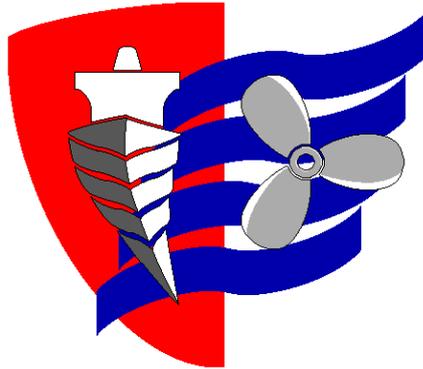


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS
ASOCIADOS A LA PROPULSIÓN DENTRO
DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA
SEGURIDAD (SGS)**

**DESIGN OF CRITICAL EQUIPMENT RELATING
TO PROPULSION IN THE INTERNATIONAL
SAFETY MANAGEMENT CODE (ISM)**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

Autor: César Díez

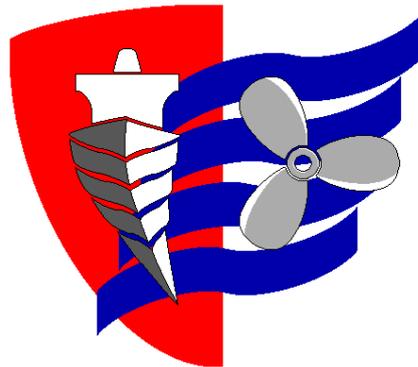
Octubre – 2013

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.	Objetivos del proyecto	6
1.1.5.	Sistema de codificación del proyecto.....	7
1.1.6.	Abreviaturas.....	8
1.2.	Antecedentes.....	10
1.2.1.	Introducción al Código internacional de gestión de la seguridad..	10
1.2.2.	Objetivos del Código ISM	11
1.2.3.	Estructura del Código ISM	13
1.2.4.	El análisis de riesgos	18
1.2.5.	Métodos comparativos de análisis de riesgos.....	22
1.2.6.	Métodos generalizados de análisis de riesgos.....	25
1.3.	Concepto de equipo crítico en el SGS.....	30
1.3.1.	Proceso para identificar un equipo crítico en el SGS.....	33
1.3.2.	Concepto de equipo esencial (diferencia respecto a “equipo crítico”).....	36
2.	Metodología.....	41
2.1.	Identificación de equipos críticos asociados a la propulsión. diferencia entre equipo crítico y equipo esencial.	41
2.2.	Definición de instalaciones	45
3.	Desarrollo	51
3.1.	Instalación con un solo equipo propulsor (motor diesel o turbina de vapor)...	51

3.1.1.	Equipos en stand-by servicios esenciales de la máquina propulsora. Buque UMS.....	51
3.1.2.	Equipos en stand-by servicios esenciales de la maquina propulsora. Buques no UMS	53
3.1.3.	Sistemas de monitorización / alarma y Dispositivos de seguridad	55
3.1.4.	Equipos y sistemas técnicos asociados a la línea de ejes.....	61
3.1.5.	Listado resumen equipos críticos (un solo equipo propulsor) ...	73
3.2.	Instalación con dos equipos propulsores y una sola línea de ejes .	74
3.2.1.	Navegando con las dos máquinas	75
3.2.2.	Navegando con una sola máquina.....	79
3.2.3.	Listado resumen equipos críticos (dos máquinas y una línea de ejes)	81
3.3.	Instalación con dos máquinas y dos líneas de eje.....	82
3.3.1.	Listado resumen equipos críticos (dos máquinas y dos líneas)	88
3.4.	Instalación con cuatro equipos propulsores y dos líneas de ejes ...	89
3.5.	Sistemas de propulsión redundantes.....	89
4.	Conclusiones.....	92
5.	Anexos	94
6.	Bibliografía	102
6.1.	Libros.....	102
6.2.	Páginas Web	102
6.3.	Normativa	102

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.1
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 6

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. TÍTULO

Diseño de los equipos críticos asociados a la propulsión dentro del sistema de gestión de la seguridad (SGS).

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 Grado al objeto de obtener el título de Grado de Ingeniería Marítima.

1.1.3. JUSTIFICACIÓN

El tema escogido para la realización de este TRABAJO FIN DE GRADO está relacionado con mi perfil profesional y me ha servido para profundizar en determinados conceptos relacionados con el sistema de gestión de la seguridad operacional y su aplicación.

1.1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Este trabajo tiene como finalidad alcanzar los siguientes objetivos:

- Definir el concepto de *equipo o sistema técnico crítico* dentro del sistema de gestión de la seguridad operacional y prevención de la contaminación (SGS)

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 7

- Establecer las diferencias entre el concepto de *equipo crítico a identificar en el SGS* y el concepto de *equipo esencial*.
- Establecer una metodología de trabajo sencilla para la determinación e identificación, dentro del SGS, de los equipos y sistemas críticos asociados a la propulsión marina basándose en métodos de análisis de riesgos.

1.1.5. 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 1.1 Estructura de la codificación del proyecto.

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

Tabla 1.2 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 1.3 Identificación de proyectos a realizar por el propio proyectista.

CÓDIGO	PROYECTO INDIVIDUAL
001	Trabajo fin de grado, modelo para futuros proyectos profesionales

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.1
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 8

Tabla 1.4 Tipo de documento.

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

Tabla 1.5 Lista de procesos y subprocesos.

CÓDIGO	TIPO DE DOCUMENTO
10	Planteamiento del problema 1.1. Introducción 1.2. Antecedentes 1.3. Concepto de equipo crítico en el SGS
20	Metodología 2.1. Identificación de equipos críticos asociados a la propulsión 2.2. Definición de instalaciones 2.3. Alarmas y sistemas de seguridad reglamentarios para sistemas de propulsión marinos
30	Desarrollo 3.1. Instalación con un solo equipo propulsor (motor o turbina de vapor) 3.2. Instalación con dos equipos propulsores y una sola línea de ejes 3.3. Instalación con dos máquinas y dos líneas de eje 3.4. Instalación con cuatro equipos propulsores y dos líneas de ejes 3.5. Sistemas de propulsión intrínsecamente redundantes
40	Conclusiones
60	Anexos
70	Bibliografía

1.1.6. ABREVIATURAS

ACR Análisis cuantitativos de riesgos

AMFEC Análisis del modo de fallos, efectos y criticidad

APR Análisis preliminares de riesgos

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 9

AMWSS (alarm monitoring and watch safety system) Sistema de seguridad de la guardia del Puente y monitorización de alarmas

CGS Certificado internacional de gestión de la seguridad

CPP (controlable pitch popeller) Hélice de paso controlable

DOC (document of compliance) Documento de cumplimiento con el código del sistema de gestión de la seguridad

ETA (event tree analysis) Análisis de árbol de fallos

FMA (failure mode analysis) Análisis de modos de fallo

FTA (failure tree analysis) Análisis de de árbol de fallo

FP (fixed propeller) Hélice de paso fijo

ISMC (international safety management code) Código internacional de gestión de la seguridad operacional y de prevención de la contaminación marina

ISO (international organization of standarization) Organización internacional de estandarización

MCR (maximun continuos rate) Máxima potencia continua

OMI Organización marítima internacional

OCMI Organización consultiva marítima internacional

PTI (power take in) Toma de fuerza transmisión de potencia

RO-RO PAX (roll-on/roll-of passenger ship) Buque de pasaje y transbordo rodado

SGS Sistema de gestión de la seguridad operacional y prevención de la contaminación marina

SOLAS (safety of live at sea Convention) Convenio internacional de la seguridad de la vida humana en la mar

UMS(unmanned engine room) Espacio de máquinas sin dotación permanente

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 10

UPS (uninterruptible power source) Fuente ininterrumpida de potencia eléctrica

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. INTRODUCCIÓN AL CÓDIGO INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD

La necesidad de establecer unos niveles internacionalmente aceptados en lo relativo a la seguridad de la vida humana en la mar, la seguridad de los buques y la navegación, y la prevención de la contaminación del medio ambiente marino condujo a la constitución de la Organización Marítima Internacional (OMI). Esta tuvo lugar en una Conferencia Internacional celebrada en el año 1948 bajo los auspicios de las Naciones Unidas. El acuerdo constitutivo de la OMI, (entonces OMCI) entró en vigor en 1958 y desde entonces la OMI ha promovido la formulación y aceptación general de convenios internacionales y reglas uniformes relativas a la seguridad marítima y la prevención de la contaminación.

A pesar de estas normas, los accidentes marítimos continúan produciéndose y cada catástrofe ha dado lugar a la adopción de nuevas reglas o a la modificación de las existentes, con el fin de evitar la repetición de accidentes similares. Esto ha ocurrido en el caso de accidentes como los del *Amoco Cádiz*, *Herald of Free Enterprise*, *Estonia* y *Erika*.

Pero la seguridad no depende solo de las normas de diseño, construcción y equipamiento de los buques. En las operaciones marítimas resulta primordial identificar donde puede surgir un accidente y asegurarse de que los riesgos se evitan o eliminan antes de que se produzca una situación crítica. En consecuencia, se ha visto la necesidad de considerar el papel del **elemento humano** y de la **gestión de las operaciones**. La gestión de la seguridad se puede considerar de forma análoga a la gestión de un proceso productivo. El

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 11

propósito de esta gestión debe estar perfectamente definido. Una vez establecido este punto de partida, es posible determinar si se están traspasando los límites de la seguridad y en ese caso, llevar a cabo las acciones correctoras pertinentes. Basándose en estos principios, la OMI adoptó el **Código Internacional de Gestión de la Seguridad** (*International Safety Management Code, ISM*).

El propósito del Código ISM es el establecimiento de unos niveles internacionalmente aceptables para la gestión de la seguridad de las operaciones marítimas, fijando unas normas mínimas para la organización y gestión de las compañías navieras y operadores de buques en relación con la seguridad operacional y la prevención de la contaminación marina.

Los elementos de un buen sistema de gestión están expresados con claridad en la Norma ISO 9000 de Gestión de Calidad. Los principios reflejados en esta norma se pueden emplear en una gran variedad de sistemas de gestión, y muchos de los requisitos contenidos en la Norma ISO 9000 se utilizan en el ISM.

El Código Internacional para la Gestión de la Seguridad fue aprobado por la Resolución A.741 (18) de la OMI en noviembre de 1993, y su aplicación resulta de obligado cumplimiento de acuerdo con el capítulo IX del Convenio SOLAS 74/78 enmendado.

1.2.2. OBJETIVOS DEL CÓDIGO ISM

El Código ISM reconoce como objetivo en su preámbulo, el de *“proporcionar una norma internacional sobre gestión para la seguridad operacional del buque y la prevención de la contaminación”*.

Tal y como el propio Código reconoce en su art. 1.2, el objetivo es: *“garantizar la seguridad marítima y que se eviten, tanto las lesiones personales o pérdidas de vidas humanas, como los daños al medio ambiente, concretamente al medio marino y a los bienes”*.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 12

Para llevar a cabo esa premisa fundamental, el art. 1.2.2 indica que los objetivos de la gestión de la seguridad de la compañía abarcarán, como mínimo, los siguientes puntos:

1. *establecer prácticas de seguridad en las operaciones del buque y en el medio de trabajo*
2. *evaluar todos los riesgos señalados para sus buques, su personal y el medio ambiente, y tomar las oportunas precauciones; y*
3. *mejorar continuamente los conocimientos prácticos del personal de tierra y de a bordo sobre la gestión de la seguridad, así como el grado de preparación para hacer frente a situaciones de emergencia que afecten a la seguridad y al medio ambiente.*

En relación con la **evaluación de los riesgos potenciales**, el Código ISM siempre ha dado por supuesta la idea de la evaluación del riesgo operacional, sin embargo, en la redacción original no se incluía la misma como una exigencia formal. Las enmiendas al Código ISM, las cuales entraron en vigor el uno de enero de 2010, se acercan más hacia esta idea y especifican que la compañía debe adoptar un enfoque basado en el riesgo para realizar la gestión de la seguridad. El método para evaluar el riesgo y establecer salvaguardias se deja a la elección de cada compañía individual, sujeto a la aprobación de la Administración.

Como el propio nombre del Código ISM refleja, la protección y seguridad del medio ambiente constituye uno de los principales objetivos perseguidos. Para lograrlo, la compañía debe establecer principios que deberá mantener y aplicar tanto a bordo de los buques como en tierra (art. 2 *“Principios sobre seguridad y protección del medio ambiente”*).

Como se puede presuponer en vista de los objetivos del Código ISM, de las *“Prescripciones de orden funcional aplicables a todo sistema de gestión de la seguridad”* (art. 1.4.2) y del propio nombre que se le ha asignado al Código en su forma completa (*Código Internacional de la Seguridad Operacional del buque y la prevención de la contaminación*), este constituye una de las gruesos de su implantación en cuanto a la elaboración de planes para las operaciones de a bordo.

Con el objetivo de elaborar estos planes para las operaciones de a bordo, y tal como nombra el art. 7, *“La compañía adoptará procedimientos, planes e*

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 13

instrucciones, incluidas las listas de comprobación que proceda, aplicables a las operaciones más importantes que se efectúen a bordo en relación con la seguridad del buque y la prevención de la contaminación”. Además, “se delimitarán las distintas tareas que hayan de realizarse, confiándolas a personal competente”.

De igual modo, considerando los objetivos del Código ISM y las prescripciones de orden funcional (art. 1.4.5), la compañía debe estar preparada para afrontar situaciones de peligro.

Así como en el art. 8 (*“Preparación para Emergencias”*), la compañía debe definir las posibles situaciones de emergencia a bordo, y describir como hacerlas frente. Con tal fin, la compañía debe establecer programas de ejercicios y prácticas que sirvan de preparación para actuar con la debida urgencia. Todo ello debe quedar reflejado en el Sistema de Gestión de la Seguridad (SGS), donde se deben proveer las medidas necesarias para garantizar que la compañía, como tal, pueda en cualquier momento actuar eficazmente en relación con los peligros, accidentes y las mencionadas situaciones de emergencia que afecten a sus buques.

1.2.3. ESTRUCTURA DEL CÓDIGO ISM

Su articulado es breve (tan solo 16 artículos) pero establece principios y objetivos de carácter general, para dotarlo de la necesaria flexibilidad que le permita una aplicación exitosa y amplia. Ya que, como bien dice su Preámbulo, *“nunca dos compañías navieras o propietarios son idénticos”* y *“estos operan en condiciones muy diversas”*.

Parte A del Código ISM

La parte A del Código está constituida por los doce primeros artículos, y constituye la fase de *“implantación”*:

1.- Generalidades; donde se definen ciertos conceptos, tales como Compañía y Administración. Se estipulan los objetivos del Código y su aplicación.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 14

2.- Política de Seguridad y Protección del medio ambiente; dispone que la compañía establecerá una política de seguridad y protección del medioambiente para alcanzar los objetivos del Código, asegurándose que sea aplicada y mantenida, tanto abordo como en tierra. Esta política de seguridad es el punto de partida del sistema. Debe ser un compromiso del más alto nivel de la dirección de la compañía y redactado por ésta. La política de seguridad deberá ser revisada y modificada según sea necesario, teniendo en cuenta los resultados de dicha política, la legislación vigente y otros factores que influyan en la misma. La política de seguridad incluirá, al menos, los siguientes objetivos:

- evitar daños a las personas o pérdidas de vidas;
- evitar daños al medio ambiente;
- evitar daños a los bienes materiales, propios o ajenos.

3.- Responsabilidad y Autoridad de la Compañía; indica el procedimiento a seguir en caso que la entidad responsable de la explotación del buque no sea el propietario. Además establece que la compañía debe definir y documentar la responsabilidad, autoridad y relación entre el personal que gestiona, realiza y verifica trabajos relacionados con la seguridad y la prevención de la contaminación.

4.- Persona designada; para garantizar la seguridad de cada buque y con el fin de proporcionar un enlace entre las compañías y el personal de flota, las compañías designarán una persona o personas en tierra directamente vinculadas a la alta dirección de la empresa. La responsabilidad y autoridad de la persona o personas designadas incluirá el seguimiento de los aspectos relacionadas con la seguridad y la prevención de la contaminación en la explotación de cada buque y asegurar que se utilizan los recursos y apoyos necesarios.

5.- Responsabilidad y autoridad del Capitán; la compañía debe definir y documentar de forma clara la responsabilidad del Capitán en lo relativo a:

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 15

- la implantación de la política de seguridad y prevención de la contaminación de la compañía;
- motivar a la tripulación para que se lleve a cabo dicha política;
- impartir ordenes e instrucciones claras y simples;
- verificar que se respetan los procedimientos e instrucciones;
- revisar periódicamente el sistema de gestión de la seguridad a bordo e informar de sus deficiencias a la dirección de la compañía. La periodicidad con la que se lleva a cabo tal revisión, debe estar indicada en el SGS.
- la compañía expresará de forma inequívoca, dentro de la documentación del SGS, la autoridad del Capitán.

6.- Recurso y personal; la compañía garantizará que los buques estén tripulados por gente de mar competente y titulada, impartiendo instrucciones al nuevo personal, instruyendo al personal sobre el Sistema de Gestión de la Seguridad en idiomas que entiendan, y asegurando que el personal del buque pueda comunicarse de manera efectiva. El SGS es un sistema estructurado y basado en documentos, que permita al personal de la compañía implantar de forma eficaz las políticas de seguridad y protección medioambiental.

7.- Elaboración de planes para las operaciones de abordaje; la compañía debe elaborar planes e instrucciones para las principales actividades a bordo que afecten a la seguridad y al prevención de la contaminación. Se definirán las tareas asociadas y las mismas se asignarán a personal competente. Además, el alcance de la exigencia de elaborar dichos planes se debe ampliar más allá del buque y la contaminación marina, debiendo incluir también al personal del buque y al medio ambiente en general.

8.- Preparación para emergencias; la compañía determinará las posibles situaciones de emergencia a bordo y adoptará procedimientos para hacerlas frente. Se establecerán programas de ejercicios y simulacros con el objetivo de preparar al personal para responder ante

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 16

situaciones de emergencia. El SGS incluirá medidas que garanticen que la estructura organizativa de la compañía es capaz de responder ante las situaciones de peligro, emergencias o accidentes que afecten a sus buques. Se debería incluir, al menos, los siguientes procedimientos:

- Incendio
- Abandono del buque
- Colisión
- Varada
- Inundación
- Fallo del aparato de gobierno
- Fallo de la propulsión
- Fallo de la planta eléctrica
- Derrame de hidrocarburos

9.- Informes y análisis de los casos de incumplimiento, accidentes y acaecimientos potencialmente peligrosos; el SGS incluirá procedimientos para garantizar que se notifican a la Compañía los incumplimientos, accidentes y sucesos potencialmente peligrosos y que los mismos se investigan y analizan, con el propósito de mejorar la seguridad y la prevención de la contaminación. La compañía adoptará procedimientos para aplicar las correspondientes medidas correctivas, incluidas las destinadas a evitar que se repitan los problemas.

