nadadora habitual y se introducen en el ciclo alimentario de crustáceos y moluscos, con lo que éstos se convierten en tóxicos para los seres humanos.



*Gymnodinium catenatum*. Fuente: MELÓN RODRÍGUEZ, E. et al. 2003

Algunos criaderos de Tasmania se han visto obligados a cerrar durante largos periodos como medida de precaución durante la floración del plancton, que generalmente se produce después de fuertes lluvias.

Según directrices de 1990, los buques estaban obligados a llevar certificados que atestiguaran que el agua de lastre se había cargado en un lugar libre de los dinoflagelados tóxicos, que no son las únicas especies que han preocupado a Australia.<sup>11</sup>

### 3.4- Métodos para el tratamiento del agua de lastre

Existe una amplia variedad de tratamientos de aguas de lastre. Algunos ya se han desarrollado y están comercialmente disponibles, otros están en un estado avanzado de desarrollo y otros simplemente son conceptos teóricos.

Es importante tener en cuenta que ciertas tecnologías son más adecuadas que otras para tratar algunas especies invasoras de hábitats particulares. Por ejemplo, los organismos invasivos voluminosos normalmente requieren un sistema de filtración para limitar inicialmente la entrada en los tanques de lastre del buque, pero los organismos microscópicos normalmente requieren de un tratamiento adicional, químico o físico, para eliminarlos cuando pasan el sistema de filtración. Para seleccionar la tecnología, es habitual identificar el organismo a eliminar. El problema surge cuando el barco no tiene una ruta fija, pasa por diferentes ecosistemas y encuentra diferentes especies invasivas. Algunos de los sistemas de tratamientos de aguas de lastre han resuelto el problema incluyendo un tratamiento adicional a posteriori de la etapa de filtración, que se le realiza inicialmente.

Los diferentes sistemas de tratamiento que existen pueden dividirse en tres grupos:

- Tratamientos mecánicos (filtración, separador ciclónico, etc.);
- Tratamientos físicos (calor, supresión de oxígeno, ultravioleta, etc.);
- Tratamientos químicos (ozono, cloro, dióxido de clorino, etc.);

Cada uno de ellos tiene sus ventajas e inconvenientes como se puede apreciar en la siguiente tabla<sup>12</sup>, para más adelante exponer un ejemplo de cada tratamiento:

Tratamiento	Método	Ventajas	Inconvenientes
Mecánico	Filtración	-Auto limpiante -Respetuoso con el medioambiente -Instalación sencilla	-Reduce el caudal -Alto consumo energético -Causa contrapresión -No efectivo para microorganismos
	Separador ciclónico	-Mantenimiento -Caudal alto -Mejora la calidad del agua -Sin partes móviles -Respetuoso con el medioambiente	-Gran tamaño del equipo -Elimina grandes partículas

<b>Físico</b>	Rayos ultravioleta	-Efectividad -Respetuoso con el medioambiente -Válido para agua de mar y agua dulce	-Alto consumo energético -Altos costes operacionales -Fácil mantenimiento -No efectivo en aguas turbulentas
	Floculación	- Respetuoso con el medioambiente	-Necesidad de tanque de lodo -Necesidad de tanque para aditivos -Tamaño de los tanques
	Cavitación	-Efectividad	-Alto consumo energético -Ruido -No efectivo para caudales elevados
	Supresión de oxígeno	-Corrosión reducida en los tanques de lastre -Sencillo si se dispone de un generados de gas a bordo	-Control de la atmósfera en los tanques
	Calor	-Respetuoso con el medioambiente -Efectivo -Elimina amplia variedad de microorganismos	-Caudales reducidos
<b>Químico</b>	Biocidas Cloro Ozono	-Efectividad	-No es respetuoso con el medioambiente -Requiere demasiado tiempo para el tratamiento -El revestimiento de los tanques puede ser afectado por la oxidación -Necesario almacenaje para los productos químicos -Los productos químicos deben ser neutralizados antes de descargarlos

### **3.4.1- Tratamientos mecánicos**

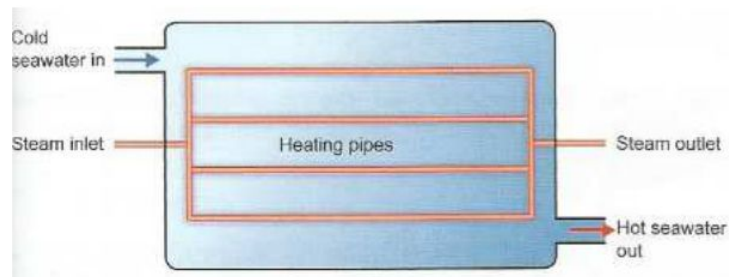
Son los procesos más simples que hay ya que se utilizan previamente para reducir la entrada de partículas de gran tamaño en los tanques de agua de lastre, para mejorar así la efectividad de un proceso de tratamiento posterior. Las tecnologías usadas no utilizan ninguna sustancia activa y tampoco cambian las propiedades tanto físicas como químicas para tratar el agua.

Como ejemplo podemos ver la filtración, basado en una malla que discrimina los organismos por tamaños. El agua bombeada cruza el filtro y los organismos de mayor volumen quedan retenidos. Estos mecanismos están diseñados para proveer una filtración y una limpieza a la vez sin ninguna interrupción.

### 3.4.2- Tratamientos físicos

Son procesos de desinfección del agua a través de dispositivos que actúan sobre los componentes del agua. Son tratamientos que no añaden ninguna sustancia a la hora de tratar el fluido y por lo tanto no afectan a su composición química. La tecnología es muy efectiva, aunque normalmente va acompañada de otro tratamiento adicional para mejorar su efectividad.

Uno de estos procesos es el calor que es de los dispositivos más básicos y fáciles de usar. El calor se puede obtener de los sistemas de refrigeración del motor principal u otras fuentes de calor. Es necesario tener un circuito de tuberías por donde circule el agua a través de los tanques y de los intercambiadores de calor, por los que pasará el agua de lastre previamente filtrada. Muchos de los organismos acuáticos son destruidos cuando el agua es calentada a 40-45°C y esta temperatura es mantenida por un periodo de tiempo. El sistema es más efectivo si se aplica un rango de temperaturas bajas durante un período de tiempo largo, que un intervalo de temperaturas altas durante un período corto.



