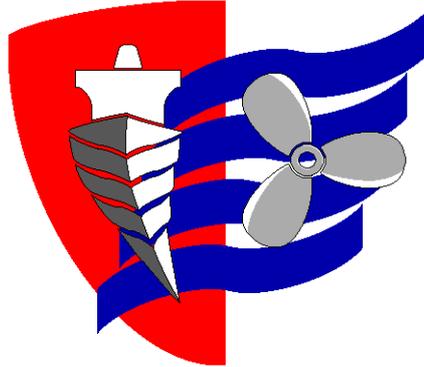


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**POSICIONAMIENTO DINÁMICO: PRINCIPIOS,
CARÁCTERÍSTICAS Y OPERACIONES.**

DYNAMIC POSITIONING: PRINCIPLES, FEATURES AND
OPERATIONS.

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y
TRANSPORTE MARÍTIMO**

Autor: José Manuel Villar Arenal

Octubre 2012

Índice:

Capítulo 0: Descripción de capítulos	i
Capitulo 1: Introducción	1
Capítulo 2: Principios y sistemas DP	3
Capítulo 3: El concepto “Redundancia” en DP y equipamiento de clase	7
Capítulo 4: Operaciones DP	20
Capítulo 5: Sistemas de referencia de posición	38
Capítulo 6: Propulsión y elementos de gobierno	68
Capítulo 7: Energía eléctrica a bordo: Generación y distribución	80
Capítulo 8: Planificación de operaciones	90
Capítulo 9: Entrenamiento y certificación del operador DP	106
Capítulo 10: Impresiones personales acerca del sistema.	120
Capítulo 11: Bibliografía	122
Capítulo 12: Glosario	124
Capítulo 13: Anexos	132

Capítulo 0: Descripción de los capítulos;

Capítulo 1: Introducción.

En este capítulo introductorio se explica, a grandes pinceladas, en qué consiste un sistema de posicionamiento dinámico. ¿Qué es?, ¿Qué no es? y ciertas reseñas y apuntes históricos que ayuden a entender mejor los capítulos posteriores.

Capítulo 2: Principios y sistemas DP.

En este capítulo se abordan los principios que rigen el funcionamiento de un sistema DP. También se describen de forma esquemática las distintas partes que, individualmente, no aportan nada pero que agrupadas y coordinadas correctamente, forman un sistema DP, así como los distintos modos en que puede operar un sistema DP.

Capítulo 3: El concepto “Redundancia” en DP y equipamiento de clase.

Este capítulo hace hincapié en el concepto de redundancia y en su necesidad, explicando en qué consiste exactamente y por qué es necesario. Por otro lado, se esquematizan y explican las distintas notaciones que las sociedades clasificadoras adoptan a la hora de expedir el certificado de clase a un buque DP, íntimamente ligadas al concepto de redundancia.

Capítulo 4: Operaciones DP.

Este es tal vez el capítulo más interesante, en el cual se explican de manera más o menos detallada las distintas operaciones marítimas en las cuales el DP puede tener y tiene aplicaciones. Desde operaciones de buceo a perforaciones submarinas, pasando por el tendido de cable submarino o el dragado, por mencionar algunas.

Capítulo 5: Sistemas de referencia de posición.

Este capítulo está orientado específicamente a los sistemas que pueden ser empleados por un buque DP, para la determinación de la posición, ya sea esta absoluta respecto a un patrón universal, con un sistema de coordenadas

cartesianas, como puede ser el uso de un GPS, o relativa respecto a una instalación, como puede ser la obtenida por medio de un sistema de láser. Cabe destacar que, dada la naturaleza y la misión para la que está diseñado un sistema DP, el hecho de disponer de diferentes formas para la determinación de la posición de una manera exacta, es de vital importancia.

Capítulo 6: Propulsión y elementos de gobierno.

La propulsión en todo tipo de buque es un elemento imprescindible. Sin propulsión no hay movimiento y un barco que no se mueve es un barco inservible. En los casos de los barcos DP esto es incluso más importante si cabe, pues normalmente son barcos sumamente maniobrables, con diferentes sistemas de propulsión incluso en un mismo barco, debido a la naturaleza del trabajo al que son destinados. Por lo tanto, se hace un recorrido y una explicación somera de los distintos sistemas de propulsión que pueden encontrarse a bordo de un buque equipado con DP y sus ventajas e inconvenientes.

Capítulo 7: Energía eléctrica a bordo: Generación y distribución.

Qué duda cabe, que en cualquier barco la generación y distribución de energía eléctrica es de vital importancia. En un barco equipado con DP esto es, si cabe, aún más importante, pues todos los elementos del sistema son dependientes de la energía eléctrica. Si a esto le añadimos la complejidad, precisión y a veces peligrosidad de ciertas operaciones, la necesidad de que el abastecimiento de energía eléctrica sea fiable es aún mayor. En este capítulo se describen y analizan las particularidades que un buque DP posee frente a un buque convencional en lo que a la generación y distribución de energía se refiere.

Capítulo 8: Planificación de operaciones:

Para llevar a cabo cualquier operación DP, debido al enorme número de sistemas que toman parte, alguno de ellos crítico, es imprescindible llevar a cabo una buena planificación de pre-operación. Esta planificación puede ser en forma de check-lists, pautas de revisión, prueba de equipos, briefings... Este capítulo describe las maneras más genéricas de llevar a cabo una planificación

de operación DP, si bien cada operación es distinta y cada compañía tiene instaurado sus propios procedimientos. Se complementa el capítulo con documentación de planificación de operaciones real usada en distintos barcos y en distintas operaciones.

Capítulo 9: Entrenamiento y certificación del operador DP:

Debido al gran número de variables que existen durante una operación DP, es imprescindible que los operadores responsables del buen funcionamiento del sistema estén formados convenientemente. En este capítulo se detalla el esquema de entrenamiento que, a día de hoy, es el estándar a la hora de certificar la capacidad de un operador DP (DPO) para la realización de una guardia DP segura y eficaz. Asimismo, se analizan los errores humanos más comunes que en el 99% de los casos son la causa de un incidente durante las operaciones DP.

Capítulo 10: Impresiones personales acerca del sistema.

Capítulo 11: Bibliografía

Capítulo 12: Glosario

Capítulo 13: Anexos.

Capítulo 1: Introducción.

Dynamic Positioning (DP), Posicionamiento Dinámico en Español es hoy en día una herramienta altamente desarrollada y muy bien establecida en el mundo del negocio marítimo especializado y particularmente en el “offshore”.

Los primeros y muy rudimentarios sistemas DP fueron puestos en funcionamiento en los años 60 en barcos perforadores. Sin embargo, no fue hasta finales de los 70 principios de los 80 cuando el uso del DP se hizo más extenso y un mayor número de buques fueron equipados con este sistema. Hoy en día existen del orden de unos 3000 barcos DP altamente especializados y una cartera de pedidos que hace aumentar la flota día a día.

Ya hace más de 45 años desde la entrada en servicio del primer barco DP completamente automatizado. Esto puede llevar al error de pensar que el posicionamiento dinámico es a día de hoy una técnica completamente desarrollada, pero nada más lejos de la realidad, una visita a cualquier coloquio o conferencia al respecto rápidamente despeja esta idea.

La tecnología usada en DP en cualquiera de sus áreas (propulsión, sistemas de posición...) es muy cambiante. Lo que hoy es innovador, mañana está anticuado, por lo que a veces es un verdadero reto el mantenerse al corriente de las novedades del sector. A nivel armador/operador de buques y operador DP (DPO) es un reto incluso mayor pues pueden llevar a cabo su actividad profesional en un rango de barcos limitados sin acceso al equipamiento más innovador disponible en el mercado.

Un sistema DP puede definirse rápidamente como un sistema controlado por medio de un ordenador, que automáticamente mantiene la posición y rumbo mediante el uso de los sistemas propios de propulsión del barco. Sensores de referencia de posición combinados con sensores de viento, corriente y girocompases alimentan de información al ordenador acerca de la posición del buque y la magnitud y dirección de las fuerzas medioambientales que afectan a

su posición. El programa informático contiene un modelo matemático del buque en cuestión, que incluye información sobre el efecto del viento y la corriente sobre el barco y la situación de los propulsores. Este modelo, combinado con los sensores abastecedores de información arriba descritos, permite al ordenador calcular la potencia y dirección que es necesaria aplicar en cada propulsor. Esto permite realizar y facilita en gran medida las operaciones a flote donde no es posible amarrar o fondear debido a la gran profundidad del lecho marino, congestión del fondo por tuberías o cables submarinos... u otros problemas.

Sin embargo una definición más técnica y concisa de DP puede ser: "Sistema de a bordo cuya función es controlar automáticamente la posición y el rumbo del barco, exclusivamente con el uso de propulsión activa, recibiendo para ello la información de los sistemas que analizan las circunstancias externas en las que el buque está actuando".

El objetivo de presente trabajo no es convertirse en un detallado tratado sobre DP y muchísimo menos tiene el objetivo de sustituir los manuales de usuario suministrados por los fabricantes. Por su parte, lo que se pretende con él, es dar una visión general de lo que el DP representa hoy en día a bordo de los buques equipados con esta tecnología, así como dar una visión general de la tecnología con la que el DPO lleva a cabo su trabajo a diario.

Capítulo 2: Principios y sistemas DP.

2.1 Principios básicos

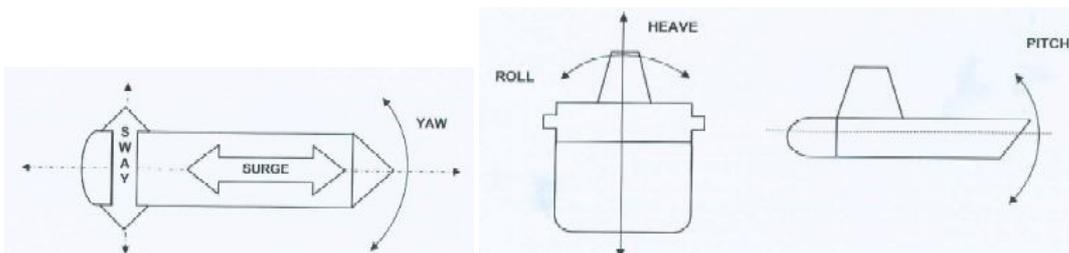
El DP no es una mera pieza de equipamiento. Es una capacidad del buque lograda mediante la integración de una gran variedad de sistemas y funciones.

Cómo se ha definido con anterioridad, es un sistema que automáticamente controla la posición y el rumbo del barco exclusivamente con el uso de propulsión activa.

En realidad, el corazón y el cerebro de cualquier sistema DP es su ordenador controlador. Este recibe información de una gran variedad de fuentes y genera comandos de propulsión con los que controla y maniobra el buque. Como en cualquier sistema de regulación y control, existe un punto de referencia (SetPoint) o valor deseado. En el contexto del DP este punto de referencia es una posición geográfica y un rumbo, ambos introducidos por el DPO u oficial al cargo de la guardia. La medida de la posición y el rumbo es continuamente transmitida al ordenador, obteniendo este la desviación o diferencia con el valor de referencia y dando este las órdenes pertinentes al sistema de propulsión y gobierno para reducir (o mantener) este error a cero.

2.2 Los 6 grados de libertad:

Un barco o una estructura flotante puede ser considerado un sólido sometido a 6 grados de movimiento, 3 de rotación y 3 de traslación. El posicionamiento dinámico principalmente se enfoca en el control de los movimientos del buque en el plano horizontal avance-retroceso (surge), guiñada (yaw) y desplazamiento lateral (sway).



Movimientos de rotación:

- Sobre línea horizontal longitudinal, es decir, balance (roll).
- Sobre la línea horizontal transversal, cabeceo (pitch).
- Sobre la vertical, guiñada (yaw).

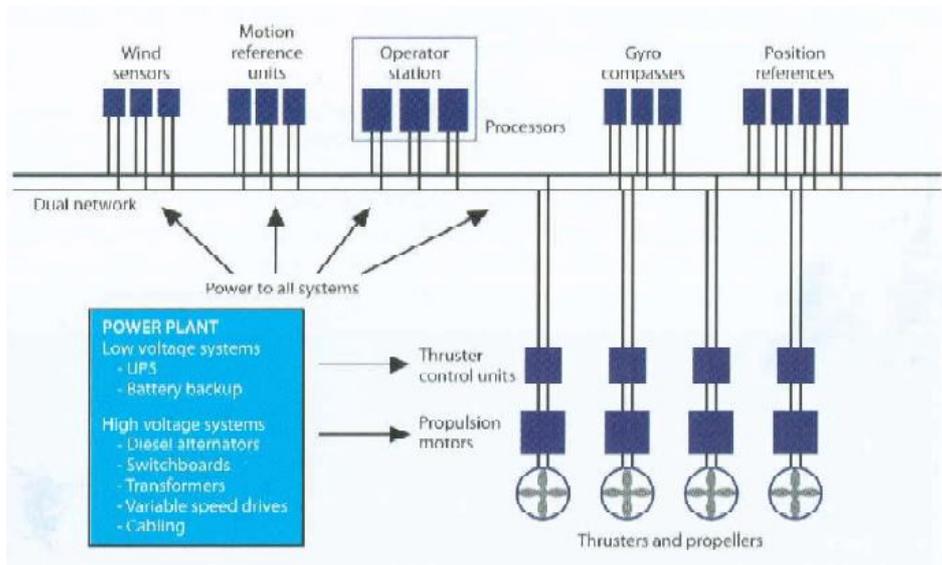
Movimientos de traslación:

- En el plano horizontal, avance-retroceso, también llamado deriva longitudinal (surge).
- El el plano transversal, babor estribor, también llamado deriva lateral (sway).
- En el plano vertical, elevación-descenso (heave).

El balance, cabeceo y elevación son movimientos que no pueden ser controlados por el DP. Sin embargo, el DP debe de estar informado de estos valores para corregir las lecturas de los sensores de posición respecto al centro de gravedad del buque. La unidad encargada de medir estos valores es la MRU (motion reference unit). Aunque a día de hoy ya se están empezando a equipar buques DP con quillas de balance inteligentes y sistemas de lastre “intering” similares a los existentes en los buques ro-ro.

2.3 Componentes de un sistema DP y esquema general.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el DP es descrito de una manera mejor como una integración de multitud de procesos diferentes. El núcleo del sistema es el ordenador central que se comunica con las distintas partes periféricas a través de la red de cableado interna del barco. El diagrama adjunto es un esquema de un sistema DP.



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

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

Los PRS suministran información acerca de la posición del buque. A nivel DP las precisiones requeridas son mayores que las normalmente suministradas para la navegación convencional. Es lógico que la posición del buque nunca puede ser más precisa que la precisión de la posición suministrada por sus PRS. Para aplicaciones DP esta precisión se encuentra en el rango de 1m o menos. Estos PRS son independientes unos de otros y a su vez están independientemente conectados al ordenador controlador. Además sus principios de operación pueden ser completamente diferentes, les hay basados en satélite (GPS, DGPS, GLONASS...), en láser (Fambeam, Cyscan), en microondas (Artemis, RADIUS, RadaScan...), en sistemas hidroacústicos o

incluso mecánicos (TautWire). Cuanto mayor sea el número de sistemas suministradores de la posición, mayor será la precisión de ésta y menor el impacto de la pérdida de un sistema. En el capítulo 5 se tratarán más en profundidad los diferentes sistemas normalmente utilizados para la determinación de la posición.

Respecto al rumbo, a pesar de que el giróscopo hoy en día es un equipamiento básico a bordo de cualquier buque, a bordo de un buque DP este se encuentra duplicado o incluso triplicado dependiendo del nivel de redundancia requerido. (Más tarde se profundizará sobre el término “redundancia”).

Por su parte, el DP se encuentra conectado también a multitud de sensores y equipamiento periférico suministrador de información aparte de los empleados para el suministro de información respecto al rumbo y la posición.

Ya se han mencionado anteriormente los MRU utilizados para la corrección de la información suministrado por lo PRS por balances y cabeceos. Pero un elemento externo muy importante a medir es el viento, por lo que se instalan una serie de anemómetros, al menos por duplicado. Estos pueden ser de distinto tipo, tradicionales de cazoletas o ultrasónicos. Sus registros aplicados al modelo numérico del barco estiman las cargas generadas por el viento en el casco y envían esta información a los propulsores para su corrección. Sin embargo esto es un problema, pues las condiciones del viento pueden cambiar repentinamente tanto en dirección como en intensidad, por lo que el modelo matemático en este caso no funciona de una manera perfecta, ya que hay un desfase entre la medición de las variables y la reacción del modelo. Normalmente el modelo tarda entre 5 y 30 minutos en actualizarse, y normalmente esto es suficiente. Sin embargo, las condiciones racheadas pueden producir un pequeño caos. Por ello el sistema compensa esto con una función “wind feed-forward” que provoca un by-pass de las rachas en el modelo matemático y por lo tanto no afecte a la respuesta del barco.

La corriente es otro factor cuya medición es importante, sin embargo, su medición no es posible con ningún sistema montado a bordo por lo que su valor es estimado. La continua discrepancia entre la “posición predicha” por el

modelo matemático y la posición obtenida por los diferentes PRS indican la existencia de una corriente.

Para aplicaciones más especializadas, se montan y utilizan más sensores específicos que aportan información sobre datos críticos para la operación, tales como “angle riser” para perforar, tensión en tubería para operaciones de tendido...

El buque está bajo el control de sus propulsores, hélices, timones... Por ello es necesario que estos estén también ligados al sistema DP. Comandos de paso, rpm, azimut o ángulo de timón son enviados a los elementos propulsores continuamente y su valor es medido igualmente. El DPO encargado de la guardia debe monitorizar en todo momento las órdenes a los propulsores y sus respuestas, pues discrepancias en las lecturas pueden generar alarmas y avisos. En el capítulo 6 se profundiza más el tema de la propulsión.

Todo buque necesita generación de energía eléctrica. En el caso de buques DP su generación y lo que es más importante, su estabilidad, es de una importancia extrema dado que cualquier fallo en el sistema de generación de energía tiene un efecto inmediato en el sistema DP y en las capacidades del buque. La mayoría de los buques DP son diesel eléctricos por lo que los motores diesel, los alternadores, los paneles de tensión, el cableado, los motores y el sistema de gestión de energía forman parte del sistema DP. Incluso los buques DP están equipados con un sistema autónomo de generación de energía por medio de baterías (UPS) para mantener las funciones básicas del sistema durante un posible “blackout” y así minimizar las consecuencias de este. En el capítulo 7 se profundiza más sobre este tema de vital importancia en un buque DP.

Capítulo 3: El concepto “Redundancia” en DP y equipamiento de clase.

3.1 La necesidad de redundancia.

Los buques DP llevan a cabo diferentes tareas y operaciones algunas de las cuales son críticas desde el punto de vista de la seguridad. Es por ello que previamente a las operaciones deben de analizarse las posibles consecuencias de un fallo del sistema DP. Hay ciertas operaciones en las que un error o malfuncionamiento del sistema significa una “excursión” fuera de la zona definida o por el contrario una completa pérdida de control de la posición y del barco. Ambos son clasificados como “errores catastróficos”. Las consecuencias de dichos errores se clasifican en estos tres: Riesgo de herida o muerte del personal, de la propiedad o contaminación del medio ambiente.

El objetivo de la redundancia es asegurar que el sistema en su conjunto funciona correctamente a pesar de perder un elemento individual o subsistema y así evitar los denominados “errores catastróficos”. Por lo tanto, “redundancia”, en términos DP, puede clasificarse como la habilidad del buque para soportar la pérdida de cualquier componente individual sin perder la posición o el rumbo. Visto desde un punto de vista más práctico, la redundancia en el sistema permite el abandono y cancelación seguro de las operaciones, permitiendo al barco salir de la zona de trabajo de una manera segura y bajo el control del DP, en caso de un fallo individual de cualquier sistema. De hecho, hay operaciones, tales como el trabajo con buzos por ejemplo, que no pueden ser suspendidas de una manera segura sin el control del DP.

Hay diversas maneras de aplicar la redundancia. La más común es proveer al sistema de componentes “back-up” y “stand-by”. Un buen ejemplo de esto son los ordenadores controladores, uno trabajando “on-line” y el otro en “hot stand-by” como back-up. A esto por ejemplo se le puede añadir un sistema de transferencia de control entre ellos sin producirse cambios ni en el rumbo ni en la posición. De esta manera en caso de fallo de los controladores, el buque puede retirarse a una zona de seguridad, todavía en modo DP, sin más redundancia en el área de los controladores.

3.2 Requerimientos y provisiones OMI.

La necesidad de redundancia puede indicarse de una gran variedad de formas. Las “IMO Guidelines for Vessels with DP systems”, publicadas por la OMI, especifican 3 niveles diferentes de redundancia conocidos como equipamiento de clase. Existen 3 niveles diferentes de equipamientos de clase, en los cuales a mayor número de clase, mayor nivel de redundancia. Por lo tanto, desde un punto de vista DP, los buques pueden ser DP1, DP2 o DP3. Estas recomendaciones OMI publicadas en 1994 (MSC Circ 645) son aceptadas en la industria como estándar a nivel mundial. (Ver CD adjunto), y por lo tanto los buques se diseñan para cumplir con un particular equipamiento de clase y cada sociedad clasificadora expide su propia notación equivalentes a la clase IMO.

IMO CLASS	1	2	3
DNV	AUT	AUTR	AUTRO
LR	DP (AM)	DP (AA)	DP (AAA)
ABS	DPS-1	DPS-2	DPS-3

Las recomendaciones de la OMI introducen el concepto de “fallo aislado” (single point failure). La redundancia como se ha explicado previamente permite continuar llevando a cabo las operaciones manteniendo posición y rumbo después de cualquier fallo aislado. Sin embargo, el equipamiento de clase se establece no en términos de “fallo aislado”, si no en términos de “peor caso de fallo aislado” (worst-case single failure).

Las definiciones son:

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

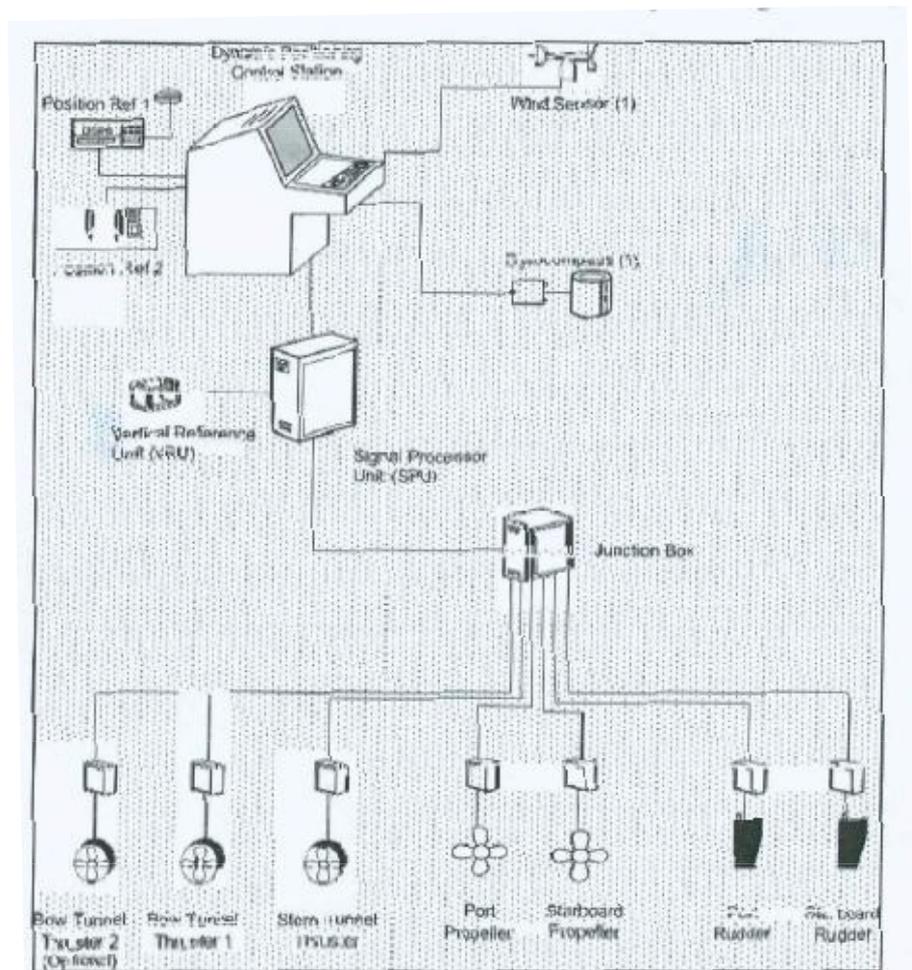
Para equipamiento clase 2, en caso de fallo aislado en cualquier sistema o componente activo no se pierde posición y rumbo. Normalmente se considera que los componentes estáticos no fallan, cuando se puede demostrar suficiente protección estando esta bajo los parámetros y a satisfacción de la administración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

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

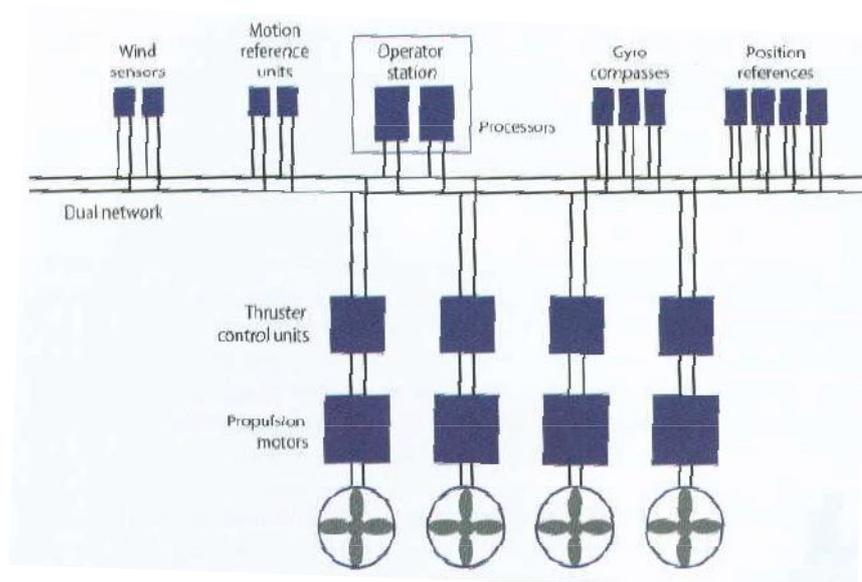
Por lo tanto, buque DP1 no serán completamente redundantes en todas las áreas. Buques DP2 tienen completa redundancia en equipamientos y sistemas, mientras que buques DP3 son capaces de mantener la posición y el rumbo tras la pérdida de todos los componentes en un compartimento estanco e ignífugo. En DP3 un fallo aislado puede ser la pérdida de un compartimento completo.

La elección del equipamiento de clase determina que barco es fletado para una determinada operación o contrato. Cuanto mayor sea el riesgo asociado con la operación, mayor será el equipamiento de clase requerido. La OMI en sus recomendaciones estipula que para una operación en particular, el equipamiento de clase debe de ser acordado entre el armador y el fletador en función del análisis de riesgos de la operativa basado en las consecuencias potenciales de una pérdida de posición. En su defecto, la administración competente debe decidir el equipamiento de clase para una operación en concreto. Por lo tanto, el armador y el fletador deben diseñar la operación incorporando una evaluación de riesgos y unos procedimientos de seguridad en caso de incidente. Los resultados de este análisis indican las potenciales consecuencias de una pérdida de posición o rumbo, permitiendo tomar una decisión a las partes sobre el equipamiento de clase a utilizar. Cuantas más altas sean estas consecuencias (muerte, daño, contaminación), más alto será el equipamiento de clase necesario.

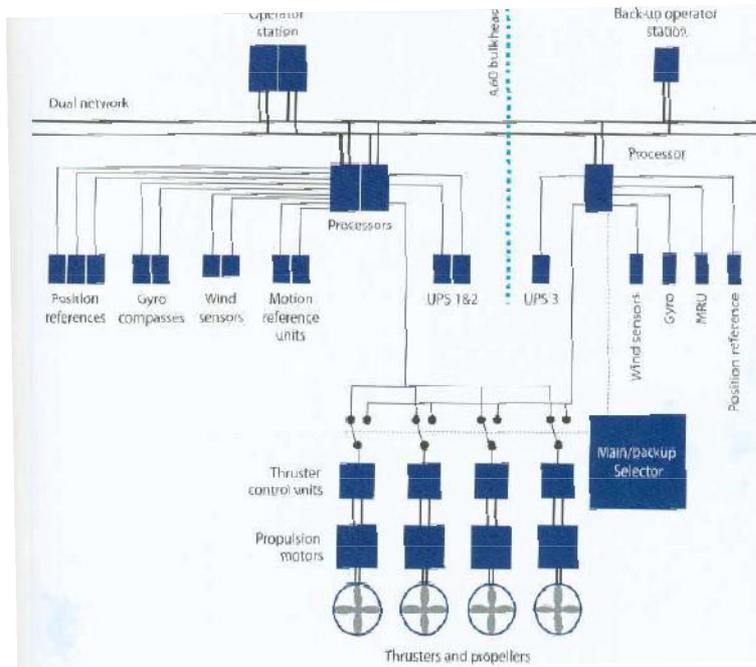
La IMCA (International Maritime Contractors Association), también tiene sus recomendaciones acerca de la provisión de redundancia a bordo de los buques DP en sus documentos M103, M161 y M182. (Ver CD anexo).