10.- Mantenimiento del buque y su equipo; la compañía establecerá procedimientos para asegurar que se mantiene el buque de acuerdo con lo previsto en las normas y reglamentos pertinentes, así como en los requisitos adicionales que pueda haber prescrito la compañía. En cumplimiento de estos requisitos, la compañía se asegurará de lo siguiente:

- Se efectúan inspecciones con la periodicidad apropiada;

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 17

- Se informa de los incumplimientos y de sus posibles causas, si se conocen;
- Se toman las acciones correctoras adecuadas;
- Se mantienen registros de estas actividades.

La compañía establecerá procedimientos en su SGS para identificar los equipos y sistemas cuyo fallo repentino pueda provocar incidentes peligrosos. El SGS incluirá medidas específicas con el propósito de aumentar la fiabilidad de tales equipos o sistemas. Estas medidas incluirán la comprobación periódica de los equipos auxiliares y de los equipos o sistemas que no estén en uso continuo. Las inspecciones mencionadas en el párrafo 10.2 y las medidas a las que hace referencia el párrafo 10.3 del Código, se integrarán en la rutina de mantenimiento del buque. Estas acciones pueden seguir los siguientes pasos:

1. Planear.- preparar un programa de mantenimiento y control de los equipos y materiales que tengan influencia directa en la operación segura y eficaz del buque;
2. Hacer.- llevar a cabo el plan de acuerdo con lo programado. Registrar las anomalías existentes y llevar a cabo las medidas correctoras necesarias;
3. Controlar.- revisar y evaluar la aplicación del programa y registrar las deficiencias detectadas en la aplicación del mismo;
4. Actuar.- tomar las medidas necesarias para corregir las deficiencias, tanto en relación al buque, como con respecto al personal de tierra.

11.- Documentación; la compañía adoptará procedimientos de control de la documentación y datos relacionados con el SGS, asegurando su actualización, revisión y eliminación.

12.- Verificación por la compañía, examen y evaluación; la compañía efectuará auditorías internas para comprobar que las actividades se ajustan al SGS, evaluando su eficacia y tomando medidas para subsanar las deficiencias observadas. Estas auditorías internas se realizarán, tanto en los buques, como en tierra al menos una vez cada doce meses.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 18

Parte B del Código ISM

Esta parte está constituida por los arts.13, 14 y 15, y es la dedicada a “*certificación y verificación*”:

13.- Certificación y verificación periódica; el buque debe ser operado por una compañía a la que se haya expedido el **Documento de Cumplimiento** (DOC) aplicable a dicho buque, siendo éste expedido por la Administración (entendiéndose Estado de abanderamiento), una organización reconocida por la Administración y que actúe en su nombre o el gobierno del país en el que la compañía haya elegido establecerse. Una copia de éste documento deberá mantenerse a bordo. La administración, o las organizaciones reconocidas por ella, expedirán a los buques un certificado llamado **Certificado de gestión de la seguridad** (CGS) o bien en inglés *Safety Management Certificate*, debiendo éstos verificar periódicamente que el SGS aprobado del buque, funciona correctamente.

14.- Certificación provisional; se expedirá el Documento provisional de Cumplimiento para facilitar la implantación inicial del Código, así como un Certificado provisional de gestión de la seguridad de 6 meses de duración como máximo por la Administración o por una organización reconocida por ésta, o a petición de la Administración, por otro Gobierno Contratante.

15.- Verificación; se llevarán a cabo todas las directrices para la implantación del Código internacional de gestión de la seguridad.

16.- Modelos de certificados; el Código incluye en su apéndice los diferentes certificados y documentos redactados en lengua oficial. Si el idioma no es el inglés o el francés, el texto incluirá una traducción a uno de estos dos idiomas.

1.2.4. EL ANÁLISIS DE RIESGOS

Introducción

Como se ha visto reflejado en los estudios sobre determinados accidentes de origen industrial ocurridos en los últimos años, parece claro que las personas, los bienes materiales y el medio ambiente están sometidos a unos

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 19

determinados riesgos por la sola presencia de una determinada instalación industrial y la actividad que esta desarrolla. La cuestión clave está en decidir qué tipo y nivel de riesgos estamos dispuestos a admitir en contrapartida a los beneficios que genera una determinada actividad industrial.

Por tanto, para poder decidir si este tipo de riesgos es aceptable, se requiere estimar su magnitud, por lo que se hace necesario realizar un análisis sistemático y lo más completo posible de todos los aspectos que pudiera implicar para las personas, los bienes materiales y el medio ambiente, la realización de una determinada actividad. En este caso se hace inevitable analizar estos riesgos y valorar si su presencia es o no admisible. Esto es lo que se denomina **análisis de riesgos**. Se trata de estimar el nivel de peligro potencial de una determinada actividad industrial para las personas, los bienes materiales y el medio ambiente, en términos de cuantificar la magnitud del daño y de la probabilidad de ocurrencia.

Los análisis de riesgos tratan, por tanto, de estudiar, evaluar, medir y prevenir los fallos y las averías de los sistemas técnicos y de los procedimientos operativos que puedan iniciar y desencadenar sucesos no deseados (accidentes) que afecten a las personas, los bienes materiales y el medio ambiente.

Objetivos

Los métodos para la identificación, análisis y evaluación de riesgos son una herramienta muy valiosa para abordar con decisión su detección, causa y consecuencias que puedan acarrear, con la finalidad de eliminar o atenuar los propios riesgos, así como limitar sus consecuencias, en el caso de no poder eliminarlos.

Los objetivos principales son:

- I. Identificar y medir los riesgos que representan los sistemas técnicos de una actividad determinada para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales.
- II. Deducir los posibles accidentes graves que pudieran producirse.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 20

- III. Determinar las consecuencias en el espacio y el tiempo de los accidentes, aplicando determinados criterios de vulnerabilidad.
- IV. Analizar las causas de dichos accidentes.
- V. Discernir sobre la aceptabilidad o no de los propios sistemas técnicos y operaciones a llevar a cabo en una determinada actividad.
- VI. Definir medidas y procedimientos de prevención y protección para evitar la ocurrencia y/o limitar las consecuencias de los accidentes.
- VII. Cumplir los requisitos normativos nacionales e internacionales que persiguen los mismos objetivos.

Aspectos a tratar en los análisis de riesgos

Los aspectos de un análisis sistemático de riesgos que implica una determinada disposición técnica, desde el punto de vista de la prevención de accidentes, están íntimamente relacionados con los objetivos que se persiguen. Son los siguientes:

1. Identificación de sucesos no deseados, que pueden conducir a la materialización de un peligro.
2. Análisis de las causas por las que estos sucesos tienen lugar.
3. Valoración de las consecuencias y de la frecuencia con que estos sucesos pueden producirse.

En la siguiente figura, se representan estos aspectos, lo que implica acciones diferentes en cada caso.



Fig 1. Aspectos a considerar en el análisis de riesgos.¹

Cada uno de estos aspectos fija su atención en cuestiones importantes sobre el análisis de los peligros de una determinada actividad.

El primer aspecto trata de contestar a la pregunta siguiente: ¿Qué puede ocurrir? Es propiamente la identificación de los riesgos mediante técnicas adecuadas.

La siguiente cuestión trata de contestar a la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las consecuencias? Se trata de aplicar métodos matemáticos de análisis de consecuencias.

¹ <http://www.unizar.es/guiar/1/Bienve.htm> (consultado en agosto 2013)

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 22

Por último, otra de las cuestiones a resolver es: ¿Cuál es la frecuencia de que ocurra? Se trata de aplicar métodos que puedan determinar la frecuencia de ocurrencia mediante métodos semicualitativos o bien mediante análisis cuantitativos de riesgo (ACR) que implican aspectos cualitativos y cuantitativos junto con análisis de consecuencias.

En la práctica, cuando se analiza desde el punto de vista de la seguridad un determinado sistema técnico, lo que se hace es combinar un conjunto de métodos, desde los análisis históricos, combinados con listas de comprobación, para después realizar un análisis sistemático mediante técnicas de análisis funcional de operatividad (HAZOP). En determinados casos, también se utilizan métodos de estimación de frecuencias.

Métodos de identificación de riesgos

Básicamente existen dos tipos de métodos de análisis de riesgos, si nos atenemos a los aspectos de cuantificación:

1. Métodos cualitativos: se caracterizan por no recurrir a cálculos numéricos. Pueden ser métodos comparativos y métodos generalizados.
2. Métodos semicualitativos: los hay que introducen una valoración cuantitativa respecto a las frecuencias de ocurrencia de un determinado suceso y se denominan métodos para la determinación de frecuencias, o bien se caracterizan por recurrir a una clasificación de las áreas de un sistema técnico en base a una serie de índices que cuantifican daños (índices de riesgos).

1.2.5. MÉTODOS COMPARATIVOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

Se basan en la utilización de técnicas obtenidas de la experiencia adquirida en equipos e instalaciones similares existentes, así como en el análisis de sucesos que hayan ocurrido en equipos o instalaciones parecidos al que se analiza. Principalmente son cuatro métodos los existentes:

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 23

1. Manuales técnicos o códigos y normas de diseño.
2. Listas de comprobación o “safety check lists”.
3. Análisis histórico de accidentes.
4. Análisis preliminar de riesgos.

Manuales técnicos. Códigos y normas de diseño

Consisten en la elaboración de manuales internos de carácter técnico que especifiquen las características de diseño, instalación, operación y utilización de los equipos existentes en un determinado sistema. Estos manuales se deben basar en las normas y los códigos internacionales y nacionales de diseño. Para completar el análisis, se deben realizar periódicamente auditorías de seguridad que permitan juzgar el estado de los materiales, procedimientos, operaciones y emergencias que se han establecido.

Las normas y los códigos de diseño son elaborados por organismos internacionales de reconocido prestigio en el campo de la normalización. A nivel mundial, la organización internacional mas importante es la International Organización of Standarization (ISO).

Dentro de este método de análisis de riesgos, es donde se encuadra el Sistema de gestión de la seguridad operacional y la prevención de la contaminación marina (ISM), de aplicación obligatoria en el ámbito del transporte marítimo.

Listas de comprobación

Se suelen utilizar para determinar la adecuación de los equipos, procedimientos, materiales, etc., a un determinado procedimiento o reglamento establecido por la propia organización (compañía operadora), basado en la experiencia y en los códigos de diseño y operación. Se pueden aplicar en cualquier fase de un proyecto o modificación de la instalación: diseño, construcción, puesta en marcha, operación y paradas.

Permite comprobar con cierto detalle la adecuación de los sistemas técnicos y constituye una buena base de partida para complementarlas con otros

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 24

métodos de identificación que tienen un alcance superior, cubierto por los reglamentos e instrucciones técnicas.

Análisis histórico de accidentes

Consiste en el estudio de los accidentes registrados en el pasado en instalaciones y sistemas técnicos similares. La principal ventaja radica en que se refiere a accidentes que ya han ocurrido, por lo que el establecimiento de hipótesis de posibles accidentes se basa en casos reales. No obstante, en los bancos de datos existentes, no se cubren todos los casos posibles, sino solo los que se han dado, además de que los datos de que dispone pueden no ser completos.

Se basan en diferentes tipos de informaciones:

- Bibliografía especializada
- Bancos de datos informatizados de accidentes
- Registro de accidentes/incidentes de la propia empresa
- Informes de otros accidentes ocurridos

Análisis preliminar de riesgos (APR)

Desarrollado inicialmente por las Fuerzas Armadas de EEUU, fue el método precursor de análisis más complejos, y es utilizado únicamente en la fase de proyecto de una instalación o sistema, y para caso en los que no existen experiencias previas, sea del proceso o del tipo de instalación.

Selecciona los productos peligrosos existentes y los equipos principales de la instalación y revisa los puntos en los que se piensa que se puede liberar energía de forma incontrolada en: materia, equipos de planta, componentes de sistemas, procesos, operaciones, instalaciones, equipos de seguridad, etc. Los resultados del análisis incluyen recomendaciones para reducir o eliminar estos peligros, siempre de forma cualitativa.

Requiere relativamente poca inversión en su realización (2 o 3 técnicos con experiencia en seguridad, códigos de diseño, especificaciones de equipos y

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 25

materiales), por lo que es adecuado para examinar los proyectos de modificaciones o instalaciones nuevas en una etapa inicial.

1.2.6. MÉTODOS GENERALIZADOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

Los métodos generalizados de análisis de riesgos se basan en estudios de las instalaciones y procesos mucho más estructurados desde el punto de vista lógico-deductivo que los métodos comparativos. Normalmente siguen un procedimiento lógico de deducción de fallos, errores, desviaciones en equipos, instalaciones, procesos, operaciones, etc., que trae como consecuencia la obtención de determinadas soluciones para este tipo de eventos.

Existen varios métodos generalizados. Los más importantes son:

1. Análisis “What if...?”
2. Análisis funcional de operatividad. HAZOP
3. Análisis de árbol de fallos. FTA
4. Análisis de árbol de sucesos. ETA
5. Análisis de modo y efecto de fallos. FMA

A continuación se describen algunos de ellos:

Análisis “What if...?” (¿Qué sucedería si...?)

Consiste en el planteamiento de las posibles desviaciones en el diseño, construcción, modificaciones y operación de una determinada instalación, utilizando la pregunta que da origen al nombre del método. Requiere un conocimiento básico del sistema y cierta disposición mental para combinar o sintetizar las desviaciones posibles, por lo que normalmente es necesaria la participación de personal con amplia experiencia técnica para poder llevarlo a cabo.

Se puede aplicar a cualquier instalación, proceso, instrumentación de un equipo, seguridad eléctrica, protección contraincendios, etc. Las preguntas

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 26

se formulan y aplican tanto a proyectos como plantas en operación, siendo muy común ante reformas en instalaciones ya existentes.

El equipo de trabajo lo forman dos o tres personas especialistas en el área a analizar con documentación detallada de la instalación, procesos, equipos, procedimientos, seguridad, etc.

El resultado es un listado de posibles escenarios o sucesos accidentales, sus consecuencias y las posibles soluciones para la reducción o eliminación del riesgo.

Análisis por árbol de fallos (AAF) – Foutl tree analysissis (FTA)

Consiste en una técnica deductiva que se centra en un suceso accidental particular (accidente), y proporciona un método para determinar las causas que han producido dicho accidente.

Nació en la década de los 60 para la verificación de la fiabilidad de diseños aeroespaciales y ha sido ampliamente utilizado en el campo nuclear y químico. El hecho de su gran utilización se basa en que puede proporcionar tanto cualitativos, mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallos de componentes.

Para el tratamiento del problema se utiliza un modelo gráfico que muestra las distintas combinaciones de fallos de componentes y/o errores humanos, cuya concurrencia simultánea es suficiente para desembocar en un suceso accidental.

La técnica consiste en un proceso deductivo basado en las leyes del Algebra de Boole, que permite determinar la expresión de sucesos complejos estudiados en función de los fallos básicos de los elementos que intervienen en el.

Consiste en descomponer sistemáticamente un suceso complejo, en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos, ligados normalmente a fallos de componentes, errores humanos, etc. Este proceso se realiza enlazando dichos tipos de sucesos mediante lo que se denominan puertas lógicas que representan los operadores del algebra de sucesos.

Cada uno de estos aspectos se representa gráficamente durante la elaboración del árbol mediante diferentes símbolos que representan los tipos de sucesos, las puertas lógicas y las transferencias o desarrollos posteriores del árbol.

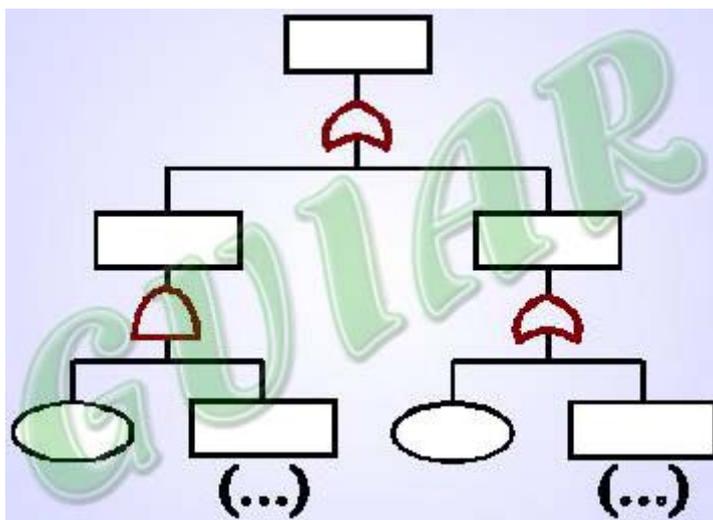


Fig 2. Representación básica de un árbol de fallos²

Con esta simbología, el árbol de fallos se va desarrollando, partiendo, como ya se ha dicho, de un suceso no deseado o accidental que ocupará la cúspide del árbol. A partir de este suceso, se van estableciendo de forma sistemática todas las causas inmediatas que contribuyen a su ocurrencia, definiendo así los sucesos intermedios unidos mediante las puertas lógicas.

Es una metodología que se puede aplicar a sucesos relativamente complejos para los cuales intervienen muchos elementos y que se pueden descomponer en sucesos más sencillos. Requiere de uno o de dos analistas con una amplia experiencia y conocimiento del sistema a analizar, frecuentes consultas a técnicos, operadores y personal experimentado en el funcionamiento del sistema, y la documentación necesaria consiste en

² <http://www.unizar.es/guiar/1/Bienve.htm> (consultado en agosto 2013)

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 28

diagramas de flujos, instrumentación, tuberías, junto con procedimientos de operación/mantenimiento.

Análisis por árbol de sucesos (AAS) – Event tree analysis (ETA)

La técnica consiste en evaluar las consecuencias de posibles accidentes resultantes del fallo específico de un sistema, equipo, suceso o error humano, considerándose como sucesos iniciadores y/o sucesos o sistemas intermedios de mitigación, desde el punto de vista de la atenuación de las consecuencias.

Las conclusiones de los árboles de sucesos son consecuencias de accidentes, es decir, conjunto de sucesos cronológicos de fallos o errores que definen un determinado accidente.

Partiendo del suceso iniciador, se plantean sistemáticamente dos bifurcaciones; en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso condicionante, y en la parte inferior se representa el fallo o no ocurrencia del mismo.

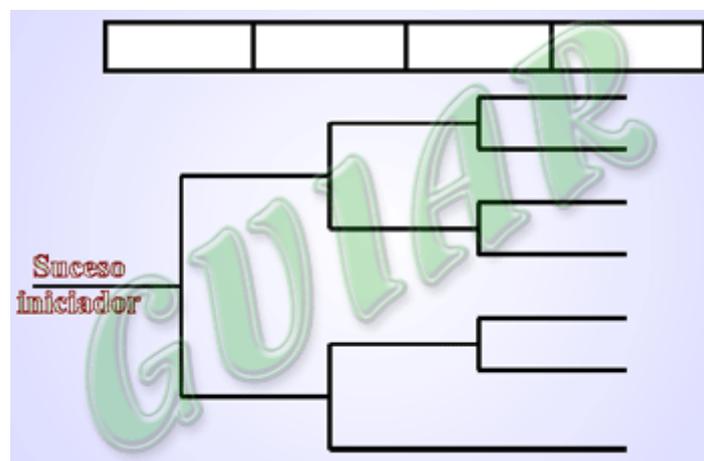


Fig 3. Representación básica del árbol de sucesos³

El suceso iniciador puede ser cualquier desviación importante, provocada por un fallo de equipo, error de operación o error humano. Dependiendo de las salvaguardias tecnológicas del sistema, de las circunstancias y de la

³ <http://www.unizar.es/guiar/1/Bienve.htm> (consultado en agosto 2013)

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 29

reacción de los operadores, las consecuencias pueden ser muy diferentes. Por esta razón, un AAS, está recomendado para sistemas que tienen establecidos procedimientos de seguridad y emergencia para responder a sucesos iniciadores específicos.

