



TRABAJO FIN DE GRADO

Curso 2013-2014

Fundamentos para un Operador de Sistemas de Posicionamiento Dinámico

Tutor: **Antonio Ceferino Bermejo Díaz**
Alumno/a: **Lidia Yurena Pérez Marcelino**
Pedro Ramírez González
Grado de Náutica y Transporte Marítimo.

ANTONIO CEFERINO BERMEJO DÍAZ, PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD DEL ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA NAVEGACIÓN, ADSCRITO AL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA NAVEGACIÓN, INGENIERÍA MARÍTIMA, AGRARIA E HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA.

CERTIFICA:

Que bajo su dirección se ha realizado el Trabajo de Fin de Grado de *Pedro Ramírez González* con DNI 42060114Z y *Lidia Yurena Pérez Marcelino* con DNI 45704962Y, titulado:

**FUNDAMENTOS PARA UN OPERADOR DE SISTEMAS DE
POSICIONAMIENTO DINÁMICO**

Y para que conste y surta los efectos oportunos, firma la presente a día doce de junio de dos mil catorce.

Antonio C. Bermejo Díaz

Introducción

El Sistema de Posicionamiento Dinámico o Dynamic Positioning System (DP) es una tecnología que ha madurando rápidamente. Tras haber nacido de la necesidad consecuente de las crecientes demandas de la industria de exploración de petróleo y gas, en vertiginosa expansión en la década de 1960 y principios de 1970.

Hoy en día el Sistema de Posicionamiento Dinámico es un método preciso de posicionamiento de buques y/o embarcaciones, haciendo uso de una perfecta combinación entre sistemas informáticos, sistemas de posicionamiento de referencia y sistemas de propulsión marina. Se considera una técnica establecida, generalizada y aplicada en toda navegación, desde sus comienzos en el mundo off-shore, pasando por buques de pasaje hasta sus primeras aplicaciones en embarcaciones de recreo.

El uso de DP abarca diferentes tipos de operaciones, como son: operaciones de buceo, ROV, perforación, tendido e instalación de tuberías, suministro (supply), FPSO (unidades flotantes de producción, almacenaje y descarga), buques multipropósitos, etc. Prácticamente cualquier tipo o forma de buque que haga uso del sistema Posicionamiento Dinámico.

La tecnología relacionada con DP ha cambiado y evolucionado muy rápidamente. Todos los sistemas de control complejos modernos, en el que se engloba los sistemas de DP, utilizan técnicas de modelado matemático como parte de su funcionalidad de control, el sistema contiene un modelo matemático, o la descripción de la dinámica del buque. Esto se utiliza para predecir continuamente y a tiempo real posiciones, cabeceos y velocidades. Estos datos se comparan continuamente con los correspondientes valores medidos, lo que permite el cálculo de comandos de empuje correctivos. Un sistema de DP es un ejemplo de una función automática de control de lazo cerrado.

Hoy en día, los buques se configuran como una red local totalmente integrada que cubre todo el control del buque y supervisa funciones e instalaciones. La instalación de procesadores puede proporcionar un funcionamiento, actuando bien sólo, o por una serie de dos, tres o tal vez más, a fin de proporcionar un nivel de redundancia. Si dos procesadores se proporcionan, entonces uno se encuentra en línea mientras las otras acciones actúan como reserva. Si se instalan tres, entonces existe la posibilidad de que una unidad opere en línea y dos en reserva. Todos los cálculos críticos así se triplican y se comparan; cualquier discrepancia permite la indicación automática y el rechazo de la unidad errante.

Como se acaba de hacer mención, la tecnología avanza a pasos gigantescos y con ello todo lo que a nuevos sistemas, procesadores y control automático de actuación del buque, se refiere. Pero, aún con estos avances, el factor humano de supervisión, registro e intervención, no puede ser suplantado bajo ningún concepto.

Así, es el operador del sistema de posicionamiento dinámico, el que con su conocimiento del sistema, experiencia y habilidad en operaciones, el que toma las decisiones, siempre bajo la aceptación del capitán del buque, en lo que a las operaciones se refiere. Todas las funciones procesadas, sólo facilitan, y en mucho, el trabajo del operador, permitiendo que el trabajo se realice de forma más cómoda y viable.

El objetivo del presente trabajo, se centra en la importancia inherente del operador del sistema, en el factor humano. Se trata de plasmar cómo el operador, debe manejar el sistema de posicionamiento dinámico, para conseguir en todo momento el fin de la operación que se persiga.

Índice

	Pag.
Capítulo I Antecedentes	5
1.1 Historia y Filosofía	6
1.2 Sistemas DP y Componentes	9
1.2.1 Componentes del Sistemas	10
1.2.2 Operador de DP (DPO's)	11
1.2.3 Man Machine Interface (MMI)	11
1.2.4 Sistemas de potencia y energía	12
1.2.5 Switchboards	14
1.2.6 Gestión de energía	15
1.2.7 Sistemas de suministro eléctricos ininterrumpidos, UPS	19
1.2.8 Propulsores	21
1.2.8.1 Propulsores convencionales hélice/timón.	22
1.2.8.2 Hélices de paso variable, CPP propellers	23
1.2.8.3 Propulsión acimutal, Azimuth Thruster	24
1.2.8.4 Azipods	25
1.2.8.5 Propulsores de túnel.	29
1.2.9 Thruster Failure Modes	30
1.3 Clasificación de Sistemas DP y Redundancia	32
1.3.1 Redundancia	34
1.3.2 Consideraciones de redundancia	35
1.3.3 Redundancia a bordo	36
1.3.3.1 Redundancia en controladores	36
1.3.3.2 Redundancia en posición y rumbo	37
1.3.3.3 Redundancia en la propulsión	38
1.3.3.4 "Consequence Analysis"	38

	Pag.
1.3.3.5 Redundancia en planta eléctrica. Generación y gestión de energía	38
1.3.3.6 Redundancia en sensores periféricos	38
1.3.4 Nomenclatura típica del DP	41
1.4 Principios de operación	44
1.4.1 Fuerzas y movimientos básicos	44
1.4.2 Modelado del sistema.	46
1.4.2.1 Modelo del viento	48
1.4.2.2 Desplazamiento	48
1.4.2.3 Compensación de error de la corriente	49
1.4.3 Filtro Kalman	50
1.4.3.1 Filtro Kalman para el Sistema DP	51
1.4.4 Sistema de avisos	53
1.4.5 Modo manual	53
1.4.6 Auto o modo DP	54
1.4.7 Modos operacionales del DP BÁSICOS	55
1.4.7.1 Joystick Manual Heading (JSMH)	55
1.4.7.2 Joystick Auto Heading (JSAH)	55
1.4.7.3 Posicionamiento Dinámico o Dynamic Positioning (DP)	56
1.4.7.4 Mínima Energía DP ó Dynamic Positioning Minimum	57
1.4.8 Modos operacionales NO Básicos del DP	58
1.4.8.1 Follow Track -Auto track mode	58
1.4.8.2 Alta velocidad Auto Track (High Speedy Auto Track)	59
1.4.8.3 Función Auto Sail	59
1.4.8.4 Piloto Automático ó Auto Pilot	60
1.4.8.5 Velocidad Automática ó Auto Speed	60
1.4.8.6 Follow Target (Follow Sub)	61
1.4.8.7 Tanker Modes	63

	Pag.
1.5 Sistemas de Referencias	66
1.5.1 Proyección Universal Transversal Mercator, UTM	66
1.5.2 Sistemas de Referencia de Posición, PRS	70
1.5.2.1 Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS). Sistemas de Posicionamiento satelital y Sistemas Diferenciales.	73
1.5.2.2 DARPS (Differential and Relative Positioning)	77
1.5.2.3 Artemis	79
1.5.2.4 FM Radar	81
1.5.2.5 Sistema de Referencia Láser	83
1.5.2.6 Sistemas de Posición de Referencia Hidroacústicos (HPR) ..	86
1.5.2.7 Taut Wire Systems	89
1.5.3 Sistema de Referencia Medioambientales	91
1.5.3.1 Referencia al rumbo, girocompases	92
1.5.3.2 Sensores	92
1.5.3.3 VRS/VRU/MRU	93
 Capítulo II Objetivos	 96
 Capítulo III Desarrollo	 98
 3.1 Competencias del Operador del Sistema de Posicionamiento Dinámico	 99
3.2 Planificación y guardia operativa	106
3.2.1 Planificación operativa	106
3.2.2 Preparación de los planes operativos	106
3.2.3 Planes de contingencia y rutas de abandono	108
3.2.4 Planificación y guardia operativa	110

	Pag.
3.2.5 Puesta en marcha inicial	110
3.2.6 Aproximación al lugar de trabajo	113
3.2.7 Guardia DP y comunicaciones	116
3.2.8 Listas de verificación	118
3.2.9 Órdenes permanentes y riesgos de bitácora	120
3.3 Procedimiento de actuación del Buque Miguel de Cervantes	122
Capítulo IV Conclusiones	132
Anexos	136
Anexo I: Checklist Bridge-Engine	137
Anexo II: Verificación, calibración y test PRS	140
Anexo III: Procedimiento de configuración Sistema Converteam	145
Abreviaturas y glosario	148
Bibliografía	152

Capítulo I

Antecedentes

Historia y Filosofía

Sistemas DP y Componentes

Clasificación y Redundancia

Principios de Operación

Sistemas de Referencia

1.1 Historia y Filosofía

Los sistemas de posicionamiento dinámico o sistemas DP, desde sus comienzos en la década de los sesenta, han evolucionado y evolucionan por diversas razones como flexibilidad, rentabilidad y porque los sistemas convencionales, tales como amarres, no terminaban de ser del todo viables. Los buques equipados con sistemas DP pueden desempeñar las mismas e incluso más funciones que los buques convencionales que carezcan de la instalación de este sistema. Existen beneficios evidentes en el ahorro de tiempo y costes en la realización de determinados tipos de operaciones entre buques que hacen uso de él y buques de amarre o fondeo convencionales.

El primer sistema de posicionamiento dinámico apareció en 1957 en relación con el proyecto estadounidense Mohole.

El objetivo del Proyecto Mohole perseguía perforar la corteza oceánica hasta alcanzar el manto terrestre, límite conocido como la discontinuidad de Mohorovicic. Para tener éxito, la perforación se debía realizar en la capa más delgada, coincidiendo con zonas de gran profundidad. La profundidad a alcanzar era de alrededor de 4500 m, demasiada para los sistemas de anclaje habituales.

La instalación de cuatro hélices de maniobra o propulsores a bordo del buque, CUSS 1, solventaban el problema. La posición en relación con el fondo del mar se encontró mediante la reducción de un transmisor hasta el lecho marino que transmitiese las señales hasta el buque. La posición con relación al transmisor se podría leer en una pantalla a bordo. Además, se usaron cuatro boyas de anclaje alrededor del buque. Estas señales de radio eran transmitidas al radar a bordo.

Usando diferentes combinaciones de empuje y dirección para las cuatro hélices, debería ser posible mantener la barcaza en la posición precisa, encima del lugar de perforación. El 9 del marzo de 1961 el CUSS 1 fue capaz de mantener la posición con la ayuda del “creado y nuevo sistema de posicionamiento dinámico” a una

profundidad de 948m en La Jolla, California. Después de un tiempo el buque completó cinco perforaciones en una profundidad de 3,560m, manteniendo su posición dentro de radio de 180m.

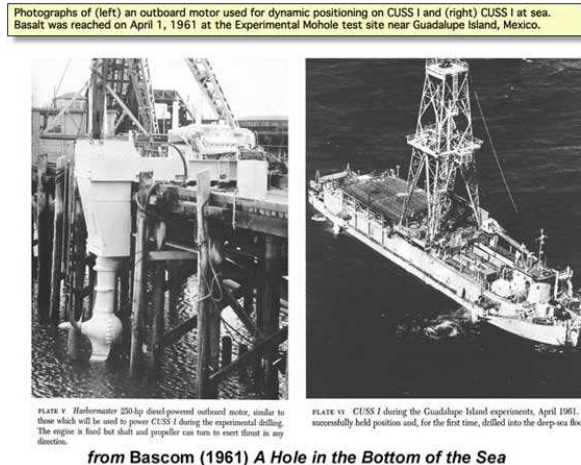


Fig. 1.1 Izqda: Motor fueraborda del CUSS1. Dcha: CUSS1, año 1961 [1]

Así, tras esta experiencia, nació la idea de desarrollar una unidad de control automático para salvaguardar la función de Posicionamiento Dinámico. Más tarde en ese mismo año, 1961, la compañía petrolera Shell, EE.UU., puso en marcha el buque de perforación EUREKA. En 1964 el buque CALDRILL 1 se entregó a Caldrill sociedad offshore, EE.UU., con un equipo similar a bordo. Ambos proyectos se realizaron con éxito. EUREKA perforó a una profundidad de 1300m con seis metros de altura de olas y vientos de hasta 21m/s. CALDRILL podía perforar a profundidades máximas de 2000m, equipado con cuatro propulsores maniobrables, cada uno con 300 caballos de potencia. Como sistema de referencia se hizo uso del Taut Wide, o tensión de cable.

Se despierta en Francia interés por la colocación de tuberías en el Mar Mediterráneo, con lo que el nuevo sistema de posicionamiento dinámico podría realizar estas operaciones de forma más segura y eficiente. En 1963, aparecen los primeros buques franceses con DP, llamados Salvor y Terebel, para cumplir con el objetivo de su país, instalación y tendido de tuberías en el Mediterráneo.

Unos años más tarde comenzó la aventura del petróleo en el Mar del Norte. Noruega y el Reino Unido se interesaron por el posicionamiento dinámico. British GEC Proyectos Eléctricos Ltd equipó en 1974 WIMPEY SEALAB, un viejo buque de carga convertido en un buque de perforación. En 1977 UNCLE JOHN, una plataforma semi-sumergible, con equipamiento similar a la que los estadounidenses y los franceses fue bautizado como equipo o "Sistema de posicionamiento dinámico (DP)".

Los armadores noruegos quisieron un sistema DP producido en Noruega debido a los problemas relacionados con la adquisición y obtención del servicio en el Mar del Norte de Honeywell, que prácticamente abarcaba el mercado entero de DP a principios de los años 1970. La investigación se arrancó en Tonrdheim y un nuevo concepto fue presentado, Kongsberg. El primer buque en usar un sistema DP noruego fue el SEAWAY EAGLE el 17 del mayo de 1977.

A principios de 1980 los sistemas DP experimentaron una gran difusión, en la actualidad existen en el orden de 3.000 buques con DP integrados.

1.2 Sistemas DP y Componentes

Se puede definir un Sistema de Posicionamiento Dinámico como:

“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”

[2]

Es decir, es un sistema computarizado o informatizado que permite al buque controlar y mantener su posición, en un rango muy estrecho de error, mediante propulsión activa y haciendo uso de sistemas de equipos, sensores y propulsores. No se trata de una mera pieza de equipamiento, se puede considerar como una capacidad del buque lograda mediante la integración de una gran variedad de sistemas y funciones.

Un buque con capacidad de DP debe tener una combinación de potencia, maniobrabilidad, capacidad de navegación y de control de datos procesados, con el fin de proporcionar la capacidad de posicionamiento fiable. Esto forma un sistema integrado que incluye elementos tales como la planta de la nave de energía, propulsión y propulsores, sistemas de navegación, giroscópicos y ordenadores de control, sin olvidar el elemento humano.

Todos los sistemas complejos de control modernos, como el DP, utilizan técnicas de modelado matemático para su funcionalidad de control. El sistema contiene un modelo matemático o descripción de la dinámica del buque. Ello se utiliza para predecir continuamente futuras posiciones, rumbos y velocidades. Estos datos se contrastan de forma activa y continuada con los correspondientes valores medidos, lo que permite el cálculo, aplicación y corrección de empujes, a tiempo real. Un sistema de DP es un ejemplo de una función automática de control de lazo cerrado. Este apartado se estudiará con mayor profundidad en el apartado de Filtro Kalman.

El modelo matemático del buque en cuestión, incluye información sobre el efecto del viento y la corriente ejercidos sobre el buque y la situación de los propulsores. Este modelo, combinado con los sensores, permite al ordenador calcular la potencia y dirección necesaria a aplicar en cada propulsor. Así se realiza y facilita, en gran medida, las operaciones de control y maniobra del buque, 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.

En realidad, el corazón y el cerebro de cualquier sistema DP es su ordenador controlador. 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 Operador del Sistema de Posicionamiento Dinámico, sus siglas en inglés corresponden a, 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 éste las órdenes pertinentes al sistema de propulsión y gobierno para reducir (o mantener) este error a cero.

1.2.1 Componentes del Sistema

Tal y como se ha mencionado, en un sistema DP se integran varios componentes, donde cada uno de los cuales son vitales para operar. Como dice el refrán "una cadena es tan fuerte como el eslabón más débil". Los componentes principales son:

- Sistema de Potencia y Energía.
- Sistema de Propulsión.
- PRS (Posicionamiento por Sistemas de Referencia)
- Giroscópicos (Sistemas de Referencia de Rumbo)
- Referencias del entorno. Sensores y equipamiento periférico.
- Sistema de control. Consola de control.
- Ordenador central.

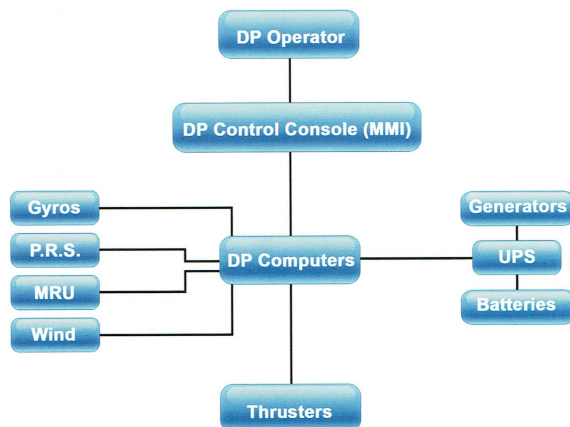


Fig. 1.2. Esquema General de Sistema DP [3]

1.2.2 Operador de DP (DPO's)

Al considerar el funcionamiento del sistema de DP, queda claramente manifiesto que el DPO es una parte muy importante del sistema. La efectividad de las operaciones depende de una combinación de factores, tales como: trasfondo profesional, experiencia, formación y certificación.

El personal directamente implicado en la gestión de los sistemas de DP de abordaje y los barcos son los DPO's, los oficiales de navegación y los capitanes.

Un operador de DP necesita tener amplio conocimiento no sólo de los equipos, sino de las operaciones e instalaciones a bordo, vinculadas con todo el sistema DP. Se hará un estudio más detallado en el capítulo "Desarrollo del TGF".

1.2.3 Man Machine Interface (MMI)

El MMI es una característica importante, permite la operación segura y eficiente del sistema ayudando al operador a tomar decisiones operacionales óptimas. Durante su funcionamiento normal reduce el riesgo del error humano. Se ha hecho hincapié en la ergonomía, operación lógica, presentación eficaz de la información pertinente y sencillez de uso.

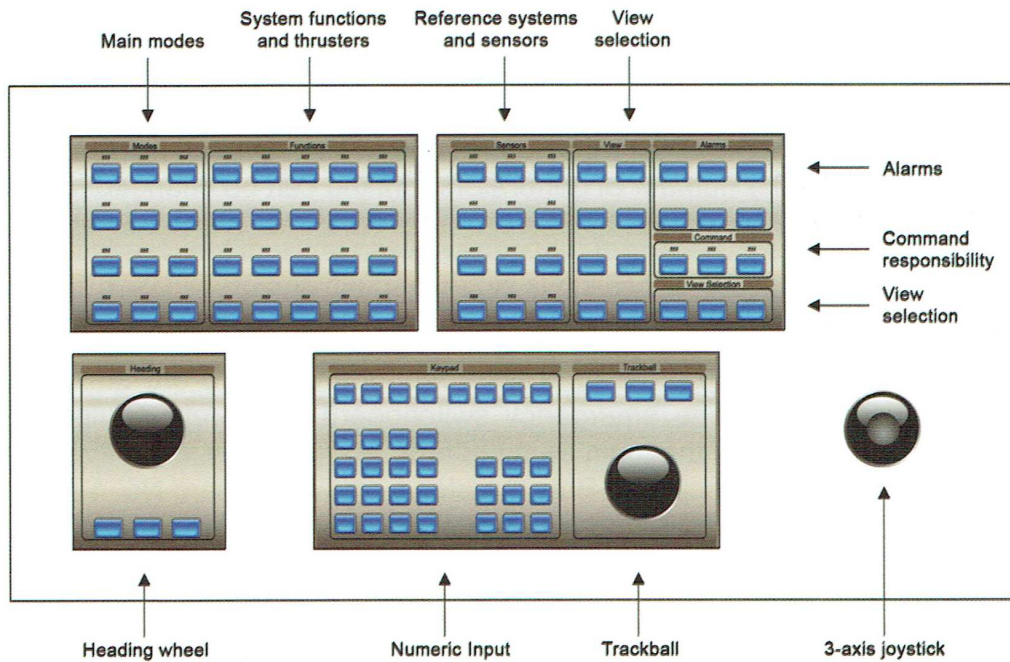


Fig. 1.3. Ejemplo MMI de un equipo kongsberg [3]

El panel del operador proporciona botones específicos para la activación de los modos principales, sistemas de referencia, propulsores y otras funciones, donde las luces indicadoras son de gran importancia para la evaluación de la situación. Funciones usadas con frecuencia se pueden iniciar desde los botones del panel.

La pantalla se organiza con cuatro vistas mostradas simultáneamente:

- Vista de Avisos: se encuentra justo debajo de la barra de menús.
- Vista del Rendimiento: superior izquierda.
- Vista de Trabajo: centro.
- Vista Monitorizada: inferior izquierda.

1.2.4 Sistemas de potencia y energía.

La potencia se define como el sistema motriz que impulsa los propulsores y proporciona suministro eléctrico para el resto de equipos.

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. Los propulsores o thrusters pueden ser alimentados por motores eléctricos individuales o bien por el motor general del buque. El sistema de DP puede Disponer de un sistema de energía específica, es decir, la sala de máquinas específica para DP o bien, puede compartir la potencia disponible con el motor o generador principal. Por ejemplo, la energía generada en un buque de perforación sería compartida entre el sistema DP, unidades de perforación y unidades iluminación, aire acondicionado, cocina, etc.

“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.”

[4]

En una instalación diesel-eléctrica, varios generadores proporcionan energía a un cuadro de distribución o conmutador sobre una estación eléctrica. Es decir, 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. 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. Por lo general, las configuraciones del voltaje generado en la instalación diesel-eléctrica es de alta tensión, 6 kV o 6.6kV. Se prefieren voltajes más altos en instalaciones con grandes consumos de energía, mientras que la intensidad se mantiene a bajo nivel. Los cuadros eléctricos principales y auxiliares, funcionan a 440 V o 240 V.

Los generadores son impulsados por motores diesel, cada uno de los cuales debe estar provistos de servicios independientes, como el combustible, refrigeración y lubricación. El fallo de un generador dejará otros en línea, y los márgenes normal de trabajo deben asegurar que la pérdida de un generador no dé lugar a una estado de emergencia. El número de generadores en funcionamiento puede variar según la alimentación requerida.

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.

1.2.5 Switchboards

La energía generada a bordo tiene que pasar a través de los switchboards . Con el fin de proporcionar redundancia al sistema, debe haber al menos, dos cuadros generales y un cuadro de emergencia. Los Diferentes equipos estarán conectados independientemente a uno de los cuadros generales, de forma que se proporcione mayor redundancia, por ejemplo, la hélice de proa N°1 en la cuadro de distribución N° 1 (BUS 1). Hélice de proa N°2 en la cuadro de distribución N° 2 (BUS 2).

Cada equipo dispone de un circuito de protección de los cuadros eléctricos o switchboard con el fin de proteger al sistema de posibles cortocircuitos. Es decir, en buques de propulsión diesel-eléctrica, las barras de potencia se encuentran divididas en dos o más secciones con interruptores de barras (BUS TIE) entre ellas. De la misma forma que permiten asociar los dos cuadros entre sí.

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

[4]

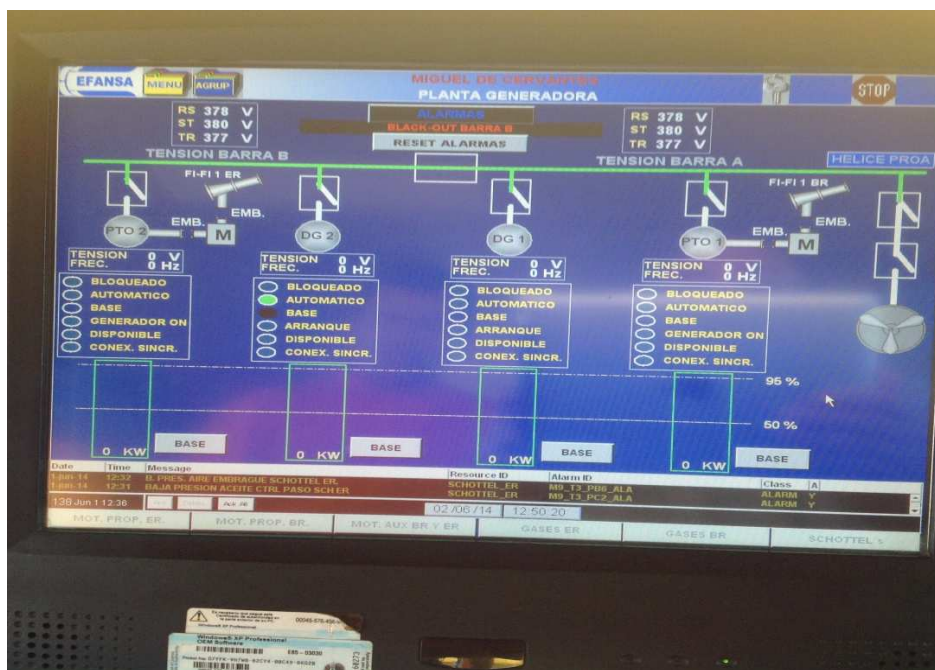


Figura 1.4. Esquema general de la Planta de Energía del Buque Miguel de Cervantes. [5]

1.2.6 Gestión de energía

La función principal de un sistema de gestión de energía es asegurar la continuidad de suministro de energía eléctrica bajo todas las condiciones. Como función secundaria, debería asegurar una rápida recuperación ante un posible apagón general o blackout, en caso de que el sistema no pueda cumplir con su función primaria. Una buena práctica para llevar a cabo una operación y redundancia con seguridad es la vigilancia o supervisión de la energía disponible.

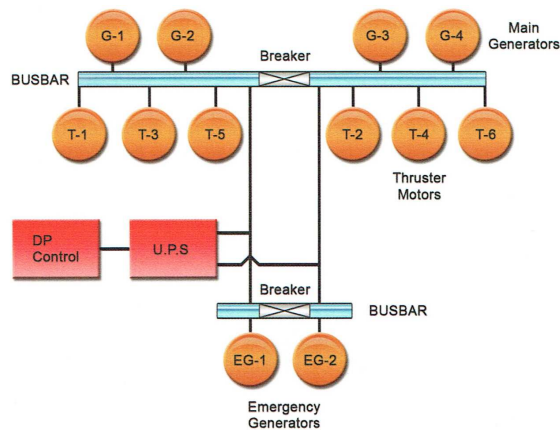


Fig. 1.5. Esquema general de Planta de energía. [3]

“Todos los barcos modernos están equipados con software de gestión de la planta eléctrica. La principal función de este software es asegurar que el adecuado número de generadores están en funcionamiento en función de la demanda global de energía, incluyendo potencia extra en caso de que surgiese alguna contingencia. El sistema monitoriza continuamente la demanda de potencia así como la potencia disponible de reserva y es capaz de arrancar generadores que se encuentran en espera si la reserva es considerada insuficiente” [4].

En general, debería haber suficiente energía disponible para proveer la demanda exigida en cada momento, con una reserva equivalente a la que se está generando, como medida preventiva ante la pérdida de un generador.

En casos donde uno o más generadores se encuentran parados o en standby, se dispondrá de arranque-inicio automático, “auto start”, activando o poniendo en línea alguno de los generadores donde previamente se haya fijado el límite de la energía disponible. Las alarmas se activarán cuando se alcance o supere el 80% de potencia total.



Fig. 1.6. Interruptor de barra “BUS TIE BRAEKER”. [5]

El sistema de control de energía tiene por objeto asegurar el límite de energía crítica y evitar situaciones de caídas de planta o cero eléctrico (blackout). Un sistema simple de gestión de energía garantiza que los cortos bajo condiciones de sobrecarga. Sistemas más complejos contienen niveles de desconexión de carga a valores predeterminados "start-bloqueo". 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. 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.

En operaciones Equipo DP clase 2 y clase 3, el nivel de redundancia requerido es tal, que la potencia disponible para el mantenimiento de la posición debe ser capaz de mantener posicionado al buque incluso con la caída total del sistema, es decir, la pérdida completa del cuadro de distribución y generadores. Los buques equipados con DP2 puede tener secciones bus-bar conectados por interruptores bus-tie, pero estos interruptores deben separar automáticamente la sobrecarga o cortocircuito dentro de una sección. Los buques de la Clase 3 de Equipo deben

funcionar con interruptores bus-tie abiertos, en cada sección de barra aislada del resto.



Fig. 1.7 Simulación de Alarma por BLACKOUT en Barra B [5]

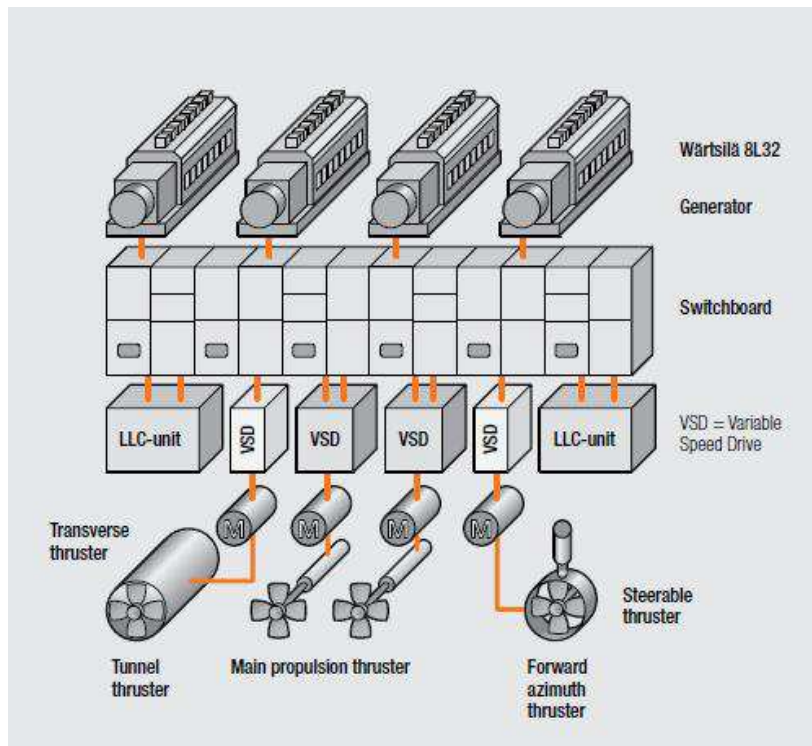


Fig. 1.8 Ilustración de un cuadro de Propulsión Diesel- Eléctrica.[6]

1.2.7 Sistemas de suministro eléctricos ininterrumpidos, UPS

El sistema DP (ordenadores, consola de puente, posición y PRS) requiere una fuente de alimentación estabilizada para evitar picos de voltaje, y proporcionar una reserva de energía en una posible caída de planta.

Los UPS (Uninterruptible Power Supplies), proporcionan la función de suministro ininterrumpido a las áreas operativas de la embarcación, proveyendo una absoluta redundancia a los aparatos eléctricos del DP, así como a los elementos electrónicos asociados. Los UPS están compuestos 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 alimentan a los propulsores o hélices, ni a sus mandos y tampoco al cabrestante del Tautwire.