Tipica distribución DP 1



Tipica distribución DP 2.



Típica distribución DP 3.

3.3 Aplicación de la redundancia a bordo.

Analicemos pues como se aplica la redundancia en un sistema DP subconjunto por subconjunto.

3.3.1 Redundancia en controladores.

Los ordenadores son el corazón y el cerebro de cualquier sistema DP. Para un sistema DP1 un ordenador individual es suficiente, pero para un sistema DP2, se instalan 2 ordenadores paralelos e idénticos. Cada uno funciona individualmente en paralelo recibiendo la misma información de los periféricos y realizando los mismos cálculos. Uno se encuentra "on-line" mientras que el otro se encuentra como "back-up". Además, cada uno monitoriza a su homólogo, de manera que si las 2 unidades no funcionan de la misma forma, una alarma de diferencia salta indicando por lo tanto que la redundancia se ha perdido. Una instalación más sofisticada puede ser la (TMR) "triple modular redundancy",

que provee más seguridad pues 3 controladores funcionan en paralelo, siendo 2 de ellos “back-s-up”, pero no necesariamente suficiente seguridad para cumplir con el nivel de redundancia requerido para un buque clase DP3. La ventaja de este sistema es que introduce el concepto de “voto lógico”, comparando cada cálculo con los de sus homólogos y detectando automáticamente el error descartando la unidad.

En terminología DP un sistema con un solo controlador se conoce como “simplex”, con 2 “dúplex” y con 3 “triplex”.

Como ya se ha mencionado anteriormente, un sistema triplex no necesariamente implica cumplir con los requerimientos DP3. En un buque DP3 debe de existir un controlador aislado en otro compartimento. Esta es la clave de los requerimientos DP3, la compartimentación y subdivisión. Por lo tanto en la práctica para un buque DP3 esto significa 2 sistemas de controladores instalados en el puente, con un sistema independiente de back-up incluyendo ordenador procesador en una localización diferente. Incluso se puede dar el caso de disponer de un sistema triplex en el puente y un back-up remoto.

CONTROLADOR	Clase DP	1	2	3
	Autocontrol: nº de controladores	1	2	2+1 en una estación de control alternativa
	Control manual: joystick con auto-heading	SI	SI	SI
	Control de cada propulsor	SI	SI	SI

CLASE	1	2	3
Unidad de Control alternativa	NO	NO	SI

3.3.2 Redundancia en posición e información de rumbo.

Para un sistema DP1, se deben instalar un mínimo de 2 sistemas de posición. Esto parece desentonar con los requerimientos generales de un buque DP1, pero es que el uso de tan sólo un PRS tiene un peligro específico, la congelación del sistema. Si la lectura del indicador de posición se congela, los valores que suministra son constantes, causando probablemente una pérdida de la posición real del buque, pues éste sigue bajo los efectos de las condiciones externas reinantes. Asimismo, independientemente de que el buque se encuentre muy próximo a la posición deseada, el controlador continuará enviando comandos a los propulsores para corregir esta desviación, consiguiendo con ello un alejamiento paulatino de la posición deseada. A propósito del rumbo, los requerimientos para DP1 son satisfechos con un solo giróscopo.

Para buques DP2 y DP3, se requieren 3 PRS independientes y 3 giróscopos. Esto otorga la opción de voto lógico explicada anteriormente y permite descartar el elemento que este abasteciendo al sistema con datos desviados. Además en DP3 uno de los giróscopos debe de estar localizado en un compartimento remoto para cumplir con los principios de la subdivisión.

Pero el DPO debe de estar vigilante en todo momento para evitar los “errores de raíz comunes”. Por ejemplo, si un barco está utilizando 2 DGPS completamente independientes y un FanBeam como PRS, perfectamente satisface los criterios para estar operando en DP2 o DP3. Sin embargo, si ambos DGPS sufren de un problema común, por ejemplo la señal satelitaria, el voto lógico va a rechazar el FanBeam que es el único que provee información correcta.

Por ello, es aconsejable usar 3 PRS basados en 3 principios completamente diferentes, reduciendo así la exposición a errores comunes de raíz.

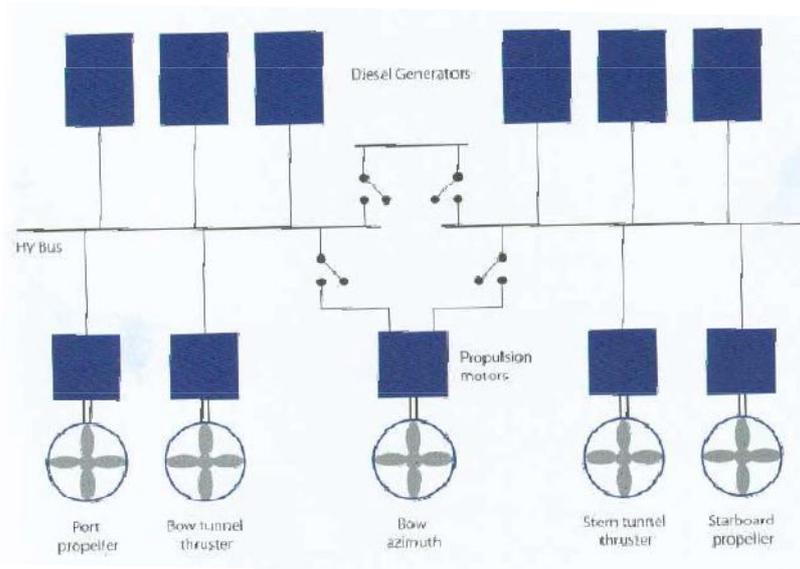
Incluso cuando se trabaja en DP2 o DP3, es siempre recomendable desplegar 4 PRS en vez de 3. Si se utilizan 3 y uno es descartado porque falla, automáticamente el buque se encuentra fuera de clase y lo más correcto es suspender las operaciones hasta que otro sistema es desplegado y esta on-line. Sin embargo, si se usan 4 PRS independientes y uno queda invalidado el buque sigue cumpliendo con los requerimientos de clase.

DP Class	1	2	3
PRS	2	3	3+1 (en localización alternativa)

3.3.3 Redundancia en la propulsión.

Para un buque DP diesel-eléctrico clase 2 o 3, el worst-case single failure será la pérdida completa de una barra. Esto resulta en la pérdida de todos los elementos propulsores acoplados a esta barra. Por lo tanto, es necesario distribuir la energía de manera que si se da un worst-case single-point failure el buque disponga de la suficiente potencia para mantener la posición. Un caso muy sencillo sería: si un barco dispone de tres hélices de proa y tres hélices en popa alimentadas de distintos cuadros, la caída de un cuadro deja intacta al menos la propulsión de una hélice en proa y otra en popa, suficientes para salir del paso.

Un buen DPO debe de estar familiarizado con las posibles consecuencias de un fallo en la propulsión. Incluso en los sistemas DP modernos, el sistema está configurado para analizar y simular las posibles consecuencias causadas por la pérdida de uno o más elementos propulsores.



Redundancia en propulsores.

Clase DP	1	2	3
Propulsores	No redundante	No redundante	Redundante y en compartimentos separados

3.3.4 Redundancia en la generación y gestión de energía. Planta eléctrica.

Hay mucha literatura al respecto de la generación y gestión de energía eléctrica a bordo. Sin embargo, el objetivo aquí es dar un vistazo general al conjunto sin entrar en detalle.

El esquema general de una planta eléctrica a bordo de un buque DP está diseñado ya con el concepto de redundancia en mente. En las plantas diesel-eléctricas, probablemente las más comunes en buques DP, es particularmente fácil la aplicación del concepto redundancia. En este tipo de instalaciones, un número de generadores entrega energía a diferentes cuadros eléctricos, por lo que la pérdida o la no disponibilidad de algún generador no es catastrófica.

Para operaciones en clase 3, además debe de existir una separación física de los generadores y los cuadros, de modo que un incendio no desemboque en una incapacidad total. Además, con varios generadores diesel, existe más flexibilidad en la operación día a día. El número de generadores en barras se puede variar para satisfacer las diferentes demandas, redundancia o planes de contingencia existentes.

Aparte de la generación de energía, la distribución también debe cumplir ciertos niveles de redundancia. Para cumplir con DP3 los conmutadores de barras deben de estar abiertos, por lo que cada sección de cuadro opera de una manera independiente y evitando que un fallo, tal como un cortocircuito se transfiera por todo el sistema pudiendo llegar a causar un black-out total. Para operaciones en clase 2, los conmutadores de barras pueden encontrarse indistintamente abiertos o cerrados. Si se encuentran cerrados se obtiene una optimización de los recursos energéticos y un ahorro sustancial de combustible. Sin embargo, se corre el riesgo de que un fallo en un cuadro se propague por todo el sistema a pesar de la existencia de interruptores automáticos.

Otra manera de aplicar la redundancia en la distribución de la energía eléctrica es la instalación de cableado independiente para cada sistema.

Por su parte, los sistemas de generación de energía se encuentran gestionados y monitorizados en todo momento por sistemas de gestión de energía. Además los equipos de bajo voltaje, como controladores, consolas y periféricos deben de estar alimentados por una fuente de energía independiente en caso de emergencia (UPS).

Otro sistema que necesita redundancia es el sistema de alimentación de combustible y refrigeración. Sin embargo la redundancia en estos sistemas no es exclusiva de los buques DP, los buques convencionales ya la incorporan cumpliendo los requerimientos de las distintas sociedades de clasificación.

Planta eléctrica	Clase	1	2	3
	Generadores/motores	No redundante	No redundante	Redundante en compartimentos separados
	Cuadro principal	1	1 con bus	2 con bus abierto en diferentes compartimentos
	Bus bar interruptor	0	1	2
	Distribución	No redundante	No redundante	Redundante en compartimentos separados
	Gestión de la energía	NO	SI	SI

UPS	Clase	1	2	3
			1	1

3.3.5 Redundancia en sensores periféricos

Equipamiento como MRU y sensores de viento son duplicados en buques clase 2 y 3. Estos sensores proveen al DP con información referente al exterior. Normalmente, la pérdida de datos provenientes de sistemas periféricos tiene un impacto menor que la pérdida de sistemas más críticos. A veces, la triplicación también es considerada.

Sensores periféricos	Clase	1	2	3
	PRS	2	3	3, 1 en una estación alternativa
	Viento	1	2	2
	VRS	1	2	2
	Giro	1	3	3
	Otros	1	2	2

Por lo tanto el cuadro redundancia/clase queda resumido como sigue:

Subsistema o componente	Requerimientos mínimos			
	Clase OMI	1	2	3
Notación	DNV	AUT	AUTR	AUTRO
	LR	DP (AM)	DP (AA)	DP (AAA)
	ABS	DPS-1	DPS-2	DPS-3
Planta eléctrica	Generadores/motores	No redundante	No redundante	Redundante en compartimentos separados
	Cuadro principal	1	1 con bus	2 con bus abierto en diferentes compartimentos
	Bus bar interruptor	0	1	2
	Distribución	No redundante	No redundante	Redundante en compartimentos separados
	Gestión de la energía	NO	SI	SI
Propulsores	Existencia de propulsores	No redundante	No redundante	Redundante y en compartimentos separados
Controladores	Autocontrol: nº de controladores	1	2	2+1 en una estación de control alternativa
	Control manual: joystick con auto-heading	SI	SI	SI
	Control de cada propulsor	SI	SI	SI
Sensores	PRS	2	3	3, 1 en una estación alternativa
	Sensores externos			
	Viento	1	2	2
	VRS	1	2	2
	Giro	1	3	3
	Otros	1	2	2
UPS		1	1	1 + 1 independiente
Unidad de Control alternativa		NO	NO	SI

En general, como siempre el DPO debe de estar familiarizado con los sistemas de redundancia de su buque en cada área, así como con los puntos débiles en su sistema.

Capítulo 4: Operaciones DP

4.1 Rango de aplicaciones DP.

En los comienzos del DP éste únicamente se utilizaba como ya se ha mencionado anteriormente en barcos perforadores. Rápidamente, su uso se convirtió en algo común en otro tipo de operaciones. Asimismo, en los comienzos del DP este era solamente utilizado por el sector del oil&gas offshore, pero una vez más, otros sectores del shipping tanto civiles como militares han adoptado rápidamente el sistema.

Una de las razones probablemente, sea la tendencia de los barcos modernos a equiparse con sistemas de control completamente integrados y combinando todas las funciones del buque. El DP en sí mismo, es una integración de todas estas variadas funciones (control de posición y rumbo, control de propulsión...), por lo que es un equipamiento bastante “simple” de incluir durante la fase de diseño del buque.

Todos los buques offshore de diseño actual incorporan durante el diseño la opción de incorporar DP. Hace unos años, esta opción hubiese sido un extra. Lo que es prohibitivo, aunque en ocasiones se lleva a cabo, es convertir un buque no DP en un buque DP.

Lo que sigue a continuación es una descripción de las operaciones en las cuales un buque DP puede verse regularmente involucrado, describiendo la parte práctica de la aplicación del DP.

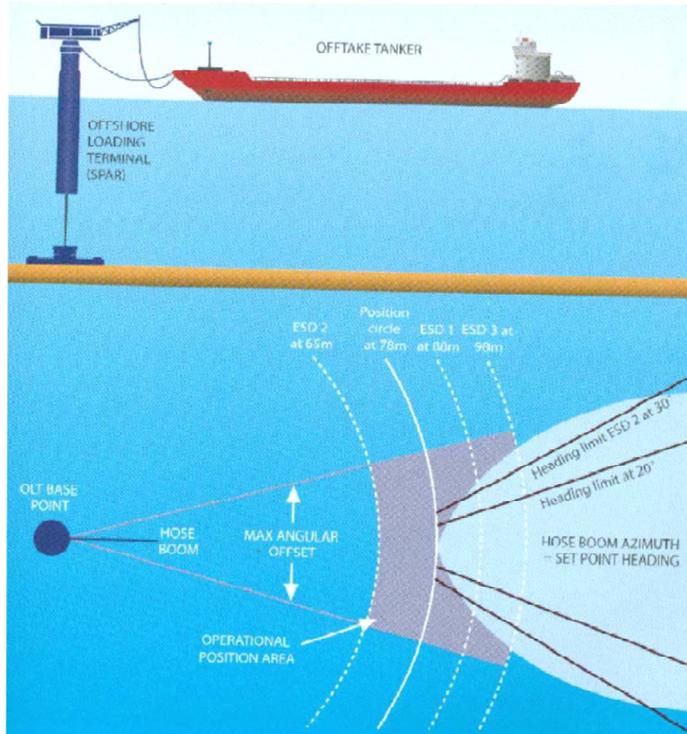
4.2 FPSO y Operaciones con petroleros offshore.

Las operaciones con shuttle tankers pueden dividirse en 3 grupos; Sistemas con amarras, sin amarras y sistemas con torreta sumergida (STL). Los 3 tipos de operaciones tienen por objetivo la carga directa desde el FPSO (Floating Production Storage and Offtake) a petroleros lanzadera de transporte.



Cada día, más campos petrolíferos utilizan estos métodos para exportar su producción. Esto es debido a que la distancia a tierra impide la construcción de una tubería de exportación con garantías y económicamente viable. Otro método de carga es amarrar a una terminal offshore de descarga, tal como una monoboya, pero hay ocasiones donde esto no es posible debido a las condiciones meteorológicas reinantes. Además, para el aproximamiento, normalmente deben utilizarse buques de apoyo, tales como amarradores, remolcadores... lo que añade un coste adicional a la operación. Una vez más, las lanzaderas DP presentan ventajas respecto a otros sistemas.

Los shuttle tankers DP operan bajo el principio de posicionamiento “circle-weather vaning”. ¿Que significa esto? Pues que el barco posiciona su proa tocando un “circulo” imaginario con centro en la estación de descarga. Al mismo tiempo, el barco está continuamente “weather vaning”, lo que significa que continuamente se encuentra buscando el rumbo en el que menor propulsión debe de ejercer para mantener la posición y la mantiene constantemente con la terminal por la proa. Esto permite que la manguera de descarga en el manifold de proa, siempre se encuentre en un rango aceptable de distancia de trabajo respecto a la terminal y no exista riesgo de dañar la manguera por tensiones excesivas incluso en las condiciones atmosféricas más adversas.



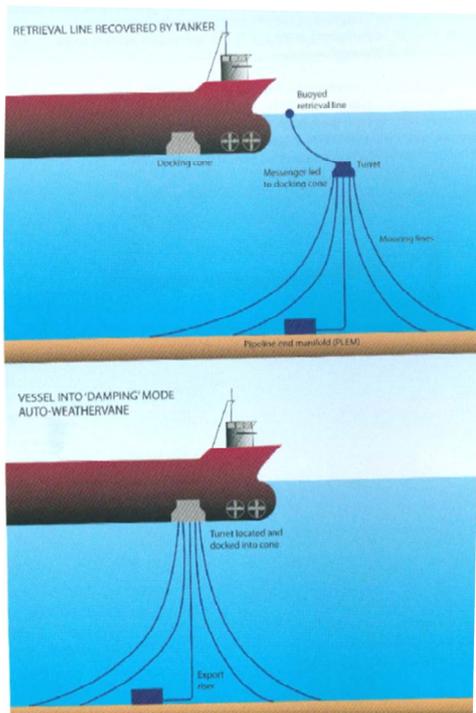
Operación de carga Offshore

Los petroleros equipados con este sistema DP diseñado para la operación en modo “weather-vaning”, normalmente están equipados con 2-3 hélices transversales en proa, 2 a popa y 1-2 hélices con timón convencionales. El sistema DP puede ser instalado en el puente de gobierno en popa o incluso en la estación de carga que normalmente se sitúa en el castillo de proa. La mayoría de estos barcos cumplen con los requerimientos clase 2.

Los sistemas de posición (PRS), más utilizados para este tipo de operaciones suelen ser, DGPS, HPR, un sistema láser y Artemis. Lo que si hay que puntualizar aquí, es la necesidad de diferenciar entre sistemas de posicionamiento absolutos y relativos. Un shuttle tanker descargando de una terminal offshore necesita mantener una posición relativa a la terminal. Si la terminal es móvil en algún modo, el shuttle tanker debe monitorizar este movimiento. Muchas terminales de carga offshore son boyas ancladas (SPAR) que pueden tener algún tipo de movimiento. Otras terminales, tales como un FPSO se encuentran posicionadas también en modo “weathervaning”, por lo que el shuttle tanker debe mantener posiciones relativas a la terminal móvil. Los PRS basados en láser y el sistema Artemis, así como el DARPS son sistemas relativos de posición.

La secuencia es la siguiente; El shuttle tanker cambia a modo DP durante la primera fase de la aproximación, permitiendo una recogida de la estacha y manguera controlada. Una vez que la proa se encuentra a una distancia designada de la terminal, se hace firme la estacha de amarre y se conecta la manguera. Cada terminal tiene unos criterios meteorológicos máximos de operación para el aproximamiento, conexión y estadía, a partir de los cuales la operación no es segura y bien no debe llevarse a cabo o se debe proceder a una desconexión de emergencia (ESD).

Una variación del sistema descrito anteriormente, es la torreta de carga sumergida (STL). Mediante este sistema, la carga se realiza a través de una torreta submarina cónica. Esta torreta se encuentra anclada al fondo por debajo de la quilla e incorpora la manguera de descarga. Por su parte, el petrolero dispone en el casco, a proa, de un espacio donde encaja esta torreta. Por lo tanto, el petrolero se posiciona sobre la torreta recuperando una línea mensajera. Para la localización de la torreta submarina se utilizan balizas submarinas hidroacústicas. Virando el mensajero se hace firme la torreta en el espacio del casco. Una vez encajada la boya en el barco, se revira sobre la posición de la torreta hasta alcanzar la posición de weathervane y se mantiene la posición usando el DP.



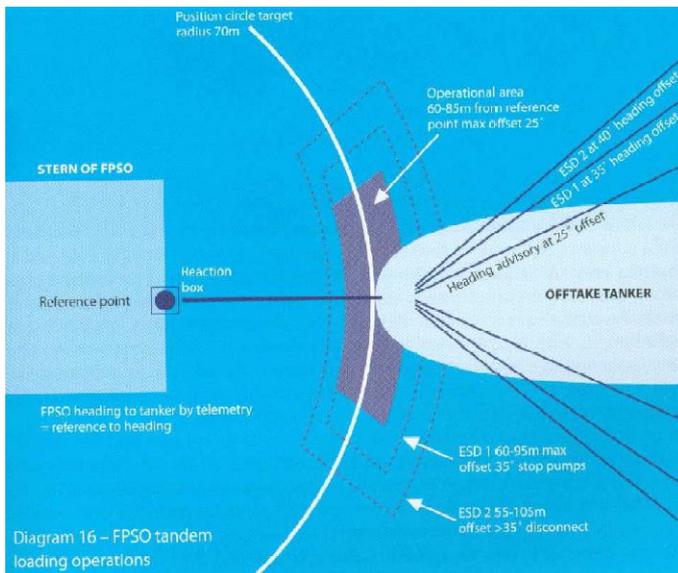
Operaciones de carga offshore con torreta sumergida.

La tercera variación es la carga en tándem desde un FPSO. Un FPSO (floating production storage and offtake), es un barco amarrado a una boya submarina. Este barco refina crudo y lo

almacena es sus tanques. En intervalos regulares debe descargar su producción en una lanzadera. La lanzadera se posiciona a popa del FPSO y carga a través de un manifold en proa. La estrategia para posicionarse es similar a la empleada en los sistemas anteriores con la implicación añadida que el punto de referencia de posición es móvil, pues el FPSO se encuentra él mismo en modo weathervaning.

El DP configura para la carga de un FPSO un “cuadrado imaginario de posición”, donde debe de encontrarse la proa de la lanzadera. Solamente si la proa se sale de este cuadrado, el DP actúa para ajustar la posición. Esto evita la maniobra constante. En lo que al rumbo se refiere, el rumbo del FPSO es el rumbo de referencia, por lo que los datos de telemetría acoplados al DP deben de incluir datos relativos al rumbo del FPSO y del shuttle y debe de ser suministrado de manera múltiple para conservar el nivel de redundancia en la operación.

Una vez más, unos criterios y procedimientos de emergencia deben ser especificados y acordados por el FPSO y la lanzadera.



Descripción de una operación de carga mediante FP

4.3 Operaciones con ROV (remote operated vehicles) y de buceo.

Una gran cantidad de trabajos submarinos son llevados a cabo utilizando buques DP como plataforma de trabajo. Estos pueden variar desde simples operaciones de rutina e inspección utilizando ROV's, hasta complejas operaciones que involucren buceadores en saturación. Hoy en día, a pesar del gran avance tecnológico disponible, hay ciertos trabajos que únicamente pueden ser realizados por buceadores.

Los buceadores pueden ser desplegados de distintas formas: Hasta 50m de profundidad, se utilizan mezclas comprimidas de aire respirable. Como norma general, los buceadores son desplegados en una cesta de acero o mediante una campana.

Durante el trabajo a estas profundidades, los buzos e incluso los ROVs se ven expuestos a un gran número de potenciales peligros. Entre ellos destaca la proximidad de hélices y propulsores a los umbilicales que suministran al buceador. Pero no sólo el efecto directo de las hélices y propulsores puede suponer un peligro potencial para las operaciones submarinas, los efectos indirectos tales como la creación de turbulencias, ruido o merma de la visibilidad pueden afectar negativamente a las operaciones e incluso llegar a representar un problema.

Todos estos potenciales problemas deben de ser cuidadosamente considerados por el equipo de planificación de operaciones y deben de ser objeto de un estudio de riesgos antes del comienzo de estas. A continuación, se describen de una manera muy general los mayores inconvenientes a la hora de operar con buzos en aguas poco profundas con grandes corrientes.

El peligro más significativo a la hora de operar con buzos es el generado por una posible absorción del buceador por un propulsor. Este problema se puede minimizar, o incluso anular, asegurándose de que en todo momento el umbilical que suministra al buzo tenga una longitud restringida de manera que no pueda ser absorbido por ningún propulsor. Prácticamente todos los procedimientos de

seguridad de todas las compañías imponen un margen de seguridad mínimo de 5m. Además, la longitud del umbilical debe de ser acordada entre el puente y el supervisor de buceo antes de cada operación y forma parte del check-list pre-inmersión.

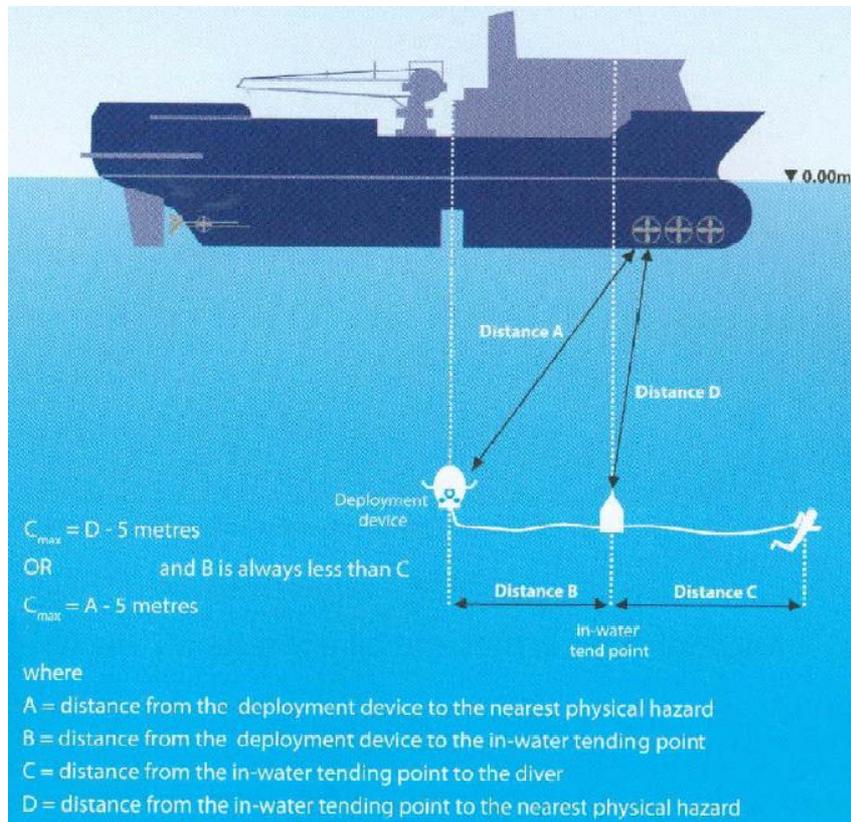


Diagrama ilustrativo de distancias mínimas umbilicales-propulsores para operaciones de buceo.

Más allá de los 50 metros de profundidad, los buzos son desplegados usando campanas hiperbáricas, formando complejos de saturación. En estos complejos, los buceadores se mantienen hasta 28 días a la presión de la profundidad de trabajo, desplazándose al lugar de trabajo mediante una campana. Esto se realiza de esta manera porque a cientos de metros, los tiempos de descompresión necesarios para que el buzo no manifieste ningún síntoma de accidente hiperbárico se miden días y no en horas. Asimismo, a partir de ciertas profundidades la mezcla respirable es una mezcla de helio y oxígeno, cuyo porcentaje depende de la profundidad de trabajo. El buceo con helio a grandes profundidades genera el efecto tan gracioso en los buceadores de voz de dibujo animado.

A profundidades de menos de 50m puede utilizarse una campana en vez de una cesta, con lo que se incrementa la seguridad del buceador de manera sustancial.

Como puede desprenderse fácilmente de lo mencionado anteriormente, los buceadores son particularmente vulnerables a los problemas de abordaje y especialmente a los generados por una pérdida de la posición durante la operación. La única manera posible de retorno a la superficie para un buceador es vía campana o cesta. Por lo tanto, si el barco tiene una pérdida de la posición, entonces el buceador será arrastrado por el umbilical lo que puede causar lesiones o incluso la muerte. Obviamente, la localización del trabajo tiene un gran impacto en la seguridad del buceador. Si el buzo se encuentra trabajando en aguas abiertas y cerca de la campana de recuperación, el retorno a ella puede suponer un par de minutos. Sin embargo, si el buzo se encuentra trabajando dentro de una estructura subacuática, el tiempo de retorno puede alargarse sustancialmente, debiendo el buque mantener la posición sin importar nada más.

A partir de los 450m la única manera de desplegar buzos es mediante el uso de trajes de buceo atmosféricos. Estos son trajes de buceo presurizados que mantienen al buceador en todo momento a 1 atmósfera. La alternativa al uso de estos trajes es el uso de robots submarinos ROVs. Una de las ventajas de utilizar ROVs en vez de buceadores, es la menor redundancia exigida dado que la operativa es realizada sin desplegar medios humanos subacuáticos.



Traje de buceo atmosférico y típico ROV



4.4 Operaciones anchor-handling y de suministro a plataformas.

Hoy en día todos los barcos destinados a estas operaciones son construidos cumpliendo con las exigencias de clase reglamentarias DP2. Hace unos años, el estándar de construcción para este tipo de barcos era DP1, pero debido al tipo de trabajo tan especializado y delicado que realizan y a las demandas de los armadores, hoy en día el estándar de construcción es DP2 en vez de DP1.

