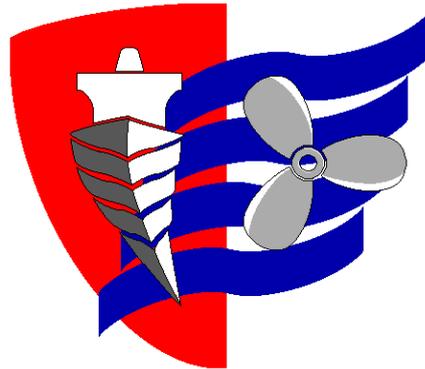


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**POSICIONAMIENTO DINÁMICO:
PRINCIPIOS, CARACTERÍSTICAS Y
OPERACIONES**

**DYNAMIC POSITIONING: PRINCIPLES,
FEATURES AND OPERATIONS**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y
TRANSPORTE MARÍTIMO**

Autor: José Luís Solares Carral

Octubre 2014

PRESENTACIÓN

Como Capitán de la Marina Mercante entiendo que desde el punto de vista práctico pueda resultar perdido el tiempo empleado en la realización de este curso de adaptación al grado y con ello de este trabajo, ya que ciertamente no resultará de ayuda a la hora de obtener el título profesional que ya ostento. La actividad profesional en nuestro gremio puede resultar del todo monótona con el paso del tiempo, y más en el sector del transporte regular de pasaje y carga rodada, que es al que me dedico en la actualidad, donde las rutinas están cada vez más ajustadas a estrechos márgenes de tiempo, tanto en puerto como en navegación, y donde la carga de trabajo va más allá de la estrictamente profesional de un marino mercante.

Precisamente de aquí parte mi motivación para embarcarme en esta campaña, ya que aparte del interés por mantener la mente activa desde el punto de vista académico, el curso de adaptación al grado me ofrece la posibilidad de obtener una titulación académica actualizada. En cuanto al tema escogido para el trabajo de fin de grado, “Posicionamiento dinámico: Principios, características, y operaciones”, he de decir que me mueve el interés por aprender. Ciertamente, podría haber tratado cualquier otro tema sobre el haya adquirido más conocimientos durante mi vida profesional y así mismo poder aportar el punto de vista de la experiencia, sin embargo teniendo en cuenta que la labor universitaria es la de formar, he considerado mejor empleado mi tiempo en aprender sobre un tema desconocido para mi, de rigurosa actualidad y continua formación como es el Posicionamiento Dinámico, y así poder adquirir nuevos conocimientos que puedan complementar y mejorar mis actividades profesionales.

Considero la nuestra una profesión en la que nunca debemos dejar de aprender, y en la que la continua formación siempre se verá reflejada, ya sea en el día a día de nuestra ocupación o en la búsqueda de otras vías profesionales.

José Luís Solares Carral

INDICE

DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS	<u>I</u>
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	<u>1</u>
CAPÍTULO 2. OPERACIONES DP	<u>3</u>
CAPÍTULO 3. PRINCIPIOS	<u>6</u>
CAPÍTULO 4. SISTEMAS DE UN SPD (COMPONENTES)	<u>9</u>
CAPÍTULO 5. SISTEMAS DE REFERENCIA DE POSICIÓN	<u>12</u>
CAPÍTULO 6. SENSORES DE MEDICIÓN	<u>19</u>
CAPÍTULO 7. PROPULSIÓN Y ELEMENTOS DE GOBIERNO	<u>21</u>
CAPÍTULO 8. GENERACIÓN, DISTRIBUCION Y GESTIÓN DE LA ENERGÍA	<u>29</u>
CAPÍTULO 9. MODELO MATEMÁTICO DEL BUQUE	<u>34</u>
CAPÍTULO 10. CLASES Y PLAN FORMATIVO	<u>36</u>
CAPÍTULO 11. LA REDUNDANCIA EN DP	<u>39</u>
CONCLUSIÓN PERSONAL	<u>45</u>
BIBLIOGRAFÍA	<u>47</u>

DESCRIPCIÓN DE CAPÍTULOS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN. Breve introducción al concepto de Posicionamiento Dinámico, su nacimiento y evolución.

CAPÍTULO 2. OPERACIONES DP. Relación de las diferentes operaciones en las que el Sistema DP ha cobrado protagonismo en los últimos tiempos.

CAPÍTULO 3. PRINCIPIOS. En este capítulo se describen los principios por los que se rige el funcionamiento de un sistema DP.

CAPÍTULO 4. SISTEMAS DE UN SPD (COMPONENTES). Descripción detalla de los principales sistemas que componen un SPD,

CAPÍTULO 5. SISTEMAS DE REFERENCIA DE POSICIÓN. Descripción de los sistemas utilizados para obtener la posición que el sistema utilizará como referencia.

CAPÍTULO 6. SENSORES DE MEDICIÓN. En este capítulo conoceremos los sistemas de medición de agentes externos al buque, como el viento.

CAPÍTULO 7. PROPULSIÓN Y ELEMENTOS DE GOBIERNO. Explicación de los distintos sistemas de propulsión que pueden encontrarse a bordo de un buque con Sistema de DP.

CAPÍTULO 8. GENERACIÓN, DISTRIBUCION Y GESTIÓN DE LA ENERGÍA. En este capítulo encontramos una descripción de las diferentes configuraciones de un buque de DP para generar energía eléctrica según las necesidades.

CAPÍTULO 9. MODELO MATEMÁTICO DEL BUQUE. En este capítulo se habla sobre la importancia del modelo matemático a la hora de obtener resultados ajustados a la realidad.

CAPÍTULO 10. CLASES Y PLAN FORMATIVO. Descripción de la actividad formativa para la obtención de los distintos certificados necesarios para operar barcos DP.

CAPÍTULO 11. LA REDUNDANCIA EN DP. La importancia del concepto de redundancia en DP, en función de sus distintas clases.

CONCLUSIÓN PERSONAL. Valoración subjetiva de los Sistemas DP.

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Resulta interesante la evolución que ha sufrido el mundo marítimo en los últimos años. Los buques que salen de los astilleros se han transformado en escaparates de tecnologías de última generación.



El Sistema de Posicionamiento Dinámico (SDP) es una de esas nuevas tecnologías que, aunque aparece en la década de los sesenta, su desarrollo e incorporación definitiva en casi todo tipo de buques ha tenido lugar en las dos últimas décadas.



Este sistema ha sido desarrollado a lo largo de 30 años y fue primeramente utilizado para realizar investigaciones, perforaciones y exploraciones petroleras por buques que necesitaban una gran precisión en la posición. De este modo, un SDP puede definirse como un sistema que permite al barco mantenerse en un lugar sin la necesidad de usar el ancla. La DP ha sido recibida por el marino como la esperanza de solucionar

Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones

la mayoría de los problemas que surgen durante diferentes fases en la realización de complejas operaciones offshore. La posibilidad de disponer de un sistema capaz de mantener la posición y la proa, incluso la posibilidad de incorporar aplicaciones que permitan realizar movimientos controlados, ha hecho de los nuevos buques unas plataformas marinas que trabajan de forma precisa y segura.



El Sistema de posicionamiento dinámico, es por definición: *Un sistema capaz de, automáticamente, controlar la posición y proa de un determinado buque o plataforma mediante el empuje de sus equipos propulsores y acción de su sistema de gobierno.* Un sistema controlado por medio de un ordenador, que automáticamente mantiene la posición y rumbo mediante el uso de los sistemas propios de propulsión del barco. Sensores de referencia de posición combinados con sensores de viento, corriente y girocompases alimentan de información al ordenador acerca de la posición del buque y la magnitud y dirección de las fuerzas medioambientales que afectan a su posición. El programa informático contiene un modelo matemático del buque en cuestión, que incluye información sobre el efecto del viento y la corriente sobre el barco y la situación de los propulsores. Este modelo, combinado con los sensores abastecedores de información, permite al ordenador calcular la potencia y dirección que es necesaria aplicar en cada propulsor. Esto permite realizar y facilita en gran medida las operaciones a flote donde no es posible amarrar o fondear debido a la gran profundidad del lecho marino, congestión del fondo por tuberías o cables submarinos, u otros problemas que puedan surgir, contribuyendo además en el beneficio medioambiental.

CAPÍTULO 2. OPERACIONES DP

Los SDP se utilizan en las operaciones de la industria offshore, petrolífera y gasística, principalmente, que acuciadas por una creciente demanda del mercado comenzaron a realizar perforaciones en aguas cada vez más profundas con la imposibilidad de fondear las plataformas. Para remediar el problema se recurre a los sistemas de posicionamiento dinámico, que permite mantener la posición mientras se perforan pozos en lugares donde las profundidades son superiores a los tres mil metros. Así, a día de hoy en el golfo de México o en áreas de la costa brasileña el sistema DP se ha convertido en un requisito indispensable para los buques.

La complejidad de algunas de las operaciones offshore, por la precisión requerida y tipo de trabajo realizado, obliga a la especialización de los buques y la incorporación de SPD. Este grado de especialización queda reflejado tanto en el diseño del buque como en el equipamiento necesario para la realización de sus tareas, que normalmente requieren de un control total y preciso sobre el movimiento del buque.