*Tratamiento por calor. Fuente: ROMERO GARCÍA, L., 2012*

### **3.4.3- Tratamientos químicos**

Son utilizados para la desinfección del agua a través de tratamientos químicos. Como por ejemplo biocidas no oxidantes. Son extractos y químicos naturales que actúan interfiriendo a través del funcionamiento vital, como la reproducción o el metabolismo. Aplicando estos químicos desde el principio del viaje, puede tener un pequeño efecto sobre el medio ambiente cuando las aguas de lastre son liberadas, pero se degrada en un producto químico no tóxico en unos días. Sin embargo, algunos de éstos químicos se toman un tiempo y como consecuencia no pueden ser una opción para las travesías cortas. Las reacciones límite de estos biocidas con compuestos en el agua puede ser una ventaja. Cualquier residuo generado por biocidas no oxidantes, generalmente, decae muy rápidamente a través de los productos en los no tóxicos. Donde la descarga en grandes cantidades, el agua puede suponer un peligro medio ambiental.<sup>13</sup>

## **3.5-Medios de bombeo de lastre en las unidades estabilizadas por columnas**

A continuación se expone la normativa que se aplica a los buques semisumergibles publicada por la Organización Marítima Internacional.

### **3.5.1- Bombas y conductos de lastre**

3.5.1.1- Las unidades irán equipadas con un sistema de lastre eficaz que tenga capacidad para llenar y vaciar cualquier tanque de lastre en condiciones operacionales normales y de tránsito. De otro modo, las Administraciones podrán autorizar el lastrado por gravedad controlado.

3.5.1.2-El sistema de lastre tendrá una capacidad que permita a la unidad, en condición sin avería y en menos de tres horas, experimentar un cambio de calado igual a la diferencia entre el calado operacional máximo y el de temporal muy duro, o a una diferencia mayor que pueda especificar la Administración.

3.5.1.3-El sistema de lastre dispondrá al menos de dos bombas independientes de manera que pueda seguir funcionando aunque falle una de tales bombas. No es preciso que éstas sean necesariamente bombas de lastre, aunque deberán estar listas en todo momento para ser utilizadas como tales.

3.5.1.4- El sistema de lastre tendrá capacidad para funcionar después de sufridas averías y podrá hacer que la unidad recobre condiciones de asiento a nivel y calado seguro sin necesidad de tomar lastre adicional, con una cualquiera de las bombas inactiva. La Administración podrá permitir la contrainundación como procedimiento operacional.

3.5.1.5- El sistema de lastre se dispondrá y se hará funcionar de manera que se impida el trasiego involuntario de aguas de lastre desde un tanque o casco a otro, operación que podría producir cambios de momentos que a su vez darían lugar a ángulos excesivos de escora o de asiento.

3.5.1.6- Habrá de ser posible alimentar cada una de las bombas de lastre desde la fuente de energía de emergencia, de tal manera que el sistema permita a la unidad recobrar las condiciones de asiento a nivel y calado seguro, después de que falle uno cualquiera de los componentes del sistema de suministro de energía.

3.5.1.7- Todos los conductos de lastre serán de acero o de otro material adecuado cuyas propiedades sean aceptables a juicio de la Administración. Se pondrá especial atención en el proyecto de los conductos de lastre que atraviesen los tanques de lastre, teniendo en cuenta los efectos de la corrosión y de otros tipos de deterioro.

3.5.1.8- Todas las válvulas y todos los mandos de accionamiento estarán claramente marcados de modo que se pueda identificar la función que desempeñan. Se dispondrá de medios in situ para indicar si la válvula está abierta o cerrada.

3.5.1.9- En cada tanque de lastre se instalarán tubos de aireación en número suficiente y con una sección transversal tal que permitan el funcionamiento eficaz del sistema de lastre en las condiciones a que se hace referencia desde el punto 3.5.1.1 a 3.5.1.9. A fin de permitir el deslastre de los tanques de lastre destinados a recuperar el calado normal y adrizar la unidad después de una avería, las aberturas de los tubos de aireación de esos tanques estarán por encima de la flotación resultante de la avería más desfavorable. Dichos tubos de aireación irán colocados fuera de la extensión de la avería.



### **3.5.2- Sistemas indicadores y de control**

3.5.2.1- Se dispondrá un puesto central de control de lastre que estará ubicado por encima de la flotación resultante de la avería más desfavorable, en un espacio que no esté dentro de la zona de avería, y adecuadamente protegido contra la intemperie. El puesto irá provisto, según proceda, de los siguientes sistemas indicadores y de control:

- Sistema de control de las bombas de lastre;
- Sistema indicador del estado de bombas de lastre;
- Sistemas de control de las válvulas de lastre;
- Sistema indicador de la posición de las válvulas de lastre;
- Sistema indicador del nivel de los tanques;
- Sistema indicador del calado;
- Indicadores de escora y de asiento;
- Sistema indicador de la disponibilidad de energía principal y de emergencia;
- Sistema indicador de la presión neumática/hidráulica de sistema de lastre.

3.5.2.2- Además del telemando de las bombas y las válvulas de lastre desde el puesto central de control de lastre, todas estas bombas y válvulas irán provistas de un mando local independiente que pueda accionarse si falla el telemando. El mando local independiente de cada bomba de lastre y de sus correspondientes válvulas de tanques de lastre deberá hallarse en el mismo lugar.

3.5.2.3- Los sistemas indicadores y de control enumerados en 3.5.2.1 funcionarán de manera independiente, o irán dispuestos con la duplicación suficiente, de modo que un fallo en un sistema no comprometa el funcionamiento de uno cualquiera de los demás sistemas.

3.5.2.4- Toda válvula de lastre motorizada se cerrará automáticamente al fallar la energía de accionamiento. Una vez reactivada la energía de accionamiento, cada una de tales válvulas permanecerá cerrada hasta que el operario de control de lastre asuma el control del sistema reactivado. La Administración podrá aceptar válvulas de lastre que no se cierran automáticamente al fallar la energía, a condición de que a su juicio no se comprometa la seguridad de la unidad.

3.5.2.5- el sistema indicador de nivel de los tanques tendrá medios para:

- Indicar el nivel de líquido de todos los tanques de lastre. Se dispondrá un medio secundario para determinar el nivel en los tanques de lastre, como una sonda, por ejemplo. Los sensores de nivel de los tanques no estarán situados en los conductos de aspiración de éstos;

- Indicar el nivel de líquido en otros tanques, como los de combustible líquido, agua dulce, agua de perforación, o almacenamiento de líquidos, cuyo llenado y vaciado puedan, a juicio de la Administración, afectar a la estabilidad de la unidad. Los sensores de nivel de los tanques no estarán situados en los conductos de aspiración de éstos.

3.5.2.6- El sistema indicador de calado señalará el calado en cada esquina de la unidad o en los lugares representativos que dispongas la Administración.

3.5.2.7- Se dispondrán medios que indiquen si una válvula está abierta o cerrada en cada lugar desde que pueda accionarse tal válvula. El funcionamiento del indicador dependerá del movimiento del vástago de la válvula.

3.5.2.8- En el puesto central de control de lastre se dispondrán medios para aislar o desconectar los sistemas de control de las bombas y de las válvulas de lastre sus fuentes de energía eléctrica, neumática o hidráulica.