Para el manejo de anclas el DP puede ser utilizado para facilitar la maniobra de traslado del ancla hasta la posición relativa a la plataforma deseada y depositar éste en el fondo de una manera exacta. Durante las maniobras de suministro a una plataforma, el DP ayuda de una manera increíble al mantenimiento de la posición exacta respecto a la plataforma, especialmente cuando la operación se alarga en el tiempo.

Tipica operación de abastecimiento a una plataforma. Obsérvese el poco espacio disponible para la maniobra.



4.5 Grúas flotantes y barcos dedicados a la construcción.

Un gran número de barcos grúa utilizan el DP en el día a día de sus actividades. Paulatinamente, el número de buques capaces de elevar más de 4000TM se incrementa. Asimismo, el número de buques grúa de menor capacidad también está aumentando. La capacidad de realizar los trabajos sin necesidad de desplegar un patrón de fondeo normalmente de 8 anclas, aunque en ocasiones puede ser de 14, reduce considerablemente el tiempo requerido para la realización de las operaciones, así como el coste global de ésta, pues el número de efectivos necesarios para la elevación disminuye. Estas supergrúas flotantes están equipadas con DP clase 3, lo que elimina la necesidad de disponer de anclas de apoyo al mantenimiento de la posición así como remolcadores asistentes.

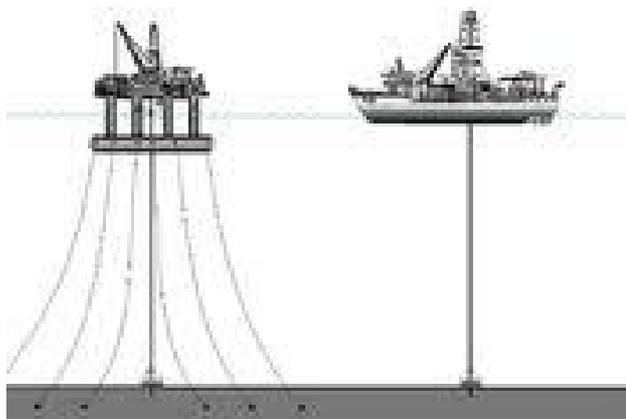
Actualmente, las grúas más grandes de su clase son la clase Saipem 7000, Thialf y Balder, que normalmente son utilizadas para la instalación de grandes plataformas. Aunque pueda parecer extraño, gran parte de sus trabajo consiste también en el desmontaje de plataformas instaladas hace tiempo y que han llegado al fin de su vida útil.



2 conceptos diferentes de supergrúas flotantes: Thialf plataforma semisumergible y Stanislav Yudin buque monocasco.

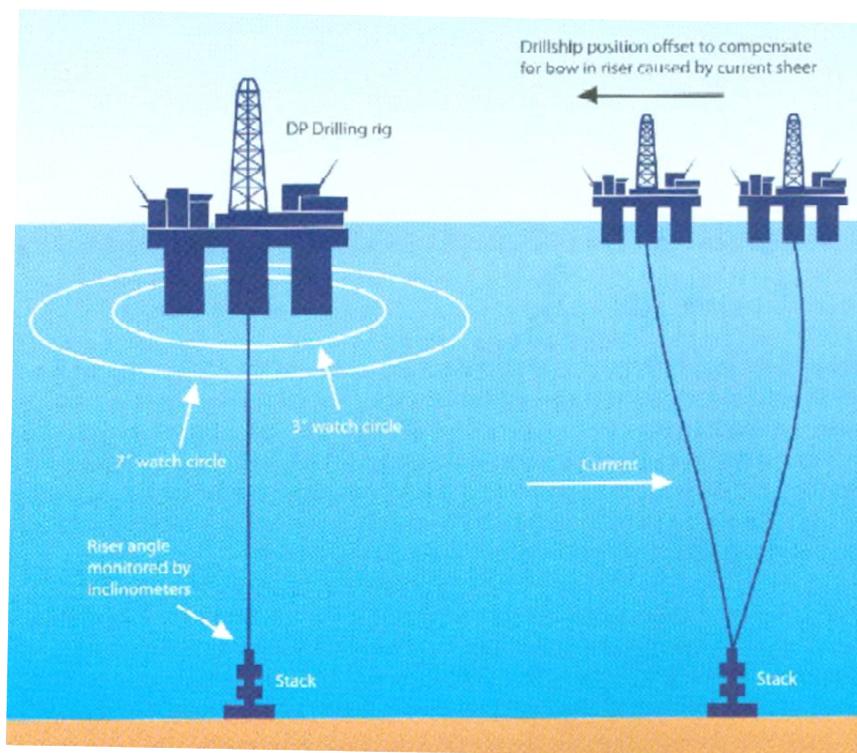
4.6 Operaciones de perforación

En los últimos años, las operaciones de perforación y extracción de petróleo se han extendido a áreas de más y más profundidad. Por esta razón, el número de plataformas perforadoras cuyo posicionamiento es basado en DP se ha incrementado, debido a la imposibilidad de desplegar anclas o patas al lecho marino. Las últimas plataformas perforadoras son capaces de perforar en aguas de hasta 3,500m y su construcción bien puede ser en forma de plataforma semisumergible o buque monocasco.



Diferencia entre buque monocasco perforador y plataforma semisumergible.

En aguas profundas no es suficiente simplemente mantener la posición de la plataforma justo encima del punto de extracción, se debe compensar también el ángulo entre la tubería que asciende del pozo a la plataforma y la vertical. Es vital que este ángulo permanezca lo más cerca de cero como sea posible. Una corriente marina puede generar en la tubería de extracción un arco que obliga al operador DP a moverse corriente arriba para compensar y minimizar el ángulo tubería-vertical. En la ilustración siguiente se describe más claramente este hecho. Una complicación añadida en los últimos buques perforadores es la capacidad de perforar 2 pozos simultáneamente, obviamente con la necesidad de monitorizar 2 valores de ángulo tubería-pozo diferentes.



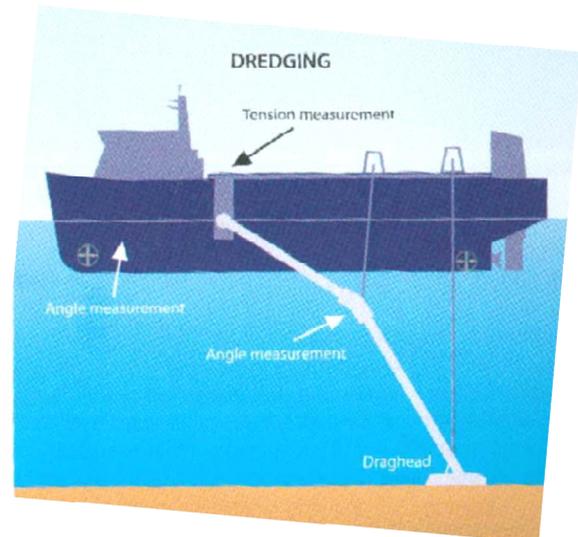
Obsérvese el concepto de ángulo vertical de la tubería extractora descrito arriba.

Los sistemas de referencia de posición utilizados normalmente para estas operaciones son DGPS y balizas hidroacústicas, pues otros sistemas de referencia de posición no son operativos en altamar a las profundidades de trabajo tan grandes a las que se trabajan.

4.7 Operaciones de dragado y vertido de escombro-rocas.

Hoy en día, muchas de las más importantes operaciones de dragado que se llevan a cabo diariamente son llevadas a cabo con la ayuda del DP.

Ya sea para el mantenimiento de canales o puertos, como para la recuperación de materiales, la precisión ofrecida por el DP lo convierte en una atractiva opción para complementar la operación. Por ejemplo, se puede hacer seguir a la cabeza succionadora un



Operación de dragado DP, véanse los puntos clásicos de donde es vital extraer información.

predeterminado track y se puede

configurar al sistema para recibir y compensar fuerzas medidas por sensores desplegados en el tren de dragado.

Por su parte hay otros barcos que son destinados al vertido de escombro o rocas para la protección de elementos submarinos. Esto puede servir como sustitutivo por ejemplo de una zanja para la instalación de un cable o tubería submarina, o para el aseguramiento y apuntalamiento de patas en estructuras submarinas tales como jackets, postes...

Normalmente el tipo de buques destinado a este cometido tiene el corte clásico de un mini bulk carrier, acondicionado para la descarga de las rocas o escombros por una tolva conectada a una tubería descendente. Esta tubería es desplegada por la banda y normalmente en el extremo se coloca un ROV que distribuye de manera precisa la roca o escombros a lo largo de la zona deseada. Normalmente, el buque sigue una ruta preconcebida utilizando la función auto-track del DP, siguiendo los puntos exactamente a una velocidad precisa para que el relleno sea óptimo. Los sistemas de referencia de posición son los convencionales (los cuales se detallarán más adelante) y pueden ser complementados por la instalación de algún sistema extra en el ROV responsable de la colocación final del vertido.



Tipico barco de vertido de escombro y roca. Véase el ROV que monitoriza y controla la colocación del vertido.

4.8 Operaciones de tendido de tubería y creación de zanjas.

Al igual que ocurre en muchas otras actividades, para el tendido de tubería cada día es más y más común la utilización de buques DP. Al no disponer de anclas ni amarras este tipo de buques son capaces de realizar el tendido más rápido y de una manera más eficiente que las gabarras de tendido submarino convencionales.

Actualmente como norma general, 3 métodos de tendido son utilizados; Tendido-S, Tendido-J y Tendido reel.

En el método "S-Rail" la tubería es construida en una larga "factoría" situada en la cubierta principal del barco. La tubería es ensamblada, soldada, recubierta e inspeccionada a intervalos de unos 12 metros, alineada con la línea de lanzamiento. La tubería es controlada por unos rodillos que moderan la tensión de la tubería y alimentan la lanzadera.



Barco de tendido de tubería "S-Lay"

La lanzadera no es más que una rampa que permite la salida de la tubería de cubierta hacia el fondo y evitando que la tubería sufra demasiada flexión. Entre el final de la lanzadera y el fondo la tubería únicamente se soporta por su propia tensión, a esta zona se la conoce como “sagbend zone”.

Un sistema DP aplicado al tendido de tubería “S-Lay” debe permitir al buque mantener un rumbo preciso en todo momento, mantener la tensión en la tubería constante entre ciertos parámetros (información suministrada al DP por sensores especialmente instalados a tal efecto), así como mover el buque a intervalos avante de exactamente 12 metros, que es la longitud de cada sección de tubería estándar.

Normalmente este movimiento ocurre cada unos 4 minutos aunque obviamente esto depende de la longitud de las secciones de tubería trabajada.

En la operaciones “reel” la tubería es prefabricada y cargada en un carrusel vertical a bordo del barco. La tubería es tendida pasándola del carretel de estiba a la rampa de tendido.

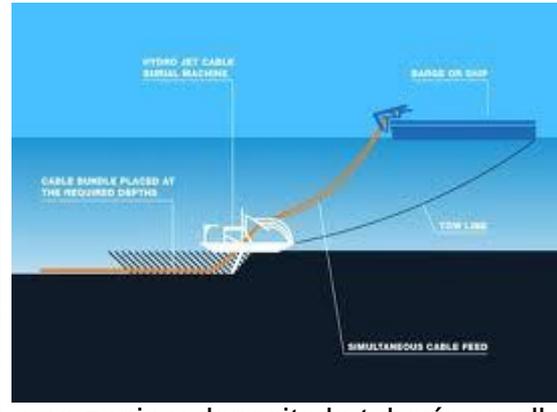
En aguas profundas el único método que es posible utilizar es el “J-Lay”. Aquí la rampa de lanzamiento está montada cerca de la vertical. La tubería es alineada con la rampa de lanzamiento, lo que induce grandes fuerzas en la lanzadera debido al gran peso involucrado en la operativa, cuyos efectos deben de ser contrarrestados por el DP del barco.



Típico barco J-lay

Los barcos destinados a este tipo de operaciones llevan a cabo normalmente complicadas maniobras evolucionadas utilizando DP, pues el comienzo de un tendido, su empalme o el finalizado son operaciones que precisan un alto nivel de precisión y maniobra.

Un trabajo asociado al tendido de tubería es la necesidad de protegerla del daño. Los buques con DP son utilizados de nuevo para tal cometido. La tubería puede ser soterrada en una zanja mediante el uso de vehículos especiales o mediante arados. Estos vehículos son desplegados mediante una grúa pórtico por popa y mediante DP se va siguiendo la tubería a la vez que el ROV excava



una zanja y deposita la tubería en ella.

En la siguiente fotografía y diagrama puede verse un arado utilizado para el enterramiento de tubería/cable así como su funcionamiento.

4.9 Operaciones de tendido y reparación de cable.

La implantación de fibra óptica en los cables de comunicación internacionales ha requerido una gran precisión en la instalación de dichos cables, algo para lo que el DP ha contribuido de una manera sustancial. Los cables de fibra óptica tienen unas especificaciones muy precisas de flexión así como de tracción.

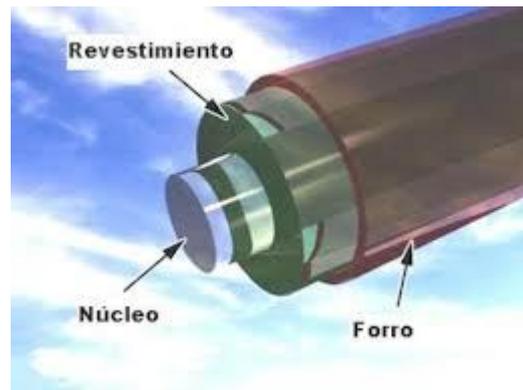


Tipico barco de tendido de cable.



Si estas especificaciones son superadas el cable puede resultar dañado y como consecuencia puede resultar inservible.

Sección transversal de un típico cable de fibra óptica



Los buques destinados al tendido de este tipo de cables están equipados con DP como estándar. Su instalación es particularmente muy útil especialmente cuando se llevan a cabo operaciones de reparación o conexiones de cable en aguas poco profundas.

4.10 Flotels y barcos de servicio.

Durante periodos de construcción, reconstrucción, reparación o desmantelamiento de instalaciones offshore, se necesitan una gran cantidad de infraestructuras. A veces estas infraestructuras pueden consistir simplemente en hoteles flotantes para trabajadores. Un simple "flotel" (hotel flotante) puede ser posicionado cerca de la instalación donde se llevan a cabo los trabajos propiamente dichos y puede estar conectado a esta por medio de una pasarela. Estos flotels son normalmente plataformas DP semisumergibles. Si la pasarela se encuentra conectada, ella misma puede ser utilizada como un sistema de referencia pues actúa como un taut-wire horizontal. (Más adelante se describirá un taut-wire, así como su principio de operación).

A bordo de estos flotels pueden llevarse a cabo más operaciones que simplemente acomodación de personal, tales como operaciones de buceo, talleres. Cualquiera que sea las operaciones que se lleven a cabo a bordo de ella, estas instalaciones tienen un rol muy importante en caso de emergencia (fuego, evacuación médica...)



4.11 Buques de pasaje.

Los grandes cruceros también han comenzado a utilizar de manera corriente el DP. Dado que su tamaño ha sido aumentado considerablemente y la maniobra es muy delicada en muchos puertos debido al poco espacio disponible, el DP es ya una herramienta que es utilizada por muchos armadores como asistencia al atraque. Esto elimina el uso de remolcadores en los puertos a la vez que acelera las maniobras, lo que hace más económica la escala del buque en puerto. Otra actividad en donde los cruceros han encontrado al DP como un gran aliado es en los lugares de visita donde no hay instalaciones portuarias y no es posible fondear debido a las normas de protección medioambientales. Si se realizan desembarques a motoras auxiliares, el DP puede ser utilizado para dar un resguardo a estas embarcaciones auxiliares facilitando así el desembarque.



Crucero fondeado en un lugar de visita donde no existen infraestructuras para albergar un buque de su porte.

4.11 Otras aplicaciones.

Cada día son más las aplicaciones marítimas para las que se utiliza el DP como apoyo a la operativa.

Una aplicación inusual para la que recientemente ha sido utilizado el DP, es para la operación de un sistema de lanzamiento de misiles offshore. El Sea Launch Odyssey y su buque de control de misiones es día de hoy, la única instalación DP controlada de manera remota durante la operación de



lanzamiento de misiles.

Proyecto Sea Launch Odyssey, véase el buque de comando y la plataforma remota.

De lo descrito anteriormente se puede desprender que la aplicación práctica del DP puede variar desde el mantenimiento del rumbo y posición durante largos periodos de tiempo al cambio de ésta de manera continua por razones operacionales. Asimismo, cada sistema debe de ser especialmente configurado para llevar a cabo las operaciones para las que está diseñado; un buque perforador incluirá sensores de medida del ángulo de la tubería ascendente mientras que un shuttle tanker dispondrá de funciones tales como auto-acercamiento.

Cualquiera que sean las funciones que el DP sea capaz de realizar o los periféricos integrados en el sistema, es esencial que el DPO entienda completamente la operación del sistema en su conjunto. Para ello es muy importante un estudio operacional y de los manuales disponibles a bordo. Por decirlo de cierta manera, cada sistema DP está construido a capricho y un operador recién llegado puede no estar familiarizado con la configuración exacta y las funciones del sistema.

Capítulo 5: Sistemas de referencia de posición.

5.1 La necesidad de disponer de una referencia de posición.

Una de las necesidades primordiales de cualquier sistema DP es disponer de una fuente fiable de la cual tomar la posición del buque. Desde un punto de vista científico, es imposible controlar cualquier variable, si no se es capaz de medirla correctamente y de la manera más precisa posible. Por lo tanto, es necesario equipar al buque con algún sistema fiable de referencia de posición (PRS).

NO hay ningún PRS que sea completamente exacto, estable o infalible, todos tienen fallos y limitaciones, por lo que uno de los factores más importantes a controlar por un DPO durante las operaciones es precisamente el correcto funcionamiento de los PRS en funcionamiento.

5.2 Características de un Sistema de referencia de posición (PRS)

Cualquier PRS utilizado para suministrar datos de posición al DP, debe funcionar de manera precisa, estable y fiable, así como debe tener la capacidad de actualizarse continuamente. Existen una gran cantidad de PRS diferentes al alcance de los DPO, pero es importante saber escoger el que más se ajuste a las necesidades de cada momento.

Normalmente, la característica más importante y valorada es la precisión, pues el posicionamiento del buque nunca puede ser más exacto que el PRS utilizado.

Por otro lado, la fiabilidad es otra característica esencial, pues de nada sirve disponer de un PRS ultra preciso, si falla sin previo aviso o de repente suministra valores erróneos. Para limitar el impacto del fallo de un PRS sobre la posición del buque, los sistemas DP actuales disponen de la opción para recibir información sobre la posición de diferentes PRS simultáneamente. Por ejemplo,

como se ha tratado en el capítulo 3, para operaciones DP2, los PRS que deben de utilizarse simultáneamente son 3 como mínimo. Esto permite mediante el “sistema de votación” detectar y rechazar automáticamente del sistema la información del PRS que está fallando. El sistema de votación funciona aplicando un principio basado en el peso específico para el sistema de cada uno de los PRS utilizados. El peso específico de cada PRS para el sistema es calculado mediante variaciones en las lecturas de cada PRS independientemente. Si diversos sistemas PRS se encuentran en funcionamiento a la vez, la comparación de sus lecturas individuales dará un peso específico de ese PRS en el sistema. Cuanta más pequeña sea la variación de un PRS respecto a los demás, mayor será el peso de este PRS y por lo tanto su influencia a la hora del cálculo de la posición es mayor. Con el fin de facilitar al DPO la monitorización constante de los PRS y su rendimiento a la hora del cálculo de la posición, el sistema ofrece gráficos históricos, así como expresa el peso específico de cada PRS en %.

La estabilidad, es decir, que un PRS pueda suministrar información de manera continuada, es otra característica también muy importante de cualquier PRS. Como norma general, los sistemas DP requieren actualizar la posición cada segundo, por lo tanto, el PRS debe ser capaz de actualizarse cada segundo o más rápido. Algunos sistemas no son capaces de cumplir este parámetro, como por ejemplo los sistemas hidroacústicos. Estos sistemas funcionan mediante la interrogación de transpondedores instalados en el lecho marino. Debido a que la velocidad del sonido en el agua es de 1500m/s, a profundidades mayores de aproximadamente de 750m, el retardo de la respuesta es de más de 1 segundo. Por lo tanto, el tiempo de actualización es mayor, por lo que el peso específico del PRS a la hora del cálculo de la posición será menor.

5.3 El sistema UTM

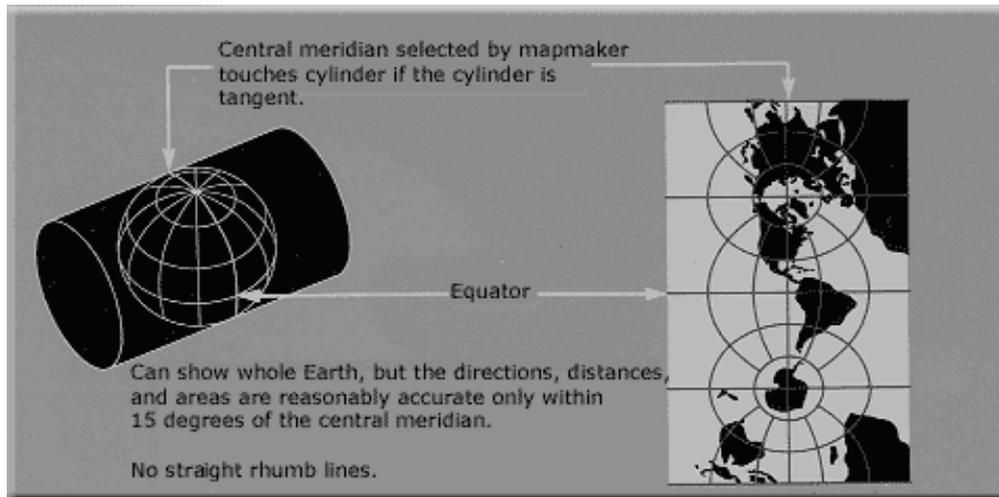
En el mundo offshore las posiciones son normalmente expresadas en coordenadas UTM. El **Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator** (*Universal Transverse Mercator, UTM*) es un sistema de coordenadas

basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de mercator normal, pero en vez de ser tangente al Ecuador, el plano de proyección es tangente a un meridiano. A diferencia del sistema de coordenadas geográficas, expresadas en longitud y latitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros, pero ojo, únicamente al nivel del mar que es la base de la proyección del elipsoide de referencia.

La **UTM** es una proyección cilíndrica conforme. Eso conlleva que el factor de escala en la dirección del paralelo y en la dirección del meridiano son iguales (**$h = k$**). Por lo tanto, las líneas loxodrómicas se representan como líneas rectas sobre la carta. Los meridianos se proyectan sobre el plano con una separación proporcional a la del modelo, siendo equidistantes entre ellos. Sin embargo, los paralelos se van separando a medida que nos alejamos del Ecuador, por lo que al llegar al polo las deformaciones son infinitas. Es por ello que solo se representa la región entre los paralelos 84°N y 80°S. Por último, se trata de una proyección compuesta donde la esfera no se representa entera si no en trozos. Para ello, se divide la Tierra en husos de 6° de longitud cada uno (*Ver Husos UTM en la figura adjunta*).

La **proyección UTM** tiene la ventaja de que ningún punto está alejado del meridiano central de su referencia en su huso, por lo que las distorsiones son mínimas. Pero esto se consigue a cambio de la discontinuidad: un punto en el límite del huso, se proyecta en dos puntos distintos, salvo que se encuentre en el ecuador. Una línea que une dos puntos de dos husos contiguos no es continua salvo que cruce por el ecuador.

Para evitar estas discontinuidades, a veces se extienden las zonas, para que el meridiano tangente sea el mismo. Esto permite mapas continuos casi compatibles con las estándar. Sin embargo, en los límites de esas zonas, las distorsiones son mayores que en las zonas estándar.

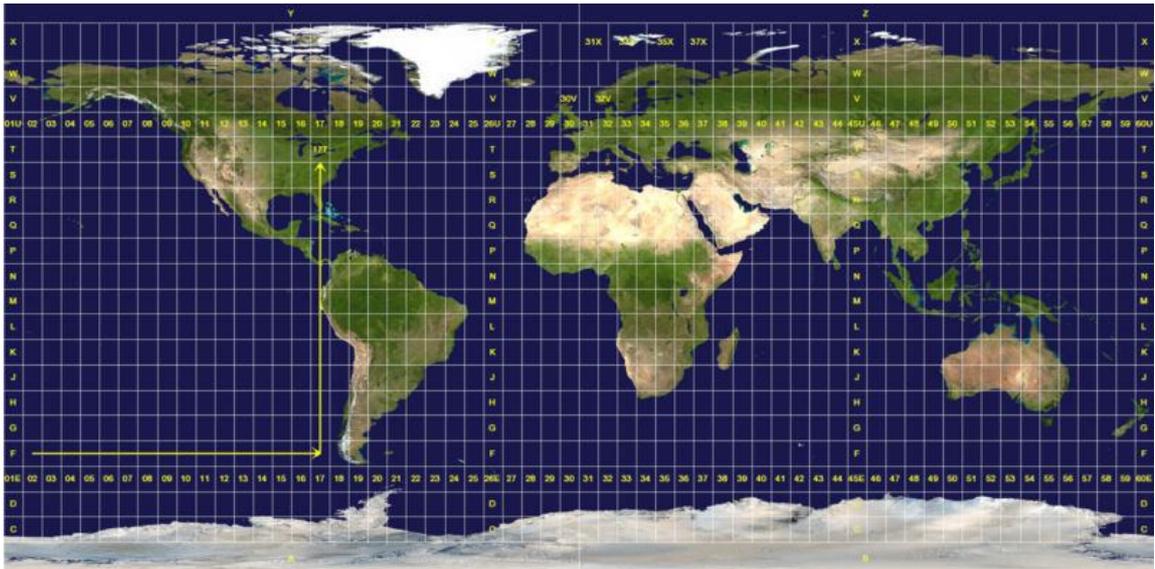


Detalle del plano de proyección en UTM.

Respecto a las coordenadas, el sistema trabaja en Coordenadas Norte y Este. En el Hemisferio Norte, en el Ecuador vale 0 m aumentando hacia el Polo y en el Hemisferio Sur el Ecuador vale 10.000.000 m. disminuyendo hacia el Polo. Para cada huso, existe lo que se llama el Meridiano Central y tiene como valor 500.000 m.

Cada huso se numera con un número entre el **1** y el **60**, estando el primer huso limitado entre las longitudes **180°** y **174° W** y centrado en el meridiano **177° W**. Cada huso tiene asignado un meridiano central, que es donde se sitúa el origen de coordenadas, junto con el ecuador. Además se numeran en orden ascendente hacia el este. Por ejemplo, la Península Ibérica está situada en los huso 29, 30 y 31, y las Islas Canarias están situadas en el huso 28.

Asimismo la tierra se divide la Tierra en 20 bandas de **8°** Grados de Latitud, que se denominan con letras desde la **C** hasta la **X** excluyendo las letras "I" y "O", por su parecido con los números uno (1) y cero (0), respectivamente. Puesto que es un sistema norteamericano (estadounidense), tampoco se utiliza la letra "Ñ". La zona C coincide con el intervalo de latitudes que va desde 80° S (o -80° latitud) hasta 72° S (o -72° latitud). Las bandas polares no están consideradas en este sistema de referencia. Si una banda tiene una letra igual o mayor que la **N**, la banda está en el hemisferio norte, mientras que está en el sur si su letra es menor que la "N".



Cuadrícula UTM. Véanse los Husos y las zonas UTM con su correspondiente numeración.

Por lo tanto la cuadrícula **UTM** se define mediante el número del huso y la letra de la zona. Por ejemplo, la ciudad española de Granada se encuentra en la cuadrícula **30S**, y Logroño en la **30T**.

Los diagramas mostrados, ayudan a asimilar los conceptos descritos.

5.4 PRS

5.4.1 Sistemas de referencia de posición hidroacústicos.

El principio de medición implica la comunicación mediante frecuencias acústicas de los equipos montados en el casco (transductor) y otros situados en el fondo marino (transpondedores). El procedimiento consiste en interrogar al transpondedor mediante una señal transmitida por transductor, activándose este para responder.

El tiempo de transmisión/recepción es proporcional a la distancia que debe recorrer la señal. Por lo tanto, midiendo el tiempo de retardo entre la emisión y la recepción se puede definir la posición del buque en relación con la del transpondedor.

El uso de los HPR (*Hydroacoustic Position Reference*), ha sido propiciado por los avances técnicos en la construcción y diseño de equipos capaces de operar a grandes profundidades a través del agua y proporcionar una gran fiabilidad en los datos obtenidos para poder fijar la posición de las estaciones de superficie.

