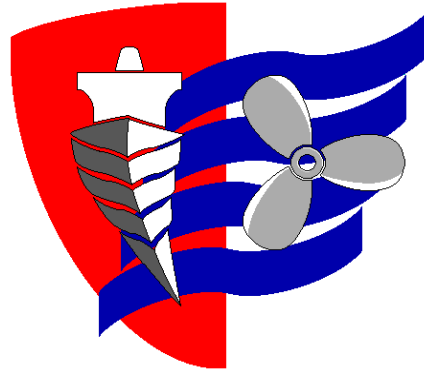


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

**DISEÑO Y PROCESO DE UN FMEA PARA
UN BUQUE OCV CON NOTACIÓN DE
CLASE DP3**

**DESING AND PROCESS FMEA FOR AN OCV
DP3 CLASS**

Para acceder al Título de Máster en

INGENIERÍA MARINA

Autor: José Alberto Amaro Arrojo

Directora: Belén Rio Calonge

Santander Julio – 2015

A mi madre

AGRADECIMIENTOS

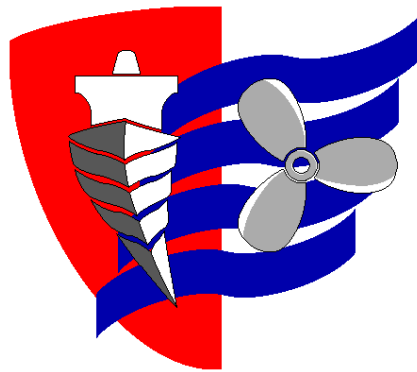
A Carmen por su inestimable ayuda en la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE

1. Planteamiento del problema	6
1.1. Introducción	6
1.1.1. Título	6
1.1.2. Destinatario	6
1.1.3. Justificación.....	6
1.1.4. Resumen, palabras clave y lista de abreviaturas	6
1.1.5. Objetivos del proyecto.....	10
1.1.6. Sistema de codificación del proyecto	10
1.2. Antecedentes	12
1.2.1. Historia Offshore	12
1.2.2. Historia del posicionamiento dinámico	20
1.2.3. Conceptos	23
1.2.4. FMEA: Modo de fallo y análisis de efectos.....	25
1.2.5. Clasificación DP	29
2. Metodología	34
2.1. Concepto del FMEA.....	34
2.2. Documentación necesaria para el FMEA.....	37
2.3. Concepto de redundancia.....	38
2.3.1. La intención de diseño con redundancia y tipos de redundancia funcional	39
2.3.2. Especificación de los subsistemas o grupo de componentes ..	42
2.3.3. Especificación y análisis de las dependencias.....	44
2.4. Concepto de fallo único	46
2.4.1. Ejemplo 1	47
2.4.2. Ejemplo 2	48

2.4.3. Ejemplo 3	48
2.5. Concepto de fallo en el caso más desfavorable	49
2.6. Razones para la separación física	49
2.6.1. Intención del diseño de la separación física	49
2.6.2. Análisis de la separación.....	51
3. Desarrollo	53
3.1. Generalidades	53
3.1.1. Principios básicos.....	53
3.1.2. Precisión	54
3.1.3. Control por ordenador y Monitoreo.....	54
3.1.4. Fuerzas Básicas y movimientos	54
3.1.5. Hélices propulsoras.....	55
3.2. Criterios para fallo único	58
3.3. Fallo en el caso más desfavorable	58
3.4. Descripción del buque	59
3.5. Descripción de los equipos	67
3.6. Procedimientos	118
4. Conclusiones	135
5. Anexos.....	137
5.1. Anexo I.....	137
5.2. Anexo II.....	138
6. Bibliografía.....	142
6.1. Páginas Web	142
6.2. Normativa	142

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 6

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. TÍTULO

Diseño y proceso de un FMEA para un buque OCV con notación de clase DP3.

1.1.2. DESTINATARIO

El destinatario del presente Proyecto es la Escuela Técnica Superior de Náutica de la Universidad de Cantabria, donde se presentará como Trabajo Fin de Máster al objeto de obtener el título de Máster de Ingeniería Marina.

1.1.3. JUSTIFICACIÓN

Debido al creciente desarrollo de sistemas de posicionamiento dinámico en la industria del Offshore es necesario crear unos patrones de construcción y procedimientos para operar las unidades dotadas con dicho sistema. Una de las herramientas utilizadas para este propósito es el FMEA que consiste en la creación de un protocolo de prueba mediante el cual se provocan de una forma segura y en la medida de lo posible fallos en el sistema de posicionamiento dinámico y se estudian los resultados para comprobar que son los esperados. En este trabajo se pretende dar una breve descripción de la evolución de la industria del offshore hasta llegar a nuestros días y exponer un ejemplo de un FMEA en un OCV clase DP3.

1.1.4. RESUMEN, PALABRAS CLAVE Y LISTA DE ABREVIATURAS

En este Trabajo de Fin de Máster se pretende dar una explicación tanto del entorno en el que se creó el concepto de FMEA que consiste en la creación

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 7

de un protocolo de prueba mediante el cual se provocan de una forma segura y en la medida de lo posible fallos en el sistema de posicionamiento dinámico y se estudian los resultados para comprobar que son los esperados como de la metodología y el desarrollo a llevar a cabo para obtener un procedimiento adecuado que nos permita conocer y mantener plenamente operativo un sistema de posicionamiento dinámico. Con ese propósito se realiza un repaso de las pautas a seguir indicadas por las sociedades clasificadoras en lo que concierne a la documentación necesaria y conceptos básicos, para posteriormente realizar un ejemplo del FMEA, tomando como base un barco de construcción con sistema de posicionamiento clase 3 en el que se desarrollan el criterio de fallo único, el caso del fallo más desfavorable o la descripción del buque, para por último establecer unos procedimientos específicos a la hora de realizar el protocolo de prueba para dicho barco.

Llegando de este modo a la conclusión de la necesidad de realizar una prueba de este tipo anualmente y de esta forma asegurar la redundancia del sistema, así como, para dar la oportunidad a la tripulación de conocer el buque en situaciones extremas incrementando su confianza en el barco y mejorando su formación y competitividad.

ABSTRACT

The reason of this study to obtain a Master Degree in Marine Engineering is to give an explanation of both the context in which the concept of FMEA is created which involves the creation of a test protocol by means of causing in a safe manner and to the extent possible failures in dynamic positioning system and the results are studied to ensure they are as expected as the methodology and development to be carried out to obtain a suitable method that allows us to meet and maintain a fully operational dynamic positioning system. For this purpose an overview of guidelines to follow indicated by the classification societies with regard to the necessary documentation and basic concepts are shown to later on create an example of the FMEA based on an offshore construction vessel (OCV) with positioning system Class 3. By means of an explanation of the single failure criterion, the worst-case fault or the

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 8

description of the vessel we can finally establish specific procedures when performing the test protocol developed for this vessel.

Thus reaching the conclusion of the need to perform a test of this type annually to ensure the system redundancy in the system and to provide an opportunity for the crew to meet the ship in extreme situations increasing their confidence in the boat and improving them training and competition.

PALABRAS CLAVE

Positioning dynamic, fault, redundancy, propeller engines, propulsion.

ABREVIATURAS

AP: Automatic positioning.

CPP: Control pitch propeller.

DP: Dynamic positioning.

DPS: Dynamic positioning system.

DYNPOS-AUTRO: Dynamic positioning with a redundant DPS and an independent joystick system back up.

DES: Drilling equipment set.

DGPS: Differential Global Positioning System.

DPVOA: Dynamically Positioned Vessel Owners Association.

DG: Diesel generator.

DPO: Dynamic positioning operator.

ECC: External common cause.

ECR: Engine control room.

ECDIS: Electronic Chart Display & Information System.

FMEA: Failure mode and effect analysis.

GOM: Gulf of Mexico.

HiPAP: High Precision Acoustic Positioning.

ICMS: Integrated Control and Monitoring System.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 9

IAS: Integrated Automation System.

IMCA: International Marine Contractors Association.

MSB: Main switch board.

MTS: Marine technology society.

MTBF: Mean Time between Failure(s).

ODECO: Ocean drilling and Exploration Co.

OCV: Offshore construction vessel.

OMI: International Maritime Organization.

OS: Operating system.

PTI: Power transmission in.

PLC: Power line communications.

PMS: Power management system.

QCV: Quick closing valves.

RP: Redundant Propulsion.

RPM: Revoluciones por minuto.

SF: Single fault.

TCC: Thruster control cabinet.

UPS: Uninterruptible power supply.

VMM: Vessel motion monitor.

VRS: Vertical reference system.

WAAS: Wide Area Augmentation System.

WCF: Worst Case Failure.

WCFDI: Worst case failure Design intention.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 10

1.1.5. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es la creación de un FMEA específico para un buque OCV con notación de clase DP3 con el fin de poder realizar las pruebas pertinentes para asegurar que dicho buque cumple con todas las normativas vigentes en lo que respecta a la clasificación de DP3.

1.1.6. SISTEMA DE CODIFICACIÓN DEL PROYECTO

El objetivo de este apartado es definir el sistema de codificación que se utilizará en el presente proyecto para la codificación de documentos. Esta codificación permitirá una mayor facilidad para el control y seguimiento de la documentación emitida.

El código de documentos queda definido por la siguiente estructura:

Tabla 1. Estructura de la codificación del proyecto.

PROYECTISTA	TIPO DE DOCUMENTO	Nº PROCESO	Nº SUBPROCESO	ORIGEN DOCUMENTO
KKK	LL	NN	X	Z

Tabla 2. Nomenclatura utilizada para la definición de los documentos.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
KKK	Código del proyectista para clasificación de sus trabajos según tabla 3
LL	Identifica el tipo de documento según tabla 4
NN	Identifica el proceso al que pertenece el documento según tabla 5
X	Identifica el subproceso dentro de cada proceso según tabla 5
Z	Indica la procedencia del documento; P: propio; C: común; E: externo

Tabla 3. Identificación de proyectos a realizar por el propio proyectista.

CÓDIGO	PROYECTO INDIVIDUAL
002	El formato de este Trabajo Fin de Máster sigue las pautas del Trabajo fin de Grado cuya codificación fue 001

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 11

Tabla 4. Tipo de documento.

CÓDIGO	TIPO DE DOCUMENTO
10	Planteamiento del problema
20	Metodología
30	Desarrollo
40	Conclusiones
50	Anexos
60	Bibliografía

Tabla 5. Lista de procesos y subprocesos.

CÓDIGO	TIPO DE DOCUMENTO
10	Planteamiento del problema 1.1. Introducción 1.2. Antecedentes
20	Metodología 2.1. Concepto del FMEA 2.2. Documentación necesaria para el FMEA 2.3. Concepto de redundancia 2.4 Concepto de fallo único 2.5. Concepto de fallo en el caso más desfavorable 2.6. Razones para la separación física
30	Desarrollo 3.1.Generalidades 3.2. Criterios para fallo único 3.3. Fallo en el caso más desfavorable 3.4. Descripción del buque 3.5. Descripción de los equipos 3.6. Procedimientos
40	Conclusiones
50	Anexos
60	Bibliografía

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 12

1.2. ANTECEDENTES

En este apartado se comenzará realizando un breve recorrido por la historia del offshore y por el posicionamiento dinámico. Se tratará también de explicar los conceptos necesarios para el desarrollo del trabajo y se clasificará los tipos de posicionamiento dinámico.

1.2.1. HISTORIA OFFSHORE

HISTORIA DE LAS UNIDADES DE PERFORACIÓN MAR ADENTRO

La perforación en búsqueda de petróleo “offshore” se inició en 1897, sólo 38 años después de que el coronel Edwin Drake perforara el primer pozo en 1859. HL Williams se acredita con la perforación de un pozo de un embarcadero de madera en el canal de Santa Bárbara, en California.

Utilizó el muelle al lado de un pozo ya existente para apoyar una perforación de tierra, cinco años más tarde, había 150 pozos "offshore" en la zona. En 1921, se utilizan muelles de acero en Rincón y Elwood (California) para apoyar a los equipos de perforación de tipo tierra. En 1932, fue construida por una pequeña compañía petrolera, Indian Petroleum Corp a ½ milla de la costa una isla de acero de muelle de 18×27 m, para apoyar una prospección en tierra. Aunque los pozos fueron decepcionantes y la plataforma fue destruida en 1940 por una tormenta, fueron los precursores de las plataformas de acero de hoy en día.

VISIÓN DE CONJUNTO

En 1938, se descubrió una zona con petróleo en alta mar cerca de Texas. Posteriormente, en 1941, se perforó un pozo de casi 3000 metros de profundidad en forma similar a los pozos de California mediante el uso de un muelle de madera. Con el inicio de la Segunda Guerra Mundial todas las actividades de perforación mar adentro se detuvieron. Después del final de la Segunda Guerra Mundial en 1945 el estado de Luisiana arrendó sus aguas estatales en alta mar. Este fue seguido en 1955 por el estado de

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 13

California (Ley Cunningham-Shell), lo que permitió la exploración de los fondos marinos en busca de petróleo y gas en la zona.

LA PRIMERA PERFORACIÓN EN AGUA

La primera "perforación en agua", nació en los pantanos de Louisiana a principios de 1930 con el uso de barcazas de poco calado. Estas barcazas eran rectangulares con una ranura estrecha en el extremo de popa de la barcaza para el tubo perforador.

Numerosos canales eran, y siguen siendo, dragados para que los remolcadores puedan movilizar las barcazas de un lugar a otro. Más tarde, los equipos fueron ubicados en una estructura de acero enrejado por encima de la barcaza, que les permite trabajar a mayores profundidades sumergiendo la barcaza en el fondo de la bahía. Estas barcazas normalmente requerían de unos pilotes a su alrededor para evitar que se movieran fuera de su posición por causa de los vientos y las olas. La primera prospección "en alta mar", es decir "fuera de la vista de la tierra," se inició el 9 de septiembre 1947 con la asistencia de una unidad de perforación propiedad de Kerr-McGee a una profundidad de 5 metros en el Golfo de México (GOM). Era una barcaza de la Segunda Guerra Mundial aproximadamente de 80×15 m equipada con los equipos de perforación (DES), que consistía en la torre de perforación, y equipos de elevación situados en una plataforma de madera.

La Breton Rig 20 diseñada por John T. Hayward fue una de las primeras grandes barcazas sumergibles acreditadas que se utilizaron para la perforación de algunos de los primeros pozos en aguas abiertas de Louisiana. La diferencia con la barcaza Kerr-McGee era que todo el equipo de perforación estaba instalado en la barcaza, y podía ser remolcada como una unidad completa.

La unidad, que fue una conversión de una barcaza de perforación interior, tenía dos pontones de estabilidad, uno a cada lado de la barcaza que hidráulicamente desplazaba verticalmente la barcaza dándole la capacidad

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 14

de poder sumergirse para realizar las operaciones. Estos dos pontones eran los que le proporcionaban la estabilidad necesaria para realizar la operación.



Figura 1 Barcaza sumergible Breton Rig 20.

La plataforma Breton 20, más tarde conocida como la Transworld 40, fue un gran paso adelante, ya que eliminaba el coste y el tiempo necesario de construir una plataforma de madera para ubicar todos los equipos de perforación. Por esto podemos decir que la Breton 20 puede ser denominada como la primera unidad móvil de perforación mar adentro.

Las primeras unidades de perforación mar adentro propiamente dicha fue la Mr. Charlie diseñada y construida exprofeso para estas operaciones por Ocean Drilling y Exploration Co. (ODECO) con su inventor y presidente, "Doc" Alden J. Laborde a la cabeza.

La Mr. Charlie era una barcaza sumergible especialmente diseñada para flotar hasta la ubicación, se inundaba la popa para lograr que descansase en el fondo marino y así poder comenzar las operaciones de perforación. El Mr. Charlie podía trabajar a una profundidad de 12 metros y marcó la tendencia de construcción de la mayoría de las unidades de perforación en el Golfo de México (GOM).

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 15



Figura 2 Primera plataforma flotante “Mr. Charlie”.

LA PRIMERA UNIDAD DE PERFORACIÓN CON CONTROL DE POZOS SUBMARINOS

El estado de California dio permisos para la exploración y posterior producción de petróleo y gas exigiendo el control y la capacidad de ejecutar múltiples líneas de extracción. Esto requirió una forma totalmente nueva de ejecución de las operaciones usando una tecnología que aún no estaba probada. La primera plataforma de perforación flotante que utiliza el control de pozo submarino fue la “Western Explore” propiedad de Chevron, que comenzó a perforar su primer pozo en 1955 en el canal de Santa Bárbara. Otros le siguieron rápidamente, todos ellos preocupados por el medio ambiente marino y la tecnología para permitir la perforación con mal tiempo.

Los diseñadores originales no tenían ejemplos o experiencias, por lo que la novedad y la innovación fueron el día a día en aquellos momentos. Fue un momento emocionante y sorprendente, teniendo en cuenta que todo el mundo estaba empezando con una hoja de papel en blanco.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 16

PERFORACIÓN MAR ADENTRO EVOLUCIÓN DEL DISEÑO

Tras el “Mr. Charlie”, apoyada en el fondo marino, y “Western Explore”, flotante, aparecieron otros conceptos de unidades de perforación, en forma de un “jack-up”. Este tipo de unidad flotaba a la ubicación en un casco con múltiples patas que salen bajo el casco. Una vez en el lugar, las patas se operan de forma eléctrica o hidráulica hasta el fondo del océano, por lo que el casco sale fuera del agua. Con este enfoque obtenemos una plataforma estable disponible para perforar; aunque las “Jack-ups” inicialmente fueron diseñadas con seis a ocho patas, además de algunas con cuatro la gran mayoría de las unidades de hoy tienen tres.



Figura 3 Plataforma de perforación flotante Western Explorer.

LA UNIDAD SEMISUMERGIBLE

En 1992 apareció la primera unidad semisumergible la Seahawk. El casco de la semisumergible ofrece comparado con las unidades en forma de barcas una estación de control en la parte superior y movimientos como los de los buques.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 17

EL CRECIMIENTO DE LAS UNIDADES DE PERFORACIÓN MAR ADENTRO

A principios de los 60, Shell Oil vio la necesidad de tener una plataforma de mayores dimensiones para la perforación que fuese flotante y de movimiento libre en las aguas profundas con ambientes tormentosos. Shell se dio cuenta que los sumergibles como el Mr. Charlie, que en ese momento sumaban casi 30 unidades, tenían una mayor libertad de movimiento que los monocascos. La idea era poner anclas en una unidad sumergible y convertir una sumergible a lo que hoy se conoce como un semisumergible o semi. Así, en 1961, el sumergible Bluewater I fue convertido a un semi en medio de un gran secretismo tecnológico.

Luego vino el Ocean Driller, la primera semi construido con ese fin desde el comienzo del diseño. La Ocean Driller, diseñada y propiedad de la ODECO, fue operada por Texaco; la unidad fue diseñada para aproximadamente 90 metros de profundidad. La Ocean Driller también podría asentarse sobre el fondo marino y actuar como un sumergible, lo que hizo durante la década de los 80.

PRIMERA GENERACIÓN DE UNIDADES SEMI

La mayor parte de las unidades de la primera generación podían asentarse en el fondo marino y perforar desde la posición flotante. La forma y tamaño de las primeras semi variaron ampliamente ya que los diseñadores se esforzaron para optimizar las características de este tipo de unidades para adaptarse a las mayores opciones dentro del mercado.

UNIDADES SEMI DE NUEVA GENERACIÓN

A principios de la década de los 70, se diseñó y construyó una semi de segunda generación con equipos más sofisticados. Este diseño en general fue creado para una profundidad de agua de 600 metros.

La clase *Ocean Victory* era el típico modelo de construcción de las unidades de esta época. A finales de 1980 fueron diseñadas y construidas, una serie de semifinales de tercera generación que podrían amarrar y operar a más de 900 metros de profundidad y en entornos más severos. Muchas de las unidades de tercera generación se mejoraron en la década de los 90 a

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 18

aguas aún más profundas con más capacidades y se convirtieron en unidades de cuarta generación. Con algunas excepciones, el desplazamiento de funcionamiento de estas unidades fue de $\approx 18,000$ t en la década de los 70 a más de 40.000 t en la década de los 80.

A finales de 1990, las unidades de la quinta generación, como la plataforma Deepwater Nautilus se hizo aún más grande > 50.000 t de desplazamiento y más capaz. Estas unidades pueden operar en ambientes extremadamente duros y con una profundidad del agua superior a 1500 metros. Un número limitado de tercer, cuarto, quinto y sexta generación tienen posicionamiento dinámico (DP) completo manteniendo para su ubicación un sistema de difusión-amarre.



Figura 4 Plataformas semi –sumergibles de la clase Victoria Ocean Baroness y Ocean Rover.

EL BARCO Y LAS UNIDADES EN FORMA DE BARCAZA

El modus flotante en forma de barcaza, inicialmente atractivo debido a su velocidad de tránsito y facilidad en las movilizaciones, disminuyeron en número cuando semis y Jack-ups se hicieron más populares. Una excepción fue el buque de perforación con DP, que realiza su ubicación sobre el pozo

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 19

mediante el uso de propulsores y de la hélice de propulsión principal en lugar de un sistema de multi amarre.

La primera unidad desarrollada a mediados de la década de los 60, aunque no es una unidad de exploración de petróleo y gas, fue el Glomar Challenger la cual fue diseñada y es propiedad de Global Marine. Este buque confirmó la teoría de cambio de placas continentales.

A continuación del Glomar Challenger a finales de la década de los 60 y principios de los 70 aparecieron una serie de buques de perforación de petróleo y gas de primera generación DP, como el Sedco 445.



Figura 5. DP Rig Sedco 445.

Posteriormente, a mediados de la década de 1970, se desarrollaron las unidades DP de segunda generación, como el *Ben Ocean Lancer*. Los barcos con tecnología DP de finales de 1990 y principios de 2000 pueden funcionar en más de 3000 metros de profundidad y son de dos a tres veces mayores que los barcos DP anteriores, con sistemas de perforación extremadamente complejos.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 20



Figura 6 MV Ben Ocean Lancer.

1.2.2. HISTORIA DEL POSICIONAMIENTO DINÁMICO

El posicionamiento dinámico (DP) ha recorrido un largo camino en los años transcurridos desde su creación desarrollándose junto a la industria petrolera. Hoy en día sus aplicaciones son tan variadas como los buques en los que se encuentre instalados y su tecnología ha encontrado su camino en todos los aspectos de la industria marina. Muchos de los avances en la exploración en aguas profundas lejos de la costa para perforar más profundo en la búsqueda de la energía no serían posibles sin él.

EL PRINCIPIO

En la década de los 50 llegó a su fin la tecnología Jack-up en uso puesto que se necesitaba ampliar los límites de la profundidad del agua en la que eran capaces de perforar por lo que el anclaje se estaba volviendo menos económico. Se necesitaba una nueva solución.

INTRODUCCIÓN EN LOS BUQUES DE PERFORACIÓN

En 1961, el buque de perforación *Cuss 1* (llamado así por el consorcio petrolero Continental, Unión, Shell y Superior) se puso en marcha con 4 hélices orientables. Aunque el buque aún estaba controlado por un operador el buque hacía uso de la tecnología de radar y sonar para determinar la posición. Trabajando dentro de un radio de 180 m el *Cuss 1* fue capaz de

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 21

perforar una serie de pozos para el Proyecto *Mohole*, siendo el más profundo 3500 m.



Figura 7 Cuss 1.

Ese mismo año Shell lanzó el Eureka. Equipado con propulsores de proa y popa, capaces de rotar 360 grados que fue el primer buque realmente con DP.

El hombre lo hizo posible fue Howard Shatto, un ingeniero de la empresa Shell, Shatto fue pionero en la idea de Posicionamiento Dinámico y se mantiene activo trabajando en su regulación a día de hoy.

Aunque el Eureka marcó el comienzo de una nueva era de la tecnología en alta mar que se utiliza principalmente para trabajos de búsqueda de zonas de perforación no fue hasta 1971 cuando Sedco 445 llegó a la escena como el primer buque construido de perforación construido expresamente con posicionamiento dinámico, estaba equipado con un sistema automático de posicionamiento que fue desarrollado de nuevo por Howard Shatto.

LA ERA DE LOS SATÉLITES

En 1980 había alrededor de 65 buques con DP que operaban en la industria offshore. Con la integración de la tecnología de satélite que se utiliza como referencia este número había aumentado a más de 150 en 1985. El GPS y

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 22

sus avances han allanado el camino desde ese momento hasta el presente en el crecimiento de la flota de DP en todo el mundo.

Mientras que los primeros buques equipados con un sistema de referencia por satélite eran principalmente de mantenimiento en posición estática, con el tiempo y la experiencia esta tecnología finalmente se trasladó para incluir movimiento de precisión al buque.

Los avances más recientes en sistemas de posicionamiento por satélite y desde tierra como DGPS o WAAS han reducido el error de posición a menos de medio metro, lo que permite que los barcos puedan llevar a cabo las operaciones de precisión que vemos hoy. Tareas como colocar tuberías se realizan ahora con gran precisión, lo que permite un uso óptimo de los recursos.

REGLAMENTACIÓN DE LA INDUSTRIA

Como el DP se continuó utilizado a través de la década de los 80 y en los años 90 era evidente la necesidad de una regulación debido a la falta de coherencia en la forma en que se gestionaba el control de DP y los problemas asociados. Diversos consultores habían estado trabajando juntos de manera informal a través de la década de los 80 para crear procedimientos para hacer frente a esta nueva forma de manejo del buque y en 1990 se formó la Comunidad de Propietarios de Buques de Posicionamiento Dinámico (DPVOA)

El DPVOA comenzó a recopilar datos de incidentes para desarrollar directrices basadas en esa información. Trabajando en estrecha colaboración con la OMI se creó el Comité de Seguridad Marítima de la Circular 645, estableciendo directrices internacionales para todos los buques DP equipados construidos después de 1 de julio 1984.

En 1995, el DVPOA se fusionó con la Asociación Internacional de Contratistas de Buceo (AODC) para formar la Asociación Marina Internacional de Contratistas (IMCA), que sigue siendo el principal organismo regulador del DP hasta nuestros días. Desde entonces IMCA ha publicado más de 50 documentos de orientación, sobre la base de las lecciones aprendidas y registrados en los últimos años.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 23

EL FUTURO

Mirando hacia el futuro el DP es ya una parte integral de la industria del offshore. Los avances en los sistemas de tecnología y de referencia hacen que los sistemas sean más fiables y aumentan considerablemente el tiempo medio entre fallos (MTBF).

1.2.3. CONCEPTOS

Active redundancy (Redundancia activa). Es aquella redundancia en la que todos los medios para realizar la función requerida tienen la capacidad de operar simultáneamente.

Acceptance criterion/criteria (Criterio / criterios de aceptación). Dichos criterios serán fijados como la máxima consecuencia del fallo. La aceptación del criterio / criterios deben referirse al nivel límite del sistema. A nivel de un solo equipo los requisitos de notación de clase normalmente serán el criterio de aceptación.

Ageing failure, wear out failure (El fallo por desgaste o envejecimiento). Es un fallo cuya probabilidad de ocurrir aumenta con el paso del tiempo, como resultado de los procesos inherentes en el elemento (fallo aleatorio). Un envejecimiento o un fallo aleatorio de un componente o un subsistema se caracteriza por que el fallo puede ocurrir en cualquier momento por lo que no puede determinarse con antelación que se producirá en un plazo determinado.

Benign failure modes (Los modos de fallo benignos). Es un término utilizado para subsistemas en si con un efecto mínimo pero que prolongados en el tiempo conducirían a fallos críticos en otros subsistemas.

Un fallo benigno típico es la pérdida de potencia de salida, mientras que sobretensión será considerado como un fallo no benigno.

Common cause failures (Causa común de fallos). La causa común de un fallo es un fallo de diferentes equipos como resultado de un solo evento, donde estos fallos no son consecuencia unos de otros.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 24

Common mode failures (Modo de fallos comunes). Son fallos de elementos que se caracterizan por el mismo modo de fallo.

Common component group, representa componentes, conexiones físicas y dependencias entre los grupos de componentes redundantes.

Component group (Un grupo de componentes). Es un conjunto específico de componentes o subsistemas dentro de los límites de dicho grupo.

Dependent systematic failures (Fallos sistemáticos dependientes). Las situaciones de fallo inaceptables para los sistemas redundantes están relacionados con fallos en dos o más grupos redundantes, cuando el segundo fallo se está produciendo de manera sistemática dentro del tiempo indicado como aceptable. Las situaciones más críticas se relacionan con la propagación de fallos sistemáticos en las siguientes situaciones:

- Fallo aleatorio propagación sistemática del fallo entre los sistemas dependientes o componentes comunes.
- Fallo sistemático debido a la propagación de una causa común.
- Propagación fallo sistemático debido a la propagación de un fallo ya sea del tipo primario/secundario.

Nota de orientación:

El punto clave es que los sistemas redundantes fallarán dentro del tiempo asignado como inaceptable tal como figura en el criterio de aceptación de la notación de clase aplicada. Por consiguiente, el objetivo del análisis de un fallo único es identificar posibles fallos sistemáticos dependientes que pueden violar el criterio de aceptación indicado para las anotaciones de clase dados ('DP', AP, RP,...)

Failure (Fallo), un fallo es la finalización de la capacidad de un elemento para realizar una función requerida.

NOTA 1: Después del fallo el elemento tiene un defecto.

NOTA 2: "Failure" es un evento, a diferencia de "Fault", que es un estado.

NOTA 3: Este concepto tal y como está definido no se aplica a los elementos que constan de software solamente.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 25

Failure cause (Causa del fallo). Las circunstancias durante el diseño, la fabricación o el uso que han dado lugar a un fallo.

Failure mode (Modo de fallo). Es el efecto por el cual se observa un fallo en el elemento del sistema.

Common Mode Failure, se define como aquel fallo que afecta a más de un sistema.

1.2.4. FMEA: MODO DE FALLO Y ANÁLISIS DE EFECTOS

Un método general de FMEA representa un análisis de abajo hacia arriba de la insuficiencia y efectos sobre el nivel final de cada elemento (límites del sistema). El FMEA genérico, como un proceso de trabajo, se aprovecha de los requerimientos para la redundancia, de los criterios / criterio de aceptación y pruebas del sistema como se requiere en el guía para FMEA de sistemas redundantes.