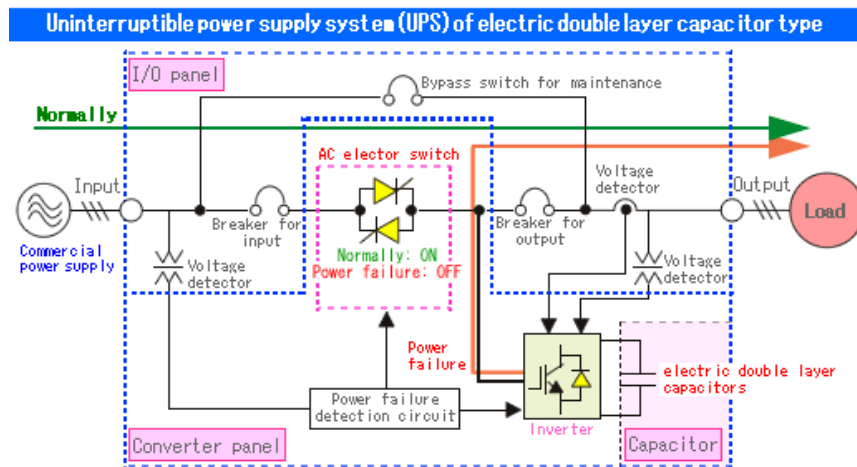


Fig. 1.9 Uninterruptible power supply system (UPS) of electric double layer capacitor type. [7]

Para el equipo DP Clase 2 y 3 (hablaremos de la clasificación de los equipo en próximos apartados), la fuente de alimentación debe ser

plenamente redundante sin errores puntuales. La alimentación de reserva de la batería debe tener una duración mínima de 30 minutos (requisito de la Classification Society).

Con el fin de proporcionar una mayor fiabilidad, se proveen de dos equipos UPS completos, cada uno media alimentación del sistema DP redundante. Cada UPS es, en sí mismo, redundante con una batería de respaldo, pero en el caso de fallo de un UPS, el UPS complementario mantendrá operativas las funciones DP.

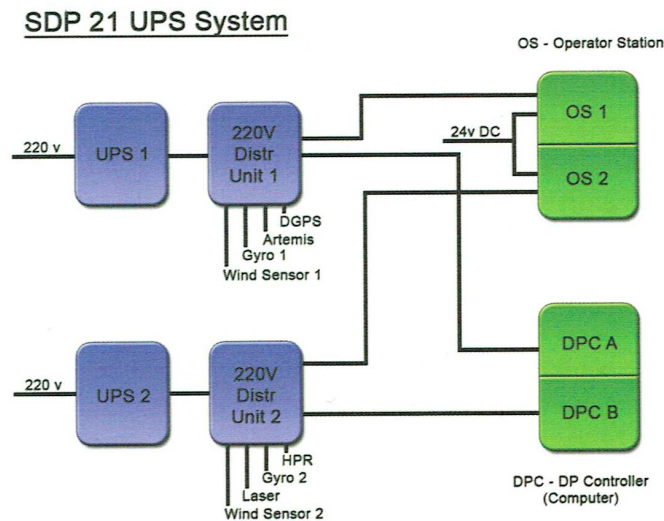


Fig. 1.10 Esquema de sistema UPS para Sistema de Posicionamiento Dinámico clases 2.1 [3]

Obviamente durante un apagón total del buque, no se está bajo control de DP, no hay energía disponible para los propulsores, pero el propósito de la UPS es mantener la "información" actualizada durante la pérdida de potencia, de manera que cuando el se reestablezca la planta, el sistema DP entre de nuevo en línea, sin necesidad de reiniciar procesadores o girocompases.

1.2.8 Propulsores

Un sistema de propulsión, aplicado al DP de los buques, debe ser capaz de generar fuerzas que contrarresten las fuerzas ambientales, tales como el viento, corrientes, y oleaje, además de las fuerzas resultantes de la resistencia de una serie desplegada, tubos, tubos de subida, etc., durante la operación del mantenimiento de la estación. Las fuerzas medio ambientales son omnidireccionales, por lo tanto, los sistemas de propulsión o dispositivos deben tener la capacidad de generar el empuje en la totalidad de 360 grados.

El sistema de DP debe ser capaz de controlar todas los hélices, timones y propulsores, es decir, enviar órdenes y monitorizar valores de rpm, paso de hélice y el ángulo del timón.

Los buque que hacen uso del un sistema DP navegan a niveles de potencia medios o bajos, durante la mayoría de las operaciones. Los registros de un número de buques perforadores DP muestran una carga media de menos del 40% de la carga máxima en el sistema de propulsión. Por lo que, el sistema de propulsión debería estar diseñado para el pico de eficiencia en niveles de potencia menores que a carga total. La eficacia de los thrusters es un factor predominante para operaciones satisfactorias y económicas.

Los tipos de propulsores más convencionales encontrados a bordo son de un buque DP:

- Hélice/timón convencional.
- Propulsores azimutales.
- Propulsores de túnel.

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

[4]

Se requieren al menos tres propulsores para poder hablar de una correcta propulsión para un sistema DP. A estos tres habría que añadir más, si se quiere cumplir con los diferentes niveles de clase existentes, DP1, DP2, y DP3 y sus requisitos de redundancia, se hablará de ello de forma más específica en el apartado de redundancia.

A continuación se describirán los tipos de dispositivos de propulsión aplicados y disponibles, para el mantenimiento del buque. Se abordarán consideraciones, ventajas y desventajas asociadas al uso de cada uno de los sistemas.

1.2.8.1 Propulsores convencionales hélice/timón.

Un buque DP equipado con este sistema como propulsión principal, deberá hacer uso de este en conjunción con otros sistemas auxiliares para combatir las fuerzas causantes de guiñada, avance/retroceso o un desplazamiento lateral. Por supuesto, las hélices 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.



Figura 1.11. Hélice de paso fijo (sist.convencional). [8]

La desventaja que presentan este tipo de propulsión es que, en los DP, las cargas y la potencia de los propulsores resulta mucho menor que la requerida para una navegación de tránsito. Si la potencia es

obtenida por motores diesel, los problemas vienen asociados al rendimiento de trabajo muy liviano.

1.2.8.2 Hélices de paso variable, CPP propellers

Hoy en día pueden instalarse hélices de paso fijo junto con motores eléctricos de velocidad variable (VSDs), sin necesidad de instalar CPP. “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)”. [4]



Figura 1.12 Hélice de paso variable. [9]

Ventajas:

- Tecnología conocida.
- Disponibilidad de gran variedad de tipos.
- Posible empuje transversal.

Inconvenientes:

- Si se dañan sus partes móviles pueden requerir el dique seco, para su reparación.
- Costes de mantenimiento más altos que las unidades de paso fijo.
- Menos efectivo máquina atrás.
- Requieren de calibrado.

1.2.8.3 Propulsión acimutal, Azimuth Thruster

“Un propulsor azimutal convencional consiste en un eje de transmisión horizontal impulsado por motor eléctrico o generador diesel. Una transmisión convierte el movimiento horizontal en vertical, pasándolo a través del casco con un sello para nuevamente otra transmisión reinvierte el movimiento de giro en horizontal transmitiéndolo a la hélice. La hélice en sí mismo puede ser de paso fijo o de paso variable. Gran parte de los buques DP son equipados con propulsores azimutales como parte de su sistema de propulsión. Las unidades de este tipo son muy versátiles, pues son capaces de entregar en cualquier dirección la potencia de cero a máxima.”

[4]



Fig. 1.13 Hélices Acimutales. [10]

Consideraciones:

- Puede ser fijo o retráctil.
- Pueden ser fijas o de paso variable.

Ventajas:

- El barco puede posicionarse o mantenerse dinámicamente en aguas abiertas.
- Permite amarrar el barco en posiciones climatológicas adversas.
- Instalación flexible y en un espacio reducido. Construcción modular con subensamblajes mecánicos, hidráulicos y

eléctricos que aseguran una instalación compacta y flexible, facilitando cualquier labor posterior de mantenimiento.

- Incremento de la eficacia respecto a los sistemas tradicionales.
- Supone ahorro de espacio, trabajo y dinero: la ausencia de pesados ejes y elementos mecánicos ahorran espacio aprovechable para la misión principal del barco.
- El costo inicial del equipo se ve recompensado por la disminución de los costes de construcción y horas de mano de obra de instalación.
- Incremento espectacular de la maniobrabilidad del barco.
- Posibilidad de girar 360° sobre su propia longitud.

Inconvenientes:

- Debido a su alto y sofisticado componente mecánico, los propulsores azimutales son particularmente sensibles en caso de varada o embarrancada.
- Necesidad de zonas enrejadas para detener el efecto entre los propulsores/thrusters.
- Puede interferir con las operaciones de buceo o ROV.
- Si se invierte el flujo, son menos eficientes. Necesidad de revisar las curvas de empuje y asegurarse de que se está operando de manera correcta.
- Si se trata de thrusters fijos, se aumenta el calado del buque.
- Las retráctiles son más complejas.
- Las unidades CPP requieren calibración.

1.2.8.4 Azipods

“El azipod es una cápsula sumergida que contiene en su interior una unidad de propulsión eléctrica, que consiste en un motor eléctrico de velocidad variable, que a través de su eje interior acciona una hélice de paso fijo. La cápsula o barquilla puede girar libremente alrededor de su eje vertical para proporcionar empuje

en cualquier dirección. Es decir, un solo sistema nos proporciona empuje y dirección, de este modo, el buque no precisa timones, hélices transversales a popa o largas líneas de eje en el interior del buque. Los Azipods se pueden diseñar de tiro o empuje, esto dependerá de la colocación de la hélice con respecto a la barquilla. Si la hélice esta colocada delante de la barquilla tendremos un Azipod "tractor" de tiro, si por el contrario, va instalada a popa de la barquilla el azipod será de empuje”

“Por diseño, los azipods para buques mercantes, tienen limitada su potencia entre 5 y 25 MW, con velocidades a máxima potencia entre 120 y 240 rpm, por lo cual cuando se quiere disponer de más potencia para alcanzar velocidades más altas se podrá conseguir instalando más Azipods. La configuración varía desde un azipod colocado a cruzía en la zona del codaste, hasta cuatro, siendo la configuración más usual la de dos azipod azimutales, situados en paralelo, uno a cada banda y a la misma distancia de la línea de cruzía. En el caso de añadir un tercer azipod, éste será central y fijo en la línea de cruzía del buque”



Fig. 1.14 Sistema Azipod. [11]

La hélice del azipod ha de trabajar dentro de la estela de la hélice principal, luego para evitar cavitaciones y vibraciones la hélice del azipod ha de ser ligeramente menor que la hélice principal,

aproximadamente entre el 70 y el 80% del diámetro de ésta.

De todas las ventajas que proporciona este sistema de propulsión y gobierno, son sin duda:

- *Excelentes características dinámicas y de maniobrabilidad, derivadas de poder disponer del máximo empuje, en cualquier dirección y sin apenas retraso.*

- *Se dispone durante la navegación de cambios de rumbo con mayor rapidez y radios de giro del buque mucho menores.*

- *Permite realizar maniobra de parada de emergencia en distancias manifiestamente menores a la conseguida con la propulsión convencional.*

- *Posibilidad de maniobrar el buque a muy bajas revoluciones. Derivado del hecho de trabajar con motores eléctricos alimentados a través de convertidores de frecuencia, los cuales son capaces de proporcionar el par máximo de trabajo a cualquier velocidad del motor. Todas estas características aumentan la seguridad del propio buque y de la navegación.*

- *Eliminaciones de los timones, largas líneas de ejes, reductoras, servomotores, hélices transversales a popa y hélices de paso variable.*

- *Flexibilidad para la localización en la sala de máquinas, consiguiendo con ello menores ruidos y vibraciones, así como, un aumento de la seguridad instalando sistemas redundantes.*

- *Permitir compensar la fuerza transversal producida por el giro de la hélice principal cuando el buque va avante,*

- *Si se trata de CRP Azipod (Hélices contra-rotativas), permite repartir la potencia entre las dos hélices con lo que la carga que soporta cada una de ellas es menor y por lo tanto los diámetros de las mismas pueden ser más pequeños.*

- *Reparto de la potencia entre las dos hélices con lo que le carga que soporta cada una de ellas es menor y por lo tanto los diámetros de las mismas pueden ser más pequeños.*



Fig. 1.15 The podded propulsion system (Helices contra-rotativas) [12]

- *Reducción del consumo de combustible, lo que implica una reducción de la contaminación por emisión de gases, factor que ganará relevancia a medida que la legislación medioambiental se vaya haciendo más estricta. “ [15]*

Inconvenientes:

- Requiere una mayor familiarización, debido a su innovación tecnológica.
- Diferentes consideraciones en las maniobras, por ejemplo, la manera más favorable de parar es girando hacia fuera, así el flujo de agua actúa como freno.
- Posible pérdida de posición al realizar cambio entre los modos de propulsión.
- Los giros a altas velocidades pueden causar daños.

1.2.8.5 Propulsores de túnel.

El objetivo del diseño para un thrusters transversal es la generación de una cantidad máxima de empuje a una potencia dada en ambas direcciones, estribor y babor. Por norma general, los buques DP están equipados con hélices transversales de túnel tanto a proa como a popa. Como todo tipo de hélices, éstas pueden ser de paso fijo o variable, pero siempre se encuentran alineadas babor-estribor.



Fig. 1.16 Propulsores Túnel de proa. [11]

Consideraciones:

- Requieren estar ubicados lo más profundo posible, al menos uno y medio el diámetro de los propulsores por debajo de la línea de agua.
- Empuje fijado en una dirección, por lo general sólo transversal.
- La longitud óptima del túnel es aproximadamente el 1,5 del diámetro del propulsor. Un gran túnel causa incremento de pérdidas por fricción, y un túnel demasiado pequeño causa pérdidas por turbulencias.
- Los ángulos del casco a la línea central del propulsor, diferentes a 90°, causan pérdidas adicionales.

Ventajas:

- Tecnología conocida.
- Igualdad de empuje en ambos sentidos.

- Paso controlable ofrece un control preciso.

Inconvenientes:

- A medida que aumenta la velocidad resultan menos eficaces. A cuatro nudos presentan un 50% de efectividad.
- Pueden requerir de reparaciones en dique seco debido a sus partes móviles.
- Mayor mantenimiento que hélices de paso fijo.
- Unidades CPP requieren calibración.

1.2.9 Thruster Failure Modes

Los propulsores resultan complejos, y, como tal, vulnerables a una variedad de fallos dependientes del tipo de unidad. Las unidades de paso variable son las que presentan un mayor índice de posibilidades de fallo, con el agravante de que la reparación del equipo sólo se podría llevar a cabo en dique seco y éste no podría ser debidamente probado hasta que el buque es de nuevo a flote.

El fallo más común en las hélices de paso variable sea el paro o “congelación” en el paso o revoluciones de la hélice, conocido como "fail-as-set", o una combinación de ambos. Es importante que el operador detenga de inmediato el propulsor, un propulsor fuera de control, con independencia del nivel de redundancia, puede desestabilizar rápidamente el capacidad de posicionamiento del buque.

Las hélices de paso variable, deben tener un valor seguro de fallo o “fail-safe”, este fallo por lo general, está relacionado con una pérdida de control en el sistema hidráulico. En un sistema DP, se requiere que este valor o fallo sea neutro, con un valor cero en el paso de la hélice. Es importante tener en cuenta que otros fallos pueden dejar la hélice con ángulos de paso residuales.

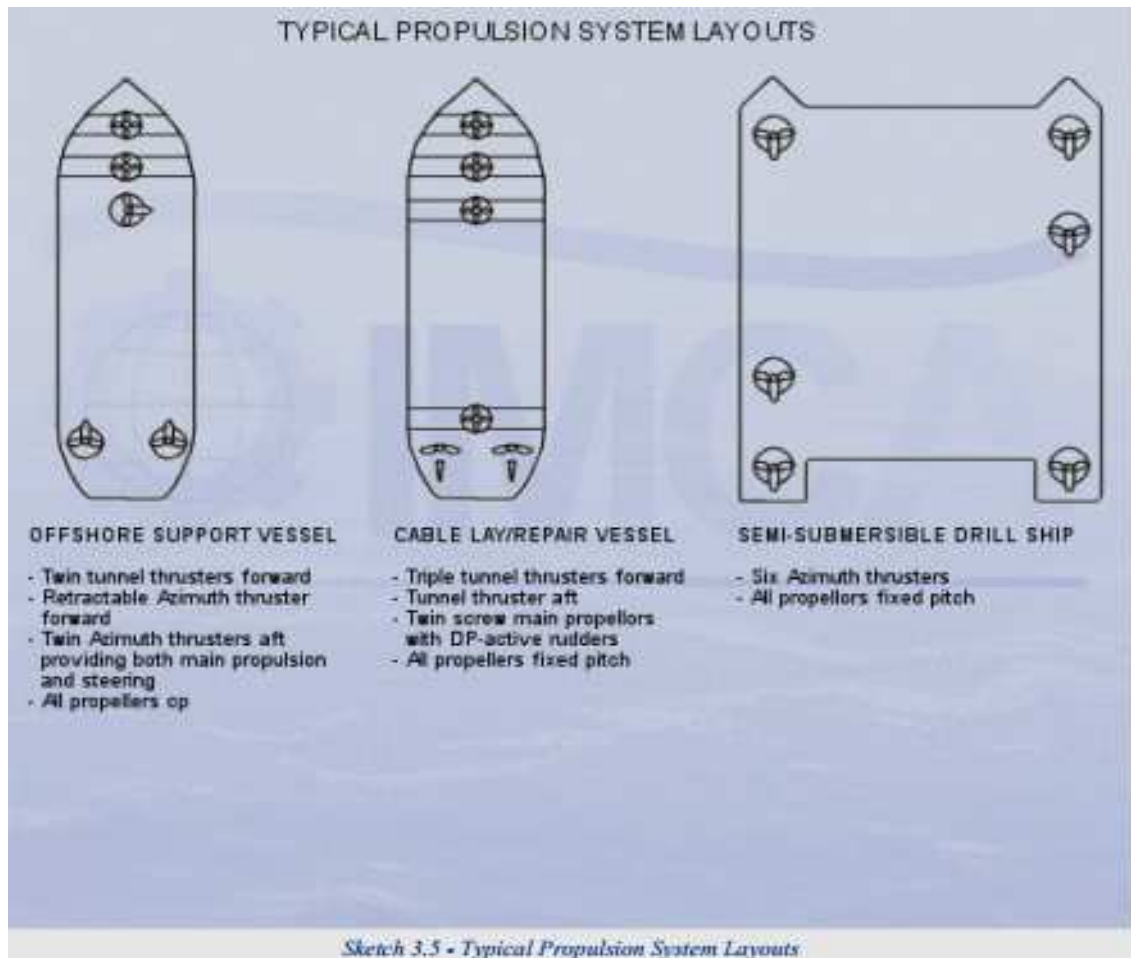


Fig. 1.17 Típica distribución de los propulsores en los buques con sistema DP. [14]

1.3 Clasificación de Sistemas DP y Redundancia

La IMO Marine Safety Committee Circular 645 (MSC 645 – 6 June 1994), 'Guidelines for Vessel's with Dynamic Positioning Systems', tiene por objeto proporcionar normas internacionales para los sistemas de posicionamiento dinámico. Este documento define tres clases de equipo DP, destinados a proporcionar diferentes niveles de fiabilidad a las consecuencias de la pérdida de posición. Las tres clases de equipos se definen por el efecto de la insuficiencia y naturaleza de los fallos a considerar.

La clase de equipo del buque requerido para una operación en particular deberá ser acordada entre el armador del buque y sus respectivos clientes basándose en un análisis de riesgo de pérdida de posición. Algunos Estados imponen requisitos mínimos en la clase de equipo DP para actividades realizadas dentro de su dominio.

La clasificación de equipos y sistemas DP aborda la fiabilidad, tolerancia a la redundancia y los posibles fallos del sistema. Se especifican tres niveles diferentes de requerimientos básicos, DP1, DP2 o DP3:

1) *DPS-0, o DPS1*. En caso de fallo aislado puede perderse posición y rumbo. La IMO no reconoce el DPS-0.

2) *Buque con notación DPS2*. No puede ocurrir una pérdida de posición o rumbo en caso de fallo aislado en cualquier componente activo del sistema, con exclusión de una pérdida de compartimento o compartimentos. Normalmente los componentes estáticos no fallan, cuando se demuestra protección adecuada bajo los parámetros y a satisfacción de la administración de la bandera. El Criterio de fallos aislados incluye:

a) Cualquier componente activo (generadores, propulsores, centralitas válvulas de control remoto, etc).

b) Cualquier componente estático (cables, tuberías, válvulas manuales, etc) que no esté debidamente documentado con respecto a la protección.

3) *Buque con notación DP3*. No puede ocurrir una pérdida de posición o rumbo en caso de fallo aislado en cualquier componente activo del sistema o estática, incluyendo la pérdida completa de un compartimiento debido a un incendio o una inundación. El criterio de fallos aislados incluye:

- a) Los ítems incluidos en la clase 2, además;
- b) Todos los componentes de un compartimiento estanco.
- 3) Todos los componentes de un compartimiento ignífugo.

Las fuentes de clasificación de necesidad de redundancia varían dependiendo de la zona geográfica, el tipo de operaciones, normas y reglamentos, las destacadas son:

Regulador	Ejemplo
Sociedades de clasificación	Lloyds, DNV, ABS, BV
Regulaciones gubernamentales	HSE (UK), NMD (Norway)
Fletadores	BP, Shell, Cable and Wireless
Armadores	DSND
Otros	IMCA, Nautical Institute, etc

Tabla 1.1 Resumen Sociedad Clasificadoras [3]

IMO	NMD	DNV		Lloyds	ABS	BV	GL
Equipment Class	Consequence Class	Class Notation		Class Notation	Class Notation	Class Notation	Class Notation
	NMD CLASS 0	DYNPOS AUTS	A dynamic positioning system without redundancy	DP (CM)	DPS-0	DYNAPOS SAM	
CLASS 1	NMD CLASS 1	DYNPOS AUT	A dynamic positioning system, with an independent joystick back-up and a positioning reference back-up.	DP (AM)	DPS-1	DYNAPOS AM/AT	DP 1
CLASS 2	NMD CLASS 2	DYNPOS ATR	A dynamic positioning system with redundancy in technical design and with an independent joystick back-up.	DP (AA)	DPS-2	DYNAPOS AM/AT R	DP 2
CLASS 3	NMD CLASS 3	DYNPOS AUTRO	A dynamic positioning system with redundancy in technical design and with an independent joystick back-up. Plus a back-up DP-control system in an emergency DP-control centre, designed with physical separation for components that provide redundancy.	DP (AAA)	DPS-3	DYNAPOS AM/AT RS	DP 3

Tabla 1.2 Nomenclaturas según Sociedad Clasificadoras. [3]

1.3.1 Redundancia

En el diseño y operatividad de un buque con sistema DP, un solo fallo podría causar cuantiosos daños. Este “fallo o error catastrófico” se define como el fallo que podría originar la pérdida de la posición prevista causando alto riesgo y peligrosidad en las operaciones, generando, no sólo de daños materiales, sino incluso pérdida de vidas humanas.

Un buque, en términos de DP, posee redundancia cuando es capaz de mantener una copia de seguridad de las funciones del equipo de modo que si una línea del sistema fallase, se dispondría de copia de seguridad capaz de tomar el relevo. 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 standby” 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. La redundancia del sistema no significa que el equipo fallará con menos frecuencia, lo que se espera es que los sistemas fallen en diferentes momentos. De igual forma, proporciona que el buque continúe estando en control DP y las operaciones puedan ser finalizadas en condiciones de seguridad.

Así, se podría definir redundancia como:

“La habilidad del buque para soportar la pérdida de cualquier componente individual sin perder la posición o el rumbo”.

[4]

El diseño básico y concepto de redundancia del sistema DP de un buque se desarrolla en la fase inicial del diseño. La documentación debe incluir, al menos:

- i) Estructura general de un sistema de DP
- ii) Diseño en el peor de los casos de fallo: Worst case failure design intent (WCFDI)

- iii) La limitación de las condiciones ambientales para la operación de DP
- iv) las configuraciones de la central eléctrica para la operación de DP
- v) la pérdida admisible de fuentes de energía después de un fracaso
- vi) el número permitido de propulsores fallidos
- vii) El periodo de tiempo para terminar de forma segura una operación de DP después de considerar el primer fallo aislado.

1.3.2 Consideraciones de redundancia.

- Redundancia es tener dos o más elementos del equipo o sistema, necesario para realizar una función de modo que la unidad redundante pueda hacerse cargo de la unidad que ha fallado sin interrupción inaceptable de la función.
- Redundancia es basarse en los sistemas que están inmediatamente disponibles para su uso. En general, la parada y el reinicio del sistema no se ejecutan.
- Inicio automático de los equipos puede ser aceptada como contribución redundante sólo si pueden ser puestos en funcionamiento antes de la pérdida de posición y rumbo.
- La redundancia depende de los sistemas disponibles tanto en número y capacidad de producción requerida por el DP tras un fallo en el peor de los casos. Cada grupo de redundancia debe tomar de forma independiente todas las funciones técnicas.
- El diseño puede constar de dos sistemas de alimentación y propulsión totalmente redundantes, cada uno capaz de mantener la posición y el rumbo en situaciones de fallo. El diseño de redundancia es proporcionar combinaciones adecuadas de los sistemas disponibles después de cualquier fallo definido.
- Se deben prevenir la transferencia de fallos entre los subsistemas redundantes mediante la separación de los sistemas redundantes.

- El fracaso en los componentes o sistemas redundantes ha de ser revelada por las alarmas. La posibilidad de fallos ocultas debe ser minimizado a través de pruebas periódicas.

1.3.3 Redundancia a bordo.

1.3.3.1 Redundancia en controladores.

- Clase *DP1*, un ordenador de control es adecuado.
- Clase *DP2*, requiere de dos equipos idénticos y paralelos. Cada ejecuta de forma independiente y en paralelo, recibiendo la misma información y realizando los mismos cálculos. Uno se encuentra “on-line”, mientras que el otro actúa de respaldo “back-up”. Cada procesador monitoriza su homólogo, de modo que, si las dos unidades no se están ejecutando de manera idéntica, se activa una alarma indicando la pérdida de redundancia. Se ejecuta una "transferencia sin saltos" de datos entre las computadoras, es decir, si falla el procesador “online”, el “back-up” o copia de seguridad se hace cargo, por lo tanto la posición del buque, rumbo no se ven afectados.

En terminología DP un sistema con un solo controlador se conoce como “simplex”, con 2 “dúplex” y con 3 “triplex”. Un sistema triplex no necesariamente implica cumplir con los requerimientos DP3.

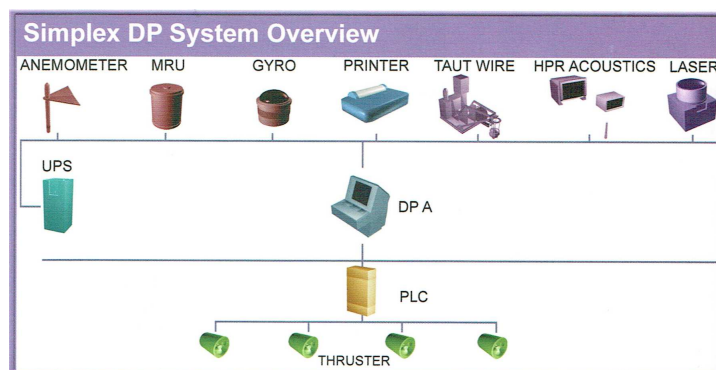


Fig. 1.18 Sistema con un solo controlador “simplex” [3]

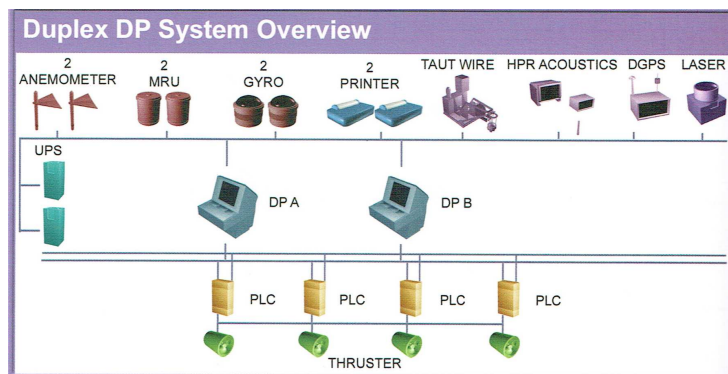


Fig. 1.19 Sistema con dos controladores “dúplex” [3]

- Clase *DP3*, exige un controlador aislado e independiente. En la práctica, esto significa que se necesitan dos sistemas de controladores instalados en el puente, y un sistema independiente de back-up incluyendo ordenador procesador en una localización diferente. Un sistema más amplio puede comprender un sistema principal Triplex, respaldado por un sistema Simplex situado a distancia.

La clave de los requerimientos DP3 son la compartimentación y subdivisión.

1.3.3.2 Redundancia en posición y rumbo.

- Clase *DPI*, se debe instalar un mínimo de dos referencias de posición. Referente al rumbo, la clase 1 se satisface con un solo girocompás.

- Clase *DP2* y *DP3*, se requieren tres PRS independientes y tres giróscopos. Se baraja la opción de “voto lógico”, lo que permite descartar el elemento que este abasteciendo al sistema con datos desviados. Además, en DP3 uno de los giróscopos debe estar localizado en un compartimento remoto para cumplir con los principios de la subdivisión. Se aconseja usar tres PRS basados en tres principios completamente diferentes, reduciendo así la exposición a errores de raíz común. Incluso cuando se trabaja en DP2 o DP3, es recomendable desplegar cuatro PRS en lugar de tres.

1.3.3.3 Redundancia en la propulsión.

- Para que un buque diesel-eléctrica de *DP2* y *DP3*, un worst-case single failure sería la pérdida de una barra de distribución completa, esto resulta la pérdida de todos los elementos propulsores acoplados a esta barra. Por tanto, es necesario distribuir la energía tal forma que si se diese un worst-case single failure, el buque disponga de la suficiente potencia para mantener la posición. En su forma más simple, si un buque dispone de tres hélices a proa, y tres a popa, alimentados desde distintos cuadros, entonces la pérdida de un bus deja tres propulsores intactos, al menos uno en el arco y uno en la popa. Esta capacidad de empuje nos debe permitir maniobrar eficaz.

1.3.3.4 “Consequence Analysis”

- Clase *DP2* y *DP3*, Las directrices de la OMI afirman que un programa de este tipo de software se debe ejecutar cuando se trabaja en clase 2 o 3. El programa de análisis de consecuencias repetirá su cálculo una vez por minuto. Inicialmente, el programa analiza el cuadro de distribución y configuración de la propulsión, y determina cuál es el modo en el peor de los casos. A continuación, simula este modo de fallo. Si el resultado indica que el buque no mantendrá posición y/o rumbo, se generará una alarma.

1.3.3.5 Redundancia en planta eléctrica. Generación y gestión de energía.

El concepto de redundancia se tiene en cuenta desde el diseño del esquema general de una planta eléctrica del un buque DP.

- Clase *DP2*, 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.”*

[4]

- Clase *DP3*, los conmutadores de barras deben de estar abiertos, cada sección de cuadro opera de una manera independiente y evitando que un fallo, por ejemplo, un cortocircuito se transfiera por todo el sistema pudiendo llegar a causar un black-out total. Además debe de existir una separación física de los generadores y los cuadros, de modo que un incendio no desemboque en una incapacidad total.

Todos los sistemas de energía deben estar bajo el control y seguimiento de un sistema de gestión eficiente de la energía. Sistemas eléctricos de baja tensión, tales como computadoras, consolas de puente y periféricos DP deben estar protegidos a través de los sistemas de UPS. Otra de las características de diseño que contribuyen a la capacidad redundante es la organización del tráfico separado de cableado y tuberías.

1.3.3.6 Redundancia en sensores periféricos.

- Clase *DP2* y *DP3*, se debe disponer de equipamiento MRU y sensores de viento por duplicado. La pérdida de estos datos es generalmente de menor impacto que la pérdida de los elementos más críticos. Duplicación de equipos se considera adecuada, aunque se pueden llevar por triplicado.

