



# TRABAJO FIN DE GRADO

Curso 2014-2015

## **POSICIONAMIENTO DINÁMICO. DIFERENTES APLICACIONES.**

**Tutor: Juan Antonio Rojas Manrique**

**Alumna: María Barroso Arteaga**

**Grado: Ingeniería Marina/Náutica y Transporte Marítimo/Radioelectrónica Naval**



# Índice

	<b>Pág.</b>
I.INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	5
1.  OBJETIVO GENERAL .....	6
2.  OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES.....	7
1.  SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO.....	8
1.1. Definición .....	8
1.2. Seis grados de libertad.....	9
2.  REFERENCIAS HISTÓRICAS .....	13
2.1. Proyecto Mohole .....	15
2.2. Automatización del Posicionamiento Dinámico.....	16
2.3. Sistema DP Kongsberg Simrad .....	18
2.4. Sistemas de Alstom.....	19
3.  SISTEMAS BÁSICOS DE DISEÑO.....	20
3.1. Redundancia .....	20
3.2. Diseño .....	22

3.3. Componentes principales .....	26
3.3.2. El Operador DP.....	27
4. SISTEMAS DE REFERENCIA .....	30
4.1. DGPS, GPS diferenciales.....	30
4.2. GLONASS .....	32
4.3. Hidroacústicos (HPR).....	33
4.4. Taut Wire (Sistema de cable tenso).....	39
4.5. Fanbeam® .....	41
4.6. CyScan .....	42
4.7. Artemis.....	44
4.8. DARPS.....	44
4.9. RADius.....	45
4.10. RadaScan.....	46
5. TIPOS DE BUQUE .....	47
5.1. Buques especializados en operaciones en hielo (Ice-Class Vessels) .....	48
5.2. Tendido de cables .....	49
5.3. Buques especializados en colocación de tuberías .....	52
5.4. Tendido de cables o tuberías.....	55
5.5. Operaciones de dragado.....	56

5.6. Buceo y apoyo a operaciones submarinas .....	57
5.7. Buques de perforación.....	67
5.8. Shuttle Tankers. Buques Cisterna o Lanzaderas.....	78
5.9. Manejo de anclas en remolcadores y buques de suministro de plataformas .	82
5.10. Buques de construcción y barcasas grúa.....	83
5.11. Barcasas de acomodación y buques de servicios .....	83
5.12. Buques de pasaje .....	85
5.13. Investigación e inspección .....	86
5.14. Buques militares .....	86
5.15. Otras aplicaciones.....	87
6. LEGISLACIÓN .....	89
6.1. Curso básico .....	91
6.2. Curso avanzado.....	92
IV. RESULTADOS.....	94
1. ÁNGELES ALVARIÑO.....	95
2. LUZ DE MAR .....	98
V. CONCLUSIONES.....	102
VI. BIBLIOGRAFÍA .....	104

## Imágenes

	Pág.
<b>Imagen 1: Representación de fuerzas que afectan a un buque.....</b>	<b>7</b>
<b><i>Imagen 2: Pitch (Cabeceo).....</i></b>	<b>9</b>
<b><i>Imagen 3: Roll (Balanceo).....</i></b>	<b>10</b>
<b><i>Imagen 4: Heave- (Elevación-Descenso).....</i></b>	<b>10</b>
<b><i>Imagen 5: Movimientos en el plano horizontal.....</i></b>	<b>11</b>
<b><i>Imagen 6: Remolcador “Luz de Mar” .....</i></b>	<b>13</b>
<b><i>Imagen 7: El buque “Cuss 1” .....</i></b>	<b>16</b>
<b><i>Imagen 8: Simulador Kongsberg.....</i></b>	<b>17</b>
<b><i>Imagen 9: Operador DP en Simulador Alstom.....</i></b>	<b>18</b>
<b><i>Imagen 10: Esquema de Clases en un Sistema DP.....</i></b>	<b>19</b>
<b><i>Imagen 11: Sistema Básico DP 1 (DP Clase 1).....</i></b>	<b>22</b>
<b><i>Imagen 12: Sistema Básico DP 2 (DP Clase 2).....</i></b>	<b>23</b>
<b><i>Imagen 13: Sistema Básico DP 3 (DP Clase 3).....</i></b>	<b>24</b>
<b><i>Imagen 14: Esquema Básico DP.....</i></b>	<b>26</b>
<b><i>Imagen 15: Operadores DP durante una guardia en el puente.....</i></b>	<b>28</b>
<b><i>Imagen 16: Imagen 16: Representación básica; GPS y satélites.....</i></b>	<b>30</b>

<i>Imagen 17: Representación del funcionamiento de un sistema SSBS.....</i>	<i>33</i>
<i>Imagen 18: Representación del funcionamiento de un sistema LBL.....</i>	<i>34</i>
<i>Imagen 19: Representación del funcionamiento de un sistema SBL.....</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 20: Línea Base Corta, larga y súper corta.....</i>	<i>36</i>
<i>Imagen 21: Representación del funcionamiento de un Tawt Wire.....</i>	<i>39</i>
<i>Imagen 22: Equipo Fan Beam.....</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 23: Sensor de radar láser CyScan.....</i>	<i>42</i>
<i>Imagen 24: Sistema RADius- Relative Position Reference System.....</i>	<i>44</i>
<i>Imagen 25: Sistema RadaScan completo.....</i>	<i>46</i>
<i>Imagen 26: Rompehielos “HMS Protector” .....</i>	<i>48</i>
<i>Imagen 27: Representación de un tendido de cable en el lecho marino.....</i>	<i>50</i>
<i>Imagen 28: Imagen de un Buque Cablero. “Norlift” .....</i>	<i>51</i>
<i>Imagen 29: Representación de buque durante tendido de tubería.....</i>	<i>52</i>
<i>Imagen 30: Esquema de métodos utilizados en el tendido de tuberías.....</i>	<i>53</i>
<i>Imagen 31: Buque Lewek Constellation.....</i>	<i>54</i>
<i>Imagen 32: Representación de un buque durante la excavación.....</i>	<i>55</i>
<i>Imagen 33: Ejemplo de un buque de dragado.....</i>	<i>56</i>
<i>Imagen 34: Esquema de un buque de apoyo de buceo.....</i>	<i>58</i>

<i>Imagen 35: Imagen del dispositivo “Wet-Bell”</i> .....	59
<i>Imagen 36: Campana de buceo de Salvamento Marítimo</i> .....	61
<i>Imagen 37: buque de apoyo para buceo</i> .....	62
<i>Imagen 38: Representación de un buque de apoyo con “Moonpool”</i> .....	64
<i>Imagen 39: Ensco DS 1</i> .....	69
<i>Imagen 40: Buque de proa invertida</i> .....	72
<i>Imagen 41: Deformación que sufre la tubería ascendente debido a las corrientes</i> .....	77
<i>Imagen 42: Buque “Navion Scandia”</i> .....	80
<i>Imagen 43: Imagen del remolcador de altura “Siem Sapphire”</i> .....	82
<i>Imagen 44: Buque “Edda Fides”</i> .....	84
<i>Imagen 45: El Buque “Mein Schiff 3” en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife</i> .....	85
<i>Imagen 46: La plataforma “Sea Launch Odysy”</i> .....	88
<i>Imagen 47: Esquema para la formación de Operadores DP</i> .....	90
<i>Imagen 48: Rov Liropus 2000</i> .....	96
<i>Imagen 49: El Buque Ángeles Alvariño</i> .....	97
<i>Imagen 50: Buque de Salvamento Marítimo “Luz de Mar”</i> .....	99
<i>Imagen 51: “Luz de Mar” durante una operación</i> .....	100
<i>Imagen 52: Buque Luz de Mar en navegación</i> .....	101



# **I. INTRODUCCIÓN**

A lo largo del trabajo veremos qué ventajas, peculiaridades y servicios ofrece este tipo de sistemas, además de los principios por los que se rige, los elementos de los que necesita aportación para un correcto funcionamiento, y sus diferentes aplicaciones.

En los principios de este sistema, la capacidad de los equipos se limitaba casi exclusivamente a los buques dedicados a la industria de alta mar, sin embargo, en los últimos años, muchas otras áreas de la navegación comercial, han empezado a utilizar estas técnicas.

Una razón para ello es la tendencia de construcción de los buques modernos que cuentan con un sistema de control totalmente integrado, combinando todas las funciones de vigilancia y control. El Sistema DP se describe como una integración de una variedad de funciones de los buques (posición y rumbo de referencia, propulsión, energía, medio ambiente), por lo que resulta relativamente sencillo, barato y ventajoso, incluir un equipo con capacidad DP en el diseño.

La tecnología DP ha cambiado y se ha desarrollado de manera rápida. El número de personal envuelto en las operaciones crece continuamente, y se ha conseguido una enorme experiencia en el sector, puesto que los primeros sistemas fueron creados hace aproximadamente cincuenta años. Sin embargo, un gran número de personal es nuevo en el uso de las técnicas de DP, y el aprendizaje y entrenamiento es el principal requerimiento de la industria.

Es importante señalar que “The Nautical Institute”, se ha visto envuelto en la enseñanza y cualificación de los Operadores DP desde los principios de este sistema.

Con este trabajo se intenta destacar la importancia que han adquirido los nuevos sistemas creados para la industria naval, que tratan de facilitar las labores de los

marinos, dejando al margen las labores típicas que anteriormente podrían suponer un problema para la navegación o la realización de ciertos trabajos.

## **Abstract**

Throughout this project we will see what advantages, features and services of this kind of equipments, and the principles governing it, the elements that need inputs for correct operation, and different applications.

The principles of this system, the equipment capacity was limited almost exclusively to vessels engaged in offshore industry, however, in recent years, many other areas of commercial navigation, have started using these techniques.

One reason for this trend is the construction of modern ships that have a control system fully integrated, combining all functions of supervision and control. The DP system is described as an integration of a variety of functions vessels (reference position and heading, propulsion, energy, environment), making it relatively simple, cheap and advantageous to include a team with the ability DP design.

DP Technology has changed and developed quickly. The number of staff involved in operations is continually growing and has achieved huge experience in that sector, since the systems were first created about fifty years ago. However, a large number of new staff in the use of DP techniques, and learning and training is the main requirement of the industry.

It is important to note that "The Nautical Institute" has been involved in teaching and qualification of DP Operators from the principles of this system.

This work seeks to highlight the importance acquired new set for the shipbuilding industry, which seek to facilitate the work of marine systems, leaving aside the typical tasks that previously could pose a problem for navigation or performing certain work.

## **II. OBJETIVOS**

## **1. OBJETIVO GENERAL**

Profundizar en el funcionamiento y los principios básicos por los que se rige un sistema de Posicionamiento Dinámico para un uso efectivo del equipo y su aplicación práctica al Salvamento Marítimo.

## **2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar acerca del Posicionamiento Dinámico y sus posibilidades en la industria marítima, así como su aplicación en diferentes campos de la misma, como pueden ser las extracciones petrolíferas, operaciones de apoyo o buques de pasaje.
- Profundizar en los conocimientos adquiridos que en el curso de iniciación al Posicionamiento Dinámico e indagar en los términos específicos, pudiendo adquirir las ideas principales de este tipo de técnica.
- Conocer las aplicaciones del sistema a lo largo del tiempo, conforme avanza la tecnología, y las funciones que cumple en cada tipo de operación o maniobra; Cuál es el fin de una instalación de este tipo, si cumple con los requisitos mínimos y si resulta rentable.
- Revisión de los principales sistemas de referencia.
- Profundizar en la legislación y los procedimientos aplicados a la formación para llevar a cabo la técnica.
- Adaptación de esta técnica a los estudios.

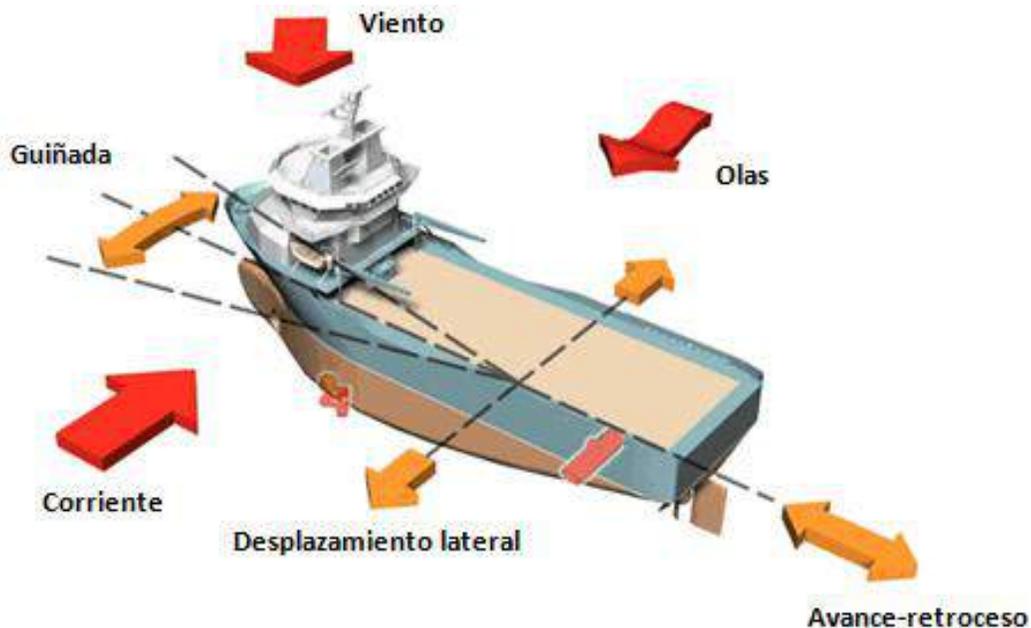
### **III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES**

## 1. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO

### 1.1. Definición

El Posicionamiento dinámico de buques, o Dynamic Positioning (DP), es una técnica de posición de un barco en un punto fijo, o incluso, dentro de unos límites establecidos previamente, dependiendo del trabajo que se vaya a realizar, independientemente de las fuerzas a las que se vea afectado, ya sea viento, corriente, etc.

Imagen 1: Representación de fuerzas que afectan a un buque



Fuente: *Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE*

En la imagen anterior podemos observar una representación de un buque que se ve afectado por las corrientes, vientos y olas, y los movimientos que estos efectos provocan, y que deberán ser corregidos por el sistema DP.

El Posicionamiento Dinámico es una técnica ideada para la realización de trabajos, sobre todo en alta mar, donde los sistemas tradicionales no permiten hacer cierto tipo

de maniobras y tareas, debido a que, las profundidades donde se desean realizar las prácticas no permiten un anclaje convencional, o por el hecho de que, ciertas operaciones requieren tanta precisión que para que pueda llevarse a cabo de forma efectiva y segura, es necesario que el buque permanezca en la misma posición durante el periodo de tiempo que dure el trabajo.

Gracias a los sistemas de referencia podemos controlar la situación del buque para mantener la posición durante un trabajo. Cada equipo de posicionamiento dinámico debe tener al menos tres de estos sistemas, que explicaremos más adelante. Dependiendo de la cantidad de sistemas que haya en el barco, el equipo será designado como DP Clase 1, DP Clase 2 o DP Clase 3. El equipo Clase 1 contará con tres sistemas de referencia diferentes, pero una sola unidad de cada uno de ellos. En el equipo Clase 2, tres sistemas y dos unidades cada uno. Lo mismo sucede con el equipo Clase 3. La diferencia entre estos equipos es que, aun existiendo un fallo en uno de los sistemas, al duplicarse o triplicarse las unidades, no se perdería la posición. Cuando un sistema de Posicionamiento Dinámico cuenta con más de un equipo de cada sistema de referencia, hablamos de “Redundancia”.

Los sistemas más antiguos, muy rudimentarios fueron creados y ya en uso en la década de 1960, para buques de perforación en aguas profundas, pero la tecnología no llegó hasta finales de 1970 y principios de 1980. En la actualidad existen aproximadamente 3.000 buques DP.

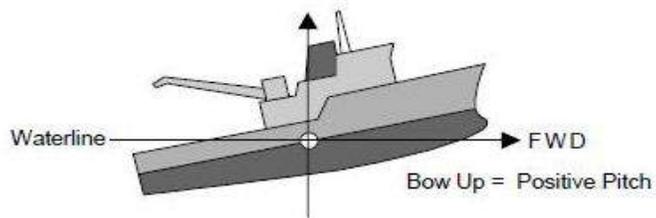
## **1.2. Seis grados de libertad**

Los obstáculos a los que se enfrenta un buque en la mar deben ser controlados por un sistema DP. Las condiciones meteorológicas a las que está expuesto un buque, como los vientos o las corrientes, son las que provocan los movimientos, tanto en el eje vertical como en el horizontal. Los “Seis Grados de Libertad” de un buque se refieren a

la capacidad de moverse en un espacio tridimensional, es decir, de arriba-abajo, babor-estribor, avante-atrás, que son movimientos de traslación en ejes perpendiculares, además de la guiñada, cabeceo y balanceo, movimientos de rotación en ejes perpendiculares.

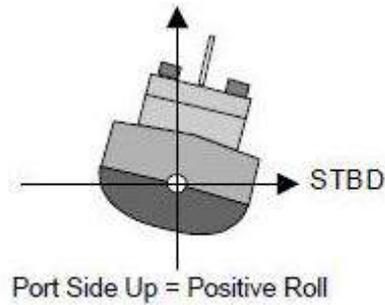
En la siguiente imagen veremos una representación del movimiento de rotación sobre una línea horizontal transversal, conocida como el “cabeceo” de un buque.

**Imagen 2: Pitch (Cabeceo).**

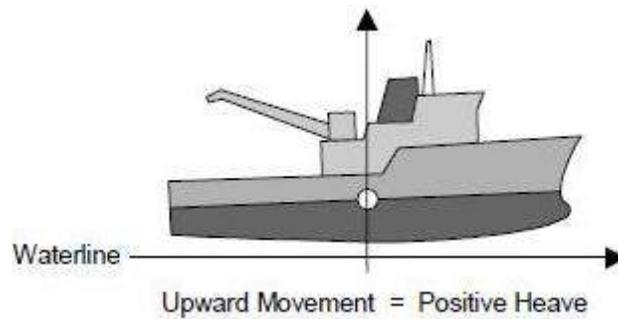


A continuación, el movimiento de rotación sobre una línea horizontal longitudinal, conocido como balanceo.

**Imagen 3: Roll (Balanceo).**



**Imagen 4: Heave- (Elevación-Descenso).**



**Fuente: Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE**

En la imagen anterior, el movimiento de traslación sobre el plano vertical, Elevación-descenso, o arfada.

La respuesta de la embarcación a estas fuerzas, es decir, a sus cambios en la posición, rumbo y velocidad, se mide por los sistemas de referencia, el girocompás y los sensores de referencia de posición.

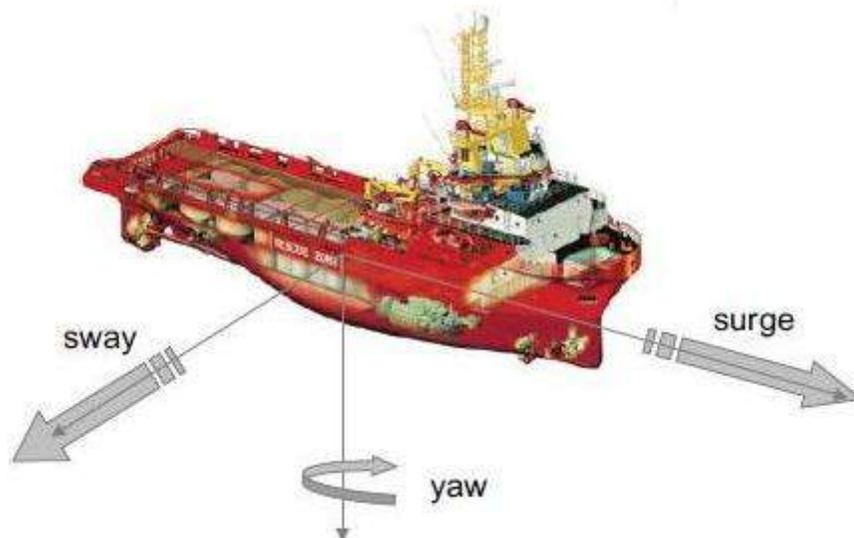
Las mediciones de los sistemas de referencia se corrigen para el balanceo y cabeceo usando las lecturas de los sensores de referencia vertical. La velocidad y dirección del viento son medidas por los sensores de viento. Las fuerzas se calculan y se aplican para mantener el buque en la posición requerida, para superar las fuerzas ambientales, o para mover el barco según sea necesario.

