

**Universidad  
Politécnica  
de Cartagena**



**TRABAJO FIN DE GRADO**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y**  
**OCEÁNICA.**  
**ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA EN SISTEMAS**  
**MARINOS**

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE**  
**PROPULSIÓN DE UN BARCO PESQUERO POLIVALENTE**  
**APLICANDO METODOLOGÍA RCM**

Tutor: Gregorio Munuera Saura

Alumno: José Antonio Hernández Cano

**CURSO ACADÉMICO 2020/2021**

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. Introducción.....</b>	<b>9</b>
1.1. Importancia del mantenimiento.....	10
1.2. Objetivos del proyecto .....	10
<b>2. Mantenimiento Naval .....</b>	<b>13</b>
2.1. Definición de Mantenimiento.....	14
2.2. Historia del Mantenimiento.....	15
2.2.1. Primera Generación .....	15
2.2.2. Segunda Generación .....	16
2.2.3. Tercera Generación.....	17
2.2.4. Mantenimiento en la Industria 4.0 .....	18
2.3. Tipos de Mantenimiento .....	20
2.3.1. Mantenimiento correctivo.....	21
2.3.2. Mantenimiento preventivo .....	22
2.3.3. Mantenimiento predictivo.....	23
2.3.4. Métodos de detección de fallos .....	23
2.3.4.1. Análisis de vibraciones .....	24
2.3.4.2. Análisis de lubricantes .....	27
2.3.4.3. Termografía .....	30
2.3.4.4. Ensayos no destructivos.....	33
2.4. Plan de Mantenimiento.....	36
2.5. Fases de Mantenimiento.....	37
2.6. Mantenimiento de barcos pesqueros .....	39
2.6.1. Mantenimiento de la estructura, casco y cubierta.....	41
2.6.1.1. Corrosión.....	42
2.6.1.1.1. Protección contra la corrosión.....	45
2.6.1.2. Ley de espesores .....	46
2.6.1.3. Corrosión microbiológica .....	47
2.6.1.3.1. Protección contra la corrosión microbiológica .....	48

<b>3. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) .....</b>	<b>51</b>
3.1. Definición del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	52
3.2. RCM: Siete preguntas básicas. Árbol Lógico de decisión .....	53
3.3. Definición de Funciones .....	56
3.4. Fallos Funcionales .....	56
3.5. Modos de Fallo.....	57
3.6. Efectos de fallo y consecuencias .....	57
3.7. Patrones de fallo .....	59
3.8. Ventajas e Inconvenientes del proceso RCM.....	60
<b>4. FMECA. Análisis de modo de fallo, efectos y criticidad .....</b>	<b>63</b>
4.1. Definición de FMECA .....	64
4.2. Métodos de evaluación de riesgos.....	65
4.3. Ventajas y desventajas de FMECA .....	68
<b>5. Descripción de un barco de pesca polivalente .....</b>	<b>69</b>
5.1. Actividad pesquera .....	70
5.1.1. Situación actual actividad pesquera.....	71
5.2. Buques de pesca.....	75
5.3. Buque Arrastrero.....	77
5.3.1. Maniobra de arrastre .....	78
5.4. Buque Nasero.....	79
5.4.1. Maniobra de nasas .....	79
5.5. Sistemas, subsistemas y equipos del barco .....	81
5.5.1. Sistema de Propulsión .....	81
5.5.1.1. Conjunto motor .....	82
5.5.1.1.1. Subsistema de aceite de lubricación .....	83
5.5.1.1.2. Subsistema de líquido de refrigeración .....	84
5.5.1.1.3. Subsistema de inyección de combustible.....	85
5.5.1.1.4. Subsistema de aire de arranque .....	86