Posteriormente a este análisis cualitativo, la estimación de la magnitud de cada suceso requiere de un análisis de consecuencias mediante modelos de cálculo adecuados, capaces de estimar los efectos del suceso contemplado.

El método se puede usar además para estimar las probabilidades de ocurrencia del suceso final, asignando valores de probabilidad al suceso incidental y valores sucesivos de probabilidad para cada acción enumerada en el árbol.

Análisis de los modos de fallo y efectos (AMFE) – Failure modes and effects analysis (FMEA)

El método consiste en la elaboración de tablas o listas con los posibles fallos de componentes individuales, los modos de fallo, la detección y los efectos de cada fallo.

Un fallo se puede identificar como una función anormal de un componente, una función fuera del rango del componente, función prematura, etc.

Los fallos que se pueden considerar son típicamente situaciones de anomalía tales como:

- I. Abierto, cuando normalmente debería estar cerrado
- II. Cerrado, cuando normalmente debería estar abierto
- III. Marcha, cuando normalmente debería estar parado
- IV. Fugas, cuando normalmente debe ser estanco

Los efectos son el resultado de la consideración de cada uno de los fallos identificados individualmente sobre el conjunto de los sistemas de la planta o instalación.

El método FMEA establece finalmente qué fallos individuales pueden afectar directamente o contribuir de una forma destacada al desarrollo de accidentes de una cierta importancia en la planta.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 30

Es un método válido en las etapas de diseño, construcción y operación, y se usa habitualmente como fase previa a la elaboración de árboles de fallos, ya que permite un buen conocimiento del sistema.

El equipo necesario suele ser de dos personas perfectamente conocedoras de las funciones de cada equipo o sistema así como de la influencia de estas funciones en el resto de la línea de proceso. Es necesario, para la correcta ejecución del método, disponer de listas de equipos y sistemas, conocimiento de las funciones de cada equipo, junto al conocimiento de las funciones de los sistemas en su conjunto dentro de la planta.

Es posible incluir en la última columna de la tabla de trabajo que se esté utilizando, lo que se denomina índice de gravedad, que representa mediante una escala del 1 al 4 un valor que describe la gravedad de los posibles efectos detectados. El valor 1 representaría un suceso con efectos adversos; el 2 efectos que no requieren parada del sistema; el 3 riesgos de cierta importancia que requieren parada normal, y el 4 peligro inmediato para el personal e instalaciones, por lo que se requiere parada de emergencia. En este caso, el análisis se denomina Análisis del modo de fallos, efectos y criticidad, AMFEC (FMECA).

1.3. CONCEPTO DE EQUIPO CRÍTICO EN EL SGS

Denominados críticos, vitales o sensibles, ciertos equipos y sistemas técnicos del buque, referidos en el capítulo 10.3 del Código SGS, deberán estar sometidos a una especial vigilancia, si lo que se desea es estar “en conformidad con las prescripciones del Código”.

A priori, esto parece sencillo, pero precisamente debido al hecho de que, el Código pretende ser en su redacción muy generalista, esto deja el camino libre a variadas interpretaciones. Como consecuencia de ello, la definición de los equipos críticos de un buque ha sido, es y continuará siendo un asunto controvertido.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 31

El SGS en ningún caso nos habla de “equipos críticos”, en todo caso el cap.10.3 donde dice:

“La compañía adoptará en el SGS procedimientos adecuados para averiguar cuáles son los elementos del equipo y los sistemas técnicos que, en caso de avería repentina, puedan crear situaciones peligrosas. Se arbitrarán, asimismo, medidas concretas destinadas a acrecentar la fiabilidad de dichos elementos y sistemas. Una de tales medidas consistirá en la realización periódica de pruebas con los dispositivos auxiliares, así como con los elementos del equipo o los sistemas técnicos que no estén en uso continuo.”

Relaciona los siguientes:

1. Equipos y sistemas técnicos cuya avería repentina pueda causar una situación peligrosa.
2. Equipos que no estando en uso continuo, cuando se crea una situación que requiera su utilización, su funcionamiento sea fiable.
3. Equipos en stand-by.

1. EQUIPOS Y SISTEMAS TÉCNICOS CUYA AVERÍA REPENTINA PUEDA CAUSAR UNA SITUACIÓN PELIGROSA

Estos equipos básicamente deben presentar dos características en común:

- Ser de funcionamiento continuo (una vez requerida su puesta en marcha).
- Ser componentes únicos.

Por ejemplo, **el generador de emergencia**; una vez que se haya requerido su puesta en servicio ante una emergencia, debe estar garantizado su funcionamiento continuo y fiable. Lo mismo sucede con la bomba contraincendios de emergencia, el motor de un bote salvavidas, etc.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 32

2. EQUIPOS QUE NO ESTANDO EN USO CONTINUO, CUANDO SE CREA UNA SITUACIÓN QUE REQUIERA SU UTILIZACIÓN, SU FUNCIONAMIENTO SEA FIABLE

Estos equipos suelen ser en su mayoría de activación manual, y en algunos casos por telemando a requerimiento del operador. Su denominador común es que parten de la condición de “reposo”.

Como ejemplos podemos citar: paradas de emergencia (de máquinas propulsoras, equipos de combustible y aceite, ventiladores, etc.), cierres rápidos de tanques, cierre de fire dampers, bomba C-I de emergencia y su arranque remoto y local, válvula aspiración emergencia achique de sentinas, etc.

3. EQUIPOS EN STAND-BY

Entendiendo por ello tanto, equipos seleccionados en “modo automático” y que deberán entrar en funcionamiento automáticamente ante un fallo del equipo en servicio, como sistemas técnicos en funcionamiento continuo (control, monitorización) y que ante una perturbación deberán reaccionar generando una determinada “orden” (alarma, parada automática).

De esta clasificación se puede deducir que existirán equipos y/o sistemas técnicos que solo se puedan encuadrar en uno de los puntos de la clasificación, como es el caso de una **parada de emergencia**, mientras que existirán otros sistemas técnicos más complejos que admitan encaje en los tres puntos, como puede ser el caso de un **generador de emergencia**.

En efecto, en el caso concreto de un **generador de emergencia** podemos considerar:

- Equipo que partiendo de la condición de funcionamiento continuo, una vez se haya requerido se puesta en servicio, su fallo repentino origine un riesgo. Situación que se puede dar en el caso de fallo mecánico o eléctrico en el grupo (motor y/o alternador).

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 33

- Equipo de uso no frecuente. El sistema en su conjunto, y particularmente el medio de arranque del grupo (vendix) cuando es componente único, aunque por requisito SOLAS se deba disponer de dos fuentes de energía independientes para el arranque.
- Equipo en modo stand-by. Dispositivo de arranque automático para el caso de buques cuya fuente de emergencia sea un grupo generador y deba arrancar en automático cuando falla la fuente principal.

Por tanto, nos podemos encontrar con un gran número de equipos o sistemas técnicos que, en principio, puedan encajar en la definición de equipo crítico. Deberá ser la Compañía la que acote su número, de acuerdo a su “filosofía” y características del buque, utilizando para ello un “método de análisis y evaluación de riesgos”.

En conclusión, la Compañía será responsable de:

- Identificar los equipos y sistemas críticos.
- Definir medidas específicas para mejorar su fiabilidad por medio de establecer un plan de mantenimiento e inspecciones que incluya pruebas periódicas.
- Por último, asignar las tareas relacionadas con los equipos críticos a personal cualificado.

1.3.1. PROCESO PARA IDENTIFICAR UN EQUIPO CRÍTICO EN EL SGS

1. Un dispositivo o sistema para el que se requiere un funcionamiento seguro durante la operación del buque, por ejemplo:

- Propulsión, navegación y su gestión
- Operaciones en puerto: maniobra y operaciones de carga/descarga
- Potencia eléctrica y su gestión
- Seguridad permanente: detección, alumbrado y eventualmente extinción automática de incendios

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 34

- Elementos de respuesta: extinción de incendios, bombas contra incendios y de achique
- Supervivencia: abandono, búsqueda y rescate

Como puede observarse, prácticamente engloba a todo el buque; se debe, por tanto, proceder a realizar un inventario de la totalidad del equipamiento y sistemas del buque.

2. Si este dispositivo o sistema técnico falla repentinamente o no puede ser utilizado cuando se le requiera, y:

- Si esta “indisponibilidad” es improbable que ponga en peligro a las personas, al propio buque o al medio ambiente, **el equipo no es crítico.**
- Por el contrario, si existiese un **riesgo**, y es responsabilidad del SGS preservar la seguridad de las personas, el propio buque o el medio ambiente, **nos encontramos ante un equipo crítico.**

3. Estos equipos no tienen todos los mismos grados de “responsabilidad” ante el riesgo, o dicho de otro modo, no todos presentan el mismo grado crítico. De hecho, para algunos de ellos su “ausencia” o fallo es ya una emergencia en sí, mientras que otros pueden ser reemplazados por otros aparatos en stand-by (redundancia) o se puede implementar un procedimiento alternativo que asegure, sin embargo, el servicio de este aparato aunque bajo condiciones de funcionamiento inferiores a las del estatus normal de funcionamiento, lo que se denomina **estatus o condiciones de funcionamiento rebajadas** (mando o control local o manual, etc.).

Teniendo en cuenta qué equipos o sistemas son capaces de operar en **status rebajado**, permitirá dar un nivel crítico a cada equipo.

No obstante, para identificar un equipo o sistema técnico como equipo crítico se deben cumplir dos condiciones básicas:

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 35

1. Cuando se haya requerido su entrada en funcionamiento, su fallo imprevisto genere una situación de riesgo, tanto si partimos de una condición de funcionamiento continuo (parada repentina), como si partimos de una condición de reposo (incapacidad de actuar cuando se le requiere).
 2. Debe ser un “componente único” (no hay redundancia).
4. Para los equipos críticos el Código obliga a establecer medidas de aseguramiento de la fiabilidad. Para reforzar esta fiabilidad, los medios más usados son:
- Un mantenimiento específico.
 - Redundancia o dispositivos stand-by mas simples (back-up).
 - Procedimientos alternativos si el dispositivo o sistema es capaz de funcionar en modo rebajado (condición no ideal).
 - Disponer de piezas de respeto.
 - Capacidad para efectuar reparaciones in situ cuando sea posible, o en el astillero más cercano en caso de emergencia.
 - Definir la frecuencia de estas medidas, en especial las pruebas de funcionamiento periódicas.
 - Designar las tareas relacionadas con los equipos críticos a personal cualificado de la tripulación.

Si la definición de equipos críticos es compleja, no lo es menos la forma de su identificación dentro de SGS. Teóricamente:

Identificación = procedimiento = listado

Pero esto a veces no es así. Dos cuestiones deben quedar claras:

1. Deben estar identificados de algún modo dentro del sistema.
2. Será la compañía la responsable de identificar y documentar los equipos críticos, con la aprobación de la Administración correspondiente.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 36

Influencia del tipo de buque en la determinación de los equipos críticos

En el proceso de identificación de los equipos críticos de un buque es importante que la Compañía tenga en cuenta el tipo de buque de que se trata, sino para todos los equipos a identificar, si al menos para una serie de ellos.

Para argumentar lo arriba indicado analizaremos el caso del **equipo de fondeo**.

La frecuencia de utilización del equipo de fondeo es, por razones de servicio, habitual en muchos tipos de buques (tanques, graneleros, carga general, etc.). De hecho, es habitual que este tipo de buques fondeen frecuentemente en espera de entrada en puerto, durante determinadas maniobras de atraque (pantalanes, mono boyas, cargaderos abiertos, etc.) o fondeo de salida a órdenes.

Esta frecuencia de utilización conlleva que la fiabilidad del equipo esté, en cierto modo, asegurada.

Sin embargo, en el caso de otros tipos de buques, como los RO-RO PAX, la maniobra de fondeo no es habitual debido las condiciones operativas y características de su tráfico (entre terminales fijas en viajes regulares). Esto supone que un equipo de seguridad reglamentario como es el equipo de fondeo, para este tipo de buques sea de “uso no frecuente”, por lo que la Compañía debiera considerarlo como equipo crítico en su SGS.

1.3.2. CONCEPTO DE EQUIPO ESENCIAL (DIFERENCIA RESPECTO A “EQUIPO CRÍTICO”)

Un **sistema** es una relación de componentes/subsistemas, dispuestos de acuerdo a un diseño dado, con el propósito de lograr el cumplimiento de unas determinadas funciones, con una adecuación y fiabilidad aceptables.

Un sistema (o alguno de sus componentes o subsistemas) estará catalogado como **esencial** cuando, partiendo de su condición de funcionamiento regular, esto es, estable y fiable, su fallo o “ausencia” impida que, la disposición técnica a la que pertenezca el sistema, pueda cumplir

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 37

con el fin para la que fue proyectada bajo los estándares de seguridad mínimos que le sean exigibles.

En el caso concreto de un buque, como ejemplo de disposición técnica proyectada para cumplir con un fin determinado, dispondrá, de entre todos los sistemas/subsistemas y equipamientos que lo componen, de una serie de ellos que se puedan catalogar como **esenciales**, y que serán decisivos para que el buque no solo cumpla con el fin para el que haya sido proyectado, sino que además, lo haga cumpliendo con los requisitos de seguridad mínimos que le sean exigibles reglamentariamente. Bajo este concepto podemos diferenciar dos tipos de equipos esenciales:

- Aquellos que son **esenciales** para la **propulsión**, el **gobierno** y la **seguridad** del buque y, por tanto, también lo serán para que éste pueda cumplir con el fin para el que ha sido proyectado. Como ejemplos podemos citar: la máquina propulsora, sus servicios auxiliares y el sistema de control y mando de la propulsión, el aparato de gobierno, la fuente de energía eléctrica principal y de emergencia, el sistema de detección y alarma contra incendios, los sistemas de extinción de incendios, el equipo de radiocomunicaciones, los sistemas para el tratamiento y manipulación de la carga cuando esta esté clasificada como peligrosa, etc.
- Aquellos que, siendo **esenciales** para que el buque pueda cumplir con el fin para el que ha sido diseñado, no son decisivos para la seguridad de este. Principalmente citaremos sistemas para la manipulación de la carga, cuando esta no se considera peligrosa.

Los equipos esenciales para la propulsión, el gobierno y la seguridad del buque pueden ser divididos, a su vez, en dos clases:

1. Equipos (y servicios) **esenciales primarios**.- entendiéndose aquellos que deben funcionar continuamente para mantener la propulsión y el gobierno: bombas para el suministro de aceite, agua de refrigeración y combustible a la máquina propulsora,

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 38

sistemas de control y mando propulsión, aparato de gobierno, fuente de energía eléctrica principal, etc.

2. Equipos (y servicios) **esenciales secundarios**.- aquellos que no tienen forzosamente que funcionar en modo continuo para mantener la propulsión y el gobierno, pero que si son necesarios para mantener la seguridad del buque: bombas para el trasiego de combustible y aceite, equipos de tratamiento de combustible y aceite, compresores de aire, medios de achique, medios de fondeo, sistema de detección y alarma contraincendios, etc.

Por el contrario, serán equipos **no esenciales**, aquellos cuyo fallo o “ausencia” no impida que el buque pueda cumplir, con una seguridad mínima, el fin para el que ha sido proyectado. Como ejemplo de sistemas no esenciales podemos destacar: medios de elevación de pesos (grúas), sistemas de climatización, ventilación doméstica, sistemas auxiliares de propulsión (hélices de maniobra), etc.

¿Todo sistema o equipo esencial para la seguridad del buque debe ser también catalogado como crítico? La respuesta es NO, no al menos en todos los casos. De hecho se pueden presentar dos situaciones:

1. Equipos esenciales que, en su conjunto, no debieran considerarse críticos.
2. Equipos esenciales que, en su conjunto, serán también críticos.

Para argumentar lo arriba indicado, analizaremos dos sistema del buque, por un lado **el sistema de mando y control de la propulsión**, y por otro **el sistema de detección y alarma contraincendios**.

El **sistema de control de la propulsión**, en su conjunto, se define como **esencial** para la seguridad del buque dado que, si partiendo de su funcionamiento regular y fiable, se produjera su fallo, el buque perdería la capacidad requerida para controlar la propulsión y no podría cumplir con

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-10.1.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 39

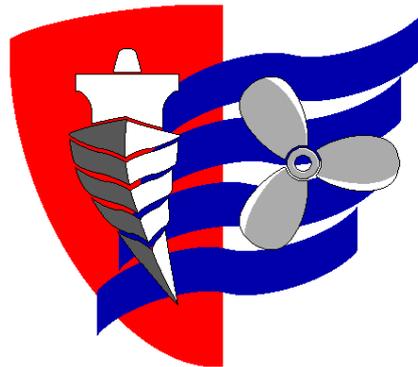
seguridad el fin para el que ha sido proyectado. En este caso, *¿debe este sistema ser catalogado también como crítico?*

Por requisitos reglamentarios, este sistema debe disponer de un puesto para el control en **modo local (operación en emergencia)**, por si fallan los puestos de control principales o habituales (remotos). Esto va a suponer la posibilidad de que el sistema, ante un fallo, pueda cumplir su cometido aunque en condiciones inferiores a las condiciones de funcionamiento ideales (degraded status). Por lo tanto, debiera ser este “**puesto de control local**” el que se identifique como **equipo crítico** del ISM, y no el sistema de mando de la propulsión en su conjunto.

Además de lo arriba indicado, los puestos desde donde habitualmente se controla la propulsión durante la operación normal del buque, y debido precisamente a esa **habitualidad** o rutina, se puede decir que se encuentran sometidos a un “**chequeo continuo**”, demostrando, por lo tanto, su fiabilidad. No se puede decir lo mismo del puesto de control local, el cual, y en principio, solo se solicitaría su servicio en caso de necesidad o emergencia. Es por ello, que la Compañía le debe considerar como equipo crítico dentro del ISM, para reforzar su fiabilidad.

En el caso del **sistema de detección y alarma contraincendios**, si bien es cierto que un buque puede operar sin el citado sistema o con él fuera de servicio, no es menos cierto que, si se produjera un incendio y éste no es detectado a tiempo, los daños ocasionados podrían llegar a ser catastróficos, lo cual ocasionaría que el buque no pudiera cumplir con el fin para el cual fue proyectado. Por lo tanto, este sistema encajaría en el concepto de sistema **esencial**. En este caso, el sistema además de esencial, también sería **crítico**, ya que debe estar en todo momento “listo para actuar” por si se produjera una situación anormal, en este caso un principio de fuego. Dado que su fiabilidad debe ser máxima ante una situación de emergencia (situación esporádica o excepcional), es por ello que ésta debe ser asegurada con inspecciones y pruebas específicas periódicas dentro del sistema de mantenimiento del ISM.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-20.2.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 41

2. METODOLOGÍA

2.1. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS ASOCIADOS A LA PROPULSIÓN. DIFERENCIA ENTRE EQUIPO CRÍTICO Y EQUIPO ESENCIAL.