Un buque está sometido, como dijimos anteriormente, a seis grados de movimiento, 3 de translación y 3 de rotación.

Un sistema DP trata principalmente de controlar los movimientos en el plano horizontal:

- Guiñada (Yaw)
- Avance y retroceso (Surge)
- Desplazamiento lateral (Sway)

**Imagen 5: Movimientos en el plano horizontal.**



**Fuente: Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE**

## 2. REFERENCIAS HISTÓRICAS

El DP ha evolucionado por diferentes razones, como pueden ser, la rentabilidad económica y porque los sistemas convencionales, como los amarres, no eran viables en el tipo de trabajos que se pretendían llevar a cabo.

Un buque con Sistema de Posicionamiento dinámico tiene la posibilidad de realizar maniobras y operaciones que no se podrían ejecutar con un buque convencional, por varias razones:

- El beneficio que conlleva el ahorro de tiempo en determinadas operaciones supone, por consiguiente, un ahorro en el costo de los servicios. Un claro ejemplo de esto sería un buque de apoyo de buceo, que debe trabajar en los cuatro costados de una plataforma. Cuando el trabajo se ha acabado en un costado, el barco puede moverse rápidamente bajo control del DP al siguiente lado, ahorrando de esta forma el tiempo que supone el manejo de las anclas.
- Lo mismo sucede en el caso de las prospecciones petrolíferas, así como las perforaciones en aguas profundas. Por lo general, las extracciones de petróleo se realizan en aguas muy profundas, en las que es muy difícil o imposible realizar operaciones, pues es imposible un amarre.

Los precursores de los actuales sistemas no tenían las ventajas con las que contamos hoy en día, pues actualmente podemos apoyarnos en la ayuda de los equipos automáticos, sensores y otros sistemas que facilitan las operaciones, pero anteriormente las maniobras eran controladas, hasta la llegada de las tecnologías, por un operador mediante controles manuales y mantenían la posición por referencias visuales. Actualmente, se utilizan diferentes tecnologías como ayuda en las guardias y maniobras, que facilitan el trabajo al operador.

En España, el Ministerio de Fomento, encargó en 2004 la construcción de dos buques para el salvamento marítimo y lucha contra la contaminación, a través de la Sociedad de salvamento y Seguridad Marítima (SASEMAR), para su entrada en servicio en el año 2005.

Se encargó la construcción de dos remolcadores de salvamento de altura con la popa preparada para equipos de salvamento, lucha contra la contaminación o para tanques de almacenamiento de residuos de hidrocarburos. El primer remolcador fue puesto en servicio a principios de 2005, el “Luz de Mar”, del que hablaremos más adelante, y su gemelo, el “Miguel de Cervantes”, a finales de 2005. Ambos buques cuentan con sistema DP integrado.

***Imagen 6: Remolcador “Luz de Mar”.***



***Fuente: Trabajo de campo***

## **2.1. Proyecto Mohole**

El primer sistema de posicionamiento dinámico fue utilizado por primera vez en 1957 en relación con el proyecto americano Mohole. El propósito de este proyecto era profundizar en la llamada capa de Moho, es decir, a través de la capa exterior de la Tierra. Para tener éxito en la operación, la perforación se debía hacer en la capa más fina, situada en las partes más profundas del océano. La profundidad era de aproximadamente 4500 metros, lo que suponía una profundidad demasiado grande para los sistemas de fondeo convencionales.

Se instalaron 4 hélices de maniobra a bordo del buque CUSS 1. Este buque fue uno de los primeros en el mundo capaz de perforar en aguas de hasta 11700 pies de profundidad (unos 3600 metros), mientras mantenía el buque en un radio de 600 pies (180 metros). La profundidad fue hallada mediante un transmisor de ondas que emitía señales al fondo y éstas, al chocar con el mismo, rebotaban y eran de nuevo transmitidas al buque (Se trataba algún sistema de referencia hidra acústica). La posición en relación con el transmisor fue leída en una pantalla a bordo del barco. Además, se utilizaron cuatro boyas ancladas alrededor del buque. Estas señales de radio se transmitían al radar a bordo. Mediante el uso de diferentes combinaciones de empuje y dirección para las cuatro hélices, debía ser posible mantener la posición del buque justo encima de la situación en la que se pretendía perforar.

Finalmente, el 9 de marzo de 1961, el CUSS 1 fue capaz de mantener la posición con la ayuda de posicionamiento dinámico a una profundidad de 948 metros en La Jolla, California.

Poco tiempo después el barco realizó cinco perforaciones más a una profundidad de 3560 metros, mientras mantenía la posición dentro de un radio de 180 metros.

## 2.2. Automatización del Posicionamiento Dinámico

La idea de desarrollar una unidad de control automático que controlara la posición de un buque automáticamente sin necesidad de utilizar los sistemas convencionales ya había sido creada. Poco tiempo después del logro con el buque "Cuss 1", la compañía petrolera Shell, EE.UU., puso en marcha este sistema en el buque de perforación "Eureka". Se instaló un equipo que automatizaba los comandos de los propulsores. En 1964 otro buque, "Caldrill 1", fue entregado a la empresa Caldrill Marino, EE.UU., con un equipo similar a bordo.

Ambos proyectos ("Eureka" y "Caldrill") tuvieron éxito. EL buque "Eureka" logró perforar a una profundidad de 1300 metros, con 6 metros de altura de ola y viento de hasta 21 m/ s. "Caldrill" podía perforar a profundidades de hasta 2000 metros y estaba equipado con 4 propulsores, cada uno con 300 caballos de potencia.

Pocos años después en el Mar del Norte varias compañías comenzaron a interesarse en el sistema, en países como Noruega y Reino Unido. La compañía "British GEC Electrical Projects Ltd" equipó en 1974 al "Wimpey Sealab", un buque de carga convertido en un buque de perforación, y en 1977 el "Uncle John", una plataforma semisumergible, con un equipo similar al que los americanos y los franceses habían nombrado ya como " Sistema de Posicionamiento Dinámico (DP)".

Los propietarios de los buques noruegos querían un sistema DP producido en Noruega, pues los problemas para obtener este tipo de equipos a través de "Honeywell" , que tenía casi toda la industria del sistema a principios de 1970, eran enormes. La investigación se puso en marcha en Tonrdheim y se presentó un proyecto. Kongsberg, Våpenfabrikk (KV) fue elegido para llevarlo a cabo y Stolt Nielsen pidió el primer sistema. El primer buque que utilizó el sistema noruego de Posicionamiento Dinámico fue el "Seaway Eagle" el 17 de mayo 1977.

El Posicionamiento dinámico ha cambiado mucho desde el “Cuss 1” en 1961. Fue diseñado en un principio para perforación y tendido de tuberías, pero actualmente están siendo utilizado, también para otro tipo de operaciones, como pueden ser tareas geológicas o incluso maniobras de cruceros en lagunas y fiordos. Los principios básicos de 1961 no han cambiado, pero el desarrollo de los equipos ha conllevado a un gran avance tanto cuando se trata de operar un equipo como con la tecnología en sí.

A pesar de que este sistema lleva más de cincuenta años en uso, existe cierta desconfianza por parte de la industria marítima. Esto se debe principalmente a incidentes aislados que se han producido y la conservadora creencia de que un buque no es capaz de estar a salvo a menos que fondee por el sistema tradicional, con anclas. Afortunadamente, las circunstancias económicas, junto con los avances en los equipos han obligado a la industria a evolucionar con los sistemas de navegación.

En la siguiente imagen, el Cuss 1, el primer buque que utilizó DP, en La Jolla, California, como hemos dicho anteriormente. La posición era mantenida manualmente y determinada por un equipo de sonar que hallaba la distancia desde el fondo mediante balizas, y un equipo de radar, que medía la distancia desde las boyas que podemos observar en la foto.

*Imagen 7: El buque “Cuss 1”*



**Fuente:** <http://www.nedcon.ro/dynamic-positioning-from-a-to-z-part-ii/>

### 2.3. Sistema DP Kongsberg Simrad

La historia del Posicionamiento Dinámico en noruega comenzó en el año 1975 en la Kongsberg Våpenfabrikk (KV) con un grupo de ingenieros llamado DYNPOS.

Los sistemas de DP de Kongsberg se dividen en dos grupos principales;

- La tecnología KV con sistema Kongsberg 500 (KS500). Este equipo fue desarrollado por Forsvarets Forskningsinsitutt y Kongsberg Våpenfabrikk a principios de 1970 y se desarrolla en torno a la lógica TTL (transistor-transistor logic: se trata de una tecnología basada en la lógica para construir circuitos electrónicos digitales).
- La propia tecnología Kongsberg, con sistemas basados en la CBS desde 1983 en adelante. SBC, “Single Board Computer”, es desarrollado por Kongsberg Simrad y está basado en la utilización de microprocesadores Intel 80186, 80286 y 80386, respectivamente, en SBC1000, SBC2000 y SBC3000 / SBC3003. El prototipo de SBC1000 fue la primera terminal del mundo que utilizó microprocesador Intel 80186.

Los sistemas actuales utilizan el SBC 400, que está basado en “Intel 960 RISK Processor”.

En esta imagen, un alumno de la Kalmar Maritime Academy, en Suecia, llevando a cabo un ejercicio con un simulador de la marca Kongsberg.

**Fuente:** <http://www.km.kongsberg.com>

**Imagen 8: Simulador Kongsberg.**



## 2.4. Sistemas de Alstom

En 1971, GEC comenzó a producir equipos de DP. En 1989, se organizaron con Alcatel para convertir sus proyectos en “Cegelec”, y en 1998 se renombró Alstom, que en la actualidad son un importante productor de equipos DP. Uno de sus primeros sistemas fue utilizado inicialmente en la topografía de los yacimientos de carbón en alta mar, y los estudios del túnel del Canal de La Mancha (Eurotúnel). Han participado en muchos proyectos, incluyendo Benreoch (sub semi), Seilean (cisterna DP), MV Aberdeen (cisterna de traslado), y la ITM Venturer (nave del cable).

En la siguiente imagen, un Operador DP utilizando un sistema de la marca Alstom en el “Alstom Technical Training Center” en Houston, Texas.

*Imagen 9: Operador DP en Simulador Alstom*



Fuente: <http://www.maritimeemployment.com/alstom/alstom.htm>

### 3. SISTEMAS BÁSICOS DE DISEÑO

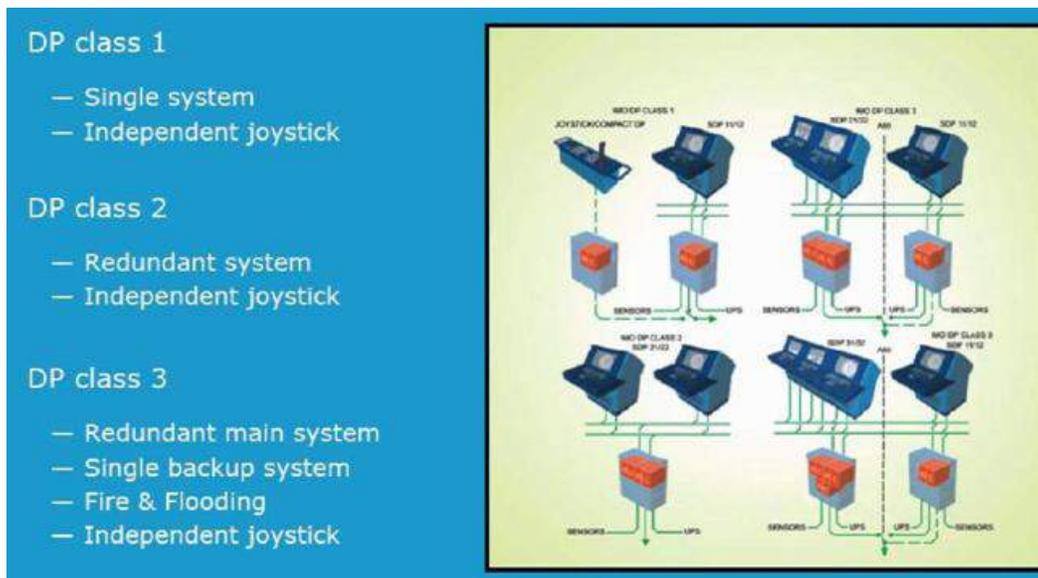
#### 3.1. Redundancia

El diseño para las operaciones con DP está programado de forma que ningún problema cause un “error catastrófico”, que significaría la pérdida de posición del buque según los sistemas de referencia.

Un fallo de esta magnitud podría significar un riesgo para las operaciones por la pérdida de posición del buque frente a la situación prevista.

En definitiva, el objetivo de la redundancia es asegurar que el sistema funcione aun habiendo perdido un elemento del sistema, o lo que es lo mismo, la capacidad del sistema o del buque para mantener la posición o el rumbo a pesar de haber perdido un componente individual.

*Imagen 10: Esquema de Clases en un Sistema DP*



*Fuente: Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE*

En la imagen anterior podemos observar un esquema de un sistema de Posicionamiento dinámico dividido por clases, separados según la redundancia de cada sistema. En el primer sistema, DP Clase 1, no existiría redundancia.

Basado en las publicaciones de la Organización Marítima Internacional (IMO):

Las sociedades de clasificación han creado unas normas para embarcaciones con Posicionamiento Dinámico descritas como Clase 1, Clase 2 y Clase 3.

- Equipo de Clase 1- No tiene redundancia.

Con este sistema la pérdida de posición puede producirse en el caso de un solo fallo.

- Equipo de Clase 2- Tiene redundancia.

Ningún fallo en un solo sistema activo hará que el equipo falle.

El error de un solo componente activo o sistema, como puede ser una hélice, generadores, válvulas de control remoto, etc., no debería suponer la pérdida de posición, pero si podría ocurrir después del fallo de un componente estático; cables, tuberías, válvulas manuales, etc.

- Equipo de Clase 3- Tiene redundancia.

Está pensado para que en caso de incendio, inundación o algún tipo de problema a bordo del buque, el equipo sea capaz de soportarlo sin que falle el sistema.

La pérdida de posición no debería ocurrir partiendo de un error único, incluyendo que alguna de las tres divisiones del equipo esté completamente quemada o un compartimento inundado.

### 3.2. Diseño

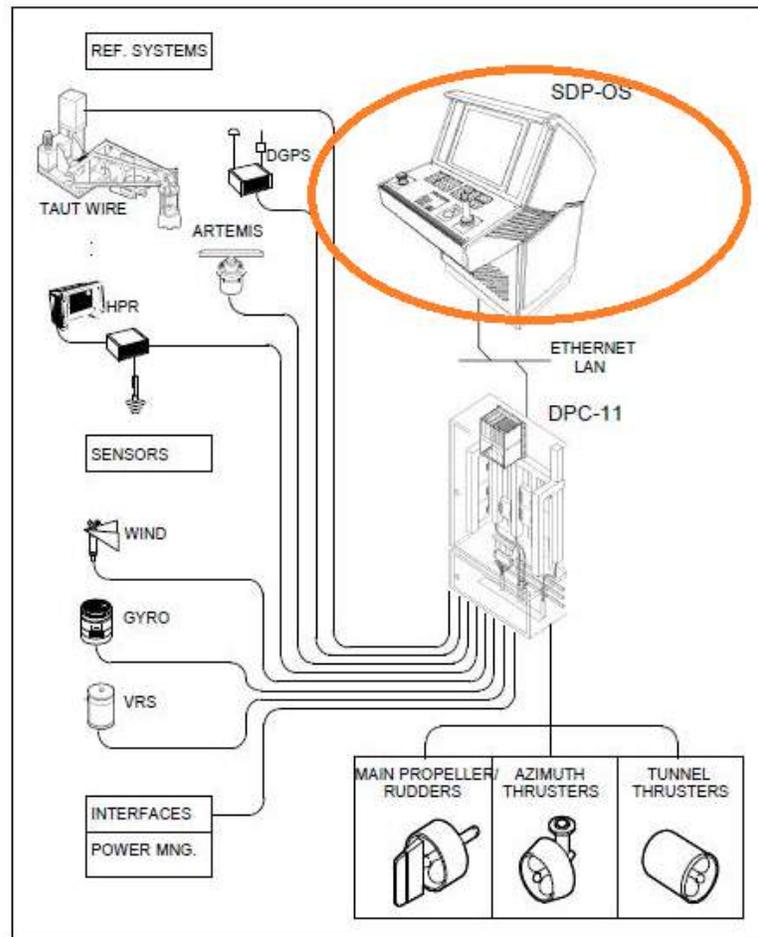
Como dijimos anteriormente, los sistemas DP pueden dividirse hasta en tres clases dependiendo de las veces que se multipliquen cada uno de sus tres sistemas de referencia obligatorios, es decir, que todos los equipos están obligados a llevar al menos tres sistemas de referencia diferentes, pero las veces que se repitan definirá si el equipo es de Clase 1, Clase 2 o Clase 3.

Un ejemplo de un equipo DP Clase 2 sería un buque que consta con 2 Giros, 2 Taut Wire y 2 GPS (Equipos que veremos más adelante). El armador puede añadir al barco todos los sistemas de referencia que quiera, pero para cumplir con los requisitos mínimos debe llevar tres diferentes, y la cantidad de veces que se repita cada sistema definirá qué tipo de Clase de DP lleva el barco.

En cada uno de los equipos que veremos a continuación, podemos observar cómo están diseñados los sistemas DP Clase 1, Clase 2 y Clase 3.

En primer lugar veremos un sistema DP Básico Clase 1. El primer elemento que observamos, del que parten todos los demás, es la consola, que en este caso, al ser un equipo de Clase 1, el sistema está compuesto de un único elemento de este tipo, al igual que los sistemas de referencia, que en este caso son un sensor de viento, una giro y un VRS.

**Imagen 11: Sistema Básico DP 1 (DP Clase 1)**

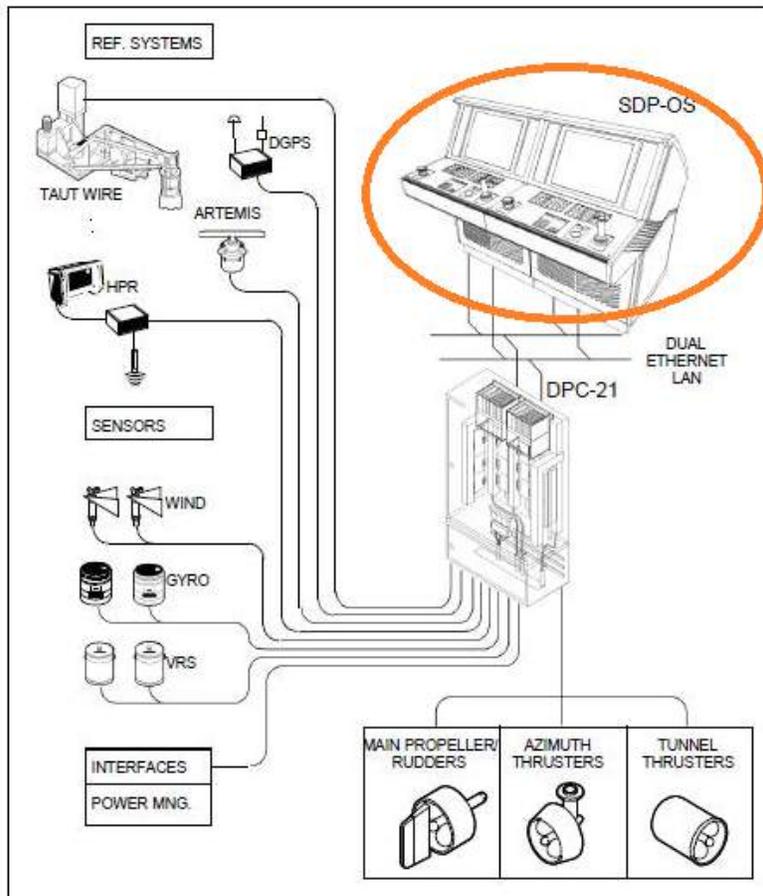


**Fuente: Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE**

De la consola parte la Ethernet, y de ahí el resto de los elementos, como son los sistemas de referencia, los controles de energía, la interfaz y los sistemas de propulsión.