Fail safe (Aprueba de fallos). Es una propiedad del diseño de un elemento que impide que sus fallos deriven en fallos críticos.

Fail Safe Condition, se define como el estado en el cual un equipo vuelve a un estado seguro para el sistema DP tras un fallo.

Single Fault Tolerance, se define como la capacidad de un sistema de continuar con su función tras un SF, sin interrupciones inaceptables.

Hidden failure (Fallos ocultos). Es un fallo que no es evidente de inmediato para las operaciones y el personal de mantenimiento.

NOTA: El equipo que falla en el cometido de la función "on demand" entra en esta categoría. Es necesario que tales fallos se detecten a través de chequeos rutinarios.

Se debe realizar un monitoreo y pruebas / verificaciones periódicas con el fin de garantizar la disponibilidad suficiente de tales funciones. Funciones de protección, por ejemplo, en centrales eléctricas y cajas de distribución son ejemplos típicos de las funciones de demanda donde se deben considerar los posibles fallos ocultos.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 26

Primary failure (Fallo primario). Es un fallo de un elemento, no causado ya sea directa o indirectamente por un fallo o una falta de otro equipo.

Redundant (Redundancia). La redundancia en un equipo es la existencia de más de un medio para realizar la función requerida. Se define la característica de diseño que le da al sistema la capacidad de seguir llevando a cabo una determinada función tras un SF. Esto puede conseguirse mediante la instalación de múltiples componentes, sistemas o medios alternativos de realizar una misma función.

Redundant component groups (Grupos de componentes redundantes) (subsistemas). Son dos o más grupos de componentes que representan dos o más medios para realizar una función requerida.

Redundancy design intent (Diseño con intención de redundancia). La intención del diseño de redundancia se refiere a grupos de componentes redundantes que constituye el diseño global del sistema para un modo de funcionamiento determinado sistema y la configuración del sistema técnico.

Secondary failure (Fallo secundario). Es un fallo de un elemento, causado ya sea directa o indirectamente por un fallo o una falta de otro elemento (fallo en cascada).

Separation design intent (Diseño con intención de separación). La intención del diseño se refiere a los grupos de los componentes redundantes por separado que constituyen el diseño global del sistema para un modo operacional del sistema y la configuración técnica del mismo.

Simultaneous independent failures (Fallos independientes simultáneos). Una característica común de los sistemas redundantes es que los posibles eventos de fallo se producen estadísticamente de forma aleatoria e independiente. Esto implica que un fallo en el sub-sistema A y otro fallo en el sub-sistema B que ocurren de forma independiente dentro de un período de tiempo aceptable por los requisitos de clase (simultáneo), es aceptable de acuerdo a los requisitos de las notaciones de clase DP, AP y RP donde se requiere redundancia.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 27

Standby redundancy (Redundancia de Standby). Es el tipo de redundancia, en el que una parte de los medios para realizar una función requerida están destinados a funcionar, mientras que la parte restante (s) de los medios son inoperantes hasta que se necesiten.

System boundary (Límites del sistema). Es una línea cerrada imaginaria alrededor de todos los componentes dentro del sistema especificado.

Systematic failure (Fallo sistemático). Es un fallo relacionado de forma determinista a una cierta causa, que sólo puede ser eliminado por una modificación del diseño o del proceso de fabricación, procedimientos operativos, documentación u otros factores relevantes. Un mantenimiento correctivo sin modificaciones por lo general no eliminará la causa del fallo. Un fallo sistemático puede ser inducido a voluntad mediante la simulación de la causa del fallo.

Technical system configuration (Configuración del sistema técnico). La configuración del sistema técnico incluye todos los modos técnicos (y combinaciones de los modos) de todos los sistemas que pueden influir en la tolerancia de la redundancia y fallo de la unidad.

No se limita, por ejemplo, los modos del sistema de control, la planta de energía y configuración de las hélices, panel de conmutación (AC y DC) de configuración y distribución, instalación de sistemas auxiliares, válvulas, interruptores, bombas,...).

La configuración del sistema técnico es un requisito previo para el establecimiento de las bases para un FMEA, y debe especificarse para todas las configuraciones pertinentes. Un ejemplo podría ser que un buque que tiene diferentes configuraciones del sistema técnico para diferentes modos de funcionamiento, otro ejemplo, es el caso de un buque con la notación DYNPOS-AUTRO (DP 3) en el que se pretende también tener un modo basado en criterios de aceptación DYNPOS-AUTR (DP2), ambos modos deberán ser indicados, especificados, analizados y probados en el FMEA.

Time requirement (Requerimientos de tiempo). Es la mínima duración de tiempo requerida para el que la capacidad restante residual tal y como está

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 28

definida por el caso del peor fallo para el que el sistema está diseñado estará disponible.

El requisito de tiempo normalmente se rige por el tiempo máximo necesario para concluir sin peligro la operación que se esté realizando después del peor de los casos de fallo único, proporcionando la capacidad residual restante. Se deberán tener en cuenta al decidir los requisitos de tiempo todos los escenarios operacionales pertinentes que el buque lleve a cabo y / o participe. Esta vez los requerimientos deberán estar totalmente cubiertos por el diseño del sistema y la forma en que el buque se configura técnicamente (configuración del sistema técnico) y es operado.

Unit (Unidad). Es el sistema físico completo (por ejemplo buque) en el que el sistema redundante (por ejemplo, sistema de DP) que será analizado está incluido.

Vessel operational mode(s) ((Modo(s) operacional(es) del barco). El modo operacional del buque especifica la configuración más complicada del sistema y la intención de diseño de redundancia para un conjunto determinado de operaciones de los buques. Ejemplos de operaciones de los buques son mantenimiento de posicionamiento, capear el temporal, maniobras, el dragado o el apoyo a buceadores.

El FMEA debe, como mínimo, especificar el modo de funcionamiento de un buque. En caso de que esté definido más de un modo, se debe especificar cada uno de los modos. Se entiende que las operaciones de los buques en este contexto es un término común que comprende operaciones de los buques, los modos del sistema de control, funciones industriales, etc.

Worst case failure design intent (La intención del diseño del caso del peor fallo). Nos referimos a la mínima capacidad restante después de cualquier fallo único relevante o causa común (para un modo de funcionamiento determinado).

Worst Case Failure (WCF), traducido como “Peor caso de fallo”, se define como el fallo en el sistema DP que resulte en la máxima pérdida de capacidad del sistema.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 29

Zone (Zona), es un espacio cerrado con protección contra los incendios y las inundaciones.

Physical Separation (Separación física). En referencia a los buques DP-3, se define como una separación estanca y a prueba de incendios según los criterios aplicables a las embarcaciones DP-3.

Industrial Mission (Misión industrial). Se define como el objetivo para el cual ha sido diseñado y construido un determinado buque.

Active Component (componente activo). Son generadores, propulsores, cuadros de distribución, sensores, válvulas accionadas por control remoto, etc.

1.2.5. CLASIFICACIÓN DP

Una vez explicados los conceptos básicos y principales de los sistemas DP, se definirá a continuación las distintas clases de sistemas DPS (Dynamic positioning system) existentes. La IMO, en su circular MSC/Cir.645 “*Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems*” define cuatro niveles o Clases de equipos DP, a saber, DPS-0, DPS-1, DPS-2 y DPS-3. La principal diferencia existente entre las Clases son los niveles de redundancia y capacidad para mantener la posición exigible a cada una de ellas. Las cuatro Clases de equipos DP son:

- DPS-0 (DYNPOS-AUTS): Está en el límite para poder considerarse un sistema DP. Un buque equipado con este sistema debe ser capaz de mantener de manera automática el rumbo y permitir un control manual de la posición.
- DPS-1 (DYNPOS AUTO): Es el sistema de posicionamiento dinámico más básico. Un buque equipado con este sistema debe ser capaz de mantener de manera automática la posición y el rumbo bajo unas determinadas condiciones ambientales máximas, además de estar equipado con un control de posición manual.
- DPS-2 (DYNPOS AUTR): Este sistema de posicionamiento dinámico debe permitir al buque mantener de manera automática la posición y

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 30

el rumbo bajo unas determinadas condiciones ambientales máximas durante y tras un *Single Fault* que no incluya la pérdida total de un compartimento por inundación o incendio.

- DPS-3 (DYNPOS AUTRO): Este sistema de posicionamiento es el de mayor nivel de fiabilidad. Un buque equipado con este sistema debe ser capaz de mantener de manera automática la posición y el rumbo bajo unas determinadas condiciones ambientales máximas durante y tras un *Single Fault*, incluyendo la pérdida total de un compartimento por inundación o incendio.

Además, existen algunas Clases o subclases que son reconocidas por otras sociedades de clasificación. La Germanischer Lloyd reconoce, a parte de las anteriores, las siguientes:

- DPS-3 (DPS-2): Esta Clase se aplica a los buques que cuentan con distintas configuraciones dentro de su equipo de posicionamiento dinámico, de manera que puede cumplir las especificaciones obligatorias para un equipo DPS-2 o para un equipo DPS-3.
- DPS-2 ICE: Clasificados dentro de esta Clase se encuentran los equipos que cumplen con los niveles de redundancia y *Single Fault Tolerance* de un equipo DPS-2, pero que además se encuentran preparados para trabajar en condiciones adversas de hielo y nieve.
- DPS-3 ICE: Clasificados dentro de esta Clase se encuentran los equipos que cumplen con los niveles de redundancia y *Single Fault Tolerance* de un equipo DPS-3, pero que además se encuentran preparados para trabajar en condiciones adversas de hielo y nieve.

La elección de la Clase que debe ser utilizada en una determinada situación es acordada entre el armador y el cliente en función de la operación que se va a realizar. El criterio creado por el *Norwegian Maritime Directorate* (NMD), en la publicación *NMD Guidelines and Notes No.28*, distingue cuatro posibles operaciones:

- Operaciones de clase 0: Son aquellas en las que una pérdida de capacidad para mantener la posición no crea peligro de pérdida de

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-10.1.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 31

vidas humanas ni de daños materiales. En estas situaciones se recomiendan equipos DPS-1 o los denominados DPS-0.

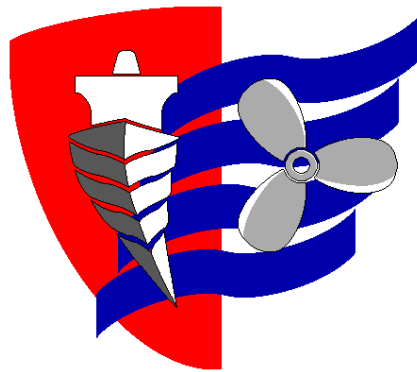
- Operaciones de clase 1: Son aquellas en las que una pérdida de capacidad para mantener la posición puede derivar en daños medioambientales de pequeñas consecuencias. En estas situaciones se recomienda como mínimo buques equipados con DPS-1.
- Operaciones de clase 2: Son aquellas en las que una pérdida de capacidad para mantener la posición puede causar daños personales, contaminación o daños de considerable coste económico. En estas situaciones se recomienda como mínimo buques equipados con DPS-2.
- Operaciones de clase 3: Son aquellas en las que una pérdida de capacidad para mantener la posición puede causar accidentes fatales, con enorme costo económico y de vidas humanas. En estas situaciones se recomienda buques equipados con DPS-3.

A continuación se muestra una tabla en la que se pueden ver las correlaciones entre las clasificaciones realizadas por las diferentes sociedades clasificadoras:

Tabla 6 Notación de clase de las diferentes sociedades clasificadoras.

IMO equipme nt class	BV	DNV	ABS	GL	LR	NK	RINA	RS	IRS	CCS	NMD	KR
	Bureau Veritas	Det Norske Veritas	American Bureau of Shipping	Germanische r Lloyd	Lloyds Register of Shipping	Nippon Kaiji Kyokai	Registro Italiano Navale	Russian Register of Shipping	Indian Register of Shipping	China Classification Society	Norwegian Maritime Directorate	Register of Shipping (Korea)
	DYNAPOS SAM	DYNAPOS AUTS	DPS-0		DP (CM)		DYNAPOS SAM				DPS 0	
Class 1	DYNAPOS AM/AT	DYNAPOS AUT	DPS-1	DP 1	DP (AM)	Class A DP	DYNAPOS AM/AT	DYNPOS- 1	DP-1	DP-1	DPS 1	DPS (1)
Class 2	DYNAPOS AM/AT R	DYNAPOS AUTR	DPS-2	DP 2	DP (AA)	Class B DP	DYNAPOS AM/AT R	DYNPOS- 2	DP-2	DP-2	DPS 2	DPS (2)
Class 3	DYNAPOS AM/AT RS	DYNAPOS AUTRO	DPS-3	DP 3	DP (AAA)	Class C DP	DYNAPOS AM/AT RS	DYNPOS- 3	DP-3	DP-3	DPS 3	DPS (3)

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



METODOLOGÍA

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-20.2.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 34

2. METODOLOGÍA

2.1. CONCEPTO DEL FMEA

En el siguiente apartado se abordarán las aplicaciones, objetivos y contenido de un FMEA para sistemas redundantes.

Los requisitos de esta directriz se aplicarán al modo de fallo y análisis de efectos (FMEA) de sistemas redundantes. Anotaciones de clase como DYNPOS-AUTR, DYNPOS-AUTRO, DPS 2, 3 DPS, DYNPOS-ER, PR, RPS, AP-2, AP-3 requieren redundancia. Se requiere un FMEA específico de redundancia del sistema para cada una de las anotaciones como parte de la verificación.

El objetivo del modo de fallo y análisis de efectos de sistemas redundantes en una unidad especificada (U) es proporcionar evidencia objetiva de la redundancia necesaria y su tolerancia a los fallos.

Con el fin de dar al lector una introducción al buque sujeto a la FMEA y el proyecto en general, el informe del FMEA debe comenzar con información completa del buque que normalmente incluye: datos principales, astillero, número del astillero, propietario, nombre del buque e identificación, tipo de embarcación, operación prevista, anotaciones de clase, proveedores del equipamiento principal, proveedores del FMEA y otra información relevante.

Para ser válida, el FMEA, el programa de pruebas, y el informe del ensayo deben de mantenerse actualizados y ser mejorados en caso de alteraciones del sistema durante todo el periodo operacional del buque.

En caso de alteraciones que se debe evaluar si:

- Se requiere un FMEA adicional
- Si el programa de prueba debe ser actualizado
- Si se requieren nuevas pruebas de funcionamiento y / o pruebas de fallo
- Si es necesario actualizar otras partes de la documentación

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-20.2.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 35

Los requisitos para mantener los documentos FMEA actualizados durante la fase de explotación, variará entre los diferentes anotaciones de clase (por ejemplo DYNPOS-AUTR, DPS 2, RP, AP).

El FMEA indicará todos los modos de funcionamiento de los buques a los que se pretende dar validez (mínimo un modo). Se deberá describir la configuración del sistema técnico para cada uno de estos modos de funcionamiento de los buques incluyendo además las condiciones indispensables para lograr la tolerancia a fallos y redundancia requerida.

El modo de funcionamiento del buque especifica las operaciones de configuración del sistema más alto, la idea de los diseños de redundancia y el funcionamiento en operación de los barcos.

Ejemplos de modos de funcionamiento en operación de los barcos son el mantenimiento de la posición, capeo del temporal, maniobras o el dragado. Se entiende que las operaciones de los buques en este contexto se comprenden en un término común las operaciones de los buques o los diferentes modos del sistema de control.

La configuración del sistema técnico es un requisito previo para el establecimiento de las bases para un FMEA, y debe especificarse para todas las configuraciones pertinentes. Un ejemplo podría ser que un buque tiene diferentes configuraciones del sistema técnico para diferentes modos de funcionamiento del buque. Otro ejemplo podría ser que en el caso de un buque con la notación DYNPOS-AUTRO (DP3) se pretende tener también un modo basado en criterios de aceptación DYNPOS-AUTR (DP2) ambos modos se indicarán, especificados, analizados y probados en el FMEA.

La configuración del sistema técnico incluye todos los modos técnicos (y combinaciones de los modos) de todos los sistemas que puede influir en la tolerancia a la redundancia y fallo de la unidad. Esto incluirá típicamente pero no se limita, por ejemplo, los modos del sistema de control, la central eléctrica y de configuración del rumbo, la configuración del cuadro principal (AC y DC) y la configuración de la distribución, instalación auxiliar de sistemas, válvulas, interruptores, bombas,...).

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-20.2.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 36

Todos los modos de operación y las configuraciones del sistema técnico que serán probados en el FMEA tendrán que ser analizados y verificados poniéndose a prueba mediante un testeado en la medida de lo posible.

Un análisis de modo de fallo y efectos (FMEA) de los sistemas redundantes deberán como mínimo constar de la las siguientes partes:

- Información general buque
- Especificación de los criterios de aceptación
- Especificación de los limites generales del sistema de la unidad (U) que han de someterse al FMEA
- La intención del diseño de redundancia (s), la intención del diseño del peor caso posible, los requisitos de tiempo, y todos los modos de operación del buque
- Especificación de todos los componentes redundantes (por ejemplo A, B) y los grupos de un solo componente incluido dentro del límite general del sistema. Los nombres relevantes del sistema, las unidades principales, compartimentos (en su caso), y sus principales funciones previstas deberán ser presentados de manera estructurada, con el apoyo de un descriptivo texto narrativo.
- Especificación de todos los supuestos relacionados con interfaces y dependencias de los sistemas externos de sistemas.
- Un solo fallo y análisis de la causa común de la unidad (U) y los niveles de subsistemas (A, B).
- En su caso, intención del diseño de separación y la descripción de la instalación de los componentes redundantes del grupo en caso de fuego y los compartimentos protegidos en caso de inundación. Esto también incluye cables y líneas de comunicación, y equipos asociados.
- Un programa de pruebas especificando las pruebas a llevar a cabo para verificar las hipótesis y conclusiones.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-20.2.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 37

En resumen:

- Las conclusiones se harán constar al final de la sección específica para cada subsistema analizado.
- Se realizará un resumen general para todo el sistema, sobre los principales resultados de los subsistemas más críticos.
- Deberá figurar en el FMEA una declaración de cumplimiento en lo que se refiere a los límites del sistema en general, los modos de funcionamiento, pruebas y aceptación criterio que incluye los requisitos de tiempo.

En general un FMEA de sistemas no redundantes individuales normalmente requerirá un desglose completo de todas las partes de los sistemas obteniendo así un listado de posibles modos de fallo con el potencial a afectar a la función del sistema.

2.2. DOCUMENTACIÓN NECESARIA PARA EL FMEA

La documentación necesaria para un FMEA esta enumerada en la siguiente tabla.

Tabla 7 Documentación necesaria para un FMEA

Tipo de documento	Documentación necesaria
Modos de fallo y análisis de los efectos	1) Introducción al FMEA - Límites del sistema y grupos de componentes redundantes - Criterio / criterios de aceptación 2) Resumen y conclusiones 3) La intención del diseño de redundancia y los modos de funcionamiento 4) Análisis de propagación del fallo único 5) FMEA de la unidad y FMEA de los subsistemas 6) Definición de la intención del diseño Separación y verificación de las separación 7) Declaración de requisitos a cumplir 8) Referencias
Procedimiento para el	9) El procedimiento de ensayo de cada actividad de prueba o inspección se designará mediante

TRABAJO FIN DE MÁSTER		REF: 002-20.2.2	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA		FECHA: 11/06/2015	
		REV: 0	PÁG. 38

testeo del FMEA	- Propósito de la prueba y referencia para el análisis - Configuración de la prueba - Método de ensayo - Resultados esperados y criterios de aceptación - Observación de los resultados de la prueba - Espacio para notas y conclusiones
Informe del FMEA	Se compilará en el informe de FMEA el FMEA actualizado y los registros de las pruebas el conjunto de los hallazgos, conclusiones y resumen de la prueba

2.3. CONCEPTO DE REDUNDANCIA

El objetivo de la intención del diseño con redundancia es especificar la redundancia, es decir, para describir detalladamente la distribución de sistemas y componentes en grupos redundantes. Deberán describirse todas las dependencias de alto nivel y las intersecciones entre estos grupos. También se especificará el funcionamiento normal previsto y funcionamiento después de fallos individuales relevantes (normalmente un fallo de cada vez).

Los grupos de componentes redundantes (por ejemplo, A y B) en una unidad (U) pueden o no tener intersección, tener algunos componentes comunes, o estar relacionados por componentes de conexión (por ejemplo, X).

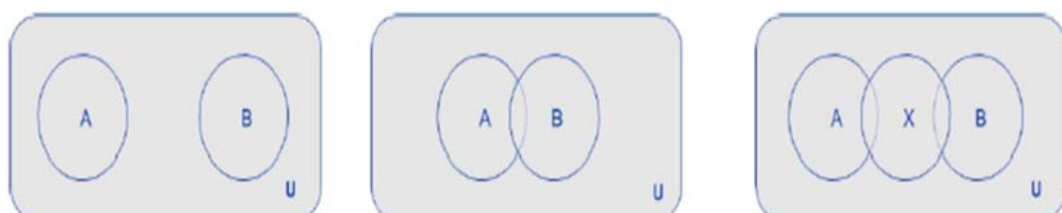


Figura 8 El concepto general de los sistemas redundantes y grupos de componentes.

La redundancia dentro del límite de unidad significa que hay más de un medio para realizar una función requerida. La intención del diseño con

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-20.2.3
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 39

redundancia por medio de grupos de componentes debe especificar en el FMEA para sistemas redundantes la forma en que las partes redundantes están organizadas y estar documentando.

Se precisará la intención del diseño con redundancia para un grupo de componentes redundantes (AB), y cómo se conectan los componentes de los grupos A y B. Hay básicamente tres situaciones en las cuales los sistemas redundantes o grupo de componentes pueden ser organizados y descritos:

- i) En primer lugar los componentes no pertenece ni a A y ni a B.
- ii) En segundo lugar algunos componentes comunes tanto pertenece a A y B (intersección entre A y B). Por ejemplo partes pasivas comunes en el sistema de agua de refrigeración).
- iii) En la tercera situación ningún componente pertenece tanto a A o B. Sin embargo, A y B están conectados por los componentes en un grupo X, componente común

2.3.1. LA INTENCIÓN DE DISEÑO CON REDUNDANCIA Y TIPOS DE REDUNDANCIA FUNCIONAL

La intención de diseño con redundancia se especificará en primer lugar para el conjunto principal de los sistemas (por ejemplo, como propulsores y hélices). Los subsistemas necesarios para el funcionamiento de los propulsores, tales como maquinaria, generación de energía, fuente de alimentación y sistemas de control deberán ser aclarados para todos los modos de funcionamiento.

Se deberá indicar la capacidad de todas las opciones de redundancia para pasar a un modo sin fallo. Se deberá describir con figuras, tablas, diagramas de bloques y con texto explicativo todas las funcionalidades de función sin fallo o la función de cambio de sistema entre sistemas redundantes.

Se deberán indicar los modos de operación y el cambio de sistema o la opción de seguridad en caso de fallo en el sistema redundante, así como el

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-20.2.3
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 40

tipo de función de redundancia (por ejemplo, activa o pasiva que incluye un tiempo de conmutación tiempo límite / restauración).

Ejemplos de tipos de redundancia:

- Redundancia activa
- Redundancia pasiva (redundancia en espera (stand-by caliente o frío))
- Redundancia con carga de forma parcial
- Cambio en la redundancia

Todos los grupos redundantes deberán documentarse para poder operar como se especifica en la intención de diseño con redundancia incluyendo el tipo de redundancia, y de acuerdo con los criterios de aceptación establecidos.

- 1) Ejemplo de cómo ilustrar la intención de diseño con redundancia relacionado con un barco con un sistema de propulsión principal y otro alternativo como es requerido por la notación clase adicional AP-2.

Tabla 8 Descripción del diseño de AP-2 Ejemplo 1.

Intención de diseño con redundancia	Subsistemas /grupos de componentes	Tipo/descripción de la funcionalidad de redundancia
Requerimientos para la operación en condiciones normales	P1A	P1A funcionando P2B parado. Redundancia pasiva
Operacionalidad pretendida después de un solo fallo	P2B	Posibilidad de embragar P2B en 5 minutos



Figura 9 Propulsión con notación de clase AP-2.

Los criterios para aceptar esta configuración deben estar relacionados con un nivel de referencia específico tal como se indica anteriormente para la notación de clase AP-2 en el cual será posible embragar el sistema de propulsión alternativa dentro de un máximo de 5 minutos después del fallo en el sistema de propulsión principal (será posible realizar dicha operación desde del puente).

2) Ejemplo de una configuración con 4 hélices y sistema DP

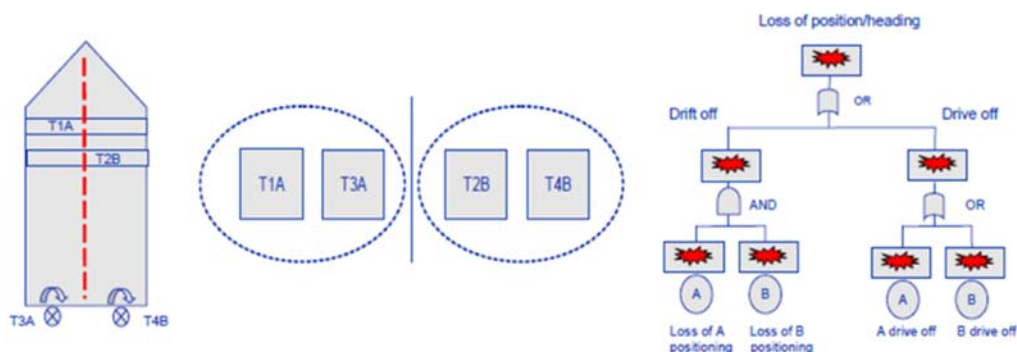


Figura 10 Configuración con 4 hélices y sistema DP.

La disposición de los grupos propulsores redundantes se indica en la figura a la izquierda y en el centro. La no pérdida de posicionamiento se ilustra con un árbol de fallos y se divide en evitar la pérdida de posición por deriva y la pérdida de posición por desconexión de una hélice.

La forma de cómo ilustrar la intención de diseño con redundancia de este sistema sería la siguiente:

Tabla 9 Descripción del diseño de DP ejemplo 2.

Intención de diseño con redundancia	Subsistemas /grupos de componentes	Tipo/descripción de la funcionalidad de redundancia
Requerimientos para la operación en condiciones normales	El posicionamiento e basará en el posicionamiento con los grupos propulsores(T1AT3A) y (T2B,T4B)	Redundancia activa
Operacionalidad pretendida después de un solo fallo	La operación de posicionamiento estará basado en el grupo propulsor (T1Ay T3A) o T2B,T4B) Un fallo único no debe de originar una pérdida de posición por el desconexión de ninguna de las hélices T1A,T3A,T2B,T4B	

2.3.2. ESPECIFICACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS O GRUPO DE COMPONENTES

Un grupo de componentes o un subsistema es un conjunto de componentes específicos dentro de un grupo previamente delimitado. Todos los grupos de componentes se marcan mediante identificadores únicos que indican el tipo grupo de componentes, el tipo de equipo, y la función (es) dentro del grupo.

Todos los sistemas redundantes deberán especificarse por medio de un conjunto de grupos de componentes. La intención de diseño deberá indicar claramente todos los grupos de componentes redundantes donde la redundancia funcional del sistema es el medio para lograr los criterios de aceptación requeridos.

La intención de diseño con redundancia se puede expresar por grupos redundantes presentados en los diagramas o tablas (denominándose los grupos con nombres específicos, por ejemplo, generador diésel de estribor DG3, generador diésel de babor DG1). Puede ser conveniente incluir varios componentes en un grupo de componentes con el fin de mantener el número de grupos redundantes reducido al menor número posible.

Ejemplo:

Grupo de componentes redundantes DG1 consiste en:

- Motor diésel (número de identificación)
- Generador (número de etiqueta específica)
- Breaker del generador
- Etc...

Los componentes que conectan grupos de componentes redundantes o son comunes para grupos de componentes redundantes deberán especificarse como:

- Grupos de componentes comunes, o
- Grupos necesarios (dependientes) para el funcionamiento de los grupos redundantes.

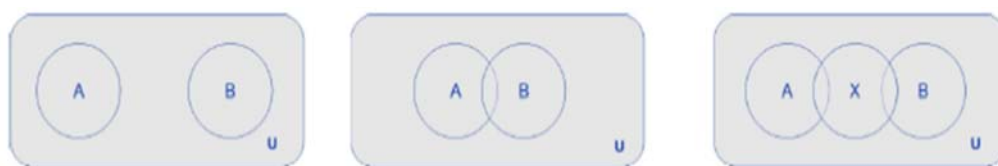


Figura 11 Concepto general de sistemas redundantes y grupos de componente.

Las conexiones entre los grupos redundantes deberán identificarse y ser representadas como grupos de componentes transversales (por ejemplo, denominados como grupo X) o componentes comunes tal y como se muestra en la figura 11. La intención con los grupos X es la de representar los componentes o instalaciones, que puedan mostrar todos los tipos de efectos de propagación de fallos de un grupo de redundancia a su correspondiente grupo redundante (Ejemplo: El cuadro principal en el lado A se denomina como MSBA y el lado B se denomina como MSBB. Un enlace de barra entre los dos lados de centralitas podrían denominarse como MSBX).

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-20.2.3
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 44

Ejemplos de componentes de grupo X son los cruces de la línea de combustible, las conexiones del agua de refrigeración o los módulos de software comunes.

Todos los grupos redundantes y de componentes comunes deben de ser identificados y estructurados por medio de tablas, descripciones lógicas, dibujos o diagramas que cubrirán la descripción de los componentes de los sistemas redundantes.

2.3.3. ESPECIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS DEPENDENCIAS

Todas las dependencias de los subsistemas o componentes deberán ser identificadas y documentadas de manera estructurada por medio de tablas, descripciones lógicas, dibujos o diagramas o por medios equivalentes. Esta realización del plano esquemático del sistema se llevará a cabo tanto para dependencias dentro de los grupos de redundancia como entre los grupos de redundancia.

La redundancia se puede documentar ayudado por un sistema de numeración de etiquetas, donde una parte del sistema redundante sea claramente distinguible de la otra parte redundante.