Para darnos cuenta de la complejidad del asunto analicemos, bajo un concepto general, el caso de una máquina propulsora (motor de combustión interna, turbina o motor eléctrico) como elemento clave en la capacidad propulsiva de un buque. Siguiendo la relación establecida en el cap.10.3 del Código ISM podemos encontrarnos con lo siguiente:

1. En régimen de navegación o de maniobra, una **máquina propulsora** es un equipo de funcionamiento continuo cuyo fallo repentino puede generar un riesgo. Este “riesgo” debe ser evaluado (alto, medio, bajo) por la Compañía utilizando como herramienta un determinado método de análisis de fallos de la planta propulsora, el cual tendrá en cuenta la disposición y características técnicas de la misma. Si analizamos el caso más crítico, planta propulsora con una sola máquina (componente único), observamos que la máquina propulsora pudiera encajar en la definición de equipo crítico del ISM.

En este caso *¿Debe ser identificada la máquina propulsora en su conjunto como equipo crítico? La respuesta es NO* (aunque puede existir alguna Compañía que sí la identifique como tal). Entonces *¿Por qué un “motor propulsor” como componente único no debe ser identificado como equipo crítico, mientras el motor diesel del grupo de emergencia sí lo debe ser?* La respuesta a esta pregunta la podemos encontrar en la diferencia de exigencia en la carga de trabajo en cuanto al nº de horas y los intervalos de mantenimiento recomendados por el fabricante. Un motor propulsor, debido a su elevada carga de trabajo, se ve sometido a exhaustivos programas de mantenimiento tendentes a asegurar su

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-20.2.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 42

fiabilidad, de acuerdo con las instrucciones del fabricante y supervisado por la sociedad de clasificación. En consecuencia, la máquina propulsora se considerará **equipo esencial**, pero no equipo crítico dentro del ISM.

Por el contrario, **un motor de emergencia**, debido a su mínima carga de trabajo, es previsible que no llegue durante su vida útil al número mínimo de horas establecido por el fabricante para el inicio del programa de reconocimientos exhaustivos. Es por ello que, el sistema de gestión de la Compañía debe establecer un procedimiento específico de inspección y mantenimiento para asegurar la fiabilidad del generador de emergencia.

2. Como equipos de uso no continuo relacionados con un máquina propulsora podemos considerar: las paradas de emergencia, en especial desde el puente de navegación y los inhibidores de parada /reducción de potencia automática. Ambos dispositivos, DE ACTIVACIÓN MANUAL, se encuentran en principio en estado de “reposo”, debiendo estar garantizado su funcionamiento correcto cuando sea necesario.
3. Como equipos en stand-by podemos considerar los siguientes:
 - Servicios esenciales asociados al funcionamiento continuo de la máquina propulsora (catalogados como primarios), comúnmente conocidos como “stand- by de bombas”, es decir, equipos duplicados dispuestos “uno trabajando y otro de reserva” con conmutación automática (lubricación, refrigeración, alimentación combustible, etc.).
 - Sistema de alarma y vigilancia, de manera que si se produce una perturbación se active automáticamente la correspondiente alarma para alertar a los oficiales responsables.

Dispositivos de seguridad(shut down/slow down), integrados en la propia máquina propulsora, e interconectados con el sistema de alarma y vigilancia. Si se produce una perturbación, se deberá activar automáticamente la parada/reducción de potencia de la máquina propulsora para evitar daños graves. Por ejemplo, el detector de niebla de cárter monitoriza continuamente un determinado parámetro, la opacidad en la atmósfera interior del cárter; si este parámetro supera un valor predeterminado, se

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-20.2.1
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 43

deberá activar la correspondiente parada o reducción de potencia del motor. De los equipos y sistemas técnicos señalados *¿todos son críticos y deben estar identificados como tal?* La respuesta debe ser NO, no al menos en todos los casos.

Para argumentar esta respuesta, efectuaremos un análisis de riesgos utilizando el método *¿Qué sucedería si...?*, en base a la configuración de la planta propulsora (nº de máquinas propulsoras y líneas de ejes). Para ello graduaremos el **riesgo** de la siguiente manera:

- Pérdida de propulsión (100%) y por lo tanto gobierno: riesgo severo o alto
- Pérdida parcial propulsión (50%): riesgo medio
- Pérdida parcial propulsión (25%): riesgo bajo

Cuando al evaluar riesgos hablamos de pérdida de la propulsión, por ejemplo como consecuencia de la activación de una parada automática de la máquina propulsora, diferenciaremos entre “pérdida total” y “pérdida momentánea” de la propulsión.

La pérdida total de propulsión supone la imposibilidad de restablecer la misma antes de que el buque pierda la arrancada y por lo tanto la capacidad de gobierno; mientras que la pérdida momentánea supone la recuperación de la misma antes de que el buque pierda la arrancada y por lo tanto cualquier capacidad de gobierno, lo que nos lleva al concepto de **tiempo o margen de seguridad**. Las pérdidas parciales de propulsión se asocian a la activación automática de reducción de potencia (slow-down), por ejemplo reducción de velocidad de la máquina propulsora y/o reducción de paso de hélice.

No obstante, al efectuar la graduación del riesgo que pueda suponer una pérdida de propulsión, un factor decisivo a tener en cuenta será la situación de navegación en la que se pueda encontrar el buque en ese momento. En efecto, si el buque se encuentra en régimen de navegación abierta (sin tráfico), una pérdida de propulsión generará un menor riesgo que si éste se encuentra transitando por una zona de congestión de tráfico, o cerca de la

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-20.2.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 44

costa. Por consiguiente, para el análisis se tendrán en cuenta las siguientes situaciones:

- Navegación abierta (sin tráfico)
- Navegación en zona de congestión de tráfico
- Navegación cerca de la costa con condiciones meteorológicas adversas
- Régimen de maniobra

Si del análisis de un determinado equipo se deduce que, su fallo genera un RIESGO ALTO al menos para una de las cuatro situaciones de navegación supuestas, el citado equipo debería ser identificado como crítico.

Otros aspectos importantes a tener en cuenta en el análisis son la fecha de construcción (normativa aplicable) y el grado de automatización del buque. Para ello se consideraran dos condiciones:

- Buque UMS
- Buque no UMS

A su vez, en la condición de Buque UMS, se pueden dar dos situaciones:

- Periodo de máquina desasistida
- Periodo de máquina asistida

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-20.2.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 45

2.2. DEFINICIÓN DE INSTALACIONES

Para la realización del estudio se establecen las siguientes instalaciones:

1. Instalación con un solo equipo propulsor (motor diesel o turbina de vapor) con hélice de paso fija y hélice de paso variable
2. Instalación con dos motores propulsores diesel y una sola línea de ejes con hélice de paso variable
3. Instalación con dos motores propulsores diesel y dos líneas de ejes con hélices de paso variable / Instalación con dos motores propulsores eléctricos y dos líneas de ejes con hélices de paso fijas
4. Instalación con cuatro motores propulsores diesel y dos líneas de ejes con hélices de paso variable
5. Sistemas de propulsión intrínsecamente redundantes

2.3. ALARMAS Y SISTEMAS DE SEGURIDAD REGLAMENTARIOS PARA SISTEMAS DE PROPULSIÓN MARINOS

El criterio de alarmas y de paradas / reducciones automáticas de potencia, así como la activación de sistemas stand-by especificados en este apartado, representan requerimientos mínimos (establecidos por Sociedades de Clasificación) para los siguientes tipos de propulsión:

- Motores diesel propulsores de media y alta velocidad (motores de tronco).
- Motores propulsores de baja velocidad (motores de cruceta).
- Planta propulsora por turbina de vapor.
- Elementos de la planta propulsora (excluida la máquina propulsora).

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-20.2.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 46

Tabla 2.1 Motor diesel propulsor de media y alta velocidad (motor de tronco)

F = Fallo L = Límite bajo H = Límite alto R = Reducción aut S = Parada aut T = Stand-by	Alarma	Stand-by	Reducción aut	Parada aut
Presión aceite lubricante a la entrada del motor (1)(2)	L	L T		L S
Temperatura de aceite lubricante en salida del motor	H		H R	
Niebla en cárter o temperatura de cojinetes motor (3)	H			L S
Fallo lubricación cilindros	F		F R	
Temperatura cojinete de empuje	H		H R	
Presión agua refrigeración cilindros	L	L T	L S	
Temp. agua refrigeración por cilindro (en salida)	H		H R	
Presión agua salada de refrigeración	L		L R	
Baja presión combustible en bombas de inyección	L	L T		
Temp. gases exhaustación por cada cilindro (4)	L		L R	
Sobre-velocidad (2)				H S
<p>(1) Se deben disponer alarmas independientes por cada circuito de lubricación separado</p> <p>(2) Parada automática solo para motores de > 220 KW</p> <p>(3) Para motores de ≥ 2250 KW o con un diámetro de cilindro > 300 mm</p> <p>(4) Para motores > 500 KW</p>				

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-20.2.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 47

Tabla 2.2 Motor propulsor diésel de baja velocidad (Motor de cruceta)

F = Fallo L = Límite bajo H = Límite alto R = Reducción aut S = Parada aut T = Stand-by	Alarma	Stand-by	Reducción aut	Parada aut
Presión aceite lubricación entrada Motor (1) (2)	L	L T	L R	L S
Presión de aceite lubricante eje de camones (1)	L	L T		L S
Temperatura aceite lubricante a la entrada del Motor	H		H R	
Niebla en carter o temperatura de cojinetes motor (3)	H		H R(4)	
Fallo lubricación cilindros	F		F R	
Temperatura cojinete de empuje	H		H R(4)	
Presión agua refrigeración cilindros	L	L T		L S
Presión agua salada de refrigeración	L	L T		
Presión refrigeración pistones	L	L T		
Temp. Refrigerante pistones en salida de cada pistón	H		H R	
Caudal de fluido refrigerante para cada pistón	L		L R	
Baja presión combustible en bombas de inyección	L	L T		
Temp. gases exhaustación por cada cilindro	H		H R	
Temperatura aire de barrido (fuego)	H		H R	
Sobre-velocidad (2)	H			H S
<p>(1) Se deben disponer alarmas independientes por cada circuito de lubricación separado</p> <p>(2) Parada automática solo para motores de > 220 KW</p> <p>(3) Para motores de \geq 2250 KW o con un diámetro de cilindro > 300 mm</p> <p>(4) Reducción de velocidad a una velocidad mínima que posibilite el gobierno</p>				

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-20.2.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 48

Tabla 2.3 Planta propulsora de vapor

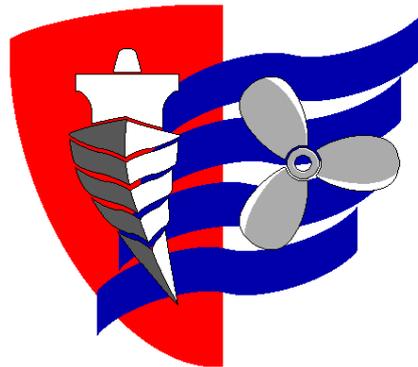
F = Fallo L = Límite bajo H = Límite alto R = Reducción aut S = Parada aut T = Stand-by	Alarma	Stand-by	Reducción aut	Parada aut
Velocidad de vibración (turbina)	H		H R	
Temperatura en turbina de ciar	H		H R	
Temperatura de vapor a la salida del recalentador	L H		L H R	
Temp. lubricación en cada engranaje y cojinete de la turbina	H		H R	
Sobre-velocidad	H			H S
Presión vapor obturadores turbinas	H		H R	
Presión lubricación en turbina y entrada reductora	L			L S
Presión en tubería de alimentación agua a calderas	L		L R	
Presión de vapor a la salida del recalentador	L H		L H R	
Presión condensador principal	H			H S
Nivel de condensado en condensador principal	H			H S
Nivel de agua en calderas	L H		L H R	
Desplazamiento axial rotor turbina inaceptable	H			H S
Caudal de agua alimentación en calderas	L		L R	

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-20.2.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 49

Tabla 2.4 Planta propulsora (máquina propulsora excluida)

F = Fallo L = Límite bajo H = Límite alto R = Reducción aut S = Parada aut T = Stand-by	Alarma	Stand-by	Reducción aut	Parada aut
REDUCTORA (MAIN GEAR)				
Presión aceite lubricante a la entrada de la reductora	L	L T	L R	L S
Tª lubricación en entrada reductora / después enfriador	H		H R	
Tª lubricación en salida reductora / antes enfriador	H		H R	
Tª cojinete empuje integrado (en reductora)	H		H R	
EMBRAGUE INDEP. O REDUCTOR/EMBRAGUE				
Presión de embrague	L	L T	H R	
Control deslizamiento tolerable en condición “engranado”				S
LINEA DE EJES				
Tª aceite lubricación cojinete empuje o Tª del propio cojinete	H		H R	
Presión de aceite hidráulico aplicaciones CPP	L	L T		

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



CAPÍTULO 3

DESARROLLO

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 51

3. DESARROLLO

3.1. INSTALACIÓN CON UN SOLO EQUIPO PROPULSOR (MOTOR DIESEL O TURBINA DE VAPOR)

En este tipo de instalaciones vamos a diferenciar los siguientes equipos para la realización del estudio.

- Equipos en stand-by de los servicios esenciales de la máquina propulsora. Buque UMS.
- Equipos en stand-by de los servicios esenciales de la máquina propulsora. Buques no UMS.
- Sistemas de monitorización / alarma y Dispositivos de seguridad.
- Equipos y sistemas técnicos asociados a la línea de ejes.

3.1.1. EQUIPOS EN STAND-BY SERVICIOS ESENCIALES DE LA MÁQUINA PROPULSORA. BUQUE UMS

Partimos de la condición de “**componente único**” de la máquina propulsora, consecuentemente un fallo en la misma puede originar un riesgo. Al tratarse de buques UMS, se considera como caso más desfavorable el siguiente: *“periodo en el cual la cámara de máquinas se encuentra desasistida por personal”*. Por requisitos normativos, existirá la obligatoriedad de conmutación automática de los equipos esenciales primarios de la propulsión (stand-by).

¿Qué puede suceder si, ante una perturbación en un servicio esencial primario, no entra en funcionamiento el equipo en stand - by correspondiente? Se pueden dar dos escenarios:

1. **Parada automática de la máquina propulsora (shut down) – Pérdida total de propulsión y gobierno – Riesgo alto.** En este

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 52

escenario, los dispositivos stand-by, cuyo fallo puedan originar la parada automática de la máquina propulsora, deberían ser identificados como críticos (normalmente perturbaciones asociadas al parámetro de presión). Además, si la máquina propulsora accionase en ese momento un generador de cola, y éste se encuentra conectado a red, se produciría un black-out momentáneo (hasta el arranque y acoplamiento al cuadro eléctrico principal de un diésel generador de reserva).

Con el fin de argumentar lo arriba indicado, se graduará el riesgo en función de las diferentes situaciones de navegación consideradas:

- Navegación abierta – **Riesgo bajo.**- aún en las peores condiciones, esto es, maniobrando a otro buque o navegando con condiciones meteorológicas de mala mar (posibilidad de que el buque se “atravesase a la mar” y su influencia en la estabilidad de la carga).
- Navegación en zona de congestión de tráfico – **Riesgo alto.**
- Navegación cerca de la costa en condiciones meteorológicas adversas – **Riesgo alto.**

La situación de maniobra no se considera en este caso dado que, bajo esta condición, la cámara de máquinas debiera estar permanentemente asistida, asimilándose a la condición de buque no UMS.

*Dado que el escenario planteado presenta un **riesgo alto** en dos de las tres situaciones de navegación analizadas, es por lo que se considera que los dispositivos stand-by de los servicios esenciales de una máquina propulsora, cuyo fallo originen una parada repentina de esta, deben ser considerados equipos crítico.*

2. **Reducción automática de potencia (slow down) – Pérdida parcial de propulsión, pero se mantiene capacidad de gobierno – Riesgo medio o bajo.** En este escenario, los dispositivos stand-by, cuyo fallo puedan originar solo pérdida parcial de propulsión, pueden no ser

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 53

considerados equipos críticos (usualmente perturbaciones asociadas al parámetro de temperatura).

No obstante lo anterior, en un sistema stand-by identificado como equipo crítico *¿todos sus componentes son críticos y por lo tanto deben tener un procedimiento específico para garantizar su fiabilidad?* Un sistema stand-by para un servicio esencial de una máquina propulsora, por ejemplo lubricación, está compuesto por dos bombas, una en servicio y otra de reserva, y por el mecanismo de conmutación automática (presostato y equipo eléctrico asociado). Las unidades de bombeo, como equipo doble que son, se les puede considerar redundantes, y además debieran estar incluidas en el plan de mantenimiento programado del buque de acuerdo a las instrucciones del fabricante y requisitos de la sociedad de clasificación (desmontajes periódicos completos para reconocimiento partes internas), incluyendo mantenimiento predictivo (vibraciones, aislamientos, etc.) y mantenimiento rutinario (estanqueidad, parámetros de presión y consumo, puntos de engrase, etc.). Por el contrario, el mecanismo de conmutación automática (monitorización de presión y ante una variación de ésta, envío de señales para arranque de equipo reserva y la alarma correspondiente) es componente único y por lo tanto es el componente del sistema a considerar como crítico, debiendo establecerse un procedimiento específico para garantizar su fiabilidad.

3.1.2. EQUIPOS EN STAND-BY SERVICIOS ESENCIALES DE LA MAQUINA PROPULSORA. BUQUES NO UMS

Partimos de la misma condición que en el caso anterior, equipo propulsor como “componente único”. Al tratarse de buques no UMS, se considera “cámara de máquinas permanentemente atendida” y no obligatoriedad de “conmutación automática” equipos esenciales primarios de la propulsión. No obstante, en relación con la conmutación automática de servicios esenciales y debido a determinados requisitos SOLAS 74/78, se nos pueden presentar dos escenarios:

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 54

1. **Espacio de máquinas sin cámara de control – Supervisión directa.** En este caso, no es obligatorio por requisitos SOLAS 74/78 que los equipos dobles de los servicios esenciales primarios del equipo propulsor dispongan de conmutación automática.

2. **Espacio de máquinas con cámara de control (con capacidad para el control remoto de la maquinaria esencial) – Supervisión indirecta** (SOLAS Cap II-1/R 31.3) aplicable a buques construidos después del 01-07-1986. Si se dispone de cámara de control para la supervisión continua y el control (remoto o automático) de la maquinaria esencial, el buque en principio debe cumplir, a criterio de la Administración, las prescripciones UMS, entre ellas se podría encontrar la conmutación automática de servicios esenciales del equipo propulsor.

En este segundo caso, *¿deben ser identificados como críticos los sistemas stand-by?* La respuesta sería NO.