Por lo tanto se resume en la siguiente tabla el nivel de redundancia según equipos disponibles a bordo:

SUBSYSTEM OR COMPONENT	MINIMUM REQUIREMENTS FOR GROUP DESIGNATION			
Class notations	IMO EQUIPMENT CLASS	1	2	3
	DNV	AUT	AUTR	AUTRO
	LR	DP (AM)	DP (AA)	DP (AAA)
	ABS	DPS-1	DPS-2	DPS-3
Power System	Generators and prime movers	Non-redundant	Redundant	Redundant separate compartments
	Main switchboard	1	1 with BusTie	2 with normally open bus ties in separate compartments
	Bus tie breaker	0	1	2
	Distribution system	Non-redundant	Redundant	Redundant separate compartments
	Power management	No	Yes	yes
Thrusters	Arrangement of thrusters	Non-redundant	Redundant	Redundant separate compartments
Control	Auto control: number of control computers	1	2	2+1 in alternative control station
	Manual control: joystick with auto heading	Yes	Yes	Yes
	Single levers for each thruster	Yes	Yes	Yes
Sensors	PRS	2	3	3 including one in alternative control station
	External sensors			
	Wind		2	2
	VRS		2	2
	Gyro	1	3	3
Other	1	2	2	
UPS		1	1	1+1 in separate compartment
Alternative station for back-up control unit		No	No	Yes

Tabla 1.3 Resumen equipos según nivel de redundancia. [2]

1.3.4 Nomenclatura típica del sistema DP

- DP 1.1 y DP 1.2

SDP11 - BASIC SYSTEM

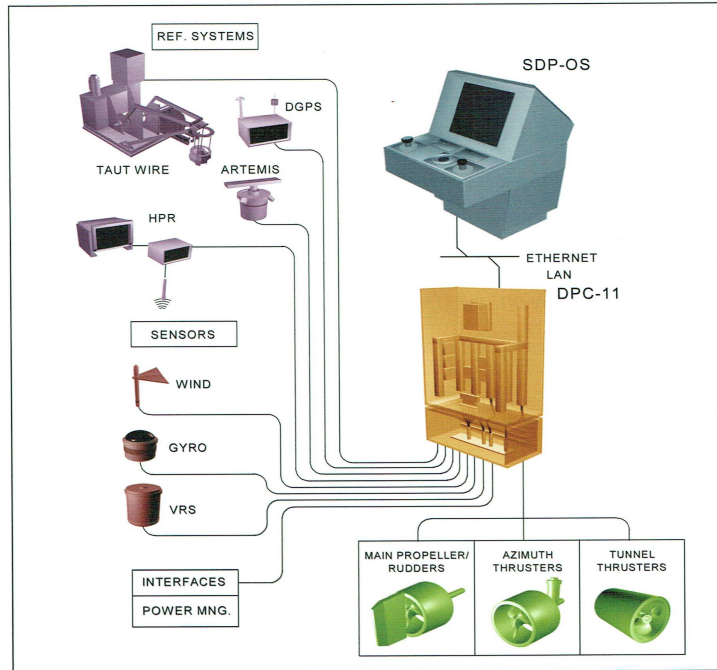


Fig. 1.20 Esquema SDP 1.1 [3]

SDP12 - INTEGRATED SYSTEM

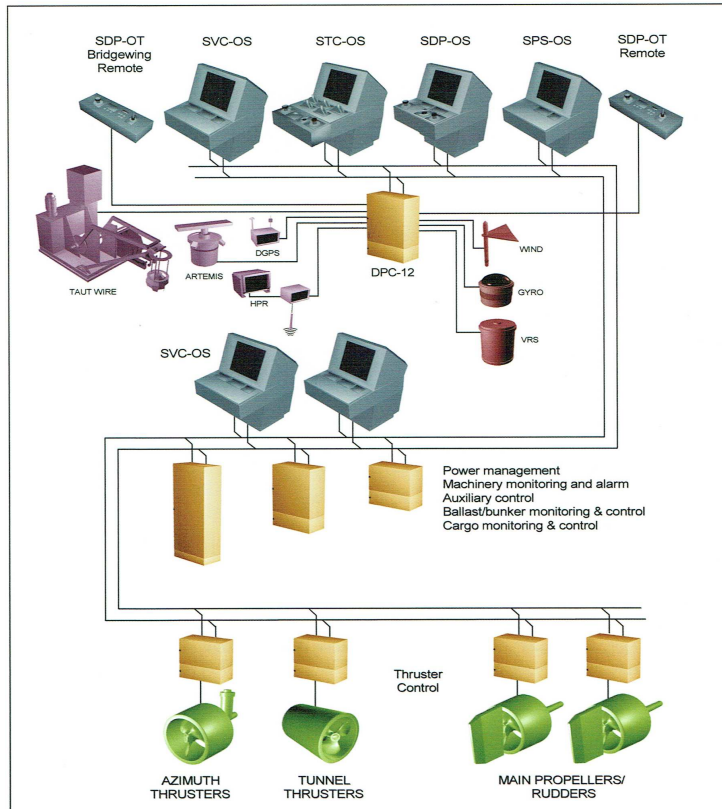


Fig. 1.21 Esquema SDP 1.2 [3]

- DP 2.1 y DP 2.2

SDP21 - BASIC SYSTEM

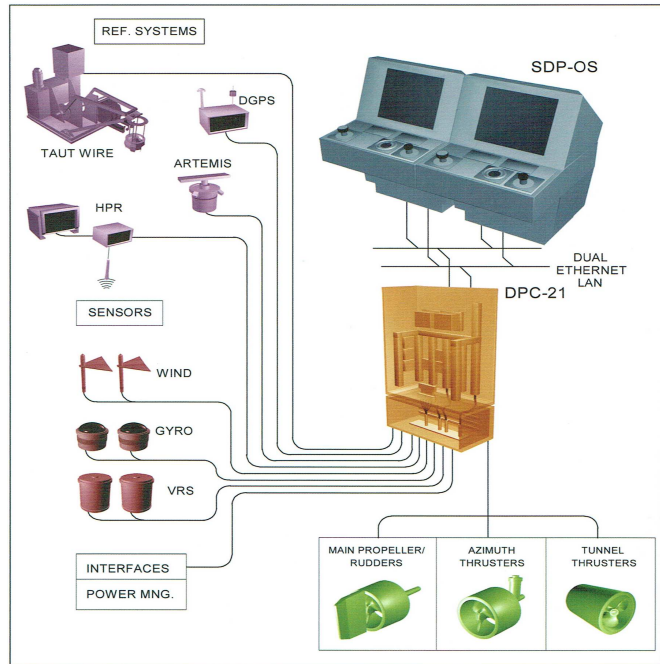


Fig. 1.22 Esquema SDP 2.1 [3]

SDP22 - INTEGRATED SYSTEM

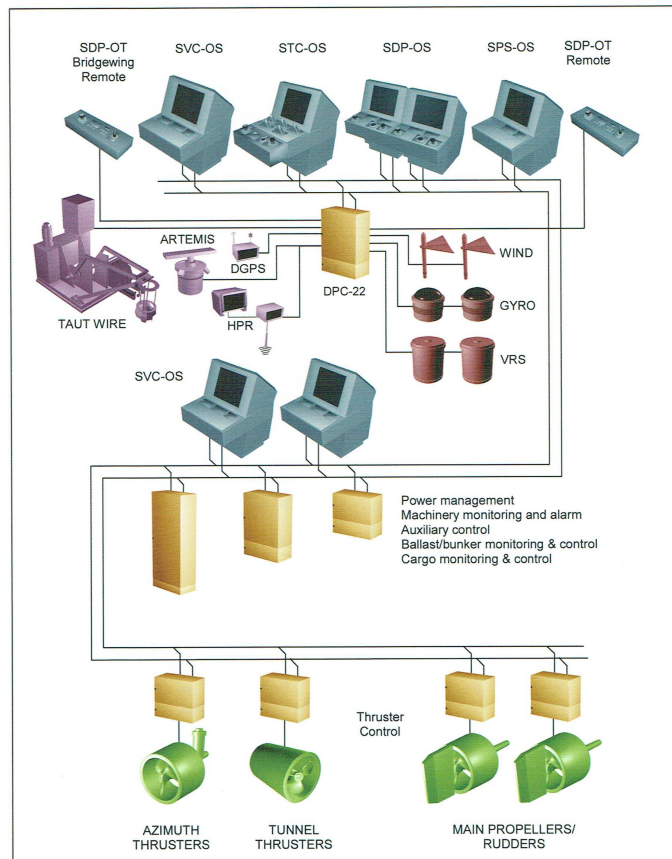


Fig. 1.23 Esquema SDP 2.2 [3]

- DP 3.1 y DP 3.2
SDP31 - BASIC SYSTEM

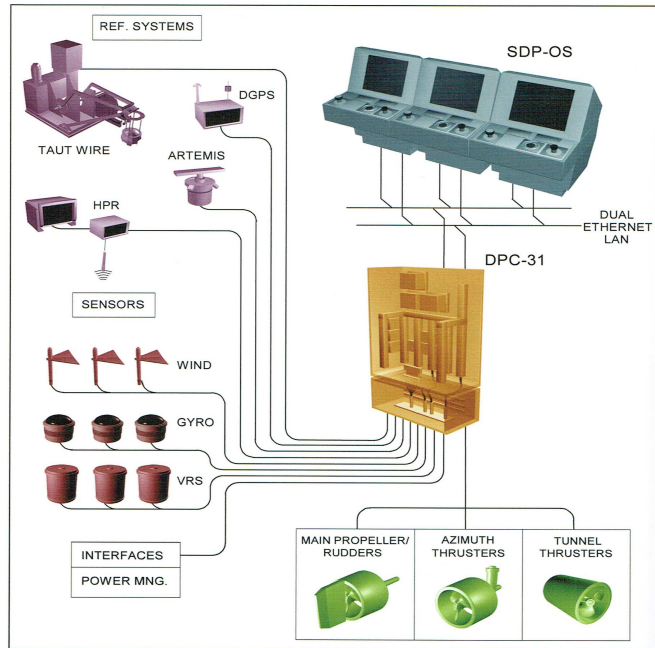


Fig. 1.24 Esquema SDP 3.1 [3]

SDP32 - INTEGRATED SYSTEM

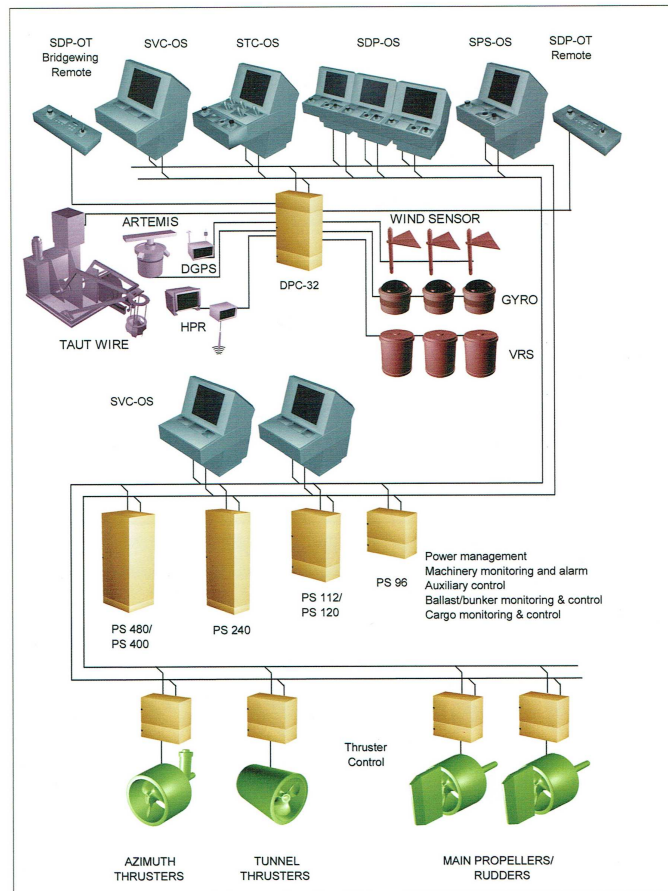


Fig. 1.25 Esquema SDP 3.2 [3]

Como se ha definido con anterioridad, los Sistemas de DP son sistemas computarizados que permiten mantener la posición y rumbo del buque con una precisión de unos pocos metros o grados. El uso del sistema requiere de ordenadores, sensores, propulsores, y energía para el empuje activo.

1.4 Principios de operación

Algunos sistemas DP ofrecen al operador la posibilidad de elección qué tipo de coordenadas desea trabajar. Se diferencian dos modos:

- a) EARTH CO-ORDINATES: Norte, Sur, Este, Oeste.
- b) SHIP CO-ORDINATES: Avante, Atrás, Estribor, Babor.

El operador debe seleccionar con qué tipo de coordenadas trabajará el sistema, debe de ser consciente en todo momento cuáles con las referencias activas ya que un movimiento o desplazamiento en el modo incorrecto podría ser desastroso.

1.4.1 Fuerzas y movimientos básicos

Un barco o una estructura flotante puede ser considerado un sólido sometido a seis grados de libertad o movimiento, de los cuales tres son de rotación y tres de traslación.

Movimientos de rotación:

- Eje longitudinal: balance o roll.
- Eje transversal: cabeceo o pitch.
- Sobre la vertical: guiñada o yaw.

Movimientos de traslación:

- Plano longitudinal o deriva longitudinal: avance-retroceso o surge.
- Plano transversal o deriva lateral: estribor-babor o sway.
- Plano vertical: elevación-descenso o heave.

Las principales fuerzas actuantes sobre el buque y fuentes de medición son:

- a) Viento, olas, corrientes, mareas, propulsores: actúan como fuerzas de empuje.
- b) PRS, VRS, Gyros: miden la reacción del buque a las fuerzas.
- c) El sensor de viento mide la velocidad y dirección del viento.

Los sistemas DP miden la fuerza del viento, y se estima o calcula la fuerza de mar, la corriente.

Cada uno de los seis movimientos o grados de libertad está formado por componentes de baja y alta frecuencia. En el caso de baja frecuencia deben ser considerados el surge, sway and yaw, donde como principal fuerza actuante es el viento, y en segundo orden, las olas, corrientes, mareas y propulsores (thrusters). El movimiento de un buque es un tipo de movimiento no-lineal complejo, por lo que se requiere de modelos matemáticos.

El buque es controlado por el sistema en tres ejes de movimiento:

- Surge: avance-retroceso.
- Sway: babor-estribor.
- Yaw: guiñada.

El sistema realiza una estima o medición de los tres movimientos restantes: pitch, roll y heave. Estos movimientos no son controlados por el DP pero el sistema 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), se estudiará en apartado de MRU.

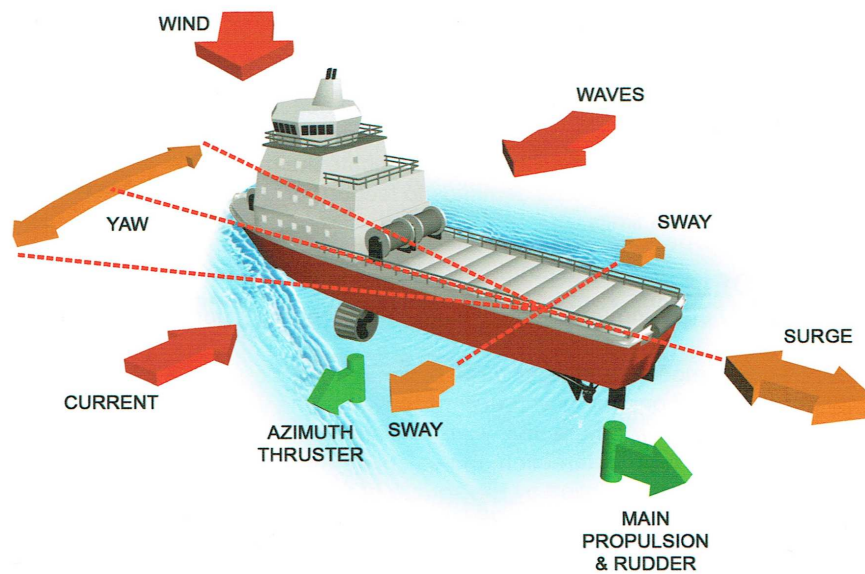


Fig. 1.26 Movimientos y Fuerzas que actúan sobre un buque [3]

1.4.2 Modelado del sistema

“El modelo matemático que describe la dinámica del buque se divide en un modelo de baja frecuencia y en un modelo de frecuencia de las olas. Se acepta que los movimientos inducidos por la frecuencia de las olas están causados por la carga de las olas de primer orden y que los movimientos de baja frecuencia están causados por la carga de las olas de segundo orden, de variación media y lenta, por la carga de la corriente, por la cargas de viento, por las fuerzas del sistema de fondeo y por las fuerzas de los propulsores. El controlador compensa los movimientos de posición y dirección de baja frecuencia, pero no los movimientos inducidos por la frecuencia de las olas.

Los componentes del movimiento inducido por la frecuencia de las olas se filtran del conjunto total de las mediciones del movimiento total. El filtrado lo realiza un observador no lineal con una configuración de filtro de Kalman. Los estados corregidos por el observador se utilizan en los algoritmos del controlador. Si se pierden datos sobre el rumbo y/o la posición, en los algoritmos de control se utilizan los estados predichos por el observador, lo que recibe el nombre de “navegación a estima” [16]

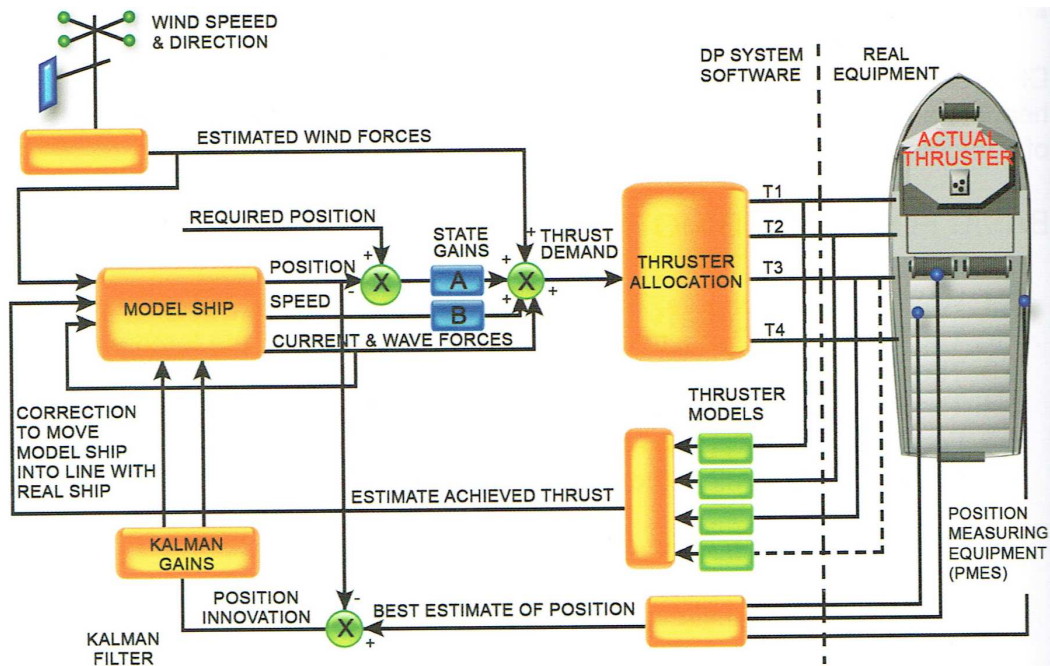


Fig. 1.27 Esquema de Modelado del Sistema DP. Básico [3]

En un modelo o modelado de un sistema DP:

- La forma del casco y el desplazamiento del buque son conocidos.
- El desplazamiento depende del calado.
- Conocidas las fuerzas que actúan sobre el buque, éstas son calculadas en intensidad y dirección de acción sobre el buque.
- Éstas son contrastadas con la posición inicial del buque para estimar y definir la posición y rumbo, a tiempo real.
- El sistema es capaz de predecir el rumbo y velocidad.
- Se calculan las fuerzas a aplicar para mantener el rumbo, velocidad y puntos de ajuste de posición.
- Las fuerzas reales aplicados se utilizan para actualizar el modelo.
- El sistema DP compara y contrasta de forma activa y continua las demandas, reacciones y estado del buque, así se activará una señal de alarma si la diferencia entre los diferentes estados exceden los límites preestablecidos.

“Los parámetros utilizados en el modelo matemático del buque varían de acuerdo con los cambios de las condiciones ambientales y de maniobra. El sistema realiza automáticamente las correcciones necesarias en el modelo del buque, asistiendo así al controlador sobre los cambios de parámetros del buque y las variaciones del estado de la mar” [16]

1.4.2.1 Modelo del viento

El viento es la única fuerza ambiental que se mide en un sistema normal de DP. El modelo de viento consta de tres tablas de coeficientes, surge, sway y yaw, cubriendo el 360° del buque.

Conocida la dirección del viento se toman estos coeficientes y se calcula la fuerza en los tres ejes (x,y,z) multiplicando por el cuadrado de la velocidad. $f = cv^2$. Resultando un sólo valor o coeficientes de viento, no ocurre lo mismo, por ejemplo en los buques que cambian drásticamente su calado, durante la operación se realizarán ajustes para los diferentes calados. Para eliminar rápidamente las perturbaciones debidas a las cargas del viento que actúan sobre el buque se utiliza un sistema de control de corrección anticipada del viento, que puede activarse y desactivarse específicamente para el balanceo longitudinal, el balanceo transversal y la guiñada. La corrección anticipada del viento exige que el sensor de viento esté activado.

1.4.2.2 Desplazamiento

El desplazamiento depende del calado activo del buque, puede ser calculado directamente por el sistema DP o bien sus valores se pueden introducir de forma manual.

En antiguos sistemas DP se contaba con valores fijados en el software, lo cual significaba que el buque debía mantener su calado durante toda la operación. En la actualidad 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.

1.4.2.3 Compensación de error de la corriente

La acción de esta fuerza que actuante (corriente, olas o mar que afecta al buque) no se mide sino que el sistema calcula sus parámetros. Este cálculo se lleva a cabo por un filtro que controla la diferencia entre la predicción de la posición y rumbo, y la medición de la posición y rumbo.

A la salida del filtro, la fuerza de compensación de error por corriente o deriva, se le añade la fuerza del viento, como fuerza externa, se efectúan los cálculos de velocidad y por lo tanto, se dará la salida de la posición predicha a partir del modelo.

La salida del filtro seguirá actualizándose hasta que las posiciones predichas y reales coincidan. En este momento, el sistema DP queda ajustado de manera que el total de fuerzas ambientales de entrada al sistema y la estima del modelo, resulten iguales a las fuerzas reales que actúan sobre el buque.

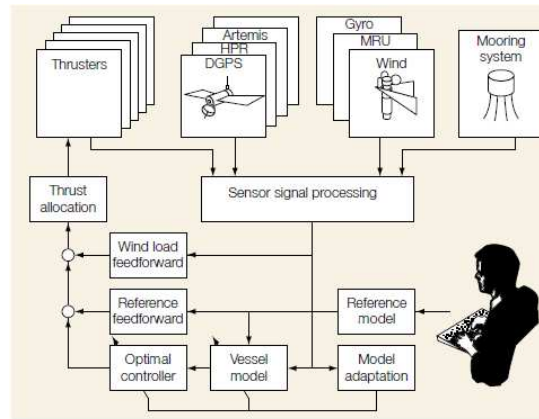
La fuerza de compensación de error no sólo contiene la fuerza de deriva causadas por corriente y olas, sino también cualquier otra fuerza no medida que actúan sobre el buque de esas características, como cables o tuberías. También incluye los errores de entrada, tales como medición de viento, modelo del viento y fuerzas de propulsores. La actualización de la fuerza de compensación de error sólo es posible cuando se reciben mediciones de posición aceptadas.

El sistema de DP debe estar en modo manual o automático (Manual o Auto mode) antes de que pueda calcular la fuerza de compensación de

error, se necesitan de unos 15 minutos para que la medición resulte exacta.

Por norma general se requieren, de al menos, 30 minutos para fijar un modelo del buque fiable y seguro.

Este controlador no lineal, multivariable, controla la retroalimentación a partir de las señales de posición y velocidad estimadas, de baja frecuencia, procedentes del observador no lineal. El sistema de control se optimiza respecto de la precisión de posicionamiento, del consumo de combustible y del desgaste del sistema de propulsión.



Arquitectura del sistema de control integrado de propulsores

- DGPS Sistema de posicionamiento (Differential Global Positioning System)
- GYRO Girocompás
- HPR Indicador hidroacústico de posición (Hydro-acoustic Position Reference)
- MRU Indicador de movimiento

Fig. 1.28 Arquitectura del Sistema de Control Integrado del Sistema [6]

1.4.3 Filtro Kalman

El filtro Kalman es un estimador lineal. Es un filtro muy apropiado para el procesamiento en línea a tiempo real, se usa para estimar el estado del un sistema dinámico lineal usando la linealidad de las medidas relacionadas con el estado del sistema pero deterioradas por el ruido.

Un filtro Kalman es un algoritmo recursivo de proceso de datos. Es una herramienta de software que no requiere todos los datos previos para ser

mantenidos en memoria. Toda la “historia” previa está, de hecho, capturada en la estimación más reciente del estado del sistema. Esta es una característica importante para la implementación de este tipo de algoritmo en los sistemas informáticos. El algoritmo total está realmente adaptado a aplicaciones en tiempo real.

Este tipo de filtro es óptimo, en el sentido, de que usa alguna medida válida de entrada. Así, usa todo los datos disponibles y válidos, y luego les aplica el peso apropiado. Entonces alguna medida válida introducida, se usará y contribuirá para la estimación del estado del sistema. Resulta óptimo porque calcula la mejor estimación posible para el estado del sistema.

[13]

1.4.3.1 Filtro Kalman para el Sistema DP

El principal objetivo del filtro Kalman es estimar el estado del buque. Para estimar el estado del buque, se basa en medidas de ruido de los sistemas de posición de referencia, sensores y un modelo imperfecto.

Basado en el modelo del buque, y usando la posición estimada previa, el paso de predicción del filtro Kalman da una predicción de la posición del buque. Basado en las fuerzas que actúan sobre el buque, sobre el modelo y sobre la posición estimada previa, ésta es donde el sistema de posicionamiento dinámico piensa donde está el buque.

Una medida se obtiene de uno de los sistemas de posición de referencia (los sistemas de referencia se explicarán en los siguientes apartados). Aquella medida será usada para refinar la predicción previa calculada. El segundo paso, o paso de corrección, compara la medida con la predicción medida, calculada por el sistema de DP. Tienen que haber un mecanismo en el sitio apropiado, para dar

menos “peso” a una medida inexacta y más “peso” a una medida válida, comparada con el modelo. Esto es lo que hace la ganancia kalman calculado por el filtro kalman. La predicción de la posición calculada previamente es, luego, corregida por un factor igual a la ganancia kalman, multiplicado por la diferencia entre la posición estimada y la posición medida .

El proceso vuelve al paso de predicción y comienza otra vez. De esta forma, se puede considerar el filtro kalman en los sistemas DP como la forma más eficiente para “mezclar” las medidas provenientes de los sistemas de posición de referencia y de los sensores, y la información del modelo del buque.

El resultado final o salida del filtro es una estimación óptima del estado del buque.

[13]

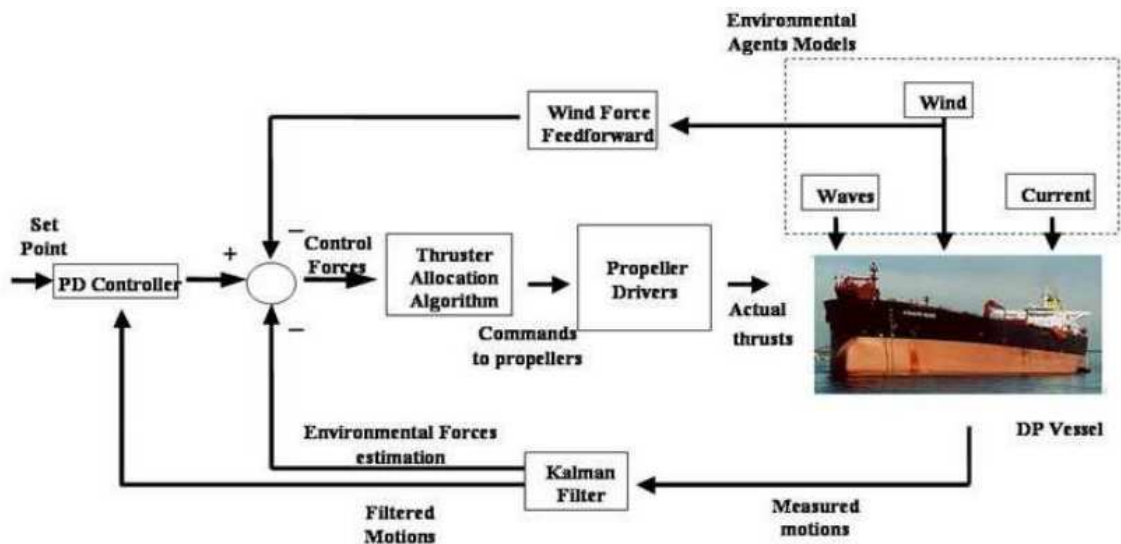


Fig. 1.29 Diagrama de un sistema de bloque D.P. [17]

1.4.4 Sistema de avisos.

Las alarmas se deben presentarse en tres formatos diferentes, visualmente, de forma audible e incluso, se registrarán en formato impreso.

Existen tres tipos de mensajes de: *alarmas (alarmas)*, *advertencias (warnings)* e *información (information)*.

Alarmas significa que se ha producido un fallo o se ha excedido un límite establecido. Se requiere de algún tipo de acción. Se producirá una advertencia audible y visual.

Advertencias o warnings significa que se ha producido un hecho que si se ignora podría conducir a un fracaso. No se produce una señal, sólo aparece una aviso visual.

Las alarmas y advertencias que se encuentran en activo necesitan ser reconocidas por el operador para retirarlas de la pantalla.

Información, los mensajes informativos se presentan como asesoramiento de condiciones de trabajo. No producen señales sonoras o visuales. Si se borra el mensaje, desaparecerán de la pantalla.

El cálculo de las fuerzas o propulsión requerida por el sistema, depende del modo de operación.

1.4.5 Modo manual.

- La demanda de fuerza viene de movimiento del joystick y/o control del rumbo.
- El control está vinculado al envío de la señal de control al DP generada por los thrusters o propulsores.
- Si el control del rumbo “heading control” es seleccionada, entonces se aplicará como prioridad el rumbo. Si no está seleccionada esta opción, “heading control”, el empuje debe desarrollarse de manera que no cause fuerzas de guiñadas.

- Es posible configurar el joystick para contrarrestar de forma automática cualquier fuerza ambiental calculada. De igual forma, es posible ajustar el joystick para que actúe de modo progresivo, en lugar de lineal.
- Es posible la combinación de los modos, es decir se puede tener algunos ejes en control manual y algunos en control automático.

1.4.6 Auto o modo DP

- La demanda de fuerza bajo el modo de control automático, es la suma de tres fuerzas calculadas individualmente, conocidas FEED FORWARD, DAMPING y GAIN.
- *FeedForward* es la suma de la resultante del viento y la fuerza de compensación de error o de corriente, explicada anteriormente.
- *Damping* cálculo y aplicación de las fuerzas necesarias para detener al buque en su movimiento.
- *Gain* no es la misma que la ganancia del joystick, ésta depende de la distancia al punto de ajuste “set point” de rumbo y posición. Alta, media y baja ganancia se pueden aplicar en los diferentes ejes o de forma individual. En alta ganancia el buque se desviará menos del “set point” pero necesitará de mayor empuje.
- Cuanto mayor sea la distancia entre el “set point” y el buque, mayor será la fuerza a aplicar.
- Ya sea en modo manual o auto, el sistema no podrá ejecutar al 100% los propulsores, para usar los propulsores a su capacidad total deberá contar con una aplicación o botón especial para ello o controlar los thrusters de forma individual.

Las fuerzas a ejercer por los propulsores son calculadas en función del surge, sway y yaw, como se ha comentado con anterioridad. El sistema conoce dónde se localizan los propulsores y su modo de trabajo, con esta información establece órdenes como las RPM, ángulos de paso, etc... a aplicar.

1.4.7 Modos operacionales del DP BÁSICOS

1.4.7.1 Joystick Manual Heading (JSMH)

Este modo permite el control de todos los propulsores o thrusters seleccionados desde el joystick. Es el operador quien proporciona las entradas al sistema.

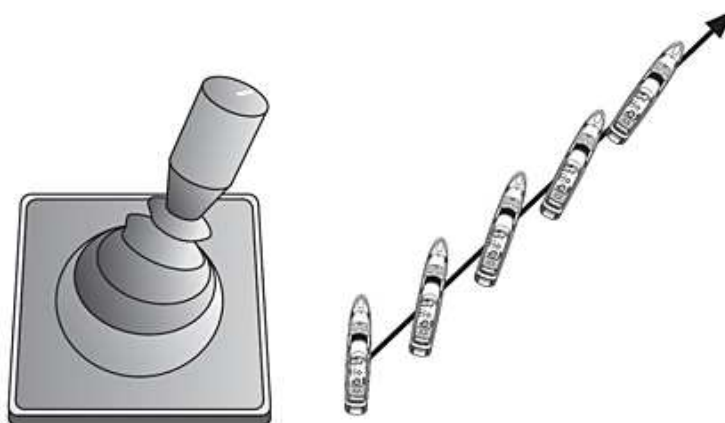


Fig. 1.30 Maniobra cayendo a ER. Gobernada con Joystick modo manual [18]

El empuje puede ser aplicado al buque en avance-retroceso y babor-estribor. La palanca de mando controla el empuje a aplicar en la dirección que apunte o indique el joystick. La magnitud del empuje es controlado por la acción del joystick hacia delante o atrás. El empuje puede desplazar al buque o mantenerlo inmóvil contrarrestando las fuerzas ambientales. El rumbo es controlado por el giro del joystick, el cual hace girar al buque en torno a su centro de rotación, haciendo uso de los propulsores seleccionados.