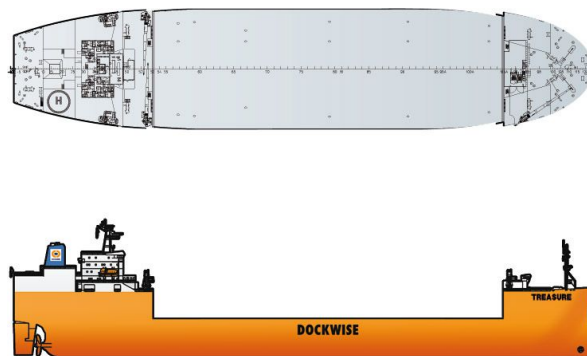
3.5.2.9- Se dispondrán medios de comunicación, permanentemente instalados e independientes de la fuente principal de energía eléctrica de la unidad, entre el puesto central de control de lastre y los espacios que contengan bombas o válvulas de lastre, u otros espacios en los que pueda haber equipo necesario para el funcionamiento del sistema de lastre.<sup>8</sup>

## 4- MV Treasure

Para la realización del trabajo se ha escogido un buque en concreto, el Treasure, de la compañía Dockwise. En este capítulo se explicará el diseño y el funcionamiento de este tipo de embarcaciones, ya que todos comparten muchas similitudes por ser un tipo específico de buques. Para poder conocerlo en mayor profundidad, se hará un seguimiento de todos los procesos que realiza el buque durante el transporte de una carga, desde que la recibe hasta que la entrega en su punto de destino.<sup>14</sup>

Este semisumergible es la conversión de un petrolero que se llevó a cabo en el año 2008 en China. La cubierta principal ha sido fabricada e insertada en el buque con la instalación de los tanques de lastre. Además se realizó una amplia remodelación del buque en general incluyendo también los equipos necesarios para su nueva función, como la sala de control de los tanques de lastre o un cuarto de bombas. Tras el reacondicionamiento pasó las pruebas de mar y ensayos de inmersión y emersión antes de ser entregado a la compañía para desempeñar su nuevo rol transportando enormes cargas sobre su cubierta semisumergible.<sup>15</sup>

El buque tiene una eslora máxima de 216 metros, con un casco tan fuerte como para soportar el embate de olas de hasta 15 metros de altura.

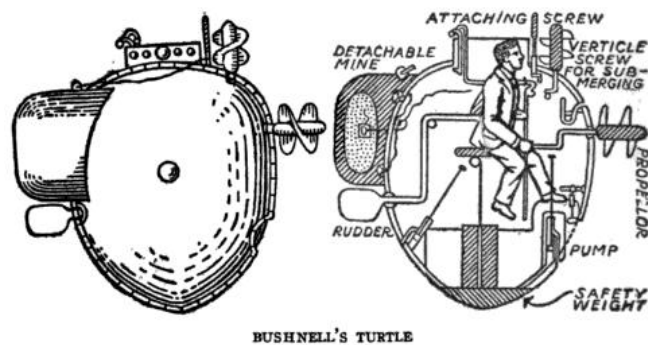


*MV Treasure. Fuente: Dockwise. <http://www.dockwise.com/page/fleet/fleetdata.html>*

## 4.1- Lastrado del buque

El diseño de los actuales tanques de lastre evolucionó de un aparato de madera construido en el año 1775, llamado la tortuga de USS y que fue usado durante la guerra de Independencia de Estados Unidos. Este fue el primero del mundo en realizar un ataque submarino.

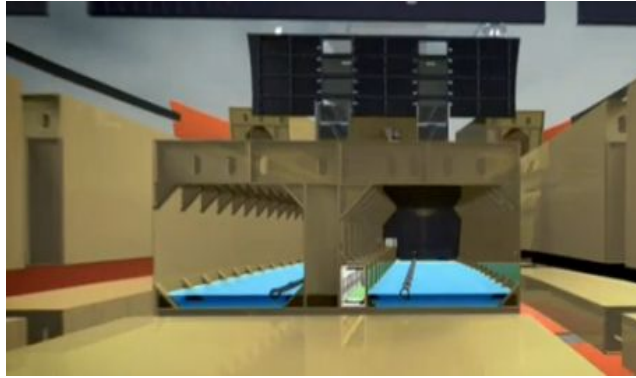
Su funcionamiento consistía en inundar un tanque de agua de lastre de la tortuga sumergiéndose así para acercarse sigilosamente al barco británico y ponerle un explosivo. Para su desplazamiento contaba con dos hélices de tipo de Tornillo de Arquímedes, una horizontal para poder avanzar y otra vertical para la inmersión o emersión. El agua se bombeaba desde el interior y salía a la superficie a una distancia prudente.<sup>16</sup>



*Tortuga USS. Fuente: Submarine History. <http://www.submarine-history.com/NOVAone.htm>*

Hoy en día en los buques se encuentra la versión gigante de tanques de lastre, que en comparación con el primero creado son 350000 veces más grandes. Se encuentran sobre la quilla y bajo la fina capa de acero de la cubierta, formados por miles de placas de acero soldadas, formando así estos compartimentos especiales. Los más grandes tienen 18 veces el tamaño de un autobús escolar, siendo muy resistentes y pudiendo cargar gran cantidad de lastre. Con 43 tanques llenos la cubierta del barco se sumerge bajo el nivel del agua permitiendo de este modo que grandes cargas embarquen.

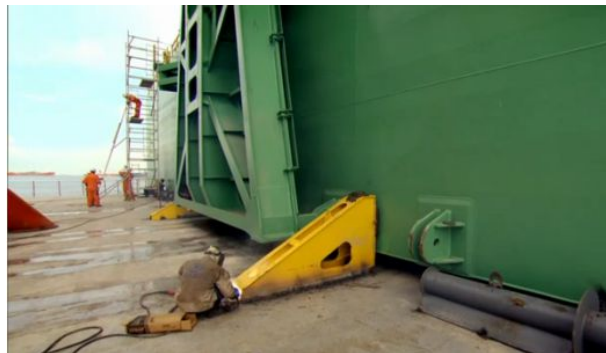
Para iniciar la sumersión el barco empieza a absorber agua mediante 4 agujeros en el fondo del casco, en un minuto hay en el barco un equivalente a mil ballenas llenas de agua, canalizada mediante tubería de un metro de grosor. Una sola fuga en el sistema de lastre y el barco entero podría hundirse.<sup>17</sup>



*Tanques de agua de lastre. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque. <http://www.discoverymax.marca.com/>*

## **4.2- Asegurar la carga**

Antes de salir a navegar, hay que asegurar la carga, y para ello con el buque totalmente emergido, se sueldan anclas especiales llamados cinturones de seguridad a la cubierta del barco. Esto se hace fijándolas sobre el punto fuerte que es la estructura, por lo que se consigue que la carga no se deslice sobre la cubierta en caso de mal tiempo.