Algunas de las operaciones que se podrían destacar por su complejidad y amplia utilización de los SPD, son las siguientes:

- Tendido y reparación de cables.
- Tendido y reparación de tuberías.
- Transvase de crudo y gas en alta mar.
- Abastecimiento a plataformas.
- Operaciones de dragado.
- Manejo de anclas.
- Mantenimiento de construcciones offshore.
- Floteles.
- Cruceros.
- Dragaminas.
- Investigación Marítima.
- Entre otras.....

Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones



Aunque gran parte de la flota mundial se dedica a labores más clásicas, es decir, al transporte de mercancías entre puertos, también existe un amplio abanico de buques especializados en el transporte de productos como el GNL, petróleo, minerales e incluso los buques dedicados a trasladar viajeros en cruceros de placer que incorporan un SPD.



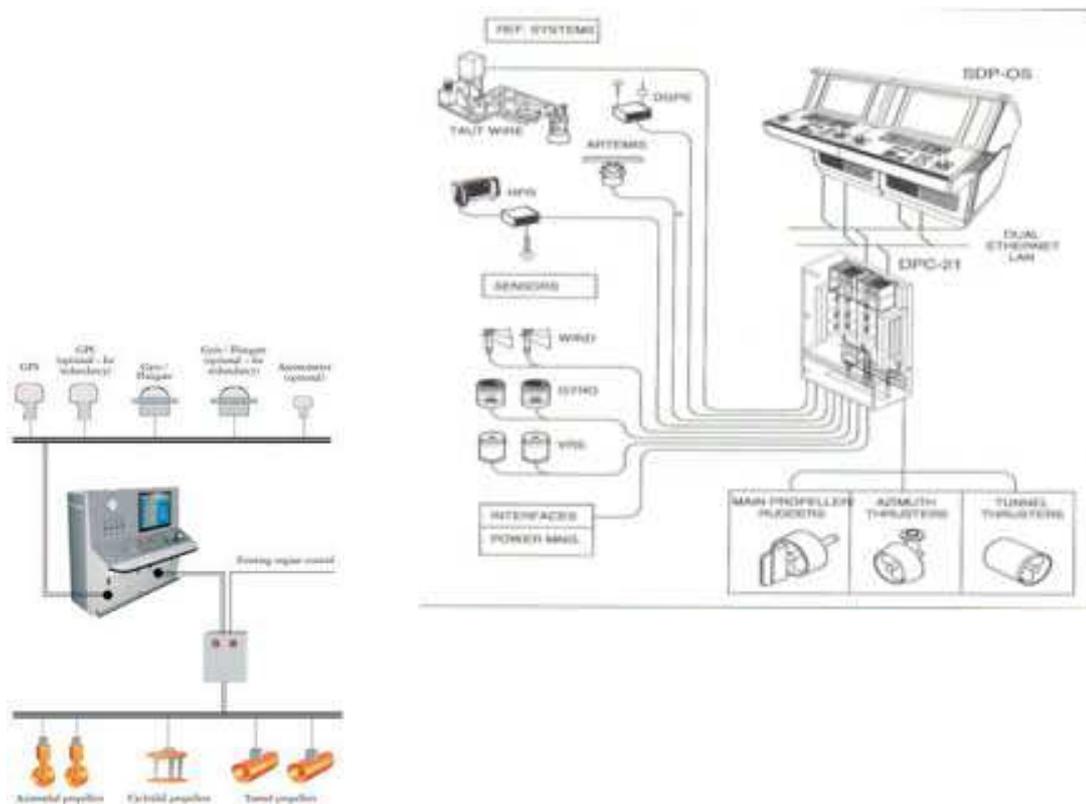
Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones

El aumento del tipo y número de buques que utilizan los sistemas de posicionamiento dinámico es cada vez mayor debido a las ventajas que supone su utilización en las operaciones que el buque deba realizar. A todo lo anterior se debe añadir la especialización sufrida por los buques mercantes en las dos últimas décadas, lo cual aumenta el número de operaciones especiales, justificando el uso de los SPD en cualquier tipo de buque que deba realizar operaciones complejas o prestar apoyo a plataformas en todo tipo de trabajos. En las últimas décadas el número de buques con SPD ha crecido de manera exponencial.

CAPÍTULO 3. PRINCIPIOS

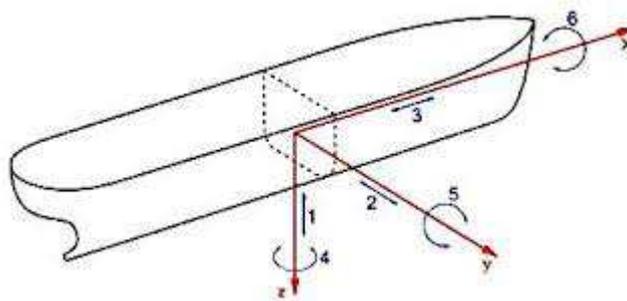
El DP es una capacidad del buque lograda mediante la integración de una gran variedad de sistemas y funciones. Es un sistema que automáticamente controla la posición y el rumbo del barco exclusivamente con el uso de propulsión activa.

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



➤ *Los 6 grados de libertad*

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

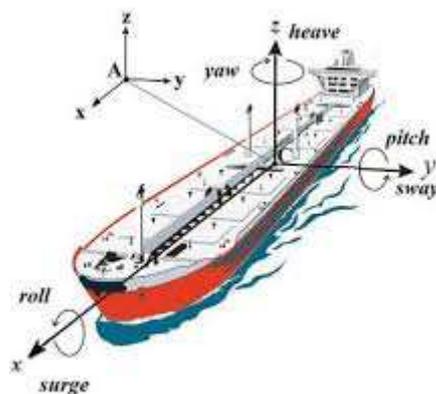


➤ *Movimientos de rotación*

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

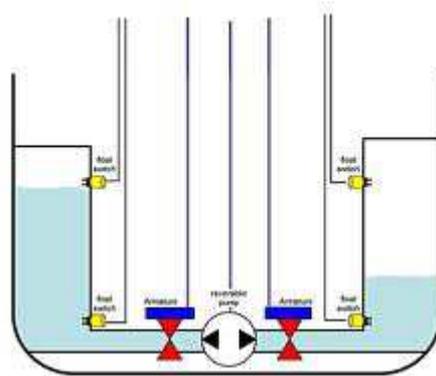
➤ *Movimientos de traslación*

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



Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones

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



INTERING

3. Equipos propulsores y de gobierno.

Un buque con SPD requiere de un sistema de propulsión y gobierno generoso que permita controlar de forma precisa la totalidad de movimientos del buque en el plano horizontal.

4. Sistemas de generación, distribución y gestión de la energía.

Estos tres sistemas, compuestos por varios equipos, son los responsables de suministrar energía a los diferentes propulsores para contrarrestar las fuerzas externas.

5. El modelo matemático del buque.

Es el algoritmo que corre el ordenador central y da como resultado las fuerzas y acciones a aplicar en cada uno de los propulsores y timones para contrarrestar las fuerzas externas reinantes en cada momento.

El eje central sobre el que funciona un sistema de posicionamiento dinámico es la aplicación informática que a través del modelo matemático del buque controla de forma automática la situación de un determinado buque procesando la información recibida de los equipos que configuran el sistema.

Antes de activar el SPD de un buque, la planificación de la operación ha previsto el número y clase de propulsores, sensores, y sistemas de posicionamiento que se deben utilizar, así como la energía (número de generadores) necesaria. De manera que en caso de que suceda un fallo la operación pueda ser terminada de forma segura.

FUNCIONAMIENTO

Una vez activo el sistema, el flujo de información es el siguiente:

Los datos procedentes de los sistemas de referencia y sensores que miden las fuerzas del entorno confluyen en el ordenador central donde corre la aplicación

CAPÍTULO 5. SISTEMAS DE REFERENCIA DE POSICIÓN

Una de las necesidades primordiales para cualquier sistema DP es disponer de una fuente fiable de la cual tomar la posición del buque. Por ello, es necesario equipar al buque con unos sistemas de referencia capaces de medir cualquier variable de forma correcta y lo más precisa posible. Entre ellos el Sistema de referencia de Posición (PRS).

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

Cualquier PRS utilizado para suministrar datos de posición al DP, debe funcionar de manera precisa, estable y fiable. Características fundamentales de un PRS a las que debemos sumar la capacidad de actualizarse continuamente.

La característica más importante y valorada es la *precisión*, ya que el posicionamiento del buque nunca será más exacto que el PRS utilizado. Por otro lado, la *fiabilidad* es esencial, pues de nada sirve disponer de un PRS preciso, si falla sin previo aviso o de repente suministra valores erróneos. Para limitar el impacto del fallo de un PRS sobre la posición del buque, se tiene en cuenta el concepto de “redundancia” que veremos más adelante. Y por último, la *estabilidad*, un PRS que pueda suministrar información de manera continuada, siendo capaz de actualizarse cada segundo o incluso más rápido.