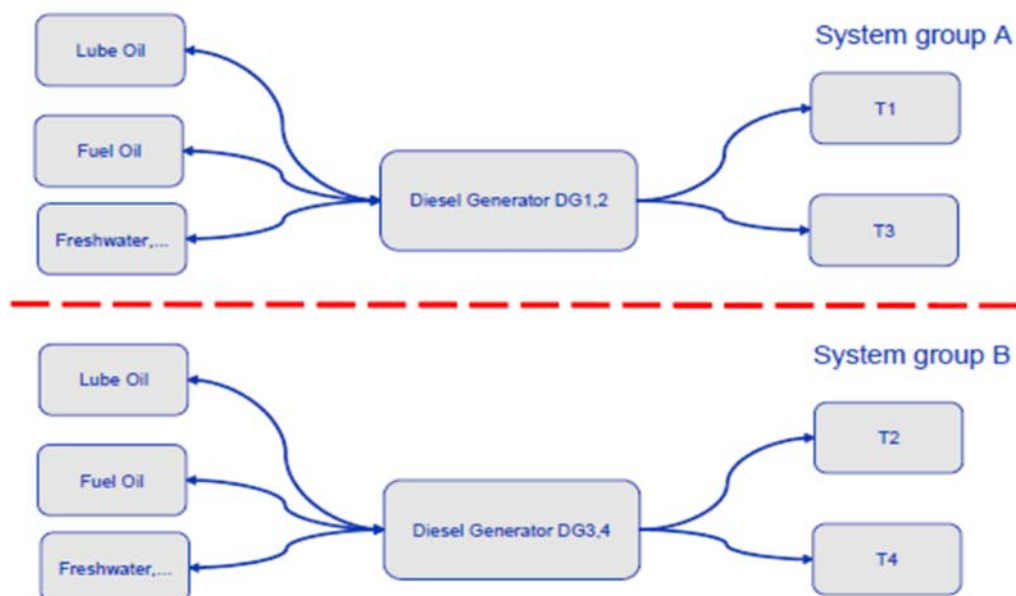


Figura 12 Diagrama de las dependencias de hélices de un sistema de DP y el sistema de DP.

Ejemplo para un sistema de propulsión alternativo de notación de clase AP-2

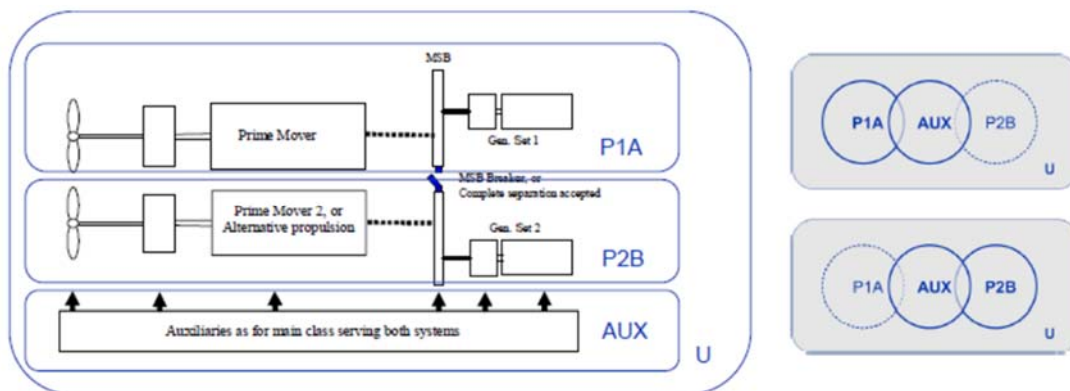


Figura 13 Propulsión con notación de clase AP-2.

Tabla 10 Descripción del diseño de AP-2.

Intención de diseño con redundancia	Subsistemas /grupos de componentes	Tipo/descripción de la funcionalidad de redundancia
Requerimientos para la operación en condiciones normales	P1A	P1A funcionando P2B parado. Redundancia pasiva
Operacionalidad pretendida después de un solo fallo	P2B	Posibilidad de embragar P2B en 5 minutos

Estados de dependencia:

A) Dependencia modo de funcionamiento normal: depende de P1A {MV1A, GenSet1, MSB1, Primer Mover 1, Propulsor 1, AUX...}

B) Dependencia en el modo de funcionamiento de fallo: depende de P2B
 {MV2B, GenSet2, MSB2, Primer Mover 2, Propulsor2, AUX,...}

2.4. CONCEPTO DE FALLO ÚNICO

El objetivo de este apartado es dar pautas para una comprensión de la complejidad subyacente en la propagación fallo en los sistemas redundantes. Esto se ilustra mediante algunos ejemplos que se dan a continuación. La intención es aclarar el razonamiento analítico subyacente que debe formar la base para el análisis de la propagación de fallo único en sistemas redundantes y dar ejemplos de las interpretaciones y uso de la terminología (por ejemplo, fallo primario-secundario común componente, causa común,...).

La abstracción simplificada como la mostrada en la figura 14 (modelo UAXB) da los ejemplos básicos de propagación del fallo donde un componente común X causa fallo en A y B , pero el modelo no debe entenderse de una forma estricta.

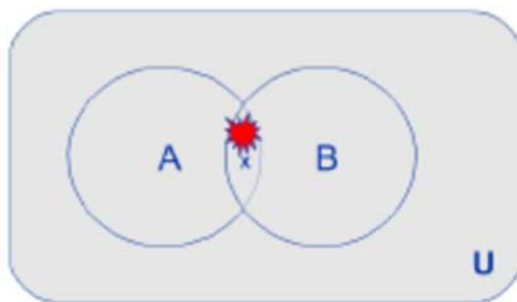


Figura 14 Representación simplificada de modelo de propagación de fallo.

En general, la base para un FMEA es que se deben considerar todos los fallos relevantes y por tanto no será aceptable solo considerar los fallos benignos. Sin embargo, debemos tener en cuenta que, en una práctica real en un entorno industrial, puede que no sea posible incluir todos los modos de fallo y los mecanismos que producen fallos en un FMEA.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-20.2.4
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 47

En el caso de que la lista de los modos de fallo no sea exhaustiva, se deberá dar una justificación en nuestro informe. Por supuesto bajo ninguna circunstancia el análisis debe limitarse a un ámbito de aplicación menor que el requerido o a normas normalmente aplicables (por ejemplo, IMCA y normas MTS).

La idea principal con respecto a los fallos en los sistemas redundantes es aclarar que ningún fallo único o una sola causa del fallo pueden afectar a los sistemas redundantes como se define en la intención del diseño con redundancia.

Hay básicamente tres efectos que puede dar lugar a fallos simultáneos no aceptables en los sistemas redundantes.

- 1) Un fallo de un grupo de componentes o de un subsistema en el que ambos sistemas redundantes sean dependientes o que ambos sistemas tengan componentes comunes, de modo que un fallo afectará a ambos sistemas redundantes (por ejemplo, sistema de refrigeración común).
- 2) Un fallo de causa común que afecta a los sistemas redundantes (por ejemplo, inundación, fuego, fallo en la recepción de los satélites GPS o movimientos extremos de la embarcación).
- 3) Un fallo primario en uno de los sistemas redundantes que se propague a los otros sistemas redundantes (por ejemplo, cortocircuito).

2.4.1. EJEMPLO 1

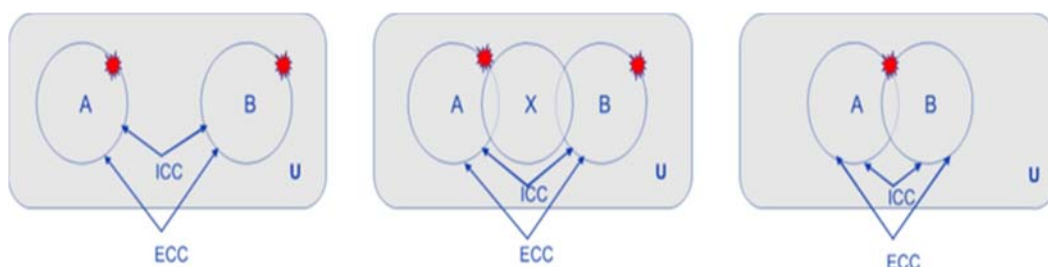


Figura 15 Representación esquemática de propagación de un fallo.

En el diagrama anterior tenemos un fallo de causa común, como resultado de un solo evento relacionado con la U, ya sea como una causa común externa (ECC) o una causa común interna (CPI). (Ej. Fuego e inundaciones, gas en las tomas de aire, medio ambiental, las vibraciones, mala mar que afectan a la contaminación en los tanques de combustible, humedad, etc.....).

2.4.2. EJEMPLO 2

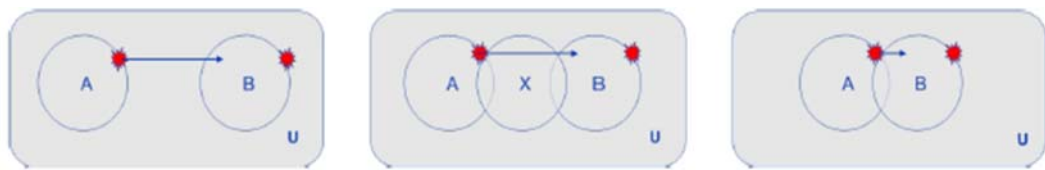


Figura 16 Propagación de un fallo primario entre subsistemas.

En este caso podemos observar como un fallo primario en el subsistema A se propaga a un fallo secundario en el subsistema B (por ejemplo, encendido, fuego, calor, vibración).

2.4.3. EJEMPLO 3

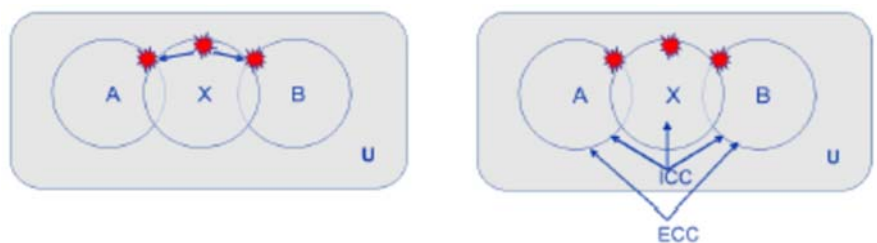


Figura 17 Propagación de fallo.

El fallo primario en X se propaga a A y B y esto nos conduce a fallos secundarios en A y B. La propagación del fallo desde X también puede ser descrito como una causa común para los fallos en A y B (figura de la

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-20.2.4
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 49

izquierda). En la figura de la derecha la causa común conduce directamente a fallos en A, X, y B

2.5. CONCEPTO DE FALLO EN EL CASO MÁS DESFAVORABLE

El concepto de diseño del caso más desfavorable (WCFDI) es la base del diseño de los buques de DP. El fallo en el caso más desfavorable es el que tiene el mayor efecto sobre la capacidad de mantenimiento de la posición, lo que puede causar una reducción del rendimiento del sistema de posicionamiento. Un diseño de buques DP exitoso es aquel donde el WCF alcanzado es menor o igual a la WCFDI.

Este caso es particular para cada embarcación y es algo que deberá definirse en cada caso en función de los fallos que se vayan a probar en el FMEA.

2.6. RAZONES PARA LA SEPARACIÓN FÍSICA

2.6.1. INTENCIÓN DEL DISEÑO DE LA SEPARACIÓN FÍSICA

Para realizar un FMEA de los sistemas redundantes que requieren una separación física (normalmente para prevenir la propagación de los incendios y las inundaciones), la intención del diseño de sistemas redundantes en zonas separadas deberá ser descrita pormenorizadamente por medio de dibujos del diseño, listas de equipos, figuras, tablas, y con el apoyo de un texto narrativo descriptivo.

La intención de separación deberá especificar cómo están localizados todos los grupos de componentes en zonas separadas con protección contra incendios y las inundaciones. Todas las zonas se identificarán mediante identificaciones únicas, además de la identificación de los grupos de componentes situados dentro de las zonas.

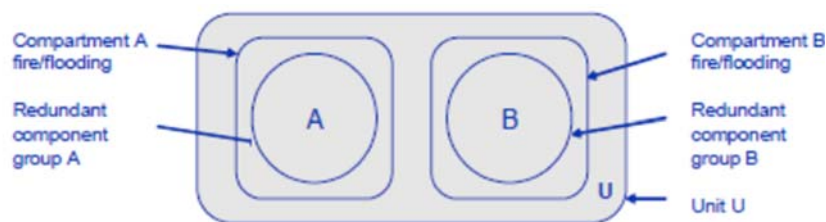


Figura 18 Representación de los grupos de componentes separados físicamente.

La intención del diseño de separación para sistemas redundantes requiere especificaciones del grupo de componentes con redundancia A dentro de la zona/ compartimento A así como las especificaciones del grupo de componentes con redundancia B dentro de la zona / compartimento B. El requisito para la especificación e identificación incluye todas las zonas, espacios, y bandejas de cables donde está instalado el equipo. Equipo se entiende como a todos los componentes, incluidos las tuberías y el cableado que puede influir en los criterios del diseño de redundancia.

A continuación, se muestra un ejemplo a modo esquemático de las zonas de separación para un barco cuyo diseño requiera una separación física entre las zonas con redundancia.

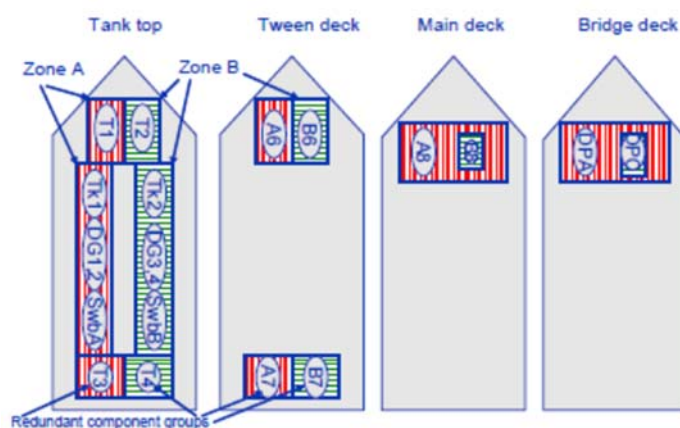


Figura 19 Figura de la representación de las zonas estancas de un barco.

El criterio de aceptación de la separación se hará constar todos los posibles requisitos de tiempo este criterio para, por ejemplo, OMI DP-3 es que las zonas de aplicación deben estar separados por materiales catalogados

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-20.2.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 51

como A-60 y las zonas construidas deben ser impermeables bajo la línea de flotación. En caso de un evento de incendio o inundación deben considerarse como fallo todos los componentes en los grupos que se hallen en dicha zona en la zona.

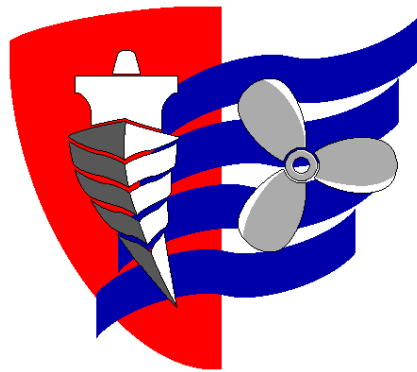
2.6.2. ANÁLISIS DE LA SEPARACIÓN

El análisis de la separación deberá aclarar la instalación de equipos redundantes en zonas físicamente separadas de acuerdo con la intención del diseño de separación y los criterios de aceptación así como el método de separación de las diferentes zonas.

El requisito para el análisis incluye todas las zonas, espacios donde se ha instalado el equipo. Equipo se entiende como todo componentes, incluidas las tuberías y el cableado que puede influir en los criterios de intención y de aceptación de diseño redundancia.

El análisis de separación dará lugar a una declaración que confirma que no hay eventos de incendio o inundación en cualquiera de los compartimentos separados que sean capaces de influir en el funcionamiento de ambos (o todos) los sistemas y subsistemas separados.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



DESARROLLO

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-30.3.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 53

3. DESARROLLO

3.1. GENERALIDADES

El objetivo de un FMEA es proporcionar una investigación completa, sistemática y documentada de los sistemas de posicionamiento dinámico de la embarcación. Esto significa identificar los fallos y sus efectos en el rendimiento del mantenimiento de la posición del buque. A partir del análisis, se harán posibles recomendaciones para mejorar el rendimiento o la seguridad del buque

El FMEA es un documento independiente que contiene una descripción del sistema de DP incluyendo sistemas de propulsión, sistemas de dirección, sistemas de maquinaria, sistemas eléctricos, alarma y sistemas de control este se limita a las condiciones de fallo específicas de componentes individuales y el efecto(s) subsiguiente(s) en el mantenimiento general de la posición del sistema según lo previsto en las especificaciones de diseño funcional. Si no es evidente, se supone que los procedimientos para asegurar que la redundancia inherente están disponibles y se usan correctamente

En este proyecto objeto de estudio el FMEA se desarrolla para un Buque OCV de clase DP3.

3.1.1. PRINCIPIOS BÁSICOS

Los principios de Posicionamiento Dinámico son los mismos independientemente del fabricante, el tipo de hardware o la complejidad del sistema del buque. Un sistema DP controla la posición de un barco y rumbo automáticamente.

El control activo de las hélices contrarresta los efectos de las fuerzas ambientales y permite que el barco permanezca en la localización o muy cerca de un punto especificado.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 002-30.3.1
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 54

3.1.2. PRECISIÓN

La precisión para mantener la posición de un sistema DP depende de muchos factores diferentes, como son la forma del barco y de su construcción, la potencia y propulsión disponibles así como la calidad de los sistemas de control de referencia de posición.

La exactitud para mantener la posición esta normalmente comprendida en +/- 3 metros de la posición de referencia y en +/- 3 ° del rumbo marcado.

3.1.3. CONTROL POR ORDENADOR Y MONITOREO

El corazón de un sistema de DP es el control por ordenador y el sistema de monitoreo. Contiene un modelo preciso de la dinámica de la embarcación. El modelo simula las respuestas del buque a diversas fuerzas, como el viento, mar y corriente. Cualquier desviación de la posición y el rumbo del buque requerido son detectados por sensores de posición y de referencia del sistema DP. Esta información es procesada por el modelo para producir comandos de corrección al sistema de propulsión del buque, contrarrestando así las desviaciones de la posición y el rumbo necesario.

3.1.4. FUERZAS BÁSICAS Y MOVIMIENTOS

Un buque que se dirija a alta mar está sujeto al viento, las olas y las fuerzas de las corrientes. La velocidad y dirección del viento son medidas por el sensor de viento. La respuesta del buque a la ola y la fuerza de la corriente se calculan con precisión.

El sistema DP controla el movimiento del barco en los tres grados horizontales de libertad cabeceo, balanceo y guiñada de rumbo. Los movimientos del buque se miden por los sistemas de referencia y la Gyro. Las lecturas del sistema de referencia erróneas debido al balanceo y cabeceo se corrigen utilizando lecturas del sensor de referencia vertical (El MRU-5).

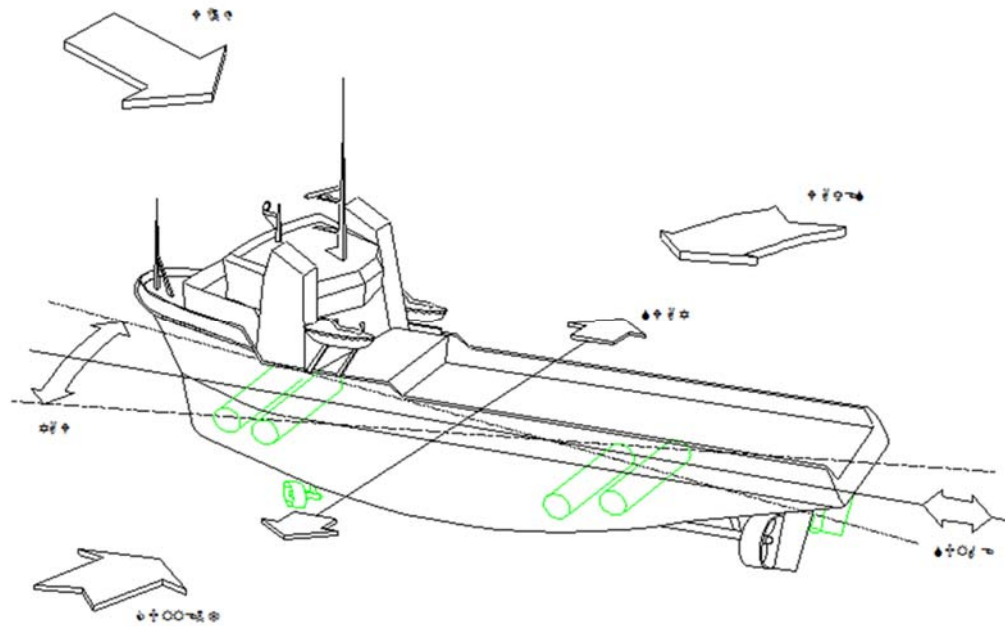


Figura 20 Movimientos básico de un barco.

3.1.5. HÉLICES PROPULSORAS

El empuje es normalmente controlado variando las RPM o el paso de la hélice. Existen diferentes tipos de hélices o propulsión.

- Hélices Azimutales
Estas son giratorias y controlan tanto la magnitud de empuje como su dirección. La unidad completa con el propulsor montado en una tobera, puede ser fija o retráctil.
- Hélice de túnel
Generan empuje transversal en cualquier dirección.
- Propulsión principal y Control Timón
Cuando la propulsión principal está controlada con el sistema de DP este puede generar un empuje adicional dado que este también controla el timón o la tobera de la propulsión.

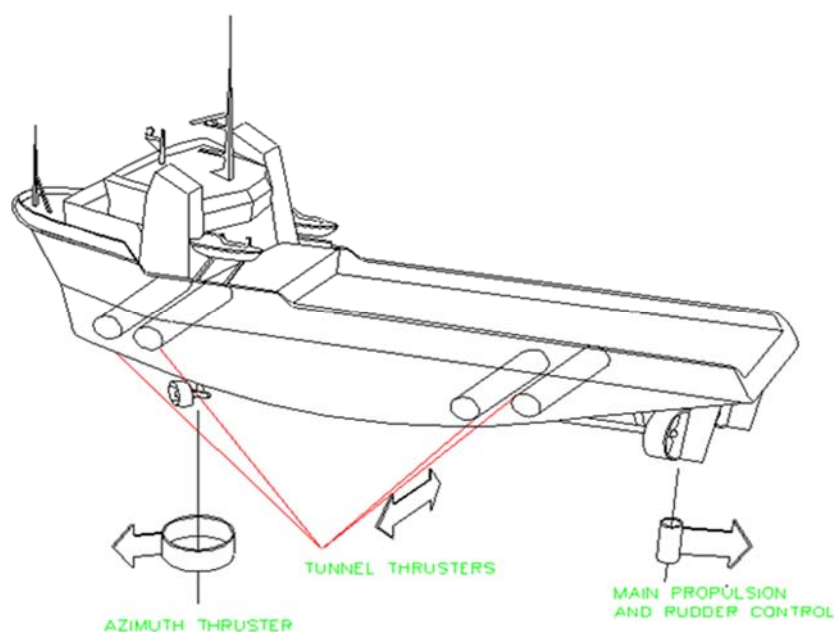


Figura 21 El principio de accionamiento de propulsores y hélices

Sistemas de Referencia

Es necesaria una medición precisa de la posición de los buques en cualquier punto en el tiempo para asegurar una precisión en el posicionamiento dinámico.

Si dos sistemas DGPS diferentes están en uso como dos de los tres sistemas de referencia requeridos (tres sistemas de referencia en línea son el requerimiento mínimo en la clase DP3) los receptores GPS y los receptores diferenciales incluidas las antenas deben tener suministro eléctrico por diferentes fuentes de alimentación y recibir la señal diferencial de diferentes fuentes.

A continuación se muestran los sistemas de referencia de posición más comunes para proporcionar la posición exacta al sistema DP.

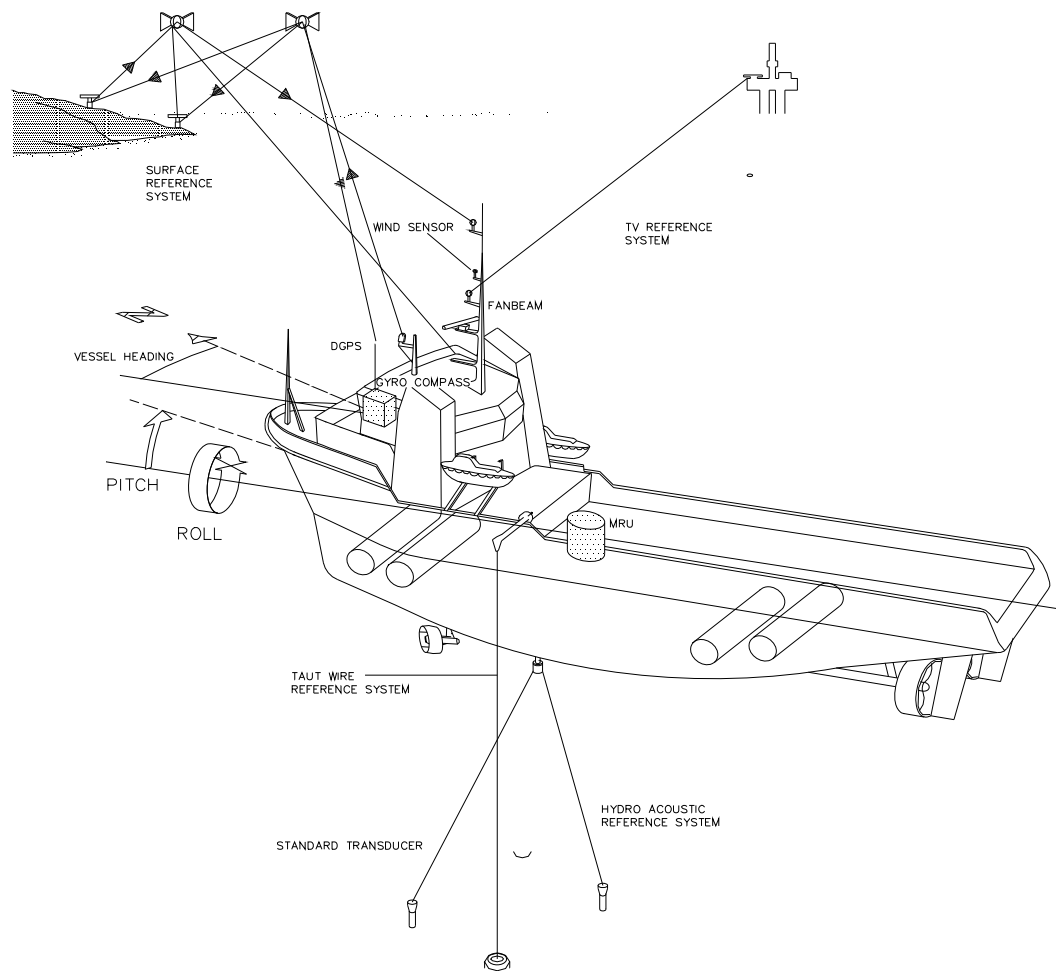


Figura 22. Sistemas de posicionamiento más comunes.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.2
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 58

3.2. CRITERIOS PARA FALLO ÚNICO

Los criterios de fallo individuales utilizados en este FMEA incluyen lo siguiente:

- Cualquier componente activo o sistema (generadores, propulsores, cajas de distribución, válvulas tele-comandadas, enfriadores, filtros, tanques de combustible, equipos eléctricos y electrónicos, etc.).
- Cualquier componente normalmente estático (cables, tuberías, válvulas manuales, etc.).
- Un solo acto involuntario de la operación, si tal acto es razonablemente probable.
- Los fallos sistemáticos o fallos que se pueden permanecer ocultos hasta que aparezca de nuevo el fallo (fallo oculto).
- Todos los componentes en cualquiera de los compartimientos estancos en caso de incendio o inundaciones

Con el fin de cumplir con los criterios de fallo individuales para AUTRO (OMI Clase 3), se requiere la separación física para todos los componentes redundantes.

3.3. FALLO EN EL CASO MÁS DESFAVORABLE

Fallo eléctrico

El peor fallo eléctrico es la pérdida de la barra de distribución 6.6 kV en la que la hélice azimutal está conectada.

Fallo mecánico

El peor fallo mecánico es la pérdida de un refrigerador de agua de mar para los propulsores de proa. Esto dará lugar a la pérdida de las dos hélices de proa y la hélice azimutal.