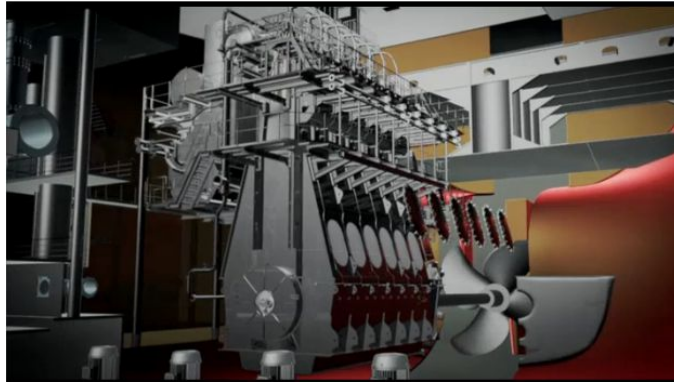


*Fijación de anclas especiales. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque. <http://www.discoverymax.marca.com/>*

Una vez que todo está preparado el buque se dispone a navegar, es ahí donde aparece uno de los principales elementos para que pueda realizar dicha función, el motor.

### **4.3- Motor**

El buque Treasure cuenta con un motor diesel de 2 tiempos que se encuentra en las profundidades de la popa. Tiene el tamaño de una casa, construido con 570 toneladas de acero y que puede funcionar durante 50.000 km sin parar en ningún momento.



*Motor del buque Treasure. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque. <http://www.discoverymax.marca.com/>*

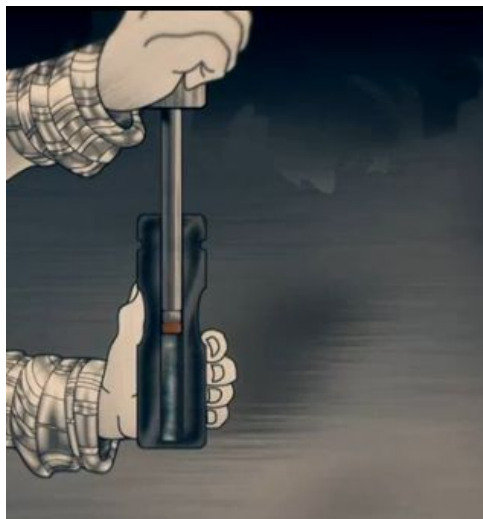
En el núcleo de su diseño hay un antiguo invento del sudeste de Asia, un artilugio llamado pistón de fuego. Consiste en un cilindro hueco que oscila aproximadamente entre 7,5 cm y 15 cm de longitud, con un orificio de 6-7 mm de diámetro, sellado en un extremo y abierto por el otro. Un pistón con un sello hermético circular se introduce en el cilindro. El pistón tiene cuenta con un mango en el extremo para permitir un agarre firme y tiene una muesca en su cara, en la que se coloca un trozo de yesca, como podría ser por ejemplo un hongo yesquero.



*Hongo yesquero. Fuente: Andinia. <http://www.andinia.com/articles>*

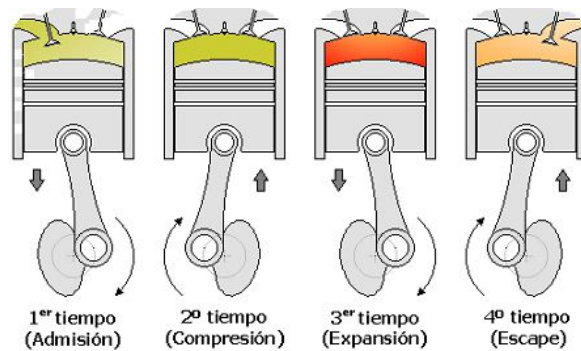
Una vez colocada la yesca se inserta el pistón en el cilindro deslizándolo hacia arriba y hacia abajo en el interior de su carcasa tubular, ejerciendo así presión sobre el aire. Cuando un gas, como lo es aire, es comprimido rápidamente, su temperatura y su

presión aumentan, lo que se conoce como compresión adiabática. El aumento de la temperatura inflama el material en el interior del pistón de fuego, de la misma manera que un motor diesel. Esta operación debe de hacerse a una cierta velocidad, ya que si se realiza lentamente, la temperatura del gas no se eleva lo suficientemente rápido y el calor se escapa. Cuando se hace a la velocidad adecuada, la temperatura del gas se eleva rápidamente hasta unos 250 °C, permitiendo de esta manera la ignición.<sup>18</sup>



*Antiguo pistón de fuego. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque. <http://www.discoverymax.marca.com/>*

El motor del Treasure agranda el pistón de fuego, aplicándole la teoría descrita anteriormente en cada uno de los 6 cilindros con unos pistones de 1,5 toneladas, que comprimen una mezcla de combustible y aire hasta que se calienta y explota. Como se mencionó anteriormente, el buque cuenta con un motor de dos tiempos. Esto significa que una carrera útil tiene lugar en cada revolución del eje del cigüeñal del motor, esto es, que cada embolada alternada es una embolada de encendido. Por otro lado, los motores de cuatro tiempos realizan una carrera útil cada dos revoluciones del eje del cigüeñal del motor. Otra diferencia que existe es que el motor de dos tiempos necesita una bomba o soplante para recargar el cilindro con aire, mientras que el motor de cuatro tiempos, es el mismo cilindro de trabajo realiza este servicio.



Funcionamiento motor diesel de cuatro tiempos. Fuente: Mecánica y Motores.

<http://www.mecanicaymotores.com/el-ciclo-otto.html>

### 4.3.1- Funcionamiento motor diesel de dos tiempos

El ciclo de un motor de dos tiempos empieza cuando el pistón está en el extremo de su carrera (Fig.1), estando enteramente destapados los orificios de toma de aire dispuesto circunferencialmente alrededor de la pared del cilindro, justamente por encima del extremo del pistón. El aire procedente de los soplantes entra en el cilindro a través de esos orificios y abren los gases de salida hacia fuera, a través de la válvula de escape situada en la cabeza del cilindro.

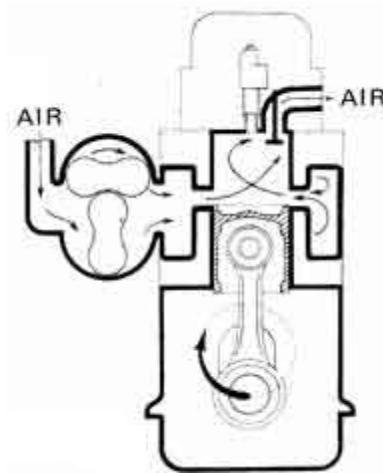


Fig. 1. Fuente: SEALE, J. N., 1983

Cuando el pistón se mueve hacia abajo (Fig. 2) tapa a los orificios de entrada de aire, la válvula de escape se cierra, y el pistón comprime el aire puro cargado a una fracción de su volumen original, a una decimosexta parte y alcanza una presión por encima de las 70 barías.