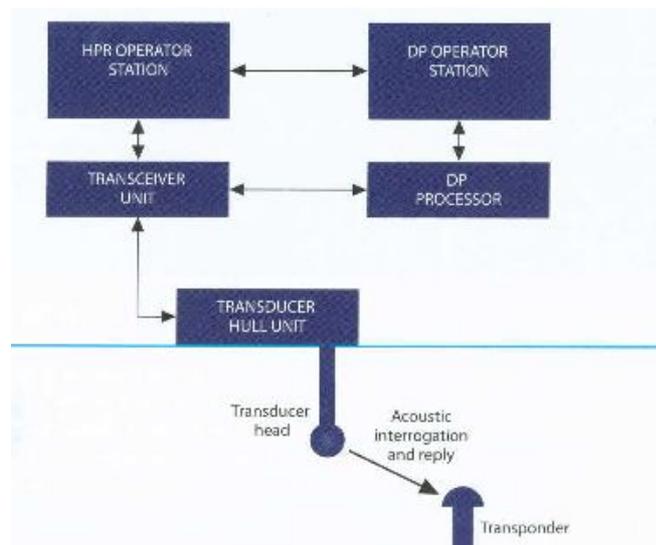
Las características de los HPR han sido aprovechadas como referentes de la posición en los sistemas de posicionamiento dinámico en la fijación de la posición, en el seguimiento de una derrota trazada previamente o en el control de un vehículo bajo el agua, es decir, son utilizados en la mayoría de las operaciones con DP.

Los sistemas HPR tienen, en general, una serie de inconvenientes, debido a la distorsión de las señales acústicas durante su trayecto en el agua. Por ejemplo, por la atenuación de la señal debido a la transformación de una parte de la energía en calor, el cual es absorbido por el agua. El valor de esta absorción es función de la frecuencia usada, la temperatura, la salinidad y la presión de la masa de agua. Los resultados óptimos se obtienen para frecuencias situadas entre 10 y 30 KHz. Otro problema general es el reflejo que se produce de la señal debido a la presencia de objetos bajo el agua, tales como algas o burbujas producidas por las hélices propulsoras, que puedan interponerse entre el camino de la señal,.

La variedad y polivalencia de los transpondedores o balizas, hace que su uso se extienda cada vez más. Por ejemplo, las hay de pequeño tamaño especialmente diseñadas para su uso en un ROV o incluso para ser llevadas por buzos. Otra variedad de transpondedor es el respondedor. Cuya principal diferencia es que la señal de interrogación la recibe por medio de un cable que va conectado desde el barco hasta la baliza. Normalmente este caso se da cuando se está con operaciones de ROV o usando un arado submarino debido a que estos vehículos generan un alto nivel de ruido que impediría oír la señal al transpondedor, si ésta fuese transmitida por vía acústica. De esta forma la señal de interrogación es llevada por el umbilical del ROV y sólo la señal de respuesta es transmitida por vía acústica.

Indudablemente, a pesar de los inconvenientes enumerados, los HPR tienen ventajas que se indicarán en cada uno de los tres tipos de sistemas que se explicarán a continuación, : el LBL (Long Base Une), el SBL (Short Base Une) y el USBS o SSBS (Ultra/Super Short Base Line).

Cualquiera que sea el sistema hidroacústico utilizado, su diagrama de bloques fundamental es el siguiente:



5.4.1.1 Sistema Ultra/SuperShort Baseline

Los términos SSBL y USBL son sinónimos y se emplean para describir el mismo HPR. La diferencia estriba en que el construido por la empresa Kongsberg/Simrad lo denomina SSBL, mientras que Sonardyne lo comercializa bajo el nombre de USBL. Es un sistema que está formado por un transductor ubicado en la parte inferior del casco del buque, el cual puede llegar a sobresalir 4 ó 5 metros (cuando está operativo, ya que puede sacarse y meterse a voluntad). Es el que transmite/recibe las señales de un transpondedor o baliza que se encuentra situado en el fondo del mar.

El cálculo de la posición se obtiene mediante demora y distancia entre dos puntos (la posición del buque respecto a la baliza), siendo el resultado de procesar una señal enviada por el transpondedor y el tiempo transcurrido entre la emisión/recepción. Además de las características de la señal se tienen en cuenta las características del medio (agua de mar) y su influencia en la degradación de la señal.

La demora se obtiene por comparación de tiempo-fase entre pares de elementos transductores que integran la cabeza del transductor, que en algunos HPR puede estar formada por 230 o más elementos individuales.

Los movimientos de la estación (buque o plataforma), afectan de forma negativa al sistema, especialmente en condiciones de mal tiempo (el balance influye sobre la distancia contabilizada). Mediante los equipos VRS/VRU se puede obtener una medida compensada, pero en ocasiones la velocidad de balanceo es demasiado elevada y el transductor puede llegar a experimentar flexiones de hasta medio grado.

Otro factor negativo (ya enunciado, por ser general a todos los HPR) es el ruido y las burbujas que originan las hélices (normalmente son de paso variable, que producen más ruido que si fueran de paso fijo y revoluciones variables). Por todo lo anterior, es importante desplegar los transpondedores cuando nos encontramos lejos de la presencia de otros buques cuyas hélices pueden influir en las señales.

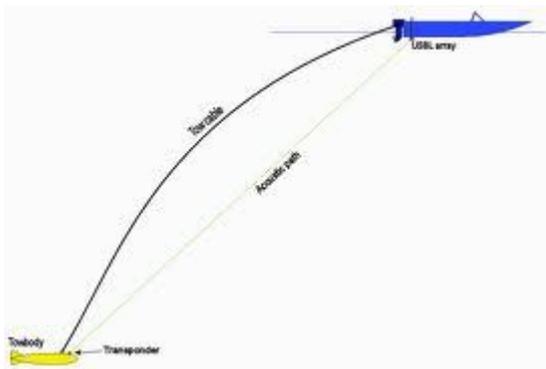
Hay diferentes tipos de transpondedores cuyas características particulares varían en función de las necesidades y complejidad de las operaciones llevadas a cabo por las estaciones. Disponen de una batería interna que suministra la energía consumida por el dispositivo, cuya duración dependerá del ritmo de interrogación que estipule el operador. Se recomienda establecer ritmos de interrogación cortos dentro de los límites de trabajo, evitando así que se degraden los datos de la posición. Pueden estar diseñados para trabajar en distancias que van desde los 1000 a los 3000 metros.

El sistema para la colocación del transpondedor en el fondo marino, es fondearlo unido a un cable mediante una grúa o libremente. En el segundo caso, dispone de un dispositivo que actúa de forma automática al recibir una señal enviada por el buque, soltando el peso adosado a la baliza y subiendo esta a superficie donde es recuperada.

En cualquiera de los dos casos, hay que tener cuidado con el lugar elegido, procurando que esté libre de obstrucciones. El transpondedor puede llevar

incorporado un clinómetro que proporciona una idea del ángulo de inclinación de la baliza con respecto a la vertical, siendo la información transmitida al buque o estación.

Una de las ventajas que tiene la utilización del *Super Short Base Line* (SSBL), es que solo requiere un transductor montado en el casco y un transpondedor para establecer la comunicación, que está basada, como hemos visto, en la medida de un ángulo vertical y horizontal, junto a la distancia al transpondedor.



Sistema USBL

5.4.1.2 Sistema Long Baseline

El término "*Long-Base-Line*" se utiliza, porque en general las distancias son mayores que las usadas en SBL (*Short Base-Line*) y para USBL (*Ultra Short Base-Line*). El sistema LBL está formado por una serie de transpondedores situados en el fondo marino, que abarcan, una extensión de forma permanente, entre 500 y 1000 m.

Las distancias entre ellos forman la "base" utilizada por el sistema. La interrogación individual de tres o más de los transpondedores proporciona una serie de distancias fijando la posición de la estación. No es necesaria la medición de los ángulos ya que no se necesita obtener la demora, pudiendo con este sistema, eliminar una de las fuentes de error debido a la curvatura de las señales causadas por la refracción. Otra ventaja del sistema es que no necesita las correcciones suministradas por la VRU, para compensar los movimientos del buque.

Un transductor acústico es un transceptor que normalmente se instala temporalmente en el buque. El transductor transmite una breve señal acústica que detecta el transpondedor (*Beacon*) y hace que se active para transmitir una señal acústica de respuesta. El tiempo entre la transmisión de la primera señal a la recepción de la segunda se mide, calculándose la distancia entre el transductor y el *Beacon*. El proceso se repite para el resto de balizas, calculándose la posición del buque en relación con el conjunto de balizas.

En principio la posición puede ser determinada mediante la utilización de dos transpondedores (*Beacon*), aunque pueden existir ambigüedades por la degradación de las señales, por lo que se utilizan un mínimo de tres, aunque se suelen desplegar hasta seis o más para dar mayor redundancia y exactitud al sistema.

Una vez realizada la calibración, cada transpondedor es interrogado mediante una frecuencia común. En general las técnicas de LBL permiten una mayor precisión que las de USLB, pero los transpondedores sólo pueden ser usados por una estación al mismo tiempo. La precisión obtenida en pruebas realizadas a profundidades de entre 1000 y 2000 m, indican que los errores cometidos pueden tener un desvío menor de 1 m. No obstante, la precisión puede aumentar en función del incremento de la frecuencia utilizada.



Sistema LBL.

Una de las desventajas de éste sistema es el bajo ritmo de recepción de señales para profundidades elevadas, por lo que no se puede mantener el ritmo óptimo de actualización de una señal por segundo.

5.4.1.3 Sistema Short Baseline

Además de las características generales de los HPR, podemos destacar como particularidades de este sistema, que su instalación se efectúa en diferentes puntos del buque.

Los fabricantes que diseñan estos modelos deben controlar la eslora del buque, para determinar el número de estaciones que puede ser colocado en el casco.

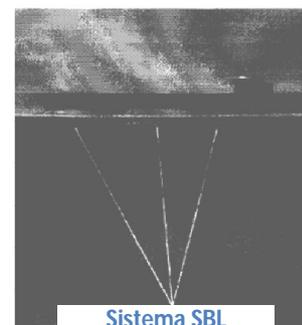
Un modelo sencillo consiste en una baliza situada en el fondo del mar, que actúa de transmisora, enviando las señales a los distintos receptores situados a bordo, al menos tres por motivos de redundancia.

La señal recibida a bordo, pasa a los ordenadores, donde es procesada teniendo en cuenta el tiempo transcurrido desde la emisión a la recepción y la ubicación de los receptores. El cálculo final proporciona la posición relativa del buque respecto a la baliza, situada en el fondo del mar.

Este sistema permite operar a profundidades de hasta 4000 metros, manteniendo un grado de precisión mayor, que si se utiliza un sistema USBL a la misma profundidad.

Los sistemas SBL normalmente se encuentran instalados en buques de grandes dimensiones, barcasas o plataformas semi-sumergibles utilizadas para la perforación. Las distancias entre los transductores ("líneas de base") se hacen tan grandes como sea práctico, por lo general son, al menos, de 10 metros de largo.

El sistema SBL transmite desde un punto, pero recibe la señal en todos los transductores. El resultado es una distancia de medición y un tiempo, con ciertas diferencias. La recepción está afectada por los movimientos del buque (sujeto a balances y cambios de asiento) y de orientación. Este "inconveniente" se puede superar mediante el uso de equipo adicional como un VRU (unidad de referencia vertical) para medir la altura y el balance, y un girocompás para medir el rumbo.



5.4.1.4 Ventajas y limitaciones de los sistemas acústicos

El rendimiento de un sistema acústico es a menudo limitado, por las condiciones acústicas de las capas del agua y la composición de las mismas, afectando, la salinidad, temperatura y los diferentes componentes químicos presentes en el agua.

El ruido de los propulsores del buque y de otras fuentes, crean turbulencias que son especialmente perjudiciales, ya que degradan las señales y disminuyen la eficiencia de los sistemas acústicos de posicionamiento.

Los límites de los sistemas no están en ocasiones bien definidos, dependiendo de las características comerciales de los productos utilizados. Además, pueden aparecer errores en capas de agua donde, ocasionalmente se producen variaciones en momentos puntuales, debido a corrientes. Hay que añadir a los anteriores inconvenientes, los problemas causados por el desplazamiento horizontal de la estación, especialmente, cuando este es muy grande.

Los sistemas acústicos son comercializados por un número limitado de fabricantes, en particular Kongsberg Simrad, Sonardyne y Nautronix.

Todos utilizan frecuencias en la banda de los 20-30 kHz.

El uso de hasta 56 transpondedores es posible gracias a la utilización de los sistemas de interrogación y las frecuencias de respuesta.

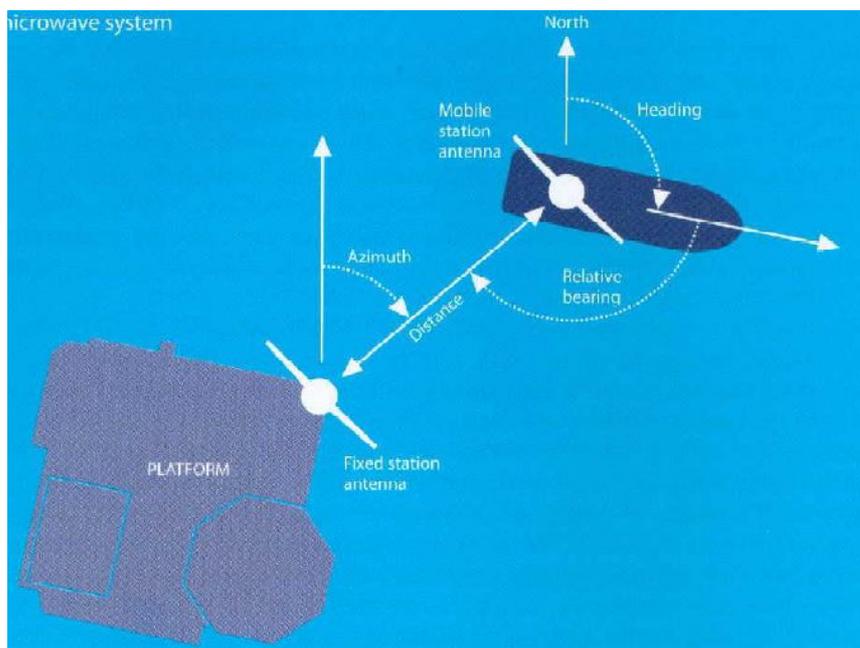
Dependiendo de los resultados que se demanden, el usuario puede elegir la configuración más adecuada, que podrá en cualquier momento ser complementada con una amplia gama de opciones.

5.4.2 Sistema Artemis

Artemis es un sistema de microondas para fijación de la posición de forma precisa y automática, y se compone de sólo dos estaciones: una estación móvil y una estación fija.

La estación móvil se instala en el objeto en movimiento (buque), mientras la estación fija o de localización es, en principio, instalada en un punto fijo (plataforma). La posición del objeto en movimiento está determinada por la distancia de la estación móvil a la estación fija y por el ángulo entre ellas. Con el sistema de "bloqueo", de las antenas fijas y móviles de la estación, se realiza un seguimiento automático de uno al otro mediante el mantenimiento de una onda continua de microondas.

Su rendimiento no se ve afectados por la lluvia y la niebla.

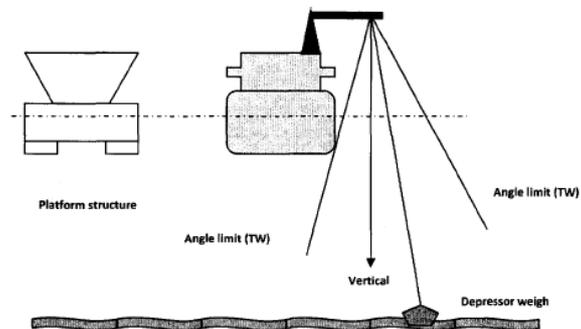


Artemis. Principios de operación

5.4.3 Taut-wire PRS

El sistema de cable tenso (*Taut Wire*) tiene diversas configuraciones. La más utilizada consiste en una grúa con características especiales montada en cubierta, normalmente en uno de los costados del buque. Desde ella se desliza hacia el fondo del mar un peso mediante un cable montado en una maquinilla, que tiene la fuerza necesaria para mantener en todo momento una tensión constante, y capaz de compensar los movimientos del buque. El primer problema que puede tener este sistema es que no puede utilizarse en caso de fuertes temporales, ya que se producirían excesivos balances que afectarían a la tensión de trabajo del cable, ni en profundidades de agua grandes.

El extremo de la grúa tiene una cabeza con varios sensores que calculan el ángulo con el que está trabajando el cable. La longitud de cable desplegado es contabilizada a medida que éste pasa por una roldana durante el arriado.



Principio de operación de un Taut Wire.

Conociendo la longitud del cable y el ángulo que éste tiene respecto a la vertical trazada desde el buque al fondo, se puede determinar la posición del buque relativa al peso que está fondeado (clump weight).

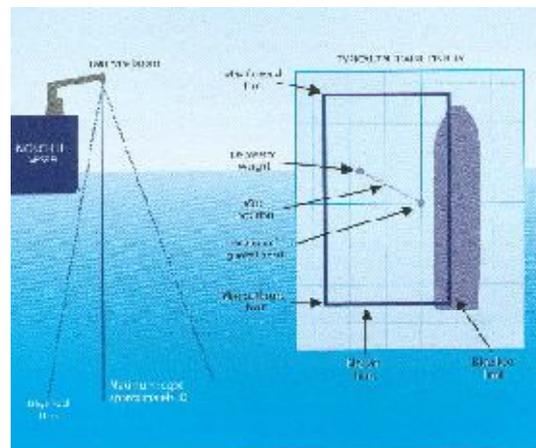
Los sensores que hay ubicados en el penol de la grúa consisten en potenciómetros para medir valores en sentido longitudinal y transversal, que transmiten voltajes proporcionales al valor del ángulo detectado. Estos parámetros son filtrados y corregidos teniendo en cuenta los datos de los movimientos de balance y cabeceo del buque suministrados por los equipos VRU/VRS. Además hay que incluir otra corrección que es aplicada de forma automática, la desviación (x/y en metros) producida entre la ubicación de la cabeza sensora y centro de rotación del buque.

Los sistemas de *Taut Wire*, por su naturaleza, tienen diversas limitaciones en cuanto a su utilización tanto en aguas poco profundas como en aguas muy profundas. En el primer caso su uso está limitado por el valor del máximo ángulo de trabajo permitido, que es función en primer lugar de la profundidad, es decir de la separación vertical entre el peso y la cabeza sensora, pero además también tiene su influencia la forma del casco del buque. Los valores de estos ángulos suelen ser entre 30 y 35°, es decir que si el buque tiene un gran francobordo, esto disminuiría el valor de ángulo horizontal.

Hay sistemas de *Taut wire* situados fuera del buque, ubicados en el fondo del casco, con lo cual se solucionaría el problema generado por las formas del casco, pero tendríamos un pequeño problema, relativo a la disminución de la distancia debajo de la quilla. De todas formas, el ángulo horizontal no tiene por qué suponer una limitación, ya que se supone que el buque permanecerá sin desplazarse. Si el buque se mueve habría que recoger el peso y volver a posicionar el *Taut Wire*. (*re-plumbing*)

El sistema de DP dispone de avisos y alarmas de advertencia que indican, antes de que ocurra, cuando se alcanza el máximo ángulo del *Taut wire* y que éste toque con el costado.

Tipica forma de display de un *Taut Wire* desplegado. El cuadrado muestra los rangos óptimos de trabajo del *Taut-Wire* e indica cuando es aconsejable el *re-plumbing*.



Una ubicación que podría evitar el anterior problema es colocar el taut wire en la proa, pero también tendría un problema relativo a que éste lugar estaría muy expuesto en caso de mal tiempo. Asimismo otro inconveniente asociado con esta localización, es que muchas veces la maquinilla de tensión constante no es capaz de compensar los fuertes y amplios movimientos inducidos por el cabeceo del buque en la proa.

Un problema general del *Taut wire* independientemente de su ubicación es el debido a las fuerzas que se inducen en el cable como consecuencia por ejemplo de una fuerte corriente, especialmente en aguas profundas donde la longitud de cable desplegada es grande, produciéndose una flexión del cable considerable. Además, este problema se agrava en zonas donde las corrientes cambian rápidamente, o donde las corrientes del fondo son distintas a las de la superficie.

La fiabilidad y precisión del *Taut wire* depende de:

- El ángulo del cable con respecto a la vertical.
- La profundidad en la que es fondeado el peso.
- La tensión creada en el cable.
- La fuerza de la corriente.

Cada valor influye de manera directa o indirecta sobre el resultado de precisión final, pudiendo darse como un valor bastante aproximado el situado entre 1 y 5 metros.

Algunas de las ventajas del sistema son:

- Su gran precisión, especialmente en profundidades medias, contando con que se realice un buen mantenimiento.
- Su fiabilidad es buena.
- Es un sistema formado por elementos mecánicos, por lo que la reparación a bordo no es complicada
- Su utilización es fácil.
- El tiempo para su puesta en servicio es mínimo, no necesitándose ayuda externa.

Entre las desventajas destacables tenemos:

- El cable puede representar un peligro para buzos/ROV.
- La precisión disminuye, cuando las aguas son muy o poco profundas.
- El cable es afectado por las corrientes cuando son intensas y también por buques que naveguen en las inmediaciones.

- Existe la posibilidad de que al arriar/cobrar el peso, éste pueda quedar enganchado en alguna estructura submarina.
- Es un sistema de posición relativo.
- Cuando el buque se mueve a un punto alejado, es necesario reposicionar el sistema.

5.4.4 Sistemas satelitarios

5.4.4.1 Sistema GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System*, GPS), fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para disponer de un sistema de navegación con fines militares que sustituyeran al antiguo sistema utilizado basado en mediciones Doppler sobre la constelación de satélites *Transit*.

El sistema consta de tres sectores fundamentales y dependientes entre sí; el sector espacial, el sector de control y el sector de usuarios.

El sistema fue ideado aprovechando las condiciones de propagación de las ondas de radio de la banda L en el espacio, así como la posibilidad de modular las ondas para que en ellas se pueda incluir la información necesaria que permita posicionar una estación en un sistema de referencia apropiado.

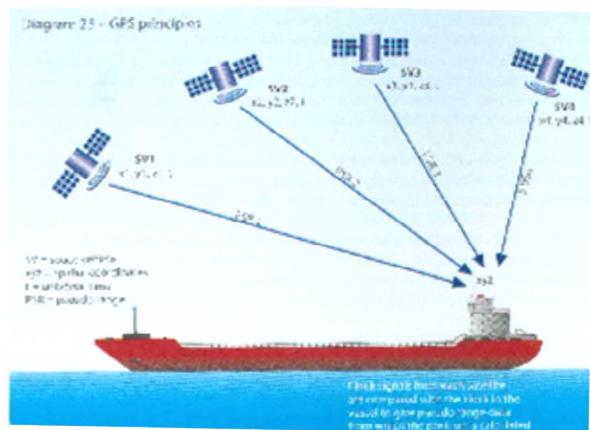
El sector espacial está formado por satélites colocados en una órbita elíptica, cuyos planos tienen una inclinación de 55° respecto al plano del ecuador. Los satélites están situados a una distancia de 20200 Km respecto del centro de la Tierra, siendo identificados de diversos modos, por ejemplo, por las características de su código de ruido, o por su número orbital.

Todos ellos disponen de relojes con osciladores atómicos con una precisión de 10^{-13} s/ 10^{-12} s.

Un oscilador genera la frecuencia fundamental 10,23 MHz, a partir de la cual se obtienen dos portadoras en la banda L de radiofrecuencia, denominadas L1 y L2.

Además, existen dos formas de código pseudoaleatorio que se modulan sobre estas portadoras, son los códigos C/A (*clear/access*) y P, dan la información de los parámetros orbitales del satélite y del estado del reloj. Los códigos son una secuencia de +1 y -1, que corresponden a los valores binarios de 0 y 1 respectivamente. El código C/A (*clear/access*) se repite cada milisegundo.

El mensaje enviado por los satélites, consta de información sobre su reloj, parámetros orbitales, o del estado de mantenimiento de los satélites. El mensaje consta de 25 grupos (cada uno transmite con una frecuencia de 50Hz), que tienen 1500 bits cada uno y están divididos en cinco celdas.



Principios del GPS.

Las coordenadas usadas con el sistema GPS, están referidas al sistema de referencia WGS84 (Sistema Geodésico Mundial de 1984), y pueden ser cartesianas o geodésicas. El sistema tiene las siguientes características:

- Origen en el centro de la Tierra.
- El eje Z es paralelo al polo medio.
- El eje X es la intersección del meridiano de Greenwich y el plano del ecuador.
- El eje Y es perpendicular a los ejes Z y X, y coincide con ellos en el centro terrestre.

Las coordenadas geodésicas están referidas a un elipsoide de revolución con las siguientes características:

- Semieje mayor, $a = 6.378.137$ m.
- Inversa del aplanamiento, $1/ct = 298,257223563$
- Velocidad angular de rotación, $\omega = 7.292.115 \cdot 10^{-5}$ rad/s.

5.4.4.2 Sistema DGPS

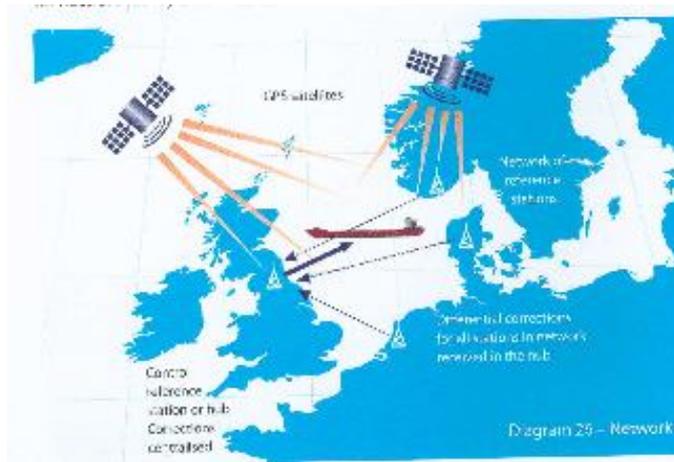
El sistema DGPS, no es más que el *Global Positioning System* (GPS) con una corrección diferencial añadida. Se puede decir que todas las estaciones con DP reciben correcciones por algún medio para reducir los errores de posición del GPS normal. Debido a los principios usados en un sistema DP, los datos inexactos no podrían ser usados.

El sistema GPS diferencial se basa en la comparación de la posición obtenida por GPS de una estación en tierra y su verdadero lugar exacto, obteniéndose así un dato que es transmitido a la estación flotante, pero siempre dentro de unos ciertos límites. Los medios para la transmisión de esta señal pueden ser varios, incluyendo mensajes vía radio en frecuencias HF, MF o UHF que son transmitidas por la IALA (*International Association of Lighthouse Authorities*) o haciendo uso de satélites INMARSAT.

Los medios utilizados para la transmisión tienen ventajas y desventajas, Por ejemplo, las correcciones vía UHF o VHF son muy rápidas proporcionando gran precisión, pero tienen un alcance limitado aproximadamente 70 km. Cuando se utiliza la frecuencia media, el alcance aumenta a 500/600 km, pero disminuye el ritmo de las actualizaciones, es decir la precisión.

La mejor solución es recibir correcciones por satélite, donde la cobertura es total y el ritmo de actualización de las correcciones es menor a los 5 segundos. En general, se puede estimar que la precisión del DGPS varía entre 1 y 3 metros.

El gran problema para las señales del GPS es la degradación que sufre debido a la actividad solar, especialmente en las zonas ecuatoriales, como ocurrió por ejemplo durante el año 2002 donde en algunas zonas se llegó a perder por completo la señal del GPS.



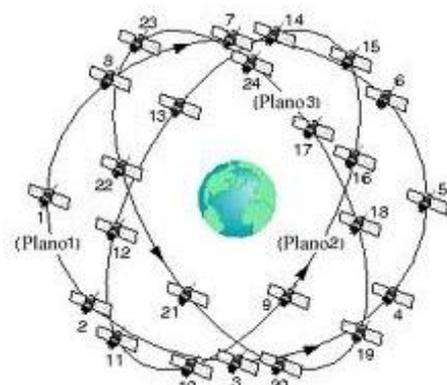
Descripción gráfica del funcionamiento de un sistema DGPS.

5.4.4.3 Sistema GLONASS

El Sistema GLONASS es operativo desde la década de los ochenta en que se comenzaron a poner en órbita los satélites que forman el sistema. Actualmente, la constelación no está completa, no obstante proporciona unas precisiones que compiten con el GPS e incluso llegan a superarlo.

El Sistema GLONASS es similar al GPS en muchos aspectos, aunque tiene algunas diferencias, presentando características especiales, por ejemplo la calidad de las posiciones obtenidas a partir de GLONASS es comparable a la que se obtiene con GPS, cuando la "Disponibilidad Selectiva" está desactivada, proporcionando a los usuarios civiles una gran precisión en toda la Tierra.

Los satélites son controlados mediante estaciones de seguimiento que, además de observar y analizar las anomalías de los satélites, procesa los parámetros de transformación del Sistema GLONASS PZ-90 al Sistema GPS WGS-84 sise trabaja con el sistema combinado GPS/GLONASS.



Constelación de satélites GLONASS.

El Sector Espacial está formado por 24 satélites en tres planos orbitales. Cada plano contiene 8 satélites espaciados regularmente, con argumento de latitud de 45° . Los planos están inclinados $64,8^\circ$ respecto al Ecuador. Los satélites GLONASS se encuentran a una distancia de aproximadamente 19100 Km y se sitúan en órbitas casi circulares con semieje mayor de aproximadamente 25510 Km, siendo el periodo orbital de 675,8 minutos, es decir, 11 horas y 15 minutos.