Como característica adicional cabe destacar que en el mundo offshore las posiciones normalmente son expresadas en coordenadas UTM. El Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator, es un sistema de coordenadas basado en la proyección de Mercator normal, pero en vez de ser tangente al Ecuador, el plano de proyección es tangente a un meridiano. A diferencia del sistema de coordenadas geográficas, expresadas en longitud y latitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros, pero únicamente al nivel del mar, que es la base de la proyección elipsoide de referencia.

Debido a la alta precisión que se necesita en el funcionamiento de un DP (del orden < 1 metro) son varios los sistemas empleados. Además, contra más número de sistemas se usen, mayor será la precisión aplicada. Así pues, tendremos sistemas a bordo tipo satelitales (Differential GPS, GLONASS), sistemas láser (Fanbeam, CyScan), sistemas basados en ondas radar (Artemis, RADIUS, RadaScan), sistemas mecánicos (Tautwire, el más antiguo en el DP) y sistemas hidroacústicos (USBL, SSBL), entre otros.

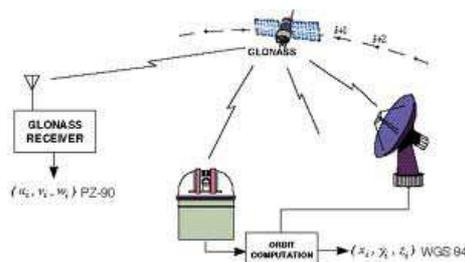
Los sistemas de referencia/medición de posición más comunes son:

- **DGPS, GPS diferenciales.**

La posición obtenida por GPS no es lo suficientemente precisa para su uso en sistemas DP. Por eso la posición se mejora mediante el uso de una estación de referencia fija en tierra que compara la posición GPS con la posición conocida de la estación, obteniendo una corrección que se envía al receptor DGPS por



frecuencia de radio de onda larga. Sin embargo, como siempre en sistemas DP se necesita aún una mayor precisión y fiabilidad. Algunas empresas como Veripos, o Fugro suministran esta corrección a través de satélites, lo que permite la combinación de varias estaciones diferenciales. La ventaja del DGPS es que es casi siempre está disponible. Las desventajas incluyen la degradación de la señal por interferencias ionosféricas o atmosféricas, bloqueo de satélites por grúas o estructuras y el deterioro de la señal a altas altitudes. También existen sistemas instalados a bordo de buques que utilizan diversos sistemas de aumento, así como la combinación de la posición GPS con GLONASS.

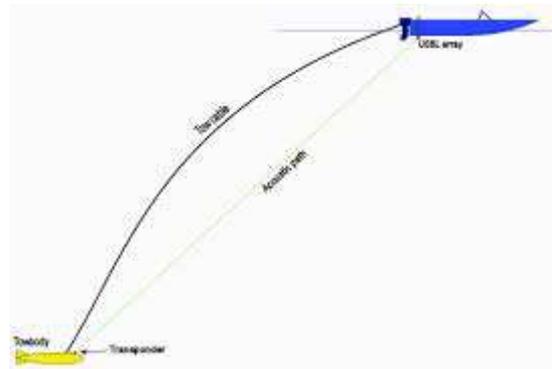


- **Sistemas de posición Hidroacústicos.**

Estos sistemas se componen de uno o más transpondedores colocados en el lecho marino y un transductor colocado en el casco del buque. El transductor emite una señal acústica para el transpondedor, que se activa para responder. Al conocer la velocidad del sonido a través del agua, podemos conocer la distancia a que se encuentran el uno del otro. 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. Este tipo de sistemas tienen una serie de inconvenientes debido a la distorsión de las señales acústicas durante su trayecto en el agua. De esta manera, son vulnerables al ruido por propulsores u otros sistemas acústicos, y la señal puede verse atenuada debido a la transformación de una parte de la energía en calor, el cual es absorbido por el agua. El uso de los sistemas Hidroacústicos está limitado a aguas poco profundas a causa de la refracción que se produce cuando el sonido viaja a través del agua horizontalmente. Existen tres tipos de sistemas de HPR se utilizan comúnmente:

1. Línea de base Ultra/Super-Short, USBL o SSBL.

Este sistema funciona como se describió anteriormente. El cálculo de la posición se obtiene mediante demora y distancia entre dos puntos (posición del buque respecto a la baliza), siendo necesario realizar una corrección para minimizar los efectos de balanceo y



cabeceo del buque. Estos efectos son determinados por unidades de referencia de movimiento. Debido a la naturaleza de la medición, la exactitud se deteriora con el aumento de la profundidad del agua.

2. Línea de base larga, LBL.

Este sistema se compone de una matriz de al menos tres transpondedores, situados en el fondo marino, abarcando una extensión de entre 500 y 1000 m. La

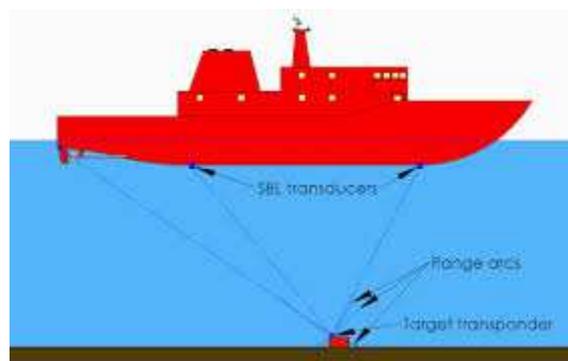
posición inicial de los transpondedores se determina por USBL y/o mediante la medición de las líneas de base entre los transpondedores. Una vez hecho esto, sólo se deben medir las distancias a los transpondedores para determinar la posición relativa. Dicha posición, teóricamente, debe estar ubicada en la intersección de las esferas imaginarias, una alrededor de cada transpondedor, con un radio igual al tiempo entre la transmisión y recepción multiplicada por la velocidad del sonido a través del agua. Debido a que la medición del ángulo no es necesaria, se elimina una de las fuentes de error debido a la curvatura de las señales causadas por la refracción, así como la producida por los movimientos del buque. De este modo, la precisión a grandes profundidades es mejor que la USBL.



3. Línea base corta, SBL.

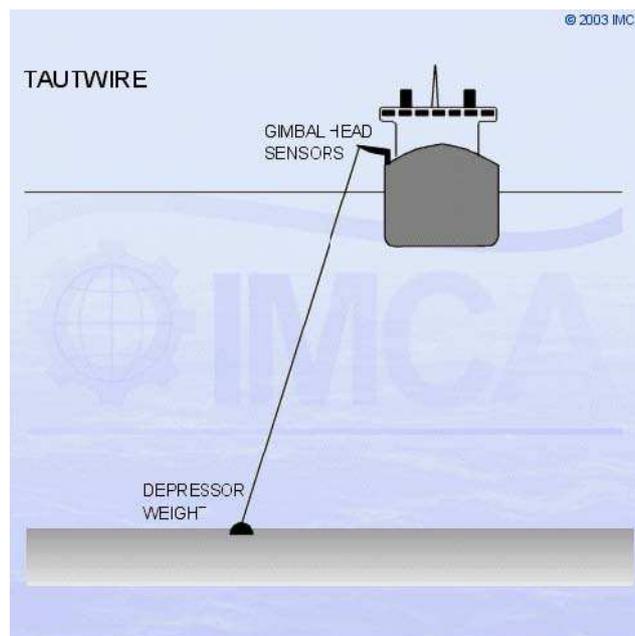
Este sistema funciona con una serie de transductores en el casco del barco. Estos determinan su posición a un transpondedor, resultando el mismo funcionamiento que el que encontramos para LBL, con la salvedad de que la matriz

se encuentra en el buque y no en el fondo, por lo que debe aplicarse una corrección para el balanceo y el cabeceo.



- **TAUT WIRE (Alambre tenso Luz, LTW).**

Es el sistema de referencia de la posición más antiguo utilizado en DP y sigue siendo muy preciso en aguas relativamente poco profundas. Un peso (clump weight) se desliza hacia el fondo del mar mediante un cable en tensión constante. 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. Alcanzando precisiones de entre 1 y 5m. Para aguas profundas el sistema es menos fiable debido la curva del alambre, y se debe tener cuidado de no dejar que el ángulo del cable sea demasiado grande para evitar el arrastre. Sin embargo, hay sistemas que contrarrestan esto con una cabeza de cardán en el clumpweight. También existen LTWs horizontales que se utilizan cuando se opera cerca de una estructura, aunque la caída de objetos sobre el cable supone un riesgo.