Fallo en el sistema de control de DP

El peor fallo en DP es la pérdida de DP UPS 1, ya que esta proporciona energía a la mayoría de los sistemas de referencia.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.4
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 59

3.4. DESCRIPCIÓN DEL BUQUE

DISPOSICION GENERAL

El buque consta de las siguientes cubiertas:

- Cubierta encima del puente / helipuerto
- Cubierta de puente
- 05 Cubierta de acomodación.
- 04 Cubierta de acomodación.
- 1ª cubierta
- 2ª cubierta
- 3ª cubierta
- Bajo la 3ª cubierta
- Plan de la maquina

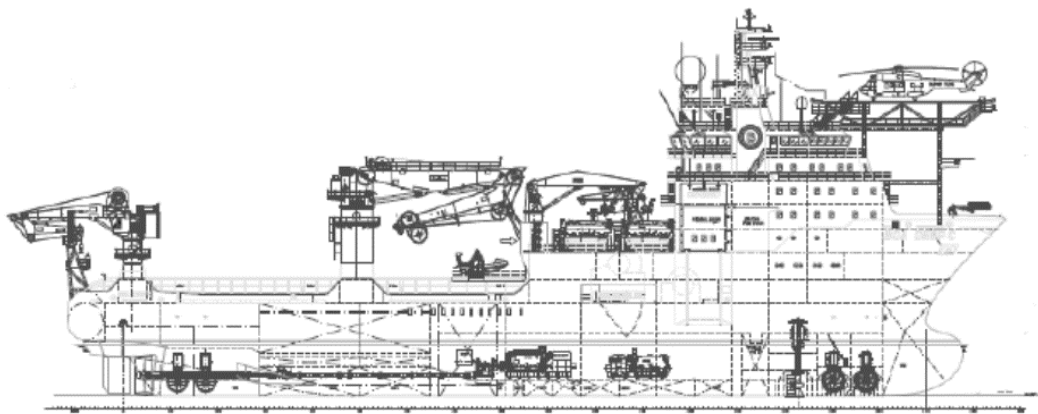


Figura 23 Disposición del buque corte transversal

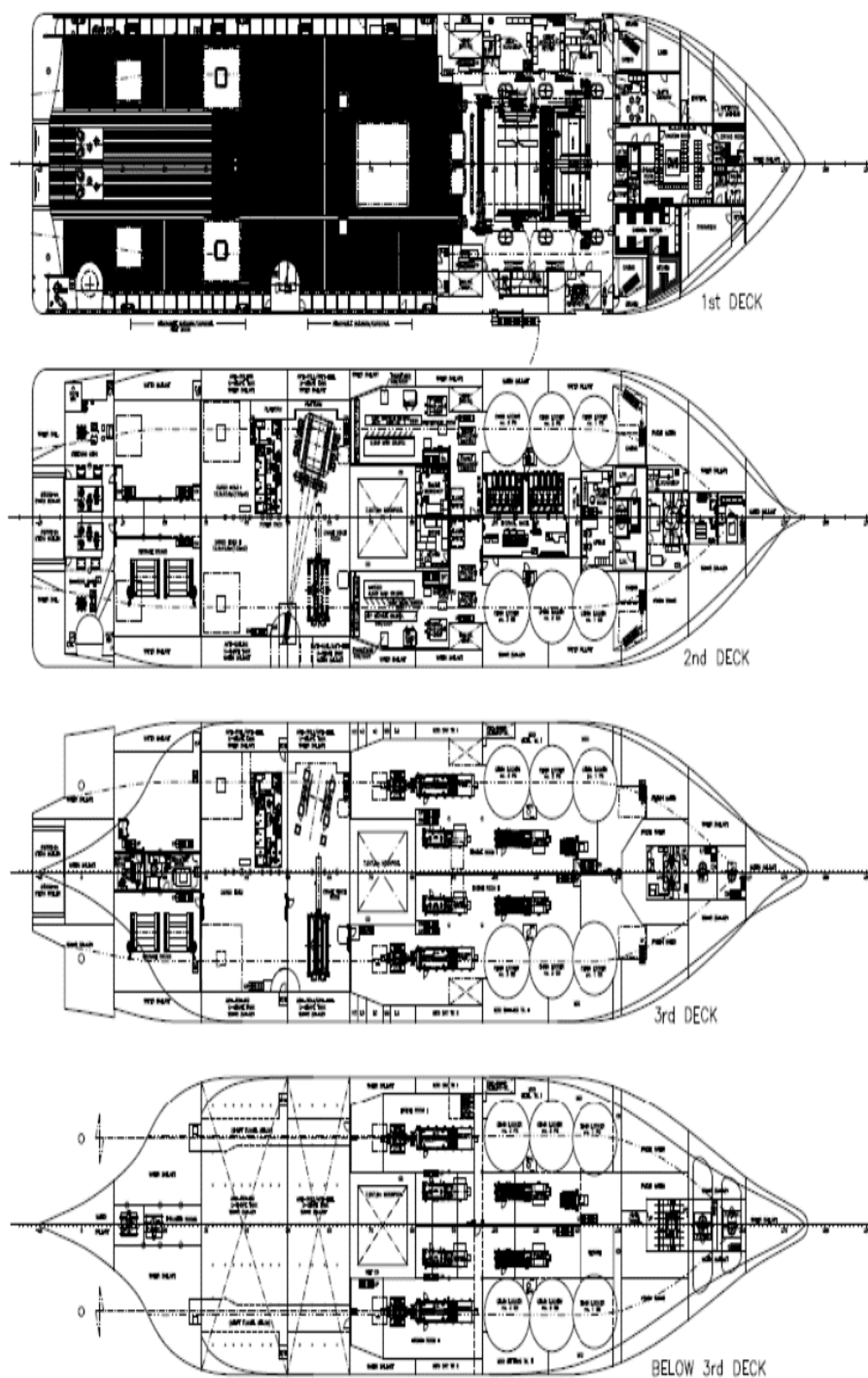


Figura 24 Plano general de disposición del buque

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.4
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 61

DATOS GENERALES

Nombre del barco.....BOA DEEP C
 Call sign.....9HA2621
 IMO No. 926 53 42
 Propietario..... BOA OCV AS
 Gestor.....BOA Offshore AS
 Tipo.....Offshore Construction Vessel
 Diseño.....VS 4201 OCV
 Año de construcción..... 2003
 Constructor.....Factorías Vulcano, S.A.
 Lugar de la construcción.....Vigo, Spain
 N° del astillero..... 485

DIMENSIONES PRINCIPALES

Eslora. 119.3 m
 Manga..... 27 m
 Altura a la 1ª Cubierta..... 11.6 m
 Altura a la 2ª Cubierta..... 7.8 m
 Calado..... 8.8 m

CLASIFICACION & BANDERA

Sociedad clasificadora.....DnV
 Notación de clase.....1A1 ICE-C Tug Supply Vessel..... SF COMF-V (3) C
 (3) HELDK.....E0 DYNPOS-AUTRO CLEAN DK (+)
 Puerto de registro..... VALLETTA
 Bandera..... Malta

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.4
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 62

TONELAJE

Arqueo bruto..... 12,913 toneladas

Tonelaje Neto..... 3,874 toneladas

CAPACIDADES

DWT Con 8.6 metros de calado..... 7 900 toneladas

Fuel oil.....3 400 m³

Agua dulce.....1 400 m³

Agua de lastre.....4 800 m³

Almacenes de cadena.....1 909 m³

Aceite.....58 m³

Aceite hidráulico.....41 m³

Tanque de drenaje de aguas oleosas.....25 m³

Tanque de aguas residuales.....79 m³

Tanque de aguas grises.....100 m³

Tanque de lodos.....66 m³

Tanque de aceite sucio.....74 m³

OPERACIONES CON LOS R.O.V.

El buque cuenta con dos hangares WROV uno en el lado de estribor y otro en el de babor. Ambos WROV son de diseño Oceaneering Millenium habiendo sido creados para realizar su trabajo a una profundidad máxima de 3.000 m.

Hay un taller WROV integrado en la superestructura. Ambos WROV están equipados con un sistema arriado con guías para el funcionamiento en condiciones extremas con una altura de ola de hasta 4,5m.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.4
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 63

MACHINERY & MAIN ENGINES

Diámetro de la hélice..... 4.4 m

Propulsión 2 x 8 060 kW..... 16 120 kW

Total..... 17 320 kW

GENERADORES

2 x 2 420 kW

2 x 1 820 kW

1 x 910 kW

2 x 4 800 kW Generadores/propulsores

Capacidad total..... 18 990 kW

HELICES TRANSVERSALES

2 x 1 425 kW Hélices túnel de proa

2 x 1 425 kW Hélices túnel de popa

1 x 1 200 kW Hélice azimutal

Las hélices de proa están montadas sobre soportes elásticos.

ACOMODACION

Camarotes..... 90 personas en 90 camarotes

SPS code - 50 personas

También hay diez camas pulman disponibles en diez de las camarotes.

En total 100 camas en toda la acomodación.

CUBIERTA

La cubierta está reforzada para una carga específica de 15 toneladas / m² desde la cuaderna 96 hasta la popa.

Espacio de cubierta libre 23 x 50 m = 1 150 m²

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.4
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 64

MOON POOL

El barco se ha construido con una Moon pool de 7.20 x 7.20 m a partir de la cuaderna 66 hacia proa.

CABRESTANTES

Dos cabrestantes de 15 Toneladas cada uno.

WINCHES DE TIRO

Dos winches de tiro ubicados en la 1ª cubierta de la acomodación con un tiro de 20 Toneladas cada uno.

RENDIMIENTOS

Bollard pull continuo.....229 toneladas

Velocidad Max.Aprox 16,5 nudos

Velocidad económica.....Aprox 12,5 nudos

GRUAS

Una grúa equipada con un compensador activo del peso con capacidad para levantar 250 toneladas a una radio de 13 metros localizada en la mitad de la eslora

Profundidad de trabajo..... 2 000 m

Velocidad de izado con 100T.....20 m/min..... (Modo Normal)

Radio Max de trabajo..... 30 m

Peso máximo en el gancho (sobre cubierta) 35 m 210 Toneladas de tensión en el cable a una velocidad de 80 m/min (tensión en la capa exterior del carrete)

Una grúa con capacidad para 30 toneladas con sistema activo de compensación localizada a la popa del barco

Profundidad de trabajo..... 2 000 m

Velocidad de izado con 30 toneladas.....21 m/min

Max. Radio de trabajo..... 20 m

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.4
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 65

Peso máximo en el gancho (sobre cubierta) 25 m 20 Toneladas de tensión en el cable a una velocidad de 100 m/min (tensión en la capa exterior del carrete)

WINCHE PARA EL MANEJO DE ANCLAS TIPO CASCADA

Un winche para el tiro y manejo de anclas del tipo BSL500WX/2SL500WX compuesto por.

DOS TAMBORES DESEMBRAGABLES / WINCHE SECUNDARIO DE TRABAJO DE 500 TONELADAS

Diámetro interior. 1 500 mm

Diámetro exterior..... 3 750 mm

Ancho del carrete..... 3 260 mm

Capacidad.....3 600 m de cable con diámetro de 90 mm

UN WINCHE PARA EL MANEJO DE ANCLAS DE 500 TONELADAS

Diámetro interior..... 3 500 mm

Diámetro exterior. 5 700 mm

Ancho..... 5 800 mm

Capacidad.....8 100 m de cable con diámetro 108 mm

MANEJO DE ANCLAS Y REMOLQUE

SHARK JAWS

Two hydraulic wire and chain stoppers, SWL 750 tonnes each.

TOWING PINS

Dos grupos de towing pins para un bollard pull de 330 toneladas. Operables desde el Puente y en modo local.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.4
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 66

ROLETES DE POPA

Dos roletes de popa de 5 000 mm cada uno y un diámetro de 4 500 mm. Los roletes de popa están diseñados para soportar una carga de 750 toneladas.

DOS WINCHES DE ALMACENAMIENTO DE 50 TONELADAS CADA UNO

Diámetro interior. 1 000 mm

Diámetro exterior..... 3 250 mm

Ancho..... 2 700 mm

Capacidad.....3 500 m con un diámetro de 76 mm

HELIPUERTO

Helipuerto diseñado para un Súper Puma EC225

MISCELANEA

El buque está equipado con todos los equipos de navegación necesarios

El buque cuenta con excelentes instalaciones de oficinas y salas de conferencias

Hay una red de comunicación de datos Ethernet entre el puente, ECR y todas las oficinas abordo

Hay una sauna abordo así como un Gimnasio

El buque está equipado con tanques de compensación de escora y anti Rolling

El buque está equipado en el sistema Kongsberg “Vessel Motion Monitor” (VMM).

3.5. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

DISTRIBUCION DE POTENCIA

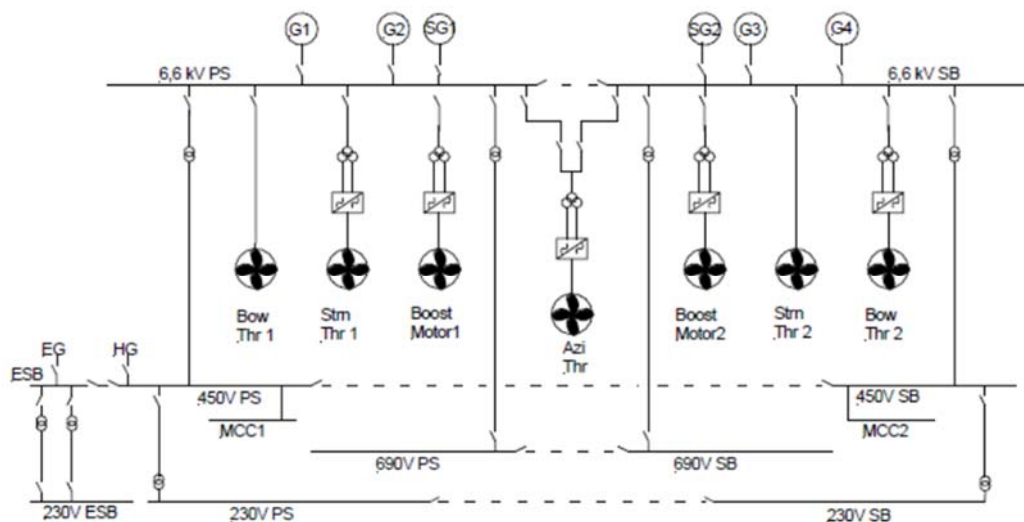


Figura 25 Esquema de conexión de los cuadros principales

Los cuadros de 6,6kV, 690V, 440V y 230V han sido fabricados por Siemens. Las barras principales de 6,6kV se pueden conectar a través de dos interruptores principales. Dicha planta de energía de AC (corriente alterna) consta de dos sistemas independientes y cada sistema se encuentra en una sala de máquinas /cuadro principal independientes. Cada planta consta de un cuadro principal de 6,6kV alimentado por un generador de eje, y dos generadores auxiliares.

Cada cuadro principal de 6,6kV alimenta otro cuadro principal de 450V a través de un transformador

El generador de puerto está directamente conectado al cuadro principal de 450 V. Además este generador de puerto está conectado a un cuadro de emergencia de 450V ubicado en la sala del generador de emergencia en la cubierta principal. Todos los sistemas de corriente alterna suministran la corriente por medio de un cable de tres conductores trifásicos con neutro aislado.

Sistema principal de 6.6 kV AC

Durante la navegación los generadores principales de propulsión de 6,6kV AC sirven como fuente de energía al sistema a través de los cuadros de distribución 6.6kVAC principales. El cuadro de distribución principal 6,6kVAC suministrará corriente a los motores eléctricos de propulsión y a los motores de las hélices así como los transformadores para la distribución de 450V y 690V. El sistema proporciona también servicio a los cuadros de 690V y 450V AC a través de dos (2 + 2) transformadores. El cuadro principal de 450V AC suministrar al cuadro de 230VAC a través de dos (2) transformadores situados en el cuadro de distribución de emergencia de 450/ 230V AC. El sistema proporciona la energía para todos los equipos conectados a las los cuadros generales de 6,6kV VAC y 690/450/230 V CA

A continuación se muestra unas tablas en las que se indican los generadores del barco y los principales consumidores con la potencia máxima que dan o toman del sistema.

Tabla 11 Generadores al cuadro principal de 6,6 kV

Generadores	Potencia Generada
Generador Diésel 1	2480 kW
Generador Diésel 2	1820 kW
Generador Diésel 3	2480 kW
Generador Diésel 4	1820 kW
Generador de Propulsión 1	4800 kW
Generador de Propulsión 2	4800 kW
Total	18200 kW

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 69

Tabla 12 Principales consumidores de 6,6 kV

Equipo	Potencia Consumida
Hélice de proa 1	1500 kW
Hélice de proa 2	1500 kW
Hélice de popa 1	1500 kW
Hélice de popa 2	1500 kW
Hélice Azimutal	1200 kW
Motor Eléctrico (Booster Motor)1	3000 kW
Motor Eléctrico (Booster Motor)2	3000 kW
Total	13700 kW

Cuadro principal de 690 V AC

Hay dos cuadros generales independientes entre sí a bordo, cada uno de ellos ubicado en un cuadro principal. Cada cuadro esta suministrado por un transformador 6,6kV / 690V y está equipado con un interruptor principal entre ellos para la conexión de los dos cuadros. Los cuadros contienen consumidores como son las grúas de trabajo en alta mar o diferentes equipos de la sala de máquinas.

Cuadros principales de 450 V AC

Hay dos cuadros principales independientes entre sí a bordo, cada uno de ellos ubicado en un cuadro principal. Cada cuadro esta suministrado por un transformador 6,6kV / 450V y está equipado con un interruptor principal entre ellos para la conexión de los dos cuadros El buque está equipado con 26 cuadros de distribución 450V AC distribuidos por todo el buque. Los cuadros de distribución 450V están etiquetados con los indicativos P1, P2, P3... ETC.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 70

Sistema de Emergencias a 450 VAC

La energía desde el cuadro de emergencia se suministra desde el cuadro 450V del barco a través de un interruptor de enlace de barra. Cuando el barco está atracado y los generadores principales estén parados, el sistema de alimentación 450V AC deberá ser suministrado por el generador de puerto. Ante una pérdida de la energía el generador de emergencia se iniciará automáticamente y se abrirá el interruptor de enlace al cuadro de 450V AC. A continuación, el interruptor del generador de emergencia cerrará automáticamente y suministrará energía a todos los consumidores de emergencia. Los interruptores de circuito del generador de emergencia deberán estar enclavados eléctricamente con el fin de evitar daños en los sistemas eléctricos.

Sistema de servicios del barco a 230 V CA

El sistema de servicio de 230V AC es suministrado desde el cuadro de distribución a 450V a través de los apropiados transformadores (450V / 230 VAC). Los sistemas de 230 V AC proveen energía a todos los circuitos de iluminación y otros consumidores de 230 V AC.

Sistema de 24 V DC

El barco posee una batería de radio como fuente de reserva de 24V para el GMDSS (normalmente en la estación de radio GMDSS) esta batería está alimentada por la fuente principal de 230V o por el suministro de emergencia de 230V).

Se dispone de dos sistemas de baterías de 24 V DC (sistemas redundantes) que se utilizarán para el suministro de equipos en el puente de 24 V así como otros dos sistemas de baterías de 24 V DC (sistemas redundantes) para el suministro de los equipos en la sala / control de máquinas. También se suministran dos baterías de 24 V DC para arrancar el generador de emergencia.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 71

Las fuentes de alimentación de 24V DC

Hay ocho cuadros de 24V DC a bordo del buque, esto se nombran B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7 y B8.

PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

General

El buque está equipado con dos salas de máquinas totalmente independientes situadas una al lado de la otra, separadas por medio de un mamparo de clase A-60.

Motores principales y Generadores

El buque está provisto de cuatro motores auxiliares, dos conjuntos ubicados en cada una de las salas de máquinas. Cada sala de máquinas se compone de dos grupos de generadores diésel desiguales cada uno de ellos consta de un motor diésel conectado directamente a un generador. Los generadores diésel están configurados para funcionar en paralelo, arrancan mediante aire comprimido y esta provistos de una parada automática en caso de sobrepasar los límites de los parámetros normales de trabajo (exceso de velocidad, alta temperatura del agua de refrigeración y baja presión de aceite lubricante.). Los generadores en cada sala de máquinas se conectan a sus respectivos cuadros principales de 6,6kV.

Generador de emergencia

El barco está provisto de un generador diésel de emergencia, que consta de un motor diésel, el tipo de Caterpillar 3606 TA, directamente acoplado a un generador de Caterpillar SR4-445. El generador está equipado con arranque eléctrico y apagado automático en caso de sobrepasar los límites de los parámetros normales de trabajo (alta temperatura del agua de refrigeración y baja presión de aceite lubricante.). El generador se encuentra en la sala del generador de emergencia en el lado de estribor en la primera cubierta y está conectado con el cuadro de emergencia, que se encuentra en la misma sala.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 72

Cuadro de Emergencia 440 / 230V

El cuadro de distribución de emergencia 440/230V se encuentra en la sala del generador de emergencia y generalmente se suministra desde el cuadro de 450V en el cuadro principal. Si ocurriese una caída de planta en el sistema principal de 450V, el generador de emergencia se iniciará automáticamente, la conexión entre el cuadro de distribución de emergencia 450/230V y el cuadro principal de 450V se desconectaría y el generador de emergencia 450/230V se conectaría al cuadro de emergencia.

Cuadro de emergencia de distribución 450V

El buque está equipado con un cuadro de distribución de emergencia 450V AC marcado con el código EP1. Que es el que suministra energía a las puertas estancas hidráulicas.

Cuadro de emergencia de distribución 450V

El buque está equipado con seis cuadros de distribución de emergencia de 230V AC, marcados con los códigos E1, E2, E3, etc. Los cuadros de distribución se encuentran en diferentes ubicaciones a lo largo y ancho del barco dando corriente a los sistemas de emergencia.

HELICES TRANSVERSALES

General

La propulsión principal del buque consta de dos hélices que se pueden ser accionadas de forma mecánica ya sea diésel, diésel-eléctrica o combinación de ambas "Boost Mode"

Dispone de cuatro hélices de túnel para realizar el empuje transversal que están instaladas dos en la proa y dos a popa. Además hay una hélice azimutal retráctil ubicada detrás de las dos hélices de túnel en la proa. Todas las hélices son movidas por motores eléctricos y son de la marca Brunvoll. Están equipadas con un sistema de bloqueo para el arranque del motor de la hélice si el paso no está en posición 0, existe baja presión de aceite en el servo motor o se detecta un fallo del variador. Todos los bucles de enclavamiento tienen que estar cerrados para permitirse el inicio del motor.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 73

En general para tener una hélice disponible para ser utilizada en el sistema de DP, el grupo hidráulico debe estar en funcionamiento, no existir ningún tipo de alarma en el convertidor y la hélice debe mostrarse disponible para el sistema de DP en la pantalla.

Existe la posibilidad de realizar una parada de emergencia desde las consolas de popa y proa del puente.

Tanto los sistemas de variación de velocidad como los convertidores de frecuencia para todas las hélices disponen de las siguientes funciones de protección:

- Límite máx. / min Velocidad
- Límite de potencia máxima
- Límite máximo de par
- Protección contra cortocircuito de motor eléctrico
- Rampa velocidad
- Alta Temperatura

Tanto el motor de la hélice como el convertidor de frecuencia asíncronos están refrigerados por agua dulce. El convertidor de frecuencia tiene su propio sistema de refrigeración interna y está interconectado con el sistema de sobrecarga de los generadores diésel.

Hélices de Túnel

Las hélices de túnel de proa y popa son de tipo Brunvoll FU-80-LTC-2250, cada una con una capacidad de 1425Kw. Las hélices son de velocidad variable y de paso variable. Un convertidor de frecuencia (FC) controla la velocidad del motor de la hélice y el servo / unidad hidráulica controla el movimiento del paso de los alabes de la hélice y lubricación de las piezas móviles. El convertidor de frecuencia controla la revolución (rpm) del motor eléctrico, mediante la regulación de la tensión y la frecuencia.

Las hélices de túnel están equipadas con lo siguiente:

- Cuadro electrónico para la comunicación entre los diferentes sistemas, es decir, el panel de control de las hélices, sistema de DP.
- Tanque de gravedad, depósito de aceite

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 74

- Cuadro eléctrico de arranque para el servo / bomba de aceite
- Unidad de Servo
- Cuadro eléctrico para el motor de la hélice
- Convertidor de frecuencia para el control de velocidad

El sistema hidráulico para cada hélice consiste en una bomba de presión y un control con una válvula proporcional para el control del paso.

Esta válvula desvía el aceite a cada lado del pistón para la activación del paso en función de la orden dada. Esta válvula también tiene válvulas de solenoide de accionamiento manual para la operar el sistema en local. El sistema está equipado con filtros de alta presión y de baja presión, y un tanque de gravedad para mantener una presión positiva de aceite en la hélice. El tanque de compensación está equipado con una alarma de bajo nivel. El aceite se enfría cuando fluye a través del núcleo de la hélice. Mientras que el motor asíncrono de la hélice y convertidor de frecuencia son enfriados por agua dulce.

El sistema hidráulico tiene alarmas siguientes:

- Alarma de nivel bajo en el tanque de gravedad
- Alarma de baja presión
- Bloqueo de arranque del motor de la bomba de servo

Hélice azimutal

La hélice azimutal es del tipo Brunvoll AR-80-LNC 2100 con una capacidad de 1.200 kW. Es del tipo paso variable y velocidad controlada.

La hélice azimutal está equipado con lo siguiente:

- Cuadro electrónico para la comunicación entre los diferentes sistemas, es decir, los paneles de control de la hélice y el ICMS.
- Tanque de gravedad, depósito de aceite
- Cuadro eléctrico de arranque para el servo / bomba de aceite
- Unidad de Servo
- Cuadro eléctrico para el motor de la hélice
- Convertidor de frecuencia para el control de velocidad

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 75

El movimiento del motor se transmite al eje de la hélice a través de una reductora que reduce la velocidad de la hélice a 300 rpm. El motor eléctrico trabaja a velocidad variable y el empuje es controlado por un convertidor de frecuencia, que controla la velocidad de la hélice y el paso variable de la hélice.

El motor eléctrico es un motor asíncrono refrigerado por agua y el control de velocidad es controlado por el convertidor de frecuencia de 12 pulsos, que también es enfriado por agua. El convertidor de frecuencia tiene una alimentación independiente (baja tensión) para cargar los condensadores antes de empezar y también para la excitación del transformador de potencia. Este suministro tiene la misma redundancia que la alimentación principal. El Convertidor tiene alarma de control de la temperatura. La tensión de salida al motor es de 690 V AC. El convertidor de frecuencia está ubicado en la misma sala que la hélice azimutal.

El convertidor de frecuencia controla la revolución (rpm) del motor eléctrico regula la de la tensión y la frecuencia al motor eléctrico que mueve la hélice azimutal.

El convertidor de frecuencia tiene las siguientes funciones de protección:

- Límite máx. / min. velocidad
- Límite de potencia máxima
- Límite de par máximo
- Protección contra cortocircuito de motor eléctrico
- Rampa de velocidad

Posee un bloqueo de arranque del motor propulsor si la hélice no está con el paso en posición 0. También hay un enclavamiento para evitar el arranque del motor si el sistema tiene baja presión de aceite. Ambos bucles de enclavamiento tienen que estar cerrados para iniciar el motor de accionamiento.

La hélice azimutal puede ser parada de emergencia y puesta de nuevo en funcionamiento localmente, desde el cuadro principal o desde el puente.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 76

La hélice azimutal está equipada con su propio sistema de control hidráulico servo y tiene actuadores hidráulicos para el control del paso, el control de giro y del movimiento de descenso o retracción de la hélice. El sistema consta de dos unidades hidráulicas que incluyen dos bombas electro-hidráulicas ubicadas en la misma sala de la hélice.

El sistema de ascenso/ descenso de la hélice esta alimentado con aceite desviado de la bomba hidráulica común, la descarga de aceite se realiza a través de un filtro, que se posee una alarma por diferencia de presión a la válvula de control que regula el movimiento de la hélice y al bloque de válvulas que controla el ascenso/ descenso de la hélice. La válvula de control de dirección desvía el aceite en función de la orden recibida

El sistema de control del paso consiste en una bomba de paso que descarga aceite a través de un filtro, también alarmado con una diferencia de presión, al bloque de válvulas de control del paso. Una válvula de solenoide desvía el aceite a la unidad de control de paso, que opera las palas.

El panel de convertidor de frecuencia y el cuadro de Brunvoll están interconectados con los sistemas de las IAS / PMS y el sistema de control de hélices para el control y prevención de caídas de planta.

La hélice azimutal está equipado con un cuadro de distribución de energía que realizara un cambio en la selección de los alimentadores, en caso de producirse un fallo de suministro de energía de cualquier fuente de alimentación (6,6kv / 450V / 24V). Este cuadro está situado junto al transformador del motor de la hélice azimutal en la misma sala de la hélice azimutal. Todos los controles de potencia y energía para todos los sistemas auxiliares de la hélice azimutal son redundantes, por lo que es posible utilizar la hélice azimutal con un fallo en un cuadro de distribución, sala de máquinas, etc.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 77

PROPULSIÓN PRINCIPAL

General

La propulsión principal de este buque se realiza mediante dos conjuntos principales de propulsión idénticos. Cada conjunto consiste de unos motores principales diésel y un motor eléctrico de propulsión, que individualmente o combinados pueden conducir una caja reductora común, conectados a un eje de accionamiento de una hélice CPP.

El motor diésel principal está conectado a reductora por un embrague, y puede ser desacoplado de la reductora para operar en modo eléctrico. El motor eléctrico está conectado a la PTI de la reductora sin embrague.

La configuración de la propulsión puede ser en tres modos:

- Modo eléctrico: sólo el motor eléctrico está impulsando la hélice
- Modo de Diésel: Sólo el motor diésel principal está impulsando la hélice
- Modo Boost: Tanto el motor diésel y el motor eléctrico están impulsando la hélice en paralelo.

En el modo DP, los motores de propulsión eléctrica serán utilizados para la propulsión principal, y los dos motores principales diésel trabajaran como conjuntos diésel generador para alimentar a sus respectivos cuadros principales de 6,6kV.

Los motores eléctricos

El barco posee en cada una de sus salas de máquinas un motor eléctrico de propulsión (motores de refuerzo). Los motores de propulsión eléctricos son Siemens del tipo asíncrono, refrigerados por agua y con la velocidad controlada por convertidores de frecuencia. Se disponen dos sistemas de control independiente para la operación remota de los motores de propulsión. Esto incluye la parada automática del motor eléctrico de propulsión a muy baja presión de aceite del engranaje. La parada de emergencia de los motores está dentro de ECR y en el puente. Cada motor está acoplado a una reductora de acoplamiento flexible de desplazamiento horizontal y conectado a la PTI en la reductora.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 78

El motor eléctrico de propulsión se utilizará normalmente durante la operación DP trabajando en solitario y como refuerzo en modo de tracción a punto fijo y en el modo de velocidad máxima.

Cada motor eléctrico (en los modos que se mencionan anteriormente) acciona una reductora, que a su vez acciona la hélice CPP.

Variadores de velocidad para motores de propulsión eléctricos

Cada uno de los motores de propulsión eléctrica se suministrado desde un cuadro principal a partir de un controlador de frecuencia de 12 pulsos. El convertidor de frecuencia se basa en un tipo IGBT - PWM.

Cada convertidor de frecuencia se suministra desde el respectivo cuadro principal 6,6kV AC a través de transformadores trifásicos.

El sistema de control de accionamiento de velocidad está dispuestos para proporcionar una rápida reducción de la potencia para evitar caídas de planta en caso de fallo del sistema de fuente de alimentación. El sistema también está interconectado con el sistema PMS, sistema de DP, el sistema de control de paso y el sistema de control remoto de la propulsión.