1.4.7.2 Joystick Auto Heading (JSAH)

En este modo, el nivel y la dirección de empuje es proporcionada por el operador, y el rumbo o heading es controlado por la gyro, es decir, el rumbo del buque es controlado automáticamente.

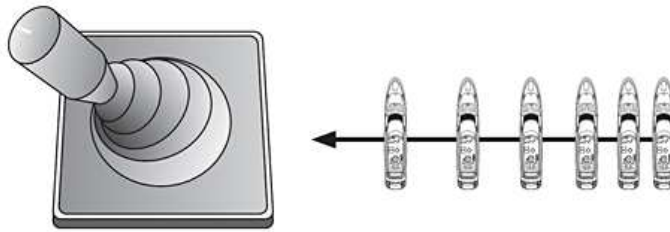


Fig. 1.31 Maniobra Gobernada con Joystick modo automático, desplazamiento lateral [18].

El joystick controla los desplazamientos avance-retroceso (surge) y babor-estribor (sway) del buque. Se puede hacer uso de este modo como método de acercamiento a la maniobra.

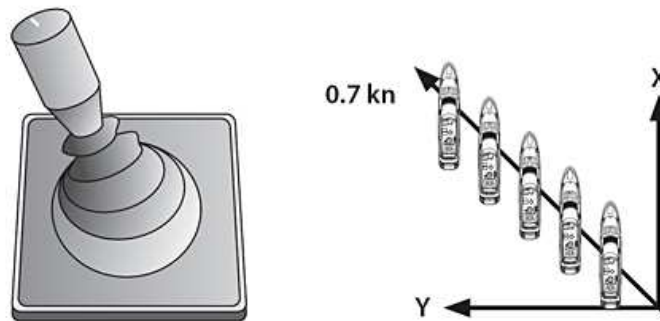


Fig. 1.32 Maniobra Gobernada con Joystick cayendo transversalmente a ER modo automático y controlando la velocidad [18].

1.4.7.3 Posicionamiento Dinámico o Dynamic Positioning (DP)

En modo DP el buque se mantiene fijo respecto a un punto de referencia inmóvil. En este modo el rumbo o heading permanece constante, y es controlada por un girocompás. La posición es controlada por un PME (Position Measuring Equipment) o sistema de referencia PRS.

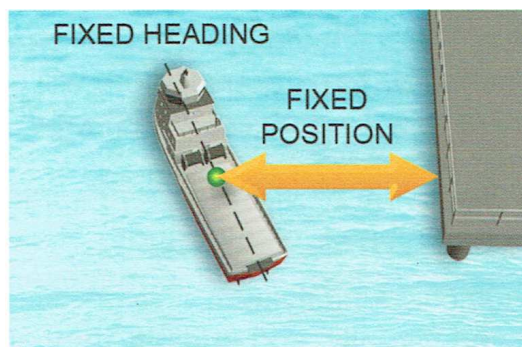


Fig. 1.33 Modo DP Básico [3]

El sistema recibe los datos del rumbo de la giroscópica, y la posición de una PME. Cuando se selecciona el modo DP, la posición y rumbo actual del buque se toman como punto de referencia y de partida. La fuerza de propulsión del buque mantiene la posición y el rumbo. El operador tiene la opción de variar la posición y rumbo haciendo uso de las facilidades de la consola (Cambio posición y cambio de rumbo).

1.4.7.4 Mínima Energía DP ó Dynamic Positioning Minimum

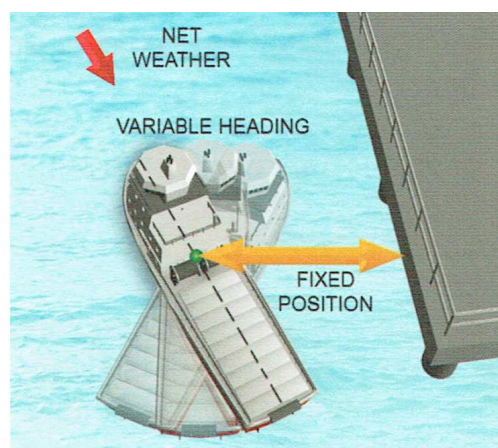


Fig. 1.34 Modo DP Mínimo [3]

El modo mínimo de alimentación DP mantiene la posición del buque en relación con un determinado punto de referencia, al tiempo que minimiza la demanda de propulsión en caídas babor-estribor resultante de las fuerzas climáticas netas en el buque. Este modo también es conocido como “Weathervaning”.

Así se controla y mide la posición usando una PME (Position Measuring Equipment). y los propulsores son controlados para mantener el buque con la posición fijada, como para el modo DP. El rumbo del buque se controla a continuación, a fin de minimizar la energía utilizada por los propulsores. El operador debe tener en cuenta que las condiciones ambientales pueden cambiar y se requiere el mínimo uso de los propulsores. No habrá entrada

requerida por el operador, la distancia relativa a un objeto fijo cambiará.

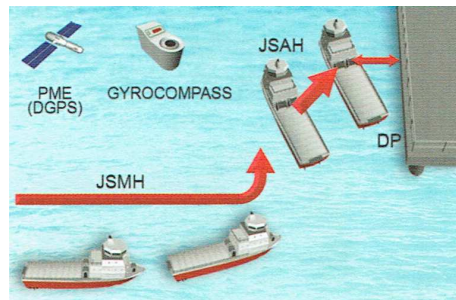


Fig. 1.35 Combinación de Modos Básicos [3]

La siguiente tabla refleja a modo resumen los modos básicos de operación disponibles actualmente en los sistemas DP:

<i>Joystick Manual Heading (JSMH)</i>	El buque es controlado por el joystick en su movimiento de surge, sway y giro. El giro del buque se realiza alrededor de su centro de rotación. Este modo se utiliza para maniobrar el barco totalmente manual.
<i>Joystick Auto Heading (JSAH)</i>	El rumbo o heading del buque es controlado automáticamente. El joystick controla los movimientos de surge y sway. Este modo se puede utilizar como método de acercamiento a la maniobra.
<i>DP</i>	El rumbo y posición del buque son controlados automáticamente. Este modo es usado para mantener fija la posición respecto a un punto estacionario, con un rumbo fijado.
<i>Min. Power/Weathervaning</i>	Mantiene el rumbo del buque en el clima imperante, en modo de control DP.

Tabla 1.4 Resumen de los modos DP básicos

1.4.8 Modos operacionales NO Básicos del DP

1.4.8.1 Follow Track -Auto track mode

El operador del sistema DP ó DPO programa los puntos de referencia o waypoints que desee que realice el buque. También es posible programar en el rumbo y la velocidad de cada tramo de derrota. Operando en este modo:

- La derrota se programa en el sistema de DP.

- El buque debe encontrarse en modo básico *DP*.
 - Si es necesario se llevará al buque hasta el primer waypoint.
- Es entonces cuando se selecciona el modo *Auto Track*:
- El buque comenzará describir la derrota según los waypoints programados.
 - El buque puede ser detenido en cualquier momento.

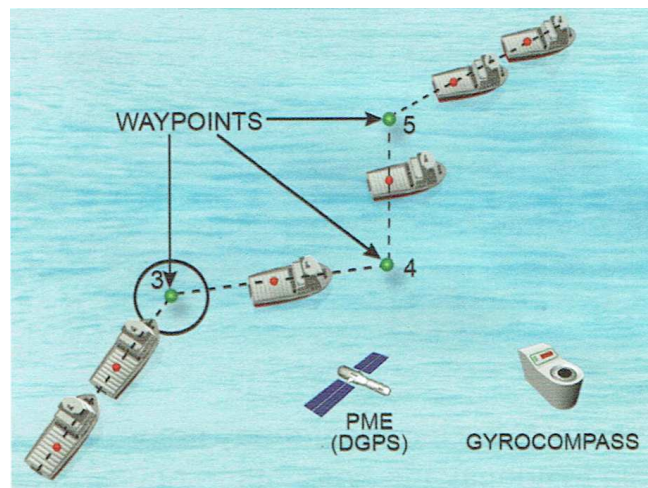


Fig. 1.36 Modo Follo-Track [3]

1.4.8.2 Alta velocidad Auto Track (High Speedy Auto Track)

Modo de operación:

- La derrota es programada y cargada en el sistema DP.
- El buque está configurado en la posición auto DP.
- Si es necesario se aproximará al buque hasta el primer waypoint.

Se selecciona el modo de *alta velocidad*

- El buque iniciará la derrota programada.
- El buque puede ser detenido en cualquier momento.

1.4.8.3 Función Auto Sail

Resulta una combinación entre los modos auto-track y auto-pilot

Modo de operación:

- Se programa la derrota.
- El buque sólo hará uso de la propulsión principal (azimutales, motor principal y timón)
- Se requiere de una posición de referencia.

Se selecciona el modo *Auto Sail*.

- La velocidad a lo largo de la derrota es controlada usando el joystick.
- El sistema DP mantiene el buque en la derrota preestablecida ajustando el rumbo.

1.4.8.4 Piloto Automático ó Auto Pilot

Modo de operación:

- Se inicia el sistema de DP, no requiere de sistemas de referencia.
- Opera con los datos de entrada del giróscopo y la propulsión principal.

Se selecciona el modo *Auto Pilot*

- La velocidad se establece usando el joystick.
- El rumbo es controlado mediante la función “yaw”. El joystick se encuentra normalmente desactivado.

1.4.8.5 Velocidad Automática ó Auto Speed

No necesita de sistema de referencia de posición.

Modo de operación:

- El buque está configurado en modo *Manual DP*.
- La entrada de registro Doppler está habilitada,
- El operador puede seleccionar velocidad cero.
- El operador puede mover el buque utilizando el joystick
- El desplazamiento del buque a velocidad cero dependerá de variables como precisión de registro, resistencia del agua, etc.

1.4.8.6 Follow Target (Follow Sub)

El propósito de seguir al ROV (Remotely Operated Vehicle) es el de mantener la posición de la embarcación con respecto a este vehículo submarino. Por lo general está conectado al buque por un cordón umbilical dotándolo de servicios y de datos. Se diferencian dos métodos para lograr este modo de seguimiento, uno haciendo uso de un sistema fijo de referencia y el otro sin usar un sistema fijo de referencia.

a) *Follow Target* (con un sistema de referencia de posición):

El buque mantiene en una posición fija y al ROV se le permite moverse dentro de un área predefinida. Si el ROV vaga fuera de área, el buque se desplazaría hasta la posición de la zona para que el ROV se encuentre en su centro de nuevo. El ROV (Remotely Operated Vehicle) debe estar equipado de una baliza acústica móvil.

Este modo implica un movimiento mínimo del buque en un área limitada. El modo utiliza una PME y girocompás, controlando así la posición y rumbo. Y un sistema acústico para colocar el ROV en relación al buque. (los sistemas de referencia se explicarán en siguiente capítulo).

Como ya se ha comentado, al ROV se le permite moverse en un área circular con un radio igual al radio de reacción. El radio de reacción se coloca en un rumbo constante. Mientras que la baliza o transpondedor en el ROV permanece dentro del radio de reacción, el buque se mantiene estacionario. Tan pronto como el transpondedor se mueva fuera del área predefinida, el buque se desplazará de forma que el centro de la zona se coloque sobre el transpondedor.

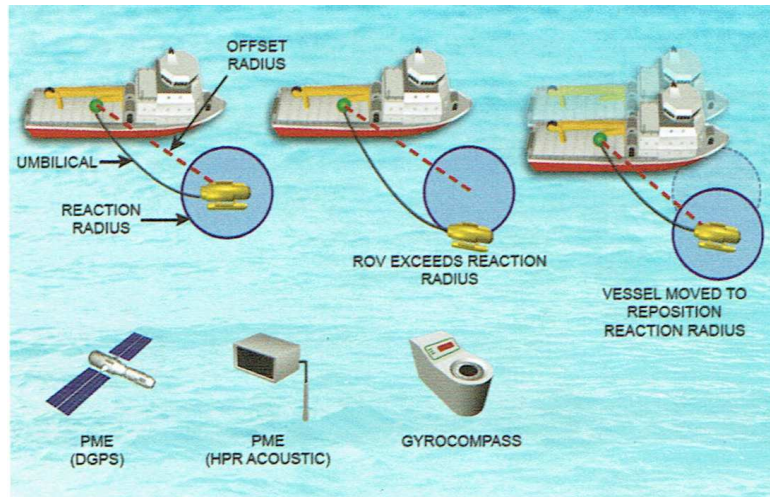


Fig. 1.37 Modo Follo Target [3]

b) *Follow Target (sub)* (distancia predeterminada, sin sistema de referencia):

El buque y el ROV se mueven juntos manteniendo una distancia de separación fija “fixed seabed” entre el Centro de Rotación del buque (COR) y la baliza acústica del ROV. En este modo, el rumbo del buque es controlado por un girocompás y la separación relativa por un PME acústica. Este modo se usó cuando el ROV realiza un seguimiento de tubería o un cable.

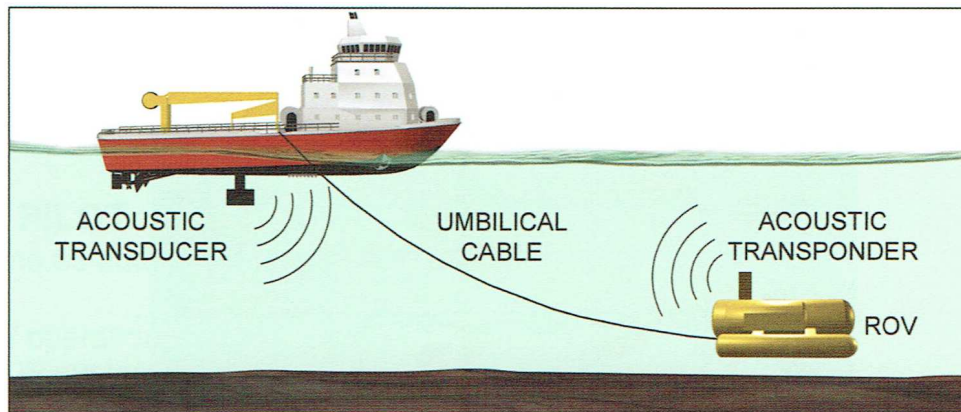


Fig. 1.38 Modo Follow Target [3]

1.4.8.7 Tanker Modes

a) Shuttle Tanker Pick Up:

Se utiliza para buques cisterna para recoger las boyas.

En este modo se dirige la proa del buque a un punto específico. Por ejemplo, la boya de una manguera de descarga, para permitir que la manguera de descarga pueda ser levada fácilmente a bordo del buque.

Este modo permite que el buque pueda ser colocado en un punto fijo, sin necesidad de que la proa señale al punto de carga. Como opción, se puede seleccionar un rumbo fijo con tiempo en calma, o siempre que se prefiera.

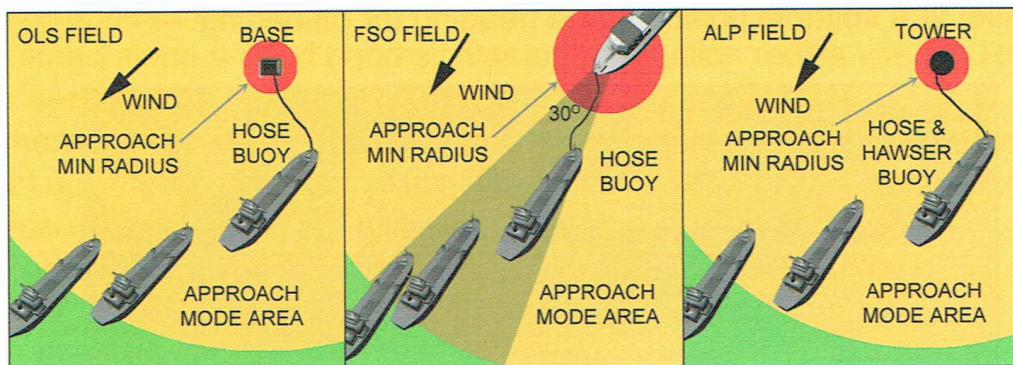


Fig. 1.39 Modo Tanker Mode [3]

b) Shuttle Tanker Approach Mode:

Toma el buque desde el perímetro exterior de la zona controlada que rodea el punto de descarga, a una posición seleccionada en el modo *Pick up* o el modo de carga, mientras mantiene el rumbo con el tiempo predominante.

En un FSU (Floating Storage Unit), el arco se limita a la popa del FSU. Se permite fijar el rumbo, bien con tiempo en calma o cuando se prefiera.

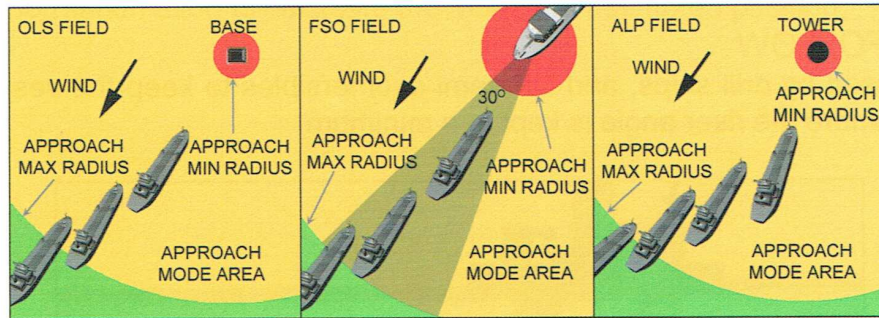


Fig. 1.40 Tanker Mode [3]

c) Shuttle Tanker Loading

Mantiene al buque en posición y rumbo para la descarga. El barco se mueve en un arco, manteniendo un rumbo hacia el punto de carga y con el tiempo reinante. Dentro de un FSU, el arco está limitada por los límites de carga. También hay una opción para seleccionar un rumbo fijo en tiempo de calma, o cuando se prefiere.

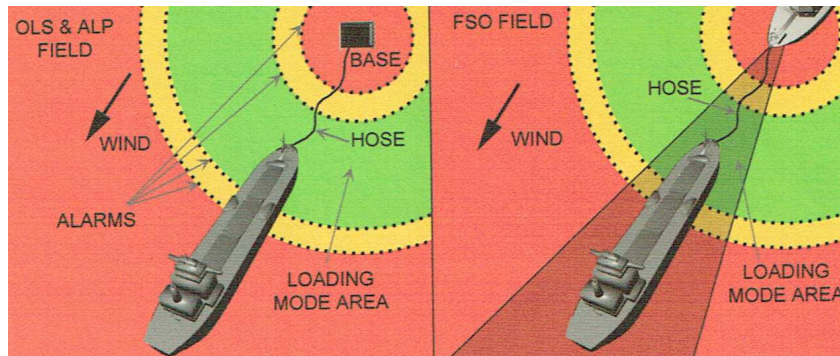


Fig. 1.41 Tanker Mode [3]

d) Riser Follow

Puede ser utilizado por buques de perforación, y semi-sumergible DP, controlando al buque en una posición en la que el ángulo de expansión se mantenga próximo a cero. El sistema recibe señales de inclinómetro y de posición desde el módulo de perforación. El sistema calcula la posición del buque en la que el ángulo de subida será cero, la posición de ángulo cero o ZAP.

Para evitar el reposicionamiento constante del buque, se permite que el ángulo de subida pueda variar del ZAP, dentro de un pequeño ángulo de reacción, similar al modos *ROV Follow*.

Cuando el ángulo de subida excede al ángulo de reacción, el buque se colocará de nuevo para reducir el ángulo de subida a cero.

El ángulo de reacción es traducida por el sistema en un círculo de reacción alrededor del punto de control del buque. Cuando el ZAP se mueve fuera del círculo de reacción, la posición de destino del buque se mueve hacia el ZAP, y el nuevo círculo de reacción es dibujada alrededor de éste. El buque se mueve hacia la nueva posición de destino con el fin de reducir el ángulo de subida.

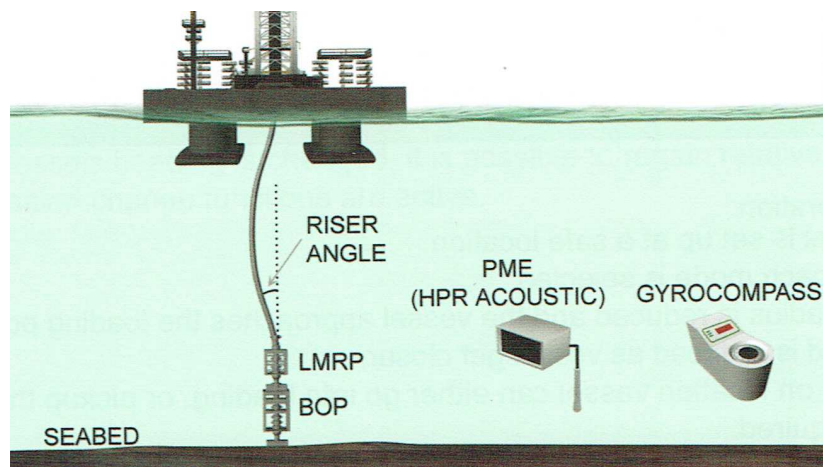


Fig. 1.42 Riser Follow [3]

1.5 Sistemas de Referencias

1.5.1 Proyección Universal Transversal Mercator, UTM

En el ámbito offshore y los propósitos que en él se persiguen, es de uso generalizado expresar las posiciones en el sistema Universal Transversal de Mercator (UTM). Es un sistema de coordenadas que se construye como la proyección de mercator normal, pero en lugar de ser tangente al Ecuador, el plano de proyección es tangente a un meridiano. En contraste con la proyección convencional, el sistema UTM reemplaza la notación de latitud-longitud, por coordenadas X e Y (Norte-Este).

En la proyección UTM la tierra está dividida (longitudinalmente) en 6 segmentos con un Meridiano Central en el centro de cada zona o huso, hay un total de: $360^\circ \div 6 = 60$ husos. “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” [4]

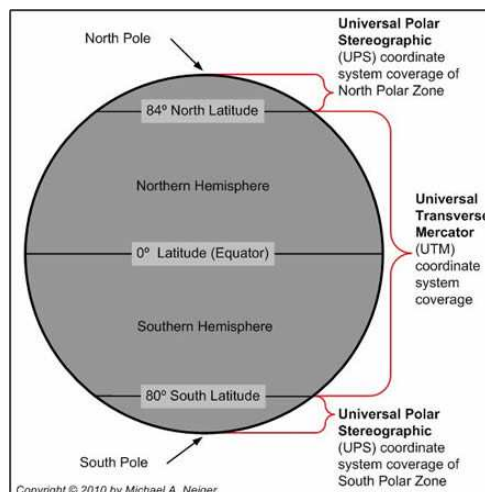


Fig. 1.43 Cobertura mundial del Sistemas de coordenadas Universal Transversal Mercatoriano (UTM) y El Sistemas de coordenadas Universal estereográfica polar (UPS). [19]

“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"”. [4]

La zona C coincide con el intervalo de latitudes que va desde 80° S (o -80° latitud) hasta 72° S (o -72° latitud). 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. Para efectos de proyección la carta se presenta de norte a sur tocando el Meridiano Central. La zona de trazado se define como 3° a cada lado del meridiano central. A los efectos de posición se realizan todas las mediciones de Este y Oeste, incrementando hacia el Este desde el Meridiano Central y aumentando hacia el Norte desde el Ecuador. 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.

En lugar de Latitud y Longitud, el sistema UTM trabaja con coordenadas Norte y Este, el propósito de ello es evitar números o datos negativos, siempre positivos. En el Ecuador la distancia entre los bordes de las zonas de 6° son mayores: $6^\circ \times 60' \times 1852\text{m} = 666,720\text{m}$.

Para cada huso, existe lo que se llama el Meridiano Central y tiene como valor 500.000 m. Existe una pequeña diferencia entre los Hemisferios Norte y Sur. En el Hemisferio Norte, en el Ecuador vale 0 m aumentando hacia el Polo: $90^\circ \times 60' \times 1852\text{m} = 10,000,800\text{m}$ en el Polo Norte. En el Hemisferio Sur el Ecuador vale 10.000.000 m. disminuyendo hacia el Polo.

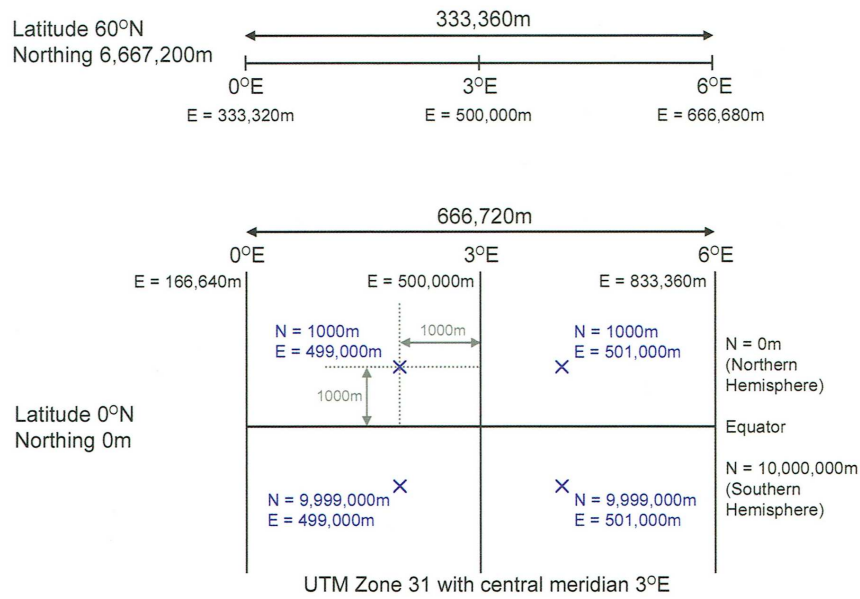


Fig. 1.44 Cuadrícula UTM [3]

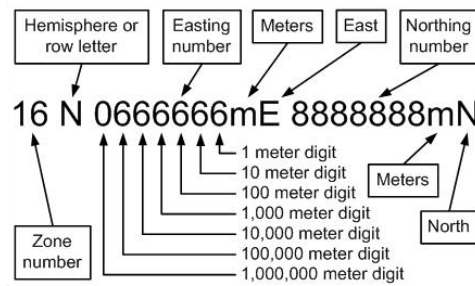


Fig. 1.45 Detalles UTM [19]

El sistema DP necesita "saber" si el barco se encuentra en Hemisferio Norte o Sur.

Existen diferencias entre el norte de cuadrícula (Grid North) y el norte verdadero (True North), además varía a través de la zona, coincidiendo en el Meridiano Central y en el Ecuador. Se debe ser cauto cuando se trabaja en cartas de campo o cuando se está haciendo uso de sistemas de referencia como el Artemis (se explicará en siguientes apartados). Y asegurarnos de que buque se está moviendo con una referencia Norte "Correcta".

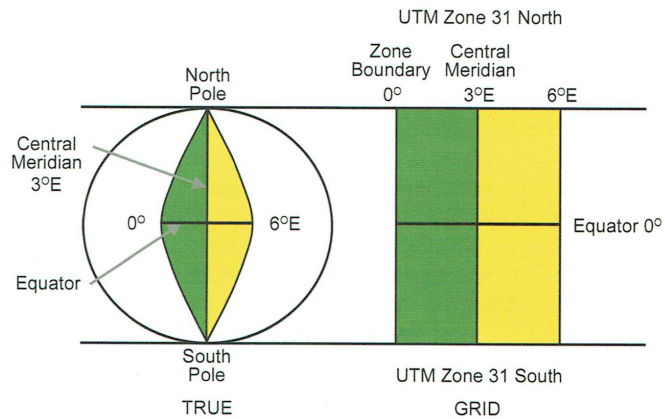


Fig.1.46 Diferencias entre el norte de cuadrícula (Grid North) y el norte verdadero (True North).[3]

El DPO debe entender la diferencia entre elipsoide y el datum. Elipsoide es la forma asumida de la Tierra y elegida para estos fines, el datum se puede definir como el lugar de referencia. Esferoide y datum puede ser el mismo (por ejemplo, WGS 84 para fines de navegación en cartas mercator) pero también pueden ser diferentes. El DPO debe confirmar por escrito la proyección, elipsoide, datum, cartas que serán usadas para el trabajo, además de la fecha.

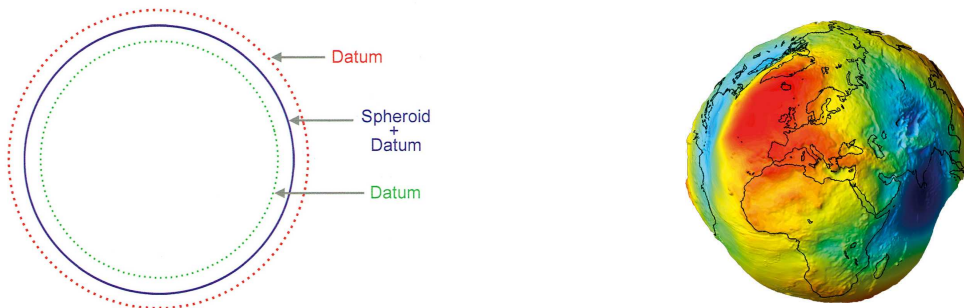


Fig. 1.47 Diferencia entre el Elipsoide y el Datum.[3],[20]

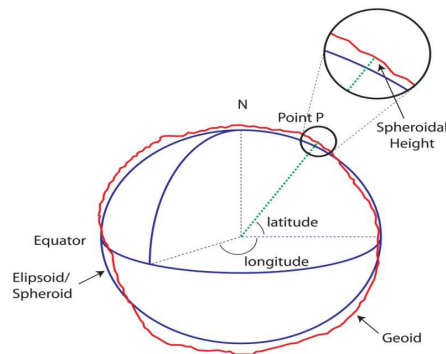
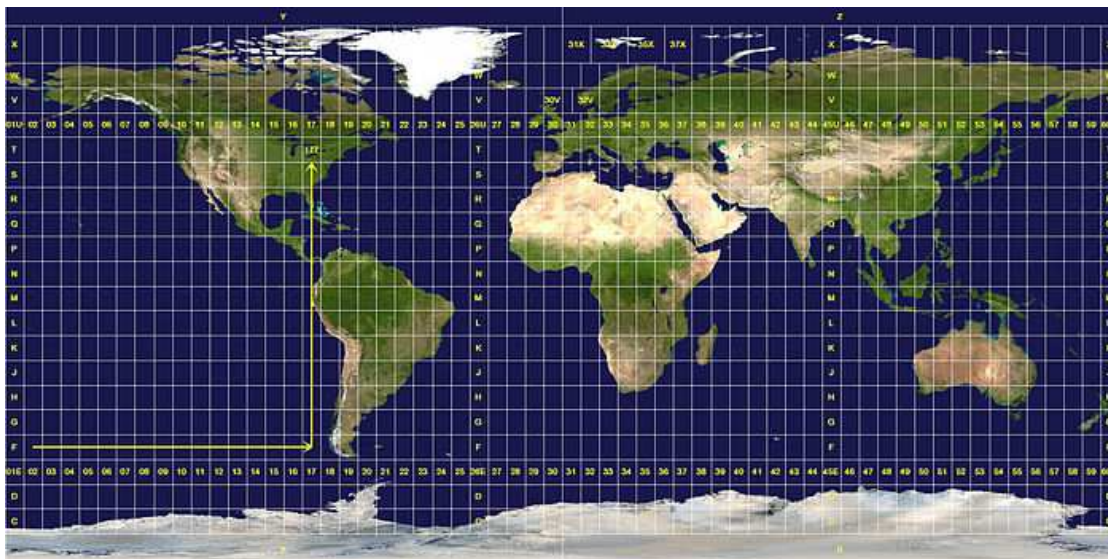


Fig. 1.48 altura vs esferoide [20]



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

Fig. 1.49 Cuadrícula UTM. Véanse los Husos y las zonas UTM con su correspondiente numeración. [19]

1.5.2 Sistemas de Referencia de Posición, PRS

Antes de hablar sobre el uso de un sistema de posición de referencia (PRS), es necesario hablar sobre el Origen de Referencia (RO). Un sistema que utiliza un único PRS se considerará como un RO. Se requiere de un origen de referencia ya que toda posición de buque debe realizarse desde un punto fijo. Aspectos a considerar de un Origen de Referencia serían:

- Una posición es asignada o seleccionado como el RO. El RO podría ser la posición desde el primer PRS válido que se selecciona o un PRS válido seleccionado por el operador.
- Un solo PRS se reconoce como un RO. El punto a destacar es que el PRS tomará como referencia al RO.
- La mayoría de los sistemas permiten cambiar los PRS que fueron usados para generar el RO y el sistema DP recordará la posición del RO. Determinados sistemas permiten al operador modificar el RO.
- La fuente del RO puede provenir de sistemas geográficos, como navegación por satélite, e incluso desde sistemas relativos como un Taut wide.