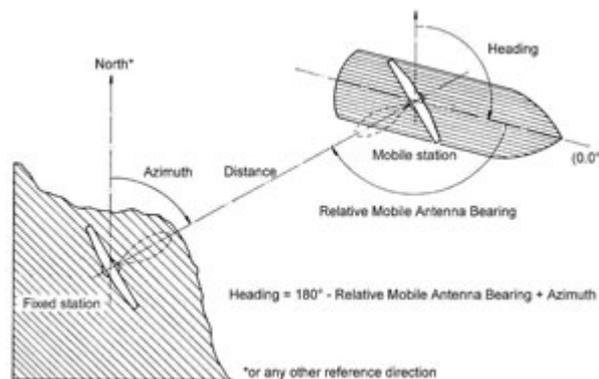
- **Sistemas láser. Fanbeam y CyScan.**

Se trata de sistemas de referencia de posición basados en láser. Son sistemas muy sencillos, ya que sólo necesitan un escáner láser instalado en una estructura que gira 360°. Estos sistemas son realmente precisos, $\pm 10\text{cm}$, aunque existe el riesgo de bloqueo en otros objetos que reflejen la señal. El alcance depende de las condiciones atmosféricas, pudiendo oscilar entre 500 a 2000 metros.



- **Artemis.**

Es un sistema basado en el radar, y tan solo se compone de dos estaciones. Una unidad se coloca en una estructura cercana fija y dirigida a la unidad de a bordo del buque. La posición está determinada por la distancia de la estación móvil a la fija y por el ángulo entre ellas. El rango es de varios kilómetros. Entre las ventajas encontramos un rendimiento fiable, y que no se ve afectado por las condiciones meteorológicas. La desventaja es que la unidad es más bien pesada.



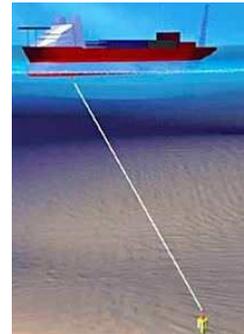
- **Radius y RadaScan.**

Estos son sistemas basados en la tecnología del radar para corto alcance y monitorización de la dirección de las señales, pero no tienen partes móviles como Artemis. Otra ventaja es que los transpondedores son mucho menores que la unidad de Artemis. El alcance generalmente es de entre 500 a 1000 metros.



- *Navegación inercial.*

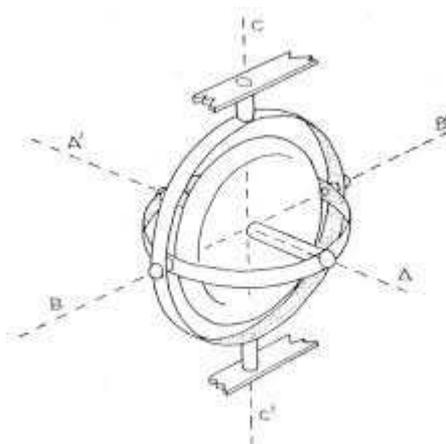
Se utiliza en combinación con cualquiera de los sistemas de referencia anteriores, pero por lo general con GNSS e Hidroacústica.



Para el control de la proa se usa siempre la giroscópica, duplicada y a veces triplicada, así como el compás magnético, conectados ambos mediante el protocolo NMEA.

También existen otros métodos más avanzados como Giroscopios Anillo-Laser, Giroscopios de fibra óptica o el Seapath, una combinación de GPS y sensores inerciales.

La función básica del girocompás en un sistema DP es su utilización como sistema de referencia de rumbo. Los equipos modernos son fiables cien por cien y mucho más precisos que las brújulas magnéticas utilizadas como instrumento para conocer el rumbo del buque en los comienzos de la navegación.



CAPÍTULO 6. **SENSORES DE MEDICIÓN**

Además de la posición y el rumbo, un sistema DP debe alimentarse de otras variables proporcionadas a través de sensores. Estos sensores externos son los encargados de medir el abatimiento producido por el viento, la deriva creada por la corriente y la amplitud producida por el oleaje. Todos están contruidos a partir de unidades de medidas de inercias (IMU), que determinan el grado a corregir para los movimientos de rotación del buque.



- Unidades de referencia de movimiento.

Sensores que proporcionan referencias verticales u horizontales (VRUS, MRU o VRSS), para determinar el cabeceo, el balance y la guiñada del buque. La información sobre el cabeceo y balance del buque han de ser en tiempo real para trasladarla desde las posiciones fijadas por la antena del GPS o el transpondedor acústico a la posición central del buque. Este procedimiento es conocido como compensación del movimiento por GPS o APS (sistema de posicionamiento acústico).



- Sensores de viento.

El sensor de viento combina la medida de la velocidad del viento y de la dirección en un mismo aparato, mediante sensor remoto, el cual proporciona con precisión, exactitud y continuidad monitorizada de los efectos medioambientales hostiles. Los sensores de viento de un sistema DP incorporan un *feedforward* o realimentación de los valores de dirección y fuerza del viento. Esta información se utiliza para calcular las fuerzas de viento inducidas que actúan sobre el casco y estructuras del buque, por lo que el sistema puede anticipar las ráfagas de viento antes de que el buque pierda la posición.



- Sensores de proyecto.

Un cambio en la operativa puede influir en el efecto del viento y la corriente en el casco.

- Otros sensores.

Dependiendo del tipo de buque. Por ejemplo, un buque de tendido de tuberías puede medir la fuerza necesaria para tirar de la tubería, y los grandes buques grúa tienen sensores para determinar la posición de las grúas, y así poder calcular un modelo de viento más preciso.

CAPÍTULO 7. PROPULSIÓN Y ELEMENTOS DE GOBIERNO

Los equipos de propulsión y elementos de gobierno son los encargados de crear el empuje necesario para contrarrestar las fuerzas externas y guiar al buque. Estos sistemas incluyen las hélices y los timones principales del barco, así como todos los propulsores auxiliares instalados a bordo. Suelen ser propulsores azimutales, hélices de proa, water jets, etc.

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

Se requieren al menos 3 propulsores para hablar de una correcta propulsión DP, a los que habrá que añadir más en función de los requerimientos necesarios para cada clase DP1, DP2 o DP3.

Como norma general, los propulsores cuando se encuentran controlados por el sistema DP están limitados para entregar como máximo el 80% de su potencia total. Esto sirve para evitar sobrecargas en las palas de la hélice por trabajar a alta potencia con el buque casi estacionario. El DPO debe de estar familiarizado con este hecho, para eliminar esta limitación si fuese necesario que, normalmente, desaparece cuando el buque pasa a modo convencional en tránsito.

1. Propulsión convencional hélice/timón.

La propulsión para la navegación convencional de un buque está optimizada generalmente por una combinación de hélice y timón. Esta combinación puede darse de forma simple con una sola hélice-timón, o mediante un sistema de doble hélice que permitirá una mayor maniobrabilidad. Aunque para una clasificación DP siempre deberá complementarse con otro tipo de sistemas auxiliares.

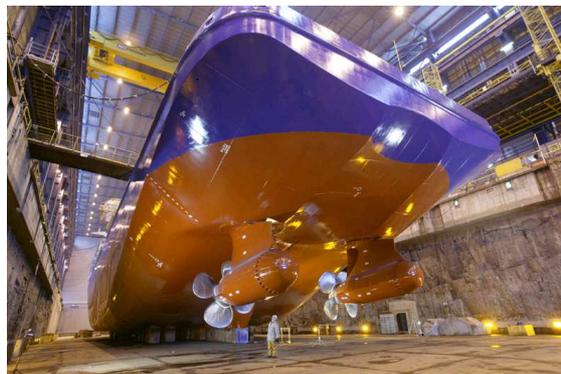


Con una configuración de doble hélice, los propulsores pueden operar de forma independiente, ofreciendo la posibilidad de controlar un propulsor avante y otro atrás, y del mismo modo operar sobre los timones de forma independiente, proporcionando así una mayor maniobrabilidad al buque. Los timones más utilizados son los timones semicompensados articulados tipo Becker, por su mayor capacidad de evolutiva a la hora de maniobrar.

La desventaja notable de los sistemas de propulsión convencional es que en DP las cargas de los propulsores y la demanda de potencia es mucho menor que la que se requiere para una navegación en tránsito convencional, por lo que si la potencia es obtenida por motores diesel el sistema pasará grandes periodos de tiempo de su vida útil con una carga de trabajo demasiado liviana.

2. Propulsores acimutales.

Este tipo de propulsores viene aplicándose cada vez en mayor medida, tanto en embarcaciones deportivas como en grandes buques, ya que les confiere una maniobrabilidad absoluta y muy diferente a los sistemas de propulsión convencionales.



Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones

Un propulsor acimutal (que no azimutal, termino propio de la astronomía) también llamado “pod” se basa en un propulsor acoplado en 90° a una plataforma rotativa que sobresale del casco en sentido vertical, confiriendo al propulsor una capacidad de giro en sentido acimutal de 360°. Ello confiere, por un lado la maniobrabilidad anteriormente comentada, consiguiendo una maniobra de atraque más segura y en menor espacio, amén de una capacidad de posicionamiento dinámico del buque, muy deseable en buques “offshore” y remolcadores. También así, no se hace necesario el empleo de timón, eliminando la importante fricción viscosa que este gran apéndice produce y convirtiendo los cambios de rumbo en un empuje efectivo.