En los demás ejemplos de sistema, con DP Clase 2 y Clase 3, podemos ver que el equipo es casi idéntico al de Clase 1. La única diferencia entre los sistemas es que los dos últimos están compuestos por dos y tres consolas, respectivamente, y que el resto de los elementos se duplica o triplica según la Clase, como ya hemos dicho anteriormente.

**Imagen 12: Sistema Básico DP 2 (DP Clase 2)**

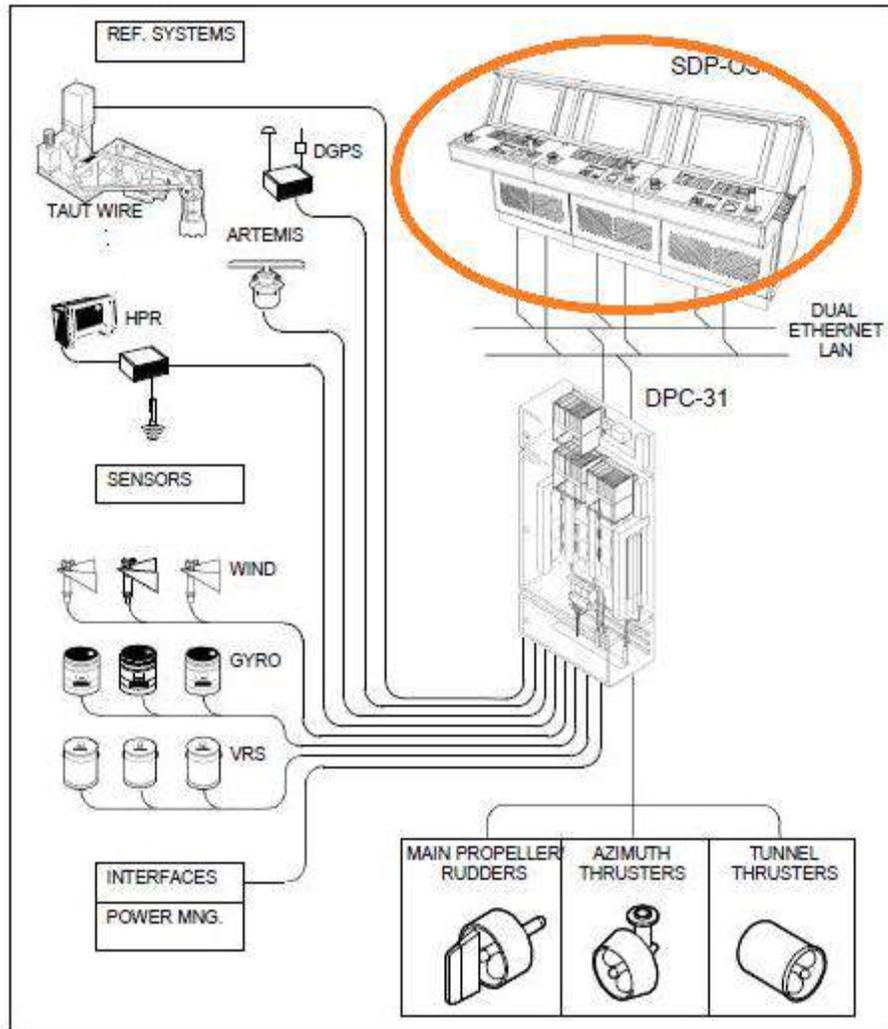


**Fuente: Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE**

En la situación del sistema DP Clase 2, la Ethernet, los sensores de viento, la giro y los VRS se duplican, mientras que en el sistema DP Clase 3, la Ethernet se mantiene en un

sistema Dual, pero los Sistemas de Referencia que en la Clase 2 se duplicaban y, en este caso se triplican.

*Imagen 13: Sistema Básico DP 3 (DP Clase 3)*



*Fuente: Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE*

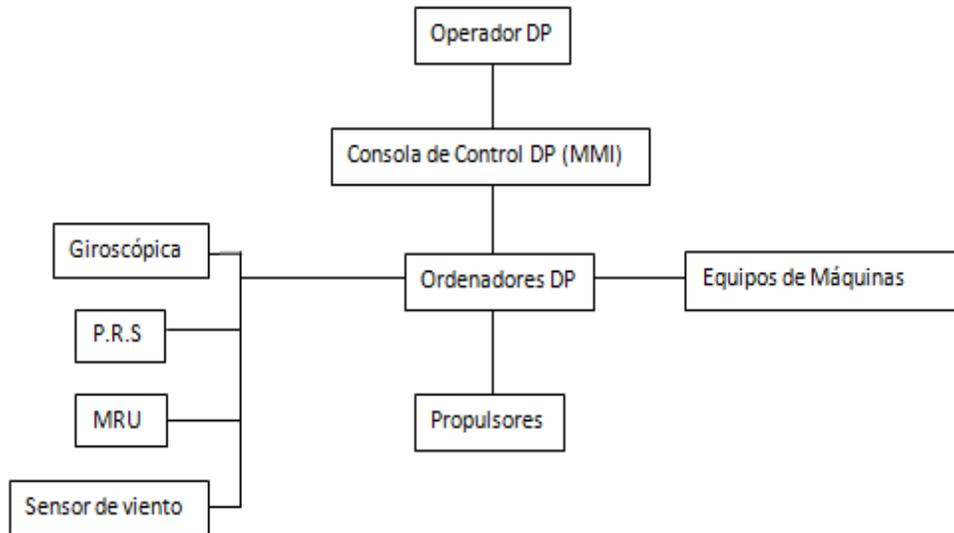
### 3.3. Componentes principales

Un sistema de Posicionamiento Dinámico está compuesto por varios dispositivos. Cada uno de ellos es vital para llevar a cabo la operación y todos son necesarios para poder realizar el trabajo. Si uno de los componentes falla, deberá pararse la maniobra y alejarse del lugar donde se iba efectuar el trabajo. Estos componentes principales son:

- Sistemas de Referencia
- Sensores (Gyro,Viento,VRS/VRU/MRU)
- Ordenador/Procesador
- Estación DP (panel de control, monitor)
- Operador DP
- Fuente de alimentación
- Sistemas de propulsión

En el siguiente esquema veremos la distribución de un Sistema de Posicionamiento Dinámico, que parte de un Operador DP que, a su vez, manipula la Consola de Control, compuesta por equipos informáticos. De los equipos informáticos obtenemos los sistemas de referencia (Giros, P.R.S., MRU, sensores de viento, etc.). También parten de los equipos informáticos los UPS, baterías y equipos de la Máquina, en general. El último componente que encontramos son los “Thrusters” (Propulsores), de los cuales nos serviremos para llevar a cabo los movimientos necesarios en cada maniobra.

*Imagen 14: Esquema Básico DP*



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.3.1. Panel o consola de control. Interfaz Hombre-Máquina (MMI)**

La MMI (Man Machine Interface) es una característica importante, que permite un funcionamiento eficiente y seguro del sistema, ayudando al operador a tomar decisiones operativas. Durante la operación normal esto reduce el riesgo de un error humano. Se ha hecho hincapié en la ergonomía, operación lógica, la presentación efectiva de la información relevante y facilidad de uso.

### **3.3.2. El Operador DP**

Un operador DP no sólo tiene que tener los conocimientos necesarios para operar el sistema, sino de las operaciones que llevará a cabo con el equipo.

No se considera necesario para un operador DP el hecho de ser un mariner, pero si tener en mente que cuando el buque no está utilizando el sistema, sino que sigue con la navegación, el operador no puede llevar a cabo una guardia.

El Operador DP es un oficial que lleva a cabo una guardia cuando el barco está en modo DP, y un oficial de puente convencional cuando el buque está navegando o en puerto.

Cuando el buque se encuentre en modo DP habrá dos Operadores DP que trabajan a bordo en turnos de 12 horas, por lo general. El relevo de los Operadores debe ser escalonado, por motivos de seguridad, para evitar el cambio de dos oficiales simultáneamente durante una maniobra o una guardia.

Las funciones de los Operadores se distribuyen uniformemente por el Capitán y deben trabajar estrechamente para permitir el correcto funcionamiento del buque. Las obligaciones de cada Operador deben ser cambiadas en intervalos regulares durante el año. Algunas de las funciones con las que cumple un operador son:

- Mantener las guardias en modo DP.
- Mantener las guardias cuando el barco está en modo convencional.
- El mantenimiento de todos los equipos de seguridad y contra incendio de a bordo, responsabilidad del oficial de seguridad del buque.
- Asegurar que todos los equipos de navegación funcionan correctamente. La preparación del Puente de mando para la navegación según los requerimientos establecidos e informar de los defectos de los equipos si los hubiese.
- Trabajo de cartas, planificación de la travesía, etc. Asegurarse de los avisos que se han dado para la navegación.

- Controlar que todas las publicaciones náuticas estén en regla, y realizar pedidos de las mismas si no lo estuvieran, además de los pedidos de papelería para los equipos de navegación del puente.

En conclusión, el Operador DP realizará el trabajo de un Oficial de Puente, como hemos visto en las funciones anteriores, entre otras, además de las guardias mientras el barco está en modo DP.

*Imagen 15: Operadores DP durante una guardia en el puente.*



**Fuente:** <http://www.oilandgasinvestor.com/offshore-optimism-764221>

En la imagen anterior, dos operadores utilizando un sistema Clase 2 durante una operación llevada a cabo con el equipo de Posicionamiento Dinámico.

## **4. SISTEMAS DE REFERENCIA**

La referencia del rumbo por lo general, se toma a partir del Giro Compás. A pesar de parecer una acción rutinaria de lo más simple, es de gran importancia para llevar a cabo las operaciones. Ningún sistema de Posicionamiento Dinámico es capaz de funcionar sin la entrada de información que nos proporciona un compás, que no sólo nos da el rumbo del barco, sino que es una entrada (Input) fundamental para los sistemas de referencia de posición y propulsión.

De los sistemas de referencia se obtiene información utilizada para poder mantener la posición y la proa, o bien realizar movimientos controlados como puede ser el seguimiento de una derrota. Los sistemas de referencia se dividen en dos grandes grupos, los utilizados para el control de la posición y los utilizados para el control de la proa.

Actualmente se cuenta con diferentes medios que permiten hallar la posición de un buque en la mar.

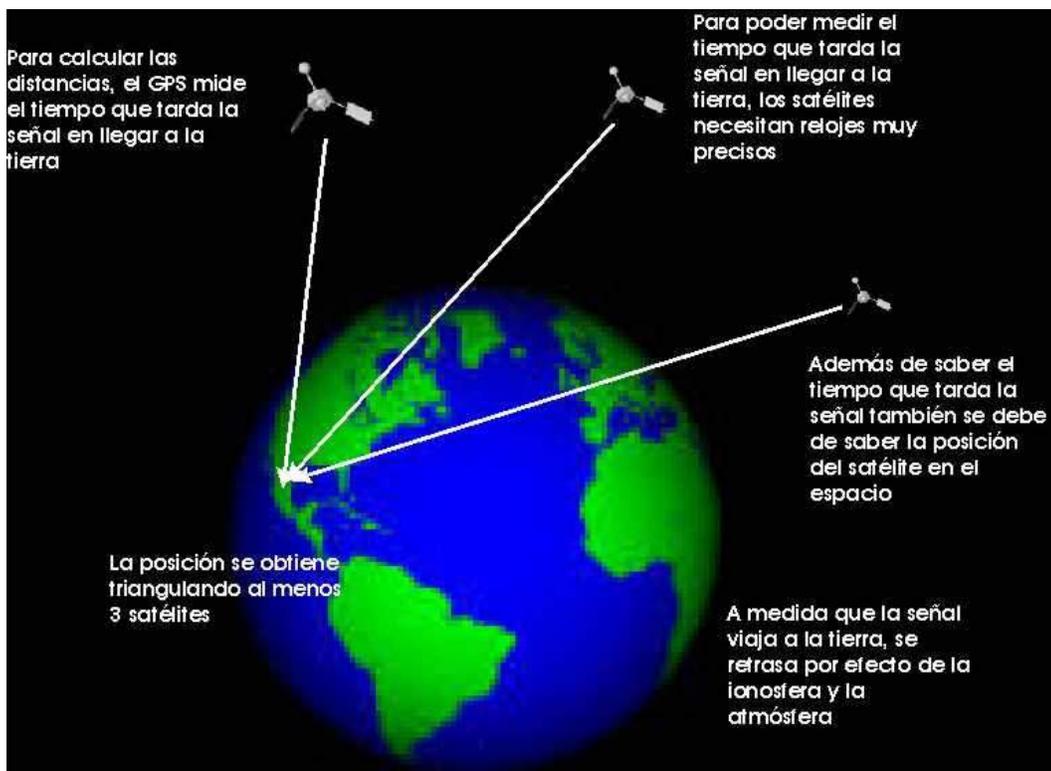
A continuación expondremos los diferentes sistemas de referencia más comunes utilizados en los Sistemas de Posicionamiento Dinámico.

### **4.1. DGPS, GPS diferenciales**

La información obtenida por un GPS puede no ser lo suficientemente precisa para ser utilizada por un sistema de DP. El sistema para obtener una posición más exacta se mejora mediante el uso de una estación de referencia fija situada en tierra que compara la posición que ofrece el GPS a la posición conocida de la estación. La corrección es enviada al receptor DGPS por frecuencia de radio de onda larga. Existen

empresas que envían la corrección través de satélite, lo que permite la combinación de varias estaciones diferenciales. La ventaja de las estaciones DGPS es que es casi siempre están disponibles. En cuanto a las desventajas, la posibilidad de degradación de la señal por disturbios ionosféricos o atmosféricos, bloqueo de satélites y el deterioro de la señal a grandes altitudes. Podemos encontrar sistemas a bordo de algunos buques que utilizan la combinación del GPS y GLONASS.

*Imagen 16: Representación básica;s GPS y satélites.*



Fuente: <http://www.oocities.org/txmetsb/GPS.html>

## 4.2. GLONASS

Este sistema es análogo al GPS, a pesar de algunas diferencias, pues presenta características especiales en la calidad de las posiciones que obtiene con respecto al GPS.

Consta de 24 satélites ubicados en tres planos orbitales. Están situados en órbitas casi circulares, a unos 19100 Km, aproximadamente. En cada plano están situados ocho satélites. Los planos están inclinados 64,8º respecto al ecuador.

El funcionamiento se basa en satélites controlados por estaciones de seguimiento que analizan las anomalías de los satélites, además de procesar los parámetros de transformación del Sistema GLONASS PZ-90 al sistema GPS WGS-84 al trabajar con el sistema combinado.

Debido a que los satélites se sitúan en órbitas con un semieje mayor de 25510 K, y el periodo orbital es de 676 minutos (Aproximadamente 2 horas y 15 minutos), se garantiza la visibilidad de un mínimo de 5 satélites alrededor del mundo. Una de las grandes ventajas de este sistema es la cobertura que ofrece en la navegación.

### 4.3. Hidroacústicos (HPR)

Este sistema se basa en la propagación de ondas sonoras. La forma de medición se basa en la comunicación entre los equipos situados en el fondo marino y en el casco del buque. Transpondedores y transductores, respectivamente.

Se trata de una señal acústica emitida por el transductor, que activa al transpondedor y éste responde a dicha señal. El tiempo que tarda la señal desde que es emitida hasta que se recibe, es directamente proporcional a la distancia que recorre la onda. Por lo tanto, la posición del barco se puede calcular en relación a la del transpondedor sabiendo el tiempo entre la emisión y la recepción de la señal.

La desventaja de este equipo es la vulnerabilidad al ruido que producen los propulsores u otros sistemas acústicos.

Tres tipos de sistemas de HPR se utilizan comúnmente:

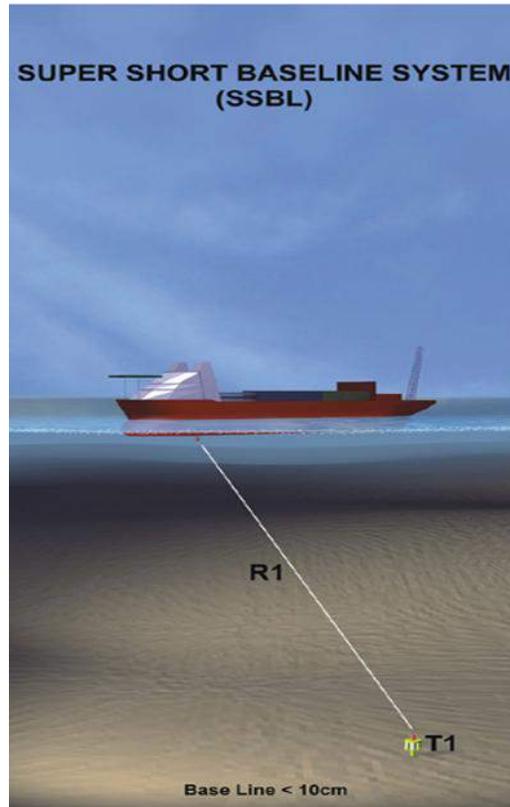
- **Línea de base Ultra-o super-corto, USBL o SSBL (Ultra/Super Short Base Line)**

Ambos sistemas se usan para definir el mismo HPR. La diferencia reside en que el designado como SSBL es construido por la empresa Kongsberg Simrad, mientras que el denominado USBL pertenece a Sonardyne.

El sistema se compone de un transductor, situado en la parte baja del casco, y es éste el que emite y recibe las señales de un transpondedor situado en el fondo marino. La posición es calculada mediante una distancia y una demora entre el buque y el transpondedor.

En la imagen que veremos a continuación, una representación del funcionamiento básico del sistema Super Short Baseline System.

*Imagen 17: Representación del funcionamiento de un sistema SSBS*



Fuente: <http://www.km.kongsberg.com>

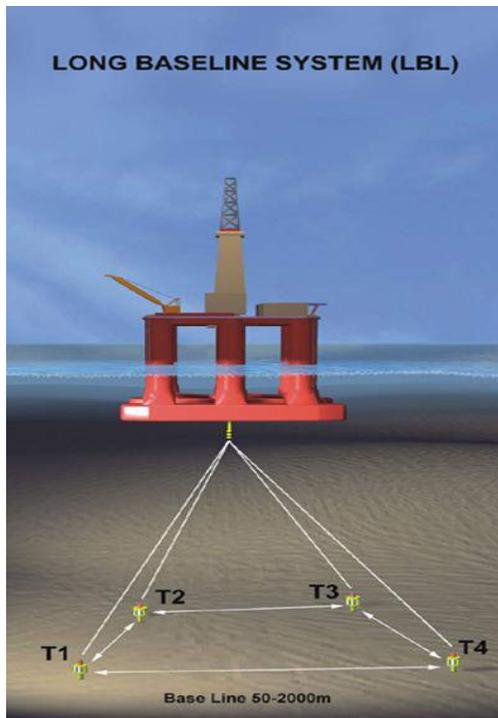
- **Línea de base larga, LBL (Long-Base-Line):**

Este se compone de al menos tres transpondedores, situados en el fondo marino y comprenden una extensión entre los 500 y los 1000 metros. La posición inicial de los transpondedores se determina por USBL y/o mediante la medición de las líneas de base entre los transpondedores. Una vez hallada dicha posición, sólo deben ser medidos los rangos a los transpondedores para determinar una posición relativa. En teoría, debe

estar ubicada en la intersección de las esferas imaginarias, una alrededor de cada transpondedor, con un radio igual al tiempo entre la transmisión y recepción, multiplicada por la velocidad del sonido a través del agua. Ya que no es necesaria una medición del ángulo, como en el sistema anterior (USBL), la precisión en grandes profundidades de agua es mayor, pues de esta forma se elimina uno de los principios de error, debida a la curvatura de las señales causadas por la refracción.