Por lo tanto, resulta primordial para el sistema DP disponer de una referencia *estable, preciso y fiable*. Otra característica muy importante es que se debe actualizar continuamente como ya se ha comentado en apartados anteriores. El DPO debe escoger el que más se ajuste a las necesidades de cada momento.

Un PRS deber ser *preciso* pues la posición del buque depende de ello. En general, se busca una capacidad de posicionamiento de 1 a 3 metros, lo que implica un nivel de precisión del PRS a 1 o incluso mejorarla. *Fiable* pues de nada sirve ser preciso si falla sin previo aviso o suministra valores erróneos, y *estable*, con esta característica nos referimos que se capaz de proporcionar información de manera continuada. Se ha establecido como norma, que los sistemas requieran actualizar la posición cada segundo. Algunos sistemas no son capaces de cumplir este parámetro, como pasa en los sistemas hidroacústicos, donde habría que tener en cuenta el retardo de la señal por la velocidad de propagación del sonido en el agua, 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.

Existen tres formas principales de utilizar los datos de PRS:

- a) Uso de un único PRS.
- b) Uso de múltiples PRS con prioridades preestablecidas.
- c) Uso de múltiples PRS utilizando todos los datos de la PRS válidos.

a) Único PRS o Single PRS: La principal desventaja de utilizar un único PRS es que si la única referencia fallase por cualquier razón, el buque no podrá contar con información de posición. El sistema pasará al control del modelo. Las operaciones tendrán que darse por concluidas y resultaría necesaria la intervención del operador.

b) Múltiple PRS con prioridades preestablecidas: Esta modalidad es comúnmente usada por antiguos sistemas. Aquí las prioridades pueden ser seleccionadas por el operador o bien por definición del software. En realidad sólo se está haciendo uso de un PRS como obtención de información para la posición, los otros PRS, se suman a la posición que se ha establecido o seleccionado como el RO.

Si el PRS que está en uso fallase, el sistema utilizará el siguiente PRS válido en la lista de prioridades. Si no hay PRS disponibles, se pasará al control de modelo. La ventaja que presenta es que si el PRS en uso fallase, el sistema puede ser capaz de utilizar otro PRS con el fin de continuar con las operaciones, evitando la intervención directa del operador.

La desventaja con la que nos encontramos es que la situación en uso proviene de un PRS que están sufriendo interferencias de ruido y su frecuencia está cayendo, puede causar inestabilidad posicional. Otro posible problema, resulta si se “congela” el uso de PRS o se vuelve fijo. Si no existe una referencia intermedia, el DP puede rechazar la buena PRS en favor de la PRS fija o invariable.

c) Múltiples PRS utilizando todos los datos de los PRS válidos: Si se utilizan dos o más PRS, se aplicará la agrupación, este agrupamiento utiliza un promedio ponderado, se puede definir de forma manual o automático. La puesta en común automática utiliza la diferencia de posición causada por el ruido y los errores, aquí la difusión de correcciones es inversamente proporcional al peso del PRS, es decir una pequeña extensión de correcciones indica alto peso y validez de PRS y viceversa.

Si se perdiese el PRS por cualquier motivo, ej.: un error en la sensor del taut wire o un entrada incorrecta del MRU (Motion Referenc Unit o c

La importancia o peso del filtro Kalman en el modelo (de medición) dependerá directamente sobre el rendimiento del PRS. Si la señal del PRS en cuestión es "ruidosa" es decir, la variación es grande, se le concederá mayor peso al modelo o estimación. Si el PRS ofrece datos exactos, entonces se le asignará a éste el mayor peso. El ajuste de la ganancia del filtro kalman podrá ser manual o automático.

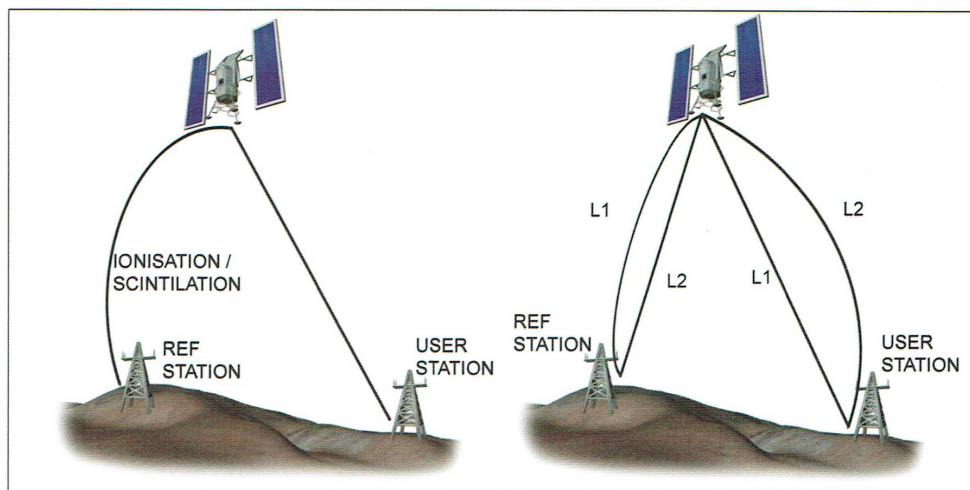
A continuación se hará una breve descripción de los diferentes PRS existentes y de mayor uso al día de hoy en los sistemas DP.

1.5.2.1 Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS). Sistemas de Posicionamiento satelital y Sistemas Diferenciales.

Existen dos sistemas principales y diferenciados: el Sistema de Posicionamiento Global estadounidense (GPS) y el sistema ruso GLONASS. Se trata de sistemas militares que están a disposición de los usuarios civiles. Ambos utilizan el mismo método de operación, operan en la banda L1 y L2. La frecuencia L2 se ha puesta a disposición de usuarios civiles recientemente. Todos satélites emiten en la misma frecuencia. Para permitir que el receptor diferencie los satélites, cada satélite tiene un código único de ruido (PRN). Esto se combina con la frecuencia portadora en el satélite para hacer una señal única. En el receptor se retira el soporte para dejar el código PRN el cual se utiliza para la fijar la posición.

a) Sistema GPS: El sistema de posicionamiento global (GPS) es un medio de navegación bien establecido. Comenzó a funcionar en 1995, y desde entonces se ha convertido en un medio estándar en casi todas las embarcaciones comerciales. El GPS es un sistema de navegación por satélite que proporciona datos de latitud, longitud y altitud en cualquier parte del mundo. Consta de 21 satélites

operativos, con tres satélites de respaldo, en seis órbitas a 20.200 kms. Los satélites están colocados en una órbita elíptica, cuyos planos tienen una inclinación de 55° respecto al plano del ecuador. Cada satélite lleva 12 horas en orbitar el mundo. Este patrón de satélite significa que 4 satélites están siempre en vista desde cualquier punto de la superficie de la tierra. 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, como se mencionó anteriormente.



Single frequency with scintillation

Dual frequency with scintillation

Fig.1.50 Diferencia entre una frecuencia con oscilación y otra con doble oscilación [3]

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.

b) Sistema DGPS: El sistema GPS diferencial (DGPS) no es más que una extensión de los GPS. Aunque el GPS es ahora de uso generalizado, la precisión sigue siendo deliberada por el Departamento de Defensa de EE.UU., significa que aplican una disponibilidad selectiva (SA, Selective Availability) aplicada a los

datos del satélite, lo que la precisión puede oscilar entre 10-100m. Los receptores militares, hacen uso del P-código, logrado una precisión de 1-5m, pero estos sistemas no están comercialmente disponibles en la actualidad.

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. El buque, obtiene datos de posición con una precisión de entre 1-3m. Esto se convierte entonces en una aportación útil a el DP, aunque hay una serie de aspectos que el DPO debe ser consciente, como podría ser la pérdida del enlace de datos que proporcionan las correcciones diferenciales, resultando en una degradación inmediata en la precisión. A pesar de los problemas, hoy en día el DGPS está considerado como uno de los más útiles y versátiles de la PRS para el uso de sistemas DP.

Posibles Fuentes de Error

- Multi-Path o Multi-Trayectoria: las señales de SV (Space Vehicles, Satélites) rebotan en los objetos cercanos, causando una degradación de la precisión, si resultara lo suficientemente severa la señal quedaría inutilizable. También se le conoce como interferencia de larga trayectoria.
- Errores de la Troposfera e Ionosfera: la señal SV se refracta a medida que viaja a través de la atmósfera de la tierra. La difracción depende de la ionización, la temperatura, presión y humedad. Esto no se puede medir en todas partes lo que se supone si las condiciones actuales son diferentes, la señal seguirá un camino diferente a la ruta proyectada, donde habrán adquirido un error.
- Geometría o la línea de posición. Si las líneas de posición se cruzan en ángulos rectos y hay un error, el área de incertidumbre

será menor que si las líneas de posición se cruzan en un ángulos pequeños.

- Errores Reloj: aunque los relojes usados son muy precisos, no son perfectos, cualquier error de sincronización puede resultar en un error de posición.

- Efemérides, errores orbitales: esto pueden ocurrir cuando el SV no sigue la trayectoria prevista.

- Centelleo: es la flexión extrema localizada de la señal SV causado por la actividad de las manchas solares. El camino seguido por las señales del SV resulta tan diferentes de la proyectada que pueden provocar una señal inutilizable. Incluso puede afectar correcciones diferenciales como la corrección de ionización en la estación.

Ventajas y limitaciones del sistema DGPS comparados con otros PRS

Ventajas:

- Una vez establecido son de uso fácil.
- Las señales son monitorizadas y los problemas notificados.
- No supone problemática a la hora de trabajar en aguas someras o en alta mar.
- No requiere de enlaces a ningún tipo de estructura física .
- No necesita ser reseteado dentro de movimientos normales de funcionamiento.
- Ayuda a corregir todas las fuentes de error.
- Los sistemas duales de frecuencias disponibles, ofrecen mayor fiabilidad a los efectos de centelleo.

Inconvenientes:

- Puede verse afectado por multi-path.
- Puede que se tengan que configurar para diferentes áreas de operación, puntos de prueba, estaciones de referencia, etc.
- Operando cerca de grandes estructuras puede verse bloqueado o reducido el número de satélites disponibles, e incluso podrían quedar inoperativos.

- La corrección pueden ser eliminada por la interferencia de microondas.
- Las correcciones se hacen menos relevante a medida que se aleja de estaciones de referencia.
- Debe haber de tres a cuatro satélites para establecer una posición.
- Quedan inoperativos los satélites que son demasiado altos o demasiado bajos.
- Los sistemas pueden ser bloqueados.

1.5.2.2 DARPS (Differential and Relative Positioning)

DGPS proporciona posición precisa a una posición fija. Determinadas operaciones de buques requieren la colocación exacta entre los buques en movimiento, como ocurre en situaciones entre un shuttle tank y FPSO (Floating Production Storage & Offloading Vessel). Típicamente la popa del FPSO describe una figura de ocho que la proa del buque cisterna (Suttle tank) debe seguir. La popa del FPSO describe el arco de un círculo, así como los movimientos de surge, sway y yaw, proporcionando un problema complejo de posicionamiento para el buque cisterna o lanzadera.

El FPSO utiliza un DGPS estándar para controlar su posición. El buque lanzadera recibe datos GPS en su propio receptor y recibe datos GPS desde FPSO a través de un enlace de UHF. El buque cisterna compara las dos posiciones y se transmite una distancia y la demora al sistema de DP. El enlace UHF también proporciona información extra del FPSO. La antena de UHF está provista con compensación VRU (Vertical Reference Unit, se explicará en apartados siguientes).

Para la medición de la posición relativa por el GPS, no son necesarias las correcciones diferenciales, ya que los errores

inducidos son los mismos para ambos buques. Un transmisor DARPS en el FPSO envía los datos GPS recibidos al receptor UHF a bordo del buque cisterna. Un ordenador a bordo del buque lanzadera calcula la demora y distancia desde la popa del FPSO, estos datos los toma el sistema de control de DP como posición de referencia.

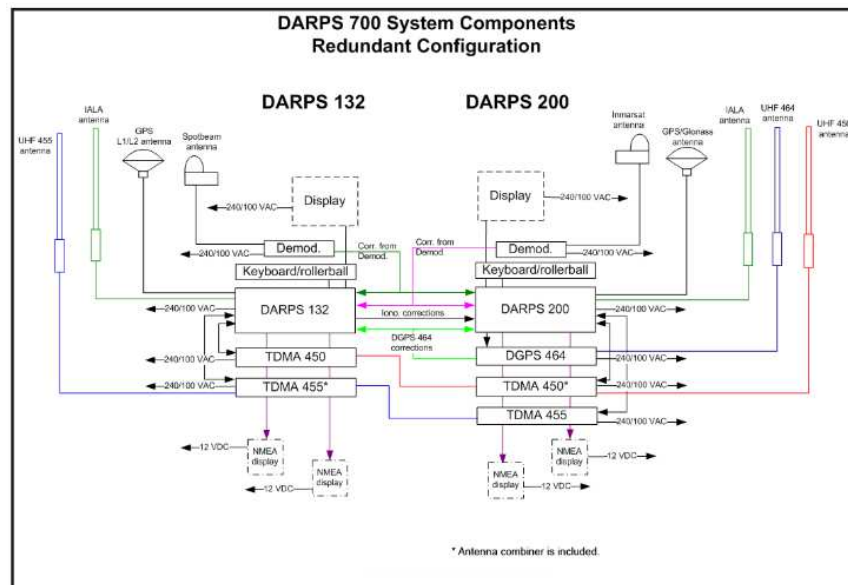


Fig. 1.51 Esquema de la configuración de un sistema de componentes de la Redundancia de un DP. [21]

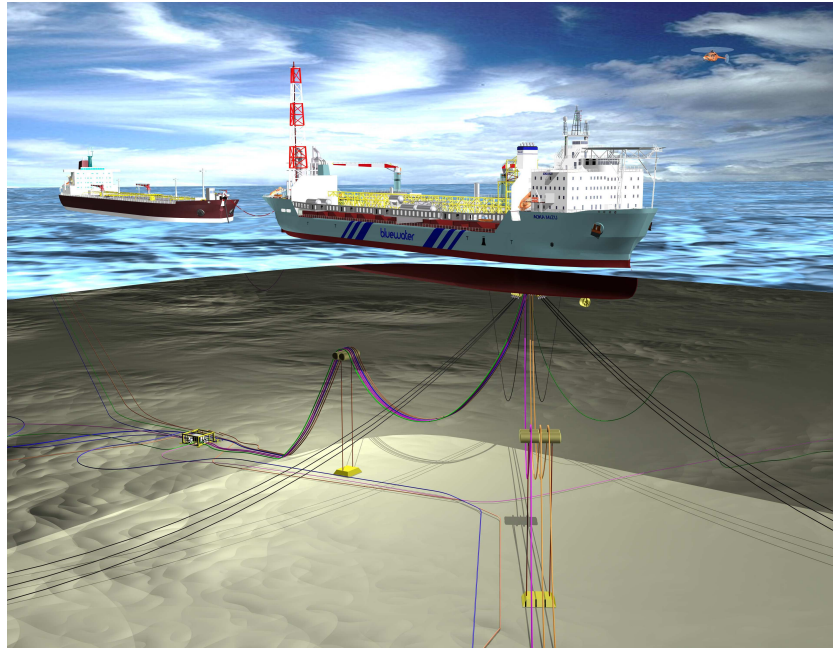


Fig. 1.52 Diferencial y sensor de Posicionamiento relativo utilizado en los buques tanque DARPS , de transporte durante la carga. [21]

Principalmente se diferencian dos sistemas de radio, que son:

- Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS).
- Artemis.

1.5.2.3 Artemis

Artemis es un sistema de microondas que funciona entre una estación fija y una móvil, proporciona una posición precisa y automática, calculando demora y distancia relativa a la estación fija. La unidad "móvil" se encuentra a bordo del buque, mientras que la otra unidad "fija" o de localización fija, se instala en un punto fijo, normalmente en la plataforma. Los datos transferidos entre las dos estaciones proporcionan información de distancia y demora entre el punto de referencia y la estación móvil, estos datos permiten al buque calcular su posición. La distancia entre las estaciones se determina midiendo el tiempo transcurrido entre una señal de salida y de llegada. La demora es calculada por los ángulos entre las señales emitidas-recibidas por las antenas.

El rango máximo para las operaciones de DP oscila entre 5 y 10 kilómetros, a pesar de resultar grandes distancias se ha logrado posicionarse con exactitud. Artemis tiene un alcance de 10m a 30 Kms y una cobertura de 360° alrededor de la estación fija. A distancias cortas, las antenas fijas pueden ser reemplazadas por una baliza. Es entonces necesario medir la demora a la estación móvil, la cual introduce errores del compás y limita la distancia útil a aproximadamente 200m.

Artemis funciona a 9,2 GHz y por tanto, no se ve afectado por la lluvia, niebla o bruma. Sin embargo, requiere de una línea de visión sin obstáculos. Su uso se limita a las zonas donde se han instalado estaciones fijas o balizas. Se usa para aplicaciones de posicionamiento tales como buques de apoyo, balizamiento y la topografía de la costa.

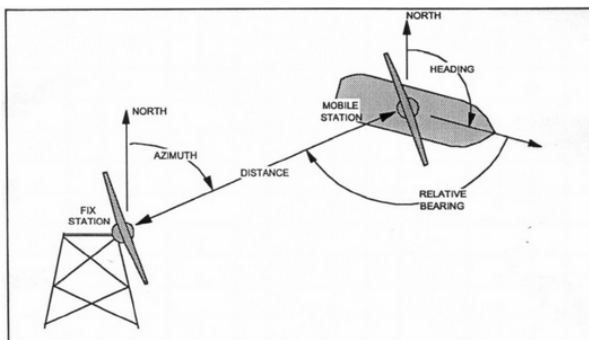


Fig. 1.53 Antenas del sistema Artemis, fija y móvil con ej. de ángulos de demoras. [20]

Las ventajas y desventajas que ofrece este sistema de referencia se pueden resumir en:

Ventajas:

- Alcance relativamente amplio, hasta 30Km.
- Alta precisión.
- Posibilidad de referencia geográfica.

- Muy conveniente dentro de un margen de 500m, o cualquier otra área controlada.

Inconvenientes:

- Debe ser calibrado y configurado, lo que requiere de experiencia.
- Precisa de una unidad especial para áreas peligrosas.
- Precisa de asistencia de personal de la plataforma.
- Puede ser interferido por personal de la plataforma.
- Puede sufrir interferencias por neblina o la precipitación.
- Pérdida de señal si se interfiere la línea de vista.
- 3cm radar interfiere con Artemis.
- Vulnerable a los problemas de suministro de energía en el extremo fijo.

1.5.2.4 FM Radar

La aplicación al sector DP marítimo de Frecuencia Modulada Radar (FM) representa una nueva forma de utilización de la tecnología del radar para corto alcance y monitorización de la dirección de las señales. Hace uso de un transmisor y uno o más retro-reflectante pasivo o transpondedores activos. El transceptor emite una señal continua (a diferencia de la señal pulsada de radar convencional), la señal es recibida por un transpondedor, mezclado con un código de identificación único y refleja (pasivo) o transmite, de forma activa, de vuelta al transceptor.

Los dos sistemas comerciales disponibles son *Radius* (introducido por Kongsberg en 2004) y *Radascan* (introducido por la Guía de navegación en 2006). La diferencia más destacable entre ambos es que el transceptor de *Radius* es fijo, mientras que el de *Radascan* gira. Ambos sistemas son aceptados por con cualquier sistema de DP. El espacio de tiempo entre la señal transmitida y recibida por el transceptor se traduce a al rango o distancia. La demora es obtenida

por la diferencia de fase en Radius o el uso de la rotación del escáner y un codificador de precisión en Radascan.



Fig. 1.54. Sistemas Radius y Radascan. [3]

FM Radar es un sistema de referencia de posición relativo. Y cómo se ha comentado sólo requiere un mínimo de un transpondedor para trabajar, pero ambos Radius y Radascan puede utilizar hasta 5 transpondedores. Cada transpondedor tiene su propio código único. Más de un buque puede utilizar cada transpondedor simultáneamente, sin límite conocido sobre el número máximo de buques. No hay necesidad de inclinar el transceptor, como en los sistemas de referencia de láser.

Las ventajas y desventajas que presenta este PRS se pueden resumir:

Ventajas:

- Opera bajo cualquier condición meteorológica, incluida niebla.
- Es un sistema muy preciso.
- Alcance de hasta 1.000 metros.
- Útil dentro de la zona de 500 metros.
- Se puede utilizar más de un transpondedor.
- Operativo para más de un buque.
- Un buen blanco realiza bloque y seguimiento estable.
- No presenta zonas de sombras cuando se trabaja cerca de las instalaciones.

Inconvenientes:

- Los transpondedores necesitan alimentación o batería.
- Transceptor Radius simple es direccional.
- Radascan puede interferir con la banda X del radar.
- Radius puede interferir con las comunicaciones de radio, incluyendo a las comunicaciones satelitarias.

1.5.2.5 Sistema de Referencia Láser.

Se diferencia principalmente dos sistemas en el uso operacional *Cyscan* y *Fanbeam*, ambos proporcionan una demora y distancia relativa al reflector o reflectores. Se basa en una estación de dispositivo láser que transmite y recibe el pulso (láser) y un reflector (cualquiera de los tubos: tipo prismático o combinado).

Ofrecen múltiples usos, puede ser utilizado para proporcionar información de posición para un buque con sistema DP de rastreo de objetivos relativos, por ejemplo, un barco sísmico en seguimiento de la posición relativa de las boyas, o una barcaza de tendido de tuberías. Los sistemas pueden seguir blancos individuales o múltiples.

a)Cyscan: Cyscan es un láser de corto alcance basado en el posicionamiento de alta precisión y sistema de seguimiento. Se compone de un láser de rotación estabilizado y tres o más objetivos reflectantes posicionado normalmente en la plataforma o estructura fija. Los objetivos reflectantes se fijan a distancia definida a lo largo de una línea de base. Los buques se pueden posicionar de forma única mediante la alteración de la separación entre los objetivos.

Un pulso de luz se dispara a un blanco reflectante, se cronometra la ida y vuelta del pulso para proporcionar la distancia. En el instante que se recibe el pulso, un codificador óptico se activa proporcionando el ángulo. La unidad puede ser montada en

cualquier lugar del buque, pero normalmente se coloca por encima del puente.

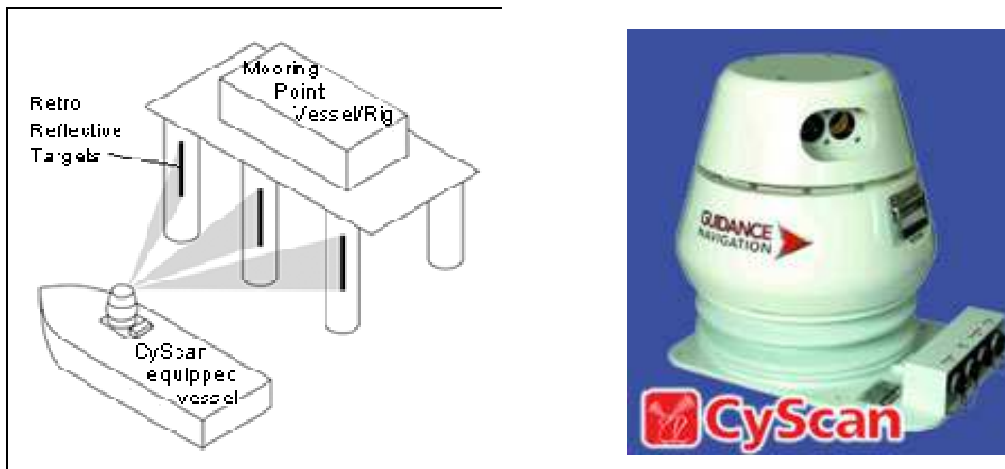


Fig.1.55 Láser con objetivos reflectantes posicionados en la plataforma o estructura fija. [3]

El cabezal láser giratorio se coloca sobre una superficie estable de dos ejes para compensar el cabeceo y balanceo. El sistema se configura para un determinado buque con el número específico de reflectores y una separación determinada. El uso de tres o más reflectores proporciona un alto grado de redundancia y permite que sean desechadas reflexiones erróneas. El sistema, por tanto, no se ve afectado por objetos que interfieran en el “camino” o por incidencia directa del sol.

b) Fanbeam: El sistema Fanbeam es un láser basado en posicionamiento alternativo de corto alcance y sistema de seguimiento. Consta de una unidad láser que transmite el pulso y un reflector, proporcionando distancia y la demora. El reflector se puede fijar en tierra o en una estructura fija. El rango útil para DP es de alrededor de 200 a 250 metros. La unidad de láser debe estar alineada con el eje del buque, se requiere de una VRU (Vertical Reference Unit) necesaria para la compensación de cabeceo y balanceo.



Fig. 1.56 Fanbeam de corto alcance alineado con el buque [21]

El sistema consiste en una serie de rayos láser, emitidos desde la estación fija y vertical ubicada en el buque, esta unidad puede girar hasta 360°. Son procesados el tiempo de refracción del haz de luz. Puede servir como reflector una cinta reflectante con un alcance máximo de hasta 100 metros. Por encima de este rango, se utiliza un reflector retro prisma. A distancias más largas, se necesitan múltiples arreglos retro prisma.

Los prismas reflectores son dispositivos ópticos que están diseñados para reflejar el pulso de láser, su alcance dependerá del número de prismas del que se componga:

- Hasta 1 km se requieren de tres prismas apilados verticalmente.
- Hasta 2 km se requieren de seis prismas apilados verticalmente.



Fig. 1.57 Prismas reflectores [3]

Estos sistemas se están convirtiendo en una PRS muy popular para los propósitos DP. Es preciso, de fácil configuración y uso, de sus desventajas más destacables son que está limitado en cobertura, y su se ve perjudicada por mala visibilidad, lluvia o simplemente de la suciedad en la lente. También resulta vulnerable a las interrupciones de línea de vista.

1.5.2.6 Sistemas de Posición de Referencia Hidroacústicos (HPR).

Los sistemas de Posicionamiento Hidroacústicos (HPR) se caracterizan por ser una de las aplicaciones como PRS más prevalentes en los sistemas DP. Hacen uso de la propagación del sonido a través del agua. El principio de medición implica la comunicación mediante frecuencias acústicas de los equipos montados en el casco (transductor) y otros situados en el lecho marino (transpondedores).

“El procedimiento consiste en interrogar al transpondedor mediante una señal transmitida por transductor, activándose éste 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.” [4]

La acústica submarina tiene muchas aplicaciones, una de las cuales es la prestación como PRS para los propósitos DP. Otras aplicaciones específicas son para,

1. Perforación: perforación en aguas profundas, se utiliza una combinación de USBL en el buque y el transductor LBL.
2. ROV.

Se clasifican en tres tipos o sistemas básicos, que se redactarán a continuación, y un cuarto que es una combinación de dos de los tipos básicos. Los cuatro tipos son:

- Long Base Line (LBL): precisa, pero requiere una gran variedad de balizas en el fondo marino.
- Short Base Line (SBL).
- Super Short Base Line (SSBL o USBL): menos preciso que LBL
- Long and Ultra Short Baseline: combina lo mejor de ambos.

a) *Long Base Line (LBL)*: Consistir en un sólo transductor en la embarcación, y una serie de al menos tres transpondedores, que están separadas por más de 500 metros en el lecho marino. Por lo general la matriz tiene forma un pentágono (5 transpondedores), posicionándose el buque en el centro de la base de transpondedores.

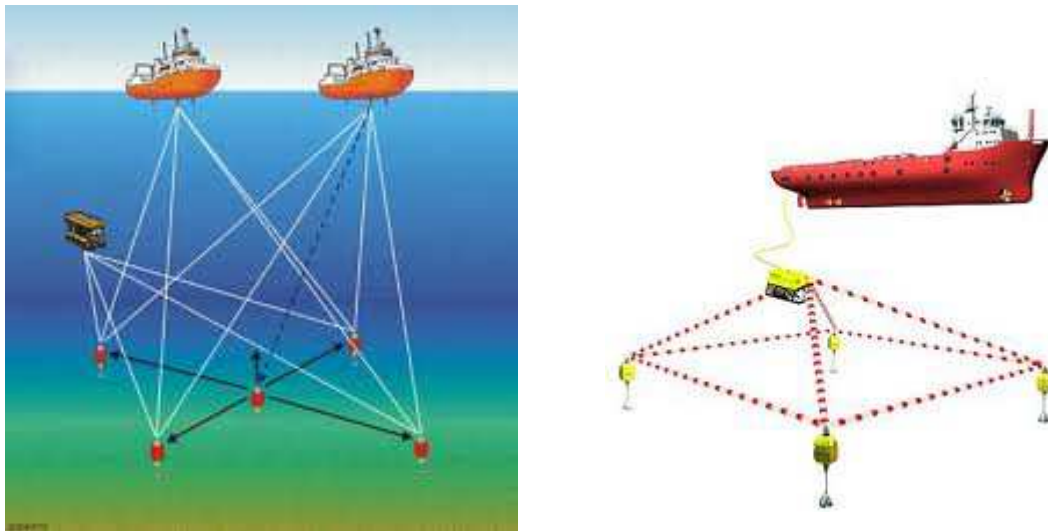


Fig. 1.58 LBL [22]

La calibración se realiza permitiendo que cada transpondedor pueda interrogar a todos los demás en la matriz, a su vez. Múltiples interrogatorios son más fáciles si el barco está cerca del centro de la matriz. Si, al mismo tiempo, el buque dispone de un DGPS u otro sistema de referencia geográfica, entonces la matriz transpondedor también puede ser calibrada geográficamente. La precisión es del

orden de unos pocos metros. La posición puede ser tanto en relación a las balizas, o si las balizas se trazan en latitud y longitud, o UTM, puede derivarse una posición geográfica. A 4000m, la tasa efectiva de datos puede ser superior a más de 10secs.

b)Short Base Line (SBL): La línea de base es la distancia entre los hidrófonos, con una distancia mínima de separación de 15m. SBL utiliza un solo transpondedor en el fondo marino y una matriz de transductores montados bajo el casco del buque. Necesita compensación por movimiento de la embarcación, que es proporcionada por un VRU.

La baliza del fondo del mar emite impulsos cortos de energía acústica, con periodicidad y frecuencia conocida. Se mide el tiempo de llegada de un solo pulso en tres o más transductores. Se requiere de hidrófonos que reduzcan los efectos del ruido.

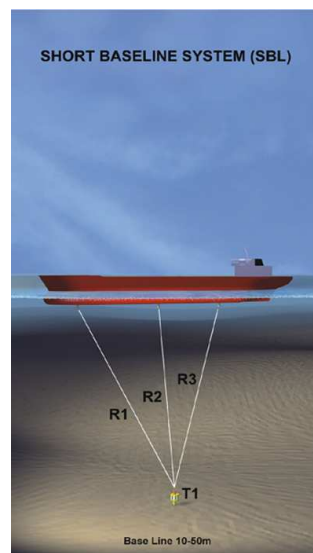


Fig. 1.59 SBL [22]

Se puede utilizar hasta profundidades cercanas a 1000m. La colocación de los hidrófonos en el casco del buque deben de mantenerlos alejados de fuentes de aireación de los propulsores.

Las ventajas y desventajas que presentan los HRS son:

Ventajas:

- Son independencia de una estación fija.
- El sistema está bajo el control del buque.
- Las balizas pueden ser desplegadas de manera que no exista un vínculo físico al fondo del mar.
- Exactitud razonable.
- Gran variedad de usos.

Inconvenientes:

- Se ven afectadas por interferencias de la refracción, el ruido, la absorción, etc.
- Puede ser afectado por multipath.
- Algunos sistemas tienen balizas que operan en las mismas frecuencias, e interferirán entre sí.
- Se ha comprobado que los equipos de diferentes fabricantes pueden interferir con otros sistemas.
- Las baterías se agotan.
- Balizas necesitan ser desplegadas.