Por otro lado, en su aplicación más actual vienen comandados por un motor eléctrico acoplado en sentido vertical en la parte de la plataforma interna al buque, transfiriéndose la rotación del eje vertical al eje horizontal de la hélice mediante engranajes de corona. Esto otorga en base a dos variaciones de concepto, una ventaja constructiva al buque.

Especificando, ya no existen ejes de cola que deban atravesar mamparos desde la cámara de máquinas y que su conjunto deba formar los ángulos adecuados, si no que se alimenta eléctricamente desde el generador o generadores de la cámara de máquinas. Por otra parte, se puede comprender así la máquina del buque como una central eléctrica, lo cual confiere una mayor flexibilidad tanto en su diseño como en su operativa. En grandes buques viene implantándose el concepto de generadores múltiples, consiguiendo la suma de potencia necesaria mediante varios motores de combustión de menor potencia unitaria, lo que reduce considerablemente la altura de la cámara de máquinas.

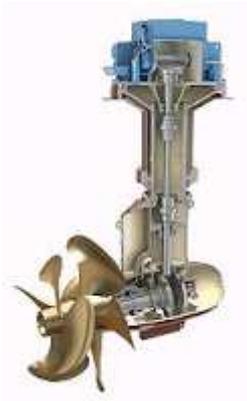
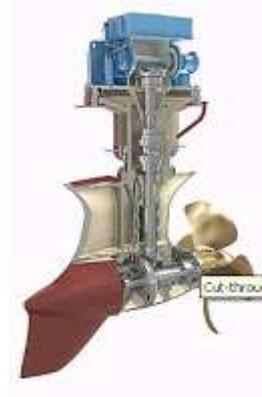
Esto último confiere una mayor libertad en el diseño y maximiza el aprovechamiento de los espacios y volúmenes internos del buque. Cabe destacar que existen propulsores acimutales con accionamiento mecánico por ejes desde la cámara de máquinas.

Sin más pasemos a conocer algunos de los tipos de propulsores acimutales, en este caso diseños de Rolls-Royce.

Propulsores “azipull”: Estos vienen diseñados para proporcionar un empuje eficiente en altas velocidades, del rango comprendido entre 20 y 25 nudos.

En este caso vienen a operar en acción conjunta con timón. Los propulsores funcionan aguas arriba en el sentido de avance, quedando tras ellos una protuberancia diseñada para recuperar la energía del remolino de la estela.

Este modelo puede montarse tanto en hélice de paso fijo como en variable.



Propulsores “contaz”: Este es un sistema de hélices contra rotativas, de las cuales se pretende introducir un artículo más adelante, ideado para buques mercantes. Este sistema permite aumentar la eficiencia del propulsor del 10% al 15%, lo cual implica una menor potencia requerida. De otro lado consigue propulsores de un diámetro menor así como la reducción del ruido.

Propulsores abiertos: Este es el propulsor acimutal más corriente. Queda poco que comentar sobre ellos amén de lo anterior. Para aplicaciones más convencionales, pueden montarse también en paso fijo o variable.



Propulsores “swing-up & combi”: Este es un acimutal de hélice en tobera cuya característica principal es la de ser retraible. La plataforma junto con el propulsor pivota, entrando en un alojamiento del casco. De esta manera se evita el rozamiento de este apéndice,

sirviendo tanto de propulsor de emergencia como para aquellos buques que operan en aguas poco profundas. Este último es el modelo TCNC, el cual una vez retraído, queda expuesta únicamente la hélice y su tobera, actuando como un propulsor de túnel convencional, rotando este 180°.

Ambos se encuentran en opción de paso fijo o variable.

Propulsores retraibles verticalmente: Este propulsor, también en tobera, se introduce en el casco en sentido vertical, reduciendo de esta manera su rozamiento cuando no se usa. Tiene un fácil montaje y desmontaje con el barco a flote.



3. *Propulsores laterales.*

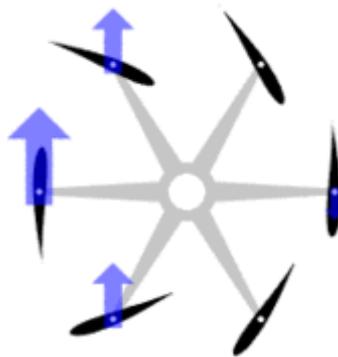
Generalmente, los buques DP están equipados con hélices transversales de túnel tanto a proa como a popa. Como todo tipo de hélices, estas pueden ser de paso fijo o variable, pero siempre se encuentran alineadas babor/estribor. Cabe destacar la importancia de su inmersión en el agua, especialmente en situaciones en las que el buque se encuentre en lastre y en condiciones meteorológicas adversas, ya que puede afectar directamente a su operatividad y rendimiento. Del mismo modo pueden influir negativamente en su rendimiento tanto la arrancada del buque como la longitud del túnel.



4. Propulsor Voith Schneider.

Este sistema de propulsión también conocido como “impulsor cicloidal” (CD, Cycloidal drive) es un especializado sistema de propulsión marina. Es altamente maniobrable, siendo capaz de cambiar la dirección del empuje de forma casi instantánea. Es ampliamente empleado en remolcadores y transbordadores.

Consiste en una placa giratoria que sobresale por debajo del casco de la embarcación, y que contiene un conjunto de álabes verticales de perfil hidrodinámico que pueden cambiar de orientación girando individualmente sobre su propio eje vertical. El conjunto de álabes verticales es comandado por un mecanismo interno que los orienta en forma sincronizada haciendo que en conjunto provean empuje en cualquier dirección deseada. El ángulo de incidencia de cada pala varía a lo largo de una rotación de la placa madre conductora.

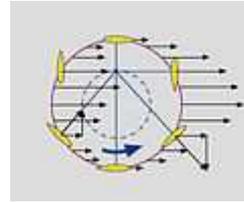


A diferencia de la hélice acimutal (donde un propulsor convencional es redirigido por un eje vertical) para un cambio en la orientación de la corriente de empuje, un propulsor Voith-Schneider simplemente requiere un cambio de configuración en la orientación de los álabes verticales para lograr el mismo efecto. En situaciones normales de trabajo esto le permite al conductor de una embarcación cambios de rumbo casi instantáneos sin necesidad de timones convencionales. Esto es altamente eficiente por lo que el empleo del dispositivo se ha extendido ampliamente en embarcaciones que requieren gran capacidad de maniobra como los buques DP. Otra característica importante es que al igual que las hélices de paso variable, el motor principal del buque siempre está en marcha por lo que no requiere de mecanismos de embrague brindando respuesta inmediata a instancia de un simple cambio de comando.

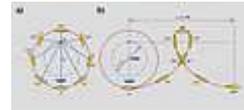
Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones

Una desventaja del dispositivo es que al sobresalir por debajo del casco aumenta considerablemente el calado de la embarcación haciéndolo poco recomendable para operar en aguas poco profundas.

Fuerzas de empuje del VSP en el agua



Trayectoria de una pala en el agua



• FUNCIONES TÍPICAS DE CONTROL.

Los sistemas de propulsión DP disponen de diferentes configuraciones de control. De esta forma, podemos encontrarlos:

1. Manejo mediante Joystick en forma manual o Control automático.
2. Modo de piloto automático con NFU soft-keys o control de gobierno directo a los timones.
3. Modo de piloto automático siguiendo imágenes digitalizadas o chart-plottes.
4. Modo de posicionamiento con control manual, automático o independiente según el eje deseado.
5. Centro de rotación variable.
6. Compensador automático de viento.

Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones

7. Controles remotos de rumbo, manuales o automáticos, con sensores combinados para posiciones tomadas por medios acústicos o de DGPS.
8. Indicadores de sobrecarga eléctrica en los generadores.
9. Modo de simulación en tiempo real bajo cualquier condición dada, que permite incrementar al apoderado la eficiencia y seguridad.



CAPÍTULO 8. GENERACIÓN, DISTRIBUCION Y GESTIÓN DE LA ENERGÍA

Los buques DP son completamente dependientes de la energía eléctrica tanto para la propulsión como para los elementos electrónicos que forman parte de un sistema DP.

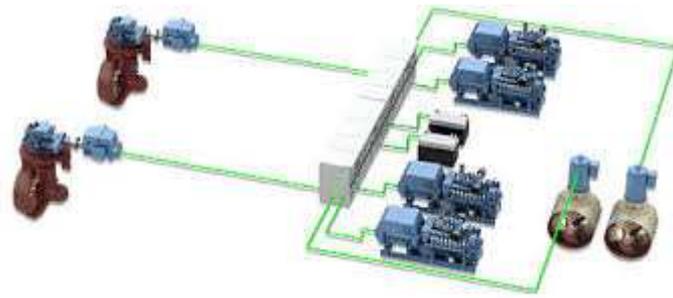
Energéticamente hablando, los buques DP se dividen en 2 grupos: los diesel-eléctricos y los no diesel-eléctricos. Dentro de los no diesel-eléctricos, se engloban también los híbridos, es decir, aquellos en los que las hélices principales están directamente impulsadas por motores diesel, mientras que los propulsores auxiliares son alimentados eléctricamente. Por otra 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 u propio motor diesel.