Transformador convertidor de potencia para la propulsión

Cada uno de los variadores de velocidad para el motor de propulsión está equipado con un transformador convertidor de potencia trifásico. Cada transformador es refrigerado por aire y está diseñado para reducir la distorsión de la tensión al mínimo. Los dos devanados secundarios tienen ángulo de fase diferente.

Reductora para la propulsión principal

Cada motor diésel principal y / o cada una de las motores eléctricos de refuerzo esta conectados directamente a una reductora para mover la hélice principal CPP. Básicamente la reductora se compone de dos unidades, el tramo primario conecta la reductora al eje del generador que gira a 1200 RPM y una unidad secundaria que es la reducción al giro de la hélice de paso controlable con un embrague hidráulico integrado.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 79

Cada reductora es del fabricante Scana Volda y está equipado con una bomba de aceite de accionamiento directo y con una bomba de aceite en Stand-by de accionamiento eléctrico, que se iniciará automáticamente cuando se detecta baja presión de aceite lubricante. En caso de muy baja presión de aceite del engranaje se producirá un parado automático del respectivo motor principal.

Hélice de paso variable con toberas

El buque está equipado con dos hélices de paso variable de 4 palas dispuestas en toberas fijas. Cada hélice consta de 4 palas de aprox. 4000mm, cubo de la hélice, eje de la hélice con acoplamientos, de accionamiento hidráulico y ajuste de la posición de las palas de la hélice, cojinetes, tanque de gravedad de aceite lubricante, bocina y un sistema servo hidráulico.

Sistema de control remoto para la propulsión principal

El sistema de control remoto para la propulsión del barco es del tipo CPP@Control Marine Propulsion Control System construido por Siemens/Ose & Aarseth AS y se compone de dos sistemas electrónicos de control redundantes separados físicamente. Un controlador PLC de control remoto se encuentra en el cuadro de control remoto, el cual está montado en la sala de control de máquinas. Todos los cuadros de control se encuentra montados juntos los paneles de control para las hélices de estribor y babor para permitir que el operador pueda utilizar el sistema con una sola mano. Pudiéndose acoplar una conexión mecánica de manera que las dos palancas puedan ser operadas simultáneamente de forma sincronizada.

En caso de fallo en el mando a distancia, el paso puede ser controlado por un control del paso de emergencia. El control de emergencia consiste en controles de botón que trabaja en todos los paneles de control a la vez, cuando está activo.

El sistema de control remoto está dispuesto para llevar a cabo las siguientes tareas:

- Control del paso (control del actuador y vigilancia del valor real)

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 80

- Protección de sobrecarga del motor diésel principal (al limitar el punto de ajuste del paso)
- Control de embrague (comando y monitoreo del estado)
- Control de velocidad del eje
- Control de una velocidad definida del motor diésel principal
- Control del convertidor de frecuencia para los motores eléctricos de propulsión para seguir las indicaciones del sistema de DP o del joystick

El funcionamiento del sistema de control remoto se puede realizar a partir de cuatro diferentes paneles de control en la sala de control de máquinas, en la consola a proa del puente, en la consola a popa del puente y en la silla de control del puente a popa

El sistema de control tiene tres modos diferentes; "Modo eléctrico", "Modo de Diésel" y "Modo Boost".

TIMONES Y MECANISMOS DE GOBIERNO

Timones

El buque está equipado con dos timones de pala de tipo aleta. La aleta es accionada mecánicamente.

Mecanismos de gobierno

El servo que mueve los timones es de Rolls-Royce Tenfjord está ubicado en la sala del servo. Consta de 4 unidades hidráulicas independientes, cada una con válvulas solenoides de 24V DC para operar el sistema, válvula de alivio, válvula de bloqueo automático, el control manual de emergencia, tanque de aceite, interruptor de nivel de aceite, válvula de purgado, acoplamiento flexible entre el motor eléctrico y la bomba hidráulica, filtro y mirilla para depósito de aceite para tener control de la cantidad real de aceite.

Cada mecanismo de gobierno es operado por dos bombas hidráulicas. Dos de las bombas son operadas en servicio normal, y las otras dos servirán de stand-by unidades (baja velocidad). En las maniobras (modo joystick), y en funcionamiento DP, serán utilizadas todas las bombas (alta velocidad).

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 81

Se montan cuatro arrancadores directos en la sala del servo con corriente eléctrica aportada por el cuadro principal y por el cuadro de emergencia (principal y en espera). Cada motor de arranque está provisto de interruptor de aislamiento, interruptor de marcha / parada, luz corriente y el interruptor selector de control local / remoto.

Los dos timones o bien pueden estar sincronizados para la navegación normal (en paralelo) o utilizarse de forma independiente cuando se utiliza en modo DP o Joystick.

El sistema de alarma para el aparato de gobierno incluye los siguientes parámetros:

- Sobrecarga de motores
- Fallo de fase (eléctrica)
- Fallo de la fuente de alimentación (eléctrica)
- Bajo nivel de aceite
- Pulsadores o panel para prueba y el reconocimiento de alarmas

Un panel de alarma independiente está instalado en la consola del control de máquinas y otro panel de alarma está integrado en el panel de control en la consola de puente.

El sistema de gobierno de emergencia local está ubicado en la sala del servo donde existen los medios para la desconexión de todos los equipos del control remoto.

SISTEMA DE FUEL OIL

General

Hay un sistema de servicio de combustible con equipo de reserva para todos los motores de a bordo del buque también hay un sistema de trasiego de combustible. El sistema incluye el abastecimiento de combustible, el desbordamiento, el trasiego, la purificación y todos los sistemas de servicio requeridos para los motores diésel, etc.

Las bombas de carga de combustible, trasiego de combustible bombas de servicio y purificador de fueloil están equipados con dispositivos de parada

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 82

remotos fuera de los espacios de máquinas de acuerdo a requerimiento y reglamentos.

Hay varios tanques de almacenamiento de combustible, todos conectados a un colector de llenado y trasiego, con válvulas de accionamiento eléctrico a todos los tanques, una para el llenado y otra de vaciado para cada tanque. La capacidad total de los tanques de combustible líquido es aproximadamente de 3500m³. Cada tanque de combustible se ventila por separado a la cubierta principal.

El sistema de llenado y el sistema de trasiego del combustible que incluye dos bombas de transferencia (una ubicada a estribor y otra a babor), también están conectados al colector general. Además se dispone de dos bombas de carga de combustible.

El sistema de decantación de combustible y trasiego consta de dos sistemas independientes, uno situado en cada la sala de máquinas. En cada sala hay un tanque de decantación de combustible y un tanque de combustible de servicios diarios El combustible se transfiere de uno de los tanques de almacenamiento por medio de la bombas de trasiego de combustible a el tanque de decantación, con sistema de arranque / parada automática de la bomba según el nivel de combustible en el tanque de decantación.

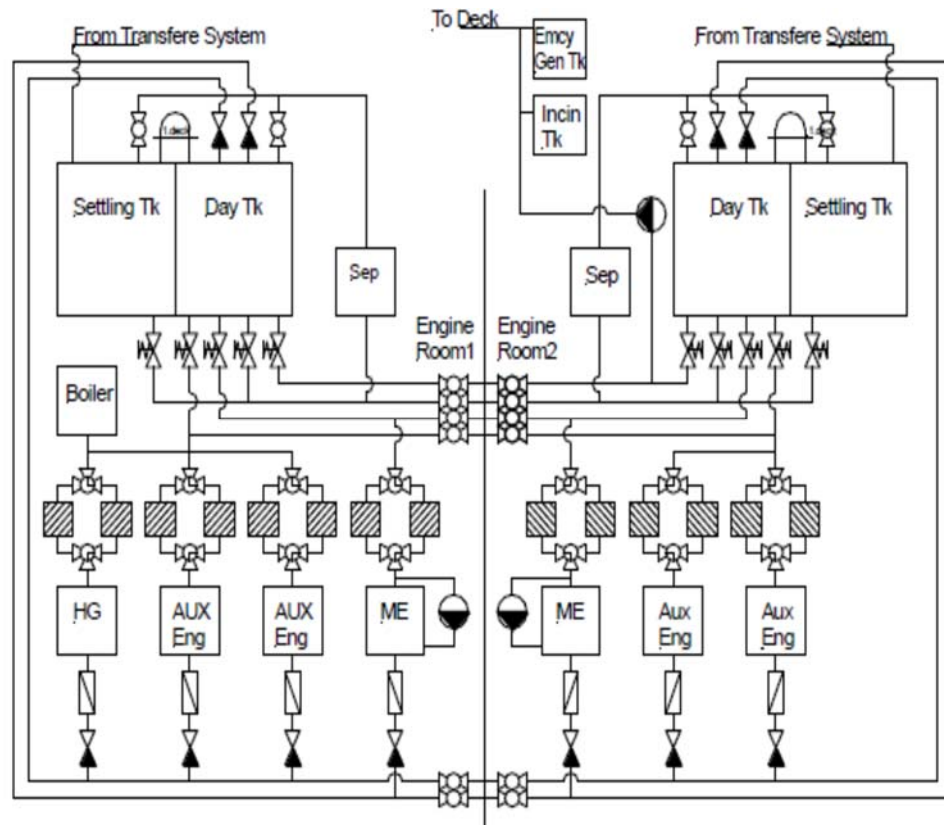


Figura 26 Esquema del servicio de combustible

Combustible para los motores principales y motores auxiliares.

El motor principal y los dos motores auxiliares en cada sala de máquinas tienen separadas las líneas de combustible y pueden consumir el combustible por medio de una bombas de combustible acopladas a cada motor. En el caso de los motores principales tienes una bomba en Stand-by.

Cada línea de succión está provista de una válvula de cierre, una válvula de no retorno, una filtro principal dúplex con colector de agua. Cada motor principal está provisto de dos filtros dobles y dos válvulas de cierre rápido (una para cada tanque de servicio de diario).

Los sistemas de combustible en ambas sala de máquinas están interconectados para poder usar ambos sistemas indistintamente en caso de necesidad. Hay un cierre operado por una válvula de control remoto y una manual en cada una de las salas de maquina instalado para cada sistema de abastecimiento de combustible lo que permite que cada motor puede

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 84

repostar combustible de ambos tanques indistintamente. Cada motor tiene un enfriador de placas para el combustible que enfría el combustible de retorno.

Depuradoras de combustible

El buque está equipado con depuradoras de combustible en cada sala de máquinas. Cada depuradora transfiere combustible desde el tanque de almacenamiento al tanque de sedimentación, o desde el tanque de sedimentación al tanque de servicio de combustible.

El combustible se transfiere a través de una QCV (válvula de cierre rápido) pasando posteriormente por un filtro y una bomba de alimentación. La bomba de alimentación de combustible suministra el combustible a la depuradora a través de una válvula con control de caudal.

El sistema de transferencia está conectado directamente a cada tanque de sedimentación y a cada tanque de servicio, para que se pueda utilizar cualquier depuradora en caso de fallo.

Generador de puerto

El generador de puerto tiene las líneas de combustible separadas y puede abastecerse desde cualquiera de los dos tanques de combustible por medio de una bomba de trasiego de combustible.

Generador de Emergencia

El generador de emergencia tiene su propio tanque de servicio de combustible. Este depósito se encuentra en la sala del generador de emergencia. El tanque se llena con una bomba de trasiego de combustible con una línea separada para cada uno de los tanques de servicio diario. El tanque está equipado con una alarma de bajo nivel. Dispone de una línea de rebose al tanque de servicio de combustible en estribor.

Válvulas de cierre rápido (QCV)

Hay dos cuadros para operar a distancia las QCV a bordo, uno para cada sala de máquinas. Las QCV s están dispuestas en las líneas de suministro a todos los tanques de almacenamiento, a los motores diésel principales,

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 85

motores diésel auxiliares generador de puerto, generador de emergencia, incinerador, depuradoras de combustible, bombas de trasiego de combustible y bombas de transferencia de combustible.

Las válvulas de cierre rápido se operan neumáticamente desde un panel de control remoto ubicado en la cubierta principal. Hay un panel de control remoto separado para la sala del generador de emergencia y otro para el incinerador, cada uno situado fuera de la correspondiente sala.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Sistema de agua salada

Los sistemas de refrigeración de agua salada proporcionan agua para el sistema de refrigeración de los motores diésel, motores de propulsión eléctricos con variadores de frecuencia, motores auxiliares, generadores de ejes, hélice azimutal con variadores de frecuencia, hélices transversales con variadores de frecuencia, cojinetes engranajes y enfriadores de aceite de la reductora

Cada sistema de agua salada está provisto de dos bombas eléctricas del agua salada, la bomba principal controlada con variador de frecuencia (velocidad de acuerdo al requerimiento de refrigeración) y una bomba de reserva con velocidad constante.

Las tomas de fondo cuentan con una conexión al sistema de aire comprimido. El aire comprimido es sólo para soplado con el fin de eliminar el hielo de la toma de fondo. Las válvulas de sistema de aire comprimido siempre estarán en posición cerrada cuando el barco se encuentre en DP. Las válvulas deberán estar bloqueadas en posición cerrada para evitar su apertura inintencionada.

Tomas de fondo

- Toma de fondo de Proa

El sistema de agua salada para la refrigeración de los equipos en proa; hélices N°1 y N°2 y la hélice azimutal consiste en una toma de fondo situada en la sala de la hélice N°2. La toma de fondo consta de una válvula de entrada al mar, una caja de lodos y una válvula de

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 86

cierre. La toma de fondo también está provista de un sistema de corriente impresa por ánodos para evitar la corrosión galvánica.

- Toma de fondo de popa

El sistema de agua salada para la refrigeración de los equipos en popa hélices N° 1 y N°2 consiste en una toma de fondo, situada en la sala de hélice de popa N° 2. La toma de fondo consta de una válvula de entrada al mar, una caja de lodos y una válvula de cierre. La toma de fondo también está provista de un sistema de corriente impresa por ánodos para evitar la corrosión galvánica.

- Toma de fondo en la sala de máquinas

El sistema de agua salada para la refrigeración de los equipos en las salas de máquinas consiste en dos tomas de fondo situadas una en cada sala de máquinas. Están interconectadas por conductos independientes dispuestos en cada sala de máquinas, cada una con un colector con ramas de suministro a los enfriadores centrales para diversos consumidores. Dos válvulas de accionamiento eléctrico, ambas ubicadas en la sala de máquinas de babor permiten la conexión remota de ambas salas de máquinas. Ambas válvulas se pueden operar remotamente de forma manual desde la sala de máquinas de estribor por medio de un sistema de cardan. Nota: Las líneas de cruce deberán estar cerradas cuando el barco se encuentre en DP.

Sistema de agua salada de las hélices de proa

El sistema de agua salada de las hélices de proa hélice N°1 y N°2 así como de la hélice azimutal consiste en una bomba de agua de mar conectada en un extremo a la válvula de cierre de la caja de lodos en la toma de fondo. Todos estos equipos están situados en la sala de la hélice N°2.

La salida de la bomba está conectada una válvula de cierre y posteriormente a un colector, por medio de ramales distribuye el agua a los refrigeradores para las hélices N°1 y N°2 de proa y la hélice azimutal. El tubo a la sala de la hélice azimutal está provisto de una válvula de cierre telecomandada, para el aislamiento de la sala de la hélice azimutal en caso de

que esta falle. Cada rama está provista de una válvula de no retorno y una válvula de cierre antes de la conexión al enfriador. La línea de retorno de cada enfriador está equipada con una válvula de cierre en el lado de salida.

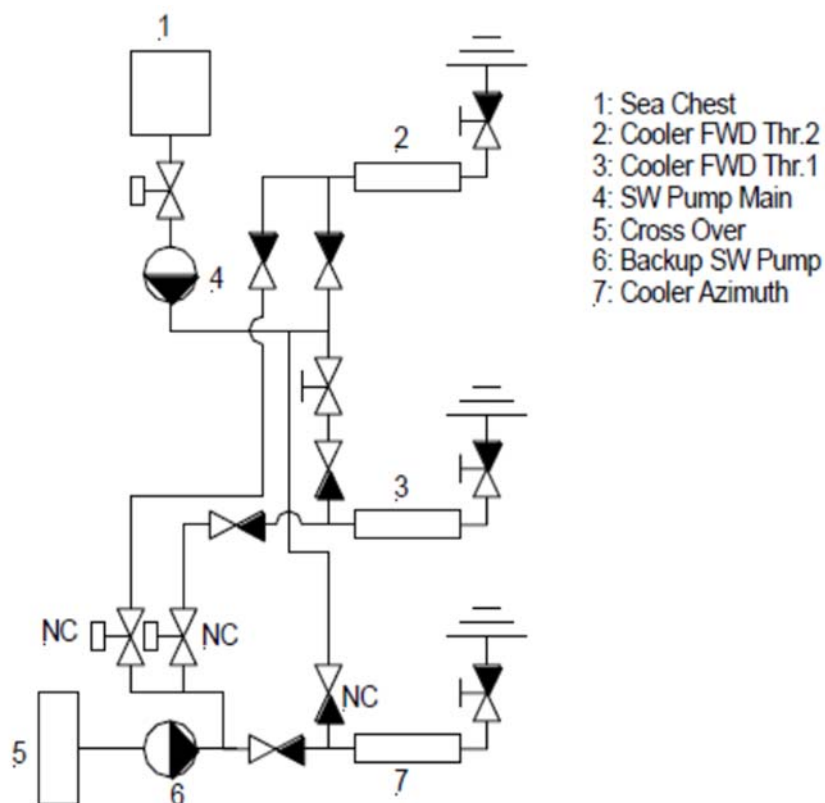


Figura 27 Esquema del sistema de refrigeración de las hélices de proa

Además, también se proporciona un suministro de agua salada desde la sala de máquinas de estribor, controlado por tres válvulas de cierre operadas a distancia, una para cada hélice, situada a proa de la sala de máquinas de estribor. Las tres líneas de tubería pasan través de la sala de la hélice azimutal. La línea hacia la hélice N°1 también pasa por la sala de la hélice N°2. Todas las tuberías están equipadas con una válvula de no retorno antes de conectarse a otro sistema de agua salada.

Sistema de agua salada de las hélices de popa

El enfriamiento del agua salada para las hélices de popa N°1 y N°2 consiste en una bomba de agua de mar conectada en un extremo a la válvula de

cierre de la caja de lodos en la toma de fondo todos los equipos están ubicados en la sala de la hélice N°1.

En la salida de la bomba está conectada una válvula de cierre, a continuación, el tubo se bifurca para los refrigeradores de la hélice N°1 y N°2.

Cada rama está provista de una válvula de no retorno y una válvula de cierre antes de que el tubo conecte al enfriador. La línea de retorno a la salida de cada enfriador está equipada con una válvula de cierre y dirigida directamente por la borda y con válvula de retención, filtro y válvula de cierre.

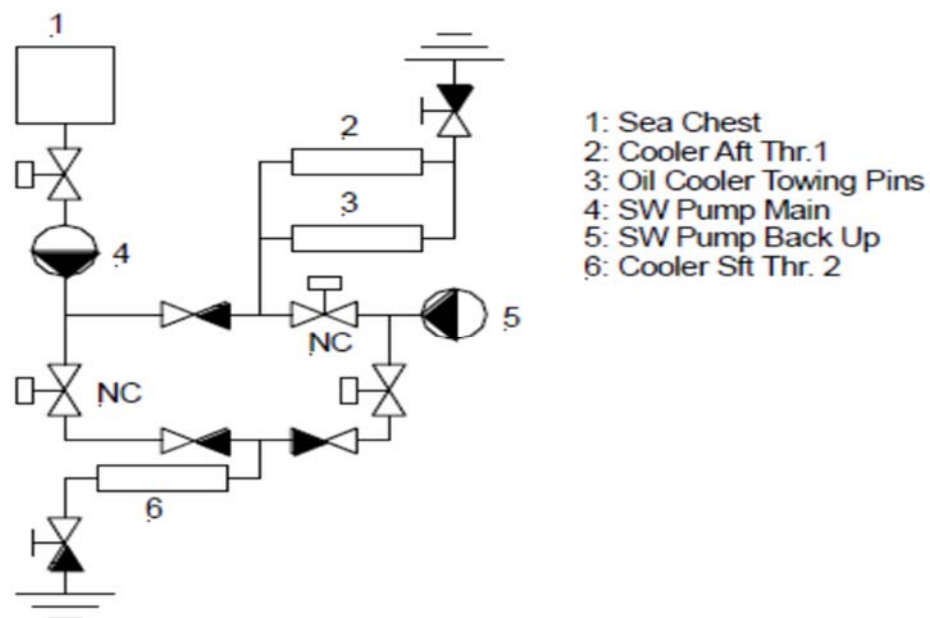


Figura 28 Sistema de refrigeración de las hélices de popa

Sistema de agua dulce

Hay 14 sistemas individuales de refrigeración de agua dulce a bordo. Están separados totalmente unos de otros.

Los sistemas se enumeran a continuación

- Sistema de refrigeración del motor principal Babor
- Sistema de refrigeración del motor principal Estribor

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 89

- Sistema de refrigeración para motores auxiliares Babor
- Sistema de refrigeración para motores auxiliares Estribor
- Sistema de refrigeración hélice proa N°1
- Sistema de refrigeración hélice de proa N°2
- Sistema de refrigeración hélice azimutal.
- Sistema de refrigeración hélice de popa N°1
- Sistema de refrigeración hélice de popa N°2
- AC 1
- AC 2
- HPU Grúa
- Enfriador sistema hidráulico N°1
- Enfriador sistema hidráulico N°2

Sistema de enfriamiento por agua dulce del motor principal

Los sistemas de agua de refrigeración de agua dulce del motor principal se separan en dos sistemas de enfriamiento totalmente independientes sin conexiones. Este sistema de refrigeración suministra a los siguientes consumidores: motor principal, enfriador de combustible para el motor principal, motor de propulsión eléctrico, convertidor de frecuencia para la propulsión principal, servo para la hélice propulsora, enfriador del aceite de la reductora y rodamientos del eje.

Cada sistema de enfriamiento de agua dulce consiste, en general, de un enfriador de placas principal (agua dulce/ agua salada) dos bombas eléctricas de agua dulce, una principal y una de reserva, un depósito de expansión y dos válvulas de control de temperatura de tipo de elemento TBN.

Cada sistema de agua dulce para el motor principal es un sistema de refrigeración de circuito combinado (sistema de alta y baja temperatura) hay dos bombas acopladas al motor principal una para baja temperatura y otra para alta. La bomba de alta temperatura suministra refrigerante al bloque de cilindros, turbocompresor y las culatas. La bomba de baja temperatura suministra refrigerante para enfriador de aire y el enfriador de aceite. Existen bombas eléctricas de reserva para ambos sistemas. Cada motor

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 90

principal está equipado con un calentador eléctrico para mantener la temperatura aceptable del motor cuando se detiene.

Refrigeración de agua dulce de las hélices

Cada hélice tiene sistemas de refrigeración de agua dulce individuales que consisten en depósito de expansión, dos bombas de agua de refrigeración e intercambiadores de calor. Hay una bomba principal y una bomba de espera. La hélice de proa N°1 y N°2 así como la hélice de popa N°1 están equipadas con un convertidor de frecuencia que tiene un sistema de refrigeración interno enfriado por el sistema de agua dulce específicamente para cada hélice.

Sistema Auxiliar

El sistema de refrigeración de agua dulce para los sistemas auxiliares se separa en dos sistemas de refrigeración totalmente independientes sin conexión, entre el lado de babor y estribor

Los dos motores auxiliares en una sala de máquinas tienen un sistema común de enfriamiento de agua dulce y comparten un depósito de expansión común. El sistema de refrigeración proporciona refrigeración para los motores auxiliares y sus enfriadores de combustible así como a los respectivos generadores.

Cada sistema de agua dulce para los sistemas auxiliares es un sistema de refrigeración de circuito combinado (sistema de alta y baja temperatura) hay dos bombas acopladas al motor principal una para baja temperatura y otra para alta. La bomba de alta temperatura suministra refrigerante al bloque de cilindros, turbocompresor y las culatas. La bomba de baja temperatura suministra refrigerante para enfriador de aire y el radiador de aceite. Existen bombas eléctricas de reserva para ambos sistemas. Cada motor principal está equipado con un calentador eléctrico para mantener la temperatura aceptable del motor cuando se detiene.

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Sistema de aire de arranque

El sistema de aire de arranque tiene válvulas de segregación entre las salas de máquinas de babor y estribor, hay un compresor de aire de arranque eléctrico en cada sala de máquinas. Hay dos receptores de aire de arranque en cada sala de máquinas. Las válvulas de segregación entre salas de máquinas de babor y estribor deben estar normalmente cerradas.

Hay dos sistemas de aire de arranque independientes a bordo de la embarcación. Cada sistema de suministro de aire de arranque consiste en separadores, un compresor de aire de accionamiento eléctrico, dos receptores de aire de arranque, válvulas de cierre, separador de aceite y agua. El arranque del compresor de aire está dispuesto con arranque y parada automática con el fin de mantener la presión suficiente y segura en los receptores de aire de arranque.

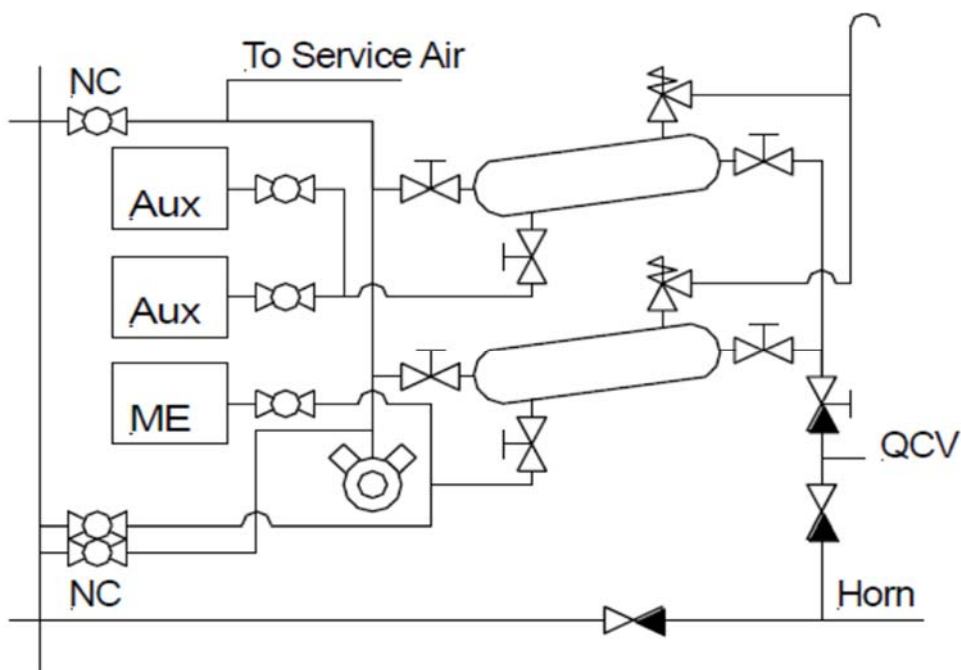


Figura 29 Sistema de aire de arranque en Estribor

Dispone de una purga automática de alta presión, al detenerse, y descarga automática en el arranque del compresor de aire. El aire comprimido desde

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 92

el compresor de aire es dirigido a los receptores de aire de arranque a través de un separador de aceite y agua situado a la salida del compresor.

En cada sala de máquinas hay dos receptores de aire exclusivos para el aire de arranque, uno dedicado al motor principal otro dedicado a los motores auxiliares.

Los receptores de aire tienen válvulas de alivio de presión con salida a cubierta de para evitar la alimentación de aire en la sala de máquinas en caso de incendio.

Una línea de descarga común de ambos compresores a los receptores de aire supe de aire comprimido al panel QCV y la bocina.

SISTEMA DE ACEITE DE LUBRICACION

Sistema de suministro de aceite lubricante

El buque está equipado con el sistema de suministro de aceite lubricante para cada sala de máquinas, cada una consta de un tanque de aceite lubricante para cada motor principal, un tanque de aceite lubricante para cada reductora y un tanque de aceite lubricante para motores auxiliares en cada sala de máquinas.

Aceite Lubricante para los motores principales

Cada motor principal está provisto con un sistema de lubricación independiente. Cada sistema se compone principalmente de un cárter de aceite, una bomba de aceite adosada al motor, una bomba de pre lubricación / reserva de accionamiento eléctrico y dos enfriadores de aceite con una válvula termostática. La bomba de aceite accionada por el motor extrae aceite del cárter de aceite, a través de un colador, y refrigera el aceite en los enfriadores de agua dulce del motor, posteriormente el aceite pasa por un filtro de aceite y es enviado al cárter o recirculado nuevamente siendo controlado este proceso por una termo-válvula

Si la bomba de aceite acoplada falla, la bomba de pre lubricación impulsada eléctricamente se iniciará automáticamente y actuara como una bomba de aceite. También se proporciona una bomba de pre lubricación de accionamiento eléctrico para cada motor diésel.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 93

Aceite de lubricación para los motores auxiliares

Hay un sistema de aceite independiente para cada motor auxiliar en cada sala de máquinas. El sistema de aceite para cada motor es un cárter húmedo con un sistema de lubricación forzada. La bomba de aceite accionada por el motor extrae aceite del cárter de aceite, a través de un colador, y refrigera el aceite en los enfriadores de agua dulce del motor, posteriormente el aceite pasa por un filtro de aceite y es enviado al cárter o recirculado nuevamente siendo controlado este proceso por una termo-válvula

Cada sala de máquinas tiene un separador de aceite de lubricación para los motores auxiliares. El separador tiene un sistema de tuberías que permiten elegir cuál de los sistemas de aceite de los motores auxiliares deben ser procesados. Si las válvulas son operadas mal el resultado puede ser que el aceite se transfiera de un motor a otro. Este cambio en la operación no se debe hacer cuando el barco este en DP. La bomba de alimentación del separador también se puede utilizar para vaciar el cárter de aceite.