En cuanto a las ventajas, a parte de la nombrada anteriormente en cuanto a la curvatura de las señales, es que el sistema no necesita las correcciones para compensar los movimientos de balanceo y cabeceo que proporcionan las VRU.

*Imagen 18: Representación del funcionamiento de un sistema LBL*

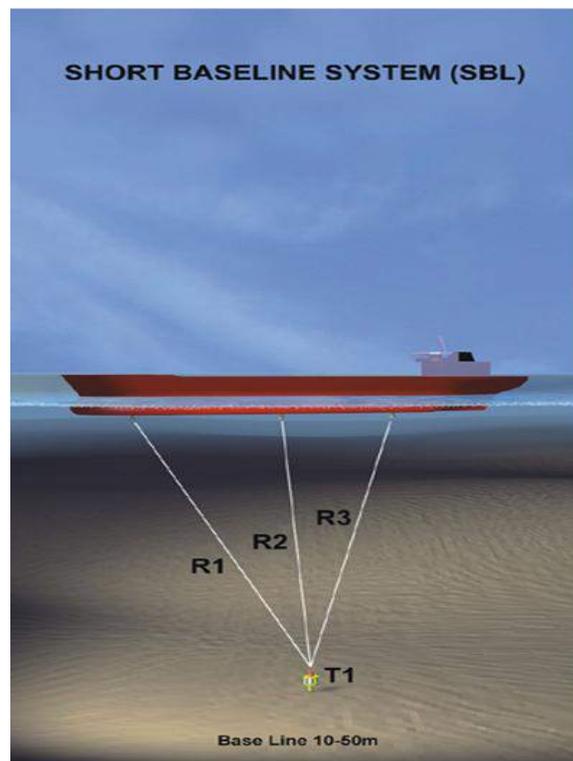


Fuente: <http://www.km.kongsberg.com>

- **Línea base corta, SBL (Short-Base-Line):**

Funciona mediante una serie de transductores en el casco del buque. En este caso, una baliza envía señales desde el lecho marino, actuando así como transmisora, y éstas son recibidas por los receptores colocados en el casco del barco. No deberá haber menos de tres receptores, por motivos de redundancia. La señal recibida a bordo es procesada teniendo en cuenta el tiempo que transcurre entre la emisión/recepción. El resultado de estos valores determinará una posición relativa para el buque. Una gran ventaja del SBL es que proporciona una gran precisión en profundidades de hasta 4000 metros.

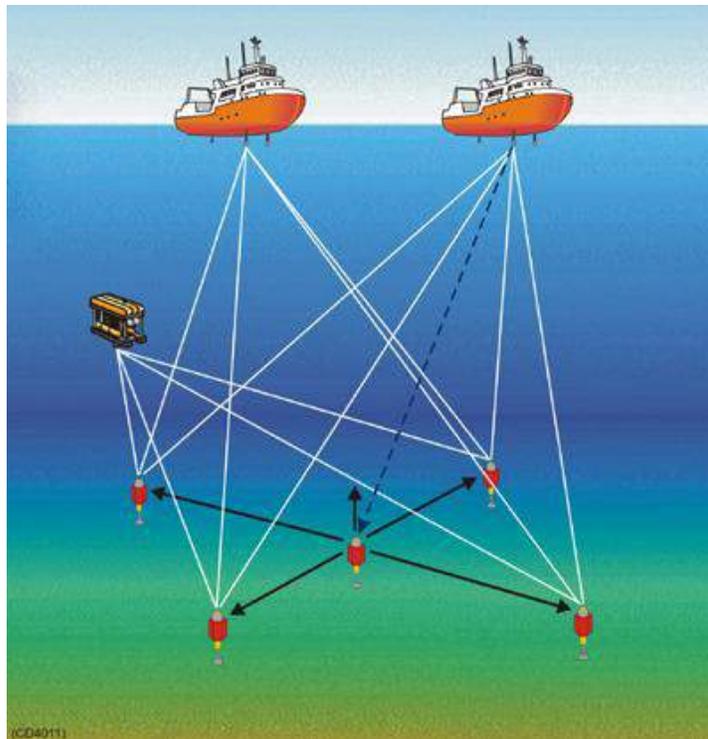
*Imagen 19: Representación del funcionamiento de un sistema SBL*



Fuente: <http://www.km.kongsberg.com/>

Este sistema emite una señal desde un solo transmisor, pero ésta es recogida por todos los receptores que haya a bordo, por lo que el tiempo entre la emisión y la recepción no será el mismo en todos los transductores. La distancia entre los mismos son generalmente mayores de 10 metros. La recepción de la señal se ve afectada por los movimientos del buque, pero para corregir este “fallo”, existe la posibilidad de incluir un equipo de VRU, que mediría altura y balance, y un girocompás para hallar el rumbo.

**Imagen 20: Línea Base Corta, larga y súper corta**



Fuente: <http://www.km.kongsberg.com>

A continuación, un ejemplo de cada uno de estos sistemas de la marca Kongsberg para este tipo de equipo hidroacústico.

Estos Sistemas de referencia están diseñados para la navegación. Se basan en principios de línea de base cortas, largas y súper cortas o una combinación de éstos. La familia HPR 400 consta de los modelos descritos a continuación:

- **HPR 406 - short base line**

Este sistema consta de tres o cuatro transductores montados en el casco. Con este sistema es posible posicionar incluso transpondedores subterráneos.

- **HPR 408 - long base line**

El sistema LBL sirve para un posicionamiento muy preciso dentro de una gama de transpondedores. También están disponibles diferentes tipos de transductores. El cálculo de la posición se basa en mediciones de alcance a tres o más transpondedores. Una matriz automática (transpondedor calibrado) proporciona una precisión de pocos centímetros de error, mientras que las posiciones ROV y de los buques se pueden calcular en unos pocos decímetros de diferencia de la posición exacta.

- **HPR 410 - super short base line**

Tiene la posibilidad de interconectar diferentes tipos de transductores con la técnica de formación de haz para un rendimiento óptimo en entornos difíciles y ruidosos. Como líder mundial en la precisión, el sistema se ha convertido en un estándar de la industria en la industria offshore.

- **HPR 418 - combination system**

Es un potente sistema de posicionamiento bajo el agua, capaz de resolver aplicaciones de posicionamiento bajo el agua. El sistema es una combinación de la HPR 408 y HPR 410, y puede funcionar en SSBL, LBL y modos / LBL SSBL combinados.

#### **4.4. Taut Wire (Sistema de cable tenso)**

Es el sistema de referencia más antiguo utilizado para DP. Aún así, tiene ciertas limitaciones respecto a la profundidad del agua, de las que hablaremos más adelante.

El Taut Wire tiene varias configuraciones;

La más utilizada se basa en una grúa con características especiales situada en la cubierta del buque, por lo general en un costado. Desde la grúa se desliza un peso hacia el fondo marino, mediante un cable que, montado en una maquinilla tiene la fuerza necesaria para mantener una tensión constante y compensar los movimientos del barco.

Este sistema no puede ser utilizado en temporales, pues los movimientos afectarían a la tensión del cable, ni aguas demasiado profundas.

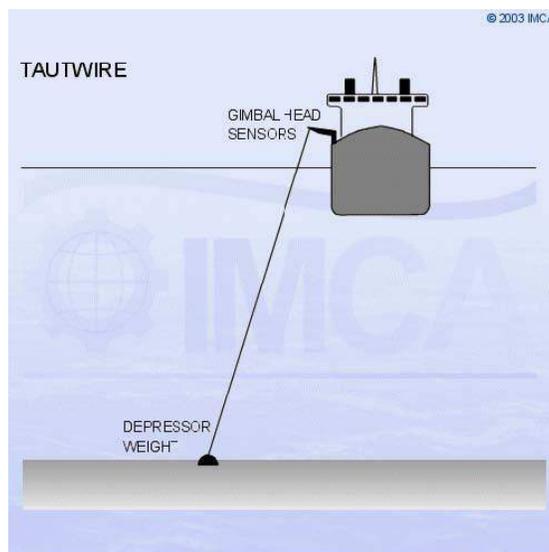
Una vez se conozca la longitud del cable y el ángulo que éste tiene respecto a la vertical trazada desde el fondo del buque, es posible determinar la posición del barco en relación al peso que está fondeado (clump weight). La longitud del cable es contabilizada con el paso del mismo por una roldana mientras es arriado, y en el extremo de la grúa se encuentra una cabeza compuesta por varios sensores con los que se calcula el ángulo en el que trabaja el cable.

Como hablamos anteriormente, las limitaciones en el caso de aguas poco profundas residen en que el sistema se encuentra limitado por el valor del máximo ángulo de trabajo permitido, que depende de la separación vertical entre el peso y la cabeza de sensor, y viene dado en función de la profundidad. También está influenciado por la forma del casco del buque. Los valores de los ángulos suelen estar entre los 30 y los 35°, por lo que el valor del ángulo horizontal disminuiría si el buque tuviera un gran francobordo.

Para evitar este problema existe la posibilidad de colocar el taut wire fuera del buque, en el fondo del casco, con lo que solucionaríamos los problemas de la forma del buque, ya que el ángulo horizontal no supone un problema puesto que el barco debe permanecer quieto. Si no fuera así, si el buque sufriera algún desplazamiento, habría que recoger el peso y volver a posicionar el dispositivo.

También cabría la posibilidad de situar el taut wire en la proa, pero se vería demasiado expuesto a las condiciones meteorológicas.

**Imagen 21: Representación del funcionamiento de un Taut Wire**



**Fuente:** <http://www.shipseducation.com/info/offshore/dynamic-position-4.html>

#### **4.5. Fanbeam®**

Sistema de referencia basado en un láser y sistema angular. Se trata de sistemas muy sencillos, pues sólo necesita un pequeño prisma para ser instalado en una estructura o un barco cercano. El rango depende del clima, pero suele abarcar más de 500 metros.

Este sistema se utiliza principalmente para controlar al equipo DP cuando el buque está trabajando a poca distancia de un muelle o plataforma. Es usado en muchos casos como sistema de seguridad para controlar la posición de otros buques en maniobras de abarloe, o como un equipo independiente para evitar una colisión con otros buques.

También es común el uso de este sistema para el arrastre de equipos en operaciones de estudio geofísico.

Las principales características de este sistema hay que destacar que tiene un alcance superior a 2000 metros, con una precisión que va de -10 a 10 centímetros. Ofrece buenas prestaciones como método redundante de seguridad de sistema. Además es capaz de compensar las diferencias de altura en buques de grandes dimensiones mediante un mecanismo llamado "Autotilt" (Autoinclinación). Tiene un diseño ideal para el medio ambiente en alta mar y es económicamente competitivo en el mercado.

En la siguiente imagen un equipo Fambean. Este sistema consta de un equipo con escáner láser que está integrado sobre una base giratoria.

*Imagen 22: Equipo Fan Beam*



*Fuente: <http://www.todaymotorvehicles.com/renishaw-fanbeam-laser-radar-sensor.aspx>*

#### **4.6. CyScan**

El sistema CyScan comprende un láser de exploración basada en sensores, una unidad de fuente de alimentación y software de aplicación de visualización de datos que se ejecuta en una plataforma PC convencional. El sensor es adecuado para la instalación permanente o semi-permanente como una integral que forma parte de un sistema de posicionamiento dinámico.

Está construido como una ayuda automática para localización de buques en aplicaciones marinas. Puede ser usado como sistema de reserva, o incluso un sistema primario para determinar la posición.

El láser gira a 360 °/Seg. para medir con precisión la distancia, usando "tiempo de vuelo" y la dirección utilizando un codificador interno. Los datos de posición se

transmiten continuamente al sistema de control de la embarcación a través de una interfaz electrónica estándar para permitir el mantenimiento de la estación.

Está instalado en el buque de forma permanente, como si se tratara de una parte integrada de los equipos de navegación o del sistema de posición. El escáner determina distancia y mide la demora de una posición de los retro-reflectores pasivos con gran precisión.

*Imagen 23: Sensor de radar láser CyScan*



*Fuente: <http://aprasys.com/productos/sensores/sensor-de-radar-laser-cyscan/>*

#### **4.7. Artemis**

Es un sistema de radio utilizado para medir la posición del buque. El dispositivo funciona utilizando una frecuencia de microondas y mide la distancia y la demora del buque de una estación fija (plataforma), mientras que en el barco está instalada la antena móvil. La distancia puede abarcar desde los 10 metros a 30 kilómetros y la frecuencia es de 9.2 a 9.3 GHz en Banda X.

La posición del objeto en movimiento se determinada por la distancia entre la estación móvil y la fija, además de por el ángulo entre las mismas. Mediante el mantenimiento de una onda continua de microondas se lleva a cabo un seguimiento automático de uno al otro, con el llamado “modo bloqueo” de las antenas fijas y móviles de la estación.

Una de las mayores ventajas de este sistema es que no se ve afectado por lluvias o niebla.

La medición de la distancia se basa en medir el tiempo transcurrido entre una interrupción codificada en la señal de microondas transmitida por la estación móvil y la recepción de una sola interrupción codificada en la señal de microondas transmitida por la estación fija como una respuesta a eso.

#### **4.8. DARPS**

Se trata de un sistema de posicionamiento absoluto y relativo. Generalmente es utilizado en buques tanque durante el transporte de la carga de FPSO. Ambos tendrán un receptor GPS. La señal no necesita ser corregida si los errores son los mismos para ambos. La posición de la FPSO se transmite a la cisterna de transporte, por lo que la distancia y la demora pueden ser calculados y se introducen en el sistema.

#### 4.9. RADius

Está diseñado para cumplir con las prescripciones de la Organización Marítima Internacional para buques que cuentan con un equipo de Posicionamiento Dinámico Clase 2.

Está integrado en el radar, y es una forma de utilización del mismo para corto alcance y monitorización de la dirección de señales. Se buscaba cubrir las demandas de la propia industria, pues los equipos anteriores no resultaban del todo fiables en el caso de acceso de las señales del GPS, por ejemplo. Por tanto, el sistema fue ideado para mejorar la seguridad.

*Imagen 24: Sistema RADius- Relative Position Reference System*



*Fuente: <http://www.km.kongsberg.com>*

#### **4.10. RadaScan**

El sistema de Microondas RadaScan, representa uno de los últimos avances en tecnología de sensores de referencia local.

Es un sensor de onda continua modulada de baja frecuencia (3 vatios) opera sobre un ancho de banda de 100 MHz en la banda de 9.25GHz de radiolocalización marítima sin licencia. Debido a que el sensor funciona en la misma región de frecuencia, como los radares de banda X convencionales, el sensor recoge reflexiones del retro-reflectante;

Los transpondedores son totalmente pasivos en la naturaleza e introducen un código único a la reflexión para permitir la identificación inequívoca de seguimiento.

El sensor contiene una antena de 360 ° de rotación que escanea continuamente a 1 Hz y así ayuda a una maniobrabilidad del buque sin restricciones.

Un sistema RadaScan consta de tres componentes principales:

- Un sensor para la transmisión, la detección y el procesamiento de señales de radar.
- Un transpondedor.
- Un ordenador que se utiliza para configurar y controlar el sensor.
- Por último, el monitor.

En esta imagen vemos todos los elementos nombrados anteriormente. El sensor, un transpondedor, el ordenador de configuración y el monitor para el control de los resultados.

*Imagen 25: Sistema RadaScan completo*



*Fuente: Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE*

En un buque de apoyo, “Offshore Supply Vessel” (OSV), la posición de montaje para el sensor, generalmente, está por encima de la timonera, con una visión clara sobre el área cubierta de popa. A menudo, se fabrica una plataforma a medida para proporcionar una altura y ubicación óptima.

## 5. TIPOS DE BUQUE

Algunas de las operaciones que se podrían destacar por su complejidad y amplia utilización de los Sistemas de Posicionamiento Dinámico, y de las que hablaremos de ahora en adelante, son:

- Transvase de crudo y gas en alta mar
- Abastecimiento a plataformas
- Operaciones de dragado
- Mantenimiento de construcciones offshore
- Tendido de cables y tuberías
- Apoyo en operaciones de buceo

Aunque la mayor parte de la flota mundial está dedicada a labores como el transporte de mercancía entre puertos, existe un amplio abanico de buques que se especializan en el transporte de GNL, minerales, petróleo o incluso buques de pasaje tipo cruceros que ya han incorporado el sistema DP.

Este aumento de producción e integración del sistema a buques que se suman a la técnica DP se debe principalmente a las ventajas que su utilización supone en las operaciones, además de la especialización que se ha creado en buques mercantes, que incrementa el número de operaciones especiales, lo que justifica el uso de estos equipos, como es el caso de los buques que dan apoyo a plataformas.

Se estima que actualmente existen más de 1200 buques con un sistema DP integrado.

### **5.1. Buques especializados en operaciones en hielo (Ice-Class Vessels)**

Las compañías petroleras y los principales países exportadores de petróleo están ampliando rápidamente la búsqueda de esta materia en nuevas fronteras que antes se consideraban de riesgo para su explotación. Con la búsqueda de petróleo, cambiando gradualmente hacia el Ártico, y con más del 80% del petróleo y gas en alta mar, existe la necesidad, cada vez mayor, de crear una flota para llevar a cabo operaciones de rompehielos y de apoyo para estas regiones de perforación.

Gracias a experiencias anteriores con este tipo de buques, se ha permitido mejorar el sistema y mejorar los proyectos de nueva construcción para mejorar la experiencia y poder hacer frente a la complejidad de este tipo de operaciones.

Es el caso del nuevo buque de la Armada Británica, el “HMS Protector”, que ha reemplazado al “HMS Endurance”.

*Imagen 26: Rompehielos “HMS Protector”*



*Fuente: <http://www.vtv.gov.ve/articulos/2012/11/14/reino-unido-envia-nave-militar-rompehielos-a-zona-de-las-islas-malvinas-506.html>*

Este buque utiliza un sistema de posicionamiento dinámico, con el que mantiene su posición en KE Cove, lugar de anclaje.

Afirman que el buque es capaz de posicionarse con gran precisión gracias a este sistema, incluso con vientos de gran magnitud.

## **5.2. Tendido de cables**

Este tipo de buques se especializa en el tendido de cables de energía eléctrica o incluso cables de comunicación submarinos.

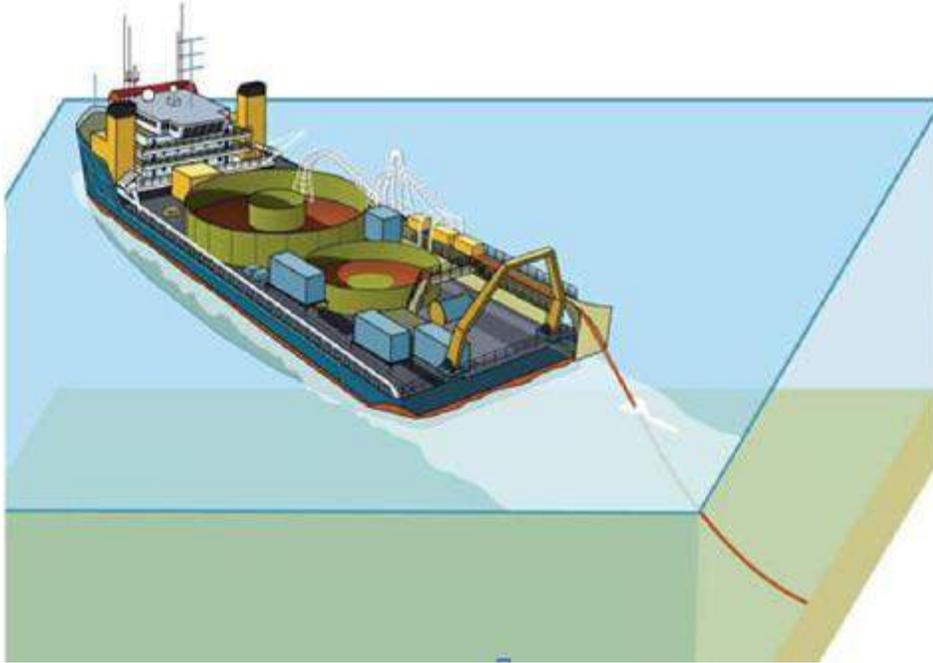
Estos buques normalmente incorporan el sistema de Posicionamiento Dinámico ya que las maniobras que se llevan a cabo necesitan equipos que proporcionen al buque una alta precisión para manipular con seguridad el cable.