5.5.1.1.5. Subsistema de aire de admisión .....	87
5.5.1.1.6. Subsistema de exhaustación de gas .....	89
5.5.1.2. Conjunto transmisión.....	90
5.5.1.3. Conjunto propulsor .....	91
5.5.2. Sistema Eléctrico .....	92
5.5.3. Sistema de Gobierno .....	95
5.5.4. Sistema de Combustible .....	96
5.5.5. Sistema de Exhaustación .....	97
5.5.6. Sistema de Contraincendios.....	98
5.5.7. Sistema de Achique .....	99
5.5.8. Sistema de Fondeo .....	102
5.5.9. Máquinas de arte de pesca .....	104
5.5.10. Instalación Frigorífica y de Congelación.....	106
5.5.11. Sistema de Habilitación .....	107
<b>6. Aplicación y análisis de FMECA .....</b>	<b>109</b>
6.1. Aplicación y análisis de FMECA.....	110
6.1.1. Aplicación del Número de Prioridad de Riesgo .....	113
6.1.2. Elaboración del Plan de Mantenimiento.....	114
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>121</b>
7.1. Conclusiones .....	122
<b>8. Bibliografía .....</b>	<b>125</b>
<b>9. Anexo .....</b>	<b>129</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de un buque .....	15
Figura 2. Crecientes expectativas en el mantenimiento .....	18
Figura 3. Aplicación de realidad aumentada en la industria .....	20
Figura 4. Tipos de mantenimiento .....	21
Figura 5. Transformación de una señal de vibración al dominio de la frecuencia .....	25
Figura 6. Transductor .....	27
Figura 7. Cámara termográfica .....	31
Figura 8. Ejemplo de clasificación de fallos .....	33
Figura 9. Detección de grietas y fisuras en el engranaje mediante el procedimiento de partículas magnéticas .....	35
Figura 10. Fases del mantenimiento .....	38
Figura 11. Protección del timón, la quilla y la tobera mediante ánodos de sacrificio.....	46
Figura 12. Corrosión microbiológica .....	48
Figura 13. Árbol lógico de decisión .....	55
Figura 14. Esquema de procesos de Análisis de modos de fallo y efectos .....	58
Figura 15. Patrones de fallo .....	60
Figura 16. Tabla de gravedad .....	66
Figura 17. Tabla de ocurrencia .....	66
Figura 18. Tabla de detectabilidad .....	67
Figura 20. Matriz de frecuencia/consecuencia de fallos. ....	67
Figura 21 Evolución de la capacidad pesquera y KG capturados .....	71
Figura 21. Cadena de valor sector pesquero .....	72
Figura 22. Impactos de los proyectos de la estrategia tecnológica del sector en la cadena de valor.....	73

Figura 23. Impactos de los proyectos de la estrategia Sostenibilidad de las actividades pesqueras. ....	74
Figura 24. Impacto de los proyectos de la estrategia Cohesión social.....	75
Figura 25. Buque arrastrero .....	78
Figura 26. Elementos de arte de arrastre .....	79
Figura 27. Maniobra de nasas .....	80
Figura 28. Esquema del sistema de propulsión con el motor principal, la reductora acoplada, la línea de ejes y la hélice.....	82
Figura 29. Motor Guascor F 360TA .....	83
Figura 30. Ánodos de sacrificio para evitar corrosión en los componentes del sistema de refrigeración .....	85
Figura 31. Inyectores en mal estado. ....	86
Figura 32. Seleccionador de las baterías de arranque .....	87
Figura 33. Compartimento de las baterías con el seleccionado manual de encendidas o apagadas. ....	87
Figura 34. Turbocompresor accionado mediante gases de escape .....	89
Figura 35. Elementos del sistema de admisión. Circuito del aire de admisión hasta llegar a los cilindros .....	89
Figura 36. Conductos de exhaustación de los gases de escape .....	90
Figura 37. Reductora R360 acoplada al cigüeñal del motor principal .....	91
Figura 38. Toma de fuerza hidráulica PTO .....	91
Figura 39. Hélice tobera .....	92
Figura 40. Bombas Hidráulicas que accionan el servomotor. ....	95
Figura 41. Servomotor .....	96
Figura 42. Bomba centrífuga de combustible o purificadora. ....	97
Figura 43. Hidrante y puesto de incendio.....	100
Figura 44. Ancla de tipo Hall .....	102
Figura 45. Vista en planta de la disposición del molinete sobre cubierta de proa. ....	103