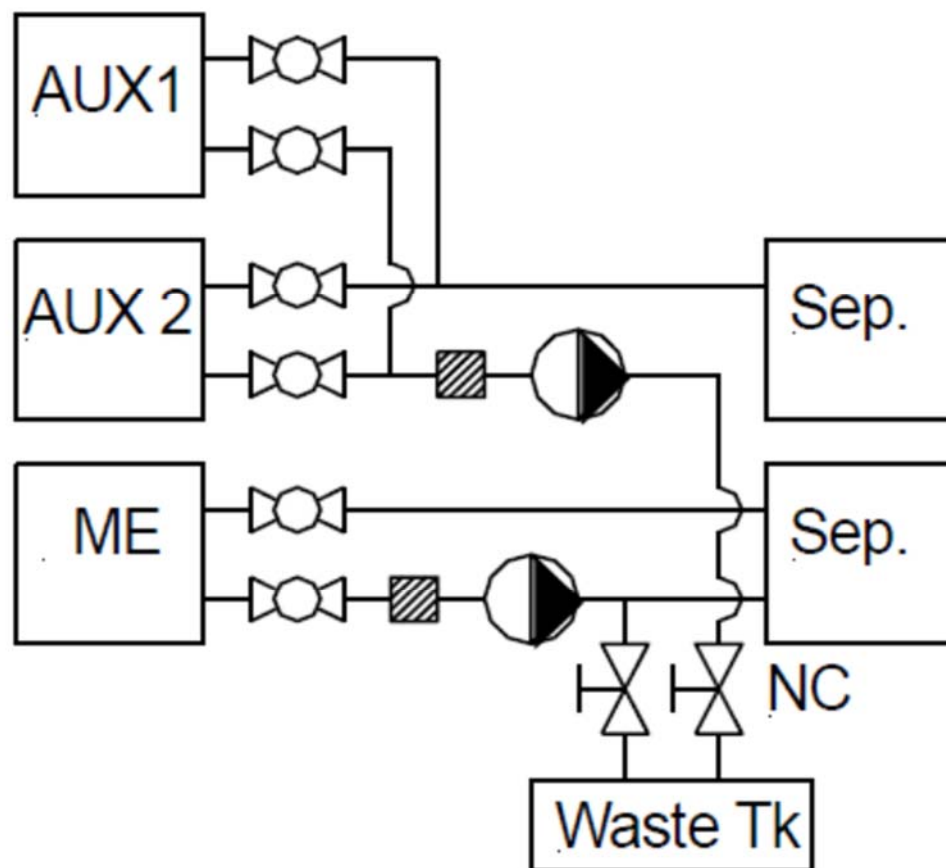


Figura 30 Esquema del sistema de Aceite de lubricación para el motor principal y Aux.

Aceite lubricación para el generador de emergencia

El motor diésel de emergencia tiene su propio sistema de lubricación independiente y carece de bomba de pre lubricación. El sistema de aceite del motor está compuesto de un cárter húmedo, sistema de alimentación forzada. La bomba de aceite accionada por el motor extrae aceite del cárter de aceite, a través de un colador, y refrigera el aceite en los enfriadores de agua dulce del motor, posteriormente el aceite pasa por un filtro de aceite y es enviado al cárter o recirculado nuevamente siendo controlado este proceso por una termo-válvula.

Sistema de aceite lubricación para la reductora

La reductora está construida con dos sistemas de aceite lubricante totalmente separados. Cada sistema de aceite para la reductora consta de una bomba de aceite acoplada y una bomba de reserva accionada

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 95

eléctricamente y un refrigerador de aceite. Además posee una bomba PTI para su uso cuando la propulsión sea en modo eléctrico y de una bomba eléctrica para trabajar sin el motor diésel principal conectado a la reductora.

VENTILACIÓN

Ventilación Sala de Máquinas.

Cada sala de máquinas está equipada con su propio sistema de suministro aire, este sistema consta de dos ventiladores de inyección axial de 450V AC. Cada sistema de ventilación está equipado con suministro de aire forzado en el extremo de popa de cada sala de máquinas con los conductos de distribución de aire de suministro y con escape neutral en el extremo delantero de cada sala de máquinas a través de las chimeneas.

Los motores principales y los auxiliares en cada sala de máquinas obtienen su aire de combustión desde la sala de máquinas. Los ventiladores de suministro están controlando automáticamente la velocidad con relación a la temperatura y presión ambiental. Los ventiladores pueden detenerse automáticamente por la apertura de los sistemas contraincendios de CO₂.

Ventilación sala de las hélices de proa

Cada sala de las hélices de proa está equipada con su propio sistema de suministro de aire por ventilación de tiro forzado. El sistema consiste en unos ventiladores de alimentación axial 450V AC para la ventilación general de las habitaciones y para la refrigeración de los transformadores

Ventilación sala de las hélices de popa

Todas las salas de las hélices de popa están equipadas con su propio sistema de suministro de aire por ventilación de tiro forzado que consiste en unos ventiladores de inyección axial 450V AC para la ventilación general de las salas y para la refrigeración de los transformadores.

Ventilación / AC Oficina y Control de maquinas

La oficina y el control de la sala de máquinas están equipados con un sistema combinado de aire acondicionado (AC), que consiste en un ventilador de 450V AC de alimentación, un compresor, una unidad de

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 97

Figura 31 Representación esquemática del IAS

Dentro de cada CPU hay un PLC que se comunica con los sistemas siguientes:

- PMS
- Convertidores de frecuencia de las hélices
- Convertidores de frecuencia de las bombas de carga
- Cuadros de arranque/paro remoto
- Arrancadores inteligentes
- Generadores diésel

Todas las comunicaciones son a través de Profibus DP / FDL con excepción de la comunicación con los generadores diésel que es a través de la línea serie RS422.

Además, existen los paneles de alarma en la máquina, los paneles de alarmas en las zonas de descanso e impresoras (no indicado en el diagrama anterior). Hay un panel de alarma y una impresora en el control de máquinas y en el puente. Dichos paneles pueden ser activados o desactivados a voluntad del operador desde el control de máquinas pudiendo navegar en condición de maquina desentendida cuando la situación lo permita.

SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA (PMS)

El barco está equipado con un sistema de gestión de energía del tipo Siemens PMA 300 que controla los generadores eléctricos conectados a los motores diésel. Con una configuración esquemática tal y como se muestra en el grafico mostrado a continuación.

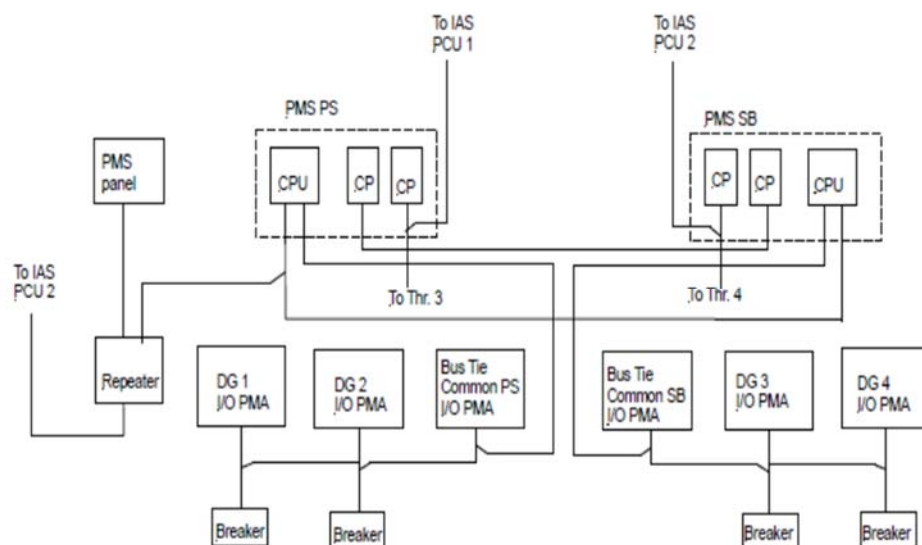


Figura 32 Esquema del PMS

El sistema consta de dos unidades de PMA independientes, situadas en cada cuadro principal de 6,6kV. Ambos PMA controlan automáticamente los cuadros de distribución 6,6kV (conmutación de los interruptores, la sincronización, reparto de la carga, las limitaciones de potencia, arranque / parada dependiente de la carga de Generadores Aux., bloqueo del arranque o petición de arranque de grandes consumidores, control de los generadores de reserva, arranque / parada manual de los motores auxiliares, etc.)

Las CPU se encuentran en dos estaciones de control totalmente redundantes. El controlador se encargará de todas las funciones del PMS, excepto del arranque / parada en forma manual que es controlado por el Sistema de Seguridad del motor. Cuando el sistema se establece en local, las funciones del PMS son puenteadas y toda la operación es manual.

En total existen tres niveles de operación de los diésel generadores.

- A nivel local en el motor en sí.
- En remoto IAS.
- En remoto. Forma automática controlada por el programa PMS.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 99

Para cada breaker del generador se utiliza un sincronizador externo ubicado en el cuadro principal, el PMS emitirá un comando de sincronización para el sincronizador real hasta que el interruptor este cerrado o se haya superado el tiempo de espera. Se utilizara un sincronizador diferente para el interruptor de conexión a barra el PMS usa este sincronizador para cerrar el interruptor de conexión a barra cuando el operador envía un comando de cerrado desde el IAS.

El breaker del generador se abrirá / desconectara si ocurre lo siguiente:

- Sobre corriente
- Cortocircuito
- Potencia inversa

Operar con los breakers de barra cerrados requerirá que el sistema está equipado con sofisticados sistemas de protección, que sean capaces de manejar tanto una bajo excitación como un aumento / reducción de la carga abriendo el breaker del generador antes de una pérdida de equipos importantes para el DP en caso de un corto circuito.

El cuadro principal del barco se puede configurar en dos modos diferentes de la siguiente manera:

NO SPLIT: Bus-Tie Breaker cerrado todos los cuadros eléctricos conectados entre sí todos los generadores que trabajan juntos como en un sistema.

MODOS SPLIT: Bus-Tie Breaker abierto el cuadro principal se divide en dos secciones.

Las caídas de planta serán detectadas mediante la medición de la tensión en la barra utilizando una señal en vivo y la posición del interruptor de unión de las barras Cuando se confirma una caída de planta se dará una señal de arranque a todos los generadores diésel disponibles en la barra activa.

Cuando PMS detecta un disparo de un breaker o una señal de parada, responderá inmediatamente si la carga está sobre un límite de carga preestablecido, o uno de los generadores está por encima de su "límite de la reducción de la carga"

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 100

El PMS emitirá una orden para reducir la carga para los consumidores / unidades en la barra de bus activo, esto reducirá la carga del sistema inmediatamente, y arrancará uno de los motores en Stand-by si está disponible.

SISTEMA DE CONTROL DP

General

El buque está equipado con un sistema de control de posicionamiento dinámico Kongsberg Maritime SDP-21 (dual redundante) y SDP-11 (en solitario) con el fin de cumplir con DNV DYNPOS AUTRO (OMI DP clase 3).

Las estaciones de operación de DP y los ordenadores se comunican entre sí con una red dual redundante. Las estaciones de operación SDP-21 duales redundantes se encuentran en el puente principal y el SDP-11 se encuentra localizado en la quinta cubierta en lo que se define como el puente de emergencia.

Los controladores DP que son el "cerebro" del sistema DP se comunican con cada cuadro de control de las hélices (TCC, sistema de control de hélice de los proveedores). El joystick Independiente está cableado directamente a la TCC.

El operador puede cambiar los controles de la hélice entre el DP / Manual o en Joystick por medio de un selector manual. Mediante la selección del Joystick todos los comandos las hélices se transfieren a la C-Joy y el DPO puede controlar el barco mediante el uso del Joystick.

En operaciones de clase 2/3 se deben tener disponibles al menos tres referencias de posición, y de acuerdo a la OMI MSC / Circ 645 éstas no deberán ser del mismo principio. Tres o más sistemas de referencia activarán automáticamente la función de prueba permitiendo que el sistema de control de DP pueda excluir los datos de referencia inestables y aun así mantener una buena posición con una cierta degradación de la calidad. La función de prueba en el sistema de control KM DP se centra únicamente en el número de sistemas de referencia DP y no en su tipo.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 101

El operador puede cambiar manualmente los controles de las hélices entre el sistema principal de control del DP y el DP de reserva. Cuando el DP de reserva se encuentra en HOT stand-by se actualiza de forma continuada por las entradas de los sensores, sistemas de referencia de posición, retroalimentación de las hélices etc., para poderle ser transferido el control sin perturbaciones cuando sea necesario. El paso del DP principal al DP de reserva no debe afectar al mantenimiento de la posición o el rumbo del buque. El interruptor de cambio DP está montado en la OS del DP de reserva. El DPO será alertado si el sistema de control de DP de reserva no está en modo de espera o ha observado una desviación entre la entrada de datos del controlador.

Para operaciones de clase DP 2 y DP 3 deben estar disponibles por lo menos tres referencias de posición, con lo que el sistema puede excluir cualquier dato de referencia inestable y aun así mantener una buena posición con cierta degradación de la calidad. La advertencia Análisis Consecuencia determinada por Kongsberg no toma esto en cuenta y reacciona directamente con la bajada de disponibilidad de potencia o empuje insuficiente (propulsores y generadores).

Estaciones de Operador

Hay tres estaciones de operador (DP OS). Los dos equipos DP principales (OS 1 y 2) en el puente se colocan a babor de la consola central trasera y el tercero (SO 3) se coloca en el puente de emergencia. Cada OS consta de los siguientes componentes;

- Panel de mando con joystick y botones
- Un monitor de pantalla plana
- Equipo OS

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 102



Figura 33 Estación de operación de DP Kongsberg

El sistema operativo tiene mínimos de hardware; el ordenador interactúa con el operador con el panel operativo y la pantalla; la selección de sensores, las referencias y las hélices se anulan o selecciona utilizando una configuración de Windows XP. Hay botones de acceso rápido en la consola para operaciones rápidas y selector de modo operativo, las configuraciones de las hélices y sistemas de referencia se pueden activar a través de una ventana en el software o por medio de botones de presión. El sistema operativo está equipado con un Joystick para el control manual de las hélices y del buque en general. El operador puede seleccionar el control de joystick de uno o de dos movimientos del barco y la DP controla el resto.

La pantalla de la consola se divide en un área grande de la derecha y dos áreas más pequeñas de la izquierda, el tamaño de estas zonas no se puede cambiar. Cada una de las áreas puede mostrar una página separada de la información, que puede ser seleccionado por el operador.

Pueden mostrar lo siguiente:

- Estado: Muestra el estado de los sistemas activos de referencia y su ponderación.
- Potencia: Gráfico de barras sobre la potencia disponible / consumidos en cada bus-bar
- Rumbo: muestra el giroscopio, la rotación
- Posición: Muestra la posición buque incluidos los límites de aviso y alarma

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 103

- Fuerza: vector de empuje del barco, y el vector de viento y la corriente

Se muestran las alarmas cuando se pulsa el botón "Vista de avisos" en el teclado. Todas las alarmas se presentan en una ventana superpuesta en la pantalla de la consola donde se pulsa el botón. Cuando un operador tiene que introducir información esto también se hace mediante el uso de ventanas superpuestas, que siempre aparecen en el mismo lugar en la pantalla. El cursor se coloca directamente en la ventana de entrada. El puntero se puede mover usando un TrackBall y las selecciones se realizan con tres botones en la parte delantera de la rueda de desplazamiento.

Los colores pueden ser seleccionados de diferentes paletas, (por ejemplo, Luz del día, el atardecer y la noche). La paleta de 'Noche' tiene diferentes colores para dividir la información y comandos. Todos los botones del teclado son de color negro con el texto blanco. Los botones dobles pulsadores se visualizan mediante una línea blanca debajo del texto en el botón que se ilumina cuando es pulsado para indicar su utilización.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 104

DP-Equipos y la red

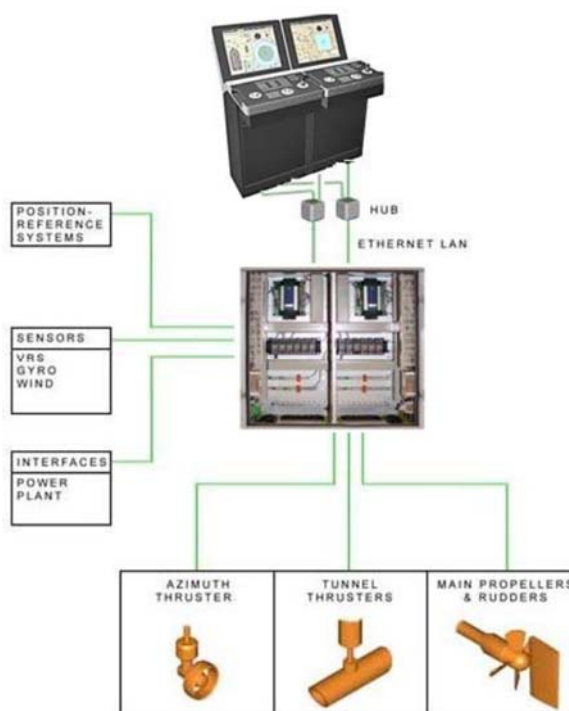


Figura 34 Ejemplo de interface y red de un sistema de DP

El DP de reserva tiene la misma configuración que la red dual como se muestra arriba sin embargo sólo un controlador, la comunicación es por la misma red dual pero con una codificación diferente del paquete de datos.

Las conexiones a los sistemas de la posición de referencia, sensores, propulsores y planta de energía se realizan a través de cables de señal convencionales y líneas de serie a los módulos de I/O en los respectivos cuadros DP (DPC-21 / DPC-11).

La unidad de control, puestos de mando y los controladores de las hélices se comunica a través de una doble red (Net A & B).

Hay tres microprocesadores independientes pero vinculados entre sí del tipo controladores (RCU501). Los controladores están etiquetados respectivamente DPpS01 y DPpS11 para SDP-21 y MPC para SDP-11. Los reguladores supervisan los datos de entrada recibidos de una serie de

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 105

sensores que utilizan una relación maestro-esclavo y generan las señales para las hélices necesarias para la posición y el control del rumbo. Las computadoras y todas las tarjetas de interfaz están ubicadas en el cuadro DPC-21 para SDP-21 y en el cuadro DPC 11 para SDP-11.

La función de las unidades de fuente de alimentación 24VDC / 230VAC (PSU) dentro del cuadro de DP es, entre otras, generar una tensión de referencia estable para los potenciómetros utilizados para las señales de retroalimentación. Los controladores y tarjetas de I/O son de doble fuente de carga a través de la configuración de puente de diodos de ambas UPS del sistema de DP en el cuadro. La pérdida de una fuente de alimentación dará lugar a una alarma en el sistema de DP, y el indicador LED se iluminará cuando el fusible este defectuoso (la DPC-11 de reserva tiene sólo una única fuente de alimentación).

Los tres controladores operan en paralelo, cada uno recibiendo entradas de sensores, sistemas de referencia, hélices y operador y realizando los cálculos necesarios. Sin embargo, sólo el equipo en línea (maestro) controla las hélices. La conmutación entre los ordenadores (maestro / esclavo) puede ser automático o manual. Es automático si se detecta fallo en la computadora conectada en línea. Se realizan pruebas de comparaciones continuamente para comprobar que los tres controladores leen los mismos datos y dan los mismos resultados. Si se produce una diferencia, se mostraran advertencias y alarmas en cada controlador. El punto débil de un sistema redundante dual es la hora de determinar qué equipo está mal; con tres controladores de la DP puede deseleccionar el defectuoso por eliminación. El operador puede, por tanto, en el peor caso, elegir cual es el que está dando el fallo.

La estación de operador de control BU DP se encuentra a babor en la cubierta del puente. Este BU DP es separado del resto de la cubierta del puente por mamparos de asilamiento del tipo A-60. Los sistemas de referencia que pertenecen al sistema de control BU DP es un DPS 200. Los sensores que pertenecen a los sistemas de control BU DP son: Gyro 1, MRU 1, 3 y viento.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 106

El control BU DP situado en el puente es para ser utilizado en el caso de cualquier fallo en el puente principal que conduce a la pérdida de las principales estaciones de control de DP. Cuando se opera de acuerdo a la clase DP 3, también alerta si el control BU DP no está en "espera activa" de configuración y se emite una alarma del sistema.

Modos de control del DP y funciones

Los modos de control normalizados para el DP son en espera, manual (joystick) y la posición de auto. Los modos mixtos entre manual y automático permiten que el control automático del cabeceo, balanceo y guiñada de rumbo sea por separado o combinados. Cuando se seleccionan los tres se hace un cambio automático a modo AUTOPOS. Además el sistema permite seleccionar diferentes modos de control como ROV (Seguimiento del robot), Seguimiento de un trazado predeterminado, y piloto automático.

Los sensores de viento, gyro o VRS utilizados por el sistema de control de DP no se pueden seleccionar directamente desde el teclado. En cambio puede utilizarse, un cuadro de diálogo en la pantalla cuando se quiere seleccionar un sensor en concreto. Si un giroscopio se cae tiene que ser activado / volver a ser seleccionado en el cuadro de diálogo de forma manual. Este no es el caso para los otros sensores.

En el sistema esta implementada una prueba de medidas estándar que detectará una medición de la posición aparentemente perfecta, por ejemplo, la señal de un transpondedor que está siendo arrastrado o la señal DGPS congelada. El sistema está diseñado para que al menos tres sistemas de referencia de posición tienen que ser seleccionados y aceptados por el ordenador del DP. Además el sistema posee otro sistema de prueba de alta varianza que se usa para anular la selección de los sistemas de referencia de posición que muestren un patrón de alta varianza en un período de tiempo prolongado.

El modelo matemático del DP utiliza diversos datos del historial para predecir los valores / posición y comparar así sus predicciones con lecturas reales. El ordenador calcula la fuerza y las hélices requeridas para poder mantener los

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 107

parámetros indicados por el operador. Para lograr un buen modelo matemático del buque este tiene que estar en posición durante algún tiempo con el fin de construir un modelo adecuado con la suficiente información.

Las asignaciones de las hélices se pueden configurar en varios modos:

- Variable: Las hélices están operando de forma individual y libremente
- Fuerza Bias: Las hélices azimutales están funcionando uno contra la otra, los ajustes se pueden realizar desde una ventana emergente independiente además de poderse ajustar la fuerza de empuje
- Fija: En este modo los propulsores de azimut se establecerán en dirección al través. Y sólo la hélice principal será controlar el movimiento longitudinal.
- Modo de buceo: En este modo se restringirá las hélices azimutales para evitar que el chorro de empuje se dirija hacia la campana de buceo.

Sensores del DP

El buque está equipado con los siguientes DP Sensores de

- 3 x sensores de viento
- 3 x Gyro
- 3 x VRS
- Señal desde el ECDIS
- Información desde los cuadros principales

➤ Sensor de viento

Los tres sensores de viento son del mismo tipo Gill Observer con calefacción, y la pantalla del viento es de la marca Observator.

Las ubicaciones son las siguientes:

Viento 1: Mástil principal

Viento 2: Mástil principal

Viento 3: Mástil principal

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 108

Los datos de viento de los sensores de viento son enviados a los siguientes sistemas:

Viento 1: DPC-21

Viento 2: DPC-21

Viento 3: DPC-11, al sistema Joystick Siemens y DPC-21

➤ Gyro.

Hay tres giroscopios instalados, de la marca Anschutz ST22. La señal del rumbo del barco de los giroscopios se envía a los sistemas de la siguiente manera:

Gyro 1: DPC-11, DPS 200

Gyro 2: DPC-21, Seapath 200

Gyro 3: DPC-21, HiPAP 500

➤ Sistema de Referencia Vertical (VRS)

Hay tres de VRS instalados a bordo. Todos son de tipo MRU 5, fabricados por Kongsberg Maritime.

El sistema MRU utiliza dispositivos de estado sólido para medir la velocidad de balanceo, cabeceo y movimiento vertical (MRU 5).

Las señales del MRU se envían a los siguientes sistemas:

MRU5-1: DPC-11 y al DPC 21 y sistema HMS vía serial Line Splitter

MRU5-2: DPC-21, Seapath 200

MRU2-3: DPC-21, HiPAP OS

➤ Sistema de Información y Visualización de la Carta Electrónica (ECDIS)

El sistema de DP recibe información desde la carta electrónica utilizando dichos parámetros para controlar la posición del barco y realizar su modelo matemático de las posibles reacciones del barco.

E lectronic..... Electrónica

C hart..... Carta

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 109

D isplay..... Visualización

I nformation..... Información

S ystem..... Sistema

El ECDIS, en principio fue desarrollado para la navegación, a fin de contribuir a su seguridad, de otro lado, las cartas electrónicas son sólo un aspecto del ECDIS que también es un Sistema de Información Geográfico que permite al usuario llamar la información cartográfica y presentarla en pantalla. Así por ejemplo, un faro está representado en la carta por un símbolo determinado, pero el sistema también es capaz de presentar la información textual de sus características lumínicas, altura a la que se encuentra, datos de la torre que lo sostiene, etc. También puede ser posible ver la foto digital del faro. La cantidad y calidad de la información disponible sobre objetos individuales depende en cuán actualizada, precisa y bien mantenida sea la base de datos cartográfica.

El ECDIS graba estos diferentes detalles en una base de datos geográfica orientada a objetos. De allí que el ECDIS pertenece al grupo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Componentes

a) El hardware del ECDIS es una computadora con capacidad gráfica y de alta resolución, pudiendo ser una PC (sistema operativo DOS o WINDOWS), o una Estación de Trabajo (sistema operativo UNIX), conectada a los equipos de localización (Global Positioning System, GPS), girocompás, radar, corredera, arpa, etc., supliendo vía la interface NMEA la posición constante y precisa del buque (NMEA 0183 National Marine Electronics Association). Igualmente la pantalla del radar puede ser sobrepuesta sobre la carta.

b) El software consiste de una interface de usuario (UI) y el llamado kernel ECDIS; el software permite operar y presentar las cartas electrónicas, mediante botoneras virtuales y comandos que permiten efectuar las diversas funciones para la navegación.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 110

c) La Carta Electrónica de Navegación (ENC) es la data cartográfica original (data S57), está almacenada en un CD-ROM, las actualizaciones pueden ser provistas por radio comunicaciones o por satélite (Inmarsat).

Esta data cartográfica está organizada en celdas que cubren las diversas áreas geográficas sin traslapes de datos. Las celdas contienen los objetos geo-cartográficos como son: boyas, faros, áreas de fondeo, áreas restringidas etc., así como aquellos objetos creados por el usuario para fines propios de la navegación como son: way-points, líneas de rumbo, anotaciones, posiciones fijas etc.,

➤ Información desde el cuadro principal

Desde el cuadro principal el sistema DP recibe información del número de generadores en funcionamiento y la potencia disponible. Con base a esta información, la función de prevención de caídas de planta en el sistema DP se asegurará de que la carga en las hélices no exceda el valor máximo establecido en el DP por medio del número de generadores en línea para evitar la sobrecarga y la desconexión de los generadores en funcionamiento. Esta función permite dar tiempo al PMS para arrancar los generadores de reserva cuando sea necesario.

La reducción se comparte entre las hélices conectadas de tal manera que el efecto sobre la posición y el control del rumbo se reducen al mínimo. La función sólo se limitará a las hélices controladas para evitar que una planta de energía estable tenga una sobrecarga ya que no puede evitar una caída de planta causada por la desconexión de un generador.

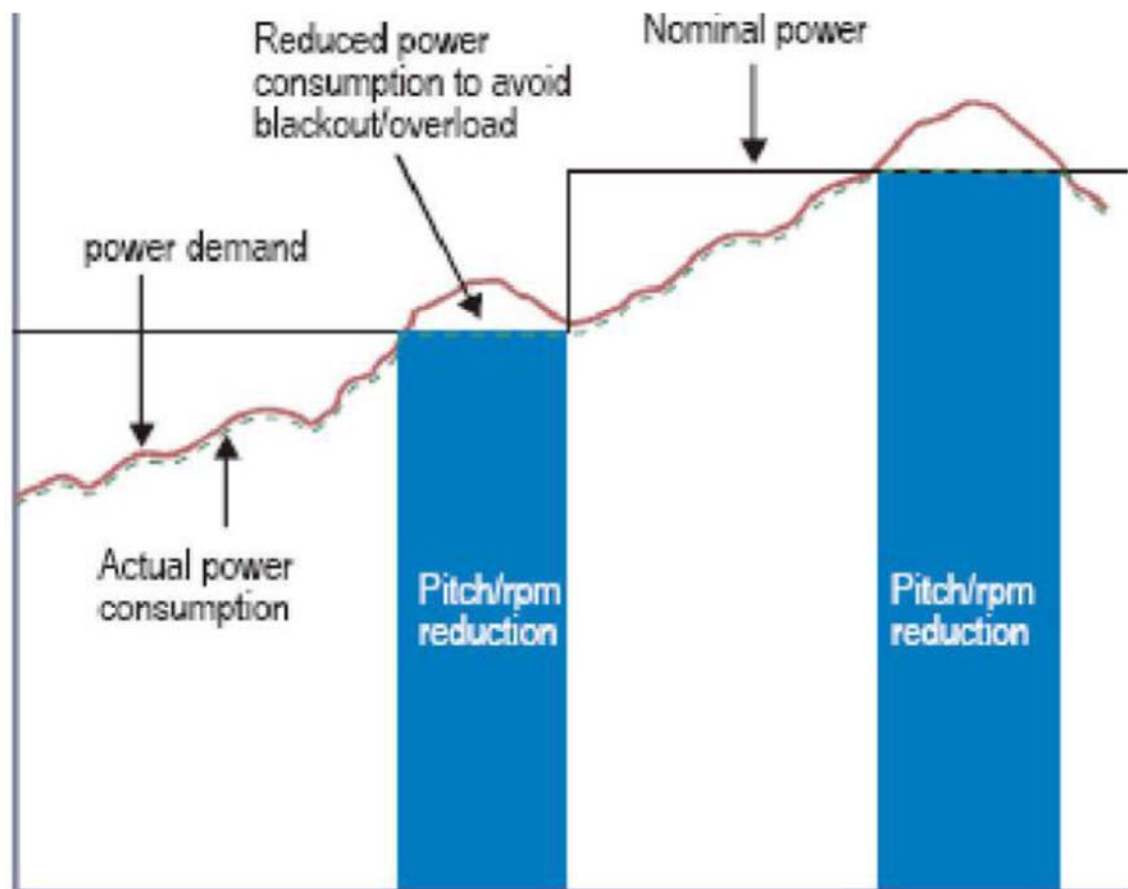


Figura 35 Grafico del control de carga y prevención de caídas de planta

El sistema de control de DP requiere la siguiente información para llevar a cabo la prevención de la caída de planta:

- Estado de alimentación del generador y el breaker
- Estado de conexión de la barra

La limitación de carga en los generadores realiza la limitación de carga en el generador con más carga si se produce una situación de desequilibrio de la carga en la barra de potencia. La protección de sobrecarga se logra reduciendo el paso en las hélices conectadas barra de potencia hasta que el generador más cargado opere dentro de su capacidad nominal.