1.5.2.7 Taut Wire Systems.

Los sistemas Taut-wire se diferencian de todos los demás PRS en que son principalmente de naturaleza mecánica. La referencia de posición se basa en un cable tenso que resulta especialmente útil cuando el buque pasa largos periodos de tiempo en una ubicación estática y en limitadas profundidades.

“El Taut-wire más utilizado consiste en una grúa con características especiales montada en cubierta, normalmente en uno de los costados del buque.” [4] Cuanto más cerca esté del centro de rotación, menor será el efecto de cabeceo y balanceo, lo que reducirá el desgaste en el mecanismo de tensión. Desde la grúa 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 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.” [4]



Fig. 1.59 Grúa Tautwire [21]

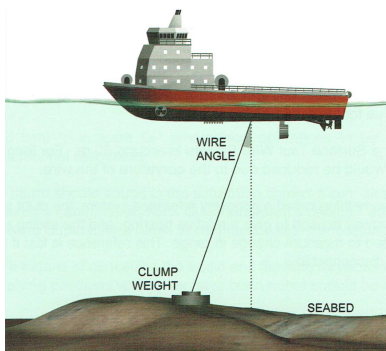
La precisión típica de un alambre Taut-wire es de $\pm 2\%$ de la profundidad del agua, hasta 500 metros. Requiere especial atención a los efectos de catenaria, ya que puede provocar que la exactitud se vea afectada, disminuyen así por efecto de las corrientes y las mareas. El ángulo máximo permisible es de $\pm 30^\circ$ en cualquier plano. Un ángulo de trabajo ronda los $\pm 15^\circ$. El despliegue y la recuperación del peso pueden ser un problema en condiciones de mar gruesa.

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).

Las posibles fuentes de error y limitaciones operativas vienen dadas por: la columna de agua, por la propia estructura del buque, limitaciones angulares del cable y excesivo balanceo y cabezadas.

Se diferencian dos tipos:

- Moon Pool Taut Wire:



- Surface Taut Wire:

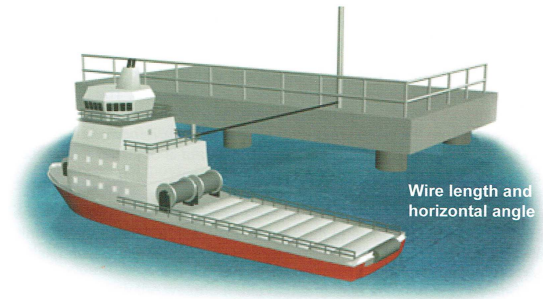


Fig. 1.60 Modalidades Taut wire [3]

Un sistema de cable tenso se limita en muchos aspectos. El rango máximo depende de la profundidad del agua, al igual que la precisión del sistema. El sistema está limitado a una profundidad máxima de 300-400m. De igual forma se limita a proporcionar una posición relativa para un buque en una ubicación fija. Además, puede estar influido por fuertes corrientes. Si el buque tiene que cambiar la ubicación, entonces el peso tautwire debe restablecerse. Sin embargo, el tautwire es un sistema popular, preciso y de uso frecuente. Son fiables, robustos y excelentes para mantener la posición durante largos períodos de operación. Requiere de rápida y simple configuración y operación, en condiciones climáticas moderadas.

1.5.3 Sistema de Referencia Medioambientales

Los sensores del buque deben medir por lo menos el rumbo, el movimiento, la velocidad y dirección del viento. Se podrá disponer a bordo de otros sensores ambientales, tales como medidores de corriente, medidores de tensión, pero por lo general son sensores de información y su información no se introduzca en el DP.

1.5.3.1 Referencia al rumbo, girocompases.

La función básica del girocompás en un sistema de posicionamiento dinámico es su utilización como sistema de referencia de rumbo. Simple y directo, la importancia de esta información nunca debe ser subestimada. Ningún sistema DP puede funcionar sin una entrada que proporcione el rumbo del buque, es una contribución esencial a los PRS.

El modo de trabajo Automático DP exige el rumbo y posición requerida del buque. Sólo cuando ambos han sido seleccionados y el sistema está recibiendo referencias fiables, el sistema establece el modo “full” DP.

El girocompás se cataloga como el sensor más crítico para el posicionamiento, debido a que se usa para determinar la posición de partida. Si hay más de un giroscopio, o bien, se selecciona uno como un preferido, o se utiliza un promedio. Si sólo hay dos giroscopios, y uno comienza a derivar, el sistema sólo dispone de una referencia, el operador tendrá que decidir cuál es la correcta. Si se dispone de tres giroscopios y están seleccionados todos, puede permitir el voto al DP, es decir, se inhabilita aquel que diverja respecto a los otros giros.

1.5.3.2 Sensores.

Los sensores o sensores de entorno que afectan a un sistema DP son normalmente: *Sensores de viento* (anemómetros) y Sensores de Movimiento Verticales llamados *Sensores de Referencia Unidad* (VRS) Vertical Referencia (VRU) o *Unidad de Referencia de Motion* (MRU).

Los sensores de viento son muy importantes para el DP ya que la fuerza eólica es una de las principales fuerzas que afectan al mantenimiento de la posición y rumbo del buque. Se debe tener sumo cuidado en la colocación del anemómetro, deben situarse en zonas totalmente despejadas, por ejemplo, en el caso de una plataforma, en la parte superior de la torre de perforación. Hay ocasiones en la que los sensores de viento podrían estar enmascarados por ejemplo, al sotavento de una plataforma, o dar una lectura falsa como ocurre en maniobras con helicóptero. El operador debe ser consciente de todo lo que puede dar una lectura falsa y tomar las medidas apropiadas cuando sea necesario. Cuando existan dudas sobre la exactitud de la información de los sensores de viento, se debe cancelar la selección de sistema, y seleccionar de nuevo una vez que la situación se haya resuelto.

El total de propulsión requerido para mantener la posición con el viento dominante en cualquier dirección y velocidad se programa en el sistema DP de forma automática e instantáneamente, así se hace uso esa cantidad de empuje para compensar la fuerza del viento. Esto es conocido como Compensación Automática de Viento (AWC) o *Wind Feed Forward*, es decir compensación automática a los cambios repentinos en intensidad y fuerza del viento, asegurando que la pérdida de posición se reduzca al mínimo. En este “pequeño” se aprecia lo esencial que es que el sistema reciba la información de viento más precisa posible.

1.5.3.3 VRS/VRU/MRU.

El sensor medioambiental es el Sensor de Referenci Vertical (VRS, sus siglas en inglés) también conocido como Unidad de Referencia Vertical (VRU), calcula el cabeceo y balanceo del buque. La última versión de la Unidad de Referencia de Movimiento (MRU) mide cabeceo, balanceo y desplazamiento vertical. Éste último se utiliza

para mejorar la precisión de los sistemas de referencia de posición acústicas.

El sistema DP puede funcionar sin un VRS / MRU si el buque no está cabeceando o en balanceo. El VRS / MRU se encuentra normalmente en la línea.

Resulta importante destacar que si se produce un fracaso en VRS/ MRU puede causar pérdida de la PRS.

Capítulo II

Objetivos

Objetivos

A lo largo del capítulo anterior, se ha desarrollado, de forma explicativa los componentes, clasificación y principios de operación de un Sistema de Posicionamiento Dinámico. Conceptos capitales para el desarrollo del presente trabajo, pero el principal enfoque u objetivo que se desea alcanzar, no es tanto este enfoque teórico, sino un enfoque práctico, remarcando conocimientos y habilidades destacables, a tener en cuenta, a la hora de trabajar con este tipo de sistemas a bordo.

Los objetivos fundamentales que se persiguen en este trabajo de fin de grado, se puntualizan como:

- *Descripción, componentes y principios de un Sistema de Posicionamiento Dinámico.* Objetivo definido en el capítulo previo de “Antecedentes”.
- *Conocimientos y competencias básicas de un Sistema de Posicionamiento Dinámico para un Oficial u Operador del Sistema.*
- *Planificación por parte de un Operador del Sistema de Posicionamiento Dinámico de una operación de trabajo.*
- *Descripción práctica de cómo actuar y proceder en un Sistema de Posicionamiento Dinámico.*

Capítulo III

Desarrollo

Competencias del Operador del Sistema DP

Planificación y Guardia Operativa.

Procedimiento de Actuación del Buque Miguel de Cervantes.

3.1 Competencias del Operador del Sistema de Posicionamiento Dinámico

El Operador del sistema de Posicionamiento Dinámico o según sus siglas en inglés DPO, forma parte sustancial en todas las operaciones que se lleven a cabo con este sistema. Bien es sabido, que son procesadores informáticos los que realizan la labor de cálculo y peso, modelos matemáticos y control de la energía propulsora del buque en cuestión. Estos medios facilitan la labor en las operaciones, pero es el DPO, la parte humana del sistema, el que controla que todo marche dentro de los parámetros de normalidad. Y en el caso, de situaciones de fallo, de la índole que sea, esté ahí con sus amplios conocimientos, para solventar e intentar, dentro de lo posible, mantener la posición y rumbo del buque.

En el apartado de Antecedentes del presente trabajo, se ha descrito de forma genérica, y sin profundizar demasiado en cada uno de sus subapartados, el funcionamiento y partes de un sistema DP, conocimientos básicos que debe poseer todo DPO.

A continuación, se hará mención de otros aspectos a considerar y tener muy en cuenta por parte de todo operador, que no se han citado previamente.

- Los DPO son los responsables de reportar directamente al capitán del buque, todo lo referente con estados e incidencias. Además de llevar al día su correspondiente registro por escrito de lo acaecido durante las operaciones y aspectos más relevantes durante su guardia.
- El registro de las operaciones o “DP LogBook” debe ser continuamente cumplimentada, por parte del operador.
- Las tareas del DPO son distribuidas equitativamente por el capitán del buque. Ambos, Capitán y Operador del sistema, trabajarán de forma

estrecha y coordinada, con el fin de llevar a cabo las operaciones o rutinas del buque lo más eficiente posible.

- Por norma general, habrán dos Operadores del sistema DP a bordo, trabajando a guardias de 12 horas, cuando el buque se encuentre en modo DP.
- Es de vital importancia para el DPO familiarizarse plenamente con todas las funciones, instalaciones y procedimientos adecuados a su sistema. Al igual que el estudio en profundidad de todos los manuales operativos.
- El DPO debe monitorizar continuamente el valor de ajuste y valores de retorno para cada unidad de propulsión. Ya que, aunque una discrepancia debe generar los “warnings-advertencias” y alarmas adecuadas, un propulsor que ha fallado no necesariamente desencadenan una alarma. Esto es porque, si las condiciones son estables, los comandos pueden no variar mucho. Un propulsor podría haber fracasado “as-set”, es decir, estar enviando un valor de empuje constante y no reaccionar a los comandos. En este caso no se generan alarmas, ya que el valor de fallo está muy cerca de la orden o comando. Este modo de fallo sólo será recogido por el DPO.
- Al modo “AutoTrack” del sistema DP se accede a través de un sistema de menús complejos. El DPO puede introducir datos de forma manual desde su “mesa de pista” o “editor de pistas”. Esta instalación permitirá la entrada o la eliminación de puntos de interés, la inserción de nuevos puntos de referencia en cualquier momento, la entrada de los valores de rumbo y velocidad del buque. En este modo, el DPO debe familiarizarse con todas las permutaciones disponibles. También deben saber la reacción exacta del buque en cada opción del menú. El DPO especifica cómo pasará el buque un waypoint (que se detenga la embarcación en un punto de la ruta, o que continúe en una curva redondeada, que no se ralentiza en el giro, etc) Y cualquier desviación de la pista.

- En aspectos de compensación de fuerzas externas, el sistema de DP y el DPO son capaces de gestionar los requisitos de empuje que permita esta compensación.
- Los manuales operativos DP proporcionan diagramas de capacidad “Capability Plot” que ofrecen una indicación aproximada de la capacidad del buque en variedad de condiciones climáticas. El valor de estos diagramas es a veces cuestionable, ya que el barco y/o condiciones ambientales raramente coinciden con los tabulados en los diagramas. Existe un diagrama similar calculado "en línea" por el sistema bajo demanda. El DPO debe especificar los valores actuales del estado del mar e introducir una variedad de modos de fallo de estado relativos a la planta de energía y propulsión.
- El DPO debe esperar aproximadamente unos treinta minutos para que sistema realice el modelo matemático, actualizado y fiable.
- El DPO debe asegurarse que el sensor de viento seleccionado, ofrezca una lectura de viento despejada, sin obstáculos y sin sombras producidas por estructuras cercanas. Con el fin de que el sistema pueda obtener datos reales de las condiciones ambientales reinantes.
- El DPO debe tener en cuenta que el valor “Corriente” es sólo un valor deducido y no una medición real, y por lo tanto está sujeta a error.
- Los buques supply o de apoyo habitualmente trabajan en proximidad a las estructuras de plataforma fija, en estas situaciones el principal peligro es el contacto con la estructura. Un DPO debe asegurarse, en toda maniobra, de que tienen una visión inmediata y directa de la estructura cercana.
- El DPO deben tener siempre en cuenta que cualquier buque en la zona, incluso el propio, podría sufrir una pérdida de potencia total o apagón. Si sucediera así, ¿Posee un plan de contingencia para esto? ¿Y en el caso de

que el buque supply sufriese un blackout? ¿Tendríamos vías de escape para ello? Si el propio buque se encuentra en una tarea crítica para la seguridad con restricciones de posición, entonces podría ser necesario suspender las operaciones hasta que se presenta una situación más segura.

- Resulta de vital importancia, que se valoren y estudien todos los posibles peligros asociados a las operaciones, evaluando en cada ocasión y previamente al comienzo de éstas, un mínimo de varias vías de escapes.
- El DPO debe estar continuamente al tanto del modo de fallo en el peor de los casos, en relación con la propulsión. Los sistemas DP modernos están configurados para dar un análisis de las consecuencias en contra de esta eventualidad.
- Si el sistema observa que el buque no podrá mantener posición y/o rumbo, se generará una alarma, por el análisis de las consecuencias de alarma de deriva-off. Si se activan tales alarmas o advertencias, el DPO puede asumir que la redundancia de alimentación/propulsión está intacta, aunque siempre es aconsejable mantener un informe de seguimiento sobre las cargas de potencia y empuje. el DPO debe ser consciente de las consecuencias en deficiencias en los mecanismos de suministro de energía.
- En general, el DPO debe estar muy familiarizado con el régimen de redundancia del buque, en todas las áreas. Deben estar familiarizados con todos los puntos débiles o deficiencias en los mecanismos de redundancia del barco en particular. También deben cuestionar los arreglos de redundancia por modificación o instalación de nuevos equipos, por ejemplo. Si se han instalado nuevos sistemas de la posición de referencia, ¿están las fuentes de alimentación debidamente protegidas y redundantes? Si el buque tuviese que operar con un propulsor detenido por razones operativas, ¿ha afectado ello a la redundancia global de la

maniobrabilidad buque? ¿Qué sistemas de protección de centralitas están en su lugar y con qué frecuencia se han probado? ¿Con qué frecuencia se ponen a prueba los sistemas de UPS? Este es el tipo de pregunta que debe plantearse el DPO y buscar respuestas a cada una de ellas.

- En operaciones de buceo y/o con ROV, el peligro se centra en asegurar que, en todo momento, la conexión umbilical de los buceadores se encuentre restringida en longitud, con el fin de prevenir que el buzo sea llevado a los propulsores o hélices. Se requiere un margen de seguridad mínimo de 5 m. Las extensiones umbilicales deben ser acordadas entre el puente y el Control de buceo antes de cualquier operación de buceo, y formarán parte de una lista de comprobación pre-inmersión.
- La provisión de PRS debe ser una preocupación constante para el DPO, siendo consciente de que no existe un PRS preciso, estable y confiable. Todo PRS presentan deficiencias, limitaciones y dificultades, y es el trabajo del DPO evaluar correctamente la idoneidad de las referencias individuales para su uso en cualquier situación particular, y hacer uso de aquellos PRS que resulten más idóneos.
- En operaciones con equipos clase 2 o 3, se exigen tres PRS como mínimo. El sistema ofrece un test de “Median Voting” lo que permite la detección automática y el rechazo de un PRS. En estas circunstancias es vital la experiencia del DPO para escoger o rechazar un PRS. Un ejemplo sería la de seleccionar o activar con un DGPS cuando el buque se encuentre en la cara norte de una gran plataforma en una alta latitud norte. En esta situación, la pérdida de la señal de satélite (o correcciones diferenciales) debido a la sombra plataforma es predecible.
- En lo referente al Origen de Referencia, el DPO debe asegurarse de que el dato que el sistema está utilizando coincide con el que aparece en sus cuadros y diagramas de trabajo.

- En sistemas como HPR el DPO debe tomar medidas para evitar la interferencia de ruido, mediante la localización de los transpondedores lejos de propulsores y de flujo de los mismos. En este sentido, es necesario que el DPO conozca el patrón de ruido y ventilación.
- Cuando se trabaja con Taut Wire, el DPO debe verificar cuidadosamente la configuración del lecho marino, para asegurarse de que no reducen el peso en el hardware, o poner en peligro el funcionamiento del buque.
- El DPO debe estar familiarizado con todo el sistema de propulsión del buque y debe ser consciente de lo que está sucediendo en cada circunstancia.
- Por norma general habrá tres indicadores de estado para las hélices dentro de DP, en el panel nos encontramos con; “running”, “ready” y “enable”. El sistema DP recibe la señal de funcionamiento de los propulsores. Los propulsores se designan "ready" si el interruptor de transferencia se ha ajustado a la posición DP. Esto configura los propulsores y hélices para aceptar comandos desde el sistema de DP en lugar de los controles del panel. Una vez que la unidad de propulsión se muestra como "ready", se puede activar en el sistema DP pulsando su botón “enable”. Tan pronto como esta transferencia se ha hecho, es esencial que el DPO entre en el modo de joystick DP, y compruebe los propulsores, haciendo pequeños movimientos del joystick en direcciones diferentes (surge, sway y yaw) así el DPO puede verificar que todos los propulsores y hélices se están comportando correctamente.
- El DPO debe ser consciente de la repercusión en la redundancia de propulsión.
- En general, los propulsores y hélices se limitan a alrededor de 80% de la capacidad máxima cuando se está en modo DP. Ello es para evitar la

sobrecarga de pala de la hélice que podría producirse en condiciones altas de empuje. El DPO debe estar familiarizado con la posibilidad de anular esta limitación. Por lo general, hay un índice de “potencia máxima” que puede ser seleccionado por un período de tiempo limitado. Esta limitación del 80% no deberá estar seleccionada en momentos en los que el buque se encuentre en tránsito.

- El DPO debe monitorizar continuamente el ajuste, valores de rpm y azimut de los propulsores. Una alteración importante debe generar una alarma del sistema.
- Si un propulsor o propulsores fallasen de alguna manera, el DPO DEBE detener esa unidad inmediatamente. El DPO debe estar familiarizado con la ubicación de los botones de parada de los propulsores, que se encuentra en el panel de control.
- Es de vital importancia que el DPO posea un conocimiento y familiaridad de los sistemas de energía del buque. La razón de este requisito es simple: los problemas de DP son instantáneos, lo que exige una rápida, si no inmediata toma de decisiones. En circunstancias de crisis una familiaridad con el diseño de la planta de energía y operación es de gran beneficio en el proceso de toma de decisiones.
- De igual manera, es esencial que el DPO esté familiarizado con el diagrama de distribución de energía. Este diagrama muestra la relación entre los generadores, los cuadros de distribución de alta tensión y unidades de propulsión.

3.2 Planificación y guardia operativa.

3.2.1 Planificación operativa.

El acierto de cualquier operación relacionada con la DP dependerá totalmente de la calidad de la planificación. Los planes de ejecución deben ser discutidos con el cliente, que debe estar de acuerdo con todos los aspectos del plan. La planificación debe incluir la secuencia prevista de eventos, con planes de contingencia eficaces que cubren todos los aspectos de la operación.

Cada etapa de la operación debería permitir al menos una ruta de escape posible con el buque en un estado degradado o por problemas fortuitos.

La planificación debe abarcar el enfoque de obra y puesta en marcha, junto con las maniobras posteriores, y la eventual salida del lugar de trabajo una vez concluido.

3.2.2 Preparación de los planes operativos.

Con frecuencia, el buque está simplemente proporcionando una plataforma de trabajo a partir del cual el cliente puede llevar a cabo su operación. El buque puede estar relativamente estático en el lugar, o puede estar involucrado en maniobras simples o complejas.

La planificación real se puede realizar en las cartas de papel o diagramas del lugar de trabajo de la zona prevista por el cliente, o se puede hacer uso de la inserción de imágenes en pantalla computarizadas. Cualquiera que sea el medio a usar, es imprescindible comprobar que los datos estén actualizados y completos.

En la preparación de los planes operativos, el personal del puente y DPO debe tener en cuenta una variedad de factores, todos los cuales pueden afectar a la viabilidad de los planes.

Algunos de estos factores se detallan, tales como las condiciones ambientales y meteorológicas previstas en la zona. ¿Existen fases de la

operación limitadas por condiciones meteorológicas? La calidad de los datos de previsión del tiempo disponible.

Corrientes y corriente de marea:

¿Cómo afectara al buque las posibles corrientes?

¿Será algún aspecto de la operación bajo influencias meteorológicas adversas, o con corrientes?

¿Esta el buque en condiciones de reaccionar a los cambios en el clima o la situación actual?

¿Existen restricciones de la profundidad del agua y de los proyectos?

¿Qué peligros fijos y móviles se pueden esperar en el sitio y el entorno de la zona de trabajo?

¿Hay alguna restricción para la maniobra o colocación de los equipos informáticos en el fondo marino impuesto por el operador de campo?

¿Existen factores que podrían limitar la maniobrabilidad del buque o la posibilidad de abandonar la zona por rutas de escape?

¿Se verá limitada la evasión del buque en caso de emergencia durante la operación?

¿Existe alguna limitación con respecto a la disponibilidad de energía o la prestación de empuje?

¿Habrà alguna fuerza externa o de otro tipo que podrían degradar la capacidad de posicionamiento de la embarcación?

¿Qué clase de equipo se requiere para la operación?

¿Cuál es la probabilidad de que el buque se vuelva incapaz de cumplir con las prestaciones del equipo?

¿Existen áreas problemáticas en la redundancia de los buques?

¿Existe una adecuada provisión de puntos de referencia?

¿Existen factores que podrían dar lugar a sistemas de posición de referencia que deje de estarlo?

¿Existen sistemas de posición de referencia adicionales a la mano para cubrir fallos inesperados?

La planificación incluirá la prestación de los permisos de trabajo, y el cumplimiento de los requisitos de seguridad del caso del cliente.

Antes de cualquier operación comienza, el cliente exigirá la realización de ensayos DP buque.

La configuración de la maquinaria también se decidirá teniendo en cuenta la clase de equipo con venido, y MCR dotación estuvo de acuerdo.

La disponibilidad de los generadores adicionales o unidades de potencia se debe aclarar junto con los plazos de preaviso de unidades disponibles.

3.2.3 Planes de contingencia y rutas de abandono.

Un principio básico de las operaciones de DP es que el DPO nunca debe situar al buque en una situación de la que no se pueda evadir ante una situación límite.

Las situaciones límites llevan consecuencias de fracaso, y a menudo la pérdida de la mitad de la potencia y capacidad de empuje. En términos más prácticos, un DPO nunca debe llevar al buque a lugares o situaciones, las cuales no dispongan de salidas de escape o soluciones previamente planificadas.

La planificación de contingencia significa responder a las preguntas que comienzan con las palabras "¿y si?". Durante la etapa de acercamiento al punto de operaciones, el plan de contingencia será simplemente la ruta de escape por la cual se emplee menor potencia para situarnos en una zona despejada. El DPO debe estar siempre al tanto de las áreas dentro de la zona de trabajo que son las áreas obstruidas a sotavento, zonas en próximas a cualquier riesgo fijo. (estructura de la plataforma). Estas son zonas especialmente peligrosas y su localización están

cambiando continuamente de situación a medida que las inclemencias meteorológicas van variando.

Una vez en la posición de trabajo y puesto en marcha el DP, los DPO deben comprobar las rutas de escape. Si el buque se encuentra cerca o junto a una plataforma, la ruta de escape más obvia puede no ser la mejor. El traslado de la embarcación hacia delante o hacia atrás es siempre preferible a una maniobra de lado. El moviendo hacia los lados siempre utiliza más potencia y empuje para la velocidad más baja y la aceleración.

Puede ser que el escape se esté realizando bajo condiciones límites de disponibilidad de energía. En estas condiciones la DPO siempre debe anticipar un apagón total (blackout), por lo que el buque debe ser desplazado hasta una situación clara, lo más rápidamente posible.

La ruta de escape debe mantenerse clara en todo momento. Si es ocupada por un barco de suministro, la situación debe ser reevaluado. El DPO debe tener una buena visibilidad en la dirección de la ruta de escape en todo momento. Si el sistema de DP se encuentra en la popa del puente de la nave, mirando hacia atrás (como es el caso de muchos buques de apoyo mar adentro) la ruta de escape debe ser ideada con arrancada hacia atrás.

En cualquier situación, la ruta de escape no debe ser directamente hacia barlovento. Si se produjese esta situación y el buque sufriese un completo apagón durante una maniobra de escape, esta nos abatiría hacia la zona de peligro, con el mismo razonamiento evitaríamos las fuerzas de la naturaleza por el través.

3.2.4 Planificación y guardia operativa.

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

El DPO deberá planificar continuamente la situación de las rutas de escape evaluándolas y variándolas, eliminando las menos viables, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas, y si fuese necesario suspender las operaciones llegado el caso, si todos los planes de contingencia se han desvanecido.

Una situación típica podría ser que el buque se encuentre trabajando al lado de una estructura de la plataforma con la popa al viento. Las previsiones de viento es que se mantenga estable en la dirección e intensidad, pero al caer la tarde, se observa que comienza a rolar e incrementar su intensidad en contra del pronóstico. Muy pronto, el buque ha llegado a sus límites de tiempo-de trabajo y de los planes de contingencia se han desvanecidos ante las nuevas condiciones. El DPO debe reaccionar de manera oportuna para asegurar la operación y colocar el buque en una nueva posición de seguridad.

3.2.5 Puesta en marcha inicial del DP.

Se supone que un buque está procediendo a una ubicación de campos petroleros con el fin de comenzar a trabajar cerca de las instalaciones de la plataforma fija.

Estas indicaciones son una guía general de procedimiento, que no pretende ser un conjunto detallado de instrucciones para una operación en particular.

Los primeros pasos consisten generalmente en la transferencia del control de la embarcación de navegación convencional para el control de DP, por lo general fuera de la zona de exclusión de campo 500m.

Antes de este punto, el contacto se habrá hecho con la instalación y ETA y otra información pertinente intercambiada. Permiso de trabajo y el aviso de disponibilidad deben ser satisfactoriamente expedidos.

Con el buque fuera de la zona 500, las funciones de control se transfieren al sistema de DP. Esto puede implicar un cambio de lugar de control (por ejemplo, el puente principal a popa del puente); con la lista de verificación se asegurará de que todos los sistemas están configurados correctamente y habilitados en la nueva ubicación. Es esencial que los controles de la hélice y propulsores sean probados y demostrado que funcionen en la nueva ubicación. Puede ser necesario que el sistema DP vuelva a ser arrancado o volver a cargar antes de la operación.

Todos los sistemas de comunicación deben ser comprobados y probados en la nueva ubicación del DP.

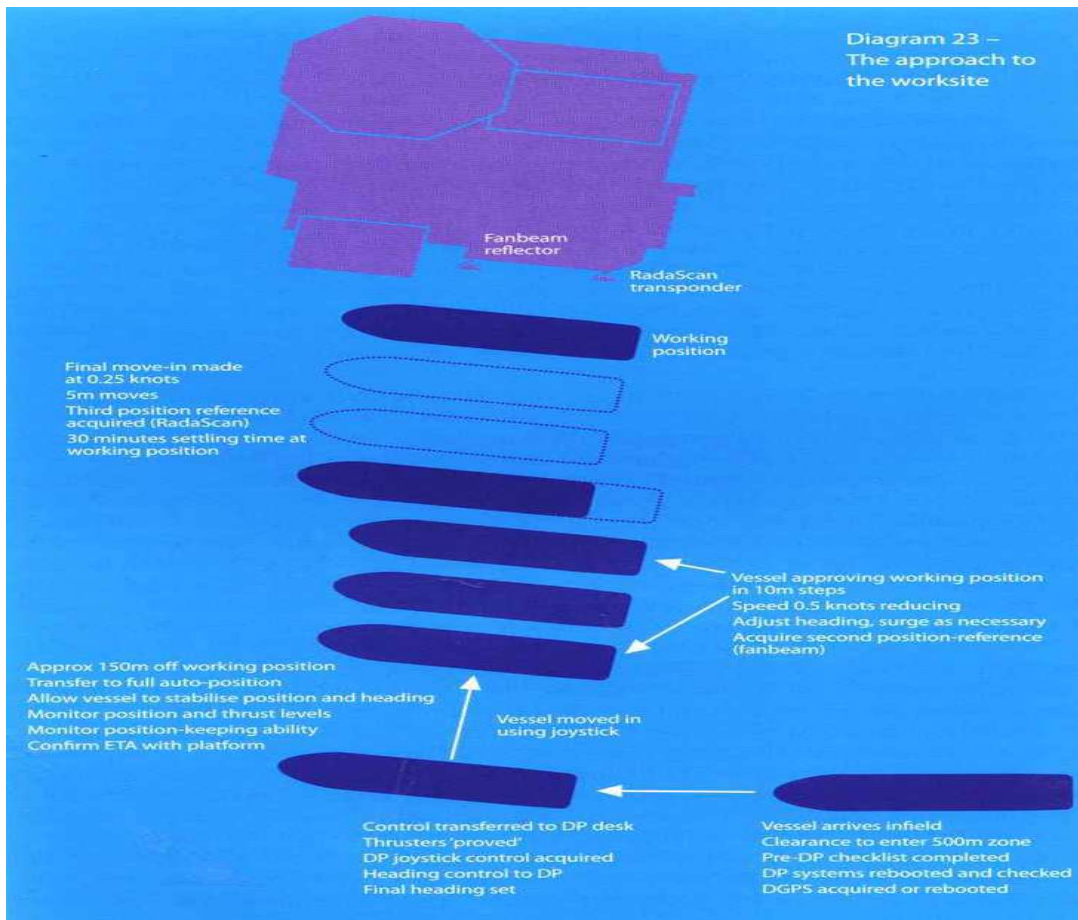


Fig. 3. 61 Inicio de maniobra de acercamiento con la banda de ER. A una plataforma de trabajo. [2]

Con respecto a los sistemas de posición de referencia, debe ser confirmada su disponibilidad, incluidas las referencias de respaldo permitidas en la planificación.

Con frecuencia, la primera referencia de la posición que se utilizará será DGPS, por lo que esta será comprobada y confirmado su funcionamiento. Cuando todas las comprobaciones han sido realizadas, ya estará lista la transferencia de control a la consola del sistema DP. Esto por lo general consiste en accionar un interruptor de transferencia que conmuta entre el control manual y el control DP.

En el sistema DP propulsores se pueden activar, y el sistema seleccionado en la palanca de mando o en el modo manual. El DPO ahora debe reafirmar que todas las hélices y propulsores están respondiendo correctamente a los movimientos del joystick, demostrando una vez más los propulsores.

Con la primera posición de referencia habilitada y aceptado en la DP, el DPO puede transferir el control de la embarcación a plena DP. Este sería el momento para completar la lista de chequeo pre-DP.

Si la embarcación está al comienzo del contrato, el cliente requerirá la realización de un programa de pruebas DP para ser completado, en la cual se chequearan todas las funciones DP, las instalaciones y el equipo periférico.

Al concluir satisfactoriamente este tipo de ensayos, suponiendo que no hay deficiencias en el sistema reportados, el buque está listo para comenzar la operación.

Se obtendrá el permiso para entrar en la zona 500 y se registrara en el cuaderno de bitácora. El buque puede ahora comenzar el trabajo.

3.2.6 Aproximación al lugar de trabajo.

Puede ser más conveniente para llevar a cabo las primeras etapas de aproximación al lugar de trabajo con el manual (joystick) o el control manual o semi-manual hasta un lugar aproximadamente de 200 metros de distancia de su posición de trabajo.