Figura 46. Maquinilla de arrastre .....	105
Figura 47. Halador de nasas .....	105
Figura 48. Etapas programa de mantenimiento .....	120

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos estructurales principales .....	41
Tabla 2. Tipos de corrosión .....	42
Tabla 3. Transformación tecnológica del sector .....	72
Tabla 4. Sostenibilidad de las actividades pesqueras .....	73
Tabla 5. Cohesión social .....	75
Tabla 6. Elementos del sistema propulsor .....	81
Tabla 7. Datos técnicos motor principal Guascor F 360TA-SPA15 .....	82
Tabla 8. Características de los grupos diésel .....	93
Tabla 9. Características de los grupos diésel .....	93
Tabla 10. Componentes del sistema contra incendios.....	101
Tabla 11. Severidad de los fallos y efectos del sistema propulsor .....	111
Tabla 12. Ocurrencia de los fallos y efectos del sistema propulsor .....	111
Tabla 13. Detectabilidad de los fallos y efectos del sistema propulsor .....	112
Tabla 14. Grado de criticidad y evaluación de riesgo .....	113
Tabla 15. Gamas de mantenimiento .....	115
Tabla 16. Escalones de mantenimiento .....	115
Tabla 17. Tabla de referencia de tareas asociadas a QL1 .....	116
Tabla 18. Tabla de referencia de tareas asociadas a QL2 .....	116
Tabla 19. Tabla de referencia de tareas asociadas a QL3 .....	117
Tabla 20. Tabla de referencia de tareas asociadas a QL4 .....	117
Tabla 21. Plan de mantenimiento preventivo .....	118

## Resumen

El mantenimiento a lo largo de la historia ha ido evolucionando en la industria como consecuencia del avance tecnológico de los equipos y sistemas, y del desarrollo de la mecanización, con factores influyentes como la seguridad y el medio ambiente. Este aumento de la mecanización y avance tecnológico provocó la necesidad de elaborar planes de mantenimiento que fueran capaces de anticiparse a los fallos de los equipos y sistemas, y que garantizaran un alto grado de disponibilidad y de confiabilidad, mediante el empleo de técnicas y metodologías de previsión y análisis de fallos, así como de equipos capaces de lograr dichos objetivos. Es aquí donde aparece el concepto de mantenimiento basado en confiabilidad.

La metodología RCM, o mantenimiento centrado en confiabilidad, se ha implementado en la industria a lo largo de los últimos 20 años con un gran éxito. La aplicación en el sector marino, y en concreto en todo tipo de barcos, es todavía un tema en desarrollo.

El proyecto se centra en aplicar la metodología RCM al sistema de propulsión de un barco de pesca polivalente que realiza las funciones de arte de pesca como arrastrero y nasero según convenga.

Para ello, se va a analizar los elementos estructurales, así como los equipos y sistemas que conforman el buque de pesca, y que son necesarios de ser mantenidos con el fin de que el buque desempeñe las funciones en las debidas condiciones de seguridad y operatividad.

Se empleará la técnica de mantenimiento de FMECA (*Failure Mode Effects and Criticality Analysis*) para analizar los modos de fallo y sus efectos, así como de la criticidad de los fallos más importantes, con el fin de elaborar un plan de mantenimiento que sea capaz de establecer una serie de tareas y acciones aplicadas a los sistemas y equipos para prevenir dichos fallos.

# **Capítulo 1. Introducción**

## **1.1. Importancia del mantenimiento**

El mantenimiento es un factor de gran importancia dentro del sector naval, debido en su mayor consecuencia al endurecimiento de la normativa de seguridad y protección marítima, así como de la prevención de la contaminación por parte de los países, a causa de los numerosos accidentes ocurridos hasta el día de hoy, que han afectado tanto a la vida humana como al ecosistema marino. Uno de los casos más llamativos en España fue el del hundimiento del buque petrolero “Prestige”, el 13 de noviembre de 2002, cuando navegaba frente a las costas de Galicia.