Sistemas de Referencia de posición

El buque está equipado con los siguientes sistemas de referencia de posicionamiento:

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 112

- 1 x DPS 200
- 1 x Seapath 200
- 1 x HiPAP 500
- 1 x Fanbeam
- DGPS

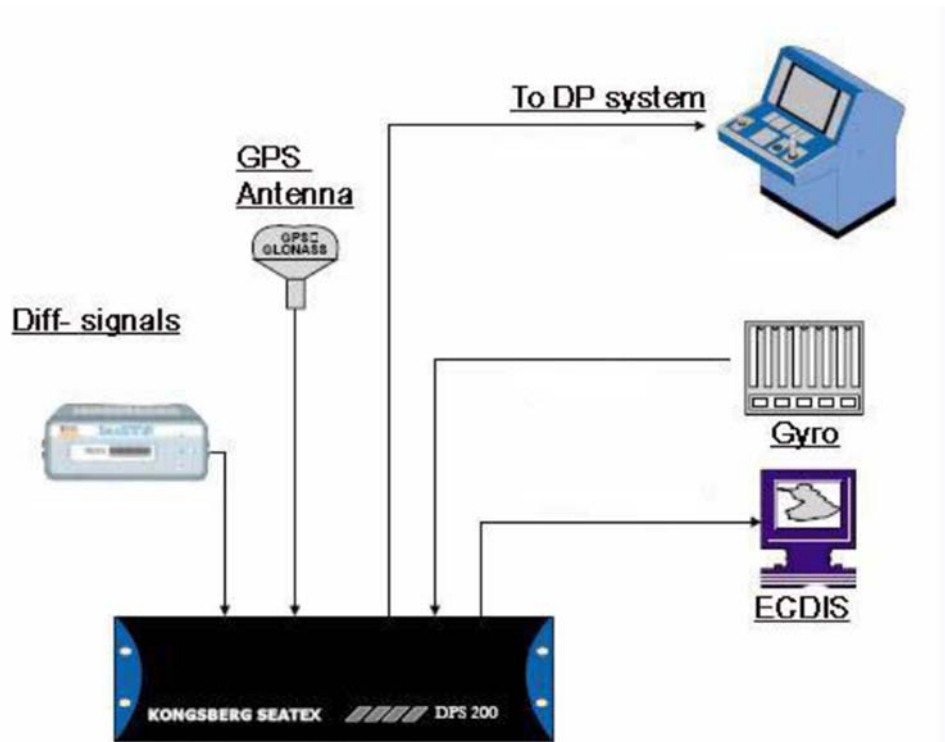


Figura 36 Ejemplo de configuración de DGPS

Hay un sistema diferencial de posicionamiento global (DGPS) instalados a bordo, el Seapath 200, fabricado por Kongsberg Maritime.

El Seatex DPS 200 tiene un GPS de 24 canales combinados y un receptor GLONAS que mejora la cobertura del satélite. El DPO debe asegurarse de que el DPS 200 está configurado para recibir Glonas.

La configuración de la señal de corrección diferencial para el DGPS es IALA / SBAS, Inmarsat y Spotbeam la señal Spotbeam diff. se recibe a través de un demodulador y es enviada al Seapath. La señal de Inmarsat es recibida por el Seapath y enviada al DPS 200.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 113

La señal diferencial AISM / SBAS se recibe de la red oficial de estaciones. Las señales de posición DGPS (NMEA) se introducen en los ordenadores del DP. Las antenas están situadas en el mástil principal. Cada DGPS tiene su propia antena GPS y la antena IALA esta cableada hasta la unidad DPS.

La configuración principal en el puente es con cuatro DGPS que se puede ser utilizada en el sistema de DP, no deben utilizarse los cuatro al mismo tiempo.

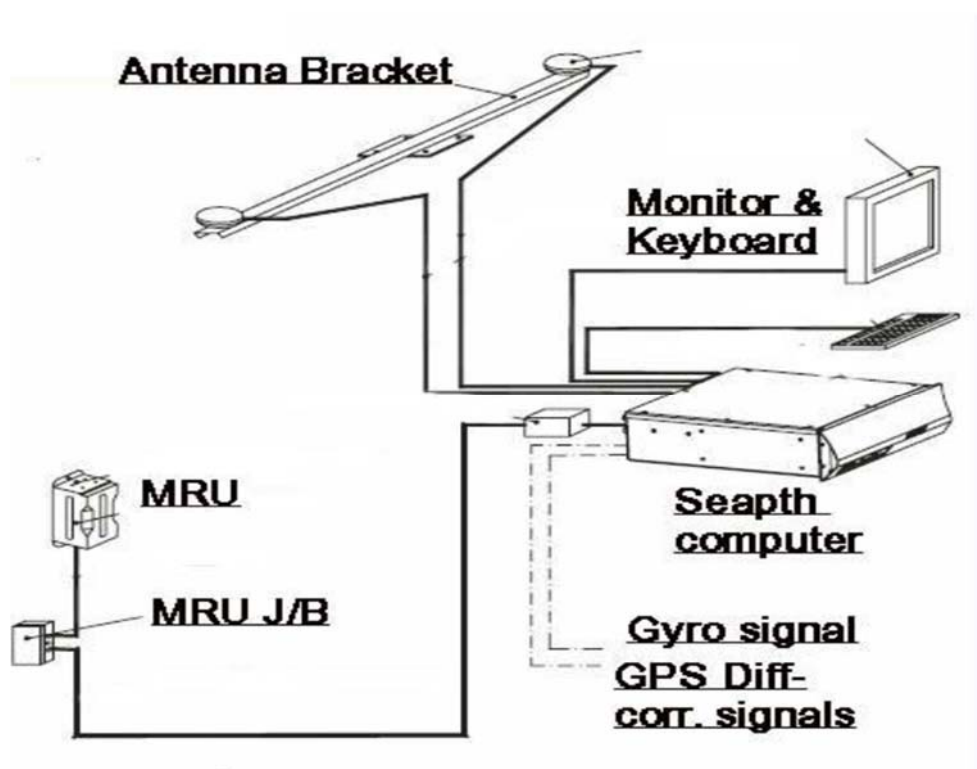


Figura 37 Ejemplo de configuración de DGPS

Las siguientes señales se envían desde o hacia el Seapath:

- Dos señales de Gyro
- Entrada MRU5-2
- Spotbeam y señal del Inmarsat
- HiPAP APC y la salida del Transiver

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 114

El Seapath 200 está ubicado en el puente, mientras que el Seatex DPS 200 está en el puente de emergencia. Un monitor esclavo se coloca en el puente permitiendo la DPO controlar el estado del 200 Seatex DPS.

El Seapath 200 se compone de dos antenas GPS montadas en un soporte con una distancia conocida entre los dos. Una de las ventajas del Seapath comparado con los DGPS tradicionales es que también puede ser utilizado como una referencia de rumbo y movimiento.

El Seapath sistema 200 está conectado a un MRU5 y un giroscopio este último sólo se necesita para la calibración del sistema.

➤ HiPAP

El buque está equipado con un sistema hidro-acústico HiPAP 500. El HiPAP está configurado para USBL y LBL. La unidad HiPAP se encuentra en una sala el lado de babor del casco. En dicha sala se encuentra el equipamiento para moverlo así como el transceptor

HiPAP (**H**igh **P**recision **A**coustic **P**ositioning) "Posicionamiento de alta precisión acústica" está diseñado para todas las profundidades desde aguas de muy poca profundidad donde puede buscar horizontalmente a un transpondedor hasta de aguas profundas (2000m) buscando verticalmente a una unidad estándar. El transductor se extiende por debajo del casco y utiliza un transductor semiesférico con más de 230 elementos y controles electrónicos que permite la transmisión y recepción de haz estrecho centrado en la dirección del transpondedor, lo que reduce el ruido que de otro modo sería recibido desde otras áreas de la esfera.

El sistema calcula una posición submarina en tres dimensiones de un transpondedor en relación con la unidad transductor instalada en el barco. La estabilidad direccional de la unidad se obtiene en primer lugar fijando la ubicación del transpondedor por un haz ancho y posteriormente enfocando un haz estrecho de recepción hacia el transpondedor. El sistema utiliza una forma de haz digital, que toma su entrada de todos los elementos transductores.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 115

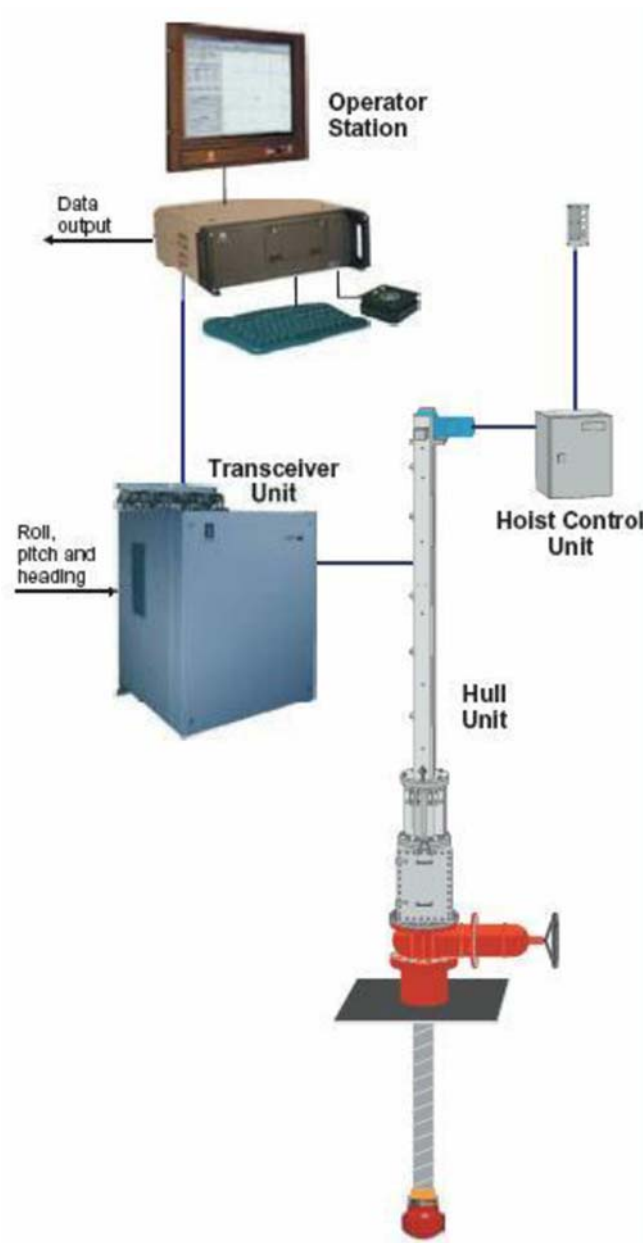


Figura 38 Configuración de un sistema HiPAP

El sistema controla el haz de forma dinámica por lo que siempre está apuntando hacia el objetivo, los parámetros de balance, cabeceo y guiñada son introducidos en el algoritmo de seguimiento para dirigir el haz en la dirección correcta lo que permite la continua corrección de estos movimientos que han de aplicarse de una forma eficaz.

El sistema calcula una variación de sus mediciones; determinando la exactitud del sistema conocido y la desviación estándar. El HiPAP tiene

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 116

incorporado un filtro de Kalman, que mejora la estabilidad y precisión de la orientación inicial del haz estrecho, pero que no interfiere con los datos fijos que se envían a los ordenadores de control de DP.

El HiPAP necesita una señal de rumbo y una señal de VRS para operar, las señales necesarias para utilizar el HiPAP son las siguientes.

- HiPAP
- Gyro 3
- Mru 3
- Seapath 200

Las señales del HiPAP se envían a través fibra óptica para las computadoras APC 11 y de allí al sistema de DP a través de la red dual. La configuración de la Seapath, en el HiPAP ha de estar en acuerdo con el manual operativo del DP. Al calibrar la HiPAP la Seapath es la única fuente de referencia.

➤ Fanbeam

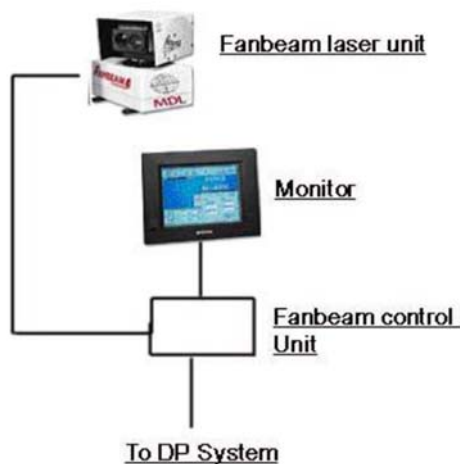


Figura 39 Representación de un sistema con Fambeam

El sistema Fanbeam instalado en barco es del tipo: Fanbeam MK4.2, Auto seguimiento por sistema de Radar láser, realizando la medición de la distancia y demora utilizando un haz láser reflejado. Es un sistema de referencia de rango corto dirigido ya sea un reflector o un prisma. El sistema

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.5	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 117

Fanbeam comprende una unidad de láser, un monitor y una unidad de control, además del reflector o prisma. Las señales de posición Fanbeam se introducen en los ordenadores DP.

El alcance máximo con un solo prisma es de 1 km. con un grupo de prismas este se puede aumentar a más de 2 km en circunstancias ideales. El sistema también se puede utilizar con un reflector simple quedando el alcance máximo limitado entonces a 200-250 metros. La principal limitación en el uso de en el DP es la resolución de la medida que limitará el rango utilizable para DP a unos 100 metros.

El fallo más grave de Fanbeam es que podría realizar un seguimiento de un objetivo erróneo, aunque el sistema tiene capacidad para rechazar objetivos falsos. El uso del sistema de Fanbeam puede estar limitado por las condiciones climáticas, especialmente la niebla, lo que limita el rango máximo del sistema, ya que utiliza un rayo láser infrarrojo (905 nm) y la luz infrarroja es absorbida fácilmente por el aire húmedo.

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 118

3.6. PROCEDIMIENTOS

A continuación se muestra un ejemplo de los procedimientos a seguir en el caso del FMEA que nos ocupa en los siguientes apartados

- Lista de comprobación general
- Lista de comprobación previa a las pruebas
- Distribución de energía
- La producción de energía – operación con el Breaker de barra abierta
- Sistemas Auxiliares
- Sistemas de gestión de energía y automatización
- Hélices y propulsión principal
- El sistema de Joystick independiente
- El sistema de selección del modo de control de maniobras
- La comunicación interna
- Sistema de control de DP
- Comportamiento del control de DP
- Comportamiento de las hélices y motores diésel
- Control de DP de reserva en el puente de emergencia (DP clase 3)
- Segregación en caso de fuego e inundaciones (DP clase 3)

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 119

Lista de comprobación general

Tabla 13 Lista de comprobación general

ITEM	SYSTEM/ EQUIPMENT	REMARKS	VERIFIED ✓
	Check if online power reserve is displayed in main and DP control centre		
	Check if UPS Units are marked with engraved signboards		
	Check if consumers for DP UPS are marked with engraved signboards		
	Check if DGPS and HiPAP cabinets are marked with engraved signboards		
	Check if DGPS and HiPAP monitors are marked with engraved signboards		
	Check if Distr. Boards for DP equipment on bridge are clearly marked and provided with "as-built" drawings and lists inside the respective boards		
	Check if Distr. Boards for DP operation in engine room are clearly marked and provided with "as-built" drawings and lists inside the respective boards		
	Check if signboards are arranged for crossconnection breakers between DC switchboard on bridge and in engine room with text "Crossconnection breakers shall be open and shall not be closed during DP2/3 operation"		
	Check if all thruster levers are marked with engraved signboard		
	Check if DP switch is clearly marked and protected for unintended operation		
	Check if Emergency stop switches, common for PS and SB auxiliary, but with separate contacts, are clearly marked and protected for unintended operation		
	Check if DP OS are marked with engraved signboards		
	Check if Spotbeam demodulators and Inmarsat demodulator are fitted with engraved signboards.		
	Check that Spotbeam demodulators and Inmarsat demodulator are connected by junction boxes, and not by socket outlets		
	Check that socket outlets for DP printers are marked "Only for DP printer"		
	Check that Gyro compass 1, 2 & 3 are clearly marked with its equipment name and number		
	Check that Wind sensor 1 & 2 are clearly marked with its equipment name and number		
	Check that MRU 1, 2 & 3 are clearly marked with its equipment name and number		
	Check that FO crossover valves in engine room are clearly marked with metal sign, for easy identification ("To be closed during DP2 operation").		
	Check that LO crossover valves (engines & Thrusters) are clearly marked with metal sign, for easy identification ("To be closed during DP2 operation").		
	Check DP procedure for ECR, regarding set up. Check especially crossover connection for DC systems, and that load dependent stop in PMS shall be disconnected ("OFF") in DP mode, if not automatically arranged in the PMS DP mode.		
	Check routing of generator and thrusters cable, regarding separation and exposure to heat, etc.		
	Check QCV arrangement regarding impact on DP related systems (redundancy obtained? Clearly marked?)		
	Check fire fighting system for engine rooms regarding impact on DP related systems (simultaneously stop of all engine room ventilation?)		
	Check redundancy of engine room ventilation and fire damper closing systems(common control circuit/sensor for frequency drives? Common control circuits for fire dampers?)		
	Check cabling, connection and overall condition of cabinets for HiPAP transducer in each HiPAP room		
	Note IMO and Call signals		

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 120

Lista de comprobación previa a las pruebas

Tabla 14 Lista de comprobación previa a las pruebas

SYSTEM/ EQUIPMENT	REDUNDANCY REQUIREMENT	REMARKS	OK ✓
Environment for DP 2 operation	Operate within worst case environment limitation. Numbers of generator running, according to the environmental envelope	Consequence analysis activated DP in "Auto-pos" Mode	
2 x DP control system, Main Bridge	Both networks healthy and in operation, all DP controllers healthy and in operation, all work stations healthy and in operations	Independent Joystick in standby	
1 x DP control system, Emerg. Bridge	Networks healthy and in operation, DP controller healthy and in operation, all work stations healthy and in operations		
DP sensors	All sensors healthy and selected		
DP pos. ref system	Minimum tree reference system based in two different principles healthy and selected		
Propulsion control systems	All healthy and in operation		
Bow tunnel thruster T1	Connected to PS. Healthy and ready for operation		
Fwd Azimuth thrusters T2 & T3	Healthy and ready for operation		
Stern tunnel thrusters T4 & T5	Healthy and ready for operation		
Main propellers T6 & T7	All Main propellers healthy and in operation		
Main Propulsion drives	Healthy and ready for operation		
Rudders/ Steering gears	All three Main propellers healthy and in operation		
Diesel generators DG1, DG2, DG3	All diesel generators healthy and running, supplying PS 6,6kV MSB		
Diesel generators DG4, DG5, DG36	All diesel generators healthy and running, supplying SB 6,6kV MSB		
PMS	In DP mode. "Load Dependent Stop" function disconnected.		
6,6kV & 690/450/230V Bus-ties	Bus-ties OPEN		
450/230V ESB	Normally supplied from 450V MSB SB		
230VAC DP UPS units Main Bridge	All units healthy, batteries charged and power supplies available		
230VAC DP UPS unit Emerg. Bridge	Healthy, batteries charged and power supplies available		
230VAC Ships UPS units	All units healthy, batteries charged and power supplies available		
110 DC Ships UPS units	All units healthy, batteries charged and power supplies available		
24VDC Battery systems	All units healthy, batteries charged and power supplies available		
Interconnection switch between B1 & B2	NA		
Interconnection switch between B3 & B4	NA		
Emergency Stop Systems	All healthy and no wire break or power failure alarm, all power sources ready		
FO supply for ME1 & AG1	Supplied from FO Day tank PS. All FO pumps healthy and running		
FO supply for ME2 & AG2	Supplied from FO Day tank SB. All FO pumps healthy and running		
FO crossover valves	All 18 crossover valves to be CLOSED (one on each side of separating bulkhead)		
FO separators PS & SB	Both healthy and in standby		
LO separators and feed pumps PS	Both LO separators and feed pumps healthy and running		
LO separators and feed pumps SB	Both LO separators and feed pumps healthy and running		
DG LO crossover valves	Both LO crossover valves to be CLOSED (one on each side of separating bulkhead)		
Thruster LO crossover valves	All LO crossover valves to be CLOSED (one on each side of separating bulkhead)		
SW cooling pumps PS	All SW pumps No. 1 healthy and running, SW pump No. 2 in standby.		
SW cooling pumps SB	All SW pumps No. 2 healthy and running, SW pump No. 1 in standby		
FW cooling pumps PS	All FW pumps No. 1 healthy and running, FW pump No. 2 in standby		
FW cooling pumps Centre	All FW pumps No. 1 healthy and running, FW pump No. 2 in standby		
FW cooling pumps SB	All FW pumps No. 2 healthy and running, FW pump No. 1 in standby		
Starting air system	Both compressors healthy and running/standby, all crossovers closed	No serious pipe leakage	
Instrument air system	Both systems healthy. All crossovers closed.	No serious pipe leakage	
HVAC	All healthy and running. All ventilation fans running and at least one Chilled water compressor and one Chilled water circulation pump are running		
WT Doors	All WT Doors closed		
NOTE: Stand by start of emergency generator and stand by start of standby pumps are only considered as supporting functions to improve safety and such items are not taken into consideration with regards to evaluating redundancy in design. This means that <i>during the FMEA Trials the emergency generator and all the stand-by pumps shall be stopped and put in Manual Mode.</i> When all these points are confirmed the FMEA Trials test can start.			

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 121

Distribución de la energía

Tabla 15 Barra del cuadro principal de Babor Redundancia grupo A

EQUIPMENT SUB-SYSTEM		POWER DISTRIBUTION	
Test 2.1.8 Main Switchboards Busbar PS - Redundancy group A			
FMEA reference:			
Objective:	To confirm that the redundancy for position keeping are working as intended by design		
Method:	Vessel on Auto DP. All diesel generators on line and all bus ties open (in manual). All thrusters on line. 1. Simulate blackout of 6,6kV MSB PS by stopping running generators on PS 2. After check of expected results, Change main supply and control power for Thruster No. 1 to SB and Start Thruster T1 Reinstate all supply systems and equipment after completion of all tests.		
Results expected:	1. Alarms. Blackout on: 6,6kV MSB PS, 690V MSB PS, 450V MSB PS, 230V MSB PS Stop of/ loss of Loss of Main propulsion motor-PS T6 Loss of one supply for Bow thruster T1 Loss of Bow Thruster T3 Loss of Stern Thruster T5 Loss of Steering gear pump 1 (PS) Loss of Power Supply/ Charging to DP 230V UPS No. 3 Loss of Power Supply/ Charging to Ships 230V UPS No. 1 Loss of Power Supply/ Charging to Ships 110VDC UPS No. 1 Loss of Battery system B1 & B3 including B5 & B7 Loss of ventilation supplied from PS Loss of auxiliary pumps supplied from PS Loss of PMS A (PS) Loss of IAS A (PS) 2. Thruster T1 start up. Check that SW cooling, FW cooling and all auxiliary pumps are running for T1. Run Thruster T1 at 100% in 15 minutes or until temperatures stabilise. Consequence Analysis warning in DP Position-keeping capabilities maintained		
Results:	1. As expected. 2. As expected.		
Comments:			
Witnessed by: (Surveyors name)		Date (dd/mm/yyyy)	

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 122

La producción de energía – operación con el Breaker de barra abierta

Tabla 16 Arranque de un generador en Stand-by

EQUIPMENT SUB-SYSTEM		POWER PRODUCTION	
Test 2.2.3 Standby Start of Generating Set			
FMEA reference:			
Objective:	To demonstrate that the Standby start of generator set is functioning		
Method:	Vessel on Joystick or Manual Levers. Two diesel generators on line (one on each side of bus tie) and bus tie OPEN. All thrusters on line. None connected generator sets in standby. 1. Increase load continuously to maximum on PS busbar 2. Reduce load continuously to minimum on PS busbar 3. Simulate an alarm on running generator set PS 4. Increase load continuously to maximum on SB busbar 5. Reduce load continuously to minimum on SB busbar 6. Simulate an alarm on running generator set SB		
Results expected:	1. Auto start of standby generator set after exceeding power limit and time delay. Synchronising will start and the generator will be connected to busbar and will load share with existing generator set. 2. Standby generator set will disconnect when below power limit. The diesel engine will cool down and stop after a pre set time 3. Auto start of standby generator set. Synchronising will start and the generator will be connected to busbar and will load share with existing generator set. Then Duty generator will disconnect and stop. 4. Auto start of standby generator set after exceeding power limit and time delay. Synchronising will start and the generator will be connected to busbar and will load share with existing generator set. 5. Standby generator set will disconnect when below power limit. The diesel engine will cool down and stop after a pre set time 6. Auto start of standby generator set. Synchronising will start and the generator will be connected to busbar and will load share with existing generator set. Then Duty generator will disconnect and stop.		
Results:	1-6 As Expected		
Comments:			
Witnessed by: (Surveyors name)		Date (dd/mm/yyyy)	

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 123

Sistemas Auxiliares

Tabla 17 Sistemas de aceite y servo para la propulsión principal y las hélices

EQUIPMENT SUB-SYSTEM		AUXILIARY SYSTEMS	
Test 2.3.7 LO & Servo Systems for Main Propulsion and Thrusters			
FMEA reference:			
Objective:	To confirm that the LO system are redundant and are working as intended by design		
Method:	All diesel generators on line and bus tie OPEN. All thrusters on line. DP in Auto mode. 1. Test High level sensor for gravity tank (if applicable) for each main propulsion, Stern Tube and thruster, one at a time. Reinstall 2. Test Low level sensor for gravity tank for each main propulsion, Stern Tube and thruster, one at a time. Reinstall 3. Test High level sensor for shaft seal tank for each main propulsion, Stern Tube and thruster, one at a time. Reinstall 4. Test Low level sensor for Shaft seal tank for each main propulsion, Stern Tube and thruster, one at a time. Reinstall 5. Test Low LO pressure sensor for each Thruster, one at a time. Reinstall 6. Test Low LO pressure switch for start interlock/ autostop(if applicable) for each Thruster, one at a time. Reinstall 7. Test High LO temperature sensor for each Thruster & Main Propeller, one at a time. Reinstall 8. Test Low Hydraulic pressure sensor for each Thruster & Main Propeller (if applicable), one at a time. Reinstall 9. Test Low Pitch pressure sensor for each Thruster & Main Propeller (if applicable), one at a time. Reinstall		
Results expected:	1. Alarm 2. Alarm 3. Alarm 4. Alarm 5. Alarm 6. Alarm 7. Alarm 8. Alarm 9. Alarm		
Results:	Witnessed by PMS.		
Comments:	This test can be cancelled if verified by the Planned Maintenance System		
Witnessed by: (Surveyors name)		Date (dd/mm/yyyy)	

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 124

Sistemas de gestión de energía y automatización

Tabla 18 Comunicación de los sistemas IAS & PMS

EQUIPMENT SUB-SYSTEM		POWER MANAGEMENT AND AUTOMATION SYSTEM	
Test 2.4.1 IAS & PMS System Communication			
FMEA reference:			
Objective:		To confirm that the automation systems are redundant and are working as intended by design	
Method:		Vessel on Auto DP. All generators on line and all bus ties OPEN, All thrusters on line 1. Disconnect the Optical Ethernet ring between OSM1 and OSM2. Reinstall 2. Disconnect the Optical Ethernet ring between OSM2 and OSM3. Reinstall 3. Disconnect the Profibus DP communication between C14 and PCU1/OSM1. Reinstall 4. Disconnect the Profibus DP communication between C10 and PCU2/OSM2. Reinstall 5. Disconnect Ethernet between PMS A and PMS B. Reinstall 6. Disconnect the Profibus DP communication between 6,6kV MSB PS and PCU1/OSM1. Reinstall 7. Disconnect the Profibus DP communication between 6,6kV MSB SB and PCU2/OSM2. Reinstall 8. Disconnect the Profibus DP communication between Frequency converter Cabinet PS and PCU1/OSM1. Reinstall 9. Disconnect the Profibus DP communication between Frequency converter Cabinet SB and PCU2/OSM2. Reinstall	
Results expected:		1. Alarm, operating on the remaining ring. 2. Alarm, operating on the remaining ring. 3. Alarm, operating on the remaining ring. 4. Alarm, operating on the remaining ring. 5. Alarm, operating on the remaining ring. 6. Alarm, operating on the remaining ring. 7. Alarm, operating on the remaining ring. 8. Alarm. Loss of communication for affected cabinet 9. Alarm. Loss of communication for affected cabinet	
Results:		1. All tests As Expected.	
Comments:			
Witnessed by: (Surveyors name)		Date (dd/mm/yyyy)	

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 125

Hélices transversales y propulsión principal

Tabla 19 Parada de emergencia de las hélices trasversales y de la propulsión principal