Para argumentar la respuesta no basaremos en un parámetro determinado que es el “**tiempo de respuesta**” del oficial de máquinas de guardia ante la activación de la alarma correspondiente (en buques con un alto grado de automatización se puede disponer de alarma específica por fallo arranque equipo reserva).

Evidentemente, si el espacio de máquinas se encuentra permanentemente atendido, teóricamente el tiempo de respuesta será mucho menor que el caso contrario, y el oficial de guardia tendrá la oportunidad de arrancar el equipo reserva en modo manual, bien por telemando desde la cámara de control o en modo local a pie de máquina, antes de que se genere un riesgo severo.

Sin embargo, en el caso de buques UMS, el tiempo de respuesta se puede alargar si el espacio de máquinas se encuentra no atendido en ese preciso momento, máxime en determinados tipos de buques que, por su configuración, la habilitación y el espacio de máquinas no se encuentran en la misma vertical. Esto puede ocasionar la parada automática por seguridad

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 55

de la maquina propulsora y un riesgo alto por perdida de propulsión y gobierno.

3.1.3. SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN / ALARMA Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Hasta ahora, en el análisis de riesgos asociados a la propulsión, hemos hecho referencia solo a un determinado tipo de riesgo, el derivado de la pérdida de propulsión, aunque éste pudiera derivar en un riesgo para las personas y el medio ambiente.

Sin embargo, al evaluar los posibles riesgos derivados del fallo de los sistemas de monitorización/alarma y de los dispositivos de seguridad de una máquina propulsora, entra en juego otra tipología de riesgo, concretamente el de **accidente o daño a las personas** que se encuentren trabajando cerca de las mismas. De hecho, las enmiendas del 2010 al Código ISM dejan claro que la Compañía deberá analizar todos y cada uno de los posibles riesgos.

Esta cuestión nos lleva a plantear lo siguiente:

1. Sistema de monitorización y alarma.- Riesgo para la seguridad de la navegación y del buque en general.
2. Dispositivos de seguridad. Paradas/reducciones de potencia equipo propulsor.- Riesgo directo de accidente para las personas y para el buque.
3. Dispositivos de seguridad. Bloqueos/enclavamientos de arranque máquina propulsora.- Riesgo de accidente para las personas y para el buque.

1. Sistema de monitorización y alarma – Riesgo para la seguridad de la navegación y del buque en general

Aunque algunas Compañías identifican el sistema integrado de monitorización, control y alarma en su conjunto, la automatización, como equipo crítico, se considera no acertada esta definición.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 56

El criterio básico que utilizan algunas Compañías para incluirlo como equipo crítico es el referente al riesgo que pueda suponer un fallo de alimentación del sistema, el miedo al “monitor apagado”. Por normativa es obligatoria la alimentación redundante por medio de fuentes de alimentación de emergencia, fuentes de potencia ininterrumpida (UPS), etc., además de las correspondientes alarmas por fallo de alimentación. Por consiguiente, si los sistemas de alimentación (y los de visualización y presentación de parámetros) son redundantes, no encajarían en la definición de equipo crítico.

Otra cuestión bien distinta es la referente a las alarmas o alertas que debe generar el sistema y la influencia de su fallo en la seguridad del buque. Teniendo en cuenta que un sistema de este tipo puede generar en determinadas clases de buques del orden de 1000 señales, no parece lógico considerar al sistema en su conjunto como equipo crítico. El análisis de riesgos deberá identificar que alarmas, si fallan, pueden generar una situación de riesgo. Por ejemplo, el fallo de la alarma que nos avisa de avería en un grupo de aire acondicionado en habilitación no tiene la misma trascendencia sobre la seguridad del buque que el fallo de la alarma que nos avisa de muy baja presión lubricación motor propulsor con inminente parada del mismo. No obstante lo anterior, *¿todas las alarmas asociadas al equipo propulsor deben ser consideradas críticas?*

Se considera que debieran ser catalogadas como críticas, al menos, aquellas alarmas que alerten de la inminente parada automática por seguridad de la máquina propulsora (M/E safety trips/shut downs).

Como en todo lo relacionado con los equipos críticos, el grado de automatización del buque es un aspecto fundamental. Así, en buques con control de la propulsión desde el puente (siempre obligatorio para buques UMS), el control de la misma es responsabilidad del oficial de guardia en el puente, el cual deberá disponer en todo momento de la información precisa al respecto.

De toda esa información, se considera crítica la tendente a alertar al oficial responsable que se puede producir una inminente pérdida de propulsión, de

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 57

manera que éste pueda tomar las medidas oportunas sobre todo en determinadas condiciones de navegación: maniobrando a otro buque, áreas de alta densidad de tráfico, etc.

Entre las medidas a tomar por parte del oficial de la guardia de navegación se puede encontrar la activación de la **inhibición de la parada automática** (también de la reducción de potencia) del equipo propulsor - “overriding function”-, esto es:

“Forzar la máquina para salir del apuro”

No obstante, ésta es una operación de ALTO RIESGO, que debería ser utilizada solo en situaciones límite, disponiendo el sistema de una pre-alarma de aviso temporizada según instrucciones del fabricante del equipo propulsor, aproximadamente 10 s, para tomar la decisión de activarla. Según requisito SOLAS 74/78, la parada por sobre velocidad no debe estar incluida en la inhibición o anulación de paradas.

Por lo tanto, también se considerará equipo crítico al dispositivo inhibidor u “overriding function” en los buques que lo lleven instalado (obligatorio para buques construidos después del 01-07-2004 con control de propulsión desde el puente, aunque la mayoría de los buques con control desde el puente y construidos con anterioridad a esa fecha también lo llevan instalado).

Para refrendar aún más el criterio de considerar equipo crítico a las alarmas asociadas a la pérdida repentina de propulsión, haremos referencia al sistema de alarma para la guardia de navegación en el puente o “alarm monitoring and watch safety system (AMWSS)”, actualmente en fase de implantación como parte de las últimas enmiendas al SOLAS/Cap. V/R 19. Efectivamente, uno de los principales objetivos de este sistema consiste en presentar de una forma centralizada, clara y concisa toda la información que debe ser recibida en el puente (alarmas, alertas, etc.) para su correcta gestión por parte de los oficiales responsables.

De acuerdo con los estándares IMO y los requisitos de sociedades de clasificación, la presentación de la información relativa a alarmas y alertas en el sistema deberá estar estructurada en grupos de alarmas y a su vez estas por orden de prioridad. No obstante, hay tres tipos de alarmas que no deben

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 58

estar agrupadas, lo que supone prioridad máxima, entre ellas se encuentran las alarmas asociadas con la pérdida de propulsión (las otras dos corresponden a alarmas de emergencia y alarmas del aparato de gobierno).

2. Dispositivos de seguridad. Paradas equipo propulsor – Riesgo directo de accidente para las personas y para el buque

Por requisito SOLAS, toda máquina fluido - mecánica (turbina de vapor o gas y motor de combustión interna,) ya sea principal o auxiliar, debe disponer de dispositivos que fueren su parada automática en caso de perturbaciones en su funcionamiento que puedan derivar en daños graves a la máquina.

Estos daños graves en una máquina, por sobre velocidad, fallo presión lubricación, fallo presión agua refrigeración, niebla en cárter, etc., pueden conllevar riesgo de accidente para el personal que se pueda encontrar en sus inmediaciones por roturas, fugas de fluidos a alta presión y temperatura, incendios y explosiones.



Fig.4 Caja de protecciones motor principal

Además de estas paradas automáticas consideradas “seguridades internas” del equipo propulsor, éste deberá parar por “seguridades externas” en el caso de perturbaciones graves en el propio equipo propulsor, o en

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 59

equipos acoplados o accionados por el equipo propulsor, como reductoras/embragues, generadores de cola, etc.

En efecto, además de las paradas automáticas, para buques con control de la propulsión desde el puente es obligatoria por SOLAS 74/78 la **parada de emergencia manual** del equipo propulsor emplazada en el puente. No obstante, pueden existir otras paradas manuales de emergencia en la cámara de control de máquinas y a pie de máquina (puesto de emergencia control local propulsión).

Además de las paradas de emergencia del equipo propulsor, si este va acoplado a una reductora y además por medio de ésta se acciona un alternador de cola (disposición ampliamente utilizada), se debe disponer de un dispositivo manual para desconexión/desembrague de emergencia, con accionamiento remoto emplazado en el puente (si el control de propulsión se realiza desde el puente), y en cualquier caso a pie de máquina. Por lo tanto se considera que:

“Todo dispositivo de parada/desconexión del equipo propulsor y equipo acoplado, ya sea automático o manual de emergencia, debe estar identificado como equipo crítico”.

3. Dispositivos de seguridad. Bloqueos/enclavamientos de arranque máquina propulsora – Riesgo de accidente para las personas y para el buque

A la hora de arrancar un motor propulsor diesel con buque atracado, bien como consecuencia de trabajos de mantenimiento, o lo más habitual, como parte del procedimiento de preparación de la máquina para maniobra de salida, hay que tomar una serie de precauciones y las pautas a seguir deben estar contenidos en el sistema de gestión.

Especiales precauciones se deben tomar en instalaciones propulsoras con hélice de paso variable (CPP) e instalaciones con reductora/embrague para paso fijo o variable, ya que el procedimiento operacional, por ejemplo en “preparación máquina maniobra salida”, exige el arranque del motor previo

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 60

traslado de responsabilidad desde máquina a puente. Si por fallos o errores operacionales, se arrancara el motor con “hélice embragada” en aplicaciones de paso fijo, o “hélice embragada y/o hélice con paso distinto de cero” en aplicaciones de paso variable, “el buque podría salir con arrancada imprevista” pudiendo producirse no solo daños al buque, sino también a las personas a bordo; de hecho se han producido algunos accidentes graves por estos motivos.

Para evitar estos riesgos, los sistemas de arranque de motores propulsores disponen de “enclavamientos para bloquear el arranque” si no se dan las condiciones mínimas de seguridad. De entre estas condiciones, las tendentes a evitar que el buque pueda salir con una arrancada imprevista como “bloqueo por embrague activado” y “bloqueo por paso distinto de cero” deben ser considerados sistemas críticos. Algunas compañías así lo consideran, a no ser que, en la lista de comprobación del procedimiento de preparación de la máquina para la salida, explícitamente se exija en cada maniobra la prueba de estos dispositivos de enclavamiento. Dichas pruebas, regulares y sistemáticas, confirmarían la fiabilidad de los dispositivos, lo cual haría que no encajaran en el concepto de equipo crítico del ISM.

El mismo estatus que se le ha dado a los dispositivos de enclavamiento para el arranque, se le puede dar al “enclavamiento del virador” de la máquina propulsora.

“De lo expuesto en estos tres puntos se deduce que deben existir procedimientos específicos para probar y así garantizar la fiabilidad de los dispositivos de parada, desconexión/desembrague y bloqueos, los cuales pueden incluir la verificación en el emplazamiento correspondiente de las alarmas críticas asociadas a algunos de estos dispositivos, si éstas no disponen de procedimiento propio, así como la prueba del “overriding” si se dispone de dicho sistema”.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 61

3.1.4. EQUIPOS Y SISTEMAS TÉCNICOS ASOCIADOS A LA LÍNEA DE EJES

Para la identificación de posibles equipos críticos relacionados con la línea de ejes, analizaremos las siguientes configuraciones:

- Línea de ejes con hélice de paso variable (CPP). Motor diesel no reversible acoplado al eje de cola a través de reductora.
- Línea de ejes con hélice de paso fijo (FP). Dos disposiciones:
 - 1- **Motor diésel.**- Motor reversible, directamente acoplado al eje de cola, y Motor no reversible acoplado al eje a través de reductora/embrague.
 - 2- **Turbina de vapor con reductora.**

Hélice de paso variable (CPP)

Un sistema de este tipo, en líneas generales, está compuesto por dos componentes básicos:

1. **Central hidráulica** (power pack).- compuesta por dos bombas para la transmisión de potencia hidráulica al sistema (envía aceite hidráulico para mover las palas).
2. **Sistema de control y mando.**- ubicado donde normalmente se controla la propulsión, puente y control máquina (controla el aporte de aceite hidráulico en cada momento, ajustándolo al paso requerido por el operador).

En base a lo anterior, en el análisis de riesgos evaluaremos los dos siguiente fallos:

- Fallo del sistema hidráulico (pérdida de presión hidráulica)
- Fallo del sistema de control y mando.

1. Fallo del sistema hidráulico (perdida de presión hidráulica)

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 62

La alimentación continua de aceite hidráulico a la presión adecuada es un servicio de los catalogados como esencial para el mantenimiento continuo de la propulsión en un sistema CPP. Dada su condición de servicio esencial, deberá ser redundante, esto es, dos bombas dispuestas en modo stand-by.

¿Qué sucedería si en navegación, repentinamente, nos quedamos sin presión, por ejemplo si falla el stand-by?

Si fallara la bomba en servicio, y por fallo del dispositivo stand-by (no envía “señal” de arranque) no entra la bomba seleccionada como reserva, el sistema se quedaría sin presión. Por la propia configuración del sistema hidráulico, éste dispone de una válvula de bloqueo o retención interna (localizada en el interior del eje, en el distribuidor de aceite), cuya misión en régimen de navegación normal es mantener el paso seleccionado durante el tiempo en que no se requiere cambiar el paso. Esto supone que en una situación de emergencia, como sería la caída repentina de presión, la válvula de bloqueo mantendría en todo momento el paso de hélice previamente prefijado, lo que supone de hecho convertir el sistema de paso variable en un sistema de propulsión de hélice de paso fijo. Por lo tanto podemos afirmar que:

“El fallo del dispositivo stand-by de las bombas del paso variable no genera un riesgo inminente, pues el buque mantendría en todo momento la propulsión y por lo tanto el gobierno, dando tiempo a tomar las acciones oportunas (arranque en manual de la bomba reserva). Por lo tanto se considera que el stand-by de bombas del sistema de paso variable no es equipo crítico”

Planteemos un segundo escenario: bomba en servicio falla, dispositivo stand-by envía “orden” de arranque a la bomba reserva, pero ésta, o no arranca, o si arranca, no levanta presión (fallo general del sistema hidráulico). Como hemos visto con anterioridad, debido a la función desempeñada por la válvula de bloqueo, teóricamente el paso que estaba seleccionado en el momento de producirse el fallo debiera mantenerse fijo. Si durante esta situación de navegación a paso fijo (mientras se intenta

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 63

reparar la avería para reestablecer la situación normal) se requiriese variar el paso de hélice por razones de seguridad, el sistema debe disponer de un **medio alternativo de emergencia** para variar y ajustar el paso (emergency pitch setting). Por lo tanto se considera que:

“El medio alternativo de emergencia para variar y ajustar el paso cuando se carece de presión hidráulica debe ser considerado como equipo crítico”.

Además de identificar como crítico el dispositivo en sí, las instrucciones de operación en emergencia del sistema deben estar expuestas en el puesto de accionamiento del dispositivo.

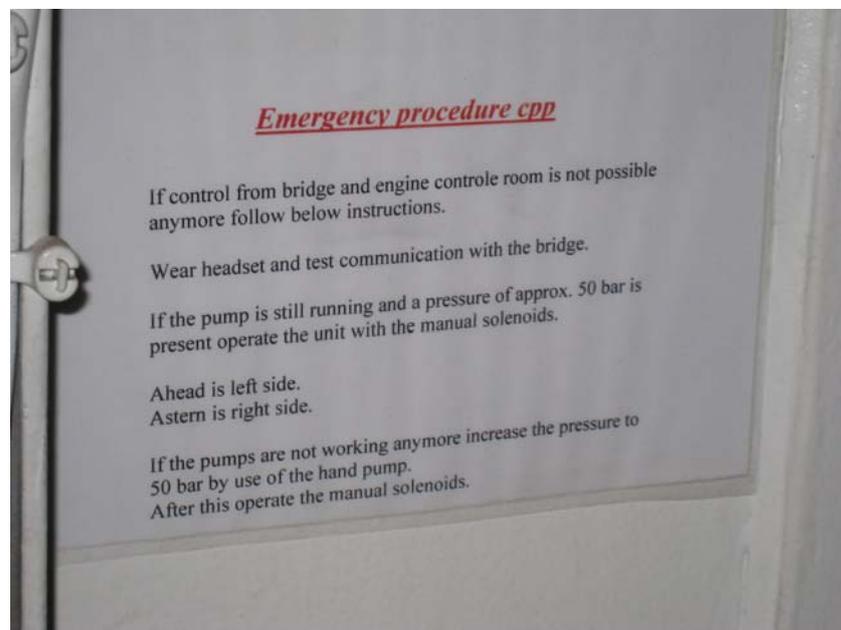


Fig.5 Instrucciones para control manual / emergencia.

La necesidad de tener que variar el paso en situación de emergencia puede venir motivada por diferentes causas: puede que tengamos necesidad de aumentar el empuje en un momento determinado por razones de maniobrabilidad, o por estar cerca de costa con mal tiempo, o también debido a las fuerzas hidrodinámicas que inciden sobre la hélice, ya que al no disponer de presión hidráulica continua, el paso de la hélice tiende a irse a cero (sobre todo si existen fugas internas en el pistón que acciona el giro de las palas o en la propia válvula de bloqueo).

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 64

Los medios alternativos de emergencia utilizados dependen del fabricante de la línea de ejes. Uno de ellos es el de LIPS-WARTSILLA, el cual consiste en una bomba portátil, de accionamiento neumático, que se conecta por medio de una conexión rápida, bien a la válvula distribuidora de la central hidráulica, o directamente al distribuidor de aceite en el propio eje, formando un conjunto hidro-neumático, de manera que la bomba movida por el aire (proveniente de una toma del servicio de aire comprimido del buque) bombea aceite hidráulico (contenido en un depósito portátil ex profeso) al pistón del sistema para girar las palas. La limitación del sistema viene dada por que solo es posible meter presión en “sentido avante”.

Otro tipo también utilizado, en este caso como dispositivo fijo, consiste en una bomba hidráulica manual (gato hidráulico) directa y permanentemente conectada al sistema de presión de la unidad hidráulica del CPP, de manera que, si se produjera una caída repentina de presión, esta se puede reestablecer accionando la bomba manual hasta una presión mínima que permita controlar el paso de la hélice. Dicha presión mínima deberá ser indicada por el fabricante del sistema CPP.



Fig.6 Central de potencia CPP con bombín manual.

Un tercer tipo también utilizado por algunos fabricantes consiste en incorporar a la central una tercera bomba, de menor capacidad que las dos principales, con estatus de bomba de emergencia. En el lado de impulsión

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 65

de la citada bomba y en la válvula direccional del sistema se dispone de conexión para conectar una tubería flexible, de manera que arrancando la bomba de emergencia se mete presión al sistema hasta la posición de paso máximo avante, convirtiendo el sistema de propulsión en un sistema de paso fijo.



Fig.7 Conexión de manguera para accionamiento de emergencia.