Aplicar un buen mantenimiento al buque es una acción muy aconsejable, aunque no obligatoria, ya que con ello se consigue uno de los factores de mayor magnitud que es la de alargar la vida útil y operativa del buque.

Los buques suelen operar en condiciones adversas en la mayoría de los casos, afectando a la estabilidad y maniobrabilidad, o incluso factores como la corrosión que ocasionan graves deterioros a la estructura y al casco. Todo ello repercute en la actividad económica del buque, ya que éste no puede desempeñar su actividad operativa en las debidas condiciones de seguridad, por lo que se ve en la obligación de llevar a cabo las reparaciones pertinentes, que se traducen en acciones correctivas, y en paradas en puerto en la mayoría de los casos, aumentando de esta manera el tiempo en puerto lo que se traduce en pérdidas económicas para el armador, puesto que el buque sólo es rentable cuando desempeña su función operativa.

Por tanto, un plan de mantenimiento es idóneo para evitar todos los inconvenientes que puedan afectar a la operatividad del buque, así como para mejorar el rendimiento económico, desarrollando estrategias y tareas que apliquen medidas correctivas y preventivas, teniendo en cuenta los medios necesarios, como personal cualificado y los recursos disponibles, y adecuarse a las características del buque, así como al medio de operación.

## **1.2. Objetivos del proyecto**

El objeto de estudio del proyecto se centra en la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM, aplicando la técnica FMECA (*Failure Mode Effects and Criticality Analysis*), de análisis de modos de fallo y efectos a un barco de pesca polivalente, que hace las funciones tanto de buque arrastrero como de buque nasero, con una eslora menor o igual a 24 metros. Para ello se analizará el buque como un sistema principal, formado a su vez por un conjunto de subsistemas que desempeñan un papel importante en la

operatividad del buque, y compuestos a su vez por numerosos equipos, dónde se analizarán sus fallos funcionales para así poder determinar el grado de fallo y los métodos de detección de dichos fallos.

Con el fin de llevar a cabo con éxito la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad a partir del análisis de FMECA, ha sido necesario acotar el ámbito de estudio, centrando la aplicación en el sistema propulsor del buque, formado por el motor principal, la reductora, la línea de ejes y la hélice.

Para llevar a cabo con éxito el objetivo del proyecto se ha estudiado y analizado diversos campos:

- Desarrollo y estudio de los diferentes tipos de mantenimiento a lo largo de la historia, con el fin de comprender la metodología de aplicación del proyecto.
- Conocimiento y estudio de la estructura del buque, así como de los sistemas, subsistemas y equipos que lo conforman, para extraer y evaluar todos los posibles fallos que puedan ocurrir y poder realizar un adecuado mantenimiento.
- Estudio y análisis de las técnicas y métodos de detección de fallos en el sistema estructural.
- Descripción de la metodología RCM y FMECA para poder analizar los fallos, modos de fallo y efectos, así como la criticidad de estos, con el fin de elaborar un plan de mantenimiento a partir del análisis y aplicación de FMECA.



## **Capítulo 2. Mantenimiento Naval**

## 2.1. Definición de Mantenimiento

En primer lugar, se puede definir como mantenimiento según la norma UNE EN 13306:2017 a la *“Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida.”*

Según la definición descrita, el mantenimiento se caracteriza por establecer una serie de técnicas y pautas a seguir, con el fin de prever los fallos que se puedan presentar el sistema o equipo de estudio, o también para llevar a cabo las reparaciones pertinentes una vez ocasionado el fallo. El objetivo que se persigue es intentar que ocurran los mínimos fallos posibles, que conlleven a averías de los sistemas o equipos desencadenando con ello numerosos costes económicos.

Se debe garantizar de esta manera la disponibilidad de un equipo o sistema, entendiéndose como disponibilidad a la capacidad de un elemento de estar en el estado adecuado para desempeñar sus funciones operativas cuando sea requerido, es decir el mayor tiempo posible de operatividad, esté o no funcionando. Con ello se busca el mayor rendimiento posible, proporcionando de esta manera la rentabilidad económica deseada.