Los “Cable Laying” transportan cables que se encuentran estibados en carretes y pueden estar dispuestos en la popa, a proa, o incluso en los costados del buque.

Para asegurarse de que los cables estén en buen estado durante el tendido, existen diferentes métodos. Existe un sistema designado para controlar la tensión entre el cable que ha sido tendido y el que está a la espera para serlo.

Han sido designadas especialmente dos funciones: “Cable Tension Monitoring” y “Cable Tension Compensator”. Estas funciones, junto con el modo “Auto Track”, están destinadas al control de los movimientos del buque, para mejorar la seguridad y el rendimiento del posicionamiento cuando se realiza el tendido de cables.

*Imagen 27: Representación de un tendido de cable en el lecho marino.*



*Fuente: Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE*

En la imagen podemos observar la estructura básica de un buque cableador, en el que las bobinas están estibadas a media eslora y a popa.

Un buque de este tipo es fácilmente identificable debido a su construcción. Deben destacarse ciertas partes características:

- **Sistemas de control y posicionamiento:**

En el puente se encuentran los sistemas de referencia, consolas de mando, etc.

En el caso de la sala de máquinas, todos los equipos están automatizados para poder funcionar en régimen desatendida.

- **Maquinaria necesaria para el tendido y la recuperación de cables:**

Están provistos de cadenas y ruedas por las que pasa el cable. La tensión, velocidad y longitud son controladas mediante este sistema, a la vez que el cable es tendido o izado.

- **Tanques de cable:**

Son tanques circulares donde se almacenan distintos tipos de cables para el tendido, y ocupan gran parte de la zona interior del buque.

- **Estancia de control de medidas de transmisión óptica:**

Es necesario controlar el buen funcionamiento del equipo durante el tendido, y para ello, los buques cuentan con equipos de medida sobre fibra óptica.

- **Zona de empalmes:**

La técnica de empalme para la reparación de un cable de fibra óptica submarino conlleva una serie de técnicas especiales. Este compartimento está equipado con los equipos necesarios para realizar esta práctica.

*Imagen 28: Imagen de un Buque Cablero. "Norlift"*



*Fuente: Trabajo de campo*

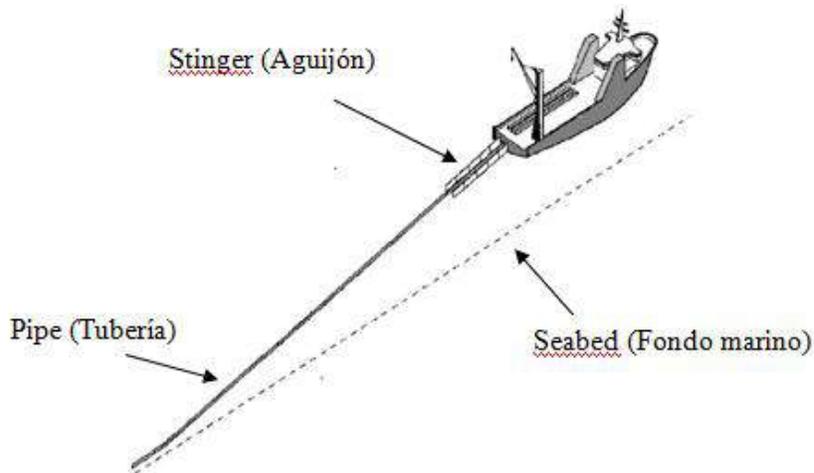
En la imagen anterior, el Buque “Norlift” de construcción monocasco, operado actualmente por la compañía “Northern Ocean Services”.

### 5.3. Buques especializados en colocación de tuberías

En la colocación de las tuberías, éstas son transportadas en secciones y se sueldan entre sí durante la operación de instalación de las mismas.

Las secciones de tubos se sueldan a bordo del buque cuando éste está parado. A continuación el barco debe ir avante a una distancia equivalente a la longitud de la tubería mientras la sección soldada se va colocando en el fondo a medida que pasa que avanza el buque a través de un “agujón”. Un agujón es una estructura diseñada para soportar el tubo a medida que se mueve fuera del barco.

*Imagen 29: Representación de buque durante tendido de tubería.*

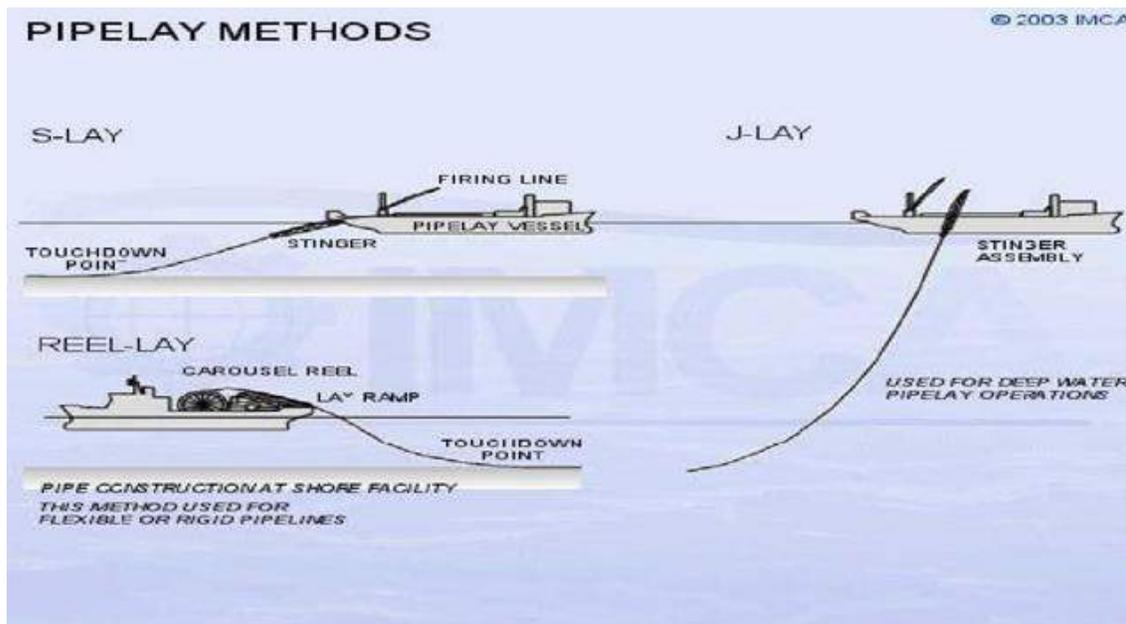


*Fuente: Elaboración propia*

En la imagen anterior, un buque realizando el tendido de tuberías, donde podemos observar las partes que ya hemos nombrado (véase “Stinger”- “Aguijón”).

Durante las operaciones de tendido de tuberías, el sistema DP controla los movimientos del barco y la función “Pipe Tension Compensator” compensa las tensiones de la tubería para asegura la mejor posición de rendimiento.

*Imagen 30: Esquema de métodos utilizados en el tendido de tuberías*



*Fuente: Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE*

En la imagen anterior, los sistemas pioneros en el tendido de tuberías, que fueron el sistema S-Lay, el J-Lay, el Flex-Lay y el Reel-Lay.

En el S-Lay y el J-Lay, los tramos de tubería son soldados a bordo del buque, como dijimos anteriormente, y son descolgados hacia el fondo mediante el “aguijón”.

Los nombres fueron designados por la forma que toman las tuberías al ser tendidas.

El buque “Lewek Constellation” es un barco destinado al tendido de tuberías, así como al apoyo en la construcción offshore de la compañía EMAS AMC.

Fue construido en el astillero Triyards SSY, en Vietnam, entre 2013 y 2014, y fue diseñado en Singapur, con la intención de que fuera capaz de instalar tuberías rígidas o flexibles en el fondo marino de hasta 3000 metros de profundidad.

***Imagen 31: Buque Lewek Constellation***

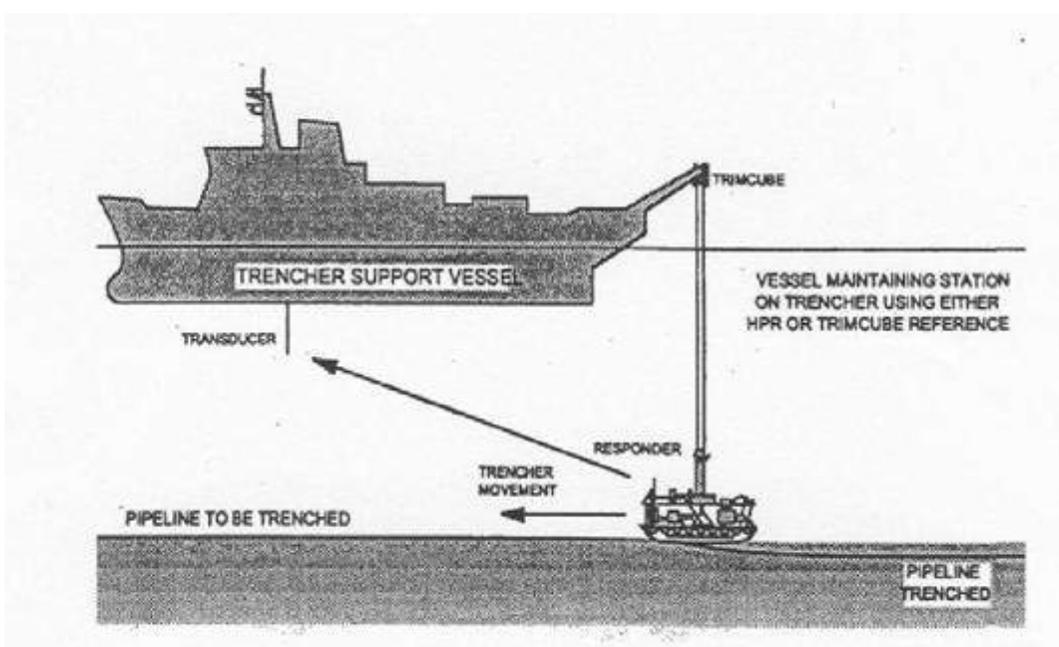


***Fuente: <http://www.offshoreenergytoday.com/huisman-installs-offshore-mast-crane-on-lewek-constellation/>***

#### 5.4. Tendido de cables o tuberías

Las zanjas deben excavarse antes de las operaciones de tendido de cable o tubería y se utilizan para asegurar la tubería o el cable después de la instalación. Las zanjas son abiertas por excavadoras automatizadas o por remolcadores especializados para la creación de surcos que son utilizadas como un arado. Este tipo de sistema no tiene máquinas de accionamiento; la fuerza necesaria para tirar del “arado” se suministra por el sistema de propulsión del buque.

*Imagen 32: Representación de un buque durante la excavación*



*Fuente: Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE*

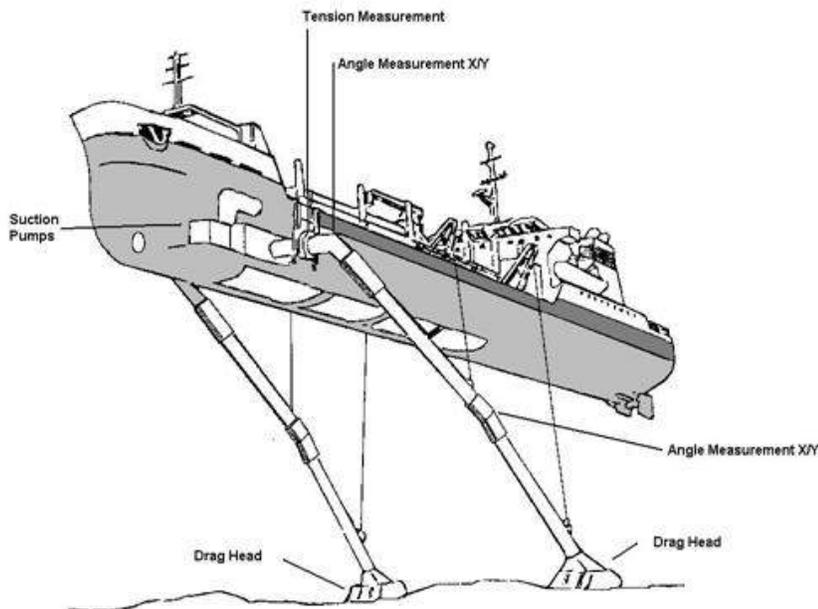
Durante la excavación de zanjas, el sistema DP controla movimientos de la excavadora utilizando el modo de operación “Follow Target”, mientras que el modo de operación “Auto Track” se utiliza para controlar los movimientos del buque. Durante estas

operaciones, las funciones “Plough Tension Monitoring” y “Plough Tension Compensation” se utilizan para asegurar la mejor posición de rendimiento.

### 5.5. Operaciones de dragado

El propósito de una operación de dragado es eliminar materias del fondo marino. Este método es especialmente importante en zonas portuarias y en desembocaduras de ríos, donde el lodo se acumula con el tiempo. Un buque de dragado está equipado con dos tubos de succión, que se arrastran a lo largo del lecho marino. Las materias como el barro, se bombean hacia el buque desde el fondo del mar a través de las tuberías de aspiración.

*Imagen 33: Ejemplo de un buque de dragado*



*Fuente: Manual DP BASIC/INDUCTION COURSE*

El buque de dragado se mueve a lo largo de trayectorias paralelas. Por lo tanto, para asegurarse de que todas las zonas están cubiertas, las pistas deben estar tan cerca unas de las otras que se puedan llegar a sufrir superposición. Sin embargo, para lograr una operación de dragado eficiente, las funciones DP y modos de operación aseguran que el área barrida se mantiene en el mínimo error posible.

Las funciones de dragado de un sistema DP, miden las fuerzas de dragado, la elevación de las tuberías de succión y el azimut, y compensan automáticamente estas fuerzas. Además, el sistema de DP controla el error en las medidas de fuerza a la hora de arrastrar la draga para evitar el movimiento del buque sin control y los daños a los equipos. Si se produce un error permanente en el sensor de seguimiento en la posición y tensión del equipo de dragado, el operador es capaz de especificar los datos necesarios para seguir llevando a cabo la maniobra, por lo que la operación no debe ser interrumpida.

## **5.6. Buceo y apoyo a operaciones submarinas**

De todas las maniobras que se llevan a cabo a partir de los sistemas DP, las operaciones de buceo son, sin duda, las de mayor riesgo para la vida humana. Antiguamente simplemente se trataba de introducir a un operario en el agua para realizar las operaciones pertinentes en el casco del buque. Después de muchos accidentes y muertes, las organizaciones se han visto obligadas a crear reglas generales y procedimientos para salvaguardar la vida humana durante estos trabajos.

Con las mejoras continuas en tecnología submarina muchas plataformas están siendo diseñadas para el mantenimiento sin buceadores.

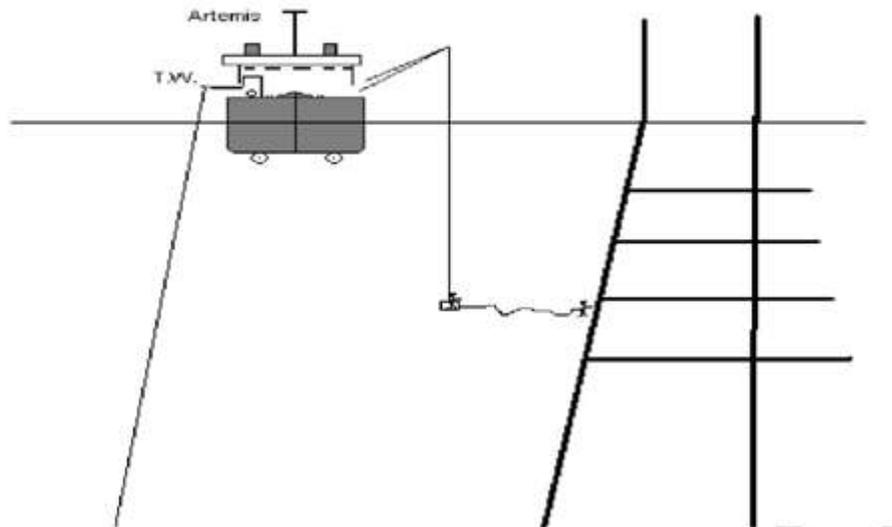
- **Air Diving:**

El buzo se introduce en el agua a una profundidad no mayor de 40 o 50 metros, con la técnica de "buceo con aire", es decir, con botella de aire comprimido. Se trata de una mezcla de nitrógeno y oxígeno, conocido como "Nitrox". El buceador puede ser introducido en una cesta por un costado del buque, en una "wet-bell", o una "mini-bell". Los dos últimos métodos representan mayor seguridad al buceador en las zonas de buceo peligrosas.

El principal peligro asociado al "Air Diving" es que el buzo está cerca de la línea de flotación y de los sistemas de propulsión del buque.

La mezcla de aire al buceador se proporcionará a través de un conducto umbilical del buque a través de la cesta de buceo.

*Imagen 34: Esquema de un buque de apoyo de buceo*



*Fuente: Nautical Institute*

Por motivos de seguridad, el buceador debe estar como mínimo a cinco metros de longitud de la hélice más próxima.

Debajo de los 50 metros de profundidad, surgen otro tipo de problemas. La mezcla de aire se convierte en un peligro, pues el oxígeno se vuelve venenoso y el nivel de nitrógeno puede causar narcosis de nitrógeno.

Mientras un buzo está trabajando a gran profundidad, requerirá la descompresión antes de llegar a la superficie. Cuanto más tiempo se trabaja a gran profundidad, mayor será la parada de descompresión. Estos casos se dan sobre todo, cuando se utiliza la “wet-bell” o si se usa una cámara de descompresión en la cubierta. En este último caso, el buzo es devuelto a la superficie rápidamente.

*Imagen 35: Imagen del dispositivo “Wet-Bell”.*



Fuente: <http://www.oceaneering.com/3024/winter-work-for-nautilus-system/>

Se trata de un mecanismo cerrado, utilizado para el transporte de un pequeño número de buceadores. Suspendido mediante un cable controlado desde el buque, no está diseñado para actuar bajo el control de sus ocupantes, a diferencia de un submarino.

- **Salvamento Marítimo**

Salvamento Marítimo cuenta con equipos de actuación subacuática, como puede ser la campana húmeda de buceo (“Wet-bell”), ubicada en la base subacuática de Cartagena, que mejora la capacidad de trabajo en las actividades de inmersión y la seguridad de los buzos durante las operaciones de salvamento. Este elemento les permite realizar inmersiones desde los remolcadores de Salvamento Marítimo, aprovechando las facilidades del sistema DP, que evita tener que recurrir a complicadas maniobras de fondeo.

Como dijimos anteriormente, una campana húmeda es un dispositivo sumergible, que va unido a la superficie por un cable, y lleva una burbuja de mezcla respiratoria que permite mantener parte del cuerpo de los buceadores en seco y constituye un abrigo en las paradas de descompresión. Está equipada para enviar suministro de mezcla general desde superficie y permite abastecer una reserva de la misma en el aparato.