2. Fallo del sistema de control y mando de la propulsión

El sistema de control de la propulsión en los sistemas de paso variable (CPP) es un sistema (electrónico) que transmite “órdenes remotas”, desde el puesto de control seleccionado con responsabilidad de mando, al sistema de propulsión. Dichas “órdenes” corresponden el ajuste del paso de hélice requerido y, en función del “modo de control” seleccionado, a la velocidad de la máquina propulsora. Los modos de control en aplicaciones CPP suelen ser los siguientes:

- **Modo generador o a revoluciones constantes equipo propulsor:**
Este modo de control es el que se selecciona cuando el equipo propulsor arrastra un generador de cola y el generador está conectado/acoplado al cuadro principal de distribución eléctrica (MSB). Permite variar el paso de hélice independientemente de las revoluciones de la máquina propulsora, las cuales se ajustan a un

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 66

valor constante preestablecido para evitar fluctuaciones en la tensión de salida del generador y en la frecuencia de red.

- **Modo combinado:** Este modo de control se selecciona cuando el equipo propulsor no arrastra un generador de cola, o si lo arrastra, el generador no está conectado al cuadro principal. El modo de control es integrado, de manera que al variar el paso, se varía la velocidad de la máquina propulsora al mismo tiempo (ajuste de “la curva de carga” del motor al paso seleccionado en cada momento).
- **Modo independiente:** Este modo de control permite variar y ajustar de manera independiente el paso y las revoluciones de la máquina propulsora. Como es lógico, se utilizará sin generador de cola conectado a red, y normalmente este modo de control solo es posible desde el puesto de control remoto del espacio de máquinas.
- **Modo back-up:** Es un modo alternativo de control. Permite controlar el paso pero no la velocidad de la máquina.

El sistema de control, en función de las características del buque y su grado de automatización, puede disponer de uno o más puestos de control remoto o telemandado; por ejemplo, en buques construidos después del 01-07-1986 con posibilidad de control de la propulsión desde el puente (obligatorio para todos los buques UMS), el sistema de control estará emplazado en el puente (incluye los de alerones) y en el espacio de máquinas (normalmente en la cámara de control).

Además, cada uno de estos emplazamientos suele disponer, no por requisito SOLAS 74/78, pero si por requisitos de Clase (sociedad de clasificación), de un medio de control alternativo denominado “back up” e integrado en la misma consola, el cual permite el control y ajuste del paso (aunque no la velocidad/índice de carga de la máquina propulsora) en caso de fallo del control principal. Como podemos observar, el sistema en sí tiene una cierta redundancia.

¿Qué sucedería si se produce un fallo general en el sistema de control telemandado?

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 67

Si se diera tal situación, perderíamos el control de la propulsión, y en determinadas circunstancias, podría generarse un determinado **riesgo**. Al igual que sucede con el servomotor del timón, en un sistema de propulsión CPP se debe poder controlar en todo momento el paso de la hélice en modo local/manual (operación de emergencia) desde donde estén ubicadas las bombas, esto es, “a pié de máquina”, de modo que se dé cumplimiento al requisito SOLAS 74/78 (II-1/R 31), el cual establece que los equipos de propulsión deben poder ser gobernados desde donde estén ubicados en todo momento. Para operar de este modo se suele disponer de pulsadores (avante/atrás) localizados al lado de la central hidráulica y/o también se puede actuar directamente sobre las cabezas de las electroválvulas en la válvula distribuidora de la central hidráulica (operación similar a la utilizada en el servomotor del timón).



Fig.8 Puesto de control local del paso de hélice.

Para graduar el riesgo que se puede generar en este escenario, lo haremos en base a las siguientes situaciones de navegación:

- Navegación en aguas abiertas – **Riesgo medio o bajo.**
- Navegación en aguas con congestión de tráfico – **Riesgo alto.**
- Navegación cercana a la costa y con mal tiempo – **Riesgo alto.**
- Régimen de maniobra – **Riesgo alto.**

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 68

Dado que en tres de las situaciones planteadas se presenta un **riesgo alto**, el medio de control local del paso de hélice debiera ser identificado como **crítico**, y además, en un lugar accesible a este emplazamiento, debieran estar expuestas instrucciones claras y sencillas para llevar a cabo su operación.

Además, este emplazamiento local/manual debe ser “preponderante” sobre los demás emplazamientos, de manera que para controlar la propulsión desde este punto no se necesite “solicitar traslado de responsabilidad de mando al puesto de control remoto que lo tenga en ese momento”.

Al analizar la operación de emergencia para el control de la propulsión en los sistemas CPP se ha hecho referencia a las similitudes con la operación de emergencia del servomotor del timón del buque. En ambos casos, si fallase el sistema de control remoto, se debiera poder efectuar un control manual/local desde la posición de emplazamiento del equipo. En el caso del sistema CPP hemos considerado el equipamiento como crítico, mientras que para el servomotor del timón no se considera así. El argumento sería el siguiente:

“Las verificaciones, chequeos y pruebas del servomotor del aparato de gobierno del buque son requisitos SOLAS 74/78 (Cap.V /R 19-2), siendo por tanto obligatoria su realización periódica y su registro (diario de navegación), incluido el procedimiento de emergencia con una periodicidad tasada de 3 meses. Por el contrario, la verificación y pruebas de la operación de emergencia para el control de la propulsión no es un requisito SOLAS 74/78 explícito, por lo que deberá ser la Compañía la que implemente un plan de mantenimiento específico que incluya pruebas periódicas y registros para garantizar su fiabilidad, lo cual encaja en el concepto de equipo crítico.”

A la hora de analizar ambos modos de fallo, pérdida de presión y pérdida de control remoto, se debe analizar y tener muy en cuenta el comportamiento de otros componentes del sistema de propulsión.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 69

Efectivamente, cuando se controle y ajuste el paso de la hélice en modo emergencia (local/manual) se debe tener en cuenta lo siguiente:

- **Control local máquina propulsora:** Dado que SOLAS 74/78 establece que el equipo de propulsión debe poder ser gobernado en todo momento donde esté ubicado (mando local/manual), cuando se tenga que controlar el paso de hélice en modo emergencia, la velocidad y por lo tanto el índice de carga de la máquina propulsora debe poder ser ajustado manualmente en todo momento para evitar sobrecarga en la misma (*cuando se opera en modo remoto/telemando, este control lo realiza automáticamente el propio sistema*). Cuando la máquina propulsora va acoplada al eje de la hélice a través de reductora con embrague (bien para embrague del propio eje de cola, o bien para embrague de tomas de fuerza, por ejemplo para accionar un generador de cola), como sucede habitualmente en sistemas CPP, el embrague/desembrague se debe poder realizar manualmente por medio de un dispositivo ubicado en la propia reductora o sus cercanías. Este control local de la máquina propulsora también incluirá la función “arranque-parada” de la máquina.
- **Medios de comunicación:** Por requisito SOLAS 74/78 debe haber medios de comunicación adecuados en cualquier emplazamiento desde el que se pueda controlar la propulsión, lo que incluye el emplazamiento para el control local/manual del paso variable. Además para buques construidos después del 01-07-1998, se deberá disponer de telégrafo de órdenes en el lugar donde se efectúe el control local/manual de la propulsión, es decir el medio de comunicación debe ser al menos un telégrafo de órdenes.
- **Indicadores de paso/posición palas:** El indicador de paso/posición palas en el puesto local/manual de control de la propulsión solo es obligatorio por SOLAS 74/78 para buques construidos después del 01-07-1998. En el momento de efectuar el control local de la propulsión en emergencia es necesario conocer con cierta exactitud el

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 70

“paso que se mete”. En los buques en que no es obligatorio disponer de un indicador de paso, éste se deberá verificar en el “indicador mecánico” ubicado en el distribuidor de aceite en el eje. Dado que en algunas disposiciones desde la posición donde se controla manualmente el paso es imposible ver el paso que se está metiendo, debe haber un procedimiento con instrucciones claras para efectuar la operación.

El control local/manual de la máquina propulsora, así como el medio de comunicación con el puente de gobierno, en este caso cuando es componente único, debieran, del mismo modo que sucede con el control local/manual del CPP, ser identificados como **equipos críticos** en el SGS.

Es lógico este criterio seguido para la identificación de equipos críticos si tenemos en cuenta la **diferencia** entre el concepto de equipo **esencial** y equipo **crítico** ya abordado en otra parte anterior de este proyecto.

Hélice de paso fijo (FP)

1- Motor diésel.- Al igual que sucede con el caso anterior, se debe poder controlar la propulsión en todo momento desde un emplazamiento a “pie de máquina” en modo local/manual para caso de fallo del control remoto, normalmente denominado “puesto de control local”.



Fig.9 Puesto de control local sistema hélice de paso fijo.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 71

En el caso de una máquina propulsora directamente acoplada al eje porta hélices, este puesto de control local/manual constará de los siguientes componentes:

- **Control local máquina propulsora.-** Este control incluirá los mandos adecuados para arrancar-parar, invertir sentido de empuje en motores reversibles y ajustar su velocidad en modo local. Si el motor propulsor está acoplado a la línea de ejes a través de reductora/embrague, caso de motores no reversibles, la función de embrague/desembrague debe poder ser realizada manualmente desde la propia reductora.
- **Medios de comunicación.-** Deberá haber medios de comunicación adecuados con otros emplazamientos desde los cuales se pueda controlar la propulsión. Para buques construidos después del 01-07-1998, estos medios dispondrán al menos de un telégrafo de órdenes.
- **Indicadores velocidad eje porta-hélice y sentido de empuje.-** Para buques construidos después del 01-07-1998 es obligatorio que en el puesto de control local aparezcan indicados la velocidad de rotación hélice y su sentido de empuje.

El medio de control local/manual de la máquina propulsora y el medio de comunicación con el puente de gobierno, cuando este último sea componente único, debieran ser identificados como equipos críticos, o bien considerar como equipo crítico al “puesto de control local/manual de la propulsión” en su conjunto.

En el caso de que el motor propulsor está unido al eje porta-hélices a través de una reductora-embrague, el medio de desembrague de emergencia también debiera ser considerado como equipo crítico.

Por ejemplo, en instalaciones con motor reversible (motores lentos, de dos tiempos,) durante la operación de maniobra de atraque/desatraque se suele requerir el arranque-inversión- parada de la máquina reiteradamente. Si se produce durante la maniobra un fallo en el control remoto y el motor, por ejemplo no arranca en un momento determinado por fallo de señal de mando

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 72

desde el emplazamiento remoto, se puede generar un determinado riesgo para la seguridad del buque si no se actúa con prontitud. La respuesta deberá ser efectuar la operación de arranque desde el **puesto local/manual** con la mayor urgencia posible. Dado que el procedimiento normal y rutinario en maniobra es controlar la máquina propulsora desde los puestos remotos (cámara control máquina y puente si es el caso), la Compañía debiera incluir dentro del sistema de mantenimiento un plan de inspección y prueba específico para garantizar la fiabilidad del emplazamiento local/manual de control de la propulsión, incluyendo instrucciones operacionales expuestas en el citado emplazamiento.

2- Turbina de vapor.- Al igual que para el caso de motores diésel, la planta propulsora debe poder ser operada en modo manual desde un emplazamiento “a pie de máquina” (plataforma de maniobra). Este puesto para el control local/manual de la propulsión será independiente de los puestos de control remoto y, además, “preponderante” respecto a ellos. Dicho puesto local constará de:

- **Control local de las turbinas.-** desde este emplazamiento se podrá, en todo momento, iniciar, detener e invertir el sentido de empuje del eje porta hélice, así como ajustar con seguridad el régimen de potencia/velocidad de la planta propulsora.
- **Medios de comunicación.-** Deberá haber medios de comunicación adecuados con otros emplazamientos desde los cuales se pueda controlar la propulsión. Para buques construidos después del 01-07-1998, estos medios dispondrán al menos de un telégrafo de órdenes.
- **Indicadores velocidad eje porta-hélice y sentido de empuje.-** Para buques construidos después del 01-07-1998 es obligatorio que en el puesto de control local aparezcan indicados la velocidad de rotación de la hélice y su sentido de empuje.
- **Operación de emergencia.-** Se debe disponer de medios para poder introducir vapor a la turbina de alta presión en caso de avería en la de baja presión y viceversa, de manera que permita al buque llegar a puerto. Aunque esta prueba normalmente solo se realiza durante las

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 73

pruebas en la construcción del buque, se debe verificar que existe un procedimiento al respecto y que la tripulación está familiarizada con él, así como que las tuberías y elementos necesarios para llevar a cabo la operación se encuentran en buen estado y estibados adecuadamente.

3.1.5. LISTADO RESUMEN EQUIPOS CRÍTICOS (UN SOLO EQUIPO PROPULSOR)

- Dispositivos de conmutación automática en buques UMS para servicios esenciales primarios de la máquina propulsora (modo stand-by) cuyo fallo puede originar pérdida total de la propulsión por activación de parada automática de seguridad de la máquina.
- Alarmas que alerten de inminente parada automática de la máquina propulsora (shut-down), con especial incidencia en repetidor de alarmas en el puente (señal visual y sonora), cuando el control de la propulsión se pueda realizar desde este emplazamiento.
- Dispositivos de parada automática de la máquina propulsora (M/E safety trips).
- Dispositivos de seguridad de activación manual: paradas de emergencia, embrague/desembrague de emergencia, mandos para inhibir/anular parada/reducción de potencia automática y bloqueos de arranque máquina propulsora.
- En sistemas CPP, emplazamiento para control local/manual de la propulsión, pudiendo incluir: dispositivo para variación/ajuste paso hélice en emergencia (fallo presión sistema), medios para control/ajuste paso hélice local/manual (fallo sistema de mando remoto), control local/manual máquina propulsora, embrague/desembrague local/manual reductora, medios de comunicación (incluirá telégrafo si este es obligatorio).

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.1	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 74

- En sistemas FP, emplazamiento/plataforma control local/manual propulsión, pudiendo incluir: mandos control máquina propulsora, medios de comunicación (incluirá telégrafo si este es obligatorio).
- En plantas de turbinas, los medios necesarios para hacer posible la propulsión de emergencia.

3.2. INSTALACIÓN CON DOS EQUIPOS PROPULSORES Y UNA SOLA LÍNEA DE EJES

Una vez analizado exhaustivamente el caso más crítico, buque con una sola máquina propulsora, pasamos a analizar el caso de instalaciones con dos máquinas propulsoras.

En este caso, la disposición más utilizada hoy es la línea de ejes de paso variable (para el arrastre de un alternador de cola por máquina), dejando la hélice de paso fijo para aplicaciones de propulsión diese-eléctrica, por lo que haremos referencia principalmente a aplicaciones CPP. La disposición de planta más empleada suele ser:

1. Dos motores principales no reversibles arrastrando cada uno un generador de cola a través de la reductora.
2. Reductora de doble cuerpo con dos entradas (una por motor principal) y tres salidas para los dos generadores de cola y el eje de cola, esta última embragable.
3. Hélice de paso variable.
4. Control de propulsión desde el puente (y desde cabina de control máquina).

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.2
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 75



Fig.10 Control remoto CPP en cámara de máquinas.

Para el análisis de riesgos en este caso, plantearemos los dos supuestos siguientes:

- Navegando con dos máquinas
- Navegando con una sola máquina

3.2.1. NAVEGANDO CON LAS DOS MÁQUINAS

En esta situación, el sistema de propulsión lo podríamos catalogar, en principio, como “redundante”. No obstante, al analizar los modos de fallo y sus consecuencias se deben tener en cuenta que componentes de la planta son redundantes y cuales son componentes únicos.

Componentes redundantes

¿Qué sucedería si falla una de las máquinas propulsoras? En principio y al tratarse de una planta con dos máquinas, si una de ellas deja de funcionar por activación de una seguridad (shut down), se mantendría en todo momento propulsión y gobierno al disponer de otra máquina funcionando, evitando que se genere un riesgo elevado. No obstante lo anterior, siempre se ha de tener en cuenta que la capacidad de propulsión se verá reducida

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 76

hasta un determinado valor de seguridad para evitar sobrecarga en la otra máquina y en la línea de ejes - *el sistema de control auto-ajusta la propulsión a la curva de carga máxima admisible con un solo motor, reduciendo el paso de hélice a un valor seguro (pudiendo hacerse manualmente también)* – Esta reducción de potencia (slow down) supone una pérdida parcial de propulsión lo cual puede suponer un riesgo moderado o leve, dependiendo de las circunstancias de navegación, pero situándose por debajo del umbral de riesgo alto o severo.

Ante el fallo de una de las máquinas propulsoras, *¿Cuál sería el caso más desfavorable?* El caso más desfavorable se dará cuando la máquina propulsora que falla (parada automática por seguridad) acciona el generador de cola que está, en ese momento, conectado a red suministrando la energía requerida, particularmente en buques UMS durante los periodos “sin dotación” en espacio de máquinas. Esto va a suponer un black-out y la pérdida momentánea de propulsión. El grado de riesgo potencial de este escenario vendrá definido por “el tiempo mínimo necesario para reestablecer la propulsión”, que incluirá, como paso previo, el tiempo mínimo para recuperar la potencia eléctrica (black-out recovery procedure*). Para cumplir con SOLAS 74/78, si se diese esta situación, en buques UMS deberá de inmediato arrancar y acoplarse automáticamente al cuadro eléctrico principal un grupo generador de reserva, re-arrancando automáticamente a su vez todos los servicios esenciales para recuperar la propulsión y el gobierno (Cap.II-1/parte E/R 53).

El tiempo máximo para disponer de energía en los servicios esenciales para la propulsión y el gobierno debiera ser de 30 s. máximo, según la MSC/Circ.1176 de IMO. Siguiendo con la secuencia, una vez restablecidos todos los servicios esenciales auxiliares asociados a la propulsión, se dará orden de arranque a la máquina propulsora “intacta” (puede ser desde el mismo puente tras señal de “listo para arrancar”) recuperando de inmediato la propulsión y el gobierno.

Si comparamos este escenario con el correspondiente a buques con una sola máquina, encontramos ciertas diferencias. Efectivamente, en el caso de

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 77

dos máquinas siempre vamos a disponer de una “máquina intacta” para reanudar la propulsión dentro de un tiempo o margen de seguridad. Por el contrario, en el caso de una sola máquina y aún en el caso más favorable (secuencia de recuperación servicios esenciales inmediata y satisfactoria), antes de arrancar la máquina propulsora hay que verificar el por qué se ha activado una seguridad de parada, lo cual prolongará el tiempo sin propulsión.

¿Qué podría suceder si en “régimen de maniobra” falla una de las máquinas propulsoras que además arrastra un generador de cola acoplado?

El sistema en principio es redundante por nº de máquinas propulsoras, generadores y barras del cuadro eléctrico principal, y no tendría, en teoría, por qué producirse pérdida total de propulsión y/o black-out. Si se dispone de dos máquinas y dos generadores de cola, además de grupos generadores auxiliares, la disposición de la planta eléctrica en maniobra se configurará de manera que cada generador de cola alimente al cuadro principal de modo independiente – *barras separadas por interruptor de barras abierto, cada generador de cola alimenta una barra y además se dispone de un auxiliar en stand-by por barra* - Si bajo esta configuración se produjera el fallo y parada de una de las máquinas propulsoras (fallo dispositivo stand-by), caería el generador de cola y su barra, no obstante siempre mantendríamos servicios esenciales para la propulsión y gobierno por medio de la otra barra del cuadro principal.