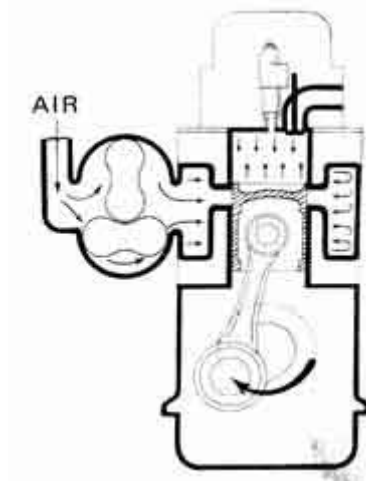


Fig. 2. Fuente: SEALE, J. N., 1983

Justo antes de que el pistón alcance el extremo de su carrera (Fig. 3), el combustible atomizado es pulverizado dentro del cilindro. La alta temperatura del aire comprimido hace arder al combustible pulverizado y las fuerzas de presión resultantes mueven al pistón hacia abajo.

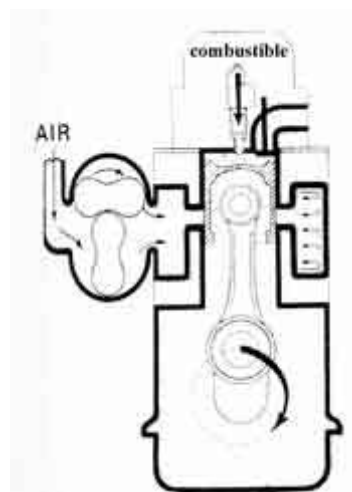


Fig. 3. Fuente: SEALE, J. N., 1983

En la carrera del pistón hacia abajo (Fig. 4), la válvula de salida se abre y el cilindro es recorrido con aire limpio procedente de la bomba de barrido, cuando el pistón destapa las tomas de aire.

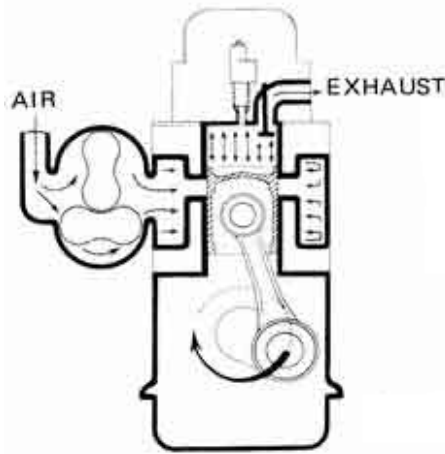
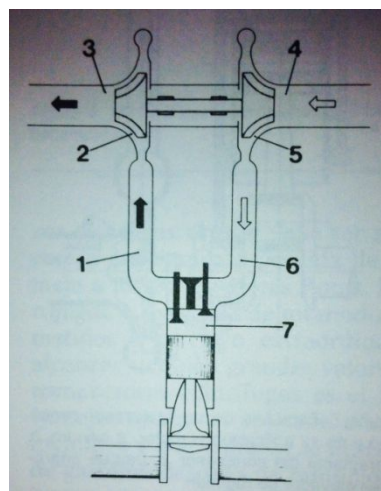


Fig. 4. Fuente: SEALE, J. N., 1983

Este ciclo de combustión completa se repite en cada revolución del eje del cigüeñal.<sup>19</sup>

Para hacer el motor incluso más eficiente el calor exhala gases por encima del suelo donde giran un cargador turbo que empuja incluso más aire al motor. Esto permite al buque atravesar los océanos sin la necesidad de realizar ninguna parada. Producen 19000 caballos que lo transfieren directamente al cigüeñal, impulsando el barco hasta unos 15 nudos de velocidad.<sup>14</sup>

Para hacer el motor incluso más eficiente el calor exhala gases por encima del suelo donde gira un turbocompresor que empuja incluso más aire al motor. También se conoce por el nombre de turbo, y podemos ver su funcionamiento representado en el siguiente esquema.



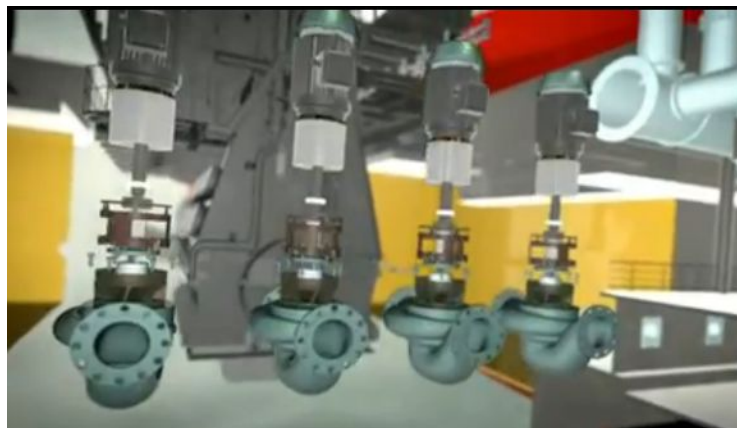
Esquema de funcionamiento de un turbocompresor. Fuente: DE CATRO, M., Junio 1990

Después de la combustión, los gases calientes residuales de la misma tienen abierta la válvula de escape, corren a expansionarse y alcanzan velocidades muy apreciables. Salen por el conducto de escape (1 en el esquema) y en su salida se encuentran con el paso obturado por los álabes de una turbina (2) de fácil giro, a la que tienen que voltear para encontrar el camino de salida representado por el conducto 3. Esta turbina (2) es solidaria un eje a cuyo extremo se halla el compresor centrífugo (5) que gira, por lo tanto, al mismo número de vueltas que lo hace la turbina. En su giro, el compresor (5) recoge el aire de la atmósfera a través del conducto 4 y lo pasa a la cámara (6) que es el conducto de admisión. Cuando la válvula de aspiración se abre, el aire comprimido de esta forma pasa a penetrar en el cilindro con una sobrepresión que determina el mayor llenado del volumen del mismo. De este modo la combustión podrá hacerse con abundante cantidad de aire lo que determinará su mayor rendimiento o su mayor potencia si en este último caso se aporta una mayor proporción de combustible.