Está provista de maquinaria para llevar a cabo las comunicaciones, de sistemas de control para calcular el porcentaje de oxígeno en la burbuja y de los parámetros que afectan a los buceadores. Además, contiene un sistema para vaciar el agua de la burbuja.

*Imagen 36: Campana de buceo de Salvamento Marítimo.*



*Fuente: <http://www.farodevigo.es/gran-vigo/2014/04/02/dispositivo-salvamento-paso-paso/997935.html>*

En esta imagen, buzos de Salvamento Marítimo antes de una inmersión en la campana con la que cuenta el equipo de Cartagena.

- **Buceo de saturación:**

El buceo de saturación es una técnica que permite a los buzos trabajar a grandes profundidades durante largos periodos de tiempo reduciendo el peligro de sufrir enfermedades por descompresión.

La solución está en un sistema de cámaras a bordo del buque, donde los buzos pueden vivir durante largos periodos de tiempo (28 días) en la profundidad de trabajo. Viajan a través de bolsas de aire y tubos a la “campana”, que es bloqueada y enviada a la profundidad. Esto se conoce como una “carrera de campana”, por lo general tiene una duración de hasta 10 horas.

En cualquier inmersión, a cualquier profundidad, cuando el cuerpo de un buceador se satura con el gas de respiración (heliox o Tri-mix) se vuelve irrelevante cuánto tiempo permanece en esa profundidad, ya que se requiere la misma cantidad de tiempo para traerlo de vuelta a la superficie. El método de inmersión donde el buceador permanece a gran profundidad se conoce como "saturación" y el sistema de cámaras es conocido como "hiperbárica".

Para hacerse una idea de las profundidades y presiones:

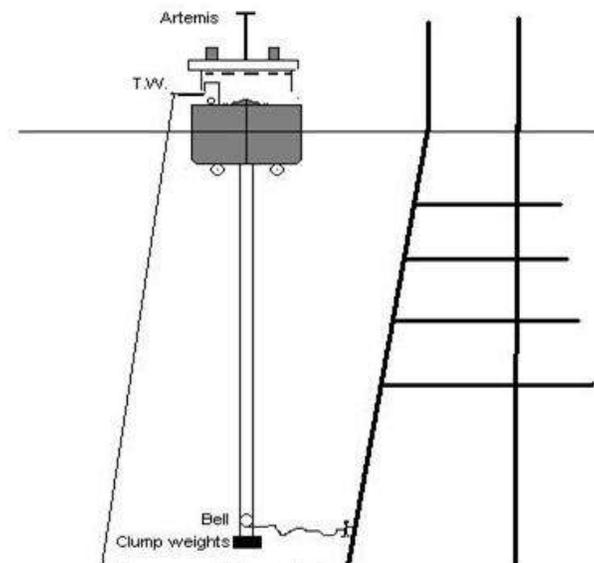
En la superficie la presión es de 1 atmósfera.

Cada 10 metros de profundidad, la presión aumenta 1 atmósfera.

10 metros= 2 atmósferas

20 metros= 3 atmósferas

*Imagen 37: buque de apoyo para buceo*



*Fuente: Nautical Institute.*

En la imagen anterior se muestra una representación en la que podemos observar un buque de apoyo para buceo con una apertura en la parte baja del casco de donde se despliega la canasta para llevar a cabo los trabajos.

Se hace cada vez más evidente por qué el buque se conoce como un buque de apoyo de buceo. El buzo no podría sobrevivir sin el apoyo que éstos proporcionan.

Trabajar y vivir en estas profundidades requiere una atención especial. Además de los problemas que hemos visto anteriormente, la pérdida de calor del cuerpo aumenta considerablemente. La temperatura del agua a gran profundidad es próxima a cero.

La situación de los buzos es controlada por equipos de técnicos de apoyo a la vida y las embarcaciones auxiliares.

Antes de dar el visto bueno y dar la señal "Green Light" (La Luz Verde) los buzos serán acomodados y trasladados a la campana. En ese momento, la campana se bloqueará desde fuera y el dispositivo se introducirá en las profundidades.

La campana ("Wet bell") generalmente se despliega a través de una "Moon-Pool", una abertura en el centro del casco del buque. Una "Run bell" consistiría en tres buzos (un nadador, un buzo en stand-by y un "bell man", que permanece en la campana) que operan en turnos de ocho horas. Los nadadores se proveen de gas, agua caliente para la calefacción, y las comunicaciones a través de cables conectados a la campana.

Los suministros de emergencia del gas para la respiración están en la campana, y cada buceador tiene una botella de emergencia.

*Imagen 38: Representación de un buque de apoyo con "Moonpool"*



**Fuente:** <https://vadebarcos.wordpress.com/2013/12/23/buques-offshore-inspeccion-mantenimiento-reparacion-imr-seven-viking/>

Buque con "Moonpool", de 7,2 x 7,2 metros. La "Moonpool" es una abertura en el casco del buque por la que se despliega la campana para la realización del trabajo de buceo.

En la actualidad el límite para llevar a cabo este método va de 400 a 450 m. A mayores profundidades, el trabajo deberá realizarlo un ROV o un buzo con un traje de buceo atmosférica (ADS). Los trajes de buceo atmosféricos se utilizan para buzos que trabajarán en aguas muy profundas. El traje es como un recipiente a presión, con aire a presión atmosférica en el interior. El buceador es capaz de operar todo tipo de herramientas, para llevar a cabo una amplia variedad de operaciones.

El buzo no está sometido a la presión de la profundidad de trabajo, por lo que no existe la posibilidad de tener problemas de descompresión.

Cada operación de buceo está bajo el control de un supervisor, que opera desde la cabina de control de buceo. El supervisor tiene todo el control de las comunicaciones y

de la campana, y es capaz de iniciar o detener una inmersión en cualquier momento. La seguridad de los buzos es su responsabilidad. El supervisor de buceo para cada turno está bajo el control total de un Superintendente. Habrá un sistema para el estado de la inmersión, que será controlado por el operador DP en el puente, donde la luz verde significará que la actividad puede comenzar, la alarma de color ámbar es un estado intermedio, donde se avisa a los buceadores para volver al punto de reunión, en la campana, y la alarma intermitente roja significará un estado de emergencia, que puede resultar de la pérdida de posición del buque, y los buzos deberán volver a la superficie.

Antes de participar en las operaciones de buceo, el Operador DP deberá garantizar que todos sus sistemas funcionan correctamente, con redundancia completamente disponible en todas las áreas. El buque debe estar estabilizado en el lugar de trabajo, y debe haber tenido al menos 30 minutos para resolver y construir el modelo matemático en el sistema.

Todas las listas de comprobaciones del sistema DP y de las operaciones de buceo deben ser completadas antes de iniciar la operación. Las alarmas y advertencias deben ser promulgadas en el buque y en la plataforma para informar de que las operaciones de buceo se están llevando a cabo. En muchos casos será necesario un permiso de trabajo para realizar las operaciones de buceo.

El equipo del puente tiene que evaluar que el número de buceadores en el agua es el correcto, su ubicación, la profundidad y la situación de trabajo, sobre todo si se está trabajando en un fondo abierto o en un sitio angosto, también el número de transpondedores de emergencia en la campana y en el ROV. Las balizas de emergencia de buceo tienen tradicionalmente una frecuencia específica. Balizas número 88 y 99, también conocidas como balizas A y B.

El buceo es una actividad potencialmente peligrosa en las proximidades de líneas de y cadenas de ancla. Un peligro adicional para los buzos que trabajan en buques de apoyo con DP, es la presencia del Taut Wire. Este problema se evita desplegando el sistema de referencia por el costado del barco donde no se van a realizar trabajos submarinos.

**Operaciones de buceo. Comunicación entre el Operador DP y el Operador ROV:**

Entre las operaciones que lleva a cabo un “DP Operator” (Operador DP) durante una maniobra o mientras el buque está en “DP Mode”, son de máxima importancia las comunicaciones. Durante una operación con ROV (Remote Operated Vehicles), en trabajos submarinos rutinarios, donde el buque con un sistema DP sirve como plataforma de trabajo, las comunicaciones entre el ROV y el Operador son fundamentales.

Las comunicaciones se llevarán a cabo de esta forma en este caso en concreto:

- Supervisor ROV:
  - Da distancia y dirección de cualquier medida necesaria para la maniobra al Operador DP.
  - Informa al Operador DP “Listos para moverse”.
  - Confirma “En posición”.
  
- Operador DP:
  - Repite distancias y direcciones. Acto seguido pregunta al Supervisor ROV si tiene permiso para comenzar a moverse.
  - Confirma “El movimiento ha comenzado” al Supervisor ROV.
  - Notifica al Supervisor ROV cuando se ha realizado el movimiento para que el ROV pueda continuar trabajando en posición.

## 5.7. Buques de perforación

Los buques de perforación con sistema DP han estado operando desde 1970 en alta mar, pero hasta hace muy poco esta modalidad de posicionamiento era bastante rara y normalmente restringida a buques de perforación y plataformas semi sumergibles.

El paso a la perforación a grandes profundidades ha visto un auge con la construcción de buques DP de perforación y las plataformas semi sumergibles. La principal razón de este auge puede atribuirse a las dificultades asociadas con el amarre de embarcaciones de perforación convencionales en aguas profundas. El amarre en aguas profundas se ha convertido en una industria especializada, pero puede resultar una opción más cara que el Sistema DP, sobre todo por el costo que supone la pérdida de tiempo. Este costo tiene que ser comparado con la inversión de capital en un sistema DP y todo lo que va con ella, más los gastos de funcionamiento diario de un buque DP. Estos costos diarios se derivan de un mayor consumo de combustible, el aumento de la tripulación y un sistema de mantenimiento planificado más riguroso.

El funcionamiento de un buque de perforación en modo DP no es diferente a la de cualquier otra operación de Posicionamiento Dinámico. El sistema mantendrá una posición y un rumbo en el momento indicado para realizar la maniobra, dentro de los límites establecidos por el operador.

Hasta ahora, es exactamente el mismo procedimiento que se llevaría a cabo en cualquier embarcación trabajando en modo DP. La principal diferencia entre las operaciones de perforación y otros tipos de operaciones con DP, es que la posición que se buscaba deberá ser mantenida durante un periodo de tiempo mayor.

Las técnicas y equipos de perforación han mejorado enormemente en los últimos años, pero todavía es posible que un buque de perforación deba mantener la posición durante cuatro o cinco meses, en los cuales sólo se efectuarán pequeñas alteraciones

en la situación si fuera necesario. La idea fundamental es la de mantener una posición fija durante un periodo de tiempo prolongado.

Este concepto puede suponer algunos problemas debido a la naturaleza de la operación. La mayoría de las operaciones de perforación implican que el recipiente esté unido al fondo del mar por medio de una tubería vertical y un obturador anti erupción (BOP), que es un montaje de válvulas instaladas en la parte superior de un pozo de petróleo durante la perforación para controlar un posible caso de rotura.

La tubería es recuperada al final de la operación de perforación. También puede ser recogida durante las operaciones, pero no es una tarea sencilla. Lo normal es que, una vez que el buque se une al fondo, permanezca así hasta que se haya completado la operación

En aguas muy profundas, la recuperación de la tubería vertical y del BOP puede tardar horas, incluso días, si no es una desconexión programada, además del costo económico que significaría.

Esto significa que, los sistemas DP, propulsores, generadores y otros equipos asociados tendrán que trabajar de manera eficiente durante largos períodos de tiempo. Esto implica un nivel extremadamente alto de mantenimiento para minimizar la posibilidad de un colapso. También significa que el mantenimiento planificado no siempre podrá llevarse a cabo durante el período de perforación, ya que a veces puede ser imposible disponer del equipo para este propósito.

En la siguiente imagen el buque Ensco DS 1, buque atracado en la segunda del Dique del Este desde principios del mes de julio. Este buque fue construido en 1999, y su anterior nombre fue "Pride Africa". Fue construido por Hyundai Mipo Dockyard, en Korea. Se trata de un buque de perforación con capacidad para 162 personas.

*Imagen 39: Ensco DS 1*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Operaciones**

En la primera parte de las operaciones de perforación se realizan, lo que se conoce como “Open Hole”. Esto es necesario para después desplegar la tubería y el BOP. Normalmente consiste en la perforación del agujero original en el fondo, seguido de la colocación de un forro para el agujero y de una base para que se asiente posteriormente el BOP.

No puede haber problemas asociados a esta operación. La mayoría de los pozos tienen bastantes restricciones por la estrechez en la que se va a perforar. Las corrientes marinas suelen afectar negativamente a la perforación, debido a los movimientos que creará en la broca, que puede desplazarse bastante de la vertical. En este caso, el

buque deberá desplazarse para compensar el movimiento del taladro vertical, para asegurar que la perforación se hará dentro del radio especificado. Uno de los problemas asociados a esto es que un desplazamiento en la superficie no será detectado inmediatamente.

El tubo del taladro es flexible y la profundidad puede ser de 10.000 pies, por lo que llevar un segmento de tubo flexible de casi dos millas de largo a un blanco puede resultar muy difícil. Una vez establecido el agujero original, hay que colocar la carcasa y encajarla en el agujero, que también puede resultar una operación muy lenta. Lo mismo sucede con el BOP, ya que tiene que ser colocado con mucha precisión en la parte superior de la cabeza del pozo.

La otra parte del pozo será perforado después de que la tubería y el BOP se hayan hundido y conectado a la cabeza del pozo. El resto del pozo se perforará el interior de la tubería vertical marina y BOP. Aunque la tubería de perforación ya no esté sujeta a las fuerzas ambientales, el área de sección transversal de la tubería vertical es particularmente vulnerable a la superficie y las corrientes. Estas corrientes pueden doblar el tubo y dar lugar a graves problemas con el equipo.

Al igual que con cualquier operación de DP, antes de comenzar un trabajo deben ser definidos los parámetros de funcionamiento. La mayoría de los buques de perforación operan un sistema automático de alarmas para que el Operador DP pueda dejar que la perforadora sepa los problemas que le afectan. Lo ideal sería que estas alarmas se desglosaran en tres categorías. A continuación veremos ejemplos de cada alarma, pero en cada barco el sistema será independiente.

- **Alerta azul:**

Este podría ser el aviso de mal tiempo, información sobre el mal funcionamiento de un elemento no crítico de los equipos o un aviso antes de llegar a una alarma de color amarillo.

- **Alerta amarilla o ámbar:**

Este podría ser el aviso de que la capacidad del buque para mantener la posición dentro de un determinado parámetro se ha visto afectada o que se ha alcanzado un límite predeterminado de empuje o potencia de consumo. También podría significar la pérdida de una parte de un sistema redundante. El buque podrá continuar funcionando, pero todo el mundo será consciente de que cualquier degradación adicional del sistema podrá dar lugar a una alerta roja.

- **Alarma roja:**

Se trata de una alarma crítica que indica que el buque ha sufrido una pérdida de algún equipo fundamental, o la capacidad para mantener la posición de modo que las operaciones de DP se verán gravemente comprometidas. Esta alarma debe indicar al perforador que debe cesar la actividad de inmediato y si está conectado al fondo del mar activar la desconexión de emergencia tan pronto como sea posible teniendo en cuenta la seguridad.

La alarma azul normalmente se discute con el perforador. Las alertas amarillas y rojas se activan por medio de un botón en el mostrador de DP que opera una alarma visual y acústica en la consola de perforación. Como se dijo anteriormente, los parámetros de estas alarmas se deben establecer de antemano.

El retraso en la activación de las alertas amarillas o rojas puede ser catastrófico. Si la activación de la alerta roja se retrasa, puede llegar a ser imposible la desconexión del

pozo y esto podría provocar un grave accidente de contaminación. Además, un error de esta magnitud podría producir daños en el equipo que impedirían al buque operar en un largo periodo de tiempo.

*Imagen 40: Buque de proa invertida*



Fuente: <http://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-70/issue-8/Netherlands/compact-drillship-configured-for-stable-low-power-service.html>

El Buque GSP Venus, con una construcción de proa invertida, con la que aseguran minimizar los costos en la construcción. Es una de los pocos buques con esta construcción innovadora.

- **Comunicación**

Como con cada operación DP, una buena comunicación es esencial. Durante la perforación, el Operador DP y el perforador deben comunicarse regularmente. El operador DP debe mantener al perforador totalmente informado de los cambios en la posición y rumbo, así como la transmisión de cualquier otra información sobre el tiempo, los movimientos de barcos de apoyo, etc.

El perforador debe informar al operador DP de cualquier cambio en su operación, como sería el vertido de lodo, entre otras. Hay ciertas etapas de perforación donde es imposible la desconexión de emergencia de manera segura y es de suma importancia que el perforador informe al Operador DP cuando se producen estas condiciones. El perforador y el operador deben construir una situación de trabajo donde mantenerse informados es algo natural.

Uno de los principales problemas de la comunicación en un buque de perforación es el idioma utilizado en la industria de la perforación. A menudo comprende una secuencia de acrónimos de tres letras que, aparentemente, no tienen sentido. Familiarizarse con este lenguaje debe ser una prioridad para todos los Operadores DP, al entrar en la industria de la perforación, en cualquier momento, la falta de entendimiento puede tener consecuencias graves.

- **Problemas encontrados**

Como se mencionó anteriormente, la perforación DP se realiza a menudo en profundidades extremas. Por la naturaleza de estas operaciones, lo normal es que se lleven a cabo en lugares remotos. Esto limita la disponibilidad de sistemas de referencia de posición. Taut Wire, FanBeam y Artemis, algunos de los sistemas más destacables en esta industria. Por esta razón, quedamos con una selección de sistemas de referencia bastante limitada. En los buques de perforación, normalmente se reducen a DGPS, sistemas de referencia Hidroacústica y sensores de ángulo vertical.

Los problemas con los dos últimos aumentan proporcionalmente con la profundidad del agua, por lo que es evidente que el DGPS es la opción más fiable, y se vuelve aún más importante en los buques de perforación.

Uno de los principales problemas que afectan a los operadores en los buques de perforación es el aburrimiento. Debido a la naturaleza a largo plazo de las operaciones y la falta de participación del operador, en comparación con otros tipos de operaciones, es fácil tener una sensación de seguridad, que puede resultar peligrosa. Debido a los largos periodos de inactividad, es posible perder la concentración y dejar que la atención se desvíe.

Hay que tener en cuenta que las operaciones pueden fallar de un momento a otro. Los buques de perforación tienden a operar en "círculos de vigilancia", en los que se definen tres radios críticos alrededor de la perforación. Una de las facetas más importantes de Operaciones de Perforación DP es minimizar el riesgo para el personal, el medio ambiente, y el equipo, asegurándose de que la plataforma es capaz de desconectar de la boca del pozo durante una pérdida de ubicación. Históricamente, la mayoría de los buques DP han utilizado el concepto de "círculos de vigilancia" para definir claramente cuándo iniciar la acción. El objetivo básico de la utilización de los "Círculos de Vigilancia" ("Watch Circles") es definir tres radios críticos alrededor de la cabeza del pozo. El círculo más externo, conocido como el Punto de Desconexión (POD), se determina por el límite mecánico del equipo de perforación. Si la plataforma no se ha desconectado y separado del BOP en el momento en que alcanza el POD, ya sea el equipo de perforación o la boca de pozo, probablemente sufrirá daños mecánicos. De este modo, la plataforma debe haber desconectado y separado el BOP en el momento en que llegue al punto de desconexión. El círculo más pequeño, o "Red Watch", se establece lo suficientemente lejos dentro del radio POD para dar tiempo suficiente para desconectar de forma segura y separar el tubo ascendente de perforación del BOP.

Las corrientes submarinas pueden tener un impacto muy grande en la forma de la tubería vertical marina y este cambio en el perfil de la misma tendrá que ser compensado por un cambio de posición.

A menudo, son los efectos de la misma corriente los que mantienen la plataforma en su posición. La parte superior de la tubería se fija al buque y el otro extremo al fondo, por lo que, cualquier movimiento de la tubería empujará al buque, y lo sacará de su posición.