EQUIPMENT SUB-SYSTEM		THRUSTERS AND MAIN PROPELLERS	
Test 2.5.1 Emergency stops of Thrusters and Main Propellers			
FMEA reference:			
Objective:	To confirm that emergency stops for thrusters and propellers are working as intended by design		
Method:	Vessel on Auto DP, Sufficient generators on line. All thrusters on line 1. Push "Emergency stop" push-button for Bow tunnel thruster T1. Remember to re-instate thrusters between each test 2. Push "Emergency stop" push-button for Bow tunnel thruster T2. Remember to re-instate thrusters between each test 3. Push "Emergency stop" push-button for Fwd Azimuth thruster T3. Remember to re-instate thrusters between each test 4. Push "Emergency stop" push-button for Stern tunnel thruster T4. Remember to re-instate thrusters between each test 5. Push "Emergency stop" push-button for Stern tunnel thruster T5. Remember to re-instate thrusters between each test 6. Push "Emergency stop" push-button for Main propeller PS-T6. Remember to re-instate thrusters between each test 7. Push "Emergency stop" push-button for Main propeller SB-T7. Remember to re-instate thrusters between each test		
Results expected:	1. Alarm in DP, Thruster stops, Reduced Transverse thrust fwd. Consequences Analysis Warning in DP. Position keeping capabilities maintained 2. Alarm in DP, Thruster stops, Reduced Transverse thrust fwd. Consequences Analysis Warning in DP. Position keeping capabilities maintained 3. Alarm in DP, Propulsion motor stops, Reduced Longitudinal and Transverse thrust Fwd. Consequences Analysis Warning in DP. Position keeping capabilities maintained 4. Alarm in DP, Thruster stops, Reduced Transverse thrust aft Consequences Analysis Warning in DP. Position keeping capabilities maintained 5. Alarm in DP, Thruster stops, Reduced Transverse thrust aft Consequences Analysis Warning in DP. Position keeping capabilities maintained 6. Alarm in DP, Propulsion motor stops, Reduced Longitudinal and Transverse thrust aft. Consequences Analysis Warning in DP. Position keeping capabilities maintained 7. Alarm in DP, Propulsion motor stops, Reduced Longitudinal and Transverse thrust aft. Consequences Analysis Warning in DP. Position keeping capabilities maintained		
Results:	1. AS EXPECTED 2. AS EXPECTED 3. AS EXPECTED 4. AS EXPECTED 5. AS EXPECTED 6. AS EXPECTED 7. AS EXPECTED		
Comments:			
Witnessed by: (Surveyors name)		Date (dd/mm/yyyy)	

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 126

El sistema de Joystick independiente

Tabla 20 Sistema de Joystick independiente

EQUIPMENT SUB-SYSTEM		INDEPENDENT JOYSTICK	
Test 2.6.1 Independent Joystick System(IJS)			
FMEA reference:			
Objective:	To confirm that the redundancy and system are working as intended by design (KM)		
Method:	Vessel on Auto DP. Necessary generators on line and bus ties OPEN, All thrusters on line. 1. Switch off both main power supplies for DP control system. Select Independent Joystick in the DP/ Manoeuvre selector 2. Take control at the Joystick and demonstrate full control of the vessel by completing a 40m box and a 360-degree rotation under manual joystick control at IJS. 3. Fail main supply for Independent Joystick. Do not Reinstall. 4. Fail also backup supply for Independent Joystick (if applicable). Select Independent Joystick in the DP/ Manoeuvre selector. 5. Take control with the manual levers and demonstrate full control of the vessel by moving/ rotating the vessel under control of the manual levers. Reinstall		
Results expected:	1. Alarm. 2. The vessel follows Independent Joystick commands 3. Alarm IAS. 4. Alarm IAS (if applicable). Loss of Independent Joystick. 5. The vessel follows commands from manual levers		
Results:	1. OK AS Expected. 2. OK AS expected. 3. OK AS expected. 4. OK AS expected. 5. OK AS expected.		
Comments:	Note. There are two Joysticks on the Bridge: A Siemens and a Kongsberg C-Joy. It's the SIEMENS joystick which is the independent Joystick.		
Witnessed by: (Surveyors name)		Date (dd/mm/yyyy)	

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 127

El sistema de selección del modo de control de maniobras

Tabla 21 Interruptor para la selección de los modos del DP

EQUIPMENT SUB-SYSTEM		DP SYSTEM	
Test 2.7.1 Manoeuvre Control Mode Selector Switch (DP Selector Switch)			
FMEA reference:	FMEA document Section 8 DP Control		
Objective:	To demonstrate that failures of the DP/Manual/JS Changeover switch do not have unpredictable effects on the DP system.		
Method:	With the vessel on full auto DP with all reference systems and sensors selected: 1. Check if selector switch have a protective cover to protect against unintentional operation 2. Select DP Mode. 3. Try to take command on Azimuth thruster panel (bridge wings and main console) 4. Try to take command on Main propulsion panel (bridge wings and main console) 5. If electrical operated selector switch, Fail main power supply to DP/ Manoeuvre selector controller. Do not reinstate. 6. If electrical operated selector switch, Fail backup power supply to DP/ Manoeuvre selector controller. Reinstall. 7. Disconnect wires for "DP Mode selection" (-XA22A-8) Aft/Fwd/bridge wing consoles. Wait for alarm. Reinstall. 8. Disconnect wires for "Joystick Mode selection" (-XA22A-9) Aft/Fwd/bridge wing consoles. Wait for alarm. Reinstall. 9. Disconnect wires for "Lever Mode selection" (-XA22A-10) Aft/Fwd/bridge wing consoles. Wait for alarm. Reinstall. (See Siemens drawing A15467-10-KK-151 (Aft console))		
Results expected:	1. Switch(es) protected against unintentional operation 2. Thrusters under DP control 3. Not possible to take command 4. Not possible to take command 5. Alarm 6. Alarm. All thrusters still in DP Mode 7. Alarm. All thrusters still in DP. No change in position 8. Alarm. All thrusters still in DP. Not possible to take command with Independent Joystick. No change in position 9. Alarm. All thrusters still in DP. Not possible to take command with Manual Levers. No change in position		
Results:	1-9 OK as expected.		
Comments:			
Witnessed by: (Surveyors name)		Date (dd/mm/yyyy)	

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 128

La comunicación interna

Tabla 22 Chequeo de la comunicación interna

EQUIPMENT SUB-SYSTEM				INTERNAL COMMUNICATION																																																																																																																																																			
Test 2.8.1 Internal Communication																																																																																																																																																							
FMEA reference:																																																																																																																																																							
Objective:	To confirm that the internal communication, DP Alert system and bell in the water alarm system is working as intended by design																																																																																																																																																						
Method:	1. Test internal communication, Lights (Green, White, Yellow & Red) and audible alarms for DP Alert system and "Bell in the water" alarms																																																																																																																																																						
Results expected:	1. All actual communications are working properly and all visual and audible alarm signals are functioning																																																																																																																																																						
Results:	1. As expected <table border="1" data-bbox="466 878 1364 1579"> <thead> <tr> <th>LOCATIONS</th> <th>PA</th> <th>INTERCOM</th> <th>CLEAR-COM</th> <th>SOUND POWERED TELEPHONE</th> <th>UHF RADIO</th> <th>DP ALERT SIGNALS</th> <th>BELL IN THE WATER LAMPS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Bridge, Fwd</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td>V</td><td>v</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Bridge, DP station</td><td>v</td><td>V</td><td>OK</td><td></td><td>v</td><td>v</td><td>v</td></tr> <tr><td>Bow Thruster Rm 1</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td>v</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Bow Thruster Rm 1</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td>v</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>ECR</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td>v</td><td>v</td><td></td></tr> <tr><td>ECR Office</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td>v</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Switchboard Rm PS</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td>v</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Switchboard Rm SB</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td>v</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Stern thruster rm 1</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td>v</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Stern thruster rm 2</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td>v</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Propulsion Rm PS</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td>v</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Propulsion Rm SB</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td>v</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>ROV CTRL</td><td>v</td><td>V</td><td>OK</td><td></td><td></td><td>v</td><td>v</td></tr> <tr><td>Offshore manager</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td></td><td>v</td><td></td></tr> <tr><td>Master</td><td>v</td><td>V</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>							LOCATIONS	PA	INTERCOM	CLEAR-COM	SOUND POWERED TELEPHONE	UHF RADIO	DP ALERT SIGNALS	BELL IN THE WATER LAMPS	Bridge, Fwd	v	V		V	v			Bridge, DP station	v	V	OK		v	v	v	Bow Thruster Rm 1	v	V			v			Bow Thruster Rm 1	v	V			v			ECR	v	V			v	v		ECR Office	v	V			v			Switchboard Rm PS	v	V			v			Switchboard Rm SB	v	V			v			Stern thruster rm 1	v	V			v			Stern thruster rm 2	v	V			v			Propulsion Rm PS	v	V			v			Propulsion Rm SB	v	V			v			ROV CTRL	v	V	OK			v	v	Offshore manager	v	V				v		Master	v	V																					
LOCATIONS	PA	INTERCOM	CLEAR-COM	SOUND POWERED TELEPHONE	UHF RADIO	DP ALERT SIGNALS	BELL IN THE WATER LAMPS																																																																																																																																																
Bridge, Fwd	v	V		V	v																																																																																																																																																		
Bridge, DP station	v	V	OK		v	v	v																																																																																																																																																
Bow Thruster Rm 1	v	V			v																																																																																																																																																		
Bow Thruster Rm 1	v	V			v																																																																																																																																																		
ECR	v	V			v	v																																																																																																																																																	
ECR Office	v	V			v																																																																																																																																																		
Switchboard Rm PS	v	V			v																																																																																																																																																		
Switchboard Rm SB	v	V			v																																																																																																																																																		
Stern thruster rm 1	v	V			v																																																																																																																																																		
Stern thruster rm 2	v	V			v																																																																																																																																																		
Propulsion Rm PS	v	V			v																																																																																																																																																		
Propulsion Rm SB	v	V			v																																																																																																																																																		
ROV CTRL	v	V	OK			v	v																																																																																																																																																
Offshore manager	v	V				v																																																																																																																																																	
Master	v	V																																																																																																																																																					
Comments:																																																																																																																																																							
Witnessed by: (Surveyors name)				Date (dd/mm/yyyy)																																																																																																																																																			

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 129

Sistema de control de DP

Tabla 23 Chequeo de la consola de control del DP

EQUIPMENT SUB-SYSTEM				DP CONTROL SYSTEM			
Test 2.9.1 Check of DP Console							
FMEA reference:							
Objective:	To confirm that the DP console and system are working as intended by design						
Method:	Vessel on Auto DP. All generators on line. All thrusters on line. 1. Record overall weather conditions. 2. Check all system pages on screen 3. Perform lamp test 4. Print a page and check correct date and time 5. Test present, previous and marked position functions 6. Test low, medium and high gain setting functions 7. Test speed setting function by changing speed settings 8. Test rotation centre function by changing rotation settings 9. Test all DP Modes (e.g. DP joystick, Auto pos, auto track, Follow targets, etc) 10. DP OS 1 in command. Change speed and gain setting. Take command in DP OS2. Change speed and gain setting. Change speed and gain setting. Take command in DP OS1. Check that all new setting also have been changed in next OP. 11. Change DP switch to Manual and test that all thruster levers are working properly						
Results expected:	1. NA 2. Working 3. All lamps working 4. Correct date and time 5. Normal functionality 6. Normal functionality 7. Normal functionality 8. Normal functionality 9. All modes functioning 10. All new settings have been changed 11. All Thruster levers are working properly						
Results:	1.	CURRENT SPEED:	1,1kts.	WIND SPEED:	26 kts.	WAVE HIGHT:	1,5 mts.
		CURRENT DIRECTION:	235 deg.	WIND DIRECTION:	216 deg.	WATER DEPTH:	32 mts.
	1 to 11 As expected except test item 9 Follow target which is not tested.						
Comments:							
Witnessed by: (Surveyors name)				Date (dd/mm/yyyy)			

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 130

Comportamiento del control de DP

Tabla 24 Comportamiento del control de DP

EQUIPMENT SUB-SYSTEM		REFERENCE SYSTEM PERFORMANCE																																																										
Test 2.10.1 DGPS 1 Performance																																																												
FMEA reference:																																																												
Objective:	To confirm that the performance and accuracy of the DGPS system																																																											
Method:	Vessel on Auto DP. DGPS1 to be the only enabled reference system. Position readings to be done from DGPS 2. 1. Perform a cross pattern manoeuvring.																																																											
Results expected:	1. Accurate positioning obtained																																																											
Results:	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SETTING</th> <th colspan="2">ENVIRONMENT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Speed: 0,3m/s</td> <td>Current: 0,7 kts/ 195 °</td> <td>Wind: 12 kts/ 211 °</td> </tr> <tr> <td>Gain: medium</td> <td>Wave: 0,8 m</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">POSITIONING ACCURACY IN LONGITUDINAL DIRECTION</th> </tr> <tr> <th>Position</th> <th>Northings</th> <th>Eastings</th> <th>Over/under shoot (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start position</td> <td>6400790</td> <td>454858</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>10m Forward</td> <td>6400782</td> <td>454847</td> <td>0,1</td> </tr> <tr> <td>10m Port</td> <td>6400775</td> <td>454856</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>20m STB</td> <td>6400794</td> <td>454843</td> <td>-----</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">POSITIONING ACCURACY IN TRANSVERSE DIRECTION</th> </tr> <tr> <th>Position</th> <th>Northings</th> <th>Eastings</th> <th>Over/under shoot (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start position</td> <td></td> <td></td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>10m Port</td> <td>6400784</td> <td>454850</td> <td>-0,3</td> </tr> <tr> <td>10m FWD</td> <td>6400780</td> <td>454838</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>10m AFT</td> <td>6400785</td> <td>454849</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			SETTING	ENVIRONMENT		Speed: 0,3m/s	Current: 0,7 kts/ 195 °	Wind: 12 kts/ 211 °	Gain: medium	Wave: 0,8 m		POSITIONING ACCURACY IN LONGITUDINAL DIRECTION				Position	Northings	Eastings	Over/under shoot (m)	Start position	6400790	454858	-----	10m Forward	6400782	454847	0,1	10m Port	6400775	454856	0	20m STB	6400794	454843	-----	POSITIONING ACCURACY IN TRANSVERSE DIRECTION				Position	Northings	Eastings	Over/under shoot (m)	Start position			-----	10m Port	6400784	454850	-0,3	10m FWD	6400780	454838	0	10m AFT	6400785	454849	0
SETTING	ENVIRONMENT																																																											
Speed: 0,3m/s	Current: 0,7 kts/ 195 °	Wind: 12 kts/ 211 °																																																										
Gain: medium	Wave: 0,8 m																																																											
POSITIONING ACCURACY IN LONGITUDINAL DIRECTION																																																												
Position	Northings	Eastings	Over/under shoot (m)																																																									
Start position	6400790	454858	-----																																																									
10m Forward	6400782	454847	0,1																																																									
10m Port	6400775	454856	0																																																									
20m STB	6400794	454843	-----																																																									
POSITIONING ACCURACY IN TRANSVERSE DIRECTION																																																												
Position	Northings	Eastings	Over/under shoot (m)																																																									
Start position			-----																																																									
10m Port	6400784	454850	-0,3																																																									
10m FWD	6400780	454838	0																																																									
10m AFT	6400785	454849	0																																																									
Comments:	Maximum overshoot at each new position shall be less than 5 m. Position deviation after 15 minutes of stabilisation, within a circle radius of 3 meter. Heading stability +/- 3 degr.																																																											
Witnessed by: (Surveyors name)		Date (dd/mm/yyyy)																																																										

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 131

Comportamiento de las hélices y motores diésel

Tabla 25 Compartimiento de las hélices

EQUIPMENT SUB-SYSTEM		THRUSTER & DIESEL ENGINE PERFORMANCE																																																																																									
Test 2.11.1 Performance Test of Thrusters																																																																																											
FMEA reference:																																																																																											
Objective:	To confirm that all Thrusters are capable to hold a load of ~ 100% for at least 15 minutes																																																																																										
Method:	Vessel on Auto DP/ manual, Actual thruster in lever/ manual control, Other thrusters on line, Sufficient generators online 1. Maintain 100% load on Thruster for minimum 15 minutes to verify full power capabilities of the Thruster. The test is successful if no abnormalities occurs during the test. Test each thruster, one at a time.																																																																																										
Results expected:	1. Each thruster maintained ~ 100% load for 15 minutes without significantly increase in winding temperature Partly tested due to time restrictions.																																																																																										
Results:	1. As expected <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Thruster</th> <th>Test Started</th> <th>Test Completed</th> <th>Winding Temp at start of test</th> <th>Winding Temp at end of test</th> <th>Winding alarm limit °C</th> <th>Load kW</th> <th>Comments</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>T1</td><td>01.10</td><td>01.26</td><td>OK</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4</td><td>01.10</td><td>01.26</td><td>OK</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T5</td><td>03.41</td><td>03.57</td><td>OK</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T6 A</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T6 B</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T7 A</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T7 B</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td colspan="8">Remark:</td> </tr> </tbody> </table>			Thruster	Test Started	Test Completed	Winding Temp at start of test	Winding Temp at end of test	Winding alarm limit °C	Load kW	Comments	T1	01.10	01.26	OK					T2								T3								T4	01.10	01.26	OK					T5	03.41	03.57	OK					T6 A								T6 B								T7 A								T7 B								Remark:							
Thruster	Test Started	Test Completed	Winding Temp at start of test	Winding Temp at end of test	Winding alarm limit °C	Load kW	Comments																																																																																				
T1	01.10	01.26	OK																																																																																								
T2																																																																																											
T3																																																																																											
T4	01.10	01.26	OK																																																																																								
T5	03.41	03.57	OK																																																																																								
T6 A																																																																																											
T6 B																																																																																											
T7 A																																																																																											
T7 B																																																																																											
Remark:																																																																																											
Comments:	This performance test of thrusters can be combined with the performance test of generators. Tested due to time restrictions. However the vessel has recently completed transit from West Africa with constant load on main propulsion. During the FMEA there was no indication of rising temp when thrusters was forced to 100%																																																																																										
Witnessed by: (Surveyors name)			Date (dd/mm/yyyy)																																																																																								

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 132

Control de DP de reserva en el puente de emergencia (DP clase 3)

Tabla 26 Comportamiento del sistema de DP de reserva

EQUIPMENT SUB-SYSTEM		BACKUP DP CONTROL SYSTEM	
Test 2.12.3 Backup DP Performance			
FMEA reference:			
Objective:	To confirm that the Backup DP controller Backup OS and available reference system and sensors are working as intended by design		
Method:	Vessel on Auto DP. All generators on line. All thrusters on line. 1. Move vessel to ensure correct operation of available reference system 2. Test low, medium and high gain setting functions. Move vessel with different gain settings 3. Test speed setting function by changing speed settings. Move vessel with different speed settings 4. Test rotation centre function by changing rotation settings 5. Test all DP Modes (e.g. DP joystick, Auto pos, auto track, Follow targets, etc, as applicable) 6. Deselect all reference system(s) after about 30 minutes of Backup DP operation and check model control 7. Check manual station keeping using DP Joystick 8. Reinstate all DP controllers, DP OS, reference systems and sensors on main bridge 9. Return to Main DP by turning the Fire-/ Backup switch to Main DP.		
Results expected:	1. Operational positioning within limits 2. Normal functionality 3. Normal functionality 4. Normal functionality 5. All modes functioning 6. Position loss is acceptable, mathematical model is working 7. Normal operation 8. Both DP controllers, both DP OS, all reference systems (Both HiPAPs, DPS132, Seapath) and all sensors (MRU2, MRU3, MRU4, gyro2, gyro3, Wind2, Wind3) are working and enabled 9. Normal Operation		
	1-9 As expected except: During this test it was noted that GPS 1 could not be enabled in BCR OS3. This was unexpected as the GPS is working as intended on the DP OS1 and DP OS2 on the main bridge.		
Comments:	Serviced by Kongsberg. Retested and found OK.		
Witnessed by: (Surveyors name)		Date (dd/mm/yyyy)	

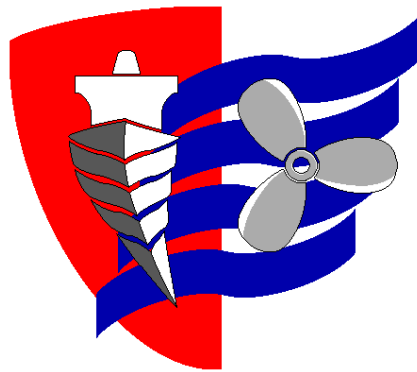
TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-30.3.6
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015
	REV: 0 PÁG. 133

Segregación en caso de fuego e inundaciones (DP clase 3)

Tabla 27 Chequeo del asilamiento A60

EQUIPMENT SUB-SYSTEM		FIRE & FLOODING SEGRIGATION	
Test 2.13.1 A60 Segregation Check			
FMEA reference:			
Objective:	To confirm that the vessel is arranged with a A60 Segregation as intended by design		
Method:	1. Check that Crossover valves for FO, LO, SW, FW, Compressed air and Chilled water systems can be closed at both sides of separating bulkheads. 2. Check that no ventilation ducts have cross-over facilities. 3. Check that no fire doors and WT doors for segregation are damaged or blocked, and that locking devices are intact. 4. Check that the A60 Fire segregation including fire insulation are intact in engine rooms, switchboard rooms, propulsion room and thruster rooms. 5. Check routing of cables for Backup DP including DPS200 antennas(GPS, IALA & Spotbeam), MRU1 and thruster interface cables		
Results expected:			
Results:	1. Crossover valves can be closed at both sides of separating bulkheads. 2. No visible ventilation ducts have cross-over facilities 3. No blocking of doors: All doors close properly. 4. No damages or wrong modifications of fire insulation. 5. All visible cable routing within A60 segregation Found Ok as far as possible to inspect.		
Comments:			
Witnessed by: (Surveyors name)		Date (dd/mm/yyyy)	

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



CONCLUSIONES

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-40	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 135

4. CONCLUSIONES

De todo lo indicado con anterioridad podemos sacar varias conclusiones respecto a una prueba de FMEA tanto de las razones por las cuales tiene que hacerse así como de los beneficios que de esta prueba se derivan. Por lo que podemos decir que las razones principales para realizar una prueba Anual de DP (FMEA) serían.

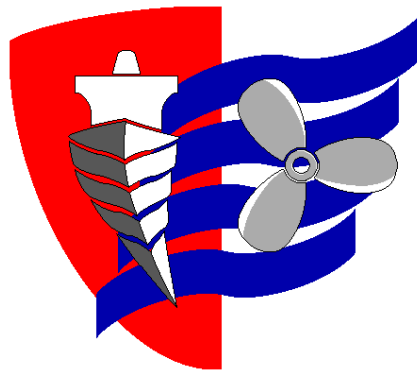
- Demostrar que el sistema de DP es totalmente funcional, como se pretende realizar con toda la potencia y la disponibilidad de empuje.
- Verificar el nivel de redundancia establecida por el FMEA.
- Verificar la eficacia de las funciones esenciales y alarmas de protección
- Comprobar que los modos de fallo y efectos de las modificaciones o mejoras se entienden completamente y se incorporan en los procedimientos del FMEA y procedimientos operacionales
- Satisfacer las exigencias de la sociedad de clasificación para la prueba anual.
- Satisfacer las exigencias de la sociedad de clasificación para reconocimiento de renovación periódica (según corresponda).
- Ser una herramienta efectiva para verificar, actualizar y, en general gestionar adecuadamente el FMEA, evitando así la necesidad de tener que repetir el FMEA.

En cuanto a los beneficios de una prueba Anual de DP (FMEA) entre otros podemos enumerar los siguientes.

- Dar a la tripulación del buque la oportunidad de ser testigo de los modos de fallo y los efectos que estos modos de fallo tienen en el sistema de DP y el barco que nunca podrían ser vistos durante las operaciones rutinarias
- Dar a la tripulación del buque la oportunidad de presenciar el buque en ciertos modos de funcionamiento o configuraciones que no podrían ver de otra manera.
- Dar al personal técnico la oportunidad de aumentar su comprensión de los modos de fallo de los componentes del sistema DP y también la adecuada re-configuración y / o el restablecimiento de esos componentes
- Incrementar la confianza en el barco de la tripulación y el cliente y jugar un papel importante en la formación y competitividad de la tripulación.

Por todas estas razones queda claramente argumentada la necesidad y eficacia de realizar esta prueba ya que gracias a tanto la tripulación como las operaciones estarán en un ambiente lo más seguro posible

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ANEXOS

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-60	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 137

5. ANEXOS

5.1. ANEXO I

INDICE TABLAS

Tabla 1. Estructura de la codificación del proyecto.....	10
Tabla 2. Nomenclatura utilizada para la definición de los documentos.....	10
Tabla 3. Identificación de proyectos a realizar por el propio proyectista.....	10
Tabla 4. Tipo de documento.	11
Tabla 5. Lista de procesos y subprocesos.....	11
Tabla 6 Notación de clase de las diferentes sociedades clasificadoras.....	32
Tabla 7 Documentación necesaria para un FMEA.....	37
Tabla 8 Descripción del diseño de AP-2 Ejemplo 1.	40
Tabla 9 Descripción del diseño de DP ejemplo 2.....	42
Tabla 10 Descripción del diseño de AP-2.	45
Tabla 11 Generadores al cuadro principal de 6,6 kV	68
Tabla 12 Principales consumidores de 6,6 kV	69
Tabla 13 Lista de comprobación general	119
Tabla 14 Lista de comprobación previa a las pruebas.....	120
Tabla 15 Barra del cuadro principal de Babor Redundancia grupo A	121
Tabla 16 Arranque de un generador en Stand-by.....	122
Tabla 17 Sistemas de aceite y servo para la propulsión principal y las hélices	123
Tabla 18 Comunicación de los sistemas IAS & PMS.....	124
Tabla 19 Parada de emergencia de las hélices transversales y de la propulsión principal.....	125
Tabla 20 Sistema de Joystick independiente	126

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-60	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 138

Tabla 21 Interruptor para la selección de los modos del DP.....	127
Tabla 22 Chequeo de la comunicación interna.....	128
Tabla 23 Chequeo de la consola de control del DP	129
Tabla 24 Comportamiento del control de DP	130
Tabla 25 Compartimiento de las hélices	131
Tabla 26 Comportamiento del sistema de DP de reserva.....	132
Tabla 27 Chequeo del asilamiento A60	133

5.2. ANEXO II

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 Barcaza sumergible Breton Rig 20.	14
Figura 2 Primera plataforma flotante “Mr. Charlie”.....	15
Figura 3 Plataforma de perforación flotante Western Explorer.	16
Figura 4 Plataformas semi –sumergibles de la clase Victoria Ocean Baroness y Ocean Rover.....	18
Figura 5. DP Rig Sedco 445.	19
Figura 6 MV Ben Ocean Lancer.....	20
Figura 7 Cuss 1.....	21
Figura 8 El concepto general de los sistemas redundantes y grupos de componentes.	38
Figura 9 Propulsión con notación de clase AP-2.	41
Figura 10 Configuración con 4 hélices y sistema DP.....	41
Figura 11 Concepto general de sistemas redundantes y grupos de componente.	43
Figura 12 Diagrama de las dependencias de hélices de un sistema de DP y el sistema de DP.....	45

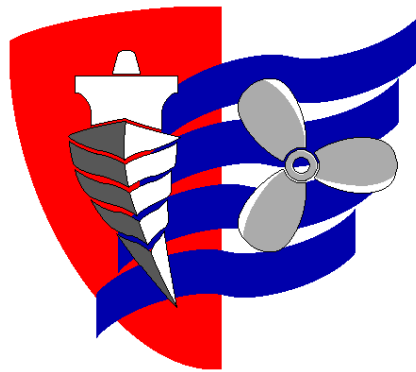
TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-60	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 139

Figura 13 Propulsión con notación de clase AP-2.	45
Figura 14 Representación simplificada de modelo de propagación de fallo.	46
Figura 15 Representación esquemática de propagación de un fallo.	47
Figura 16 Propagación de un fallo primario entre subsistemas.	48
Figura 17 Propagación de fallo.	48
Figura 18 Representación de los grupos de componentes separados físicamente.	50
Figura 19 Figura de la representación de las zonas estancas de un barco.	50
Figura 20 Movimientos básico de un barco.	55
Figura 21 El principio de accionamiento de propulsores y hélices.....	56
Figura 22. Sistemas de posicionamiento más comunes.	57
Figura 23 Disposición del buque corte transversal	59
Figura 24 Plano general de disposición del buque	60
Figura 25 Esquema de conexión de los cuadros principales	67
Figura 26 Esquema del servicio de combustible.....	83
Figura 27 Esquema del sistema de refrigeración de las hélices de proa	87
Figura 28 Sistema de refrigeración de las hélices de popa	88
Figura 29 Sistema de aire de arranque en Estribor	91
Figura 30 Esquema del sistema de Aceite de lubricación para el motor principal y Aux.....	94
Figura 31 Representación esquemática del IAS.....	97
Figura 32 Esquema del PMS.....	98
Figura 33 Estación de operación de DP Kongsberg	102
Figura 34 Ejemplo de interface y red de un sistema de DP.....	104
Figura 35 Grafico del control de carga y prevención de caídas de planta .	111
Figura 36 Ejemplo de configuración de DGPS.....	112

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-60	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 140

Figura 37 Ejemplo de configuración de DGPS.....	113
Figura 38 Configuración de un sistema HiPAP	115
Figura 39 Representación de un sistema con Fambeam.....	116

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



BIBLIOGRAFÍA

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-70	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 142

6. BIBLIOGRAFÍA

6.1. PÁGINAS WEB

- Titular de la página Web (empresa, autor o responsable).
<http://dirección> (Consultada en mes de año).
- AENOR.
<http://www.aenor.es/aenor/normas/buscadornormas/buscadornormas.asp> (Consultada en febrero de 2015).
- DOCSETOOL
<http://docsetools.com/articulos-informativos/index.html>
- OFFSHORE-MAG
<http://www.offshore-mag.com/index.html>
- OFFSHORE ENERGY TODAY
<http://www.offshoreenergytoday.com/>
- FMEA INFOCENTER
<http://www.fmeainfocentre.com/index.htm>
- MONOGRAFIAS
<http://www.monografias.com/>
- INNOVANDO
<http://innovando.net/>
- PETROWIKI
<http://petrowiki.org/PetroWiki>

6.2. NORMATIVA

- UNE-EN ISO 9001:2008 “Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos”
- DNV Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) of Redundant Systems RECOMMENDED PRACTICE
- DNV Dynamic positioning systems -class entry options

TRABAJO FIN DE MÁSTER	REF: 001-70	
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA	FECHA: 11/06/2015	
	REV: 0	PÁG. 143

RESPONSABILIDAD DEL TRABAJO

AVISO:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Master de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Master así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”