Por lo arriba expuesto se considera que:

“Los dispositivos stand-by de los equipos esenciales auxiliares asociados a las máquinas propulsoras podrán no ser considerados equipos críticos en el caso de buques con dos máquinas propulsoras, aún en los caso más desfavorable, tanto en navegación (black-out, sin dotación en espacio de máquinas y navegando en zona de congestión de tráfico), como en “régimen de maniobra.”

(Nota: la secuencia automática de recuperación de la planta eléctrica y servicios esenciales debe estar incluida en el plan de mantenimiento programado del buque y por tanto probada regularmente, por ejemplo coincidiendo con los reconocimientos anuales estatutarios y de

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 78

clase. Además, si la secuencia requiere alguna intervención manual, debería haber instrucciones claras expuestas (p.e en el cuadro de distribución principal) y el personal responsable familiarizado con las mismas, todo ello incluido en un procedimiento identificado en el capítulo correspondiente a “preparación para emergencias” – fallo planta eléctrica/recuperación tras black-out).

Componentes únicos

Los componentes principales que podemos identificar como “únicos” en una planta propulsora de este tipo son los siguientes:

- **Caja reductora:** La caja reductora suele disponer de una bomba acoplada de aceite para lubricación y presión para embrague, y de una segunda bomba de accionamiento eléctrico o bomba reserva dispuesta en modo stand-by. La reductora, en su conjunto, aun siendo componente único, no debiera ser identificada como equipo crítico en el ISM siguiendo el mismo criterio descrito con anterioridad para una máquina propulsora única, es decir, sería en todo caso un equipo esencial, pero no crítico.

¿Qué sucedería si, ante el fallo de la bomba acoplada, no entrase en servicio la de reserva por fallo del dispositivo stand-by? Si esto sucediera en el caso más desfavorable, buque UMS y sin dotación en ese momento en la cámara de máquinas, por seguridad se produciría el “desembrague automático” del eje de cola por la caída de la presión de embrague, lo cual ya va a suponer pérdida de propulsión. Además, para evitar daños graves a la maquinaria se activaría la parada automática de las máquinas propulsoras que en ese momento estuvieran embragadas. Esta secuencia pudiera originar una pérdida total de propulsión y de gobierno, y por lo tanto un determinado **riesgo** en función de las condiciones de navegación en ese momento, ya que previo a restablecer la propulsión se deberá chequear la maquinaria afectada, pudiéndose superar el margen de seguridad. En base a la situación de navegación en el momento de producirse el fallo, graduaríamos el riesgo de la siguiente manera:

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 79

- Navegación en aguas abiertas – **Riesgo moderado o bajo.**
- Navegación zona congestionada – **Riesgo alto.**
- Navegación cerca de la costa con mal tiempo – **Riesgo alto**

La situación de “maniobra” no se considera dentro del escenario planteado, ya que en buques UMS, y en esta situación, el espacio de máquinas deberá estar atendido permanentemente, asimilándose a la situación de buque no UMS. En este escenario, el personal de guardia en la cámara de máquinas podrá arrancar la bomba de reserva dentro de un margen de seguridad previo a la secuencia de actuación de los dispositivos de parada de seguridad.

Por lo argumentado, y dado que, en al menos una de las cuatro situaciones de navegación consideradas, se gradúa el riesgo como alto, se considera que el stand-by de bombas de aceite de la reductora debería ser identificado como **equipo crítico** en buques UMS.

También debieran ser identificados como críticos el desembrague de emergencia manual para caso de fallo desembrague automático, ya sea remoto (panel control propulsión en el puente) o local en la misma reductora, así como las paradas manuales de emergencia de las máquinas propulsoras.

- **Línea de ejes. Sistema CPP:** Al disponer de una sola línea de ejes, el comportamiento en caso de fallos en el sistema CPP es semejante al de una sola máquina propulsora, identificándose los mismos equipos críticos que para ese caso.

3.2.2. NAVEGANDO CON UNA SOLA MÁQUINA

Al analizar este caso se nos pueden plantear los dos escenarios siguientes:

- Navegando con una máquina por razones de economía/explotación
- Navegando con una máquina por avería sobrevenida de la otra

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 80

Navegando con una máquina por razones de economía/explotación

Al disponer de dos máquinas, muchos buques, en función de las características técnicas de la planta propulsora, pueden navegar con seguridad con una sola máquina. De hecho, desde la fase inicial de proyecto ya se debe contemplar esta posibilidad, debiendo quedar demostrada esta capacidad en pruebas de mar (maniobrabilidad, pruebas de resistencia con un solo motor, etc.), y plasmado en el “protocolo de pruebas” los límites operativos para una sola máquina (% máx. índice cremallera bombas inyección, % máx. paso palas, etc.).

¿Qué puede suceder si, por fallo de un servicio esencial auxiliar, se produjera una parada repentina de la máquina propulsora en servicio?

Si se produjera esta circunstancia y aun en el caso más desfavorable, black-out y sin dotación en espacio de máquinas, el buque va a disponer, tras la recuperación de servicios esenciales por secuencia prefijada, de la posibilidad de arrancar la otra máquina que se encontraba parada para restablecer la propulsión dentro de un margen de seguridad, eliminando teóricamente la posibilidad de que se genere un riesgo alto, aún en la situación de navegación mas desfavorable.

No obstante, para que se pueda arrancar en el menor tiempo posible la máquina “intacta”, esta deberá encontrarse en situación de “lista para arrancar” mientras se encuentra parada; esto supone como mínimo precalentamiento y pre-lubricación continua, recirculación permanente de combustible (si se va arrancar con combustible pesado), etc., lo cual debería ser tenido en cuenta por la Compañía en el sistema de gestión. Por lo tanto, se puede considerar que los sistemas stand-by de servicios esenciales primarios pueden no ser considerados equipos críticos al disponer en todo momento de otra máquina “intacta”, siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 81

Navegando con una máquina por avería sobrevenida de la otra

Considerando esta situación como excepcional, la posibilidad de disponer de otra máquina propulsora convierte al sistema de propulsión en sistema de emergencia o “vuelta a casa” (take at home) en determinadas circunstancias, permitiendo al buque alcanzar puerto.

Además de los equipos críticos ya identificados en el análisis de riesgos para la seguridad de la navegación y del buque en general, en el ámbito de los riesgos directos para las personas que puedan derivarse de averías graves de la maquinaria, se debieran identificar como equipos críticos también los **dispositivos de seguridad**, como paradas automáticas, paradas de emergencia manuales, dispositivos de enclavamiento, conexión/desconexión manuales, etc.

3.2.3. LISTADO RESUMEN EQUIPOS CRÍTICOS (DOS MÁQUINAS Y UNA LÍNEA DE EJES)

- Dispositivo stand-by bombas aceite de la reductora/embrague junto con las alarmas relacionadas (al menos en buques UMS).
- Dispositivos de parada automática máquinas propulsoras y desembrague automático reductor.
- Dispositivos de seguridad de activación manual: paradas de emergencia máquinas propulsoras, embrague/desembrague de emergencia remoto y local, bloqueos de arranque máquinas propulsoras.
- En sistemas CPP, emplazamiento para control local/manual de la propulsión, pudiendo incluir: dispositivo para variación/ajuste del paso en emergencia (fallo presión en sistema), medios para control/ajuste local/manual del paso (fallo sistema de control remoto), control local/manual máquinas propulsoras y el medio de comunicación (incluyendo telégrafo cuando este sea obligatorio), cuando este medio sea único.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.2	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 82

- En sistemas FP, emplazamiento control local/manual propulsión, que incluirá al menos el dispositivo para control local de las máquinas propulsoras y el medio de comunicación con el puente y la cámara de control de máquinas, cuando este medio sea único.

3.3. INSTALACIÓN CON DOS MÁQUINAS Y DOS LÍNEAS DE EJE

HELICE DE PASO VARIABLE (CPP)

Como en el caso anterior, la disposición más ampliamente utilizada es la de paso variable (CPP), esto es, dos motores diesel arrastrando cada uno un generador de cola, dos reductoras y dos ejes de cola, por tanto se dispone de dos “líneas de propulsión” (la disposición de hélice de paso fijo se suele utilizar en propulsión diesel-eléctrica). Esta disposición puede considerarse en condiciones normales “**redundante**”. Podemos plantear los siguientes casos:

- Navegando con dos máquinas, caso de que falle una: El sistema es totalmente redundante, ya que siempre dispondremos de otra máquina y no se producirá pérdida total de propulsión y gobierno.
- Navegando con dos máquinas, caso de que la máquina que falle arrastre el generador de cola acoplado: Aún partiendo de la condición de black-out, y una vez reestablecidos servicios esenciales tras secuencia prefijada, se dispone en todo momento de una “**línea intacta**” para reestablecer la propulsión dentro de un margen de seguridad.
- Navegando con una sola máquina por razones de explotación, caso de que ésta falle: Como en el caso anterior, y aún partiendo de la condición más desfavorable, black-out, siempre vamos a disponer de una “**línea intacta**” para reanudar la propulsión con seguridad.

Del análisis de los casos considerados como “condiciones normales” y dada la redundancia existente, podemos plantearnos la siguiente pregunta:

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.3
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 83

en el ámbito del riesgo para la navegación y seguridad del buque *¿sería necesario identificar algún equipo o sistema técnico crítico?*

Para responder a la pregunta anterior analizaremos el caso más desfavorable que nos podemos encontrar, el cual sería para aplicaciones CPP: *“navegando con una máquina por avería sobrevenida de la otra máquina”*. En estas circunstancias la planta propulsora se puede asimilar a la de un buque con una sola máquina.

Bajo estas circunstancias *¿qué podría suceder si falla un dispositivo stand-by de un servicio esencial de la máquina propulsora (incluida reductora)?* Aunque la disposición de la planta en estas circunstancias es similar a la de buque con una sola máquina, no se debe olvidar que, para un buque con dos máquinas y dos ejes, esta situación se puede calificar de “excepcional” (aun en el caso de que el buque pueda navegar con seguridad con una sola máquina). En esta situación, el buque se puede dirigir a puerto de destino con seguridad e incluso con autorización de la Administración de bandera y una condición de Clase impuesta continuar navegando durante un periodo limitado de tiempo hasta dirigirse a puerto de reparación. Teniendo por tanto en cuenta el carácter excepcional de la situación, si por ejemplo fallara el stand-by de lubricación de la reductora, se activarían las seguridades pertinentes (desembrague automático eje de cola y parada automática máquina) para evitar daños en la maquinaria afectada, sufriendo una pérdida de propulsión. Aunque se superase el margen de seguridad, una vez chequeada la maquinaria afectada y restablecido el servicio de lubricación en manual, se podrá reanudar la navegación. Ahora bien, *¿qué podría suceder si en este caso no actuaran los dispositivos de parada/desconexión tanto automáticos como manuales?* Si ante una perturbación en el equipo propulsor, no es posible su parada/desconexión inmediata, se pueden producir daños graves en la maquinaria que supongan imposibilidad de “reanudar la marcha” y por lo tanto para salvaguardar el buque y las personas habría que pedir remolque. Además, si se producen daños graves en la maquinaria existe la posibilidad que se genere un riesgo directo para las personas que se encuentren en su cercanía. Es por ello que, para la planta de propulsión en estudio, los “verdaderos equipos críticos” deben ser

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 84

los dispositivos de seguridad para parada/desconexión, tanto automáticos como manuales de emergencia.

Por otro lado *¿qué podría suceder si el fallo se produce en el sistema de paso variable?* Si se pierde el control del paso de la línea en servicio, mientras la otra se encuentra averiada, se puede perder el control de la propulsión e inclusive perder ésta si el paso se va a cero. En estas circunstancias, aun disponiendo de máquina propulsora, se pasaría de situación excepcional a situación de emergencia si no se puede controlar/ajustar un determinado paso de hélice para reanudar la propulsión, pudiendo derivar la situación en la necesidad de tener que “solicitar remolque”.

Por lo arriba expuesto se considera que:

“En buques con dos máquinas y dos líneas de ejes con control de paso variable se identificarán como críticos los dispositivos y medios para el control y ajuste del paso de hélice en emergencia (funcionamiento en “degraded status”). Además, deberán identificarse como críticos los dispositivos de desconexión automática y manual de la maquinaria”.

HÉLICE DE PASO FIJO. PROPULSIÓN DIESEL ELÉCTRICA

De forma genérica se puede establecer que un buque tiene una planta principal de propulsión eléctrica, cuando la propulsión principal es suministrada por, al menos, un motor eléctrico, o si este motor es capaz de suministrar, aunque sea temporalmente, toda la potencia propulsora necesaria. Cuando hablamos de propulsión diésel eléctrica, las máquinas que accionan los generadores de la planta eléctrica se denominan “máquinas principales”, mientras que los motores eléctricos que accionan las hélices se denominan “motores de propulsión”.

Los requisitos normativos mínimos para una planta propulsora eléctrica son los siguientes:

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 85

- Para cada **motor propulsor** se debe disponer de, al menos, **dos convertidores estáticos** que puedan funcionar de modo independiente y además, que sean intercambiables entre sí. Estos convertidores estáticos deberán disponer además de sistemas de refrigeración, también independientes e intercambiables, así como de sistemas de regulación propios.
- La alimentación necesaria para los circuitos de potencia debe ser suministrada por medio de cables separados desde diferentes secciones del **cuadro eléctrico principal de propulsión**.

Una disposición típica de planta propulsora diesel-eléctrica sería la siguiente:

1. Cuatro grupos generadores principales.
2. Dos motores propulsores, cada uno conectado a una reductora, transmitiendo potencia a dos líneas de ejes con hélice de paso fijo.
3. Dos convertidores estáticos de propulsión, uno por cada motor de propulsión. Cada convertidor está compuesto por dos unidades separadas y operando en paralelo.
4. Dos transformadores de propulsión por cada convertidor estático.
5. Dos emplazamientos para control remoto de la propulsión (puente de gobierno y control de cámara de máquinas).

Los dispositivos de seguridad mínimos que reglamentariamente una planta como esta debe disponer, y cuya activación puede suponer una pérdida de la capacidad de propulsión, son:

- Dispositivos de parada automática:
 - muy baja presión en el sistema de lubricación de alta presión (oil jacking units) motor propulsor

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 86

- muy baja presión de aceite lubricante en reductora
- sobre-velocidad (115% MCR)
- Dispositivos de reducción de potencia automática:
 - fallo lubricación de baja presión (para cojinetes axiales) motor propulsor. Esta lubricación sería, en este caso, sustituida por la unidad de lubricación a alta presión (oil jacking unit).
 - alta temperatura cojinete de empuje, tanto si es independiente, como se está integrado en la reductora
 - alta temperatura de aceite lubricante en la reductora, antes y después del enfriador
 - fuera de límites para los siguientes parámetros eléctricos: sobrecarga, sobreintensidad, mínima tensión, baja frecuencia y potencia inversa

Como se puede apreciar, al analizar la disposición de la planta, existe un cierto grado de redundancia o, al menos, existen procedimientos y/o mecanismos de reemplazo para elementos averiados.

Siguiendo el mismo procedimiento deductivo utilizado en el caso de sistemas CPP, el caso mas desfavorable que se puede dar sería “navegando con una sola línea por avería sobrevenida de la otra”, pudiéndose asimilar al caso de buque con una sola máquina. Como ya se dijo en sistemas CPP, para una planta de estas características este escenario planteado puede calificarse como “excepcional” si lo comparamos con una planta de una sola máquina. En este escenario, los componentes “únicos” serían el motor propulsor y la reductora, ya que el convertidor estático es redundante (dos unidades), así como los transformadores de propulsión (dos por motor). Bajo estas circunstancias, si se produjese un fallo en un dispositivo stand-by del motor propulsor o reductora y se activara una parada automática de la propulsión, aún en la situación más desfavorable, buque UMS y periodo de máquina desasistida, existirá un margen de maniobra para que el oficial de guardia reestablezca el servicio

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 87

averiado en modo manual, de modo que se pueda reanudar la propulsión con seguridad. Sin embargo, si ante el fallo de un dispositivo stand-by, fallara la activación de la parada automática correspondiente, se podrían producir, no solo daños graves para la maquinaria que impidiese la propulsión, si no también riesgo para las personas que pudieran estar en sus proximidades. Es por ello que, para la planta de propulsión en estudio, los “verdaderos equipos críticos” deben ser los dispositivos de seguridad para parada/desconexión, tanto automáticos como manuales de emergencia.

Por otro lado, *¿qué sucedería si fallara el sistema de control remoto de la propulsión?* Si se pierde el control de la propulsión de la línea en servicio, mientras la otra se encuentra averiada, se puede perder la propulsión y generarse un determinado riesgo. Este **riesgo** puede graduarse como **alto** para determinadas situaciones de navegación (navegando en zona de congestión de tráfico, navegando cerca de la costa con mal tiempo, y en régimen de maniobra). En estas circunstancias, aun disponiendo de máquina propulsora, se pasaría de situación excepcional a **situación de emergencia** si no se puede efectuar con una seguridad mínima el control de la propulsión.

Ante un escenario como el descrito, y por requisitos reglamentarios (SOLAS y Reglas de Clasificación), cuando el control de la propulsión se efectúe en modo remoto, y ante un posible fallo de este, el citado control se debe poder ejercer en modo local/manual desde un emplazamiento denominado “**puesto de control local**”, el cual deberá estar directamente conectado al convertidor estático correspondiente. Además, el procedimiento de cambio de responsabilidad al puesto de control local debe ser llevado a cabo en el menor tiempo posible, y este puesto tendrá “prioridad máxima” respecto a los demás puestos de control que pudieran existir.

Este puesto local deberá disponer como mínimo de:

- Medios para arrancar/parar la maquinaria propulsora
- Ajuste de velocidad de la línea de ejes por control directo sobre el convertidor estático (variación tensión/frecuencia)

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.3	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 88

- Medios de comunicación con los demás emplazamientos de control de la propulsión
- Indicadores de revoluciones de cada eje y su sentido de giro
- Medios para conexión/desconexión de cada convertidor estático
- Parada manual de emergencia de la propulsión
- Función “overriding” para anular reducciones automáticas de potencia
- Amperímetros y voltímetros para todo suministro y para cada componente que requiera carga eléctrica
- Indicación del número de generadores principales requeridos para la propulsión o indicación de la potencia reserva disponible
- Indicadores del puesto de control de propulsión con responsabilidad

Dado que este puesto local permite mantener el control de la propulsión, aunque en condiciones inferiores a las normales (degraded status), el mismo debiera ser identificado como **equipo crítico** dentro del SGS

3.3.1. LISTADO RESUMEN EQUIPOS CRÍTICOS (DOS MÁQUINAS Y DOS LÍNEAS)

- Dispositivos de parada/reducción de potencia automática máquinas propulsoras
- Dispositivos de seguridad de activación manual: paradas de emergencia, embragues/desembragues de emergencia, bloqueos de arranque.
- En sistemas CPP, emplazamientos para control local/manual de la propulsión, pudiendo incluir: dispositivos y medios para el control del paso de hélice en emergencia, control local/manual máquinas propulsoras, medios de comunicación, si este fuera componente único.
- En sistemas FP, puesto para el control local/manual de la propulsión.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.4	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 89

3.4. INSTALACIÓN CON CUATRO EQUIPOS PROPULSORES Y DOS LÍNEAS DE EJES

En esta configuración se dispone de dos máquinas propulsoras por “línea”, por lo tanto, aumentaría el grado de redundancia respecto al caso anterior. En sistemas CPP, si se produce el fallo de una máquina propulsora ambas líneas se verán afectadas, produciéndose una reducción automática de potencia por auto-ajuste del paso en ambas líneas para evitar sobrecargas perjudiciales, manteniendo en todo momento propulsión y gobierno. Se puede navegar con seguridad con una máquina en una línea y dos máquinas en la otra, o bien por razones de economía con una máquina por línea.