1. ENERGÍA DIESEL-ELÉCTRICA.

La mayoría de los buques equipados con DP están propulsados diesel-eléctricamente. En un buque de esta clase, la energía eléctrica es suministrada centralmente y distribuida a todos los consumidores a diferentes voltajes dependiendo de las necesidades.

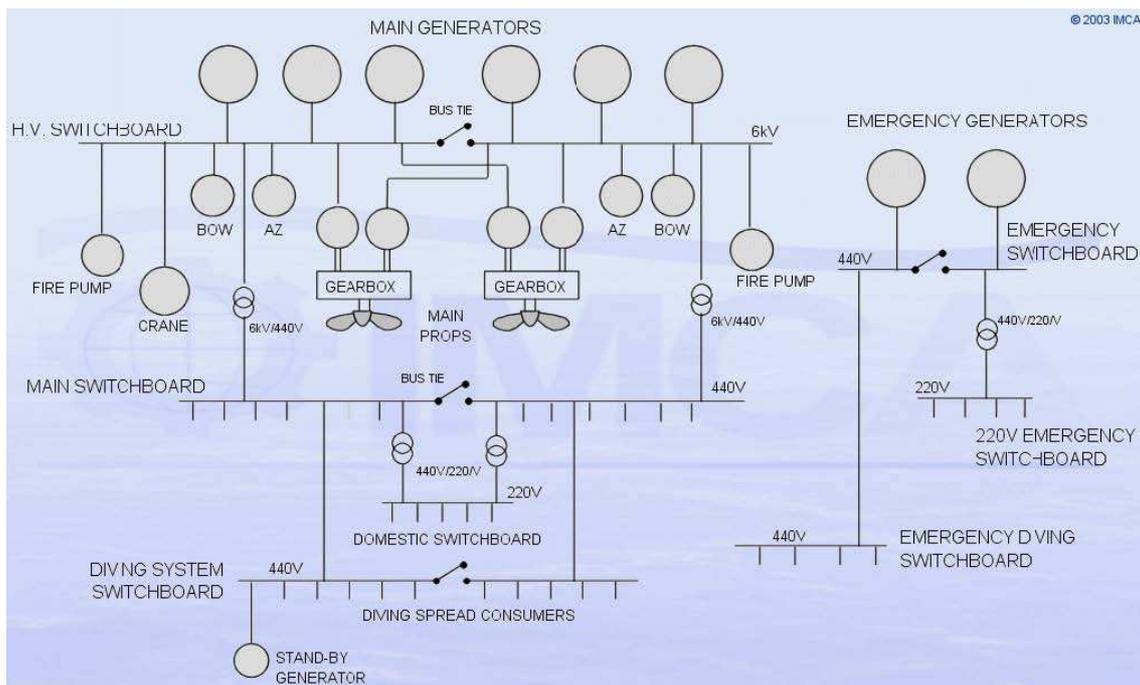
La energía es producida por un número diferente de generadores primarios que normalmente son motores diesel semi-lentos, acoplados a alternadores que son los que generan la energía eléctrica a alto voltaje. La tensión típica a la salida del alternador puede oscilar entre los 3.000v y los 11.000v, aunque las configuraciones más usuales en buques DP son 3,1kv, 6kv y 6,6kv. En instalaciones con grandes consumos de energía se prefieren voltajes más altos, mientras que la intensidad se mantiene a bajo nivel.

Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones



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

Para comprender el funcionamiento de la planta eléctrica del buque, es esencial que el DPO se familiarice con el diagrama de distribución de potencia de su barco. De este modo, también conocerá las posibilidades de fallo en el sistema, así como el peor caso posible y sus consecuencias.



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

En un barco de propulsión diesel-eléctrica, las barras de potencia se encuentran divididas en 2 o más secciones con interruptores (bus-tie breakers) entre ellas. Si los interruptores están cerrados, la potencia y energía eléctrica circula entre generadores y cuadros, ofreciendo mayor flexibilidad a la hora de elegir la configuración. En caso de un fallo, el interruptor aislará la sección defectuosa y el buque continuará operando con las demás secciones del cuadro.

Para operaciones en clase DP1 y DP2 los interruptores pueden encontrarse abiertos o cerrados, pero para operaciones en clase 3, estos interruptores deben estar abiertos, por lo que cada sección de cuadro eléctrico se comporta de manera independiente. De esta forma, un fallo en una barra no se transmitirá a las demás.

2. SISTEMAS HÍBRIDOS

La configuración más común para este tipo de sistemas es la formada por un motor diesel a revoluciones constantes conectado a una hélice propulsora principal de paso variable, donde el suministro eléctrico es logrado al acoplar un alternador de cola a la salida del eje del motor diesel. Los propulsores tales como hélices de proa y popa transversales son alimentados eléctricamente.

Normalmente, esta configuración se encuentra en buques convertidos a DP y no diseñados en origen para la instalación del sistema DP, a los cuales durante el proceso

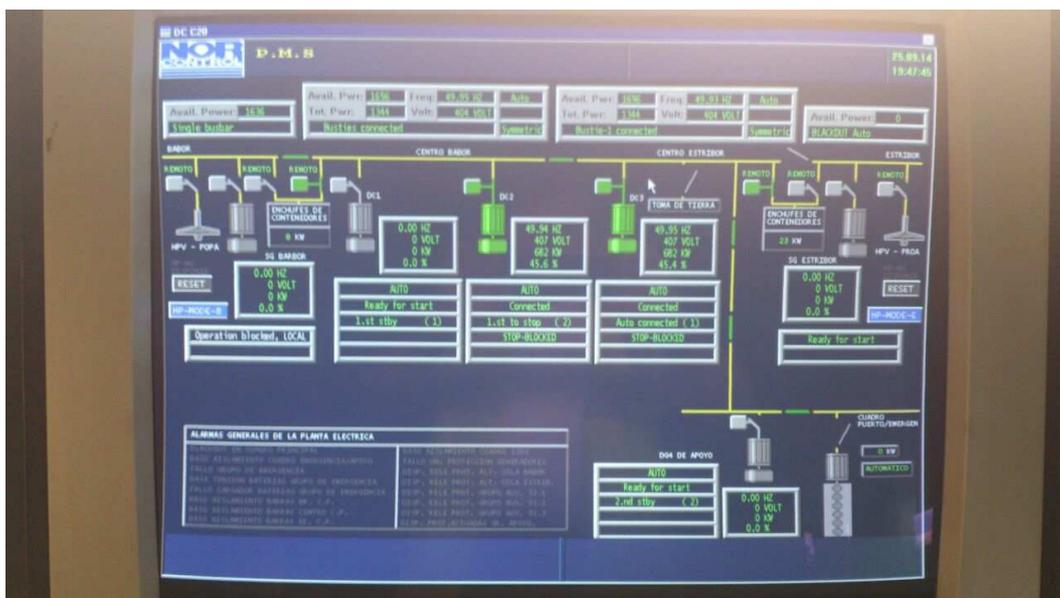
Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones

de reconversión se les añadió poder de propulsión y mayor generación eléctrica. Sin embargo, también existen gran cantidad de buques originalmente diseñados con esta configuración, ya que permite una mayor flexibilidad y viabilidad económica en diferentes modos de operación.

Este sentido, con el fin de optimizar la eficiencia de los motores diesel, viene siendo habitual la implantación de un sistema híbrido de doble hélice, y doble alimentación, eléctrica y por motor diesel. De este modo cuando el buque opere en DP la energía es suministrada por el cuadro eléctrico, y cuando el buque se encuentre en tránsito, los motores eléctricos se desembragan y son los motores propulsores diesel los que se embragan para lograr la velocidad de crucero deseada. Así se produce una gestión más eficiente del sistema en función de las cargas demandadas por la hélice.

3. GESTIÓN DE LA ENERGÍA

Para el control y gestión de la energía a bordo, todos los barcos modernos utilizan un software de gestión de la planta eléctrica. Su principal función es asegurar que están en funcionamiento el número adecuado de generadores en función de la demanda global de energía.



El sistema monitoriza continuamente la demanda de potencia así como la potencia disponible de reserva, siendo capaz de arrancar generadores que se encuentren

Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones

en espera en caso de considerar la reserva insuficiente. Este software de gestión también permite monitorizar la situación a bordo en función de la redundancia exigida según la clase en la que las operaciones se están llevando a cabo. Por otra 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 y de manera inversa a su importancia en la operación de a bordo.

Cuando se está operando en modo DP un déficit de energía es crítico, e incluso el sistema de gestión puede inducir limitaciones o reducciones al paso para evitar el blackout. Con esto se quiere decir que es preferible una pequeña excursión fuera de la posición de trabajo a un blackout total con una pérdida incontrolada de la posición.