Dentro del mantenimiento y de las técnicas que lo engloban para garantizar lo máximo posible una vida útil del equipo o sistema, se debe analizar que todo elemento tiene su ciclo de vida, definido según la norma UNE EN 13306:2017 como *“serie de estados por los que pasa un elemento desde su concepción hasta su eliminación”*. Esto afirma que todo elemento, a pesar de llevar a cabo un mantenimiento, tiene un final de vida útil lo que conlleva a una sustitución por otro nuevo.

Las fases del ciclo de vida de un equipo son las siguientes: (García Soutullo, 2015)

1. Fase de Preparación
2. Fase de operatividad
3. Fase de desmontaje

Cabe destacar que la fase de operatividad es la de mayor magnitud, puesto que corresponde con la vida útil del equipo o sistema, y es donde se encuentra la operación de mantenimiento, que como se ha mencionado anteriormente, cobra vital importancia a la hora de evitar cualquier tipo de avería que conlleve pérdidas económicas.



Figura 1. Ciclo de vida de un equipo. Fuente: García-Soutullo, R. (s.f.). *Mantenimiento del buque. 1º Parte, Introducción al plan de mantenimiento.*

## 2.2. Historia del Mantenimiento

La historia de la aparición del mantenimiento se remonta a finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX durante la revolución industrial, donde aparece el concepto de reparación a causa de la aparición de las primeras máquinas, y de la competitividad y el coste con relación al resto del mercado, llevando a las empresas a prestar atención hacia los fallos que se producían en las máquinas y el resultado negativo que esto ocasionaba en la producción, llevando a pérdidas económicas considerables. Es durante los años 20, en el sector del motor y de la aviación, donde se llevan a cabo estudios estadísticos para recopilar los fallos que se producen y de esta manera obtener una tasa de fallos.

Es desde este periodo en el que surge la preocupación por evitar la paralización de las máquinas y con ello la línea de producción, ya que es importante tener la máxima disponibilidad de las máquinas, para evitar cualquier intervención que se les haga y conlleve pérdida de tiempo que afecta a la productividad. (Linares Depestre, 2012)

### 2.2.1. Primera Generación

La primera generación es un periodo que abarca hasta la Segunda Guerra Mundial (1733-1938). Durante esta etapa, la industria no presentaba una elevada mecanización, ya que los equipos o máquinas eran de una construcción sencilla y muy robusta por lo que los hacían fáciles de reparar, careciendo de estrategias de mantenimiento complicadas y de personal

cualificado necesario para llevarlas a cabo. Por este motivo, a las empresas no les preocupaba el tiempo de inactividad de la máquina, ya que en la mayoría de los casos estaban sobredimensionadas.

Durante la Primera Guerra Mundial, llegó la implantación de la producción en serie, a través de la industria Ford, donde las empresas se vieron en la necesidad de instaurar un sistema que les permitiera llevar a cabo las reparaciones de las máquinas y de los equipos en el menor tiempo posible. Es así como surgió el mantenimiento conocido como **mantenimiento correctivo**.

El principal objetivo es llevar a cabo una reparación efectiva, aprovechando la inactividad de la máquina o equipo, sin la necesidad de grandes elementos externos ni personal cualificado, llegando incluso a ser rentable si la máquina o equipo no está operando en ese momento, no siendo el caso contrario, donde se paralizaría la línea de producción, ocasionando pérdidas económicas (altos costos y baja disponibilidad). (Linares Depestre, 2012)

### **2.2.2. Segunda Generación**

El pensamiento de reparar una vez ha ocurrido el fallo cambió drásticamente con la aparición de la Segunda Guerra Mundial, donde hubo un aumento de la demanda de todo tipo de bienes y una disminución considerable de la mano de obra. Esto desencadenó en un fuerte aumento de la mecanización, lo que conllevó a pasar de máquinas más simples a máquinas más complejas.

La industria llegó a ser bastante dependiente de las máquinas, derivando en la necesidad por parte de las empresas en una mayor disponibilidad y confiabilidad para encontrar la máxima productividad, surgiendo la idea de analizar y prever los fallos de los equipos. Es así como se da lugar al **mantenimiento preventivo**, que en un principio se basaba en reparar los equipos en intervalos de tiempo fijos.