Esto garantiza, con la constelación completa, la visibilidad de un mínimo de 5 satélites en todo el mundo por lo que la constelación GLONASS proporciona una cobertura de navegación.

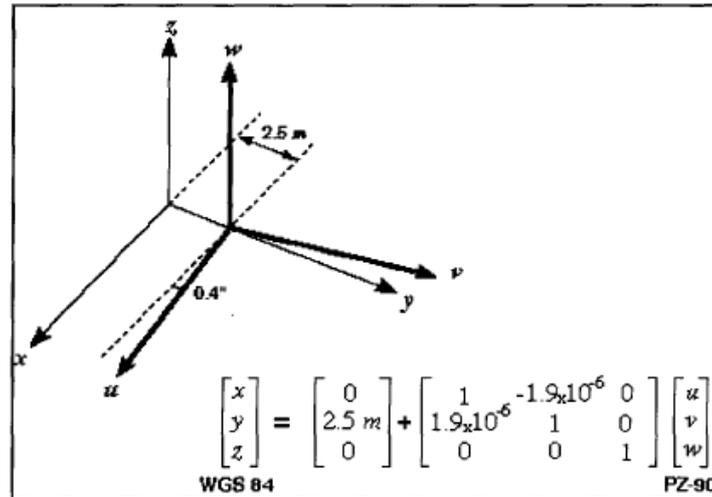
Como se ha mencionado anteriormente, las efemérides GLONASS están referidas al Datum Geodésico Parametry Zemli 1990 o PZ-90. Este sistema reemplazó al SGS-85, usado por GLONASS hasta 1993. El sistema PZ-90 es un sistema de referencia terrestre con coordenadas definidas de la misma forma que el Sistema de Referencia Internacional Terrestre (ITRF).

Parámetros del Datum PZ-90:

- Rotación de la Tierra, $72,92115 \cdot 10^{-6}$ rad/s
- Constante Gravitacional, $398600,44 \cdot 10^9$ m³/s²
- Constante Gravitacional de la atmósfera, $0,35 \cdot 10^9$ m³/s²
- Velocidad de la luz, 299792458 m/s
- Semieje mayor del elipsoide, 6378136 m
- Aplanamiento del elipsoide, 1/298,257839303
- Aceleración de la gravedad en el Ecuador, 978032,8 mgal

Los Sistemas GPS y GLONASS son sistemas autónomos, es decir, cada uno tiene su propio sistema de referencia y su propio sistema o escala de tiempo. Usan diferentes sistemas de referencia para expresar las posiciones de sus satélites, y por lo tanto, para determinar las posiciones de los usuarios.

Para poder utilizar los dos Sistemas de Posicionamiento por Satélite, GPS y GLONASS, es decir, recibir señales de los satélites de ambas constelaciones, es necesario establecer la relación entre los sistemas de tiempo y sistemas de referencia utilizados en ellos. El Sistema GPS utiliza el sistema de referencia WGS-84, mientras que el Sistema GLONASS utiliza el PZ-90. Los parámetros que definen los dos sistemas de referencia son significativamente diferentes.



Transformación de coordenadas PZ90 a WGS84

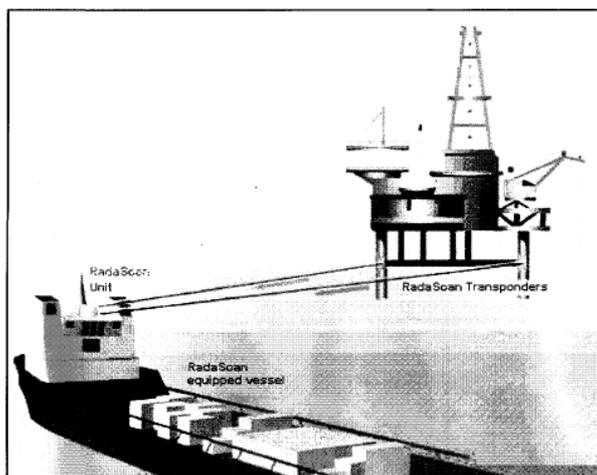
Analizando las pseudodistancias medidas a los satélites GLONASS y GPS, los errores cometidos vienen expresados por el valor error URE (*User Range Error*). Este error contempla en conjunto los errores al predecir las efemérides tales como inestabilidades en el vehículo espacial, errores en los relojes de los satélites, efectos ionosféricos y troposféricos, efecto *multipath*, ruido de la señal, y para GPS, la Disponibilidad Selectiva (SA). El URE se define como la diferencia entre la pseudodistancia y la distancia calculada a partir de las posiciones dadas de los satélites, teniendo en cuenta sólo los errores de reloj y de deriva. Para GLONASS, el valor del URE es de aproximadamente 10 m, mientras que para GPS sin SA es de 7 m, y con SA es de 25 m. La diferencia en los valores de URE de 7 a 10 m entre los Sistemas GPS y GLONASS, es atribuida principalmente a la falta de corrección del efecto ionosférico en GLONASS.

Con la disponibilidad de receptores GPS/GLONASS, el usuario puede tener acceso a un sistema combinado de hasta 48 satélites, lo cual significará una mayor fiabilidad. Además, también mejora la ejecución del posicionamiento diferencial en tiempo real, ya que, se reduce el tiempo de toma de datos con respecto a un posicionamiento diferencial calculado en post-proceso, que se ve compensado por la obtención de una mayor información de más satélites. Pero eso no es todo, además el tiempo de inicialización para alcanzar precisiones de nivel centimétrico mejora con una constelación de 48 satélites.

5.4.5 Sistemas láser

Comercialmente hay varias opciones disponibles, por ejemplo:

- Radascan sensor as position sensor for DP
- Radascan como una alternative al *Taut wire*
- Radascan position reference sensor
- Radascan para las operaciones de petroleros *shuttle*



Sistema láser, esquema de funcionamiento.

5.4.5.1 Fanbeam:

El equipo Fanbeam®, es un láser y sistema angular, diseñado para obtener una alta precisión en el posicionamiento estático o semiestático y el seguimiento de buques.

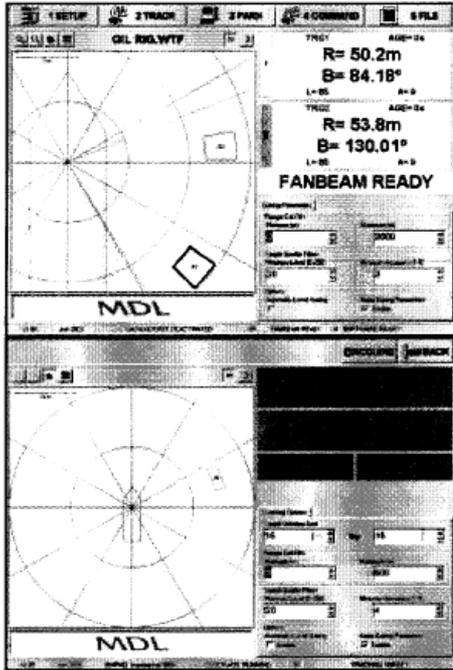
El sistema se utiliza principalmente para controlar o ayudar al sistema de posicionamiento dinámico (DP) de un buque cuando se encuentra trabajando al lado de una plataforma, muelle u otro tipo de buques. El sistema puede ser empleado como un equipo independiente para evitar la colisión con otros buques, o como un sistema de seguridad para el control de posición de los buques (barcazas, remolcadores) cuando efectúan maniobras de abarloadamiento. Otro uso común es el arrastre de equipos durante las operaciones de estudio geofísico.

Como características destacables de un sistema básico, tenemos las siguientes:

- Utiliza una unidad con escaner láser montada sobre un yugo, que gira 360° a 50² por segundo (estas características pueden variar, en función del modelo).
- Tiene un alcance superior a 2.000 metros, con una precisión de ± 10 cm.
- Diseño resistente ideal para el medio ambiente en alta mar.
- Excelentes prestaciones como equipo primario o sistema redundante de seguridad del sistema.
- Dispone de un mecanismo, denominado Autotilt que cuando se utiliza en buques de grandes dimensiones compensa las diferencias en la altura.
- Económicamente es un equipo competitivo en el mercado.
- Rápido y fácil de instalar

Algunas de los valores característicos presentados varían en función de las condiciones atmosféricas del entorno, ya que estas pueden afectar al sistema reduciendo la visibilidad del equipo óptico.

Las dos figuras que se presentan a continuación, muestran cual es la monitorización típica de un sistema laser y su transmisor



Equipo FanBeam y típica pantalla de monitorización del sistema.

El pulso de luz emitido es producido un conjunto de diodos láser en combinación una óptica especial. Las señales son reflejadas por un dispositivo montado, por ejemplo, en una plataforma y son recibidas a bordo donde se procesan. El tiempo transcurrido multiplicado por la velocidad de la luz, proporciona la distancia, siendo la demora es conocida por la dirección de la señal reflejada.

5.4.5.2 CyScan

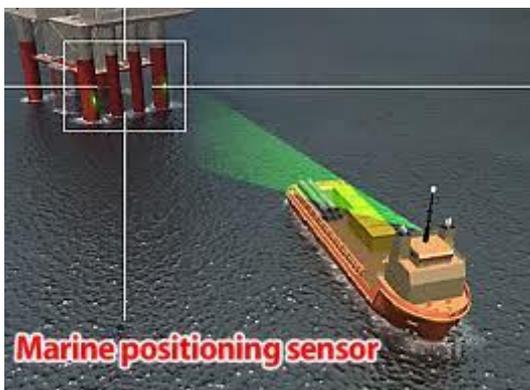
El CyScan es un sistema de alta fiabilidad, basado en técnicas específicamente construido como ayuda automática para la localización de buques en aplicaciones marítimas. Puede ser utilizado como sistema primario o de reserva para determinar la posición y siendo usado en cualquier tipo de buque.

El equipo básico del CyScan está constituido por un sistema de escanery sensores asociados a una base de datos de un PC donde una aplicación informática procesa los datos; una unidad de alimentación, una unidad de control y una unidad de presentación y monitorización de datos.

El sistema está instalado de forma permanente en el buque como una parte integral de los equipos de navegación o del sistema dinámico de posición. El escaner determina la distancia y mide la demora de una posición previa de los retro-reflectores pasivos con una alta precisión.

El reflector pasivo está generalmente localizado en las cercanías de un muelle, una estación o de otro buque. Las mediciones son usadas para determinar la posición del buque y la proa con respecto al blanco. La lectura se realiza de forma automática entrando los datos en el sistema de computadoras del buque que los procesa.

El láser gira a 360°ec midiendo exactamente la distancia, usando el tiempo que tarda la señal en recorrer el espacio entre el buque y los blancos constituidos por los reflectores pasivos. La demora es calculada siguiendo la línea de la señal láser. Los datos son transmitidos de forma continua al buque, mediante un equipo que permite el mantenimiento de la posición o presentar un rumbo para navegar de forma anticipada.



CyScan

5.4.6. Radius

RADius fue diseñado y construido para cubrir una necesidad especificada por la Organización Marítima Internacional para los buques equipados con Clase 2. Representa una nueva forma de la utilización de la tecnología del radar para corto alcance y monitorización de la dirección de las señales. El sistema fue diseñado, en principio, para cubrir las demandas de la industria offshore, cuando había una alta concentración de estaciones. En estos casos, por ejemplo el acceso de las señales del GPS y su exactitud podían ponerse en duda, de forma razonable, por lo que se necesitaba un sistema independiente para incrementar la seguridad.

Básicamente, RADius puede ser usado como control y asistencia de los sistemas de posicionamiento dinámico de un buque que se encuentre en su proximidad o de una plataforma al costado de la cual deben realizarse operaciones.



Sistema RADius e interfaz

5.5 Sensores medioambientales y equipos complementarios.

5.5.1 Sistema vertical de referencia (VRU)

La información sobre el cabeceo y balance del buque han de ser en tiempo real para trasladarla desde las posiciones fijadas por la antena del GPS o el transpondedor acústico a la posición central del buque. Este procedimiento es conocido como compensación del movimiento por GPS o APS (Sistema de Posicionamiento Acústico).

El requisito para determinar con precisión los balances y cabeceos del buque es directamente proporcional a la distancia entre la antena o transpondedor y este punto central. Por ejemplo, para una antena GPS de 30 metros de altura situada en el centro del buque, si hay un balance de $0,5^{\circ}$, se produce un error de 0,25 metros, mientras que para un sistema acústico trabajando a 1000 metros de profundidad el error puede ser de 9 metros.



MRU de la marca Kongsberg.

5.5.2 Funciones del girocompás en el sistema DP

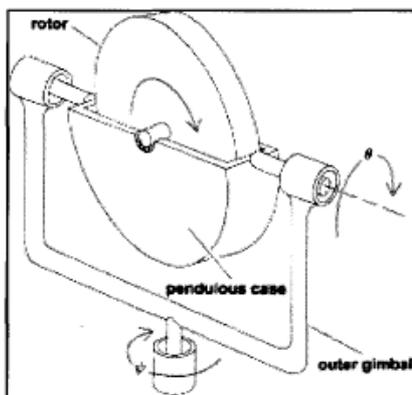
La función básica del girocompás en un sistema de posicionamiento dinámico es su utilización como sistema de referencia de rumbo. Los equipos modernos son fiables cien por cien y mucho más precisos que las brújulas magnéticas

que fueron utilizadas como instrumento para conocer el rumbo del buque en los comienzos de la navegación.

En el girocompás, básicamente, se combinan la acción de dos dispositivos, que son un péndulo y un giróscopo, para poder producir su alineación con el eje de giro de la Tierra. El principio de funcionamiento se comprueba con el modelo de figura.

Consiste en un eje de giro rápido, un rotor pesado que gira, una caja pendular que permite desplazar al rotor hacia arriba y abajo, y un *Gimbal* exterior que permite al eje girar en azimut.

Para un giróscopo colocado en el ecuador de la Tierra, el *Gimbal* se mueve con ella. Mientras tanto el eje del rotor está alineado con el eje de la Tierra, el girocompás no experimenta un par de la rotación de la Tierra. Si se pierde el alineamiento, la secuencia se reinicia nuevamente.



Principio de funcionamiento de un giróscopo.

En un buque el sistema instalado debe ser montado con un completo set de aros (suspensión cardam) para neutralizar los movimientos de balance, cabeceo y desplazamiento de la proa del buque. Los efectos de la fricción son minimizados. Sin embargo hay que cuidar que la aceleración horizontal del buque, no produzca un falso momento sobre el péndulo.

5.5.3 Sensor de viento para un sistema DP

El sensor de viento combina la medida de la velocidad del viento y de la dirección con un mismo aparato, mediante un sensor remoto, el cual proporciona precisión, exactitud y continuidad monitorizada de los factores medioambientales más hostiles. Todo sistema de posicionamiento dinámico que posee sensores de viento, dispone de una realimentación de los valores de la dirección y fuerza del viento. Esta información suele utilizarse para calcular las fuerzas de viento inducidas que actúan sobre el casco y estructura del buque. Los valores de estas fuerzas son incluidas en el cálculo de la posición.

Un equipo estándar, está normalmente diseñado para operar en un rango de temperaturas entre -30° y $+70^{\circ}$ C, y con velocidades de viento de hasta 220 km/h. La velocidad del viento es medida utilizando un tipo de caña sellada que proporciona una serie de pulsaciones en un rango proporcional a la velocidad del viento.

La dirección del viento se mide empleando un aspa de aluminio acoplada a un potenciómetro de precisión. Las variaciones en la dirección del viento producen cambios de voltaje que se presentan en formato digital y analógico, y los valores son procesados por el sistema.



Sensor de viento mecánico



Sensor de viento ultrasónico



Típico Display de un sensor de viento.

Capítulo 6: Propulsión y elementos de gobierno.

Cuando consideremos el DP como un sistema completamente integrado en el barco, es necesario incluir a todos los sistemas de propulsión como parte de este sistema. Los sistemas de propulsión incluyen las hélices y los timones principales del barco, así como todos los propulsores auxiliares instalados a bordo.

La mayoría de los buques DP, aunque no todos, son diseñados con una configuración diesel-eléctrica, por lo que la mayoría de las hélices y propulsores son accionados mediante motores eléctricos. En el pasado, esto significaba que las hélices y propulsores instalados fuesen de paso variable (CPP). Sin embargo, hoy en día esto no tiene por qué ser así, pues pueden instalarse hélices de paso fijo junto con motores eléctricos de velocidad variable (VSDs). Este tipo de instalación permite en todo momento regular la velocidad y el sentido de giro del eje, obviando por tanto la necesidad de hélices de paso controlable (CPP).

El mundo de los propulsores en sí mismo es un campo muy amplio, en el que los avances tecnológicos están a la orden del día, todos con el mismo objetivo final; la optimización de recursos y la eficiencia energética. Si a ello unimos, como hemos mencionado varias veces anteriormente, que el DP es un sistema que evoluciona a un ritmo también vertiginoso, nos encontramos con una mezcla en la que es muy difícil mantenerse completamente al día, pues continuamente se desarrollan nuevos sistemas mejorando aspectos existentes o incluso incorporando conceptos innovadores no aplicados hasta la fecha.

Lo que sí está claro, es que un buque equipado con un equipo DP, debe poseer la adecuada capacidad de propulsión y maniobra para controlar los principales movimientos del barco en el plano horizontal; guiñada, avance/retroceso y desplazamiento lateral.

Se requieren al menos 3 propulsores para poder hablar de una correcta propulsión para un sistema DP. A estos 3 hay que añadir más, obviamente, si

queremos cumplir con los diferentes niveles de clase existentes, DP1, DP2, y DP3 y sus requisitos de redundancia.

Como norma general los 3 tipos de propulsores más convencionales que podemos encontrar a bordo de buques DP son;

-Hélice/timón convencional.

-Propulsores de túnel.

-Propulsores azimutales

Sin embargo, hay ciertos buques que pueden montar sistemas Voith Schneider o incluso waterjets.

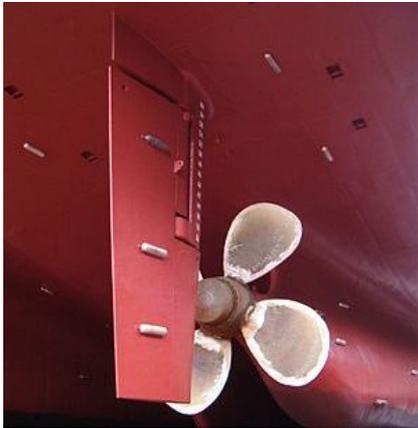
6.1 Propulsores convencionales hélice/timón.

Un buque puede estar propulsado por una combinación de hélice-timón convencional normalmente optimizada para la navegación convencional en tránsito. Este puede ser de hélice simple (single screw), o doble hélice (twin screw). Un buque DP equipado con estos sistemas principales de propulsión, usará estos en conjunción con otros sistemas auxiliares para combatir las fuerzas reinantes que puedan causar una guiñada, avance/retroceso o un desplazamiento lateral. Por supuesto, las hélices, una vez más cómo se ha descrito anteriormente, pueden ser de paso fijo y de paso variable. Normalmente, los timones se encuentran también conectados directamente y completamente integrados en el DP y son utilizados como un equipo de maniobra del buque.

Con una configuración de doble hélice, los propulsores pueden operar independientemente, o en modo “tira-empuja”. Esta última configuración mantiene un propulsor continuamente avante y el otro atrás. El control del movimiento avante-atrás, se logra mediante el cambio de potencia entre ellos, mientras que el control del rabeo de la popa se logra con el uso de uno de los 2 timones que actúa de manera independiente del otro.

Una desventaja notable de los sistema de propulsión convencional hélice-timón, es que en DP las cargas de los propulsores y la demanda de potencia es mucha menos de la que se requiere para una navegación en tránsito

convencional, por lo que si la potencia es obtenida por motores diesel el sistema pasará grandes periodos de su vida útil con una carga de trabajo muy liviana con todos los problemas asociados.



Distintas combinaciones de hélice-timón.
Hélice simple, doble hélice y Hélice con tobera.

Respecto a los timones propiamente dichos, los hay de varias clases, aunque los más utilizados son los timones semicompensados articulados tipo Becker, por su mayor capacidad de evolutiva a la hora de maniobrar.



6.2 Propulsores azimutales.

Gran parte de los buques DP son equipados con propulsores azimutales como parte de su sistema de propulsión. En algunos casos, el sistema de propulsión principal del buque puede consistir en una combinación doble o incluso triple en popa. En algunos casos, en buques perforadores o en plataformas

semisumergibles por ejemplo, todos los propulsores existentes son normalmente de tipo azimutal. Como se ha mencionado, la instalación de propulsores azimutales es una opción muy adoptada y popular en la industria, pero su instalación y mantenimiento es más complejo que el sistema de propulsión convencional hélice-timón y en algunos casos puede llegar a ser problemática.

Un propulsor azimutal convencional normalmente consiste en un eje horizontal acoplado y propulsado por un generador diesel o un motor eléctrico. Una transmisión convierte el movimiento horizontal en vertical, pasando a través del casco del barco y nuevamente otra transmisión convierte el movimiento de giro en horizontal transmitiéndoselo a la hélice. La hélice en sí mismo puede ser de paso fijo o de paso variable. En caso de ser de paso variable, la dirección y nivel de empuje es controlado por el servomotor, normalmente hidráulico.



Vista general exterior del Luz de Mar equipado con 2 schottel en popa y detalle de transmisión de fuerza en un sistema azimutal.

Las unidades de este tipo son muy versátiles, pues son capaces de entregar en cualquier dirección la potencia de cero a máxima. Existen distintos tipos de propulsores azimutales y configuraciones dependiendo del suministrador del equipo, aunque el principio de operación de todos ellos es el mismo.

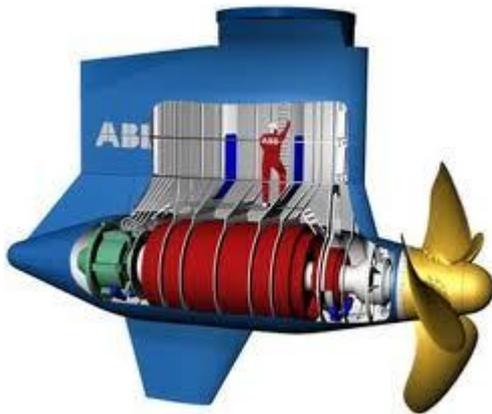
Algunos diseños de propulsor acimutal son retráctiles. Esto quiere decir que pueden replegarse dentro del casco del buque, ya sea de manera vertical directamente o pivotando 90° sobre el casco. Que sean retráctiles puede ser una ventaja notable, sobre todo si trabajamos en aguas poco profundas, pero normalmente los propulsores azimutales retráctiles lo són, porque no son los propulsores principales del barco y su capacidad retráctil favorece enormemente la hidrodinámica cuando el buque está navegando y estos propulsores no están siendo utilizados.

Conviene puntualizar, que debido a su alto y sofisticado componente mecánico, los propulsores azimutales son particularmente sensibles en caso de varada o embarrancada.

Asimismo, cuando se opera con buque azimutales y particularmente en Azimutal Stern Drives (ASDs), el comportamiento del buque a una orden a los propulsores no es intuitiva, ni la misma que la de un buque convencional, especialmente atrás. Por ello todo DPO en cuyo buque se utilicen propulsores acimutales, debe de estar completamente familiarizado con el efecto de los propulsores especialmente atrás. Algunos azimutales son sólo capaces de operar “avante” mientras otros, de pala variable, son capaces de operar atrás hasta cierta potencia. En este caso se dice que la hélice instalada en el propulsor azimutal es de paso variable, controlable y reversible. Si se supera el límite en modo “atrás” del propulsor, este girara 180° en azimut para poder entregar la potencia requerida en modo “avante”. El DPO una vez más debe de estar al tanto de este hecho para saber interpretar lo que está sucediendo en cada momento.

Una variación o incluso puede considerarse una evolución de propulsor acimutal, es lo que se conoce como azipod. Estos se están convirtiendo en una opción muy popular en una gran variedad de buques. En un azipod, el motor eléctrico de velocidad variable (VSD) que alimenta al propulsor, está instalado en el propulsor propiamente dicho y la potencia a la hélice es transmitida por un eje muy corto. La unidad completa gira 360° , suministrando empuje en todas las direcciones. Por su parte, los azipods disponen de varios modos de

operación. Si se encuentran en modo tránsito, y normalmente conectados al piloto automático, los azipods restringen su movimiento a unos 35° de la línea de crujía a ambas bandas. Cuando se encuentran en modo maniobra o DP, los azipods pueden configurarse para bloquear una unidad adelante-atrás y otra babor-estribor y así controlar todos los movimientos del buque. Incluso puede existir un modo de operación en el cual los azipods se encuentran libres para poder girar y entregar empuje en cualquier ángulo deseado.



Detalle de azipod y vista interior. Obsérvese que el VSD se encuentra en el propio propulsor.

6.3 Propulsores de túnel.

Generalmente los buques DP, están equipados con hélices transversales de túnel tanto a proa como a popa. Como todo tipo de hélices, estas pueden ser de paso fijo o variable, pero siempre se encuentran alineadas babor estribor. Su eficacia se ve afectada por diferentes factores. Su inmersión en el agua es un factor importante, especialmente en situaciones en las que el buque se encuentra en lastre y en condiciones meteorológicas adversas. El cabeceo del buque puede producir cavitación, lo cual reduce la eficacia considerablemente. Por su parte, el diseño del túnel es también muy importante. Cuanto más largo es el túnel, menos eficiente es la hélice en su conjunto. También, y como es bien sabido, la arrancada del buque afecta de una manera sustancial al rendimiento de las hélices transversales.

Una solución ingeniosa que combina el concepto de hélice acimutal retractil y hélice transversal, es la hélice acimutal retráctil/transversal. No es más que un propulsor acimutal retráctil que una vez es retraído en el interior del buque puede ser operado como una hélice de túnel transversal convencional.



Típico aspecto externo de una hélice de proa instalada y su foto interna.



7.4 Funciones DP de control de propulsores.

El sistema DP debe de ser capaz de controlar todas las hélices, timones y propulsores del buque. Por controlar se entiende mandar órdenes, y monitorizar datos a tiempo real tales como rpm, paso, ángulo...

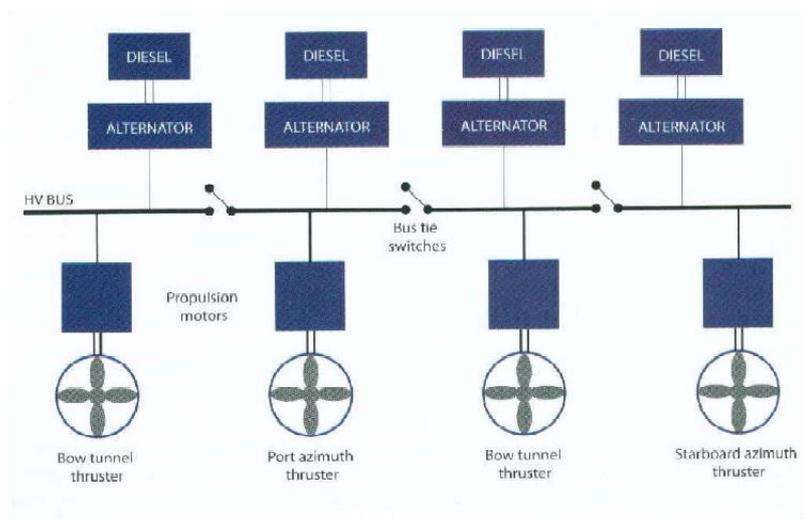
En modos convencionales de maniobra, los propulsores y hélices son controlados directamente desde el panel de propulsión del puente, el cual puede ser completamente independiente del sistema DP. En este panel, normalmente existe un interruptor, que en su versión más simple dispone de 2 posiciones; "manual" y "DP". Puede existir una tercera posición "joystick" en este interruptor.



Interruptor instalado en el B/S Luz de Mar para conmutar modo manual, DP y joystick.

Tipicamente, hay 3 indicadores en el panel DP para mostrar el estado de los propulsores: “Running”, “Ready” y “Enable”. El DP recibe la señal “running” de los propulsores. Los propulsores están “ready”, si la transferencia de control ha sido realizada a la posición DP. Este cambio a la posición DP del interruptor de cambio de mando configura los propulsores para aceptar las órdenes del sistema DP en vez de las emitidas por el panel general de propulsión. Una vez los propulsores están “ready”, estos pueden ser habilitados en el sistema DP pulsando el botón “enable”. Tan pronto como la transferencia ha sido realizada, es esencial que el DPO seleccione el modo DP joystick y compruebe el correcto funcionamiento de cada uno de los propulsores. Moviendo el joystick en diferentes direcciones levemente, un DPO puede verificar que TODOS los propulsores se comportan correctamente.

El número, tipo, y distribución de los propulsores varía enormemente de un barco a otro. En los barcos más modernos, se aprecia una tendencia a minimizar el número de propulsores instalados. Es muy común encontrar buques clase DP2 con solamente 4 propulsores instalados, 2 hélices de túnel en la proa y 2 propulsores azimutales en popa. Con esta configuración se cumplen con los estándares DP2 de redundancia siempre y cuando cada propulsor esté alimentado por una sección diferente de cuadro eléctrico. En el peor caso posible, el efecto sería la pérdida de un único propulsor.



Tipica distribución eléctrica redundante. Véanse los bus-tie breakers.