En este punto se puede restablecer de nuevo en el control DP automático una vez el buque se encuentra con el rumbo deseado para el inicio de la primera parte del trabajo.

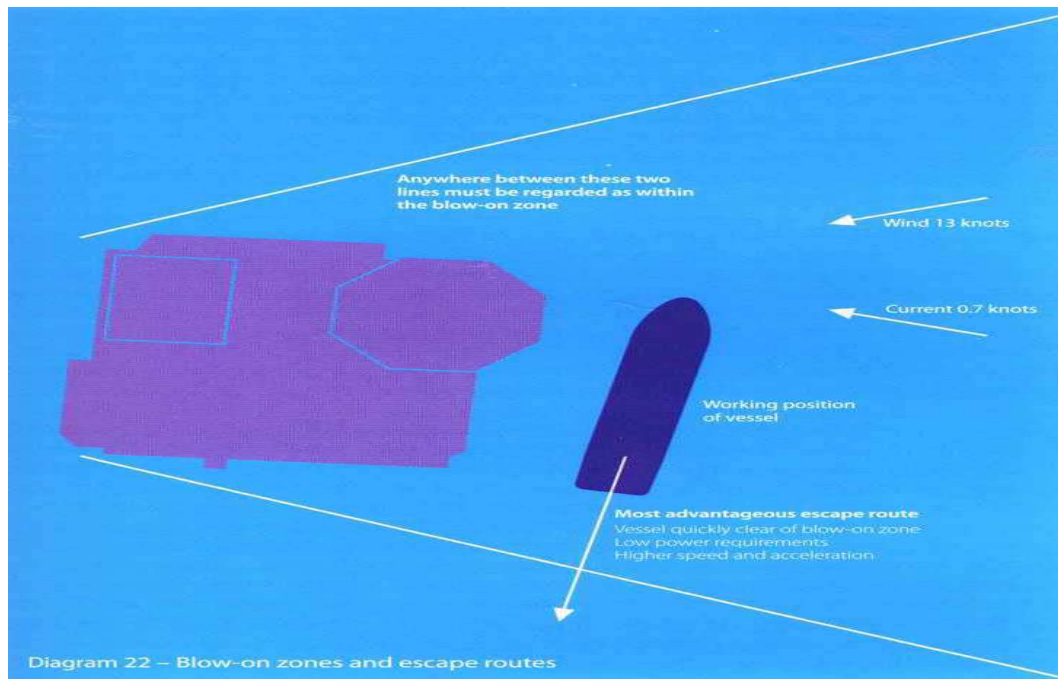


Fig. 3.62 Rutas de escape establecidas en una operación DP en una estación fija offshore [2]

En este punto se puede configurar y habilitar un segundo sistema de posición de referencia.

A esta distancia es una buena ubicación para hacer unas últimas comprobaciones. El DPO debe monitorizar la posición del buque y su capacidad de mantener el rumbo; Mantiene bien la posición o por el contrario encuentra dificultad?, se encuentran los propulsores trabajando dentro de los parámetros aceptables o se encuentran en márgenes rojos?

Este momento es crucial para el capitán y el DPO, deberán tomar la decisión de mantener el plan o abortar la operación, informando al cliente de toda decisión, indicando los motivos y las alternativas para su continuidad.

Suponiendo que se decida continuar la aproximación, se puede hacer contacto con la plataforma dando un ETA revisado para el inicio de la operación.

El buque puede ahora ser maniobrado hacia la posición de trabajo previsto en avances cortos, inicialmente 20m, reduciendo a 10 a continuación, 5m hasta su posición final.

La velocidad seleccionada para cada movimiento se reducirá progresivamente a medida el buque, con velocidades de 0,5 a 1 nudos a partir de los 200 metros, llegando a reducirla a 0,3 o 0,2 al estar a menos de 50 metros.

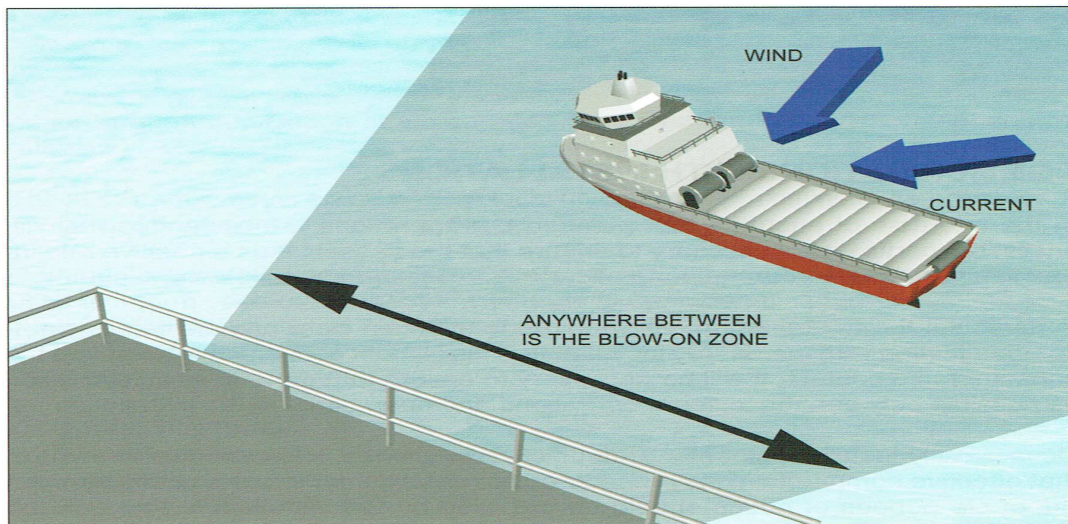


Fig.3.63 Evaluación de situación y aproximación automática DP a una estación fija offshore [3]

Cuando nos encontremos alrededor de los 100 metros del lugar de trabajo el tercer PRS debe ser habilitado, (teniendo en cuenta que para operar en DP2 o DP3, 3 PRS deben estar operativos).

Este puede ser sistema acústico, laser, taut wire o hidráulico. Con tres PRS on-line y aceptados por el sistema DP se podrá realizar los últimos pasos de aproximación al punto de trabajo.

Una vez en la posición de trabajo final, el buque debe mantenerse unos 30 minutos parado recopilando toda la información que el entorno le va proporcionando.

La principal necesidad de este período es para permitir que el modelo matemático del sistema pueda establecer su estado óptimo con la información recopilada, actualizando la variedad de tareas útiles.

El capitán y DPO deben asegurarse de que el buque está manteniendo la posición y rumbo cómodamente, sin movimientos e excursiones extrañas fuera del punto de trabajo.

Salida de potencia y propulsor deben permanecer continuamente en niveles aceptables teniendo debidamente en cuenta los requisitos de redundancia.

Las vías de evacuación deben ser reafirmadas. Todas las comunicaciones a bordo y externas deben ser revisadas.

Los check-list pre-operación deben ser completados y firmados por el personal correspondiente.

Si la operación se lleve a cabo en virtud de 'semáforo' (verde, ámbar y de advertencia de color rojo y lámparas de alarma), estos deben ser aprobados en todas las sedes operativas.

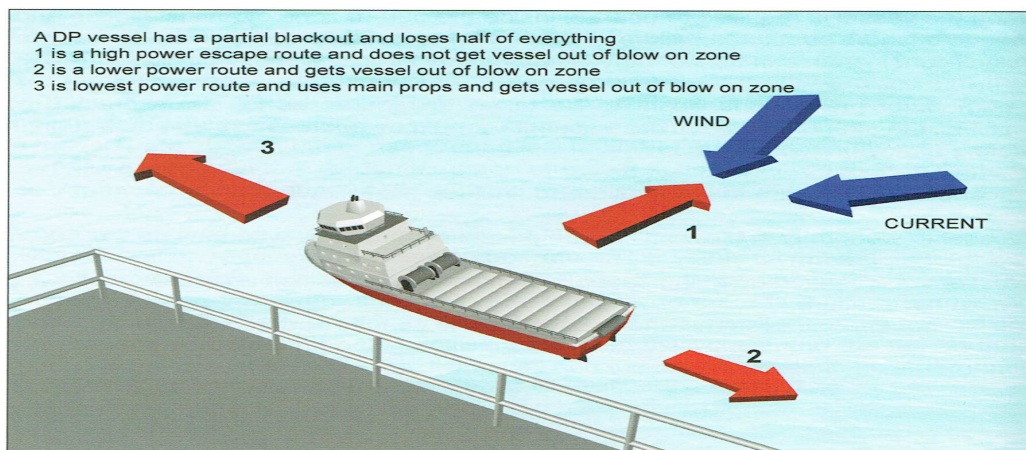


Fig.3.64 Rutas de escape establecidas en una operación DP en una estación fija offshore [3]

Todo el personal debe ser familiarizado con la respuesta correcta y necesaria para el ámbar y luces rojas.

A continuación se muestra un esquema de los pasos a seguir durante una aproximación para llevar a cabo una operación DP al costado de una plataforma.

3.2.7 Guardia DP y comunicaciones.

Estos registros se escriben para hacer constar las operaciones de DP generales.

Todas las operaciones son diferentes y los propios buques difieren en gran medida en el tipo, configuración y capacidad. Algunas tareas requieren el buque para mantener una posición estática o relativamente estática durante días o incluso meses en extremo (barcos de perforación, flotels).

Otros buques estarán maniobrando constantemente con el fin de apoyar sus tareas. La naturaleza de las tareas varía mucho y la operación debe planificarse en torno a las necesidades del trabajo a realizar.

Sin embargo hay ciertas pautas para la guardia DP aplicables a todas ellas.

El equipo del puente debe ser consciente de que el cambio significativo en la situación una vez que se da el visto bueno o la luz verde para la operación de iniciar, con independencia del tipo de operación, antes de este momento, el plan de contingencia de emergencia consiste en mantener clara la ruta de escape de la zona de trabajo hasta un lugar seguro.

Una vez, sin embargo, se da la luz verde, el plan de contingencia debe permitir que el buque mantenga la posición y dirección en todas las circunstancias, hasta que se cancela la tarea.

Algunos buques DP sin redundancia pueden ser maniobrados por una sola persona en el puente, pero la mayoría de las operaciones de DP se lleva a cabo con dos operadores gobernando el puente. Es necesario que el DPO lleve a cabo solamente las maniobras de DP, mientras que el otro oficial de guardia lleva a cabo todas las demás funciones de puente. Y que estos dos individuos intercambian los roles cada hora.

Es fundamental que los oficiales intercalar los relevos de forma que nunca se encuentren dos DPO frescos en el puente al mismo tiempo. Al hacerse cargo el relevo de la guardia DP deben recibir del oficial saliente una lista de información que incluye (pero no se limita) lo siguiente:

- Posición y rumbo del buque.
- Situación y evolución reciente del sistema de DP y sus periféricos.
- Detalles de Posición Sistemas de Referencia en uso y su rendimiento.
- La disponibilidad de nuevas PRS sobre el fracaso de las anteriores.
- Nivel de redundancia.
- Estado de la operación en la mano. Cambios y avances previstos para el próximo reloj.
- Detalles y estado de los elementos operativos (por ejemplo, si buque está realizando operaciones de apoyo a inmersión de buceo

, el estado, la posición, la profundidad de la campana de buceo o cesta, el número de buceadores en el agua, sus longitudes y umbilicales tiempos de retorno esperados, también los detalles de su tarea operativa).

- Las condiciones meteorológicas y las previsiones.
- Comunicaciones, a bordo y externa.
- El tráfico en la zona. Cualquier movimiento de tráfico previstas que puedan afectar a la embarcación y su explotación o su posicionamiento.
- Las operaciones de helicópteros previstas.

No se limita a esto únicamente, cualquier hecho relevante, se debe comunicar a la guardia entrante.

Uno de los puntos antes mencionados es el de las comunicaciones, lo cual es un tema de vital importancia tener en cuenta. En un buque típico de apoyo offshore, puede haber un pequeño número de tripulantes marinos dando servicio a un gran número de clientes y contratistas al mismo tiempo.

Es esencial que el personal del puente este totalmente informado del progreso de las operaciones.

Esta es la tarea del representante del cliente que será el enlace con el personal de la nave.

3.2.8 Listas de verificación.

Muchas listas de control están en uso en relación con las operaciones de DP. Se pretende que las listas de verificación sean una ayuda para la memoria, y una medida de seguridad, pero hay peligros inherentes al uso de listas de control, sobre todo si están mal diseñadas.

Puede ser útil en este punto destacar algunas áreas problemáticas identificadas relativas a las listas de verificación:

- Los checklist son mas que nada una ayuda a la memoria así no pasar por alto puntos que por insignificantes que parezcan pueden ser vitales, y a su vez resulta un gran ahorro de tiempo en un momento de urgencia.
- Sin embargo, existen riesgos inherentes al uso de checklists especialmente si su diseño no es muy bueno.
- Los checklists pueden ser completados en momentos de urgencia sin mucho tiempo para chequear cada ítem.
- El checklist puede llevar a sustituir a la mente. Pero hay que recordar que el checklist es una herramienta de ayuda a la memoria.
- Los elementos vitales pueden no estar incluidos en la lista de verificación. Este es particularmente el caso en el que se implantan checklists estándar de uso en diferentes buques con diferentes instalaciones.

Si un artículo no está incluido en la lista, lo más probable es que no se comprobará.

- Las listas de verificación deben ser revisados regularmente como parte del sistema de gestión de la seguridad de la embarcación.

Esto es especialmente necesario después de que el buque ha sido objeto de modificación o instalación de nuevos equipos.

Las enmiendas propuestas deberán ser aprobadas por el personal de operaciones.

- De vez en cuando existen ambigüedades con respecto a cómo debe ser hecho. Una casilla de verificación Gyro 1 no significa mucho.
- Las checklists finales debe ser realizada por dos personas.
- Ítems sin relevancia o no esenciales no deben ser incluidos en la checklists.

Si existen tales elementos, la lista de verificación pierde credibilidad.

3.2.9 Órdenes permanentes y registros de bitácora.

En cualquier buque, debe haber una orientación clara y eficaz a los oficiales de guardia en el puente, si el buque opera en el modo DP o no.

Las órdenes permanentes del capitán serán creadas en relación con todos los modos de operación del buque.

Deben hacer referencia a las políticas de navegación de la compañía, incluyendo la conducta del puente durante las operaciones de DP.

Debe haber una clara comprensión de la cadena de mando inmediato. Esto es particularmente preocupante cuando hay más de un oficial de guardia en el puente. A menudo es el caso de que el guardia es compartido por dos oficiales de guardia, uno de los cuales es el de alto nivel.

Es el caso en el que dos oficiales lleven juntos a cabo la guardia , uno de los cuales es el “senior”. Durante la operación DP , uno de ellos debe tener la consola DP , y no dedicarse a ninguna otra tarea simultáneamente.

Las órdenes permanentes aclararán cualquier conflicto dentro del sistema de gestión de la seguridad de la embarcación. Una clara especificación debe de en que circunstancias se debe avisar al capitán.

En algunos buques el capitán es uno de los equipo de guardia DP, y está respaldado por un capitán de guardia nocturna. La jerarquía de mando y la responsabilidad debe quedar claramente establecida y entendida.

El buque contará con un amplio manual de operaciones de DP, que es un documento operativo de la empresa (cuaderno bitácora entre otros).

Esto debe ser interpretado en conjunto con los manuales de operaciones suministrados por el cliente detallando sus tareas. Órdenes o procedimientos específicos pueden ser escritos cubriendo los requisitos operacionales muy específicos.

Dentro de las órdenes permanentes y los manuales de operación deben existir criterios claros y completamente entendidos por la suspensión de los trabajos debido a las inclemencias del tiempo u otras razones, y estos criterios deben ser entendidos por el cliente.

Una de las funciones de dichos manuales y órdenes permanentes es proteger el equipo del puente de excesivamente optimistas las demandas por parte del cliente.

Los registros se mantendrán, incluyendo todos los tiempos y posiciones relevantes en cualquier ubicación DP o configuración.

Un documento particularmente útil es un registro independiente del funcionamiento del sistema DP. Este registro incluirá los detalles de todos los trabajos de DP, con posiciones, referencias de posición de segunda mano, y cualquier mal funcionamiento atendido.

En diferentes apartados dentro de este registro DP se detallará el funcionamiento de cada sistema de posición de referencia individual.

En este documento se hace particularmente útil cuando se le entrega al personal de guardia adherido recientemente-, y también si el buque está trabajando por un largo periodo en un campo o área específica.

3.3 Procedimiento de actuación del Buque Miguel de Cervantes



Fig. 3.64 Buque de Salvamento Marítimo, Miguel de Cervantes [5]

La información o procedimiento de actuación que describimos a continuación, se corresponde con un equipo Kongsberg, concretamente con el sistema DP del buque de Salvamento Marítimo, Miguel de Cervantes. El cual dispone de un sistema DP clase 1.



Fig. 3.65 Consola Kongsberg [5]

Lo primero que habría que hacer es comprobar o seguir los pasos del checklist.

The image shows a detailed checklist for the ship 'Miguel de Cervantes'. At the top, it features the logo of 'SOCIEDAD DE SALVAMENTO Y SEGURIDAD MARÍTIMA' (SM) and the title 'POSICIONAMIENTO DINÁMICO'. Below this, it specifies 'LISTA DE COMPROBACIÓN PREVIA A OPERACIONES CON DP'. The form includes fields for 'REF N°' (DPCheckListP02), 'TIPO DE DOCUMENTO: PROCEDIMIENTO', and approval dates. The checklist is organized into several sections: 'GENERADORES EN SERVICIO N°' (G1, SG1, SG2, G2), 'BUSTIE BREAKER' (Abierto/Cerrado), 'POTENCIA' (Consumo, Kw Disponible, Kw), and 'MODO DEL PMS' (Auto, Manual). It also covers 'HELICES EN SERVICIO' (Túnel de Pr 1-4, Principal Br, Principal Er) and a large section of operational checks with checkboxes for 'SI' (Yes) and 'NO' (No). These checks include: '¿En que modo de operación está el barco?' (Auto DP, Manual DP, Follow Sub), '¿Que ordenador actúa como principal?' (Ordenador A, B), '¿Que consola tiene el control?' (A, B), '¿Que ganancia Auto DP está seleccionada?' (Alta, Media, Baja), '¿Que punto de rotación está seleccionado?' (CG, ROV, Otro), '¿Que movimiento está como prioritario?' (Rumbo, Posición), '¿Que velocidad lineal y de rotación?' (Lineal, Rotación), '¿Cuales son los límites para las alarmas?' (Posición, Rumbo), '¿Se han comparado los anemómetros?' (SI, NO), '¿Que anemómetro está seleccionado?' (1BR, 2ER), '¿Se han comparado las Gyros?' (SI, NO), '¿Que Gyro se ha seleccionado?' (Gyro 1, 2, 3), '¿Se han comparado los sensores MRU?' (SI, NO), '¿Que sensor MRU se ha seleccionado?' (MRU 1, 2), '¿Que ganancia de Joystick se ha seleccionado?' (Full, Reduced), '¿Que precisión de Joystick se ha seleccionado?' (Low, General, High), '¿Que centro de rotación manual seleccionado?' (CG, Manual), '¿Cual es la posición y rumbo actual?' (Posición, Rumbo), '¿Se han probado las STATUS ALARMS?', '¿Se ha realizado el test de luces y botones?', '¿Funciona la pantalla correctamente?', '¿Funciona la bola -ratón correctamente?', '¿Está la impresora conectada y en servicio?', and '¿Se ha imprimido una grabación de prueba?'. The form is numbered '1/2' at the bottom.

Fig. 3.66 Checklist del buque Miguel de Cervantes [5]

Existen checklist genéricos que cada empresa adapta según las características de su flota, y aún de forma más específica, a cada buque y al propósito al cual está diseñado.

De los primero requisitos exigidos, de forma generalizada, por todos los checklist es el

LAMP TEST. Se comprobará que todas las luces de los diferentes indicadores se y funcionan, a continuación habría que presionar los botones de cada uno de ellas y apagarlas.

Una vez realizadas todas las comprobaciones del checklist y haber repasado todos los datos del menú del sistema, el procedimiento sería:

- Aproximar al buque a la zona de trabajo con la mínima arrancada. Por ejemplo, no se puede ir con una velocidad de dos nudos y pasar a modo DP, ya que se podrían sufrir averías. Una buena velocidad de aproximación sería 0,5 nudos, y proa al viento.
- Una vez en el área de trabajo, cambiar el conmutador de MANUAL a DP.



Fig. 3.67 Conmutador manual. [5]

Se ha seleccionado DP en modo STAND-BY y TAKE, con el comando TAKE se activa la consola con la se va a trabajar, ya que podría existir más de una consola. Se establece el control del sistema en la consola que se preseleccione. Si se quiere cambiar la consola de trabajo, presionar GIVE y seleccionar la otra consola.

- Se diferencian dos colores en la consola, existen botones blancos y negros. Los botones blancos hay que darle dos pulsaciones para que se activen, a los negros, con una sola pulsación es suficiente.
- Ya se puede pasar el control al JOYSTICK.

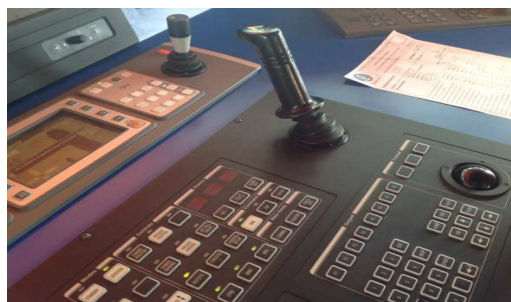


Fig. 3.68 Joystick . Kongsberg M.Cervantes [5]

- Una vez en este modo el sistema necesita de datos para situarse. El operador tendría que introducir los datos de posición o en qué parámetros desea trabajar.
- Activar y/o habilitar los REFERENCE SYSTEM (PRS). Previamente a esta selección, y el sistema realiza una comprobación y verificación de cuál es el o los PRS de mayor “peso” o fiabilidad para realizar la operación de trabajo.

Ver anexo donde se explica KONGSBERG PRS VERIFICATION & CALIBRATION: PRS TEST.

El remolcador Miguel de Cervantes al tratarse de DP1 sólo tiene como PRS un DGPS. Posee dos estaciones de DGPS, activar ambas. Posee dos giroscópicos, dos sensores de viento, y un MRU.

- Ahora se encuentra en modo joysticks y el buque “sabe” situarse. En este caso, además de los datos del DGPS, de los sensores de viento y del MRU.

La duplicidad de los equipos se establece por seguridad y para evitar la pérdida de información. Operando con GPS el margen de “error” o separación máxima de la posición fijada, oscila entre 1-5 como máxima. Aunque si trabajamos con DGPS este intervalo se reduce a un máximo de tres e incluso menos. Si se hace uso de sistemas referencias locales o relativos, ofrecen un margen de error incluso menor que usando DGPS.

- Una vez en modo joysticks, se pasa el control a la palanca, si se le da para delante el buque avanza, sucedería lo mismo para el desplazamiento lateral Er-Br, y girando el joysticks se cambia el rumbo del buque.
- En la pantalla se diferencian colores correspondientes con las distintas mediciones y datos que incorpora el sistema, por ejemplo el viento.

- El sistema muestra la palabra CURRENT como el resto de fuerzas que afectan al buque, sin tener en cuenta el viento, potencia y demás parámetros medidos y/ o calculados.

Es decir, no es directamente la corriente de mar si no el resto de componentes que las incluye ahí.

- Es importantísimo intentar posicionar el buque de manera que ambas fuerzas queden anuladas.

El fin de esta maniobra es para atenuar los esfuerzos y que no sufran los motores del buque, ni los propulsores. Siempre y cuando la operación a realizar lo permita.

- Una vez en situación, se pasa al modo DP, para mantenernos en la posición.
- En el panel o consola de control, se encuentran diferenciados los botones de los tres grados de libertad controlables: surge, sway y yaw.



Fig. 3.69 Los tres grados de libertad controlables, surge, sway y yaw. Kongsberg M.Cervantes [5]

Estos indicadores se encuentran activados, pero no se pueden desactivar los tres de un tiempo.

Si no que debe hacerse de uno en uno. De esta manera, vamos anulando los movimientos, por ejemplo, primero la guiñada, luego el desplazamiento lateral y por último el desplazamiento longitudinal.

- Ahora, el buque se encuentra en AUTOPOSITION, sin que la máquina sufra sobreesfuerzo alguno. Cuando se trabaja en Autoposition, se anula el modo Joystick, es decir ya no podemos manipular el buque desde el joystick.

El menú de Autoposición permite modificar la velocidad máxima, el incremento de velocidad, la ganancia (ganancia alta, baja, media), entendiéndose ganancia como la potencia que debe ejercer el buque, el rendimiento o potencia de trabajo.

También se puede trabajar en modo AUTOPILOT o piloto automático. Y de forma general, en todos los modos de operación del sistema DP explicados en el apartado de operaciones, es decir, en modo básicos del DP u otros modos. En el Miguel de Cervantes no se dispone del modo AUTOTRACK, característicos de los sistemas DP2 o DP3.

- En este momento, se debe esperar 30 min para que el sistema establezca todo el modelado matemático, mediciones y comprobaciones fiables para la operación a realizar.
- Cuando el sistema se encuentra en Autoposition, se establecen las comunicaciones con los demás tripulantes y miembros implicados en la operación.
- El DPO debe observar que el buque se encuentra estable, mantiene la posición y todo en el sistema opera de forma correcta.
- El sistema permite cambiar el COR o centro de rotación del buque, todo depende de la maniobra u operación a realizar.

Así el DPO puede variar este centro de rotación a proa, popa, a una determinada situación del buque e incluso a un costado, para por si por ejemplo estamos trabajando con un Taut wire, colocarlo en la grúa del TW.

Si el buque se desplaza adelante el COR se activa a un tercio de proa, y si va a popa se coloca a un tercio de popa. Se puede variar la velocidad de giro.

- Ya se podría empezar a trabajar. Aunque estemos en una posición correcta, pero se decide variar, por el motivo que sea, el sistema permite modificar esta posición, por ejemplo ir cinco metros a proa.

La presentación en pantalla ofrece amplitud de información, útil para el operador. El sistema ofrece toda la información en pantalla, y diferentes presentaciones.

Es de uso común trabajar en presentación Postplot. Pero todo depende del modo de trabajo que prefiera el operador.

Es importantísimo que el DPO conozca el programa a utilizar y todas las opciones que ofrece, para tener un mayor conocimiento y mejor dominio del equipo. Cada operación requiere de unos procedimientos especiales, por ejemplo el trabajar con un robot ROV, o cuando se trabaja con buzos. Con mucha mar o con mal tiempo, en este tipo de operaciones, no se puede trabajar.

De igual forma, en este tipo de operaciones, se establece un código de señales o semáforo, es decir un lenguaje de señales basado en tres colores:

- **Verde:** todo marcha o funciona con normalidad.
- **Amarillo:** se muestra en el momento que no se pueda mantener la posición. En este caso el buzo tendría que ir directamente a la campana y el ROV a su lugar de estiba.
- **Rojo:** nos indica que no se puede seguir con la operación, fin de operación.

Es el DPO quien da las órdenes del código de señales.

El sistema permite trabajar en coordenadas de latitud-longitud o con UTM. El UTM se utiliza para operaciones que requieren de mayor precisión, ya que se trabaja con metros, por ejemplo para trabajos de colocación de fibra óptica o tuberías.

Se puede trabajar con el MENÚ del ordenador, pero también se puede trabajar directamente con el teclado de la consola, por ejemplo, para cambiar el rumbo (change Heading), el surge, sway, yaw, etc. Todo depende de las preferencias del operador.

Como se comentó con anterioridad, resulta de gran importancia comprobar, modificar y reestablecer los parámetros que se encuentren los diferentes menús del sistema, por ejemplo variar la velocidad máxima, incremento de la velocidad, la ganancia, etc.

El equipo pedirá en todo momento que confirmes los datos a introducir o variaciones de datos que se desee introducir, ya que los valores o datos que él posee se encuentran prefijados.

El Miguel de Cervantes posee dos schottel y una hélice de proa.

A la hora de parar el sistema, habría que volver al modo joysticks, quitar los sistemas de referencia, seleccionar STAND-BY, y cambiar al modo MANUAL.

El DPO debe tener un amplio conocimiento de la disposición de la planta eléctrica del buque. Es muy importante estar al corriente de planos y distribución de generadores operativos, en línea, propulsores operativos y por qué generador está siendo alimentado.

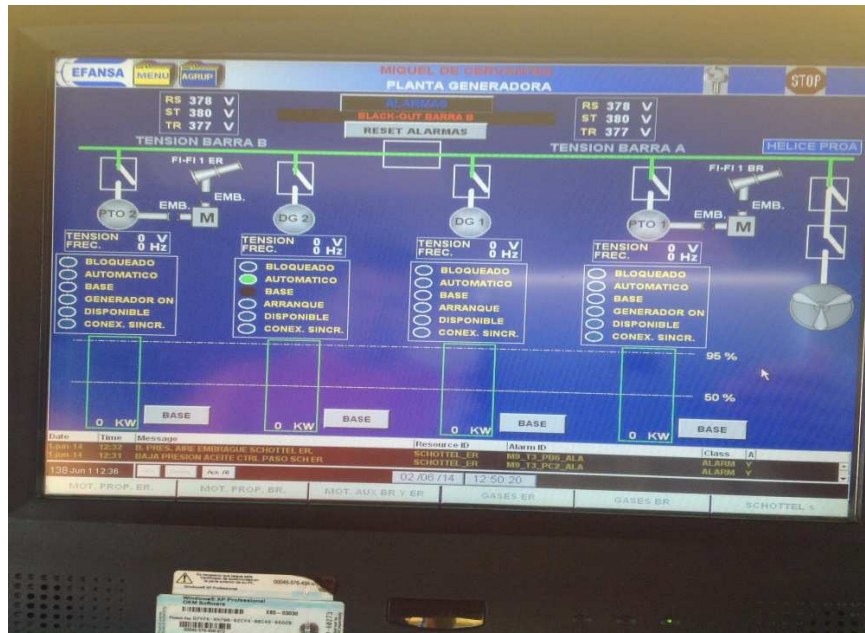


Fig. 3.70 Planta generadora de un sistema DP clase 1 Kongsberg. M. Cervantes [5]

En todo este proceso juega un papel sustancial los BUS TIE BRAKERS, que nos permite distribuir e interrumpir el diagrama de energía del buque.

Capítulo IV

Conclusiones

Son más de cuarenta y cinco años desde que entró en servicio el primer buque totalmente equipado con Posicionamiento Dinámico. En un primer momento, al comienzo del estudio y recopilación de datos de este trabajo, resultó sorprendente el hecho de descubrir la antigüedad del sistema, ya que partíamos de la creencia de que se trataba de un sistema relativamente novedoso.

Aunque podría pensarse, que tras su aparición a finales de la década de los cincuenta, los sistemas DP se encuentran consolidados como una tecnología completamente madura, bastaría con una simple ojeada y/o visita a alguna de las conferencias que se celebran de forma regular en este ámbito, para disipar este mito. La tecnología que engloba a todo el sistema experimenta rápidos avances en todas sus áreas, ya sea en sistemas de propulsión, de control, de posición de referencia, etc. Lo que resulta todo un reto mantenerse al día con esta innovación incesante.

Para los oficiales y DPO's de los buques, este avance tecnológico resulta más que un desafío, ya que las condiciones de trabajo las definen el conjunto de equipos y mecanismos con los que cuente el buque. Este equipamiento puede ser de lo más rudimentario, o por el contrario, contar con los equipos más novedosos del mercado. Ello exige una continua formación y actualización de componentes y operatividad en lo que a sistemas de posicionamiento se refiere.

Es el Instituto Náutico o "Nautical Institute" el que marca las directrices de formación, entrenamiento y familiarización para los Operadores del sistema DP. En él se exige que todo operador debe superar una formación teórica y práctica, para conseguir el certificado DPO sin limitaciones. La formación necesaria consta de un curso básico ("Induction Course") de DP, y tras completar un periodo de embarque mínimo de treinta días, en buques DP, realizar un segundo curso formativo ("Advanced/Simulator Course"). Con un mínimo de seis meses de embarque en buques DP2 o DP3.

Esta formación y experiencia requerida por el Nautical Institute hacia todo personal vinculado con el sistema DP, es de suma importancia. Además, se exige plena competencia en el trabajo con este sistema. Ya que, en la mayoría de circunstancias, las operaciones que se llevan a cabo acarrear elevadísimas cuantías económicas, y pequeños fallos supondrían costes imposibles de solventar para cualquier ciudadano

común o pequeña empresa. Esta competencia operacional engloba una combinación de factores, como son: experiencia, entrenamiento, evaluación y calificación de cada situación y/o circunstancia.