El mantenimiento preventivo permitió obtener un conocimiento y un control de la máquina, llegando a establecer unas estrategias de planificación, teniendo en cuenta los recambios necesarios, e incluso en el tiempo de ejecución del mantenimiento cada cierto periodo establecido y los tiempos de paro. Pero el mantenimiento preventivo depende de agentes externos como la infraestructura necesaria y de mano de obra cualificada, además de que en muchas ocasiones se cambiaban equipos que aún seguían disponiendo de vida útil. Todo ello desencadena costes adicionales a parte del capital invertido

Es por ello, que las empresas pensaron que, para conseguir una efectividad en este tipo de mantenimiento, no se debe generalizar para todos los equipos, sin antes tener un estudio en su conjunto, además de establecer como objetivo maximizar la vida útil de los equipos. Sin embargo, este tipo de mantenimiento estaba limitado por la incertidumbre debido a que no se podía saber con exactitud cada cuanto tiempo era recomendable sustituir una pieza o revisar equipos.

### **2.2.3. Tercera Generación**

Una vez entrados los años 70, el incremento de la automatización provocó que la ocurrencia de un fallo afectara de forma más severa a la productividad y en la calidad del producto, teniendo importantes consecuencias en la seguridad y medio ambiente, factores que crecían a medida que aumentaba la mecanización.

Las técnicas de inspección y las herramientas de detección de parámetros físicos en los equipos a intervalos de tiempo regulares hicieron que se predijesen los fallos antes de que ocurriesen. De esta manera surgió el **mantenimiento predictivo**.

La aplicación de este tipo de mantenimiento hizo posible hablar de disponibilidad y de confiabilidad en un alto grado de importancia. Se consigue una disminución de costes de mantenimiento considerables, aunque para llegar a ello es necesario de una inversión inicial debido a que es preciso de una alta especialización de mano de obra y en infraestructuras, llegando a la conclusión de que este tipo de mantenimiento es más rentable en máquinas o instalaciones donde los tiempos de parada suponen grandes pérdidas.

En resumen, la siguiente figura muestra la evolución de las expectativas de mantenimiento: (Moubray, 2004):

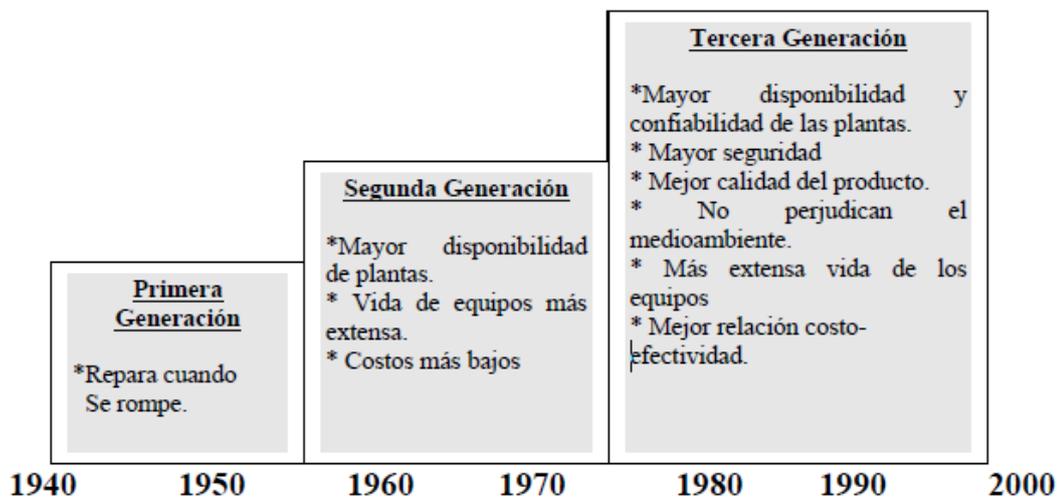


Figura 2. Crecientes expectativas en el mantenimiento. Fuente: Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*

#### 2.2.4. Mantenimiento en la industria 4.0

Es a finales de los años 70, cuando a través del grupo Toyota, se empieza a implantar la filosofía de Mantenimiento Productivo Total (TPM). Este mantenimiento incorporaba actividades de mantenimiento autónomo a todo el personal, lo que implicaba una participación en el mantenimiento por parte de toda la empresa, y no solo a niveles especializados, sino también a llevar a cabo un mantenimiento preventivo con tareas tales como las inspecciones, las limpiezas, lubricación de equipos, estudios de mejoras, etc.