Para proveer una absoluta redundancia a los aparatos eléctricamente alimentados del DP, así como a elementos electrónicos asociados, es común la utilización de unidades UPS. Simplemente es una unidad formada por una batería y un relé, cuya salida es conmutada dependiendo de si hay tensión de entrada o no. De esta forma cuando no hay tensión de entrada la batería proporciona la tensión necesaria, y por el contrario, cuando se mantiene la tensión de entrada la batería se recarga. La tensión de salida de estas unidades puede ser de 12v, 24v o 48v, por lo que es importante tener claro que este tipo de unidades no alimentan a los propulsores o hélices, sino a elementos electrónicos de menor consumo energético.



UPS

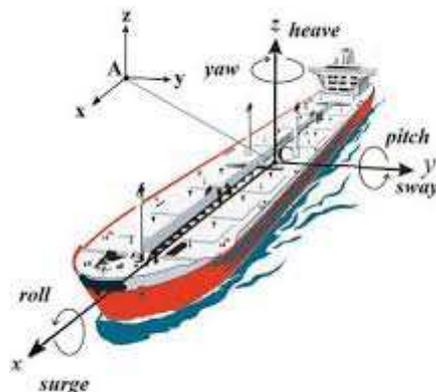
CAPÍTULO 9. MODELO MATEMÁTICO DEL BUQUE

El eje central sobre el que funciona un sistema de posicionamiento dinámico es la aplicación informática que a través del modelo matemático del buque controla de forma automática la situación de un determinado buque procesando toda la información recibida de los equipos que configuran el sistema. De ahí la importancia de conseguir un modelo matemático que consiga reproducir de la forma más exacta posible las características del buque en cuestión y su comportamiento frente a variables externas e internas.

Antes de activar el SPD de un buque, la planificación de la operación ha previsto el número y clase de propulsores, sensores y sistemas de posicionamiento que se deben utilizar, así como la energía (número de generadores) necesaria. De manera que en caso de que suceda un fallo, la operación pueda ser terminada de forma segura.

El uso de la simulación en el diseño de sistemas de control de gobierno en buques, ha hecho necesario el desarrollo de modelos dinámicos (aerodinámicos e hidrodinámicos) que conservando las principales características de comportamiento, permitan una implementación lo más sencilla posible.

Dinámicamente un barco se puede considerar como un sólido rígido con seis grados de libertad; tres coordenadas para describir los movimientos de traslación respecto a los tres ejes, y otras tres para los respectivos movimientos de rotación.



Para los modelos de gobernabilidad se consideran inicialmente tres grados de libertad, ya que el movimiento se realiza en el plano horizontal. Los modelos no lineales a los que dan lugar según distintas expresiones de las fuerzas y momentos

hidrodinámicos, se pueden linealizar en un pequeño intervalo alrededor del estado de equilibrio.

Estos modelos lineales sólo permiten describir el movimiento del buque en línea recta. Si se desea aumentar el intervalo de validez de éstos modelos, es necesario introducir términos no lineales al modelo. Del mismo modo si consideramos el movimiento de balance da lugar a los modelos de cuatro grados de libertad.

El movimiento de un buque en la mar se describe respecto a un eje de referencia inercial. Normalmente se supone que la aceleración de un punto en la superficie de la Tierra afecta muy poco al movimiento con baja velocidad de los vehículos marinos.

Para representar el movimiento de un buque se necesitan seis coordenadas independientes. Se utilizan tres coordenadas para describir los movimientos de traslación (avance/retroceso, desplazamiento lateral/deriva, arfada), referidos a un sistema de coordenadas móvil situado en el buque. Otras tres coordenadas describen los movimientos de rotación (balanceo, cabeceo y guiñada respectivamente) del sistema de coordenadas móvil del buque respecto al sistema de coordenadas inercial de referencia situado en tierra.

Estos modelos son necesarios para desarrollar sistemas de control de la gobernabilidad de un buque, tanto para pruebas de simulación como para pruebas con modelos físicos.



CAPÍTULO 10. CLASES Y PLAN FORMATIVO

La Organización Marítima Internacional (OMI), mediante su circular 645 del Comité de Seguridad Marítima, establece una serie de recomendaciones para cada una de las clases de los diferentes SPD que pueden incorporar los búques.

1. CLASE DP 1

- No tiene redundancia. La pérdida de la posición puede ocurrir en el caso de un único fallo.
- Control manual y automático de la posición y la proa bajo unas condiciones meteorológicas máximas conocidas.
- Aquellas operaciones en las que la pérdida de la capacidad de mantener la posición puede ocasionar daños materiales y/o medioambientales limitados.

2. CLASE DP 2

- Tiene redundancia de manera que ningún error en un sistema activo hará que el sistema falle. La pérdida de la posición no tendrá lugar por errores de un componente o sistema activo (generadores, hélice, centralitas, válvulas de control remoto, etc...), pero si puede ser provocada por el fallo de un componente estático (cables, tuberías, válvulas manuales, etc..).
- Control manual y automático de la posición y la proa bajo unas condiciones meteorológicas máximas conocidas, durante y después del fallo de cualquier elemento individual del sistema.
- Se emplea en aquellas operaciones en las que la pérdida de la capacidad de mantener la posición puede ocasionar daños personales, materiales y/o medioambientales de gran impacto económico.

3. CLASE DP 3

Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones

- Además tiene que soportar el fuego o una inundación en cualquiera de los compartimentos sin que ello produzca un fallo del sistema. La pérdida de la posición no debe producirse a partir de un único fallo producido por un incendio parcial/total o inundación de un compartimiento estanco.
- Control manual y automático de la posición y la proa bajo unas condiciones meteorológica máximas conocidas, durante y después del fallo de cualquier elemento individual del sistema, inclusive la pérdida de un compartimiento debido a fuego o inundación.
- Se emplea en operaciones en las que la pérdida de la capacidad de mantener la posición puede producir como resultado la muerte de una persona, una contaminación severa y/o daños materiales de gran impacto económico.

En definitiva, la clase establece el nivel de redundancia que el sistema debe tener para sobreponerse a la avería de algún componente durante la realización de una operación en la que se está utilizando SPD.

Un SPD de clase 1 no es un sistema redundante y ante cualquier fallo el buque corre el riesgo de perder la posición, mientras que los sistemas de clase 2 y 3 tienen cierto nivel de redundancia. De manera que en caso de ocurrir algún fallo el buque seguiría teniendo la capacidad de mantener la posición y abandonar la operación de manera controlada.

Los componentes de un SPD, el equipo propulsor del buque, los sistemas de referencia, los sistemas de medición, etc., serán acordes a la clase del sistema, así un buque DP-3 contará con un mayor número de componentes que le garanticen una mayor redundancia y capacidad operacional en comparación a un buque DP-1.

Por ejemplo, un buque DP-2 o DP-3 dispondrá de sistemas de referencia independientes, éstos deberán de utilizar diferentes señales y estar basados en diversos principios de funcionamiento, evitando una pérdida de posición por la degradación de la señal procedente de un único tipo de sistema de referencia.

FORMACIÓN

Las buenas condiciones laborales y la gran demanda de profesionales cualificados que actualmente presenta la industria offshore hacen que muchos marinos se decanten por este sector. En este sentido, la acreditación del curso básico de operador DP es necesaria.

El operador del SPD es la persona responsable de las operaciones cuando el buque opera en DP. Previamente esta persona ha recibido una formación específica y ha sido habilitada, mediante la realización de cursos (básico y avanzado) para el manejo de este tipo de buques. Su labor es fundamental, ya que será quien calibre, dé órdenes y monitorice la actuación del sistema. Además, en última instancia, cuando el sistema no sea capaz de controlar el buque, será quien tome el control.

El Comité de Seguridad de la IMO en su circular 738 establece una serie de recomendaciones para la formación de operadores DP, aunque son la IMCA (Asociación Internacional de Contratistas de la Marina) y el Nautical Institute quienes, a través de una red de centros homologados, se encargan de la formación y expedición de las titulaciones. Actualmente la acreditación de estas titulaciones es un requisito indispensable para los marinos que quieran especializarse y trabajar en el sector.

Actualmente el camino a seguir para obtener la titulación como operador DP es el siguiente:

1. Un curso básico de formación DP.
2. Un mínimo de 30 días de navegación marítima de familiarización en un buque DP.
3. Un curso avanzado DP.
4. Un mínimo de 180 días en un buque de guardia DP.
5. Una declaración de aptitud por el capitán de un buque DP.

CAPÍTULO 11. LA REDUNDANCIA EN DP

Los buques DP llevan a cabo diferentes tareas y operaciones, algunas de las cuales son críticas desde el punto de vista de la seguridad. Es por ello que previamente a las operaciones deben analizarse las posibles consecuencias de un fallo del sistema DP.

Un solo fallo puede ser, entre otros:

- Insuficiencia de hélice.
- Fallo del generador.
- Insuficiencia de Powerbus.
- Fallo en el ordenador de control.
- Fallo en el sistema de referencia de posición.
- Fallo del sistema de referencia.