Es normal, aunque pueda sonar absurdo, que el DP en ciertas circunstancias se comporte mal en condiciones extremas de buen tiempo. Sin fuerzas substanciales que contrarrestar, el buque puede comenzar a oscilar alrededor de la posición deseada. Los buques equipados con propulsores azimutales son especialmente sensibles a este hecho, pues el propulsor puede comenzar a girar continuamente. Para minimizar o incluso eliminar este problema, el sistema DP puede ser configurado en diferentes modos fijos. El seleccionar alguno de estos modos lo que implica es que el propulsor asume una posición preconcebida, convirtiéndose de manera efectiva en hélices de túnel. Estos modos reducen el uso y desgaste en el sistema de gobierno y puede mejorar el mantenimiento de la posición.

Es frecuente también que los propulsores azimutales este configurados con áreas de giro prohibidas. Esto no es más que un arco predeterminado de giro, en el que el propulsor tiene una limitación de potencia. Hay varias razones para explicar este hecho; Si dos propulsores azimutales se encuentran instalados adyacentemente, entonces existe la posibilidad de que uno de los propulsores descargue agua a gran velocidad en la zona de aspiración del otro propulsor. Esto puede causar que el propulsor que aspire el agua “sucia”, se revolucione o incluso pueda llegar a ser dañado. Esta limitación normalmente viene de serie en el sistema y no puede ser modificada por el operador, aunque existen otro tipo de limitaciones de giro a los propulsores azimutales que si pueden ser controladas por el DPO. Por ejemplo si se llevan a cabo operaciones de buceo y la campana de buceo se encuentra relativamente cerca del propulsor, puede existir la posibilidad de imponer una limitación de giro al propulsor durante las operaciones. Con esto se impide que el chorro de expulsión del propulsor, impacte de manera directa sobre la campana de buceo. Por supuesto, la selección de esta limitación forma parte de los ítems en el checklist pre-inmersión.

Cuando los propulsores azimutales están dispuestos por parejas, existe una nueva posibilidad; el control en pareja. Los buques DP con esta configuración de propulsores, operando en condiciones meteorológicas buenas, normalmente tienen muy poca carga en los generadores como se ha

mencionado anteriormente. Cargas pequeñas durante tiempos prolongados en los motores diesel son nocivas para su rendimiento y eficiencia, generando una mayor necesidad de mantenimiento. Sin embargo, la operación con menos generadores para aumentar la carga en los que están trabajando no es posible, pues entonces cabría la posibilidad de no cumplir con los requisitos de redundancia en lo que a suministro de energía se refiere. Bajo estas circunstancias, es posible hacer a los propulsores trabajar por parejas uno contra el otro. El vector de la fuerza resultante es la suma de la fuerza de cada propulsor. Con esto se produce una menor entrega de empuje total pero se incrementan las cargas a los generadores. Sin embargo, debe de tenerse en cuenta que este modo de operación genera unos consumos mucho mayores de combustible.

Como norma general, los propulsores cuando se encuentran controlados por el sistema DP están limitados para entregar como máximo el 80% de su potencia total. Esto es para evitar sobrecargas en las palas de la hélice por trabajar a alta potencia con el buque casi estacionario. Una vez más, el DPO debe de estar familiarizado con este hecho, para eliminar esta limitación si fuese necesaria. Normalmente, hay una función “potencia máxima”, que puede ser seleccionada durante un periodo de tiempo determinado. Como norma general, esta limitación desaparece automáticamente cuando el buque pasa a modo convencional en tránsito.

En los barcos en que el piloto automático se encuentre integrado en el sistema DP, existe una gran variedad de configuraciones cuando el buque se encuentre en tránsito. En buques ASD equipados con 2 propulsores azimutales en popa, cuando el piloto automático se encuentra activado, los propulsores pueden ser configurados para ejecutar medidas de timón como máximo de 35°. Otro caso puede ser cuando el buque está equipado con 3 azimutales en popa, con el piloto automático al mando, los propulsores laterales pueden ser bloqueados mientras que es el del centro el que realmente ejerce de timón.

6.5 Fallos en los propulsores, efectos y acciones.

Todas las hélices y propulsores están expuestos a sufrir algún daño o fallo. Una causa común de daño suele ser el producido por el contacto con el fondo o con cualquier objeto semisumergido, o simplemente por la absorción de una estacha. Este riesgo puede dañar la estanqueidad de la bocina provocando el ingreso de agua a bordo. Si además esta agua de mar entra en contacto con aceite de lubricación, esta contaminación puede provocar fallos en los ejes o engranajes lubricados por él. Como los propulsores son averías “húmedas”, normalmente el efecto resultante es la necesidad de varar el buque en dique seco.

Por su parte, gran cantidad de hélices son de paso variable y esta clase de hélices por sí mismas pueden sufrir diferentes fallos. Puede dañarse el actuador del paso, la electroválvula controladora o averiarse el sistema hidráulico controlador. Cualquiera que sea el fallo, afecta al funcionamiento normal de la hélice y por tanto disminuye las capacidades de maniobra del DP. Por esta razón, el DPO debe de controlar en todo momento el punto objetivo de la hélice, con los datos actuales, las rpm y el giro suministrados por el sistema. Una discrepancia debería generar una señal de alarma, pero un error pequeño podría pasar inadvertido, si no se monitoriza la situación correctamente.

Todas las hélices de paso variable deben tener un “valor seguro de fallo”. En un buque tradicional este valor puede ser todo avante o todo atrás. Sin embargo, en un buque DP se requiere que el valor seguro de fallo sea el neutro. Sin embargo, no todos los fallos generan automáticamente este efecto. Por supuesto, siempre existe la posibilidad de que el propulsor falle sin mostrar ningún síntoma con antelación. Probablemente, el fallo más común de todos sea que el paso de la hélice simplemente deja de funcionar, permaneciendo el paso de la hélice tal y como se encontraba cuando sucedió el error.

Si una hélice o propulsor falla de algún modo, el DPO DEBE automáticamente parar esa unidad. Parar significa exactamente eso parar; No es suficiente deseleccionar el propulsor, pues si este sigue girando fuera de control y es

deseleccionado seguirá girando fuera de control. Por lo tanto, el DPO debe de estar familiarizado con la ubicación de los botones de paro en los paneles de propulsión. Si un propulsor es parado desde el panel de propulsión, automáticamente este es deseleccionado por el DP.

En las circunstancias descritas anteriormente, una rápida y correcta toma de decisiones es esencial. Si un propulsor queda incontrolado a toda potencia, independientemente del nivel de redundancia, la posición del buque puede verse afectada de manera sustancial o incluso el buque puede quedar fuera de control.

Como se ha mencionado anteriormente, igual de importante es parar el propulsor que está fallando automáticamente, como identificar qué propulsor es el que está fallando. Puede ocurrir, por poner un ejemplo, que la hélice de proa número 1 haya fallado todo a estribor y el DP haya compensado este error ordenando a la hélice de proa número 2 todo a babor. EL DPO advierte este hecho en la pantalla y ve ambos propulsores trabajando en la zona roja. Obviamente, es esencial que se pare el propulsor que está fallando y no el otro. Para ello en un primer instante el DPO debe comparar el valor objetivo del propulsor y el valor actual de cada propulsor, chequear las alarmas y mensajes de advertencia del sistema, con el fin de garantizar que se estrangule el propulsor correcto.

Capítulo 7: Energía eléctrica a bordo: Generación y distribución.

7.1 Planta eléctrica

Los buques DP son completamente dependientes de la energía eléctrica tanto para la propulsión como para los elementos electrónicos que forman parte del sistema DP. Una vez más, es de vital importancia que los DPO encargados de llevar a cabo las guardias DP, estén completamente familiarizados con el sistema de abastecimiento de energía eléctrica a bordo. La razón es sencilla; cuando un buque se encuentra en DP, los problemas se presentan de una manera instantánea y por tanto necesitan una rápida, si no instantánea también, capacidad de decisión para solventarlos eficazmente. Durante un momento crítico de tensión, el conocimiento con la planta eléctrica del barco, así como su manera de operación, es de vital importancia para efectuar una toma de decisiones correcta.

Energéticamente hablando, los buques DP se dividen en 2 grupos: los diesel-eléctricos y los no diesel-eléctricos. Dentro de los no diesel-eléctricos, se engloban también los híbridos, es decir aquellos en los que las hélices principales están directamente impulsadas por motores diesel, mientras que los propulsores auxiliares son alimentados eléctricamente. Por su parte, pueden encontrarse también barcos en los que toda la propulsión sea llevada a cabo por motores diesel y en los cuales cada unidad propulsora está alimentada por su propio motor diesel.

7.2 Generación de energía diesel-eléctrica.

De lejos, la mayoría de los buques equipados con DP hoy en día, están propulsados diesel-eléctricamente. En un buque de esta clase, la energía eléctrica es suministrada centralmente y distribuida a todos los consumidores a diferentes voltajes dependiendo de las necesidades. Anotar en este punto que todos los consumidores a bordo del buque son alimentados eléctricamente.

La energía es producida por un número diferente de “generadores primarios”, que normalmente son motores diesel semi-lentos, acoplados a alternadores que son los que generan la energía eléctrica a alto voltaje.

La tensión típica a la salida del alternador puede oscilar entre los 3000V (3KV) y los 11KV, aunque las configuraciones más usuales en buques DP son 3.3KV, 6KV y 6.6KV. Se prefieren voltajes más altos en instalaciones con grandes consumos de energía, mientras que la intensidad se mantiene a bajo nivel.



Típica distribución diesel-eléctrica.

Esta configuración presenta una mayor eficiencia pues se producen menores pérdidas en la línea.

La corriente generada a alto voltaje se transmite a un panel de alto voltaje, que se divide en varias secciones dependiendo de los niveles de redundancia exigidos para la clase de operación en la que el buque se encuentre involucrado. Desde estos paneles de de alta tensión se distribuye la energía a los motores que alimentan los propulsores. Casi todos los buques modernos equipados con DP utilizan corriente alterna (AC), aunque todavía existan algunos barcos que sean propulsados por corriente continua (DC).

Para comprender el funcionamiento de la planta eléctrica del buque, es esencial que el DPO se familiarice con el diagrama de distribución de potencia de su barco, también llamado a veces diagrama de una línea. En este diagrama se ilustra la conexión y relación entre los generadores, los cuadros de alta tensión y las unidades propulsoras.

Un estudio pormenorizado de este diagrama indica también las posibilidades de fallo en el sistema, así como el “peor caso posible” y sus consecuencias.

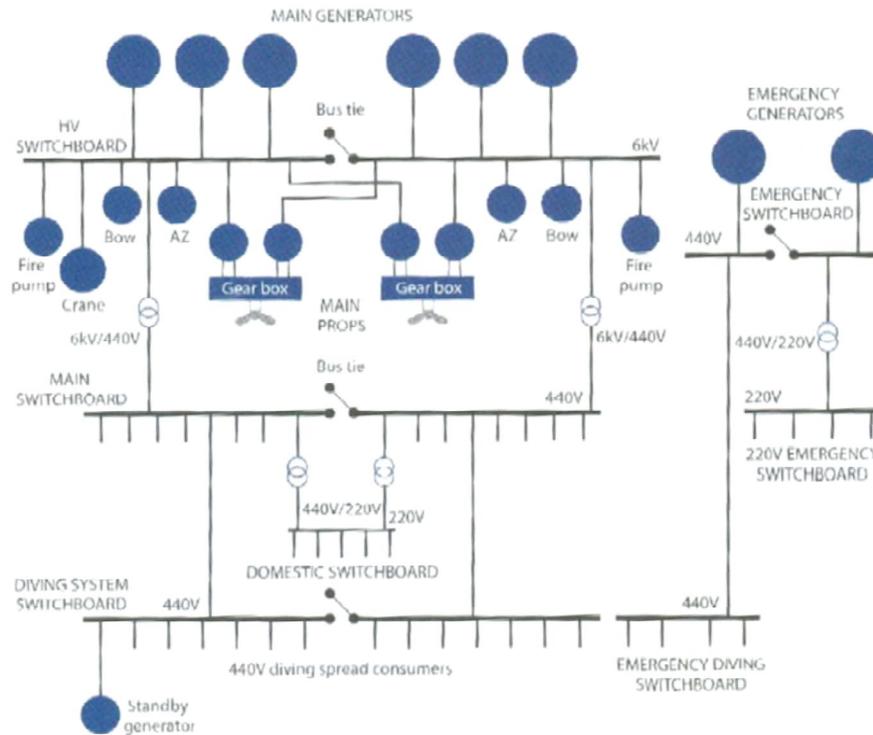


Diagrama de distribución de energía típico en un buque DP2 con propulsión diesel-eléctrica.

Una característica muy importante de una planta diesel-eléctrica, es el valor instantáneo de capacidad de suministro, conocido también valor de reserva. Los generadores normalmente no se encuentran trabajando a pleno carga, si no que la potencia suministrada va en función de la demanda instantánea del sistema. Por lo tanto, el valor de reserva queda definido como la diferencia entre el consumo instantáneo y la potencia máxima disponible de los generadores. Una indicación de este nivel de reserva es un dato habitualmente suministrado por el sistema que puede ser fácilmente monitorizado por el operador, el cual si lo cree conveniente dependiendo de las demandas energéticas del sistema puede arrancar o parar generadores para la optimización de recursos, teniendo siempre en cuenta no quedar fuera de clase, dependiendo de las operaciones que se estén llevando a cabo.

7.3 Acoples entre barras (Bus-tie breakers).

En un barco de propulsión diesel-eléctrica, las barras de potencia se encuentran divididas en 2 o más secciones con interruptores entre ellas. Pero ante esta tesitura, aparece una pregunta obvia; Operamos con los interruptores de barras (bus-tie) abiertos o cerrados?

Si se encuentran cerrados la potencia y energía eléctrica puede circular entre cuadros y generadores, dando por ello mayor flexibilidad a la hora de elegir la configuración y número de generadores en marcha. Si un problema, tal como un bajo aislamiento o un cortocircuito, ocurre en una barra, el interruptor aislará la sección defectuosa y el buque continuará operando con las demás secciones del cuadro. Sin embargo, existe la posibilidad de que estos interruptores fallen, lo que podría llegar a desembocar en un blackout total.

Para operaciones en clase DP1 o 2 los bus-tie pueden encontrarse abiertos o cerrados.

Panel del BUS-TIE a bordo del Luz de Mar



Para operaciones en clase 3, estos interruptores deben de estar abiertos, por lo que cada sección de cuadro eléctrico se comporta de manera independiente. En teoría, un fallo en una barra no se transmitiría a las demás. La desventaja de esta configuración es que debido a que la potencia suministrada por los generadores no puede ser distribuida por el circuito, un mayor número de generadores deben de estar conectados para alimentar la demanda independiente de cada parte de cuadro eléctrico.

7.4 Suministro de energía eléctrica a bajos voltajes.

En un buque diseñado cuyos propulsores están alimentados a alta tensión, (ver diagrama anterior), el suministro eléctrico a más bajo voltaje es obtenido mediante la instalación de transformadores intermedios. El panel principal puede suministrar energía a la mayoría de funciones del barco a 660V o 440V mientras que los ítems pesados tales como grúas... pueden acoplarse directamente al panel de alta tensión. Los ítems instalados a la intemperie y sujetos a una posible vía de agua deben de ser alimentados individualmente por transformadores dedicados para así evitar posibles propagaciones de problemas por toda la red.

Pueden a su vez existir paneles separados que pueden alimentar a equipamiento crítico como puede ser el equipo de buceo. En este caso el cuadro es dividido y completamente redundante. (Ver diagrama). Por su parte el abastecimiento a servicios generales a 220V es obtenido nuevamente a



Izquierda: Cuadros eléctricos a 380V a bordo del Luz de Mar.
Derecha: detalle del panel de servicio a 220V

través de un transformador acoplado al cuadro principal que convierte de 440V del cuadro principal a 220V. (Ver diagrama).

7.5 Sistema híbridos.

Si el buque es propulsado por una combinación de motores diesel (hélices principales) y propulsores eléctricos, a esta configuración se la conoce como el nombre de “híbrida”.

Una configuración muy común es la formada por un motor diesel a revoluciones constantes conectado a una hélice propulsora principal de paso variable donde el suministro eléctrico es logrado al acoplar un alternador de cola a la salida del eje de motor diesel. Los propulsores auxiliares tales como hélices de proa y popa transversales son eléctricamente alimentados. Normalmente, esta configuración se encuentra en buques convertidos a DP y no diseñados en origen para la instalación del sistema, a los cuales durante el proceso de reconversión se le añadió poder propulsivo y mayor generación eléctrica.

Sin embargo, se pueden encontrar una gran cantidad también de buques DP originalmente diseñados así pues esta configuración permite una mayor flexibilidad y viabilidad económica en diferentes modos de operación. Recientemente, viene siendo habitual también la implantación de un sistema híbrido de doble hélices alimentadas doblemente, bien eléctricamente o por un motor diesel. Cuando el buque se encuentra en modo DP las cargas en las hélices son pequeñas por lo que la energía es suministrada del cuadro eléctrico. Cuando el buque se encuentra en tránsito, los motores eléctricos son desembragados y los grandes motores propulsores principales diesel son embragados para lograr la velocidad de crucero deseada. De esta manera, los motores diesel son únicamente utilizados cuando son más eficientes, es decir cuando hay cargas importantes sobre ellos y se evita que trabajen con poca carga, situación que no es conveniente pues se reduce la eficiencia de éstos y se aumentan los mantenimientos necesarios. El diagrama siguiente ilustra esta configuración descrita anteriormente.

bloqueo en el software, puede evitar un blackout si un consumidor de energía muy grande es activado con poca potencia disponible. De otra forma si ese consumidor es acoplado en barras el resultado sería un blackout con potenciales consecuencias fatales.



Detalle de la pantalla del software responsable de la gestión de energía a bordo del Luz de Mar. Véase el bus-tie cerrado y un generador arrancado operando por debajo del 50% de carga.

Por su parte el sistema de gestión de la energía también puede responder a cortes de suministro jerárquicamente. Esto quiere decir que ante tal eventualidad, el sistema saca de la red los circuitos no esenciales de forma escalonada de manera inversa a su importancia en la operación de a bordo. Cuando se está en modo DP un déficit de energía es crítico, incluso el sistema de gestión puede invocar limitaciones o reducciones al paso para evitar el blackout. LA filosofía detrás de este concepto es que es preferible una pequeña excursión fuera de la posición de trabajo a un blackout total con una pérdida incontrolada de la posición.

Una vez más en buques DP diesel-eléctricos con redundancia completa, un problema común es la operación en estados de poca carga de los generadores con el consiguiente problema ya comentado anteriormente de pérdida de eficiencia y acortamiento de los mantenimientos programados.

7.7 Sistemas de suministro eléctricos ininterrumpidos. UPS

Unidades UPS (SIA) son comúnmente instaladas a bordo de los buques DP para proveer una absoluta redundancia a los aparatos eléctricamente alimentados del DP, así como a los elementos electrónicos asociados. No es más que una unidad formada por una batería y un relé, cuya salida es conmutada dependiendo de si hay tensión de entrada o no. Si la hay, no hay problema la salida es la misma tensión y la batería se recarga. Si no hay tensión de entrada entonces el relé conmuta para que la batería proporcione la tensión de salida para la que están diseñadas las baterías durante el tiempo que duren estas. La tensión de salida típica de una unidad UPS puede ser 12V, 24V o 48V, dependiendo del tipo de UPS y los consumidores que suministre. Es importante tener en cuenta que los sistemas de UPS no alimentas a los propulsores o hélices ni a sus mandos.



Disposición de la consola principal DP a bordo del Luz de Mar. Véase el display, el conmutador de modo de operación, el panel de control, el ordenador y la UPS (blanca).

El “Luz de Mar” es un caso especial a lo anteriormente descrito. Todas las bombas del motor principal se encuentran acopladas a él mismo, por lo que ante una caída de planta este no se pararía, bien por no haber bomba de combustible, circulación de agua de refrigeración... Por su parte existe una UPS para controlar los movimientos de giro de los propulsores acimutales y el paso de las hélices desde el puente, y así disponer de una opción de escape en caso de producirse una caída de planta encontrándose el buque en medio de una maniobra o situación comprometida.

Como parte de la redundancia del buque, una vez más el DPO debe estar al corriente de cualquier efecto que pueda provocar un déficit de suministro eléctrico a bordo. Por ejemplo, el sistema DP y sus periféricos pueden ser completamente alimentados con un UPS en caso de blackout, pero que pasa por ejemplo con las correcciones diferenciales al GPS? Si estas son recibidas por Inmarsat, está la terminal Inmarsat de a bordo completamente alimentada por UPS? Por poner otro ejemplo, si se está trabajando con un taut-wire como PRS, puede ser que este no esté protegido por UPS. Por lo tanto una vez más el DPO debe de conocer al detalle qué equipos están conectados a una UPS y pueden funcionar correctamente durante una caída de planta o una bajada de la potencia disponible a bordo.

Capítulo 8: Planificación de operaciones y guardias DP

8.1 Planificación operacional.

El éxito de cualquier operación DP es completamente dependiente de la calidad de su planificación. Las operaciones a realizar deben ser discutidas y acordadas siempre con el cliente, a través del representante del cliente, el cual debe de estar siempre de acuerdo con cada aspecto de la operación. La planificación siempre debe incluir y describir pormenorizadamente la supuesta secuencia de eventos previstos, así como los planes de contingencia en caso de que surja algún problema en cualquier fase de la operación. Durante cada parte de la operación al menos debe de existir una ruta de escape para el barco, incluso si este no se encuentra operando al 100% de su capacidad. Por lo tanto, una buena planificación debe incluir la aproximación al sitio de trabajo, el establecimiento en él, así como cualquier movimiento previsto durante el trabajo y la salida del lugar de trabajo, ya sea por finalización de este o por una emergencia.

8.2 Preparación de los planes operacionales.

Puede darse el caso en el cual, el barco simplemente es una plataforma de trabajo desde la cual el cliente puede llevar a cabo su trabajo. En este caso relativamente sencillo, el buque puede que únicamente tenga que mantener la posición, pero puede darse el caso en el que el buque tal vez deba realizar maniobras más complejas. La planificación de las operaciones puede realizarse en cartas náuticas de papel, aunque es más normal que se realice en diagramas del lugar de trabajo proporcionados por el cliente, normalmente más precisos que una carta náutica. Cualquiera que sea el medio utilizado para la planificación, es esencial asegurarse de que la información que se maneja esté actualizada y sea fácilmente comprensible a todo el mundo.

Durante la planificación de operaciones, el equipo de puente y el equipo DPO deben de tener en cuenta multitud de factores, los cuales pueden en su conjunto afectar a la viabilidad de la operación. Algunos de estos factores son

cuantificables tales como las condiciones meteorológicas previstas para la zona; Hay alguna fase de la operación limitada por condiciones meteorológicas? Es la previsión meteorológica fiable? Otro aspecto son las corrientes y las mareas; Se encontrará el buque algún momento restringido por la corriente? Está el barco preparado para algún cambio en las condiciones meteorológicas o en la corriente?

Cuáles son los peligros fijos y móviles que se esperan dentro y en las proximidades del sitio de trabajo? Existe alguna restricción para maniobrar o para depositar material en el fondo, tal como un ancla o un taut-wire, impuesta por el operador del campo? Existe algún factor que puede restringir la maniobrabilidad del buque o la ruta de escape? Estará el rumbo del barco restringido durante la operación?

Tiene el buque alguna limitación en lo que a potencia se refiere? Hay alguna fuerza externa que pueda degradar la capacidad del buque para mantener la posición?

Qué equipamiento de clase se requiere para la operación? Puede existir algún factor que pueda resultar en la pérdida de algún sistema de referencia de posición? Existe algún sistema de referencia de posición de respaldo preparado para cubrir esta posible pérdida?

Una correcta planificación debe incluir todos los “permisos de trabajo” necesarios para llevar a cabo la operación, así como cerciorarse de que se cumplen los requisitos de seguridad impuestos por el cliente. Normalmente, antes del comienzo de cualquier operación, el cliente requerirá la realización de un DP trial, que no es más que un test a bordo para cerciorarse de que todos los sistemas funcionan perfectamente. Así se evita que una vez en el lugar de trabajo si un equipo debe de ser utilizado, se descubra que este no funciona correctamente con todos los problemas asociados que conlleva.

8.3 Planes de contingencia y rutas de escape.

Un principio básico de seguridad en operaciones DP, es que el DPO nunca lleve a cabo una operación en una posición la cual no le sea posible abandonar en un estado deteriorado de maniobrabilidad. Por estado deteriorado entendemos las capacidades del buque en el peor caso de pérdida de un cuadro, lo que en una configuración típica consiste en la pérdida de la mitad de la potencia y propulsión. De una manera más sencilla, un DPO nunca debe comenzar un trabajo en un emplazamiento del cual no se haya planeado con anterioridad la salida en caso de emergencia.

Un plan de contingencia no es más que una guía que responde a preguntas que comienzan por “¿Y si...?”

Durante la aproximación al lugar de trabajo, el plan de contingencia simplemente consistirá en la ruta de escape a una zona despejada para la cual se necesita la menor potencia. Por tanto, el DPO siempre debe tener en cuenta las áreas “obstruidas a sotavento” en relación a cualquier obstrucción (plataformas...). Estas zonas son siempre en las que hay que evitar trabajar y deben de controlarse de una manera continua pues cambian en función de las condiciones meteorológicas reinantes en la zona en cada momento.

Una vez establecidos en el lugar de trabajo, los DPO deben reconfirmar las rutas de escape. Si el barco se encuentra al costado de una plataforma, la ruta más obvia de escape puede darse el caso de que no sea la más adecuada. El movimiento adelante o atrás siempre es preferido al movimiento transversal. Los desplazamientos transversales siempre implican la utilización de más potencia para obtener menos velocidad y aceleración, y puede darse el caso de que el escape deba realizarse en situaciones de potencia o maniobrabilidad limitadas. Bajo estas condiciones el DPO siempre debe tener presente un posible “blackout” total, por lo que el buque debe ser colocado en una posición clara tan rápido como sea posible.

La ruta de escape debe de mantenerse clara en todo momento. Si ésta es obstruida, por ejemplo, por otro barco realizando operaciones simultáneamente, la situación debe de ser valorada de nuevo, de manera que el DPO tenga clara la nueva ruta de escape. Si por ejemplo la consola DP está localizada a popa del puente, tal y como se encuentra en la mayoría de los buques, la ruta de escape ideal probablemente sea dando atrás. En cualquier caso, la ruta de escape nunca debe de ser directamente contra las condiciones meteorológicas reinantes en la zona. Si este es el caso y durante la ruta de escape se sufre un blackout total, las condiciones reinantes nos dirigirán directamente a la zona de peligro.

El equipo humano del puente debe estar preparado en todo momento para realizar cambios en los planes de contingencia existentes.

Las operaciones DP en muchas ocasiones son situaciones vivas, es decir que se llevan a cabo dentro de un escenario cambiante, que normalmente convierten las operaciones mejor planificadas en inviables, por lo que los DPO deben de estar continuamente revalorando los planes de contingencia y las posibles rutas de escape, realizar maniobras alternativas si es necesario o suspender las operaciones si todos los planes de contingencia se han desvanecido.

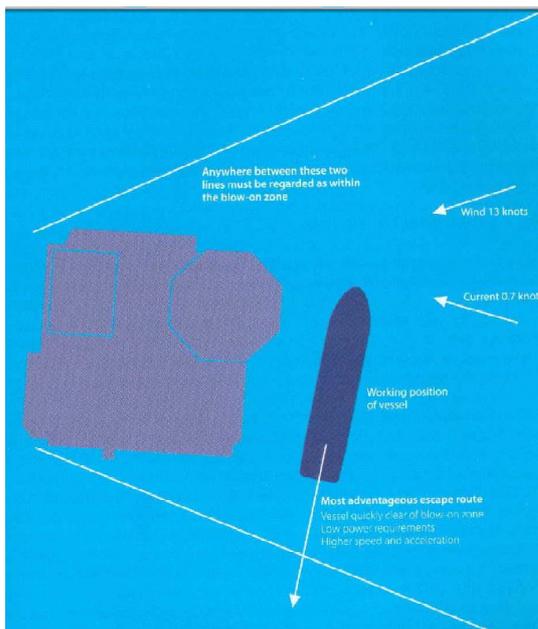


Ilustración de zona de peligro y posible ruta de escape más conveniente.

La típica situación puede ser que el buque se encuentre trabajando junto a una plataforma, con la proa al viento. La previsión anticipa que el viento se mantendrá sostenido pero este rola y sube de intensidad en contra de lo anticipado por el boletín. Muy pronto, el buque se ve desbordado alcanzando sus límites operativos y los planes de contingencia se han desvanecido pues los planificados anteriormente son completamente inservibles bajo las nuevas condiciones.

Un buen DPO puede no prever este cambio, pero debe reaccionar a tiempo para asegurar la operativa y recolocar al buque en una posición de seguridad.

8.4 El establecimiento inicial en DP.

Para hacerlo más fácil, se considera para este supuesto que el buque procede a un campo petrolífero desde el exterior para comenzar las operaciones al costado de una plataforma. El procedimiento siguiente puede considerarse como un procedimiento general y no pretende ser detallado, pues cada operación tiene sus propias particularidades. Los primeros pasos consisten normalmente en la transferencia de control de los paneles convencionales de navegación a la consola DP. Normalmente este paso se realiza fuera de la zona de exclusión de 500m.