Si consideramos un buque está perforando a 10.000 pies de profundidad y el área de la sección transversal del tubo ascendente, veremos que la tubería está sujeta, inevitablemente, a las corrientes. La fuerza que actúa sobre la tubería puede hacer que la posición de mantenimiento en la superficie sea extremadamente difícil, especialmente cuando la corriente submarina es variable en intensidad y dirección.

- **Ball Joint y Riser Angle Sensors:**

El “Ball Joint” puede ser descrito como una conexión de entre la parte superior del BOP y el tubo ascendente. El BOP se asienta en el fondo del mar y es el dispositivo de seguridad que se utiliza para controlar que el flujo no deseado de petróleo o gas vuelva de la tubería a la superficie. El tubo ascendente es un conducto de gran diámetro que conecta el BOP al buque de perforación. Una vez que el BOP se ha fijado en el fondo marino, todas las operaciones de perforación están contenidas dentro de este sistema.

La tubería de perforación pasa por el interior del tubo ascendente, a través del BOP y en el agujero que está siendo perforado. Es extremadamente importante para el personal de perforación conocer el ángulo entre la tubería vertical marina y el BOP es decir, el “Ball Joint”. Esta información es necesaria para minimizar el desgaste dentro del BOP y el tubo ascendente marino, que podría ser causada por la tubería de perforación rotatoria contra ambos lados (cojinete de desgaste).

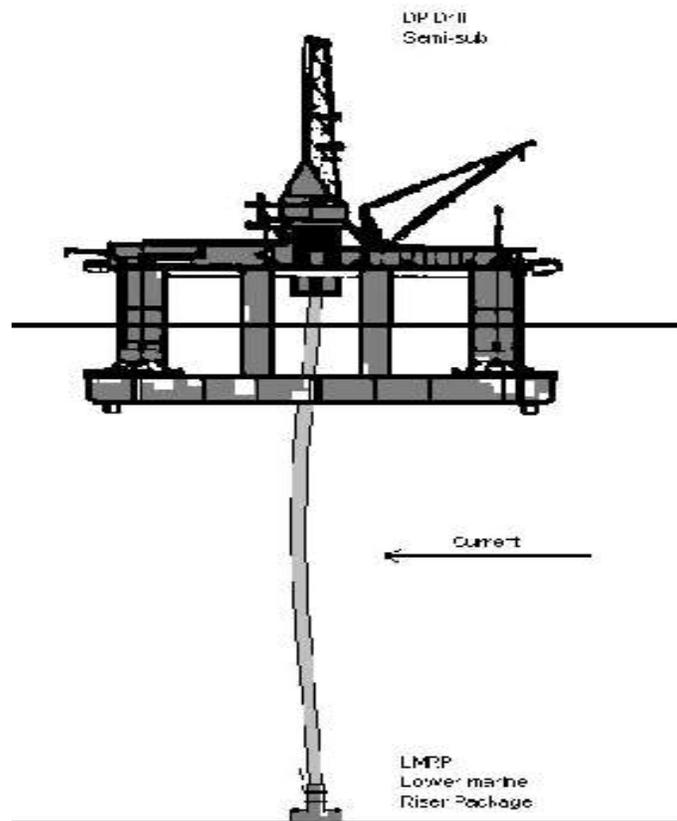
Una vez que el BOP se asienta en el fondo, se puede considerar que está sujeto. Es muy posible que cuando descienda y sea colocado no sea perfectamente vertical, de

manera que se crea un pequeño ángulo. Aunque la tubería esté hecha con paredes gruesas, el tubo ascendente está sujeto a los efectos de las corrientes submarinas. Estas corrientes pueden doblar el tubo ascendente que obviamente cambia el ángulo que forma con el BOP. Cuanto más profunda es el agua y más fuertes las corrientes, más grave puede llegar a ser el problema.

Para medir estos ángulos, los sensores se colocan tanto en el BOP como en el tubo ascendente. Debido a las limitaciones con los sistemas de referencia disponibles en los buques de perforación, estos sensores pueden ser utilizados para determinar la posición de los buques. La mejor analogía es compararlo con un sistema de Tawt Wire invertido. El BOP se convierte en el peso y el elevador sería el cable. El ángulo con la vertical se mide en la parte inferior en lugar de en la parte superior como en un Tawt Wire normal.

Se utilizan varios tipos de sensores para medir estos ángulos, pero los más comunes son "Angleometers", cuya respuesta va hacia el buque mediante cableado, y las balizas acústicas, que miden el ángulo y transmiten la información acústicamente a la superficie. Los sensores de tipo acústico no han tenido tanto éxito en proximidad a la gran masa sólida que supone el tubo, que puede reflejar o bloquear la señal.

***Imagen 41: Deformación que sufre la tubería ascendente debido a las corrientes***



*Fuente: Nautical Institute*

Ambos sistemas para medir el ángulo del tubo ascendente de la vertical y dado que la profundidad del agua es conocida, sólo queda un cálculo trigonométrico simple para hallar la compensación teórica del barco con la superficie. Subsidio tiene que ser hecho por cualquier ángulo BOP pero como hay sensores instalados en el BOP el mensaje es un simple cálculo.

Para que este método funcione con precisión, se supone que la tubería vertical es una línea recta, aunque, como dijimos anteriormente, raramente sucede. El buque puede ser colocado directamente sobre el BOP, pero la tubería se inclinará debido a los

efectos de las corrientes submarinas. Esta inclinación creará un ángulo en el BOP, que se traduce en un error en la posición de la superficie debido a que el cálculo asume que la tubería es una línea recta.

También se puede asociar el error a un movimiento de la embarcación en la superficie, que se reflejará con precisión en un cambio de ángulo en el fondo. Puede ser cierto, pero ya sabemos que el tubo es flexible, y es posible que esa información tarde algún tiempo en asimilarse. Esto significa que la medición no actúa como un sensor a tiempo real.

Los sensores de tipo "Metrox" son fiables en cuanto a la salida de la señal, ya que están cableados hacia la superficie, pero por las razones expuestas anteriormente pueden no proporcionar información de posición lo suficientemente precisa en comparación con un DGPS o acústica normal. El sistema DP no sabrá esto y en un cálculo ponderado del sistema se considerará que la información del "Ball Joint" es la mejor que obtendrá y le otorgará mayor importancia que a los otros sensores. Esto puede ser extremadamente peligroso, y por ello este tipo de sensores debe utilizarse con precaución, especialmente cuando se utiliza en combinación con otro tipo de sistemas de referencia.

## **5.8. Shuttle Tankers. Buques Cisterna o Lanzaderas**

Los Shuttle Tankers son buques construidos para el transporte de petróleo. Las operaciones de los "Shuttle Tankers" pueden dividirse en cuatro grupos: sistemas con cabos de amarre, sistema sin cabos y "submerged turrent loading"(STL). El cuarto grupo consiste en aquellos buques configurados para cargar directamente desde las instalaciones FPSO (floating production, storage and offtake units).

Un creciente número de campos de petróleo en alta mar han obligado a realizar las exportaciones a través de los Shuttle Tankers. En muchos casos, la distancia a tierra es demasiado grande como para la construcción de una tubería para el transporte del producto, y, por otra parte, las reservas sólo se pueden admitir de forma limitada. En estos casos, el petrolero puede amarrar a una terminal de carga (OLT) mar adentro y pasar la carga por medio de un manifold a proa. En muchas zonas, la localización de la OLT no permite un amarre, debido a las cargas ambientales que pueden imponerse a la estructura. Es en estos casos donde se necesitan Shuttle Tankers, conocidos como “Lanzaderas”.

Este tipo de buque se mueve generalmente según la dirección del viento. El buque se posicionará con la proa llevando un círculo imaginario, centrado en la OLT. El buque está continuamente moviéndose en círculos alrededor de la OLT, o ajustando su posición para mantener la estación a proa. Esto permite al manifold de proa permanecer dentro de las distancias máximas y las mínimas establecidas del punto de referencia (la OLT), asegurando de esta forma que no hay riesgo de daño en la manguera de carga. La OLT evita tener mayores cargas ambientales, y el sistema de DP asegura que la posición y el rumbo del buque se mantienen incluso en las condiciones meteorológicas más severas.

Los petroleros con este tipo de funciones están equipados con un sistema DP convencional, configurados para manejar la habilidad “Weathervaning” (movimiento en círculos alrededor de la OLT, “Veleta”).

Por lo general, la proa está equipada con dos propulsores, uno a popa, y dos tornillos principales propulsores de popa, y hélices principales individuales o dobles. El sistema de DP puede ser instalado en el puente, a popa, o en el castillo de proa. La lanzaderas modernas, normalmente cuentan con niveles de redundancia de Clase 2, pero muchos buques anteriores a las nuevas construcciones, sólo cuentan con un sistema Clase 1.

Los sistemas de referencia utilizados pueden incluir DGPS, Hidroacústicos, sistemas láser y Artemis. Hay que tener en cuenta la distinción entre los sistemas de referencia absolutos y los relativos. Un buque tanque necesita a la terminal para mantener la posición relativa. Si la terminal es móvil, el petrolero debe seguir el movimiento. Muchas OLT están flotando ancladas a boyas que tienen movimiento.

Los petroleros con DP, como el “Navion Scandia” operan sobre el “Principio Wheatreaning”. Otros terminales son FPSO, que también están anclados a modo de “veleta”. En ambos casos, el buque de extracción necesita una referencia de posición relativa con relación al movimiento de la OLT. Los sistemas basados en láser y Artemis son sistemas de referencia relativos utilizados en estas circunstancias.

**Imagen 42: Buque “Navion Scandia”**



**Fuente: [http://gcaptain.com/losses-teekey-narrow-higher-revenue/#.VahX1fl\\_Oko](http://gcaptain.com/losses-teekey-narrow-higher-revenue/#.VahX1fl_Oko) August 9, 2012 by gCaptain**

El petrolero transbordador comenzará a funcionar en modo DP durante la aproximación, lo que permitirá recoger los cabos de forma controlada. Una vez en posición, a la distancia correcta de la OLT, el cabo se amarra y se conecta la manguera.

Un diagrama, específico de la OLT, muestra los criterios ambientales de aproximación y puesta en marcha, así como los criterios de posición y rumbo para una posible parada de emergencia y desconexión.

Una variación en este tema es el sistema STL (Submerged Turret Loading), en el que la carga se lleva a cabo a partir de una torreta circular cónica submarina. Esta torreta está anclada a una profundidad por debajo del nivel de la quilla, y lleva hacia la manguera de carga. El buque tiene un cono de acoplamiento integrado en la estructura inferior, a proa.

El buque maniobra encima de la torreta, recogiendo un cabo guía. La torreta se localiza por medio de balizas acústicas. La torreta se va izando en el cono de acoplamiento y se bloquea; una vez se haya completado la maniobra, el buque se mueve alrededor de la ubicación de la torreta para mantener la posición y el rumbo usando DP. Cada vez son más los campos configurados para utilizar el STL.

Una variación adicional es la disposición de un tándem de carga FPSO. Una construcción flotante de producción, almacenamiento y unidad de extracción. Es, por lo general una construcción con forma de barco amarrado a la estructura de la torreta.

El FPSO produce en su propio tanque de almacenamiento, y a intervalos frecuentes deben parar la carga y vaciar la en un buque cisterna.

El petrolero se situará a popa de la FPSO y hará la carga a través de un manifold a proa. La estrategia de posicionamiento es la misma que en el caso de las OLT o STL, con la complicación añadida de que el punto de referencia para el posicionamiento puede tener un ligero movimiento; la FPSO girará sobre sí misma.

Los sistemas de referencia para este tipo de petrolero, por lo general, será una combinación de Artemis, un sistema láser y GPS (tales como el sistema DARPS).

### **5.9. Manejo de anclas en remolcadores y buques de suministro de plataformas**

Todos los buques de nueva construcción en esta categoría se están construyendo con una capacidad de Clase 2 DP especificada en el diseño. Hace algunos años, este tipo de barcos eran equipados con DP clase 1, pero en vista de los lugares en los que estos buques navegaban, y los riesgos asociados, muchos clientes comenzaron a demandar el sistema DP Clase 2 como estándar. En el manejo de anclaje, DP se puede utilizar como ventaja en la maniobra para transferir las anclas al remolcador desde la barcaza o plataforma, y en la posición exacta para la colocación de los anclajes.

En los buques de suministro, el DP permite un posicionamiento más fiable del barco cerca de una plataforma por largos períodos de tiempo de trabajo.

*Imagen 43: Imagen del remolcador de altura "Siem Sapphire"*



*Fuente: Elaboración propia*

El buque Siem Shaphire, DP Clase 2, y al fondo, el Skandi Giant, también DP Clase 2, en Astican.

### **5.10. Buques de construcción y barcasas grúa**

Un gran número de buques de carga pesada utilizan rutinariamente DP como ventaja en las operaciones. El número de instalaciones capaces de levantar más de 4.000 toneladas es cada vez mayor, y también existe el caso de buques en los que la grúa cuenta con menor capacidad, pero mayor utilidad.

La opción de acabar con las maniobras de anclaje en ocho puntos, reduce considerablemente el tiempo necesario para completar una operación de elevación de la carga. Por lo general, el sistema integrado en los buques de este tipo es de Clase 3, pues no hay necesidad de establecer un anclaje de apoyo.

Los buques más grandes de esta clase son el "Saipem 7000", el "Thialf" y "Balder". Estas embarcaciones se utilizan principalmente para la instalación de grandes elementos de plataformas.

### **5.11. Barcasas de acomodación y buques de servicios**

Durante los períodos de construcción, reconstrucción o reparación de instalaciones en alta mar, hay una necesidad de una serie de instalaciones. A veces estas instalaciones simplemente consisten en alojamiento para trabajadores.

En otros casos, las instalaciones necesarias son más complejas. Una barcaza "flotel" simple puede estar situada cerca de una plataforma de prestación de servicios de alojamiento; esta barcaza puede estar conectada a la plataforma por medio de una pasarela, o en condiciones climáticas adversas, el transporte debe ser por helicóptero. Estas barcasas son a menudo semi-sumergibles. Si se conecta una pasarela, la propia

escala puede funcionar como un sistema de referencia; una forma de Tawt Wire horizontal.

Dichos buques pueden ofrecer más servicios que el alojamiento, pues son capaces de dirigir trabajos de buceo y ROV, llevar a cabo fabricación, montaje o reparación en talleres, realizar operaciones de grúa, y tienen un papel importante en la intervención de emergencia (la lucha contra incendios, evacuación, médica, etc). Estos barcos suponen un servicio de apoyo semi-permanente para un campo.

- **Floteles**

Este tipo de barcos fueron creados debido que la capacidad de habilitación de las plataformas petrolíferas para los trabajadores que realizan labores especiales en ellas, como mantenimiento o reacondicionamiento, era demasiado escasa. Por este motivo se crearon las plataformas semisumergibles o flotel.

*Imagen 44: Buque "Edda Fides".*

El Buque "Edda Fides", construido en el astillero Hijos de J. Barreras, fue entregado a su armador el 26 de marzo de 2011, tiene capacidad para 600 personas, y está destinado para operarios y trabajadores de las plataformas petrolíferas.



*Fuente: <https://delamarylosbarcos.wordpress.com/2011/03/29/%E2%80%9Ccedda-fides%E2%80%9D-un-buque-hotel-unico-en-el-mundo-en-su-categoria/>*

## 5.12. Buques de pasaje

Los grandes cruceros están comenzando a utilizar sistemas DP. Estos buques aumentan su tamaño cada vez más, tienen un francobordo cada vez mayor y, como consecuencia, un calado cada vez menor. Además de los apretados programas, y las precisas maniobras que ejecutan en ciertos puertos, los requerimientos para satisfacer a los clientes pueden llegar a ser muy exigentes.

Esta es un área donde el DP está empezando a ser utilizado por las ventajas que ofrece. Una consideración adicional es la del medio ambiente. En muchos lugares está prohibido anclar, debido a los efectos en los entornos de arrecifes de coral, muy vulnerables.

*Imagen 45: El Buque "Mein Schiff 3" en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife*



*Fuente: [http://www.shipparade.com/az/Mein\\_Schiff\\_3/Mein\\_Schiff\\_3.htm](http://www.shipparade.com/az/Mein_Schiff_3/Mein_Schiff_3.htm) 30/15/14*

El Buque “Mein Schiff 3” cuenta con un sistema DP, que fue instalado principalmente para el ahorro de combustible.

Otra de las ventajas que aporta un buque con sistema DP integrado, es la capacidad de hacer socaire a un costado del buque a la hora de hacer consumo. Si el barco estuviera proa al viento, sería imposible hacer consumo con una gabarra abarloada, pero el DP permite virar 20º con respecto al viento, dejando el costado donde se vaya a hacer el consumo a resguardo, manteniendo la posición y haciendo, de esta forma, que se lleve a cabo la actividad de la forma más segura.

### **5.13. Investigación e inspección**

Una variedad de buques de investigación e inspección hacen buen uso de las capacidades del DP. Estos incluyen buques hidrográficos de investigación y buques de inspección, buques oceanográficos y de investigación de pesca, y buques de logística, tales como los operados por “British Antarctic Survey”. La gran variedad de trabajos realizados por este tipo de barcos necesitarán muy a menudo el uso de las capacidades de los sistemas DP.

### **5.14. Buques militares**

Muchos barcos de clase MCM, “Royal Navy” y ultramar, tienen capacidad DP. Esto les permite estar “flotando” en un punto concreto mientras investigan un submarino.

Otro tipo de buque militar que utiliza DP es el barco de operaciones submarinas. Cada vez más, el DP es utilizado en “Amphibious Assault Vessels”, barcos utilizados para el apoyo de las fuerzas militares terrestres y similares.

### **5.15. Otras aplicaciones**

Otras tareas que el DP podría incluir son la minería en el fondo marino, la construcción de parques eólicos, embarcaciones de carga pesada y el mercado de yates de lujo.

Una aplicación inusual de DP ha sido las instalaciones “Sea-lunch”. Son únicamente dos barcos, que ofrecen capacidad DP. Son plataformas que se dedican al lanzamiento de cohetes semisumergibles “Sea Launch Odyssey”. Ambos barcos se posicionan de forma dinámica.

Durante las operaciones de abastecimiento de combustible y de lanzamiento, la plataforma “Sea Launch Odyssey” no estará tripulada, y su sistema DP será controlado a distancia desde el buque de mando. En la actualidad, este es el único sistema de DP por control remoto.

De lo anterior, se puede ver que la aplicación práctica DP puede variar desde un buque que, simplemente tiene que mantener una posición y rumbo durante largos períodos de tiempo, a los buques se están continuamente ajustando la posición y el rumbo por razones operativas. Muchos sistemas en buques DP serán configurados específicamente para las operaciones que se realicen.

Sea cual sea la función y las instalaciones del barco, es esencial que el sistema entienda las operaciones que su equipo llevará a cabo. Es esencial un estudio a fondo de los manuales operativos y el sistema. Los sistemas de DP están, de alguna forma, hechos a medida para el buque en cuestión.

*Imagen 46: La plataforma "Sea Launch Odyssey".*



*Fuente: <http://navy.memorieshop.com/World-Ports/South-California/Home-Port.html>*

Como ya dijimos anteriormente, esta plataforma fue diseñada para el lanzamiento de vehículos espaciales semi sumergibles y autopropulsada. Anteriormente había sido una plataforma de perforación móvil, en el año 1997.

## 6. LEGISLACIÓN

Como hemos visto a lo largo de este trabajo, el Operador DP resulta una parte fundamental del Sistema de Posicionamiento Dinámico. Es imprescindible que el personal esté correctamente formado, aunque hasta el año 1985 la formación no estaba controlada, sino que se basaba en la experiencia adquirida durante el equipamiento del buque con estos sistemas, por lo que se adquirían los conocimientos necesarios durante la instalación y una vez el barco comenzara la navegación se entrenaba a los operadores, sin previa experiencia en un simulador. Esta formación la impartía el propio fabricante, que se encargaba de la instalación del equipo.