Un turbo es una máquina simple, pero antes hay que hacer ciertas consideraciones, ya que las condiciones de funcionamiento de un turbo son severas. Por ejemplo, su velocidad de giro ha de ser muy elevada y hay que encontrarla entre 1.300 y 2.000 revoluciones por segundo. Pero además tiene que soportar las altas temperaturas de los gases de escape, que pueden llegar a ser de unos 750 °C. Por todo ello se deben dar en los turbocompresores algunas de las siguientes garantías. En primer lugar, un diseño muy acertado de los componentes en el que se atiende a un engrase muy activo para poder soportar las vertiginosas velocidades de giro y que actúe como refrigerante que reduzca las altas temperaturas de escape. En segundo lugar se necesitará utilizar materiales muy seleccionados y especiales y, por último, una tecnología muy específica sobre este tipo de construcciones.<sup>20</sup>

## **4.4- Funcionamiento de las bombas**

El barco posee tecnología inteligente escondida dentro que ayuda a mantener el nivel mientras lo elevan. Bajo la cubierta tiene 4 bombas gigantes que trabajan al unísono para bombear agua de los tanques. En el corazón amplias varas de rotores, 80 kg de acero de alta dureza, giran a 1200 rpm para acelerar el agua y devolverla al océano, 1000 litros/segundo. El buque sale a la superficie 3 cm/min con la carga sujeta sobre él.<sup>17</sup>

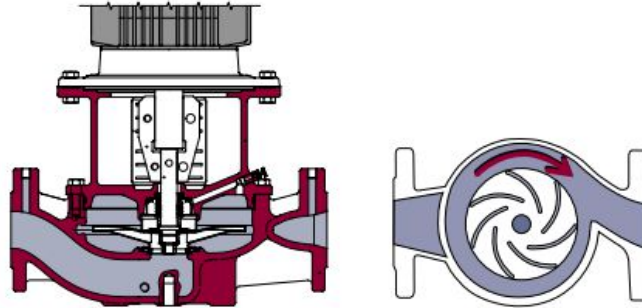


*Bombas centrífugas. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque. <http://www.discoverymax.marca.com/>*

Para realizar esa operación se utilizan las denominadas bombas centrífugas, que hoy en día son las más utilizadas, desde que las inventara en 1689 el físico Denis Papin. Están basadas en un principio muy simple: el líquido se dirige al centro del impulsor y por medio de la fuerza centrífuga se arroja hacia la periferia de los impulsores. Su construcción es razonablemente económica, robusta y simple, y su alta velocidad hace que sea posible conectar la bomba directamente a un motor asíncrono. La bomba centrífuga proporciona un caudal constante de líquido y se puede regular fácilmente sin producir daños a la bomba.

En 1689, el físico Denis Papin inventó la bomba centrífuga. Hoy en día este tipo de bomba es el más utilizado en todo el mundo. La bomba centrífuga está basada en un principio muy simple: La bomba centrífuga proporciona un caudal constante de líquido y se puede regular fácilmente sin producir daños a la bomba. En la siguiente imagen se puede apreciar el caudal del líquido a través de la bomba, en el que la entrada de la bomba conduce el líquido al centro del impulsor giratorio y desde allí

se lanza hacia la periferia. Esta construcción ofrece un alto rendimiento y es el tipo de bomba que se encuentra a bordo del buque del que estamos estudiando.<sup>21</sup>

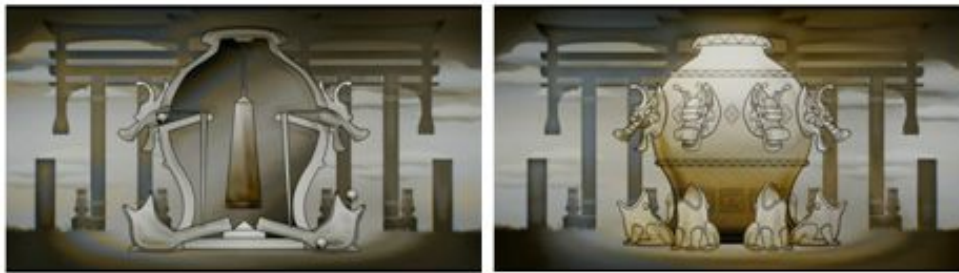


*Caudal de líquidos a través de la bomba. Fuente: Grundfos.*  
<https://es.grundfos.com/Formaci%C3%B3n%20en%20bombas>

## 4.5- Sensores

Para controlar los movimientos del buque durante la travesía, este cuenta con una tecnología pionera escondida dentro, que avisa del más mínimo movimiento. Los órganos del equilibrio del Treasure, notan todos sus movimientos, son sensores de movimiento minúsculos. En su corazón hay unos peines de metal microscópicos con dientes que se entrelazan cuando el barco hace un movimiento brusco, los dientes se juntan y dan una señal.<sup>17</sup>

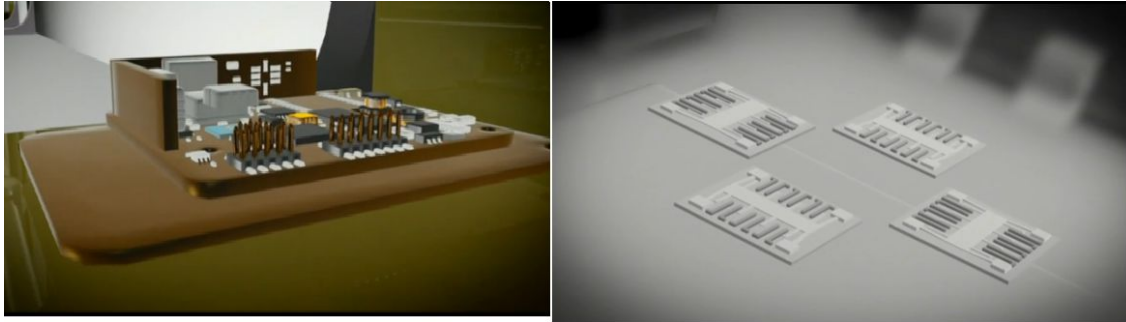
El diseño de este extraordinario invento se basa en el primer detector de terremotos en el mundo, creado en 132 d.C en la antigua China, un péndulo de bronce de 2 metros suspendido dentro de una urna de bronce, adornada con 8 cabezas de dragón y rodeada de ocho sapos de bronce, incluso las ondas imperceptibles de un terremoto mueven el péndulo, que hace que salgan bolas de bronce de las fauces de los dragones, suene una alarma y señale la dirección del terremoto.<sup>22</sup>



*Primer detector de terremotos en el mundo. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque.*

*<http://www.discoverymax.marca.com/>*

Pero el Treasure ha cambiado el péndulo por sensores microscópicos que detectan hasta los menores movimientos del barco y el cargamento, envían los datos a través de 150 metros de cables de alta velocidad hasta el ordenador del barco, haciendo consciente a la nave de su estabilidad y de los alrededores.