Previo a esto se debe haber contactado con la instalación donde se va a realizar el trabajo, confirmando ETA e intercambiando cualquier información que pueda ser de utilidad. Asimismo, el notice of readiness y los permisos de trabajo deben de ser satisfactoriamente expedidos.

Por lo tanto, con el buque fuera de la zona de 500m, se transfiere el control a la consola DP. Un check-list debe de ser realizado para cerciorarse de que todos los sistemas funcionan correctamente y están habilitados en la nueva estación de control. También es esencial probar que todas las hélices y sistemas propulsores se encuentran operativos en la nueva estación de control. Puede darse el caso de que el sistema DP deba de ser reseteado antes del comienzo de la operación para cerciorarse de que antiguos problemas no van a afectar a

la nueva operación. Se deben probar a su vez todos los sistemas de comunicación y probar la disponibilidad de los sistemas de referencia de la posición. Normalmente, el primer sistema de referencia de la posición utilizado será el DGPS, confirmando que funciona normalmente. Cuando todo esto ha sido testado, se puede pasar el control a la consola DP.

Normalmente esto se realiza mediante un interruptor en la consola de control que conmuta entre el control DP y el control manual. Una vez conmutado el control, se deben habilitar los propulsores deseados y poner el sistema en modo control joystick. Es ahora el momento de ver que todas las hélices y propulsores responden correctamente a las ordenes del joystick. Con el primer sistema de referencia de posición en línea, el DPO puede transferir el buque a control total DP. Este es el momento de completar el pre-DP checklist.

Si el buque se encuentra al comienzo de un contrato, es normal que el cliente requiera la realización de unos DP trials, en los cuales todas las funciones y equipación del DP es chequeada y probada. Suponiendo que el buque pase satisfactoriamente estos trials y asumiendo que no se han reportado deficiencias, el buque se encuentra preparado para comenzar la operación. Es hora de solicitar el permiso de entrada a la zona de 500m y reflejarlo en el cuaderno de bitácora.

8.5 La aproximación al lugar de trabajo.

Es más que conveniente realizar los primeros pasos de la aproximación en control manual o semi-manual. Por ejemplo, se puede hacer navegar al barco utilizando el joystick hasta unos aproximadamente 200m de la posición final de trabajo. En este punto se puede volver a poner el buque en control DP una vez el buque se encuentra con el rumbo deseado para la primera parte del trabajo. En este punto se puede habilitar y establecer un nuevo sistema de referencia de posición. Esta distancia es buena para realizar las últimas comprobaciones. El DPO debe monitorizar la posición del barco y su capacidad de mantener el rumbo; Mantiene bien la posición o por el contrario le cuesta trabajo? Se encuentran los propulsores trabajando dentro de límites aceptables o

puntualmente están en la zona roja? Este es un momento importante de la operación, pues el capitán y el DPO tomarán la decisión de continuar o abortar la operación. Si se decide abortar la operación, el cliente debe ser completamente informado de ello, así como de las razones que indican que esta es la opción más aconsejable.

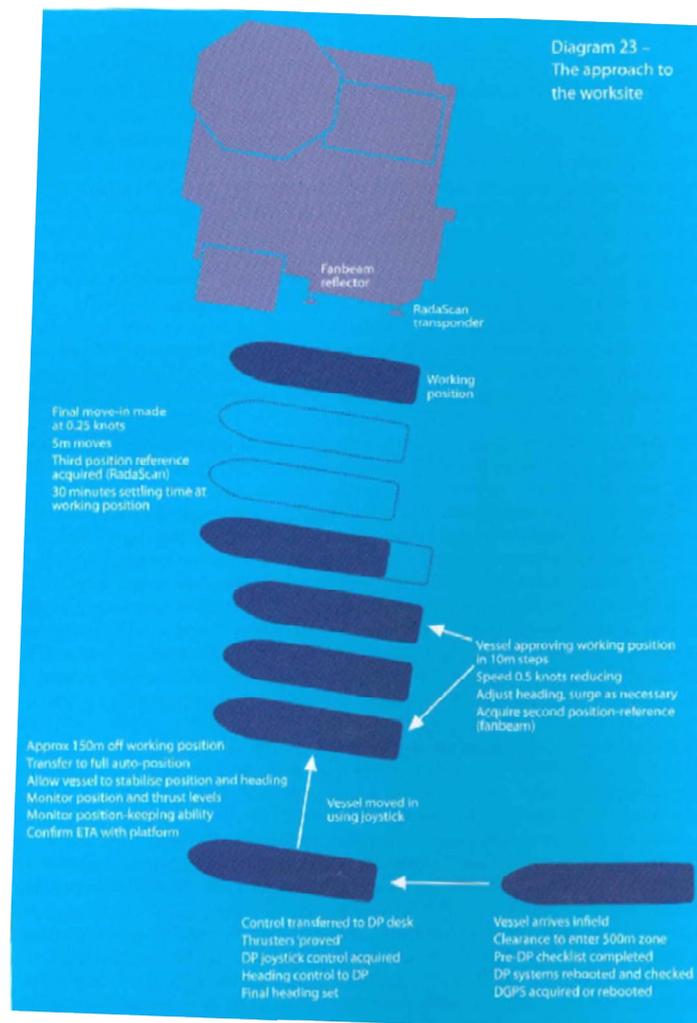
Suponiendo que se decida continuar con la operación, se debe contactar con la plataforma indicando ETA estimada para el inicio de las operaciones. Ahora el barco debe aproximarse paso a paso a la plataforma, normalmente de 20 en 20 metros, aunque en los últimos metros la aproximación se ralentizará, llegando incluso a llegando a realizarse de 5 en 5m. Asimismo, la velocidad de aproximación se reducirá conforme el barco se acerque a la plataforma. Cuando nos encontremos entre 50-100 del lugar de trabajo el tercer PRS debe de ser habilitado, (recuerden que para operar en DP2 o DP3, 3 PRS deben de estar operativos). Éste puede ser un sistema láser, taut wire o hidroacústico. Con 3 PRS on-line el aproximamiento final puede ser realizado hasta la zona final de trabajo.

Una vez en la posición final de trabajo, el barco debe de permanecer unos 30 minutos “relajándose y habituándose”. Durante este tiempo, lo que se pretende es permitir al modelo matemático actualizarse hasta su punto más óptimo, aunque este tiempo también puede utilizarse para una gran variedad de tareas muy útiles. El capitán y el DPO deben asegurarse de que el buque mantiene la posición y el rumbo fácilmente sin movimientos extraños ni excursiones fuera de la zona de trabajo.

Una vez más, se debe chequear que los propulsores trabajan dentro de unos límites aceptables, así como confirmar las rutas de escape. Todas las comunicaciones internas y externas deben ser probadas de nuevo. Los check-list pre-operación deben ser completados y firmados por el personal correspondiente. Si la operación se va a llevar a cabo bajo el control de “luces de tráfico”; verde, ambar y rojo, estas luces deben ser probadas en todas las estaciones repetidoras. Asimismo, se debe asegurar que todo el personal

involucrado está familiarizado con los procedimientos en caso de tener que activarse el nivel naranja o rojo durante la operación.

En la figura siguiente se ilustra de una manera más intuitiva los pasos a seguir durante una aproximación para llevar a cabo operaciones DP al costado de una plataforma.



Descripción de los pasos a seguir para una correcta aproximación en DP a una plataforma.

8.6 Guardia DP y comunicaciones.

Una vez más, cada operación DP al igual que cualquier maniobra convencional es diferente. Las hay que consisten en mantener la posición durante horas, días o incluso meses (flotels, perforaciones...), y hay operaciones en las que es preciso una maniobra constante para llevar a cabo la tarea señalada. Sin embargo hay ciertas pautas para la guardia DP aplicables a todas ellas.

El equipo de puente debe ser consciente del cambio de estado que significa el que se haya dado luz verde a las operaciones. Independientemente del tipo de operación, antes de este momento el plan de contingencia no es más que tener clara una ruta de escape de la zona de trabajo hasta un lugar seguro. Sin embargo, a partir del momento que se da luz verde, el plan de contingencia supone mantener la posición bajo todas circunstancias, hasta que la tarea es abortada.

Algunos buques sin redundancia DP pueden ser operados por una sola persona en el puente, pero la mayoría de los buques DP-redundantes llevan a cabo sus operaciones con 2 oficiales en el puente. Es necesario que el DPO lleve a cabo únicamente las tareas relacionadas con el DP, mientras que el otro oficial lleva a cabo todas las otras funciones del puente. Es ideal el intercambio de roles cada hora. Asimismo, se deben intercalar los relevos de manera que en ningún momento 2 DPO “frescos” se encuentren en el puente al mismo tiempo.

Cuando se tome una guardia DP, al igual que cuando se toma una guardia de navegación convencional, se debe de transmitir al relevo una serie de información tales como;

- Posición y rumbo del buque
- Estado y rendimiento del sistema y periféricos asociados.
- PRS en uso y rendimiento. Disponibilidad de PRS adicionales en caso de fallo.
- Nivel de redundancia en la operación.
- Estado de la operación. Cambios planeados.

- Condiciones meteorológicas y previsión.
- Comunicaciones internas y externas.
- Tráfico en la zona. Posible tráfico que pueda afectar la operación normal de buque.
- Cualquier operación planeado por helicóptero.

Aunque no se limite a esto únicamente. Cualquier hecho reseñable, al igual que al transferir una guardia de navegación, debe de ser comentado al relevo por la seguridad de la embarcación y el personal desempeñando la labor para la que el buque se encuentra destinado.

Un tema destacado y que tiene que estar completamente controlado en un buque offshore son las comunicaciones. Normalmente, en un buque de soporte offshore hay poco personal marino dando servicio a un gran número de clientes y contratas al mismo tiempo. Por ello es esencial que el equipo de puente esté totalmente al tanto del transcurso de las operaciones y que cualquier cambio que se produzca sea discutido y comunicado a todas las partes implicadas. Esta es la tarea del representante del cliente, el comunicarse de manera efectiva con el personal de a bordo responsable de las operaciones marinas.

8.7 Checklists

Los checklists no son más que una ayuda a la memoria para tratar de no pasar por alto ningún punto que debe ser revisado por insignificante que parezca. Sin embargo, existen riesgos inherentes al uso de checklists especialmente si su diseño no es muy bueno. En este punto puede ser de utilidad identificar problemas asociados al uso de checklists;

- Los checklist pueden ser completados en momentos de urgencia sin mucho tiempo para chequear cada ítem. Esto lo que genera es una sobrecarga de checklists grandes consumidores de tiempo.
- El checklist puede llevar a sustituir a la mente. Pero hay que recordar que el checklist es una herramienta de ayuda a la memoria.

-Puntos vitales pueden no estar incluidos en los checklists. Eso puede ser consecuencia de la implantación de checklist estándar y por lo tanto llegar a generar una no revisión de puntos importantes.

-Los checklists deben de ser regularmente revisados como parte de del sistema de seguridad del buque. Esto es especialmente necesario después de que el buque haya sufrido una reforma sustancial o nuevos equipos hayan sido instalados.

-En muchas ocasiones los checklists pueden generar ambigüedad. Verificar Gyro 1 no significa mucho.

-Items sin relevancia no deben de aparecer en un checklist. Su aparición hace perder credibilidad al checklist en su conjunto.

A continuación se adjuntan un par de checklists tipo. El primero es el correspondiente a la empresa Statoil y que todos los barcos que entren en los 500m de cualquier plataforma operada por ellos deben de rellenar satisfactoriamente y el segundo es el estándar correspondiente a pre-operaciones DP divulgado por la cámara de negocio marítimo internacional (ICS).

A-4 Checklist for entering the Safety zone



Installation: _____

Waypoints must be set so that the closest point of approach (CPA) to the installation is outside the installation's safety zone

Checklist ref: NWEA / OLF 061B with adjustments in item. 15 og 16

Checked

1	Sea state and weather conditions acceptable for safe operation	
2	Limitations due to sea state/weather conditions	
3	Safe approach heading toward the installation assessed	
4	Bridge and engine room manned in accordance with the requirements	
5	Communication established	
6	NO hot work/smoking on deck within 500 metres	
7	Autopilot off (Manual steering)	
8	Manoeuvring system tested	
9	Emergency manoeuvring system tested	
10	Working side confirmed by the installation	
11	Loading operations (cargo, bulk cargo, liquid cargo) confirmed by the installation.	
12	The installation must confirm that they are ready for the operation and for the arrival of a vessel (incl. shutting any drains)	
13	Manoeuvring mode for the operation has been chosen? (In DP mode the DP checklist must be used in addition)	
14	Other ongoing and/or scheduled activities within the 500-metre zone?	
15	Entering the safety zone with safe manoeuvring speed.	
16	DP test at the installation	

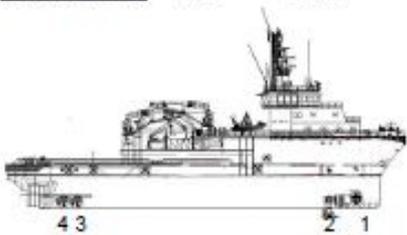
Date _____

Signature _____

B14 PRE-OPERATIONAL DP CHECKLIST

Ship's Name: Date: Time:

Item	Status		Remarks	
Computers	A	Running	Online	
	B	Running	Online	
	A/B Difference Messages			
Thrusters	1	Running	Enabled	
	2	Running	Enabled	
	3	Running	Enabled	
	4	Running	Enabled	
	5	Running	Enabled	
	6	Running	Enabled	
Power and Generators	1	Running	Stand-By	
	2	Running	Stand-By	
	3	Running	Stand-By	
	4	Running	Stand-By	
Bus Tie Switch	Open/Closed			
Equipment Class	Consequence Analysis Enabled			
Control Gain	Low/Med/High		Customised/Relaxed	
Alt Rot Point	No Selected	Position:		
Wind Sensors	V2 Available	Selected	Gyro Differences Checked	
Gyros	1	Running	Selected	
	2	Running	Selected	
	3	Running	Selected	
MRU	1		MRU Differences Checked	
	2			
Printer	Running	Paper OK	Outstanding Messages Checked	
Position Reference Systems	DGPS	1	Running HDOP	
		Diff Available		IMCA DQI Factor
	AOD (Sec)			
	2	Running HDOP	Diff Available	IMCA DQI Factor
		AOD (Sec)		
	Taut Wires	Port	Deployed	Water Depth: m
Starboard		Deployed	Water Depth: m	
Fan Beam	Deployed	Range/Brg:	Reflector Location	
HPR	1	Running	Pole Up/Down	
	2	Running	Pole Up/Down	
Communications	VHF	Channels:		
		Listening:		
	UHF	Channels:		
		Internal		
Talkback				
Weather Forecast	Time Received:			
Signals Displayed				
30 Mins Setting Time Complete				
MCR Checklist Complete				
Tasks Agreed				
Permit To Work	Ref No:	Expiry Time:		
Signed: Rank:				

	SOCIEDAD DE SALVAMENTO Y SEGURIDAD MARÍTIMA		Aprobado por:
	POSICIONAMIENTO DINÁMICO LISTA DE COMPROBACIÓN PREVIA A OPERACIONES CON DP		Fecha aprobación
REF N° DPCheckListP02	TIPO DE DOCUMENTO : PROCEDIMIENTO		Fecha Revisión
<p>G1 SG1 SG2 G2</p> <p>GENERADORES EN SERVICIO N° <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>BUS TIE BREAKER <input type="checkbox"/> Abierto <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Cerrado <input type="checkbox"/></p> <p>POTENCIA Consumo _____ Kw Disponible _____ Kw MODO DEL PMS Auto <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/></p> <p>HELICES EN SERVICIO</p> <p>Tonel de Pr 1 <input type="checkbox"/></p> <p>Azimutal Pr 2 <input type="checkbox"/> 360° <input type="checkbox"/> Sector fijo <input type="checkbox"/></p> <p>Tonel de Pp 3 <input type="checkbox"/></p> <p>Tonel de Pp 4 <input type="checkbox"/></p> <p>Principal Br <input type="checkbox"/></p> <p>Principal Er <input type="checkbox"/></p>			
			
<p>¿En que modo de operación está el barco? Auto DP <input type="checkbox"/> Manual DP <input type="checkbox"/> Follow Sub <input type="checkbox"/></p> <p>¿Que ordenador actúa como principal? Ordenador A <input type="checkbox"/> Ordenador B <input type="checkbox"/></p> <p>¿Que consola tiene el control? Consola A <input type="checkbox"/> Consola B <input type="checkbox"/></p> <p>¿Que ganancia Auto DP está seleccionada? Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/></p> <p>¿Que punto de rotación está seleccionado? CG <input type="checkbox"/> ROV <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> X _____ Y _____</p> <p>¿Que movimiento está como prioritario? Rumbo <input type="checkbox"/> Posición <input type="checkbox"/></p> <p>¿Que velocidad lineal y de rotación? Lineal _____ Kt Rotación _____ °/m</p> <p>¿Cuales son los límites para las alarmas? Posición _____ m Rumbo _____ °</p> <p>¿Se han comparado los anemómetros? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>¿Que anemómetro está seleccionado? 1BR <input type="checkbox"/> 2ER <input type="checkbox"/></p> <p>¿Se han comparado las Gyros? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>¿Que Gyro se ha seleccionado? Gyro 1 <input type="checkbox"/> Gyro 2 <input type="checkbox"/> Gyro 3 <input type="checkbox"/></p> <p>¿Se han comparado los sensores MRU? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>¿Que sensor MRU se ha seleccionado? MRU 1 <input type="checkbox"/> MRU 2 <input type="checkbox"/></p> <p>¿Que ganancia de Joystick se ha seleccionado? Full <input type="checkbox"/> Reduced <input type="checkbox"/></p> <p>¿Que precisión de Joystick se ha seleccionado? Low <input type="checkbox"/> General <input type="checkbox"/> High <input type="checkbox"/></p> <p>¿Que centro de rotación manual seleccionado? CG <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/></p> <p>¿Cual es la posición y rumbo actual? Posición _____ Rumbo _____</p> <p>¿Se han probado las STATUS ALARMS? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>¿Se ha realizado el test de luces y botones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>¿Funciona la pantalla correctamente? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>¿Funciona la bola - ratón correctamente? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>¿Está la impresora conectada y en servicio? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>¿Se ha imprimido una grabación de prueba? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p>			
1/2			

SISTEMAS DE POSICIÓN DE REFERENCIA		<i>En DP clase 2 se necesitan al menos tres sistemas de posición de los cuales dos tienen que ser totalmente independientes.</i>			
¿Está el DGPS 1 en servicio ?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Está el DGPS 2 en servicio ?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Cuales son los valores de error desvío SDE ?	DGPS 1	_____ m	DGPS 2	_____ m	
¿Sistema hidroacústico HPR en servicio ?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Comprobadas las frecuencias transponder?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Está el LTW en servicio?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Tiene 2 DGPS y un tercer Sistema Referencia?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
En caso afirmativo anterior, ¿está uno de los DGPS standby para evitar sistema "voting" ?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
<u>OPERACIÓN Y COMUNICACIONES</u>					
¿Lleva el barco en Auto DP al menos 30 min?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Está la DP clase 2 activa?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Se ha probado el análisis de consecuencia?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Se ha comprobado la señal HBL del ROV?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Probadas comunicaciones con ECR?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Probadas comunicaciones con cubierta?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Probadas comunicaciones con ROV/Buceo?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
¿Marcas/Luces maniobra restringida puestas?	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	
<u>OTROS COMENTARIOS:</u>					

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p><i>Esta Lista de Comprobación forma parte de los Procedimientos de los Buques de SASEMAR para Operaciones con Posicionamiento Dinámico. Su uso debe limitarse a dichos barcos. No debe ser alterada sin la revisión previa por parte del Departamento de Operaciones de la Sociedad Estatal de Salvamento Marítimo.</i></p> </div>					
DIA/HORA _____					
NOMBRE: _____		CARGO: _____		FIRMA: <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 50px; display: inline-block; vertical-align: middle;"></div>	
2/2					

8.8 Órdenes permanentes y gestión de diarios

En cualquier buque, sea DP o no, deben de existir unas órdenes permanentes para el personal de guardia. Las órdenes permanentes del capitán serán creadas para cada modo operacional del buque. Las órdenes permanentes deben hacer referencia a la política integral de la compañía e incluir la conducta del departamento de puente durante una operación DP. Asimismo, debe existir una clara identificación de la cadena de mando. Esto es de vital importancia en situaciones donde hay más de una persona de guardia simultáneamente. Es el caso en el que 2 oficiales lleven juntos a cabo la guardia, uno de los cuales es el “senior”. Como ya se ha mencionado anteriormente, durante la operación DP, uno de ellos debe controlar la consola DP y no dedicarse a ninguna otra tarea simultáneamente.

Por su parte unas buenas ordenes permanentes deben de especificar en qué circunstancias el capitán debe de ser avisado. En algunos casos, el capitán puede ser uno de los miembros de guardia y es relevado por un capitán nocturno en la otra guardia, sin embargo, la jerarquía de mando y responsabilidad debe ser claramente establecida y entendida.

Por su parte, es necesario llevar a cabo, como en cualquier buque convencional, un cuaderno de bitácora, que debe incluir todas las horas y posiciones relevantes. Un documento particularmente útil es un registro aparte de operación en DP. Este registro debe incluir todos los trabajos DP realizados con posiciones, PRS utilizados, y cualquier incidencia o malfuncionamiento de equipos que vayan apareciendo. Este documento es particularmente útil una vez más, cuando embarcan nuevos DPOs y también si el barco está trabajando durante largos periodos de tiempo en una misma área, para realizar comparativas de rendimiento.

Capítulo 9: Entrenamiento y certificación del operador DP.

9.1 La necesidad de entrenamiento y certificación.

Como no podía ser de otro modo, como en cualquier otro oficio y como se ha señalado en tantas ocasiones a lo largo de este trabajo es extremadamente que el personal encargado de la operación DP se encuentre debidamente formado al respecto. Cuando se describe el funcionamiento de un sistema de posicionamiento dinámico, queda claramente de manifiesto que el DPO es una parte muy importante del sistema en sí. LA competencia de los operadores es asegurada por una combinación de factores tales como: trasfondo profesional, experiencia, entrenamiento y certificación.

El personal más directamente envuelto con la gestión de los sistemas DP de a bordo y los barcos son los DPOs, los oficiales de navegación y los capitanes. Hasta 1985 la formación DP era algo que ni siquiera existía. La formación era algo que se llevaba a cabo únicamente durante por parte de los fabricantes del sistema y normalmente operando equipos DP reales, sin posibilidad de simulación ninguna. De manera habitual la única forma de entrenamiento que podía llevarse a cabo era durante la construcción, mientras que para un tripulante que embarcase más tarde la única manera era aprender durante las operaciones.

Como puede darse por supuesto esto debía de ser mejorado.

9.2 El esquema del Nautical Institute (NI).

Desde 1984 el Nautical Institute ha llevado a cabo la implantación de un esquema de formación destinado a establecer un nivel de competencia marco para los DPOs. Este esquema fue desarrollado por un comité formado por antiguos capitanes, navieras, representantes del comité de transporte del Reino Unido, UKOOA la AODC cuyos intereses eran los mismos, fijar un estándar de formación DP.

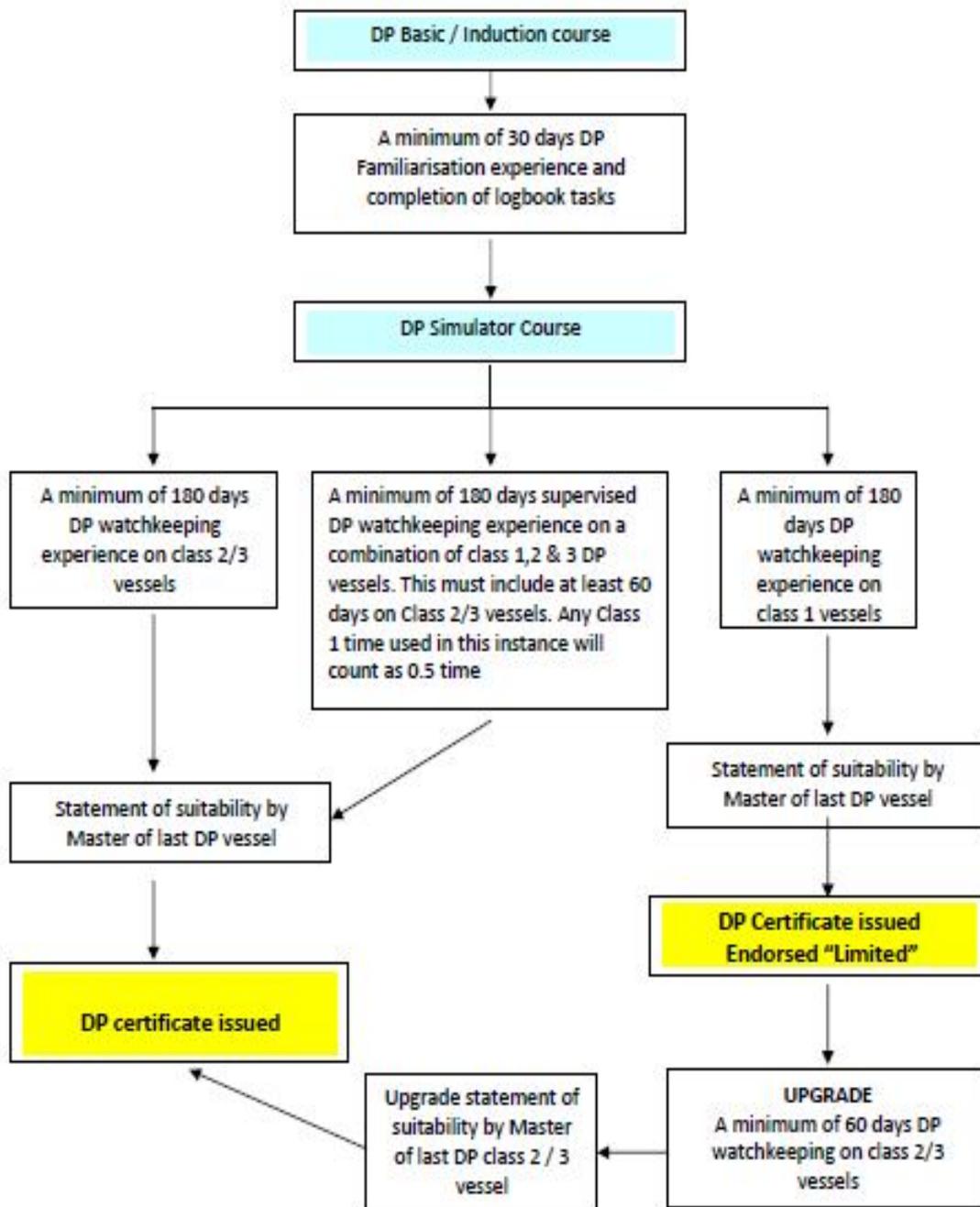
A día de hoy el único esquema de formación aceptado globalmente por la industria es el del Nautical Institute. El Nautical Institute no imparte la formación él mismo si no posee una serie de centros adjuntos acreditados para la impartición de los cursos. La lista completa de los centros DP homologados puede encontrarse en la red en la dirección <http://www.nautinst.org/en/dynamic-positioning/dp-centres.cfm>

El esquema de formación se basa en completar ciertos niveles de formación. De hecho la formación es cosa no sólo del futuro DPO, si no que los propios centros, los armadores y los capitanes donde se sirva como DPO forman parte del sistema de formación

De acuerdo a las nuevas reformas en el STCW de Manila 2010, el NI ha impuesto los siguientes criterios mínimos para comenzar la formación DP:

La titulación exigible mínima será la marcada por STCW II/1 - II/2 - II/3 para el departamento de cubierta y III/1 – III /2 – III/3 para el departamento de máquinas.

El esquema de formación es el siguiente:



9.2.1 Curso Básico/de Introducción de DP: Fase I

El curso de introducción deberá proporcionar al aprendiz lo siguiente:

- Conocimientos sobre los principios del DP;
- La capacidad de configurar y operar un equipo de DP y los sensores de posición;
- La capacidad de reconocer alarmas y advertencias;
- Conocimientos sobre todo el sistema de DP;
- Comprensión de los gráficos de capacidad y cobertura

Durante este curso de debe de tratar al menos el siguiente temario:

- Definición de posicionamiento dinámico, los seis grados de libertad y la función de control del DP;
- Elementos de un sistema de DP, generación eléctrica, distribución eléctrica, administración de la electricidad, propulsores, sistema de control de DP, sensores, comunicaciones y los operadores;
- Detalles de los elementos del sistema de control de DP, incluidos los procesadores, consolas de control y sensores de posición, rumbo, embarcación y ambientales;
- El uso de sensores de posición, validación de entradas y prueba de errores, por ej., agrupamiento, votación, ponderación;
- El principio de avance del viento;
- El concepto de limitación de potencia y propulsión por parte del sistema de control de DP, el PMS y los propulsores;
- Tipos de embarcaciones que usan DP. Análisis de los distintos modos y funciones disponibles, por ej., palanca de mando, DP, acompañar el vehículo submarino, seguimiento de pista, tendencia del anemómetro, etc.
- Tipos de propulsores y sistemas de maniobra; su configuración, capacidades y limitaciones;
- El principio de acción de los controladores del sistema de control de DP;
- Los requisitos y el suministro de redundancia en los sistemas del barco y notaciones de clase de DP;

- Aplicación de análisis de riesgo y límites de funcionamiento seguro a distintas operaciones;
- Procedimientos operativos, incluidos abordaje al sitio de trabajo, planificación de las maniobras de DP y de contingencias y emergencias;
- Procedimientos para operar el sistema de DP, incluidos llevar un registro de bitácora, el uso de listas de control, comunicaciones y niveles de tripulación;
- Evaluación de las capacidades del barco con respecto a las condiciones ambientales, aguas someras y profundas, etc. Uso del análisis de consecuencias en el modo presente y de planificación;
- Análisis de modo y efectos de falla, ensayos de prueba, anuales y de movilización;
- Principios de configuración y operación de todas las referencias de posición usadas comúnmente.