Este tipo de mantenimiento persigue unos objetivos claros: (Linares Depestre, 2012)

- Cero pérdidas
- Cero accidentes
- Cero defectos
- Participación de todo el personal

Los pilares sobre los que se basa el mantenimiento productivo total son: (Isaza Castro, 2018)

1. Mejoras enfocadas que se desarrollan a partir de actividades cuyos objetivos son mejorar la eficiencia global de los equipos y sistemas.
2. Mantenimiento planificado, persigue el objetivo de cero averías a través de una estrategia basada en actividades periódicas de prevención y de corrección de fallos.

3. Mantenimiento autónomo, llevado a cabo a través de la colaboración de todo el personal.
4. Mantenimiento de calidad, basado en técnicas de mejora de los equipos y sistemas para conseguir de esta manera cero defectos, como la identificación de los fallos y su frecuencia de ocurrencia, así como de las causas, a través de un programa de mantenimiento preventivo.
5. Educación y entretenimiento, basándose en la formación de todo el personal activo.
6. Seguridad y medioambiente.

Para conseguir los altos niveles de eficacia en el TPM, las actividades que deben realizarse por el personal activo deben recoger dos aspectos clave, orden y limpieza del entorno, y la vigilancia, centrada en el uso correcto de los instrumentos de medida (reglajes, revisión y ajustes de tolerancias, sustitución de piezas, etc.)

La introducción de los conceptos de orden y limpieza hacen referencia al método de las 5S, introducido también por el grupo Toyota, ligado al concepto de calidad total.

El nombre viene por de las palabras que lo caracterizan, las cuales, en la transcripción fonética de los ideogramas japoneses al alfabeto castellano, comienzan con “S”. Son las siguientes: (Ramírez Flores, 2014)

- **SEIRI** (Organización)
- **SEITON** (Ordenar)
- **SEISO** (Limpieza)
- **SEIKETSU** (Mantener)
- **SHITSUKE** (Autodisciplina)

En este mismo periodo, surge a la vez que el TPM el mantenimiento centrado en Confiabilidad, RCM, el cual y tras un profundo estudio llevado a cabo por Takutaro Suzuki, llegó a aceptar en su libro “TPM in Process Industries” que para mejorar la aplicación del TPM se debía emplear la metodología RCM.

Aparecen desde entonces nuevas técnicas de mantenimiento que rápidamente adoptan la mayoría de las empresas, tales como el GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador) o la realidad aumentada.

La utilización de la realidad aumentada ayuda a agregar información extra importante a elementos reales a través de cualquier dispositivo como Smartphone, tablets, gafas de realidad

aumentada, etc. accediendo a toda la información relevante que un técnico puede necesitar en el momento y lugar que lo necesita. Esta técnica de realidad aumentada forma parte de la digitalización industrial que está inundando la ingeniería. (Mantenimiento-Video, 2016)



*Figura 3. Aplicación de realidad aumentada en la industria. Fuente: <https://www.atriainnovation.com/la-realidad-aumentada-y-su-uso-en-mantenimiento/>*

### **2.3. Tipos de Mantenimiento**

Una vez se han explicado las generaciones del mantenimiento, se explican con más detalle los tipos de mantenimiento que existe actualmente. Se distingue la siguiente clasificación según la figura 4:



Figura 4. Tipos de mantenimiento. Fuente: <https://cursosonlineweb.com/wp-content/uploads/sites/51/Tipos-de-mantenimientos.jpg>

### 2.3.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es aquel cuyo objetivo principal es el de realizar acciones correctivas a equipos y sistemas cuando dejan de funcionar, debido a los fallos que ocurren durante su operatividad. Es el mantenimiento más sencillo, puesto que la acción se traduce en reparar cuando ocurre el fallo, realizándose en equipos o sistemas donde el fallo no afecte a la criticidad del conjunto, no siendo el caso para equipos o sistemas más complejos, donde el coste económico sería mucho mayor.