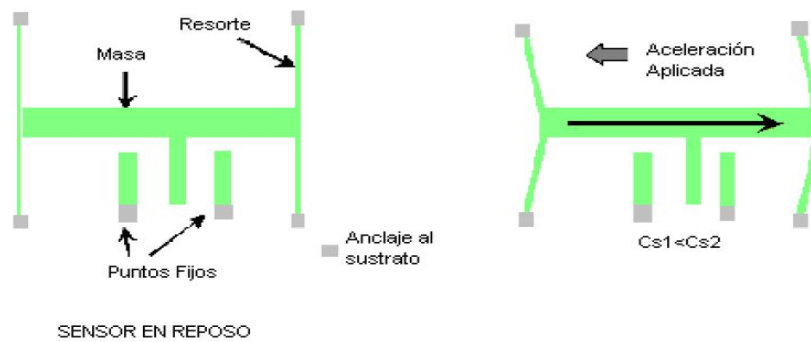
*Sensor microscópico. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque. <http://www.discoverymax.marca.com/>*

El sensor microscópico que utiliza el buque se trata de un acelerómetro capacitivo. Este modifica la posición relativa de las placas de un microcondensador cuando está sometido a aceleración. El movimiento paralelo de una de las placas del condensador hace variar su capacidad. Los acelerómetros capacitivos basan su funcionamiento en la variación de la capacidad entre dos ó más conductores entre los que se encuentra un dieléctrico, en respuesta a la variación de la aceleración.

Los sensores capacitivos en forma de circuito integrado en un chip de silicio se emplean para la medida de la aceleración. Su integración en silicio permite reducir los problemas derivados de la temperatura, humedad, capacidades parásitas, terminales, alta impedancia de entrada, etc.

Cuando se observa el sensor micromecanizado parece estar formado en formas de "H". Los delgados y largos brazos de la "H" están fijos al sustrato. Los otros elementos están libres para moverse, lo forman una serie de filamentos finos, con una masa central, cada uno actúa como una placa de un condensador variable, de placas paralelo.

La aceleración o desaceleración en el eje sensor, ejerce una fuerza a la masa central. Al moverse libremente, la masa desplaza las minúsculas placas del condensador, provocando un cambio de capacidad. Este cambio de capacidad es detectado y procesado para obtener un voltaje de salida.<sup>23</sup>



Esquema acelerómetro capacitivo. Fuente: Universidad de Sevilla. <http://bibing.us.es/>

El dispositivo realmente trabaja en un lazo de control electrónico de fuerza/balanceo. Este lazo de control evita el movimiento de la masa en aceleración, por la aplicación de una fuerza igual pero opuesta creada por la aplicación de un voltaje en las placas del condensador. Este voltaje aplicado es directamente proporcional a la aceleración.

#### 4.6- Estructura del buque

Para evitar que el buque se incline bajo el peso de su cargamento sus constructores le dieron fuerzas extra, equiparon su vientre con una ingeniosa invención que se remonta al antiguo Egipto.

Cuando un faraón necesitaba transportar dos obeliscos de 320 toneladas por el río Nilo, los constructores de barcos se dieron cuenta que las simples balsas de junco de entonces se hundirían con el peso de la piedra, por eso diseñaron un barco con un resistente esqueleto de madera en su interior.

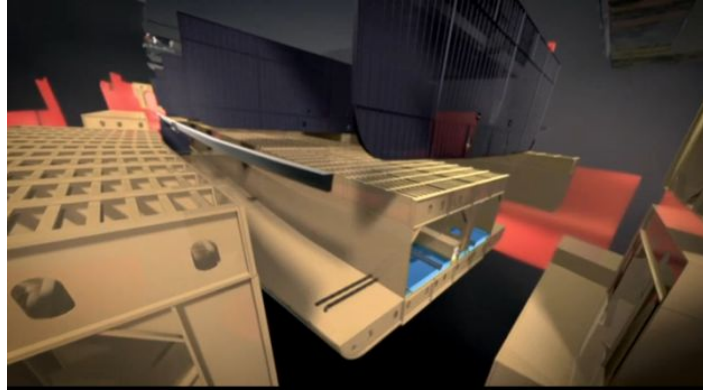


Esqueleto de madera. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque. <http://www.discoverymax.marca.com/>

Ese esqueleto hizo a la embarcación ligera, pero excepcionalmente fuerte y flotante, fue el primer mega buque de carga en el mundo. El Treasure lleva la idea del



esqueleto de ese barco hasta el extremo. Los ingenieros insertaron 57 mamparos de acero en su vientre, junto con los tanques de lastre y una cubierta reforzada, le da a la embarcación una firmeza colosal para enfrentarse a las fuerzas de los océanos.<sup>17</sup>

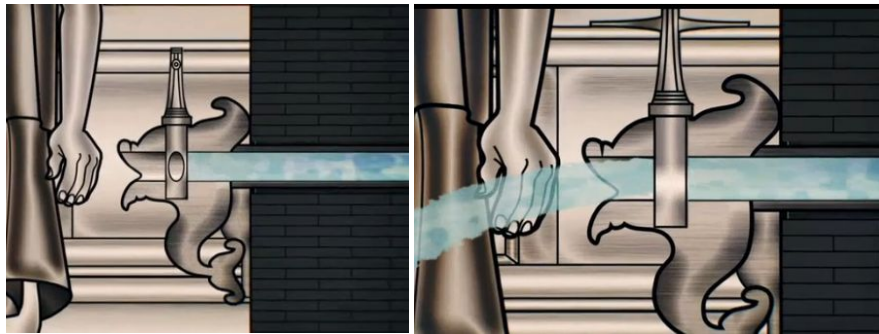


*Vista de la distribución de los mamparos junto a los tanques de lastre. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque.  
<http://www.discoverymax.marca.com/>*

## 4.7- Válvulas de mariposa

La clave para mantener el barco estable mientras se sumerge está en las profundidades de su popa. Dentro de la sala de control del barco hay un panel que envía la señal a la sala de máquinas, ahí unas bombas hidráulicas se activan e impulsan una ola de presión a través de las arterias hidráulicas del barco. Esto activa el invento crucial que controla el agua que entra en el barco, una válvula de mariposa, una pieza crucial para la misión que tiene sus orígenes en la antigua roma.

Los romanos construyeron acueductos enormes para abastecer la ciudad de agua. Los acueductos encauzaban millones de litros de agua hacia las casas, fuentes y baños de Roma cada día. Pero esta enorme riada de agua tenía que controlarse, así que los ingenieros romanos diseñaron un sencillo dispositivo que podía parar o iniciar el flujo sólo girando el grifo, la válvula de mariposa.

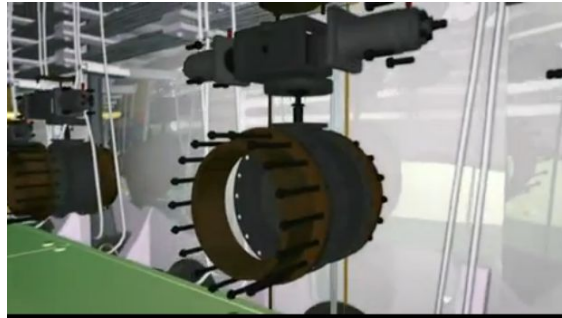


Válvula de mariposa. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque. <http://www.discoverymax.marca.com/>

Las válvulas de mariposa son unas válvulas muy versátiles. Tiene una gran capacidad de adaptación a las múltiples solicitaciones de la industria, tamaños, presiones, temperaturas, conexiones, etc. a un coste relativamente bajo. En un principio se usaban en instalaciones a poca presión de servicio, pero mejoras tecnológicas permitió evolucionar la válvula de mariposa a usos de altas prestaciones.