9.2.2 Familiarización a bordo. Fase 2

El DP logbook contiene los diferentes aspectos con los que el futuro DPO debe familiarizarse durante estos 30 días de embarque. ES necesario que el buque se encuentre realizando operaciones DP durante la mayor parte de ese tiempo y que el aspirante se encuentra activamente involucrado en las operaciones. Es responsabilidad del capitán el atestiguar con su firma del logbook que esta fase ha sido satisfactoriamente llevada a cabo.

9.2.3 Curso avanzado de simulador. Fase 3

Una vez completada la familiarización el candidato debe volver a un centro homologado para llevar a cabo un curso avanzado de simulación.

El curso en simulador de DP deberá proporcionar al aprendiz lo siguiente:

- Conocimientos prácticos de planificación, conducción y ejecución de maniobras de DP;
- Capacidad de usar e interpretar correctamente diagramas del sitio de trabajo y de planificar en detalle cada etapa de una operación, así como planificar para una diversidad de emergencias;

-Capacidad de demostrar entendimiento y competencia en una variedad de escenarios simulados usando un simulador de DP; Esto incluirá al manejo de operaciones normales, así como una variedad de modos de fallas en emergencias.

El curso deberá incluir el siguiente contenido:

- Un estudio de casos relacionados con incidentes y accidentes de buques, basado en los datos y boletines del incidente en cuestión;
- La construcción y el uso de diagramas del sitio de trabajo, gráficos y plantillas del barco para usar durante las maniobras;
- La preparación de planes para una maniobra de DP proyectada, planes de contingencia para desviaciones esperadas y emergencias;
- Participación en situaciones simuladas en una variedad de capacidades mientras se manejan situaciones de rutina y de emergencia; Las situaciones simuladas deberán incluir los modos de fallas extraídos de la experiencia del sector, por ejemplo, de IMCA. Si las características del simulador no pueden cubrir una falla en particular ó no se puede hacer por falta de tiempo, se deberán conversar con el aprendiz;
- Nuevos desarrollos en sistemas de DP, incluidos sensores de posición y sistemas de control;
- Aplicación de riesgos y definición de tipos de equipos de DP;
- Otras aplicaciones de DP, incluidas tendido de tuberías, de cables, buques cisterna de trasbordo, etc.;
- Manejo de los tipos de incidentes que han ocurrido, incluidos: quedar a la deriva, salirse de curso, otras pérdidas de posición causadas por error del operador, fallas del equipo ó problemas de procedimiento, ya sea por separado ó combinados;
- Conocimiento de los tipos de incidentes que han ocurrido, incluidos: quedar a la deriva, salirse de curso, otras pérdidas de posición causadas por error del operador, fallas del equipo ó problemas de procedimiento, ya sea por separado ó combinados;

9.2.4 Guardia DP supervisada. Fase 4

Esta fase tiene como objetivo la consolidación de los diferentes conceptos adquiridos y adquirir experiencia en diferentes tareas y operaciones en DP.

9.2.5 Valoración por parte del capitán. Fase 5

La valoración del candidato es llevada a cabo por el capitán del buque en el cual el futuro DPO finalice la fase 4 de formación y constituye la “prueba” de que el candidato es apto y competente para llevar a cabo una guardia en operaciones DP. Esta valoración es anotada en el logbook DP concluyendo el proceso de formación.

F. SUITABILITY OF OFFICER TO UNDERTAKE FULL WATCH-KEEPING RESPONSIBILITY ON BOARD A D.P. VESSEL

I, Captain _____ verify that

M _____

has completed the D.P. Operator's Log Book to my satisfaction and in my opinion is competent to undertake D.P. Watchkeeping duties, and in particular

- i) Posseses an adequate knowledge.
- ii) Knows the underlying principles of DP.
- iii) Can take control of the DP system in normal operational conditions.
- iv) Understands what to do in an emergency.
- v) Understands the operational procedures on board and can safely operate the vessel's DP system.

Operator's Signature _____

Master's Signature _____

Date _____

Ship's stamp

On completion of the Log Book and satisfactory completion of the relevant courses a D.P. Operator's Certificate will be issued by The Nautical Institute. The Operator should forward the Log Book to: The Education and Training Manager, The Nautical Institute, 202 Lambeth Road, London SE1 7LQ.

Formato del NI de valoración por parte del capitán de la capacidad del DPO para llevar a cabo de una manera segura una guardia DP.

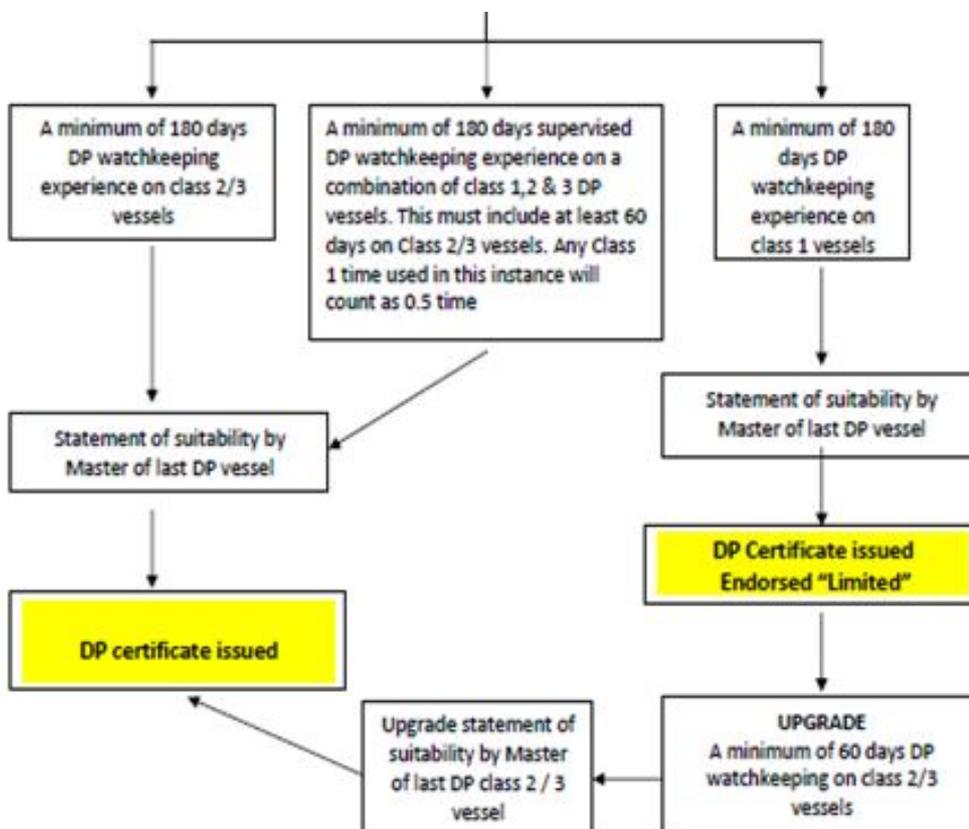
Una vez esta valoración haya sido completada, el logbook de formación debe ser remitido al NI con la documentación pertinente y si todo se encuentra en orden el NI expedirá el certificado correspondiente de DPO.

9.2.6 Tipos de certificados DP

Dependiendo del tipo de buque en el cual se hayan llevado a cabo los días necesarios para la obtención del certificado DPO, el NI otorga el certificado limitado o ilimitado.

El diagrama de formación expone detalladamente de una manera muy clara que tipo de certificado se expedirá en función del tipo de buques en los que se hayan realizado los días de “prácticas”.

(Para detalles sobre el tipo de equipamiento de clase, tomar como referencia la circular IMO/MSC Circ 645 de la OMI, en la cual el se basa el capítulo 3 del presente trabajo).



9.2.7 Conclusiones del sistema de formación DP del NI.

El esquema arriba descrito se encuentra en funcionamiento desde 1984 y más de 50 cursos se encuentran aprobados para la impartición de la fase 1 y 3 del sistema de formación. Como se ha mencionado anteriormente este esquema es el internacionalmente reconocido por la industria manteniéndose controlado por el NI el cual lleva registros de todos los certificados expedidos. Al involucrar a los propios barcos y a los capitanes durante las fases de formación 2, 4 y 5 el sistema es un sistema vivo en contacto con el mundo real y que automáticamente se actualiza, lo que permite una formación flexible y lo que es más importante adaptada a la realidad.

9.3 Reporte de incidentes.

El estudio de incidentes DP es una práctica de la que se pueden desprender muchas conclusiones globales para la industria. Para realizar dicho estudio la IMCA (International Marine Contractors Association) lleva años operando un esquema de reporte de incidentes entre sus miembros, cuyos resultados son publicados anualmente. Las estadísticas que se desprenden de estos reportes son vitales a la hora de identificar tendencias, que normalmente indican puntos o procedimientos a corregir.

Por ejemplo en la recopilación de incidentes 2004, los incidentes que implicaron una pérdida de la posición fueron causados en un 16% de los casos por un error del operador, un 32% por fallos en los PRS, un 24% por fallo de potencia, un 12% por fallos en propulsores mientras que el resto quedo dividido entre problemas informáticos, eléctricos o relacionados con el entorno.

Un estudio más profundo de los incidentes a lo largo de diferentes años muestra errores comunes por parte del operador. Uno de los más habituales consiste en el pobre uso de los PRS. Si por ejemplo, si 3 PRS se encuentran conectados, pero 2 de ellos se basan en el mismo principio, y uno independiente, (2DGPS + fanbeam por ejemplo), el sistema es vulnerable a un

fallo en zonas comunes. Si ambos DGPS fallan, el sistema de votación rechazará el fanbeam, que de hecho es el único PRS que funciona correctamente. A pesar de que la causa del error es el fallo de un PRS, debe tenerse en cuenta que el DPO es un factor también a tener en cuenta, pues debería de haber sido consciente de la vulnerabilidad de esta configuración y debería haber tomado las acciones pertinentes para evitarlo.

Los estudios de en los reportes de incidentes también muestran la existencia de otra tendencia, la de pensar que si el barco se encuentra llevando a cabo operaciones en DP3 satisfactoriamente, el buque está “blindado” y nada puede ir mal. Una porción importante de incidentes se pueden agrupar en la categoría de “esto no puedo pasar”.

Todo puede pasar y a pesar de lo estúpido que pueda parecer, la Ley de Murphy que dice que si algo puede ir mal ira mal, muchas veces es verdad y así queda demostrado por los estudios de incidentes realizados por la IMCA.

El formato y el proceso detallado a seguir para llevar a cabo un reporte de incidente se puede consultar en documento IMCA SEL 016 publicado por la IMCA y disponible en la página web de la asociación www.imca-int.com

9.3.1 Factores humanos en los incidentes DP.

El estudio más amplio que a día de hoy se ha realizado sobre la influencia de los factores humanos en los incidentes DP ha sido el “Human Factors Pilot Project”, llevado a cabo por el Capt. J Hughes en 1994 y publicado por lo que hoy es la IMCA. La relevancia y las conclusiones extraídas de este estudio aún son de utilidad hoy en día.

Si analizamos los incidentes reportados entre 1987 y 2008, el 20% de ellos tiene un origen humano. Esta cifra aunque pueda parecer muy alta es muchísimo más positiva que el 50% aproximadamente registrado a mediados de los años 80.

Hay diversas razones para explicar esta reducción del error humano en los incidentes DP, una de las más importantes puede ser la implantación, tal y como se ha descrito anteriormente de un sistema regulado y auditado de formación DP por parte del NI.

En los últimos años, el equipamiento utilizado es más fiable e intuitivo. Es frecuente que la causa primaria de un incidente sea el error humano pero el diseño del sistema utilizado es un factor que también contribuye indirectamente.

Un estudio más en profundidad de los factores humanos muestra que hay 5 puntos de especial relevancia.

- Interfaz hombre/máquina
- Gestión del DP
- Entrenamiento y competencia
- Identificación de agentes productores de stress
- Aspectos del comportamiento humano

A continuación se analizan brevemente los factores humanos más importantes que pueden influenciar en la generación de incidentes DP.

a. Consolas DP

En problema bien identificado es el exceso de información. Un DPO deben procesar una gran cantidad de equipamiento simultáneamente alrededor de la consola DP, por lo que la información irrelevante puede dar lugar a confusiones que pueden generar un incidente.

b. Sobrecarga de trabajo y baja motivación.

La sobrecarga de trabajo y la baja motivación son características asociadas al trabajo del DPO. Hay periodos en los que la cantidad de trabajo es excesivo y

se espera del DPO llevar a cabo otras funciones aparte de hacerse cargo de las consolas DP. Este conlleva un aumento de los niveles de stress con el riesgo asociado de incidente. Anteriormente se ha mencionado la necesidad primordial de que el DPO únicamente lleve a cabo funciones de vigilancia de las consolas del DP durante su guardia. El otro extremo también puede ser una causa potencial de incidentes, el pasar largas horas delante de la consola sin hacer nada puede desembocar en lapsus de concentración que pueden causar a su vez incidentes.

c. Cambios de vigilancia temporales.

Aunque normalmente el cambio de guardia es generalmente algo muy directo y efectivo, ocasionalmente un cambio de guardia corto puede causar problemas. Hay veces que no se transmite de forma conveniente información relevante al personal entrante en la guardia. Un ejemplo de esto puede ser cuando el capitán sustituye al DPO mientras este última va a realizar otra tarea.

d. Presencia de personal no involucrado en las operaciones.

En muchos barcos la zona DP es de acceso libre por parte de personal no involucrado en las operaciones, causando distracciones y ruidos. Es de vital importancia que el área donde se opera el DP sea un espacio de trabajo apropiado, dedicado exclusivamente al desarrollo de las operaciones, libre de distracciones e influencias.

e. Manuales y documentación inadecuada.

Hoy en día ese problema es mucho menor que antaño, pero ocasionalmente ocurre que los manuales del equipamiento y el sistema no contienen la información suficiente o no la expone de una forma suficiente clara.

f. Formación y competencia del DPO.

Una limitación inherente al proceso de formación en tierra es que se lleva a cabo en simuladores. Por muy avanzados que estos sean nunca serán tan precisos como la realidad. A pesar de esto, el entrenamiento es una de las herramientas más poderosas para asegurar la competencia del DPO y está directamente relacionada con los errores humanos.

g. Conocimiento del propio barco.

Se han dado casos de incidentes en los cuales los DPO involucrados en las operaciones no poseían un conocimiento suficiente de sus buques y sistemas.

h. Fatiga.

Las principales causas de fatiga en un DPO están relacionadas con la falta de sueño, los altos niveles de ruidos y el estrés producido por las operaciones propiamente dichas. La fatiga relacionada con la falta de sueño es mayor en los DPO que llevan a cabo la guardia de noche cuando durante el día y los periodos fuera de guardia no se puede conciliar el sueño de una manera adecuada. EL sistema de guardia alternativa y de 2 hombre simultáneamente ayuda en cierta medida a paliar los efectos de la fatiga en los DPO con el fin de garantizar la seguridad de las operaciones.

i. Comportamientos irresponsables.

Si bien es cierto que no los incidentes causados por comportamientos irresponsables no tienen una importancia significativa en la estadísticas, hay circunstancias reportadas en las que los DPO se han comportado de un modo peligroso, violando las reglas y los procedimientos establecidos.

j. Condiciones de empleo.

Existe todavía una correlación entre las condiciones de trabajo, seguridad laboral y la seguridad en las operaciones. La moral de cada DPO está formada por un gran número de variables, todas ellas difíciles de medir pero lo que si queda de manifiesto es que una baja moral en el trabajo significa niveles menores de seguridad.

k. Estado de la profesión DPO en la industria.

Es evidente que los DPO operan de una manera más efectiva cuando se han llevado a cabo esfuerzos para integrarlos en la cadena de gestión y planificación de las operaciones. Una vez más el rendimiento en el trabajo queda demostrado que se encuentra directamente relacionado con la satisfacción labora y la autoestima.

Capítulo 10: Impresiones personales acerca del sistema.

Mi experiencia en DP hasta el momento me deja un sabor agridulce.

Tal vez no he tenido la suerte de estar en barcos cuyo sistema DP fuese el más innovador, el más complejo o se encontrase en la mejor situación técnica o el personal senior de abordaje estuviese familiarizado con él y lo considerase como un equipo más integrado en el puente.

Sin embargo, por otra parte, este hecho me ha facilitado ver cosas que un DPO a bordo de un barco donde el sistema funcione correctamente pasaría por alto durante las operaciones.

Tuve la oportunidad siendo alumno de asistir a las pruebas de mar de un remolcador de nueva construcción con la notación DP1. Como es lógico para que se otorgue la clase DP, la sociedad clasificadora debe de realizar a bordo una serie de tests con el sistema con el fin de corroborar su correcto funcionamiento. Durante las pruebas surgieron una serie de problemas, básicamente de comunicación entre propulsores y consola de control que obligaron al buque a retrasar una semana su puesta en servicio. Durante este tiempo, pude ver de primera mano la complejidad del sistema y la cantidad de elementos que deben de funcionar al unísono para que cuando el interruptor en la consola DP pase a "DP Mode" el barco mantenga la posición.

Respecto a los diferentes fabricantes de sistemas DP, si tengo que elegir uno sin duda alguna me quedo con Kongsberg. Su diseño es sumamente intuitivo, así como su diseño del panel de control hace que la operación sea más fluida que si deben comenzar a abrirse menús interactivos.

Obviamente esto tiene un precio y como se pueden imaginar Kongsberg no es para nada la más económica de las opciones disponibles en el mercado.

He podido probar equipos Navis y sinceramente me considero un "Kongsberg man". Asimismo a nivel simulador he podido probar también durante los cursos de formación los simuladores Alstom. Una vez más, me reitero en lo anterior.

Desde el punto de vista de la operativa, en mi opinión es cierta esa frase de quien dice que las operaciones DP son 99% aburrimiento y 1% pánico.

Cuando todo funciona correctamente la monitorización del sistema se convierte en algo monótono y aburrido. Este hecho se puede acentuar dependiendo del tipo de operativa llevada a cabo, tengan en cuenta que hay trabajos DP dinámicos como pueden ser el manejo de anclas, pero hay trabajos sumamente estáticos tales como la perforación donde el buque puede permanecer meses sin variar su posición.

Pero el problema viene cuando el sistema se empieza a venir abajo y comienzan a saltar las alarmas. Es entonces cuando la formación y la comprensión del sistema, como se ha mencionado varias veces a lo largo del trabajo, realmente juegan un papel importante a la hora de solventar el problema satisfactoriamente, pues en cuestión de segundos se deben de tomar decisiones que pueden repercutir de manera decisiva en la seguridad de las operaciones en curso.

Por último, el DP en mi opinión es algo que aunque a día de hoy puede parecer sumamente complejo, en el futuro no muy lejano en mi opinión va a acabar siendo un equipamiento de serie en la mayoría de buques, siendo la formación parte del STCW, pues la cantidad de aplicaciones en las que puede ser de ayuda es enorme.

Capítulo 11 Bibliografía.

The Nautical Institute monograph *Dynamic Positioning Operator Training*, second edition 1999. Captain D.Bray FNI

The Nautical Institute monograph *Dynamic Positioning Operator Training*, second edition. 1999. Captain D Bray FNI.

DP Operator's handbook: A practical guide. NI 2008 Captain D.Bray FNI
Dynamic Positioning. Captain D Bray FNI. 2003. Oilfield Publications Ltd.

Developing DP Visual Systems. Captain G Fiander. Pub. Seaways January 2006

MSC Circ 738. Guidelines for Dynamic Positioning (DP) Operator training. IMO. June 1996

MSC Ore 645. Guidelines for vessels with Dynamic Positioning Systems. IMO. June 1994

The Training and Experience of Key DP Personnel. IMCA M 117 Rev 1, Feb 2006

International Guidelines for the Safe Operation of Dynamically Positioned Offshore Supply Vessels. IMCA M 182. Rev 1. Aug 2009

The Use and Requirements for Simulators in Training and Operations. IMCA C 009, May 2006

The Common Marine Inspection Document. IMCA M 149 Issue 7. Mar 2009

Guidance on Failure Modes and Effects Analyses (FMEAs). IMCA M 166. April 2002

FMEA Management Guide. IMCA M 178. April 2005

Guidance on the Investigation and Reporting of Incidents. IMCA SEL 016, January 2007

Analysis of Station Keeping Incident Data 1994 - 2003. IMCA M 181, January 2006

Considerations about the use of hold-back vessels during DP diving Operations. IMCA M 185. Feb 2007

Deep Water Acoustic Positioning. IMCA M 200. Oct 2009

Directrices para la operación con DP IMCA M 103 Dec 2007

The safe operation of DP offshore supply vessels IMCA M 182 August 2009

DP induction course manual London DP Centre

DP advanced course London DP Centre

DP induction course manual Barcelona DP Centre

DP advanced course Barcelona DP Centre

Capítulo 12 Glosario

Este capítulo tiene como objetivo definir los acrónimos más utilizados durante operaciones DP offshore. Es un resumen bastante somero en inglés. Para más detalle, en la documentación anexa se adjunta un diccionario técnico específico del sector muy completo. Así mismo en todas las publicaciones técnicas del sector, es común encontrar un glosario con los acrónimos utilizados. No obstante, un conocimiento de los más corrientes facilita enormemente la lectura de publicaciones y artículos relacionados con la industria.

Abandon dive: On a DSV an equivalent to red alert instructing dive control to recall the divers to the bell immediately and to bring the bell to the surface.

Advisory DP operational status; failure of redundant equipment. This is mainly used aboard drilling vessels.

Artemis Radio: system used to measure vessel's position. System operates using a microwave frequency and measures the range and bearing of the vessel from a fixed station that is usually installed on a platform.

Back up DP: A DP control system, physically separate from the main DP control system that will be available in the event of a total failure of the main system.

Beacon Acoustic: pulse generating device on the seabed or structure whose signals are repeated at a regular interval and used by HPR to establish the vessel's position.

Blackout: Loss of all main electrical power to thrusters or DP control system. Loss of electrical power that prevents the DP control system operating is known as DP Blackout.

BOP: Blow-out preventer / Blackout prevention.

Capability plot: A theoretical polar plot of the vessel's capability for particular conditions of wind, waves and current from different directions. These can be determined for different thruster combinations and should be produced in accordance with IMCA M 140 – *Specification for DP capability plots.*

CCTV: Closed circuit television.

Common failure mode: A failure which affects two or more similar items of equipment which
are essential for redundancy.

Controlled disconnection: Release in a planned and controlled manner of all physical connections linking the vessels/units involved in two-vessel operations and their physical separation.

DGPS: GPS plus a differential correction supplied by one or more receivers at a known fixed location, to increase the accuracy of the position fix.

DP Dynamic positioning: automatic control of vessel's position and heading by the use of thrusters with respect to one or more position references. May also be used to mean dynamically positioned.

DP control location: Permanently manned location(s) onboard a DP vessel or unit where the DPO is able to monitor the performance of the DP system and where the DPO is able to interface with the DP system, intervening as necessary.

DP hazard observation: Set of circumstances identified which have had the potential to escalate to 'near-miss' status or more serious.

DP class notation: Notation used by classification societies, such as Det Norske Veritas (DNV), for DP vessels based upon IMO equipment class principles.

DP control system: The part of the DP system that calculates position and provides thruster commands.

DP downtime: Position keeping instability, loss of redundancy which would not warrant either a red or yellow alert, however loss of confidence has resulted in a stand down from operational status for investigation, rectifications, trials etc.

DP incident: Loss of automatic control, loss of position or any incident which has resulted in or should have resulted in a red alert.

DP near-miss: Occurrence which has had a detrimental effect on DP performance, reliability or redundancy but has not escalated into 'DP incident', 'undesired event' or 'downtime'.

DP system: All equipment that supports automatic position keeping control.

DP undesired event: Loss of position or other event which is unexpected/uncontrolled and has resulted in or should have resulted in a yellow alert.

DP vesse: Dynamically positioned vessel.

DPO: Operator of the DP control system.

DSV: Diving support vessel: a vessel from which divers are deployed.

Duplex DP: DP control system with full redundancy including smooth automatic changeover between the two DP control systems.

EDS: Emergency Disconnect Sequence.

Emergency disconnection: Unscheduled rapid shutdown and release of all physical connections to enable separation of vessels/units.

Equipment class: Classification outlined in IMO MSC Circ.645 for the equipment capability of DP vessels defined by their worst case failure modes.

FMEA: Failure mode and effects analysis.

Footprint: A graphic illustration of a set of real observations of a vessel's DP station keeping ability in particular environmental conditions.

FPSO: Floating production storage and offloading unit.

FPU: Floating production unit.

GPS: Global positioning system using satellites to establish a vessel's position, e.g. Navstar or GLONASS.

GPS: relative Differential and relative position system (note DGPS is used generally in this document but the same principles apply both for dual DGPS as dual DARPS or dual GPS).

Green status: Normal operational status; adequate DP equipment is on line to meet the required performance within the declared safe working limits.

HAZID: Hazard identification.

HAZOP: Hazardous operation.

HPR: Any hydroacoustic position reference system.

I/O: Input/output.

Independent joystick: A joystick that is independent of the DP control system.
Joystick Positioning facility that uses a single lever for surge, sway and yaw control.

Laser-based system: Positioning and tracking system, such as Fanbeam and Cyscan, measuring distance and angle using reflected pulsed laser light

Limit alarms: Selectable values for position and heading excursions at which points an alarm will activate.

Loss of position: Movement(s) of vessel and/or unit from the intended or target position.

Manual control: Use of individual thruster controls or joystick with or without automatic heading control.

Operator: Any member of the vessel's complement involved with DP equipment, for example DPO, master, duty engineer, chief engineer, electrician, taut wire operator, radio operator. This can also mean the organisation which operates vessels on behalf of the owners.

Permit to work: Authority to carry out certain operations under a system whereby these permits are approved and issued for a specific period of time and work during which the work would normally be completed.

Platform: Any structure that is fixed relative to the DP vessel.

Plough: Towed unit generally used to bury cables.

Pseudo: Prefix used when a position measurement system is interfaced to a DP control system as another position reference.

Radar-based system: Position reference system based on the measurement of radar signals reflected from passive transponders e.g. Radascan, RADius.

Radio position reference: Any position reference that transmits radio waves through the air for
example Microfix, Syledis.

Red alert: DP emergency status: Position and/or heading loss have happened or are inevitable.

Redundancy: The ability of a component or system to maintain or restore its function, when a single failure has occurred. Redundancy can be achieved, for instance, by installation of multiple components, systems or alternate means of performing a function.

Responder: A transponder in which the interrogation is by an electronic pulse sent down a cable. This is generally fitted to an ROV and interrogated down the ROV's umbilical.

ROV: Remotely operated vehicle that operates subsea.

Safe working limits: The environmental limits that a vessel or company sets for safely working on DP taking into account specified equipment failures and limitations imposed by the current worksite.

Shallow water: A depth of water in which, depending upon the work being undertaken by the DP vessel, further considerations may be necessary.

SIMOPS: Simultaneous operations.

Simplex DP: DP control system with no redundancy.

Taut wire: Position reference using a tensioned wire vertically to a seabed weight or horizontally to an external fixed object nearby.

Telemetry: UHF communications system between an FPSO/FSU and a shuttle tanker that comprises a series of interlock checks along the cargo transfer process to allow cargo transfer to take place by establishing a green line. Interruption of the green line results in automatic shutdown.

Thruster: Any propulsion device used by the DP control system.

Transponder: Device on the seabed that responds to acoustic interrogation from the HPR on the vessel and gives vessel relative position.

Trencher : Subsea vehicle used for pipe or control line burial.

Triplex DP: Triple DP control system that is able to vote and reject one of the three systems if it is faulty.

Umbilical: Connection carrying life support and communication systems between a support vessel and a diving bell, an ROV or similar device (also diver's umbilical between diver and bell).

UPS: Uninterruptible power supply – unit to provide electricity continuously to DP control system in the event of a blackout of the vessel's main power.

Worst case failure: The worst case failure of a DP system is the failure that has been the basis of the design and proved by the FMEA. This usually relates to a number of thrusters and generators that can simultaneously fail and that are used in consequence analysis.

WSOG: Well specific operating guidelines.

Yellow alert: Degraded DP status for which the DP vessel has a pre-planned response to prepare for the risks associated with a DP red alert.

Capítulo 13: Anexos

En el CD anexo se incorporan una serie de documentos de referencia en el sector, de los cuales ha sido extraída parte de la información contenida en este trabajo.

Entre ellos se encuentran los documentos del IMCA más relevantes que traten temas de DP, así como recomendaciones de otras asociaciones de referencia en el sector.