Era evidente que este sistema no podía seguir llevándose a cabo, por lo que, en 1984 el “Nautical Institute” planteó un esquema para la formación de los oficiales, con la intención de establecer un nivel de competencia para los operadores.

Se creó un comité para crear este esquema, que estaba formado por capitanes, navieras y representantes del comité de transporte del Reino Unido, para fijar un estándar en la formación de los operadores.

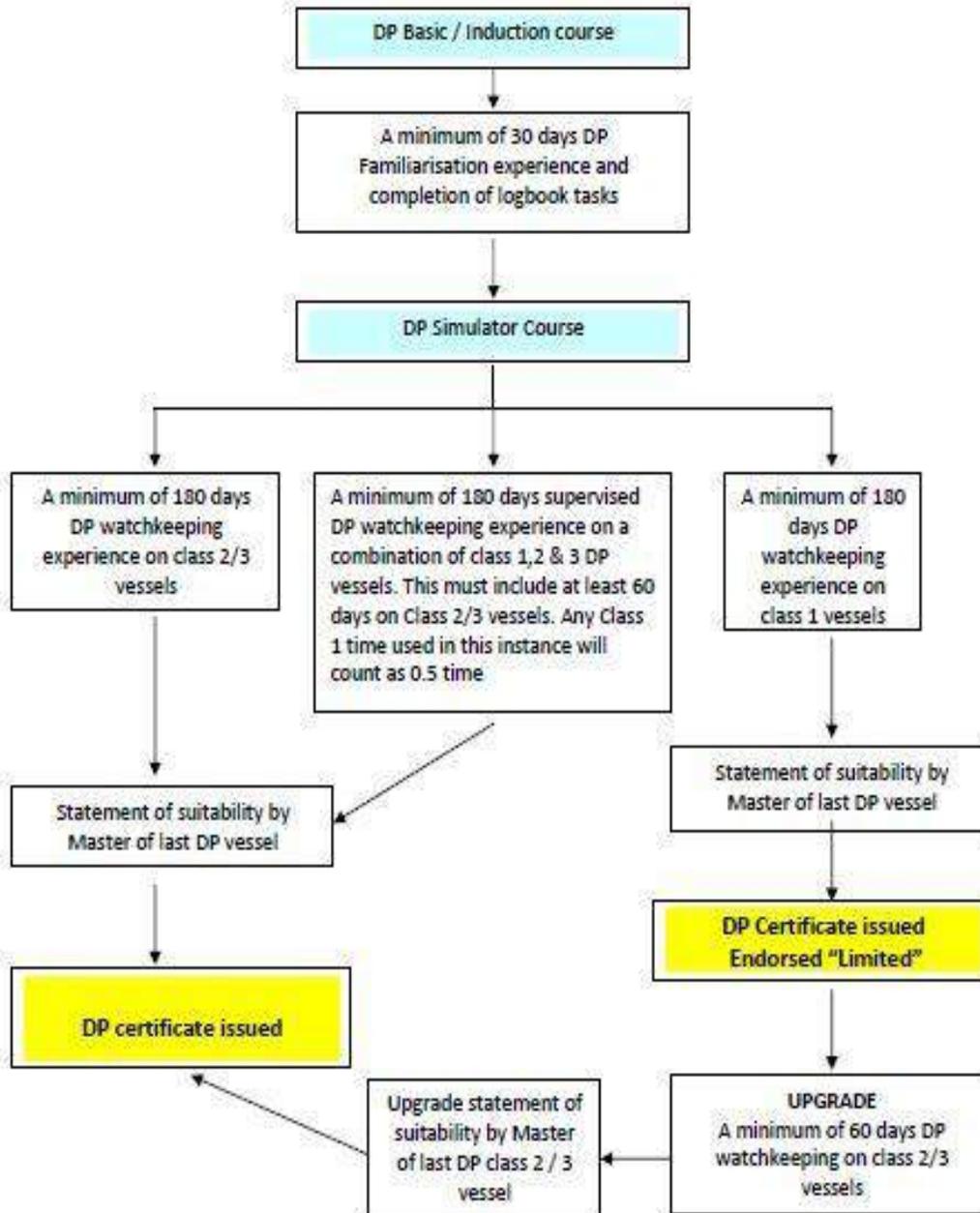
Este esquema se fundamenta en completar una serie de niveles de formación, que conoceremos a continuación.

Actualmente, el único esquema aceptado mundialmente para la formación de los oficiales ha sido el del Nautical Institute, que posee una serie de centros acreditados para impartir el curso.

Según las reformas en el Código STCW de Manila 2010, el Nautical Institute ha impuesto asignado algunos criterios para el comienzo de la formación.

La titulación exigible mínima estará establecida por el STCW II/1-II-2-II/3 para los oficiales de cubierta. En el caso del departamento de máquinas será III/1- III/2- III/3.

**Imagen 47: Esquema para la formación de Operadores DP**



Fuente: Nautical Institute

### **6.1. Curso básico**

En el curso básico los operadores deberán ser formados para una serie de funciones, y son las siguientes:

- Adquirir los conocimientos sobre los principios básicos de los sistemas DP.
- Comprensión y adquisición de la técnica para entender los gráficos de cobertura y capacidad.
- Capacidad para reconocer las advertencias y alarmas del sistema.
- Capacidad para configurar los equipos y los sensores y sistemas de posición.

Estos conocimientos serán adquiridos a base de teoría y prácticas en simuladores, y para ello es necesario seguir una serie de temas. Algunos de los conocimientos con los que debe salir el Operador del curso de introducción son:

- La definición del posicionamiento dinámico y todo lo que incluye este temario, como los seis grados de libertad, redundancia y la función del control DP.
- Elementos que forman un sistema DP detalladamente.
- Uso de los sensores y sistemas de referencia.
- Tipos de barcos que usan DP.
- Tipos de propulsores y elementos de maniobra.

Al finalizar del curso, el alumno obtendrá el DP Logbook, que deberá rellenar en 30 días de embarque realizando operaciones e involucrándose en ellas. El Capitán del buque firmará el libro una vez hayan sido realizadas las prácticas.

## 6.2. Curso avanzado

Una vez finalizado el curso de introducción al posicionamiento Dinámico, el operador deberá completar su formación con el curso avanzado, donde se le impartirán los siguientes conocimientos:

- Conocimientos prácticos de planificación, ejecución y conducción de una maniobra DP.
- Capacidad para demostrar el entendimiento de diferentes situaciones simuladas. Se requerirá el manejo efectivo de las operaciones normales y una serie de situaciones en las que aparezcan fallos en emergencias.
- Saber interpretar y utilizar los diagramas de la situación de trabajo y planificar las etapas de una maniobra y de emergencias.

Algunos de los contenidos que tendrá el temario son los siguientes:

- Estudio de casos relacionados con incidentes y accidentes.
- Construcción y uso de diagramas del lugar de trabajo, gráficos y plantillas del buque para las maniobras.
- Preparación de planes para maniobras, planes de contingencia para desviaciones y emergencias.
- Nuevos desarrollos en sistemas DP; Sensores de posición y sistemas de control.
- Aplicación de riesgos y definición de los tipos de equipos de DP.

La cuarta fase de este procedimiento tiene como objetivo la consolidación de los conocimientos adquiridos y adquirir la experiencia necesaria para llevar a cabo diferentes tareas y operaciones.

Para concluir el proceso, el Capitán deberá certificar la capacidad del operador durante una guardia durante una operación DP, anotando en el Logbook que el operador es apto para realizar las operaciones.

## **IV. RESULTADOS**

## 1. ÁNGELES ALVARIÑO

El buque Ángeles Alvariño es un Buque Oceanográfico, con bandera española, construido en astilleros vigueses de Armón en 2012, y que pertenece al Gobierno de España.

Este buque, encargado por el Instituto Español de Oceanografía, junto a su gemelo, el “Ramón Margalef”, son buques dotados de avanzada tecnología, que sirven como laboratorios flotantes, dedicados a la investigación de la geología marina, biología marina, pesquería, control medioambiental y oceanografía química y física.

Tienen como puerto base Vigo, y realizan su actividad en aguas españolas y mares adyacentes.

El Buque cuenta con Sistema DP Clase 1 para realizar operaciones con ROV si fuese necesario. Este equipo cuenta con la última tecnología de la marca Kongsberg. El sistema permite al buque de forma automatizada estar posicionado en la misma situación durante largos periodos de tiempo, mientras realiza las operaciones de investigación, para las que un movimiento o cambio de posición podría provocar un mal funcionamiento en los equipos de investigación o menos precisión en los resultados.

En los últimos estudios que ha llevado a cabo el buque, en los que investigaba acerca de las corrientes en diferentes situaciones de la costa española, se ha comprobado la necesidad del buque de llevar un control que lo ayude a mantener la posición en el lugar de investigación. En este caso en concreto, el barco realiza sus operaciones sobre la un punto de la corriente para analizarla. Los sistemas de referencia de los que dispone son, GPS Diferencial, Fmbean y Giroscópica , además de un equipamiento que incluye sondas multihaz.

El sistema DO utilizado a bordo es de la marca “Kongsberg C-POS”. Posicionamiento Submarino Kongsberg HiPAP500 integrado en C-POS.

En la siguiente imagen veremos el equipo ROV (Remote Operated Vehicle) Liropus 2000, que fue bautizado con este nombre por la especie de crustáceo de cueva que descubrieron los científicos españoles. Este aparato puede operar sin ningún riesgo a 2000 metros de profundidad.

*Imagen 48: Rov Liropus 2000*



*Fuente: Trabajo de campo*

*Imagen 49: El Buque Ángeles Alvariño.*



*Fuente: Trabajo de campo.*

El Buque Ángeles Alvariño, tiene una eslora de 46 metros, manga 11, puntal 4.60 y calado 4 metros.

El sistema de propulsión consta con hélice de paso fijo, con velocidad máxima de 166rpm, hélice transversal de la marca "Baliño", de potencia 160 Kw y hélice transversal, también marca Baliño, cuya potencia es de 200 Kw.

## 2. LUZ DE MAR

El Buque “Luz de Mar” fue un diseño específicamente encargado por el Ministerio de Fomento a través de Salvamento y Seguridad Marítima (SASEMAR). La construcción del buque comenzó en el año 2004 en Astilleros Armón de Vigo, y entró en servicio a principios de 2005. Su gemelo, el “Miguel de Cervantes”, entró en funcionamiento a finales del mismo año.

Ambos buques fueron diseñados para cumplir las funciones de un remolcador de altura, además de incorporar el equipamiento necesario para equipos de salvamento, lucha contra la contaminación y tanques para almacenamiento de residuos de hidrocarburos.

Además de las operaciones que acabamos de nombrar por las que está equipado, el “Luz de Mar” es capaz de prestar otro tipo de servicios, pues puede funcionar también como buque de apoyo en actuaciones en las que intervengan equipos ajenos a la dotación del buque, como es el apoyo en las operaciones de buceo, como ya hemos visto, o extracción de restos, etc.

El buque está equipado con sistema de posicionamiento dinámico DYNAPOS AM, que le permite realizar maniobras, de salvamento, remolques, o recogida de hidrocarburos, con mucha precisión, manteniendo la posición de forma exacta. Otra aplicación del DP en este buque sirve para las actuaciones de apoyo a buceadores, como ya hemos nombrado. El sistema permite al barco mantenerse en la misma posición durante largos periodos de tiempo mediante propulsores controlados por un sistema central. El buque es capaz de mantener la posición independientemente de las condiciones meteorológicas.

El sistema DP con el que cuenta el buque se trata de un sistema DYNAPOS AM (Automatic Mode), que permite que el mantenimiento de la posición sea logrado automáticamente.

*Imagen 50: Buque de Salvamento Marítimo “Luz de Mar”*



*Fuente: Trabajo de campo*

En la imagen anterior, el buque “Luz de Mar” haciendo pruebas de los cañones contra incendios, situados en la parte más alta del buque.

El buque también cuenta con un equipo alternativo de recogida, un control remoto de skimmer, que permite la transferencia de carga de hidrocarburos de un buque siniestrado a este o incluso a otro situado en las proximidades. Para cumplir con esta función de forma segura, cuenta con el sistema de posicionamiento dinámico, pues este equipo permite al barco posicionarse en un punto fijo evitando cualquier movimiento para que se pueda llevar a cabo la extracción de los hidrocarburos sin

riesgo de fugas o pérdidas, ya que, un movimiento podría provocar un error que daría lugar a contaminación.

***Imagen 51: "Luz de Mar" durante una operación.***



***Fuente: Trabajo de campo***

En esta imagen vemos al Luz de Mar en plena acción, durante una maniobra de recogida de hidrocarburos.

El sistema DP se hace fundamental no sólo en las operaciones de limpieza de hidrocarburos de un buque siniestrado, sino que también lo es a la hora del traspaso del producto de un buque a otro, ya sea el mismo remolcador, u otro buque próximo. Durante estas operaciones el mínimo error podría provocar un accidente de contaminación grave, por lo que el buque se ve beneficiado al contar con un equipo de este tipo, que ayuda a los operadores a controlar la situación de forma precisa.

En definitiva, el Luz de Mar es un buque altamente cualificado para cualquier tipo de operación de apoyo, equipado con sistemas de última generación que facilitan el

trabajo que realiza día a día, y le aporta seguridad a las operaciones que ejecuta, que como hemos visto, son de gran variedad.

*Imagen 52: Buque Luz de Mar en navegación*



*Fuente: Trabajo de campo*

## **V. CONCLUSIONES**

A lo largo del trabajo hemos visto los principios en los que se basa el Posicionamiento Dinámico, además de las ventajas que crean en un buque y las funciones que cumplen en ellos, como es el caso de los buques de Salvamento Marítimo, en los que resultan necesarios para llevar a cabo ciertas operaciones que implican grandes riesgos.

En las aplicaciones del sistema observamos la cantidad de tipos de barcos para los que este sistema resulta bastante rentable, no sólo económicamente, sino que permite realizar operaciones que antes no se podían llevar a cabo con la misma facilidad, además de minimizar los riesgos en las maniobras.

Conocimos las aplicaciones más utilizadas así como su avance a lo largo del tiempo, desde los sistemas más rudimentarios hasta las últimas tecnologías, y la utilidad aplicada a cada tipo de buque, así como el estudio de su rentabilidad.

Hicimos hincapié en los sistemas de referencia más comunes, ya que es una parte fundamental en los sistemas DP, pues resultan de gran ayuda durante el mantenimiento del buque durante el posicionamiento.

También vimos la legislación aplicada a la formación de los operadores, una parte imprescindible para el oficial, que es el responsable de las maniobras y operaciones, por lo que deberá estar instruido de forma correcta.

Para finalizar, diremos que, según las aplicaciones que hemos visto, podemos llegar a la conclusión de que, a pesar de ser un sistema relativamente nuevo, ya ha sido puesto en marcha en muchos casos y de forma efectiva. Sería posible aplicar el estudio de esta técnica en asignaturas como “Maniobra y Estiba” o “Sistemas auxiliares”, para poder conocer en profundidad la técnica y crear una iniciación para la posterior formación de los oficiales.

## **VI. BIBLIOGRAFÍA**

[1] ITALIAN MARITIME ACADEMY TECHNOLOGIES.

Students Reference Manual (REV.002)- DP Basic/Induction Course.

[2] Capitán D Bray FNI. DP OPERATOR'S HANDBOOK. Practical Guide. The Nautical Institute.

[3] Unique Hydra.

URL: <http://www.hydra.co.za/products/marine-solutions/dynamic-positioning.html>

[4] J.M. Villar, "Posicionamiento Dinámico, Principios, Características y Operaciones" Trabajo Fin de Grado 2012, ETS de Náutica, Universidad de Cantabria.

[5] Guidance Navigation; Cyscan

URL: [http://www.f-et.com/images/uploads/Cyscan\\_Laser\\_System.pdf](http://www.f-et.com/images/uploads/Cyscan_Laser_System.pdf)

[6] Kongsberg Maritime.

URL: <http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0237.nsf/AllWeb/03E4EADBA358FC78C1256A55004648C0?OpenDocument>

[7] Dynamic Positioning Guru.

URL: <http://www.dynamicpositioning.guru/video-12.html>

[8] Lew Weingarth Transocean, 10/06.

URL: [http://dynamicpositioning.com/proceedings/dp2006/op\\_procedures\\_weingarth.pdf](http://dynamicpositioning.com/proceedings/dp2006/op_procedures_weingarth.pdf)

[9] Vadebarcos.

URL: <https://vadebarcos.wordpress.com/2013/09/16/buques-flotel-offshore-el-edda-fides/>

**[10] García, R. 03/14.**

URL: <https://ingenieromarino.wordpress.com/2014/03/10/20-buques-cablers-y-sistema-de-posicionamiento-ppara-offshore/>

**[11] Ingeniería Naval. 11/12.**

URL:

<https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0CEEQFjAGahUKEwji-6Poy-LGAhVDNxQKHabmCTE&url=http%3A%2F%2Fwww.sectormaritimo.com%2Flista%2Flistado%2Fvdocumento.asp%3Ff%3D%25E1ngeles%2520alvari%25F1o.pdf&ei=MC6pVeKjFMPuUKbNp4gD&usg=AFQjCNEf5lbomrb9bJL96jqpw2QJMfGj6w&sig2=4cRAMUGnhBfY2bzZuqajA>

**[12] FUNDACIÓN NUESTROMAR. 04/13.**

URL: <http://www.nuestromar.org/noticias/20-04-13/primera-visita-del-rompehielos-hms-protector-georgias>

**[13] Oliveira, J.A.. 03/15.**

URL: <https://vadebarcos.wordpress.com/2015/03/29/lewek-constellation-pipelay-tendido-tuberias/>

**[14] Nautical Institute.**

**[15] Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS), Edición Refundida 2009.**

[16] Santamaría, JJ.

URL:<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/14983/Incorporaci%20n%20de%20tecnolog%20as%20avanzadas.pdf?sequence=1>

[17] The Training and Experience of Key DP Personnel. IMCA M 117 Rev 1. 02/06.

[18] Miguez, A.

“Integración de los Sistemas de Navegación Inercial a bordo de Buques con Posicionamiento Dinámico” Trabajo Fin de Grado 2014, ETS de Náutica, Universidad de La Laguna.

[19] IMCA. Deep WaterAcoustic Positloning. IMCA M 200. 10/09.

URL: <http://www.imca-int.com/marine-division/dynamic-positioning.aspx>

[20] Faÿ, H.

Dynamic Positioning Systems. Principles, Design and Aplications.

[21] ABS.

URL:[https://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/191\\_DPSguide/Guide](https://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/191_DPSguide/Guide)

[22] Dynamic Positioning Committee

URL: <http://dynamic-positioning.com/>

[23] Guidance on Failure Modes and Effects Analyses (FMEAs). IMCA M 166. 04/02.

[24] Martínez, J.M.

**“Análisis de la Seguridad en las Maniobras de trasbordo de carga entre buques tanque y entre estos y las terminales, utilizando un Shuttle-tanker de propulsión Diesel-eléctrica y Posicionamiento Dinámico”, Tesis Doctoral 2005, Universidad De La Coruña.**

**[25] The Gdynia Maritime School.**

URL: <http://morska.edu.pl/en/college/resources/simulators/dp-simulator/>

**[26] American Bureau of Shipping. 2012. “Guide for Dynamic Positioning Systems”.**

**[27] C.S. Chas, R. Ferreiro.**

**“Introduction to Ship Dynamic Positioning Systems” Journal of Maritime Research, Vol.V. No.1, pp. 79-96, 2008, Santander. ISSN: 1697-4840**

**[28] A. NEIGER MICHAEL, “The Universal Transverse Mercator (UTM) coordinate system”, Marquette, Michigan © Copyright 2010.**

URL: <http://therucksack.tripod.com/MiBSAR/LandNav/UTM/UTM.htm>

**[29] NAUTIC DINAMICS, Dynamic Positioning.**

URL: <http://nauticadynamics.com/Technical.php>

**[30] Alonso, M.**

**Estudio general sistemas D.P. aplicado a diferentes tipos de buques.**