El funcionamiento básico de las válvulas de mariposa es sencillo pues sólo requiere una rotación de 90º del disco para abrirla por completo. La operación es como en todas las válvulas rotativas rápida. Poco desgaste del eje, poca fricción y por tanto un menor par, que resulta en un actuador más barato. El actuador puede ser manual, oleohidráulico o motorizado eléctricamente, con posibilidad de automatización.<sup>24</sup>

El Treasure usa estas válvulas para controlar cuidadosamente sus tanques de lastre. Hay 120 válvulas de mariposa esparcidas por todo el barco, llenan los tanques en un orden concreto, desde popa hasta proa, para asegurarse de que el barco baja sin hundirse.



*Válvulas del buque Treasure. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque. <http://www.discoverymax.marca.com/>*

## **4.8- Sensores de lastre**

Se ha aplicado otra innovación a este barco para mantenerlo nivelado mientras desciende, 43 dispositivos digitales llamados sensores de lastre. Estos indican a la tripulación exactamente la cantidad de agua que está entrando, cada tanque tiene uno. Una bomba minúscula expulsa aire a través de una tubería hasta el tanque, al medir cuanta fuerza necesita para empujar ese aire el sensor puede calcular la cantidad de agua que hay en el tanque. Con los 43 sensores trabajando en perfecta armonía se controla con precisión cómo se llenan los tanques, se tarda 4 horas en sumergir el barco.<sup>17</sup>



*Sensores de lastre. Fuente: Supermáquinas: Súper-buque. <http://www.discoverymax.marca.com/>*

Una vez que el buque se encuentra sumergido, se procede a retirar la carga de la cubierta ayudado de unos remolcadores. Con la carga fuera del barco este ya puede volver a emerger dando por finalizado su trabajo, a la espera de firmar un nuevo contrato para el transporte de una nueva carga.

## **Conclusión**

Como se ha visto a lo largo del trabajo, estos buques no son como los demás, comparten similitudes pero su trabajo tan específico los hace únicos. Son capaces de realizar transportes que para otros serían impensables, han evolucionado mucho desde sus inicios haciéndolos indispensables. Han innovado en tecnología y sus capacidades de carga, pero lo más importantes, es sin duda en la seguridad.

Antes de su aparición, los transportes que realizan hoy en día eran impensables, tan sólo algunas cargas podían ser transportadas con el uso de remolcadores de altura, exponiéndolas a las inclemencias del tiempo sufriendo muchos daños materiales o incluso la pérdida. Todo esto hoy día ha cambiado, las grandes cargas transportadas descansan seguras sobre la cubierta de estos buques que avanzan firmemente por los océanos superando cualquier obstáculo en su camino. Esto se debe a muchos años de experiencias y estudios realizados, pero no ha sido fácil llegar hasta este punto después muchos éxitos y también algún fracaso, que ponía en duda todo lo que se había conseguido hasta ese momento.

Por otra parte, su compleja estabilidad trae de cabeza a las sociedades encargadas de este tema. Esto es debido a las muchas y distintas cargas que transportan estos buques, no se le puede aplicar una estabilidad estándar, para cada carga hay que realizar un estudio previo con las características de la misma para asegurar la estabilidad del buque en todo momento.

Por último, sólo queda destacar el gran trabajo que realizan estos buques adaptándose a todo tipo de cargas. En la actualidad su principal mercado es el de transporte de plataformas petrolíferas, que cada vez son mayores obligando a los buques a que sigan mejorando sus prestaciones continuamente. Esto seguirá así hasta que se empiecen a agotar las reservas de petróleo, volviendo a obligarlos a adaptarse a nuevos mercados, lo que implica que tendrán que seguir evolucionando dependiendo del momento ya que el futuro es incierto.

## **Bibliografía**

- 1- V.PACKARD, W., *Sea-Trading. The Ships*. Volume 1. First Published October 1984. ISBN 0 905045 64 5
- 2- COLOMAR LIX, G., *Los semisumergibles de cargas pesadas*. 2009
- 3- AGUILAR VÁZQUEZ, J. L., *Estabilidad de un buque ultra heavy lift carrier*. Abril 2012
- 4- IMO. *Revision of intact stability code*. 2 June 2006
- 5- Código Internacional de Estabilidad sin Averías 2008, adoptado el 4 de diciembre de 2008 mediante Resolución MSC 267(85).
- 6- ROJO GARCÍA, S., *Buques semisumergibles*. Marzo 2012
- 7- *Popa*, [Portal web], año [04 de mayo de 2015]. URL: <http://www.popa.com.br/>
- 8- OMI. *Resoluciones y otras decisiones*. 1991. ISBN 92-801-3454-X
- 9- VILLAR ARENAL, J. M., *Posicionamiento dinámico: principios, características y operaciones*. Octubre 2012
- 10- OMI. *Código de cargas a granel*. Edición 2005. ISBN-13 978-92-801-0112-6
- 11- MELÓN RODRÍGUEZ, E. et al, *Contaminación marina por aguas de lastre de los buques*. 2003. ISBN: 84-95847-43-4
- 12- SALAMANCA GIMÉNEZ, A. et al, *Contaminación biológica del mar por el agua de lastre de los buques y los medios para evitarla*. Junio 2013
- 13- ROMERO GARCÍA, L., *Estudio del dispositivo para el tratamiento de aguas de lastre*. 2012
- 14- *Dockwise*, [Portal web], año [29 de marzo de 2015]. URL: <http://www.dockwise.com/>
- 15- MARTENS, HANS; “Update on conversions in China”. *Dockwiser*, N°3 June 2008: pp. 40-41
- 16- *Submarine History*, [Portal web], año [10 de abril de 2015]. URL: <http://www.submarine-history.com/>
- 17- *Discovery Max*, [Portal web], año [12 de marzo de 2015]. URL: <http://www.discoverymax.marca.com/>
- 18- *Docsetools*, [Portal web], año [27 de abril de 2015]. URL: <http://docsetools.com/>
- 19- SEALE, J. N., *Motores diesel*. Edición Paraninfo, 1983. ISBN 84-283-1258-3

20- DE CATRO, M., *Turbo, sobrealimentación de motores*. Edición CEAC, junio 1990. ISBN 84-329-1208-5

21- *Grundfos Industry*, [Portal web], año [20 de abril de 2015]. URL: <https://es.grundfos.com/>

22- *Historia de las civilizaciones*, [Portal web], año [03 de mayo de 2015]. URL: <http://www.historiadelascivilizaciones.com/>

23- *Universidad de Sevilla*, [Portal web], año [10 de mayo de 2015]. URL: <http://bibing.us.es/>

24- *Valvias*, [Portal web], año [15 de mayo de 2015]. URL: <http://valvias.com/>