A semejanza del caso anterior, el escenario más desfavorable que se puede presentar es “navegando con una sola línea (aun con dos máquinas) por avería en la otra línea”. Aun disponiendo de dos máquinas por línea, ésta se puede ver inutilizada por avería gruesa en componentes únicos como la reductora o el propio eje (fatiga de materiales, pérdida de aceite bocina, avería en una pala, etc.).

En esta circunstancia, catalogada como “excepcional”, el criterio a seguir para identificar equipos críticos asociados a la propulsión coincide con el seguido para el caso anterior. Por lo tanto se considera que:

“En buques con dos líneas y dos máquinas por línea se identificarán como críticos los dispositivos y medios para el control y ajuste del paso de la hélice en emergencia. Además deberán ser identificados como críticos los dispositivos de desconexión automática y manual de la maquinaria. Básicamente el listado coincide con el del caso C”

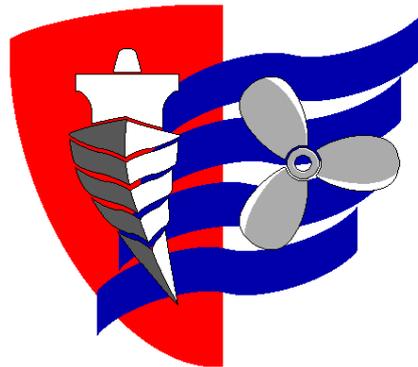
3.5. SISTEMAS DE PROPULSIÓN REDUNDANTES

Dado que se certifica expresamente el grado de redundancia, los únicos equipos críticos asociados a la propulsión que se debieran identificar serán los dedicados a evitar daños graves a la maquinaria y por lo tanto a las

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-30.3.5
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013
	REV: 0 PÁG. 90

personas que se puedan encontrar en sus cercanías, esto es, dispositivos de desconexión automáticos y manuales de emergencia de la maquinaria.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



CAPÍTULO 4

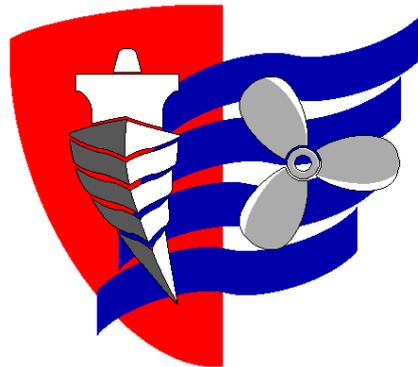
CONCLUSIONES

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-40	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 92

4. CONCLUSIONES

- La Compañía será, con carácter totalmente discrecional, la responsable de identificar los equipos críticos que considere oportunos siguiendo los procedimientos establecidos en el Código (método de evaluación y análisis de “todos” los posibles riesgos), con la aprobación de la Administración correspondiente.
- No todo equipo en stand-by asociado a la propulsión, por el simple hecho de serlo, debe estar identificado como equipo crítico en el ISM.
- Los dispositivos de seguridad tendentes a evitar daños graves a la maquinaria, y por lo tanto a las personas que se encuentren en sus cercanías, deberán siempre ser identificados como equipos críticos, independientemente del grado de redundancia de la instalación. La sentencia *“puede darse el caso de buques que por su grado de redundancia no tengan identificados ningún equipo crítico asociado con la propulsión”* no es aceptable.
- El que los equipos en stand-by, o algunos de ellos, no sean identificados como equipo crítico en base al análisis de riesgos, no significa que no deban ser probados periódicamente. Todo equipo, sistema, dispositivo o mecanismo debe estar incluido en el mantenimiento programado del buque.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



CAPÍTULO 5

ANEXOS

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-50	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 94

5. ANEXOS

ANEXO I REQUISITOS A CUMPLIR POR LOS SISTEMAS DE PROPULSION REDUNDANTES

1. CONSIDERACIONES GENERALES

Existen sistemas de propulsión que pueden disponer de una certificación que acredite un determinado nivel de redundancia. Los requisitos mínimos para certificar un determinado nivel de redundancia, en cuanto a la capacidad de propulsión y gobierno de un buque, lo establecen las Sociedades de Clasificación en sus reglamentos.

Cuando se habla de propulsión y gobierno redundante, hay que especificar una serie de conceptos:

- **Fallo simple.-** en relación con una posible pérdida de propulsión y gobierno, solo se acepta la posibilidad de que se produzca un fallo simple en cualquier momento, denominado suceso inicial. Quedará excluida la posibilidad de ocurrencia simultánea de aquellos fallos sin conexión. No obstante, sí se considerara la posibilidad de ocurrencia de fallos relacionados con el primer fallo simple considerado, cuando estos sean una consecuencia inevitable del primero
- **Sistema de propulsión.-** el sistema que proporciona propulsión al buque y que consta de las máquinas propulsoras, sus servicios auxiliares esenciales, todo el equipamiento necesario para convertir la potencia propulsora en empuje, y todos los sistemas necesarios para el control, monitorización y alarma, así como los dispositivos de seguridad.
- **Potencia propulsora principal.-** es la potencia total entregada por las máquinas propulsoras instaladas para proporcionar propulsión. En condiciones normales, esto no incluye la potencia proporcionada por unidades de propulsión, las cuales puedan ser conectadas en un

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-50	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 95

momento dado, pero no están dedicadas a proporcionar propulsión al buque bajo condiciones normales de operación. Ejemplo de estas unidades de propulsión “alternativas” son los generadores de cola con capacidad de funcionar en modo “power take-in” (generador con capacidad para actuar en un momento dado como motor, entregando potencia al eje porta hélices) o unidades adicionales de propulsión waterjet.

- **Nivel de redundancia.-** es la clasificación del grado de separación tanto mecánica y eléctrica, como espacial, así como el grado de independencia de los sistemas requeridos para la propulsión y el gobierno. La potencia de propulsión redundante de un sistema de propulsión se suele expresar por índice adicional, en valor de porcentaje. Por ejemplo, un índice adicional del 40 % significa que, tras un fallo en uno de los sistemas de propulsión redundante, al menos el 40 % de la potencia de propulsión principal puede ser mantenida con seguridad.

2. GRADOS DE REDUNDANCIA.CLASIFICACION

Se establecen tres grados o niveles de redundancia:

Redundancia de nivel 1 (RP1)

Este grado requiere redundancia para los sistemas de propulsión del buque (maquinas propulsoras redundantes; aceptándose máquinas con diferente potencia), pero no para el gobierno.

Con este nivel de redundancia, si se produce un suceso inicial como pueda ser inundación o fuego en el espacio de máquinas, inundación en el local del aparato de gobierno, y también un fallo en cualquiera de los componentes “únicos” del sistema de propulsión o de gobierno puede ocasionar la pérdida de la capacidad de propulsión y de gobierno.

Se podrá asignar este nivel a un buque que, al menos, disponga de dos máquinas propulsoras, las cuales deberán ser independientes de modo que, el fallo de una de ellas no impida el funcionamiento normal de la otra. Esta

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-50	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 96

condición también se aplicará a todos los sistemas auxiliares esenciales de las máquinas propulsoras.

En este nivel no se exige que la hélice, la línea de ejes, la reductora y el aparato de gobierno sean redundantes.

Bajo este grado de redundancia, posibles configuraciones de sistemas de propulsión pueden ser los sistemas multi-máquinas propulsoras con una sola línea de ejes, los cuales presentan una separación tanto mecánica como eléctrica de todos los servicios auxiliares esenciales de cada máquina propulsora. Los sistemas de propulsión con una sola máquina y que dispongan de un sistema de propulsión PTI (generador de cola que puede ser engrando al eje porta hélices y arrastrar éste actuado como motor) pueden ser considerados como redundantes en nivel 1.

Nivel de redundancia 2 (RP2)

Este nivel se asigna a buques que dispongan, al menos, de dos sistemas de propulsión y de gobierno independientes entre sí. Esto también se aplica a cada uno de los servicios auxiliares esenciales requeridos para la propulsión y el gobierno.

Las configuraciones posibles incluyen, al menos, buques con dos máquinas propulsoras, dos líneas de ejes, y dos aparatos de gobierno, en los cuales los sistemas redundantes se encuentran separados mecánica y eléctricamente.

Sistemas de propulsión azimutal montados independientemente unos de otros, y también combinaciones de estos con sistemas de propulsión convencional (línea de ejes), pueden también cumplir con las condiciones de este nivel de redundancia.

Nivel de redundancia 3 (RP3)

Este nivel requiere que los sistemas redundantes para la propulsión y el gobierno del buque se encuentren separados tanto mecánica, como eléctricamente, y además se encuentren instalados en espacios separados. Los sistemas redundantes deben ser independientes entre sí. Bajo esta graduación, cuando se produzcan eventos tales como inundación o fuego en

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-50	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 97

un espacio de máquinas e inundación en el local de un aparato de gobierno, no se debe perder la capacidad de propulsión y gobierno del buque.

Este nivel se asigna a buques que dispongan, al menos, de dos sistemas de propulsión y dos aparatos de gobierno, completamente independientes entre ambos, o que puedan ser aislados, uno respecto del otro, si uno de ellos sufre una avería. Además, deberán estar instalados en compartimentos distintos y separados. Esto también será aplicable a cada uno de los servicios esenciales auxiliares necesarios para la propulsión y el gobierno.

La separación física de compartimentos debe ser la adecuada para asegurar que incidentes tales como la inundación o el fuego en un espacio de máquinas y la inundación de un local que contenga un aparato de gobierno no impidan el funcionamiento óptimo de la propulsión y el gobierno redundantes.

Un ejemplo de instalación que cumple con este nivel de redundancia es el caso de un buque que disponga de dos cámaras de máquinas y dos compartimentos para el aparato de gobierno, de manera que cada sistema de propulsión y de gobierno sea completamente independiente respecto al otro y estén separados tanto mecánica como eléctricamente.

Sistemas de propulsión azimutal instalados independientemente unos de otros, y también combinaciones de estos con sistemas de propulsión convencional (línea de ejes), pueden también cumplir con las condiciones de este nivel de redundancia, siempre y cuando estén instalados en compartimentos diferentes.

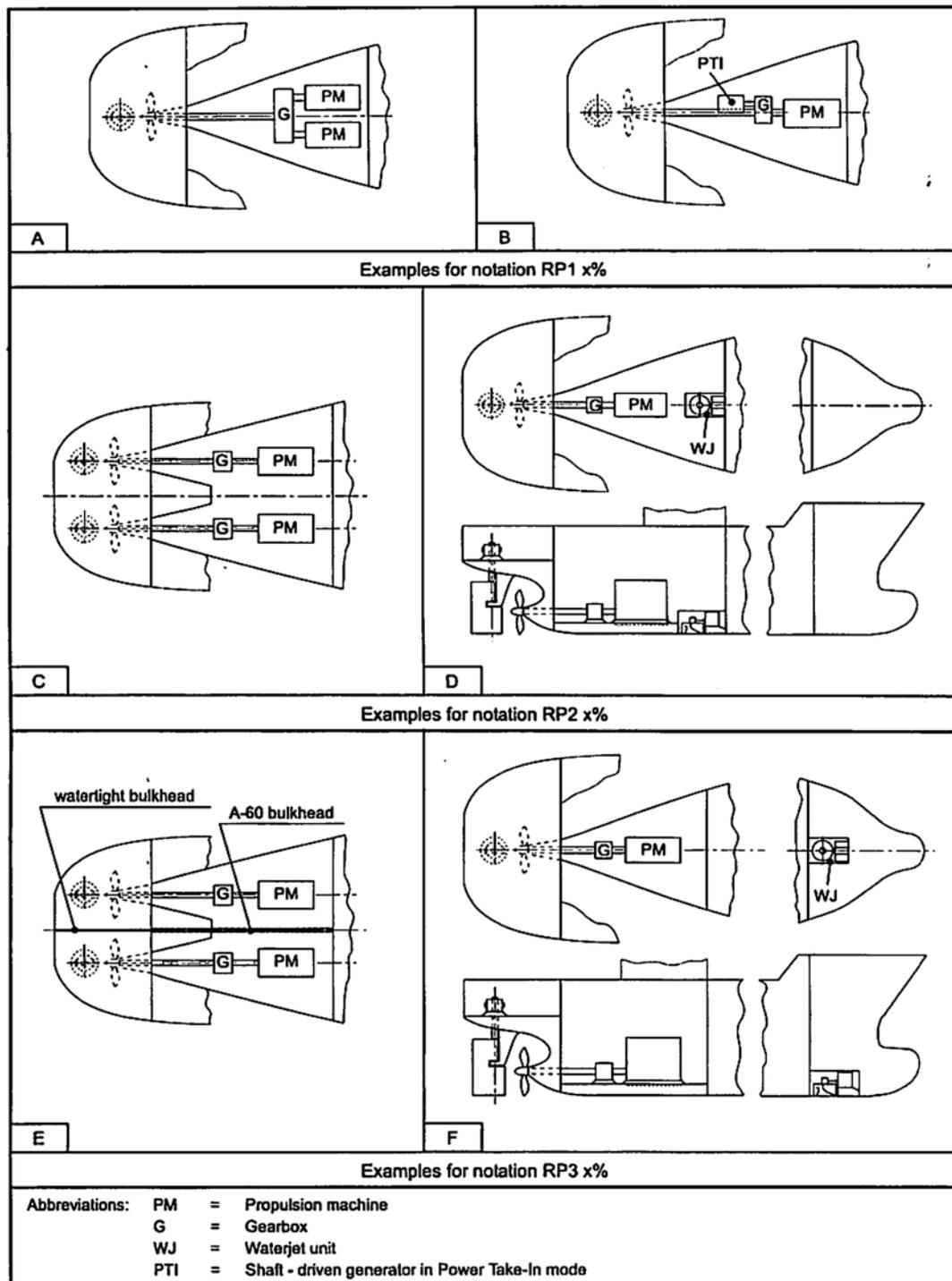


Fig.11 Ejemplos de grados de redundancia⁵

⁵ <http://www.veristar.com/wps/portal> (consultado septiembre 2013)

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-50	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 99

3. REQUISITOS PARA CERTIFICACIÓN

A. Requisitos generales

Para certificar como “redundante” un sistema de propulsión y gobierno se debe asegurar que cuando se produzca un fallo en un sistema de propulsión y gobierno se cumpla que:

1. Se puede mantener la maniobrabilidad del buque, inclusive en la condición meteorológica más desfavorable (fuerza 8 en la escala Beaufort, y una altura de ola significativa de 5,4 m con un periodo medio de ola de 8,3 segundos).
2. Se puede mantener una velocidad mínima capaz de mantener el buque bajo control aun en condiciones adversas de fuerte corriente. En condiciones meteorológicas normales (de hasta fuerza 5 en la escala Beaufort, y una altura de ola significativa de 2,8 m con un periodo medio de ola de 6,7 seg.), la velocidad mínima debe ser de 7 nudos mínimo o la mitad de la velocidad de proyecto para el buque.
3. Lo establecido en los puntos 1 y 2 deberá ser cumplido en un periodo mínimo de 72 horas.
4. Lo establecido en los puntos 1, 2 y 3 se debe poder cumplir independientemente de la condiciones de carga del buque.
5. Los sistemas redundantes de propulsión y gobierno serán capaces de entrar en operación en cualquier momento y podrán ser activados a demanda.

El cumplimiento de estos requisitos se debe demostrar por cálculos y/o pruebas de modelos, además de verificados en pruebas de mar.

Además de lo anterior, los sistemas de propulsión y gobierno, así como sus sistemas auxiliares y de control, se deben someter a un análisis de modos de fallo y efectos (FMEA), u otro método equivalente.

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-50	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 100

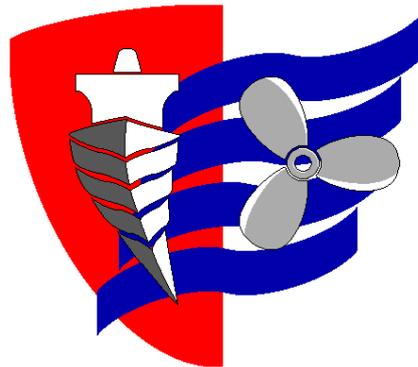
El análisis debe demostrar que un fallo simple no implica la pérdida de la capacidad de propulsión y/o gobierno de acuerdo con los requisitos generales establecidos en este epígrafe. El análisis, además, deberá determinar qué medidas se han de tomar para detectar posibles fallos y su efectos, y que dichas medidas son adecuada para asegurar, en particular, que la propulsión y el gobierno pueden ser reestablecidos en el menor tiempo posible.

Además de lo anterior, el análisis debe tratar de identificar las posibles condiciones de fallo que se puedan dar, las cuales tengan una causa común. También se deben identificar los elementos técnicos y/o procedimientos operacionales que puedan socavar el concepto de redundancia.

Para el nivel de redundancia RP1, el FMEA solo será llevado a cabo para las máquinas propulsoras redundantes y sus servicios auxiliares esenciales. Los sucesos de inundación o fuego en el espacio de máquinas, y el fallo de cualquiera de los componentes “únicos” de la instalación propulsora, no serán considerados en el análisis.

Para el nivel redundancia RP2, el FMEA será llevado a cabo para los sistemas redundantes de propulsión y gobierno y sus servicios auxiliares esenciales. Los sucesos de inundación o fuego en el espacio de maquinaria y de inundación en uno de los compartimentos del aparato de gobierno, no serán considerados en el análisis.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



CAPÍTULO 6

BIBLIOGRAFÍA

PROYECTO FIN DE GRADO	REF: 001-60	
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 20/09/2013	
	REV: 0	PÁG. 102

6. BIBLIOGRAFÍA

- Convenio SOLAS. Edición refundida del Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974, y su Protocolo de 1988, artículos, anexos y certificados. 5ª edición, edición refundida de 2009. Editorial: Londres-Organización Marítima Internacional (2009) ApellidoAutor, Sigla del nombre. *Título del libro*. Editorial. (Año).
- Rubio Medina, M.
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8667/1/EI%20C%C3%B3digo%20ISM-Evaluaci%C3%B3n%20de%20su%20implementaci%C3%B3n%20y%20desarrollo-Juicio%20cr%C3%ADtico%20y%20recomendaciones-Miguel%20Rubio%20Medina.pdf> (Consultado enero 2013).
- <http://www.veristar.com/wps/portal> (Consultado septiembre 2013)
- <http://www.wartsila/en/home>
- <http://www.unizar.es/guiar/1/Bienve.htm> (Consultado agosto 2013)