En este trabajo, hemos querido focalizar los objetivos hacia la parte más humana del sistema. Como ya hemos venido hablando a lo largo de estos cuatro capítulos, el enfoque se centra en el factor humano de supervisión, registro e intervención. Indispensable e imposible de suplantar bajo ningún concepto, incluso con los avances tecnológicos con los que contamos.

De la misma manera, tenemos que hacer mención que un 20% de incidentes en operaciones DP se deben a un error humano, según análisis de la IMCA. Lo que resulta un porcentaje relativamente bajo.

Estamos convencidos que aún siendo necesario un alto nivel de exigencia y concentración en el trabajo con sistemas DP, cada día se logran equipos y paneles de control más accesible e intuitivos, que facilitan la labor del operador. Se podría afirmar que actualmente Kongsberg es el fabricante de mayor aceptación en lo referente a equipamiento en esta modalidad laboral.

Como nota anecdótica, esta facilidad y automatismo en el manejo de los equipos es tal, que expertos en el sistema lo describen como 99% aburrimiento y 1% pánico. Pánico debido al fallo de cualquier componente del sistema, es aquí donde la experiencia y habilidades del operador se pondrían en fase. De resto, en el correcto funcionamiento, el operador se convierte en el gran supervisor.

A modo de impresión, la consola de trabajo en el puente, se presenta con un teclado, joystick y con una pantalla de ordenador, donde se pueden abrir diferentes menús e introducir datos, como si “de un juego se tratase”, aunque nada más ajeno a ello. E incluso DPO’s opinan que el sistema “no deja de ser más que un mero ordenador” que controla de forma muy precisa los movimientos del buque.

Observamos que la tendencia de los Sistemas DP es la de formar parte del puente como equipo totalmente integrado en la operatividad de cualquier buque. Del mismo modo,

que la implantación de este tipo de sistemas se expande hoy en día, no sólo a las operaciones de extracción de gas o petróleo, sino buques de pasaje, por la facilidad que proporcionan en maniobrabilidad, hasta llegar a encontrarnos con embarcaciones de recreo con sistemas DP integrados.

Concluimos con la opinión de que se mantiene abierto un amplio abanico de posibilidades y oportunidades para todo aquel marino que decida centrar su formación en este tipo de sistemas. Y como pequeña reflexión, sí que se requieren determinadas habilidades y destrezas, pero ninguna que la experiencia no pueda aportar.

A n e x o s

Checklist Bridge-Engine

Verificación, Calibración y Test PRS

Procedimiento de Configuración para un Sistema Converteam.

Anexo I: CHECKLIST, LISTA COMPROBACIÓN.

DP CHECKLIST DEL PUENTE.

La presente checklist debe ser cumplimentada antes de la operación con el sistema DP.

Nº	Item	Función	Sí/No	Observaciones
1	Reglamento de Abordajes Equipos y Señales	En uso o disponibles Revise las luces de trabajo	Sí/No	
2	Tiempo	¿Ha sido recibido el último parte meteorológico?	Sí/No	
3	Posición DP	Ha estado el buque en DP por lo menos en los últimos 30min.	Sí/No	
		Anule la selección de una hélice de proa para comprobar el posicionamiento	Sí/No	
		Anule la selección de una hélice de popa para comprobar el posicionamiento	Sí/No	
		Anule la selección de un motor principal de propulsión para comprobar el posicionamiento	Sí/No	
4	Motores Principales	Ambos motores en marcha	Sí/No	
		Control del puente	Sí/No	
		Revisar indicadores y controles	Sí/No	
5	Fuente de alimentación	Suministros de emergencia y principales disponibles	Sí/No	
6	Propulsores	Indicadores	Sí/No	
		Control manual	Sí/No	
		Todos los propulsores disponible en línea	Sí/No	
		Comprobado ninguna alarma en panel	Sí/No	
7	Procesador DP	En funcionamiento y disponible	Sí/No	
		¿Ajustada alarma de rumbo?	Sí/No	
		¿Ajustada alarma de posición?	Sí/No	
		¿Consumo medio de energía?	Sí/No	
		¿Consumo pido de potencia?	Sí/No	
		¿Posición mantenida a media potencia?	Sí/No	
		¿Todas las alarmas funcionan?	Sí/No	
		¿Todas las pantallas de trabajo funcionan?	Sí/No	
		¿Pruebas de lámparas?	Sí/No	
		Alarmas del Software	Sí/No	
		Alarmas del Hardware	Sí/No	
		Procesador A B en línea	Sí/No	
		Comprobar los datos fuera de línea	Sí/No	
		Cambie los ordenadores para comprobar el posicionamiento	Sí/No	

		Comprobar hora correcta	Sí/No		
		Compruebe que todas las páginas de la pantalla están operativas y trabajando	Sí/No		
Nº	Item	Función	Sí/No		Observaciones
8	UPS		UPS1	UPS2	
		Revisadas las lecturas	Sí/No	Sí/No	
		Cargador voltaje	Sí/No	Sí/No	
		Salida de corriente	Sí/No	Sí/No	
		Tensión de carga	Sí/No	Sí/No	
		Intensidad de carga	Sí/No	Sí/No	
		Compruebe que no hay alarmas	Sí/No	Sí/No	
9	Impresora	Comprobado funcionamiento	Sí/No		
10	Monitor	Comprobado funcionamiento	Sí/No		
11	Control Joystick	Comprobado funcionamiento	Sí/No		
12	Gyro Compás	Qué giroscopio 1 2	Sí/No		
		Comprobado rumbo	Sí/No		
		Comprobado velocidad y latitud	Sí/No		
		Comprobada diferencia	Sí/No		
13	Sensor Viento	Qué sensor 1 2	Sí/No		
		Comprobada diferencia	Sí/No		
		Cambie sensores para comprobar posición	Sí/No		
14	VRS	Qué VRS 1 2	Sí/No		
		Comprobada diferencia	Sí/No		
15	HPR	Qué transductores	Sí/No		
		Qué transpondedores	Sí/No		
		Dónde transpodedor	Sí/No		
		Comprobadas lámparas	Sí/No		
16	Artemis	Bloqueado	Sí/No		
		AGC/Cheque el tuning	Sí/No		
		Seleccione direcciones/dinámico/estático	Sí/No		
		Demora y distancia	Sí/No		
		Verifique operación	Sí/No		
17	TW	Bombas en ejecución	Sí/No		
		Lectura de presión	Sí/No		

FECHA:
NOMBRE:
FIRMA:

DP CHECKLIST DE MÁQUINAS.

La presente checklist debe ser cumplimentada antes de la operación con el sistema DP.

Descripción del Test	Sí/No	Observaciones
¿Temperatura y presión en el sistema de agua de mar correctas?	Sí / No	
¿Temperatura y presión en los sistemas de agua dulce correctas?	Sí / No	
¿Están cerradas as puertas cortafuego y puertas estancas en los motores y habitáculo de propulsores?	Sí / No	
¿Están los interruptores en los paneles de distribución de energía a cero?	Sí / No	
¿Se encuentran todos los motores diesel de la operación y en la posición de auto?	Sí / No	
Se establecen los interruptores de acuerdo con los requisitos de Clase II Operación	Sí / No	
¿Comprobadas lámparas y prueba de timbre?	Sí / No	
Compruebe que no hay alarmas en el panel de propulsores	Sí / No	
¿Comprobados espacios de propulsores?	Sí / No	
¿Compartida carga de generadores?	Sí / No	
¿Comprobadas comunicaciones?	Sí / No	
Comience compresores de aire en línea y uno en estado de alerta	Sí / No	
¿Presión de aire normal?	Sí / No	
¿Todos los tanques en condiciones normales?	Sí / No	
¿Generadores en línea están disponibles?	Sí / No	
Generador de eje No.1 y No.2 ajustados en la centralita	Sí / No	
¿Generador emergencia en autostart?	Sí / No	
¿Se encuentran todas las bombas en línea?	Sí / No	
¿Aire comprimido en línea?	Sí / No	
Presión de aire de arranque bar	Sí / No	

FECHA:

NOMBRE:

FIRMA:

Anexo II: VERIFICACIÓN, CALIBRACIÓN Y TEST DE PRS PARA UN SISTEMA KONGSBERG.

El sistema Kongsberg realiza pruebas de verificación, calibración y test de los diferentes PRS que se hayan activado. A continuación se hará una breve descripción de sus principales características.

KONGSBERG - PRS VERIFICATION & CALIBRATION

- El primer PRS es seleccionado y parpadeará tres veces. Si estas tres fijaciones se encuentran dentro de un radio de círculo de cinco metros se aceptará la PRS. Si no es así, el indicador PRS se mantendrá parpadeando y dará lugar a un aviso de fallo de calibración.
- Una vez que el PRS ha pasado esta prueba, se calibra como centro de referencia del buque, y a continuación se calculará el Origen de Referencia. Si propulsores y los sensores necesarios están disponibles, el buque se podrá estabilizar en modo Automático DP (autopos).
- La primera PRS tendrá un asterisco que indica que es el origen de referencia. Si en rango de PosPlot, la posición PRS también tendrá un semicírculo alrededor de él.
- Cualquier PRS seleccionada a posteriori, parpadeará durante veinte correcciones; se permite una extensión máxima de 15 metros para fines de verificación. Si esto se logra, el PRS se calibrará.
- Se recomienda que después de que hayan sido seleccionadas dos o más PRS, la primera PRS no está seleccionada y por lo tanto, volver a seleccionar. La calibración consistirá entonces de veinte correcciones y no de tres.
- La PRS reseleccionada y la RO pueden ser diferentes, esto podría ser causado si el barco está en moviendo durante la calibración del PRS.

KONGSBERG PRS TESTING

1.- Ventana Filtro Kalman

- La ventana de filtro de Kalman se coloca alrededor de una muestra representativa de los retornos.
- El tamaño del círculo se refiere a la extensión del valor fijado en metros, oscila en un intervalo de entre 1,5 y 15 metros. 1,5 metros es el mínimo valor que se le puede indicar. Un PRS con una extensión de 15 metros o más fallará.
- La ventana de filtro de Kalman se centra en la posición prevista para ese PRS.

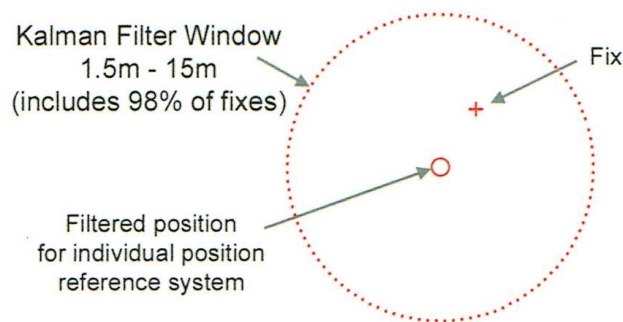


Fig. A.71 Ventana Filtro Kalman [3]

2.- Test de predicción

- El límite de la prueba de predicción resulta la ventana de filtro de Kalman.
- Un valor fijado (fix) que cae dentro de la ventana de filtro de Kalman se utiliza para actualizar el tamaño de la posición filtrada y la ventana de filtro de Kalman reduce hasta el tamaño 1,5 metros.
- Un valor fijado (fix) que cae fuera de la ventana de filtro de Kalman no se utiliza para actualizar la posición filtrada, pero se utiliza para aumentar el tamaño de la ventana de filtro de Kalman.

3.- Filtrado de la posición.

Se representa con una línea continua coloreada.

- El sistema DP utiliza una posición filtrada y no los datos fijos. La posición filtrada se calcula utilizando las últimas nueve correcciones utilizables, además de la última y nueva solución utilizable.
- Una solución utilizable es la que cae dentro de la ventana del filtro de Kalman.

4.- Límite de desviación estándar.

- El límite de desviación estándar es igual a la ventana más pequeña de filtro Kalman multiplicado por tres.
- El límite Desviación estándar se utiliza en la prueba de varianza.

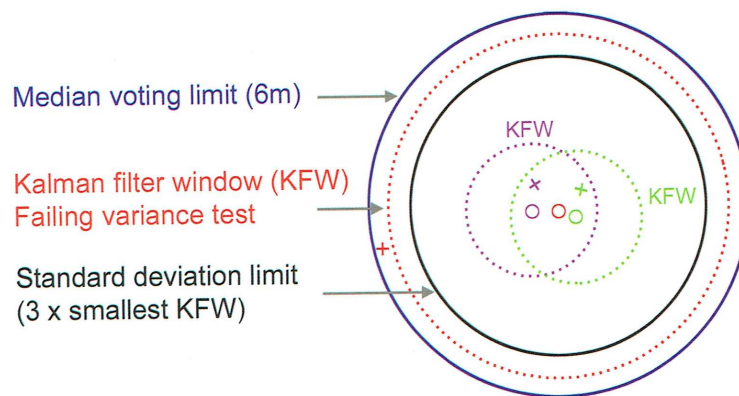


Fig. A.72 Límite de desviación [3]

5.- Prueba de Variación, The Variance Test.

- Una PRS cuya ventana de filtro Kalman sea más de tres veces el límite de desviación estándar, se pondrá “Warning” o advertencia. El PRS se encenderá y se apagará en la consola DP y la ponderación o peso de PRS se reducirá a cero.
- Esto detiene la PRS con una gran dispersión de correcciones o “fix” que reducen la calidad de ERP con una menor dispersión de “fix”.

- La ventana de filtro de Kalman se limita a un mínimo de 1,5 metros, para la prueba de varianza. Si no existiese un mínimo, un buen PRS (por ejemplo un sistema de láser) podrían tener un margen de correcciones de 0,5 metros, por lo tanto todas las PRS con un margen de correcciones de 1,5 metros o más serían rechazados, este límite del ejemplo es poco realista.
- Un PRS que no ha superado la prueba de varianza, aún podría ser útil y no debe ser deseleccionada. Si un sistema DP usando tres PRS, en el supuesto de que uno fallase el variance test, el sistema será capaz de utilizar el PRS fallido por este test.

6.- Weighting.

Se hace uso del diámetro de la extensión o “Spreads” o “fixes” (repeatability) La más pequeña es la repetibilidad o “repeatability”, mayor será el “weighting” o “peso-ponderación” y viceversa. El weighting total es siempre 1.0.

An Example of Kongsberg Pooling + Weighting

PRS NO	System	Northing	Kalman Window	Weighting	Product
1	Art	-22.0m	4.0m	0.30	= -6.6m
2	TW	-20.0m	2.0m	0.70	= -14.0m
3	HPR	-27.0m	7.0m	0.00	= 0.0m
	Fails variance				
			Total	1.00	= -20.6m

Fig. A.73 Kongsber Weighting [3]

En el cuadro anterior se puede observar que las mediciones de ruido de la HPR no están afectando a la posición final. La posición depende de las mediciones de tanto Artemisa y Taut Wire, con un sesgo hacia el sistema más preciso.

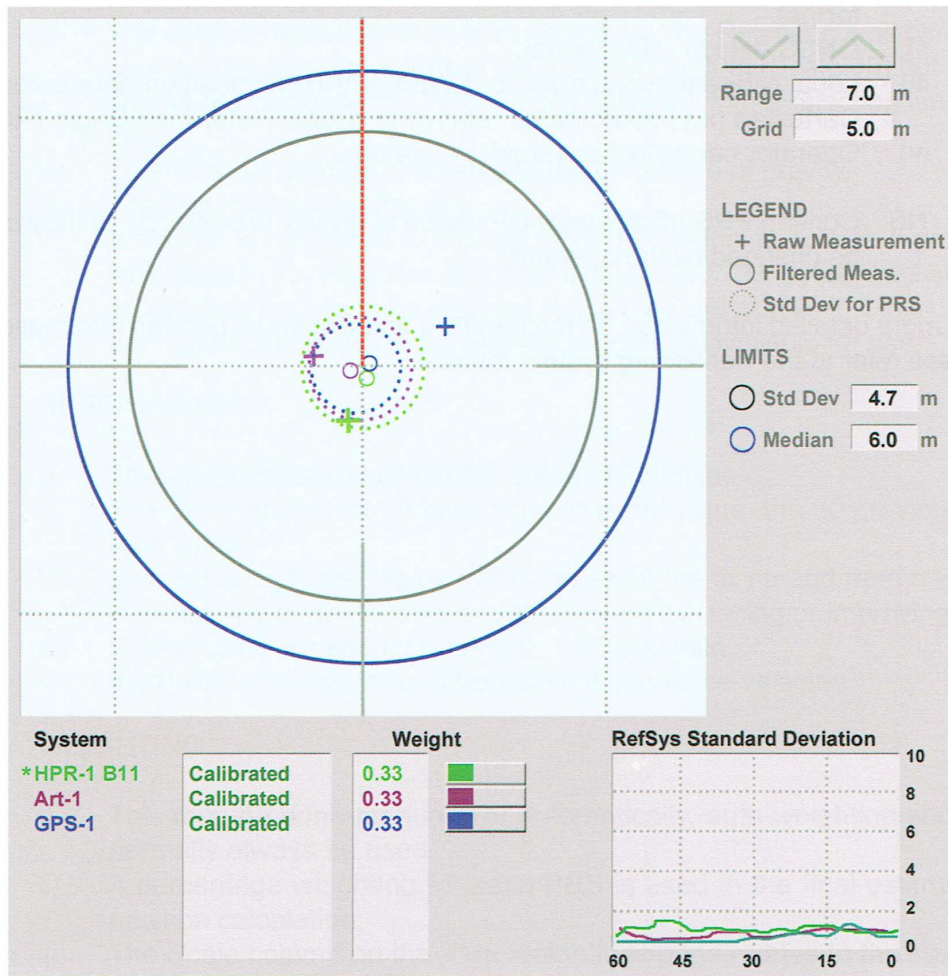


Fig. A.74 Ejemplo de la pantalla de kongsberg SDS PRS. [3]

7.- Median Voting.

- Si se despliega una PRS se aplica la prueba de predicción, y se utiliza una posición filtrada.
- Si se implementan dos PRS, se utilizan pruebas de predicción, Posición filtrada y la prueba de varianza.
- Cuando tres o más PRS se despliegan un límite de rechazo es mostrado (como un círculo azul discontinuo). El radio es de 6 metros. Se utiliza el “Median Voting” y no se ve afectada por el filtrado de Kalman.

Anexo III: PROCEDIMIENTO PARA CONFIGURAR EL SISTEMA CONVERTEAM

La descripción de los pasos que a continuación de detallan, coinciden con el procedimiento de actuación y configuración de un equipo con el sistema DP del fabricante anglosajón CONVERTEAM. Aunque como procesador informático, este procedimiento se tendría que ajustar a las exigencias de cada fabricante.

El modo de actuación corresponde a:

1.- Seleccione MOTION PAGE.

El sistema permite hacer simulaciones, en el caso de que quisiera hacer una simulación tendría que seleccionar SIMULATION desde MIMIC INDEX. A continuación deberá ajustar la POSICION, VIENTO, OLAS y CORRIENTES que se requieran para el simulacro.

2.- Desde MIMIC ÍNDICE elegir SETUP, y ajustar la LATITUD/LONGITUD o consultar la Zona UTM.

En el modo simulación, seleccionar ajustar los datos anteriores, seleccionar SIMULATION y hacer click en SIMULATION DATA, y tabulador.

3.- Desde PME desplegar DGPS 1 haciendo clic en “Recovered”.

4.- Habilitar Propulsores en la pantalla principal, haga clic en THUSTERS.

5.- Habilitar giroscopios, sensores de viento y VRUs haciendo clic en los iconos.

6.- Seleccione icono DGPS I cuando el botón cambie de gris a azul.

7.- Desde MODE seleccionar DP.

8.- Ajustar rumbo/heading entre el viento y la marea, utilizando CHANGE HEADING.

9.- Ajustar velocidad, si es necesario, en CHANGE POSITION.

Si está en modo simulación MIMIC ÍNDICE DE SIMULACIÓN seleccionar y pulse SIMULATION DATA y tabulador.

10.- Desde SCREEN OPTIONS seleccione ítems a mostrar.

11.- Desde PME DISPLAY ajuste PMEs a mostrar.

12.- Ajuste alarmas de rumbo y posición en ALARM SETTINGS.

13.- Ajuste GAIN & KALMAN GAIN.

14.- Establecer PME predominante en Automático en MIMIC INDEX/PME WEIGHTINGS.

15.- Habilitar media en MIMIC INDEX / PME MEDIAN CHECK.

16.- MIMIC INDEX seleccionar ENVIROMENTAL FORCE FAST LEARN y consultar ajustes.

17.- Establecer el calado de trabajo en SENSOR DATA.

Una vez realizados estos pasos, y bajo la supervisión del DPO con todo lo que sus funciones corresponden, se puede dar comienzo a la operación/simulación a realizar.

A b r e v i a t u r a s y g l o s a r i o

ABS	American Bureau of Shipping; <i>Sociedad de Clasificación EE.UU.</i>
ARAP	Absolute and Relative Acoustic Positioning system (Kongsberg). <i>Sistema de posicionamiento acústico absoluto y relativo</i>
Artemis	PRS microondas usando una estación fija y otra móvil (barco). El transceptor proporcionar la distancia y demora.
AutoStart	Parte del sistema de gestión de potencia de un buque, en el que los alternadores se iniciarán automáticamente cuando se dicte la demanda
BV	Bureau Veritas; <i>Sociedad de la Clasificación Francesa.</i>
CG	Centre of Gravity. <i>Centro de Gravedad.</i>
COR	Centre of Rotation or Alternative Rotation Point. <i>Centro de rotación o punto de rotación alternativo.</i>
Converteam	Fabricante británico de sistemas de DP; originalmente GEC, pasó a denominarse Cegelec, rebautizado como Alstom en 1999 y por último, en 2006 Converteam.
CyScan	PRS Láser
DARPS	Differential Absolute and Relative Positioning System; <i>Sistema de Posicionamiento Diferencial Absoluto y Relativo.</i> PRS de corto alcance utilizado por los petroleros lanzaderas y FPSO, etc.
DGPS	Differential GPS; <i>Diferencial GPS.</i>
DNV	Det Norske Veritas; <i>Sociedad Clasificación Noruega.</i>
DP	Dynamic Positioning; <i>Posicionamiento Dinámico.</i>
DPO	Dynamic Positioning Operator; <i>Operador del sistema de Posicionamiento Dinámico.</i>
Duplex	Sistema de DP que consta de dos ordenadores para proporcionar redundancia.
Easting	Distancia en metros con respecto al Meridiano Central (ver UTM).
Fanbeam	Fanbeam Measurement Devices Limited (MDL) Laser PRS; PRS Láser.
Flotel	Floating Accommodation Vessel; <i>Buque alojamiento flotante.</i>
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis; <i>Análisis y modos de fallos.</i>
FPS	Floating Production System; <i>Sistema de Producción Flotante.</i>
FPSO	Floating Production, Storage & Offloading Vessel; <i>Buque de producción, almacenamiento y descarga.</i>
FSO	Floating Storage & Offloading vessel; <i>Buque almacenamiento y descarga.</i>
FSU	Floating Storage Unit; <i>Unidad de almacenamiento flotante</i>
GL	Germanischer Lloyd; <i>Sociedad Clasificación Alemana.</i>
GPS	Global Positioning System (USA GNSS); <i>Sistema de Posicionamiento Global (GNSS EE.UU.)</i>
GNSS	Global Navigation Satellite System; <i>Sistema de Navegación Satelitaria Global.</i>
Heave	Ascenso y descenso del buque, movimiento vertical.
HMI	Human Machine Interface (see MMI); <i>Interfaz hombre-máquina (ver MMI)</i>
HPR	Hydroacoustic Position Reference; <i>Referencia de Posición Hidroacústico</i>

IMCA	International Marine Contractors Association; <i>Asociación Internacional de Contratistas Marinos</i>
IMO	International Maritime Organisation; <i>Organización Marítima Internacional</i>
Kongsberg	Fabricante noruego de DP y sistemas relacionados
LBL	Long Base Line HPR; <i>Línea Base Larga HPR</i> .
LTW	Lightweight Taut Wire system; <i>Sistema ligero de tensión de cable</i> .
LR	Lloyd's Register; <i>Sociedad Clasificadora Reino Unido</i> .
LUSBL	Long & Ultra Short Base Line HPR; <i>Larga y Ultra Corta Línea Base HPR</i> .
Mercator	Una proyección cartográfica cilíndrica de la Tierra.
MCR	Machinery Control Room (see ECR).
MMI	Man Machine Interface; <i>Interfaz hombre-máquina</i> ; Medios por los que las personas interactúan con un sistema (por ejemplo, el escritorio DP)
MRU	Motion Reference Unit; <i>Unidad de Referencia de movimiento</i> ; Dispositivo para medir la inclinación, balanceo y oleaje (también puede llamarse VRS o VRU)
NI	Nautical Institute; <i>Instituto Náutico</i> .
Northing	Distancia en metros respecto a la línea del Ecuador (ver UTM)
PCR	Performance Capability Rating; <i>Capacidad de Evaluación de Desempeño</i> .
Pitch	Movimiento de rotación en el eje transversal, cabeceo del buque.
PME	Position Measuring Equipment (a synonym for PRS); <i>Equipo de medición de posición (un sinónimo de PRS)</i> .
PRS	Position Reference System; <i>Sistema de Referencia de Posición</i> .
Responder	Baliza HPR que se envía la señal de interrogación.
Roll	Un movimiento transversal babor-estribor alrededor del eje vertical.
ROV	Remotely Operated Vehicle; <i>Vehículo Operado Remotamente</i> .
SA	Selective Availability; <i>Disponibilidad Selectiva</i> ; Función de GPS (deshabilitado actualmente) que degrada deliberadamente la precisión del GPS para todos los usuarios civiles
SBL	Short Base Line HPR; <i>Línea Base Corta</i> .
Simplex	Sistema DP no redundante, haciendo uso de un único equipo.
SSBL	Super Short Base Line HPR; <i>Línea Base Super Corta HPR</i> .
Surge	Desplazamiento del buque en el sentido longitudinal.
Sway	Desplazamiento del buque en la dirección de babor a estribor.
Taut Wire	PRS que consiste en sensores de detección de la longitud y los ángulos de un cable tensado conducido por un peso macizo al lecho marino.
Transducer	Sonda acústica, ubicada normalmente en el casco, utilizado como parte del sistema HPR.
Transponder	Baliza HPR que es interrogada y contesta a través del agua.
Triplex	Sistema DP con tres ordenadores con redundancia lógica de votación.
UPS	Uninterruptible Power Supply; <i>Sistema de alimentación ininterrumpida</i> .

USBL	Ultra Short Base Line HPR; <i>Línea Base Ultra Corta HPR</i> ; También conocido como SSBL
UTM	Universal Transverse Mercator; Proyección cilíndrica de la tierra tocando el Meridiano Central, las posiciones se expresaron en Eastings y Nortes y no de latitud y longitud.
VRS	Vertical Reference Sensor (see MRU); <i>Sensor de Referencia Vertical (ver MRU)</i>
VRU	Vertical Reference Unit (see MRU); <i>Unidad de Referencia Vertical (ver MRU)</i> .
WGS 84	World Geodetic System 84; <i>Sistema Geodésico Mundial 84</i> ; Esferoide y datum utilizado actualmente para GPS.
Yaw	Cambio de rumbo, guiñada.

Bibliografía

[1] JAMES H. NATLAND, “50th anniversary of recovery of the first basalt core by means of scientific ocean drilling”. *Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Miami, FL 33149*. 5 abril 2011 [consultado marzo 2014]. URL.: <http://www.mantleplumes.org/50-YrAnniversary.html>

[2] DAVID BRAY FNI., *The DP Operator’s Handbook*, 1ª ed. 2008, Londres, Inglaterra: 2008, The Nautical Institute. ISBN 9781906915155.

[3] JOHN GORMAN-CHARLTON, *DP Basic Course Operator Manual*, 4ª ed., UK: C-Mar Group, 2009. The dynamic positioning center.

[4] VILLAR ARENAL JOSE MANUEL Lillar, “Posicionamiento dinámico: principios, características y operaciones”, Escuela Técnica Superior de Náutica , Universidad de Cantabria, Octubre 2012 [consultado abril 2014]. URL: <http://repositorio.unican.es>.

[5] PÉREZ MARCELINO, LIDIA.; RAMIREZ GONZÁLEZ, PEDRO., Buque polivalente de la Sociedad de Salvamento Marítimo, Miguel de Cervantes. [visita realizada junio 2014] ,Recopilación de datos y toma de fotografías, tras la visita realizada a este buque.

[6] Wärtsilä . Wärtsilä Electric Propulsion Systems. [consultado mayo 2014], URL: <http://www.wartsila.com/en/power-electric-systems/electric-propulsion-ackages/electric-propulsion>

[7] SHIZUKI. SHIZUKI ELECTRIC CO.,INC.[consultado mayo 2014] URL:, http://www.shizuki.co.jp/english/f_solution1.html

[8] GIUSEPPE RUSSO., Buque Costa Pacifica .,“C,,BLOG , El Blog Oficial de Costa Cruceros, ,Rafael - Marketing Costa Cruceros.[consultado mayo 2014] <http://blog.costacruceros.es/?tag=/helices>

[9] Wärtsilä. Wärtsilä Controllable Pitch Propellers. [consultado mayo 2014], URL:<http://www.wartsila.com/en/propulsors/propellers/cpp>

[10] SYNERGY PROPULSION. SYNERGY - AZIMUTH PROPULSION

[consultado mayo 2014] .

URL:<http://www.internaftiki.gr/gr/pleasure-commercial-boats/propulsion-and-transmission-equipment/cpp-and-azimuth-propulsion/item/synergy-azimuth>

[11] SOLER PRECIADO FRAANCISCO,” Hélices de proa” , Atmosferis .com,
www.cruisenewsdaily.com,[consulta mayo 2014]

URL:<http://www.cruisenewsdaily.com/nf81124.html>

[12] HOLGERSSON NILS ,SHIP TECHNOLOGY, [consultado mayo 2014].

URL:<http://www.ship-technology.com/projects/nilsholgersson/>

[13] ALONZO RODRIGUEZ MOISES. Estudio general sistemas D.P. aplicado a diferentes tipos de buques. N° Titulo : 361614 ; R/L47. [consultado April 2014]

[14] Offshore . “Introduction to Dynamic Positioning” .Copyright © [Shipseducation](http://www.shipeducation.com).

[consultado April 2014] URL: <http://offshore-info.googleload.net/dynamic-positioning-3.html>

[15] CABAL ALVAREZ, RAFAEL “Sistemas de Propulsion podded (AZIPOD).*Practicos de puerto* ,diciembre 2010. [consultado April 2014] URL.:

www.maniobradebuques.com/pdf/tecnologias/azipod.pdf

[16] ASGEIR J. SØRENSEN; ALF K.Å DNANES; TRYGVE LAUVDAL;

“Sistemas de extracción submarina; Control integrado de accionamientos, posicionamiento y alimentación eléctrica para el sector marítimo”, ABB Corporate Research, Noruega, [consultado junio 2014].

URL.:<http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay>

[17] A.,TANNURI A. EDUARDO ; K. KUBOTA , LEONARDO ;P. PESCE CELSO “Adaptive techniques applied to offshore dynamic positioning systems”,

The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng. vol.28 no.3 Rio de Janeiro July/Sept. 2006, [consultado April 2014]

URL.: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-58782006000300010>

[18] NAVIS ENGINEERING, <http://www.navisincontrol.com/> [consultado April 2014] , URL.: <http://www.navisincontrol.com/products/joystick-control-systems/thruster-configurations/>

[19] A. NEIGER MICHAEL, “The Universal Transverse Mercator (UTM) coordinate system”, Marquette, Michigan © Copyright 2010, [consultado abril 2014],URL: <http://therucksack.tripod.com/MiBSAR/LandNav/UTM/UTM.htm>

[20] DIFERENCIA ENTRE EL ELIPSOIDE Y EL DATUM. [consultado junio 2014] URL: <http://www.digital-geography.com/projections-ellipsoidsspheroids-coordinate-systems-datum-and-all-this-crazy-cartographic-stuff/>

[21] NAUTIC DINAMICS, *Dynamic Positioning*, [consultado junio 2014] URL: <http://nauticadynamics.com/Technical.php>

[22] KONGSBERG MARITIME A.S., *Dynamic Positioning*, [consultado junio 2014]URL:<http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/14E17775E088ADC2C1256A4700319B04?OpenDocument>

[23] ABS. Guide for DYNAMIC POSITIONING SYSTEMS, November 2013 ., American Bureau of Shipping Incorporated by Act of Legislature of the State of New York 1862. [consultado mayo 2014].

URL:http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/191_DPSguide/Guide