Hay ciertas operaciones en las que un error o malfuncionamiento del sistema significa una “excursión” fuera de la zona definida o por el contrario una completa pérdida de control de la posición y del buque. Ambos son clasificados como “errores catastróficos”. Las consecuencias de dichos errores se clasifican en estos tres: riesgo de herida o muerte del personal, de la propiedad o contaminación del medio ambiente.

El objetivo de la redundancia es asegurar que el sistema en su conjunto funciona correctamente a pesar de perder un elemento individual o subsistema y así evitar los “errores catastróficos”. De este modo, definimos la redundancia en DP, como la habilidad del buque para soportar la pérdida de cualquier componente individual sin perder la posición o el rumbo. La redundancia en el sistema permite el abandono y cancelación seguro de las operaciones, ofreciendo al barco una salida segura de la zona de trabajo y bajo control DP, en el caso de un fallo individual de cualquier sistema.

Hay diversas maneras de aplicar la redundancia. La más común es proveer al sistema de componentes “back-up” y “stand-by”. Un buen ejemplo de esto son los ordenadores controladores, uno trabajando “on-line” y el otro en “hot stand-by” como back-up. A esto por ejemplo se le puede añadir un sistema de transferencia de control

entre ellos sin producirse cambios ni en el rumbo ni en la posición. De esta manera en caso de fallo de los controladores, el buque puede retirarse a una zona de seguridad, todavía en modo DP, sin más redundancia en el área de los controladores.

- ***REDUNDANCIA EN CONTROLADORES.***

Los ordenadores son el corazón y el cerebro de cualquier sistema DP. Para un sistema DP1 un ordenador individual es suficiente, pero para un sistema DP2, se instalan 2 ordenadores paralelos e idénticos. Cada uno funciona individualmente en paralelo recibiendo la misma información de los periféricos y realizando los mismos cálculos. Uno se encuentra on-line mientras que el otro se encuentra en modo back-up. Además, cada uno monitoriza a su homólogo, de manera que si las 2 unidades no funcionan de la misma forma, una alarma de diferencia salta indicando por lo tanto que la redundancia se ha perdido. La “Triple Modular Redundancy” provee más seguridad, 3 controladores funcionan en paralelo, siendo 2 de ellos back-up. La ventaja de este sistema es que introduce el concepto de “voto lógico”, comparando cada cálculo con los de sus homólogos y detectando automáticamente el error descartando la unidad.

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

En un buque DP3 debe existir un controlador aislado en otro compartimiento. Esta es la clave de los requerimientos DP3, la compartimentación y subdivisión. Por lo tanto en la práctica para un buque DP3 esto significa 2 sistemas de controladores instalados en el puente, con un sistema independiente de back-up incluyendo ordenador/procesador en una localización diferente.

- ***REDUNDANCIA EN POSICIÓN Y DATOS DE RUMBO.***

Para un sistema DP1, se deben instalar un mínimo de 2 sistemas de posición. El uso de un solo PRS tiene un peligro específico, la congelación del sistema. Si la lectura del indicador de posición se congela, los valores que suministra son constantes, causando probablemente la pérdida de la posición real del buque, pues éste sigue bajo los efectos de las condiciones existentes reinantes. Independientemente de que el buque

se encuentre muy próximo a la posición deseada, el controlador continuará enviando comandos a los propulsores para corregir esta desviación, consiguiendo con ello un alejamiento paulatino de la posición deseada. En cuanto al rumbo, los requerimientos para DP1 son satisfechos con un solo giróscopo.

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

Sin embargo, el DPO debe estar siempre alerta en todo momento para evitar los errores de raíz más comunes. Si un barco está utilizando 2 DGPS independientes y un FanBeam como PRS satisface los criterios para estar operando en DP2 y DP3. Pero si ambos DGPS sufren un problema común, como en la señal satelitaria, el voto lógico va a rechazar el FanBeam que es el único que provee información correcta. Por ello, es aconsejable usar 3 PRS basados en 3 principios completamente diferentes, reduciendo así la exposición a errores comunes de raíz.

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

- ***REDUNDANCIA EN LA PROPULSIÓN.***

Para un buque DP diesel-eléctrico clase 2 o 3, el worst-case single failure será la pérdida completa de una barra. Esto resulta en la pérdida de todos los elementos propulsores acoplados a esta barra. Por lo tanto, es necesario distribuir la energía de manera que si se a un worst-case single-point failure el buque disponga de la suficiente potencia para mantener la posición. Un ejemplo muy sencillo sería el de un barco que dispone de tres hélices de proa y tres hélices en popa alimentadas de distintos cuadros,

la caída de un cuadro deja intacta al menos la propulsión de una hélice en proa y otra en popa, suficientes para salir del paso.

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

- ***REDUNDANCIA EN GENERACIÓN Y GESTIÓN DE ENERGÍA. PLANTA ELÉCTRICA.***

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

Para operaciones en clase DP3, además debe existir una separación física de los generadores y los cuadros, de modo que un incendio no provoque la incapacidad total. Además, con varios generadores diesel, existe más flexibilidad en la operación día a día. El número de generadores en barras se puede variar para satisfacer las diferentes demandas, redundancia o planes de contingencia existentes.

Aparte de la generación de energía, la distribución también debe cumplir ciertos niveles de redundancia. Para cumplir con la clase DP3 los conmutadores de barras deben estar abiertos, por lo que cada sección de cuadro opera de una manera independiente y evitando así que un fallo, como un cortocircuito, se transfiera por todo el sistema pudiendo llegar a causar un black-out total.

Para operaciones de 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.

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

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

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

- ***REDUNDANCIA EN SENSORES PERIFÉRICOS.***

Equipamiento como MRU y sensores de viento son duplicados en buques clase DP2 y DP3. Estos sensores proveen al DP con información referente al exterior. Normalmente, la pérdida de datos provenientes de sistemas periféricos tiene un impacto menor que la pérdida de sistemas más críticos, incluso considerando a la tripulación en este apartado.

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

El cuadro redundancia/clase queda resumido en la siguiente tabla:

Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones

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

CONCLUSIÓN PERSONAL

Partiendo de mi nula experiencia práctica con sistemas DP, ya que nunca he tenido la oportunidad de interactuar con este tipo de tecnología, se debe tener en cuenta que todas mis observaciones se basan en la información teórica recopilada al respecto para el presente trabajo. Sin embargo este hecho no me impide sacar las siguientes conclusiones, acertadas o no, pero que son las que se deducen desde mi punto de vista.

Podría decirse que el Sistema de Posicionamiento Dinámico no deja de ser un sistema de propulsión de un buque, un sistema de propulsión de tan alta precisión que es capaz de conservar la posición de un buque gracias al control proporcionado por una computadora y supervisión de un oficial formado. Con esto no quiero anular la complejidad del sistema, sino dar a entender que su incorporación en buques como un equipamiento de serie en un futuro se puede considerar como algo bastante probable, teniendo en cuenta que la tecnología con el paso del tiempo además de mejorarse en prestaciones lo hace en costes. Absolutamente todos los buques mercantes utilizan propulsión, y en situaciones de mayor control como puedan ser atraques/desatraques facilitaría enormemente la operativa ganando seguridad y ahorrando tiempo.

No deja de llamarme la atención una frase que he leído, haciendo referencia a la monotonía y aburrimiento de la operativa de este sistema, es la siguiente: “las operaciones DP son 99% aburrimiento y 1% pánico”. Esto me da a entender que en la práctica, al igual que ocurre con otros sistemas controlados por ordenador, el 99% del trabajo se hace en “automático”, dejando un 1% a cargo de la pericia del oficial que este al mando, y que a fin de cuentas será el encargado de solucionar cualquier fallo del sistema. Esto unido al hecho de que la formación requerida para la obtención de la titulación necesaria se realiza en cursos de una semana de duración, al igual que cualquier otro curso de especialización obligatorio, me hace llegar a la conclusión de que la operativa para el personal de guardia no debe ser más compleja que la de cualquier otro tipo software, y que lo realmente importante en cuanto a la formación de la persona encargada de operar el sistema es la resolución de incidencias. Lo cual dependerá como siempre del interés de cada uno en conocer las entrañas y el funcionamiento de su barco.

Posicionamiento Dinámico: Principios, características y operaciones

De este modo concluiré diciendo que me parece un sistema de gran utilidad para el marino y de fácil adaptación en un futuro como equipamiento de serie, y asumiendo que operaciones de alto riesgo para el medio ambiente y las vidas humanas deben tratarse con la máxima responsabilidad, confío en que sea un sistema de uso tan cotidiano como pueda ser la carta electrónica.

BIBLIOGRAFÍA

- The Nautical Institute
- IMO org.
- ICOM Design and Operation
- UIP Posicionamiento Dinámico
- maniobrasdebuques.com
- Técnicas de dragado
- Roll Royce org
- Directrices para la Operación DP IMCA
- www.atmosferis.com
- www.sine.ni.com
- www.marygerencia.com
- Fondear.org
- Estudiomar.org.es
- Nauticaexpo.es
- Teknologueek.com
- Vadebarcos.wordpress.com
- Cibernautica.com
- Agenciasonc.es