Este tipo de mantenimiento se puede clasificar a su vez en dos mantenimientos diferentes:

1. **Mantenimiento no programado:** es cuando la reparación debe efectuarse deteniendo el equipo o sistema para que funcione en las condiciones normales de operatividad.
2. **Mantenimiento programado:** es cuando la reparación se realiza después de que haya ocurrido el fallo, ya que el equipo o sistema realiza su función sin que se vea afectado.

Sin embargo, este tipo de mantenimiento presenta ciertos inconvenientes: (Asensio Viseras, 2019)

- La incertidumbre de avería o fallo que presenta es alta, ya que no se puede prever cuando va a ocurrir.

- Debe aplicarse a equipos o sistemas simples.
- El hecho de que se repare el fallo en muchas ocasiones no significa que esté solucionado, ya que, si el problema persiste, al final las reparaciones serán más frecuentes. Por lo que se deduce que a más reparaciones no conlleva mayor confiabilidad.

### **2.3.2. Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo, junto con el mantenimiento correctivo, tiene como objetivo principal prever los fallos que puedan ocurrir en el equipo o sistema, a través de la sustitución de las piezas cada cierto intervalo de tiempo.

La principal ventaja con respecto al mantenimiento correctivo es que este tipo de mantenimiento basa su estrategia en la planificación de los equipos o sistemas, ya que intenta anticiparse a las posibles averías que puedan surgir en un momento determinado. El plan de mantenimiento consta de numerosas inspecciones, tanto de seguridad como funcionales, de limpiezas, de lubricación de equipos o sistemas, calibraciones, llevándose a cabo a intervalos de tiempo periódicos.

Por tanto, este mantenimiento se caracteriza según Roberto García Soutullo, (2015) por:

- Una estrategia de planificación de los trabajos a realizar.
- Mayor organización y rentabilidad de materiales y mano de obra.
- Una previsión de los posibles fallos o averías.
- Conocimiento del presupuesto del plan de mantenimiento.

A pesar de ser un mantenimiento que mejora al correctivo, también presenta ciertos inconvenientes, tales como:

- En muchas ocasiones se sustituyen piezas que todavía no han agotado su vida útil, lo que conlleva un incremento del coste de mantenimiento.
- Los tiempos de parada afectan notablemente a la producción.
- Se debe tener mejor experiencia y formación del personal.

### **2.3.3. Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo tiene como objetivo principal la detección de fallos no programados en equipos o sistemas a través de técnicas y acciones programadas que permiten medir parámetros que los puedan prever antes de que ocurran, recopilando de esta manera, todo tipo de información posible (datos, gráficas, tablas, etc.) mediante las tecnologías de detección de fallos.

Este tipo de mantenimiento mejora al mantenimiento preventivo, ya que aplica la inspección de las piezas y no las sustituye directamente cada intervalo periódico de tiempo. Además, en la mayoría de las ocasiones, se realizan las inspecciones sin para el equipo o sistema, por lo que no se interrumpe la producción.

Las ventajas que tiene el mantenimiento predictivo son las siguientes: (García Soutullo, 2015)

- Se crea un modelo de mantenimiento que es capaz de alargar la vida útil de los equipos y sistemas al máximo.
- Un menor número de equipos o sistemas rechazados, lo que supone un aumento del control de la calidad.
- Se disminuye el número de paradas e intervenciones en los equipos y sistemas, lo que implica no interrumpir la producción.
- Permite aplicar técnicas de detección de fallos que logran preverlos y procesar la información recopilando así un historial de fallos.
- Un incremento en la seguridad.
- Disminuye la incertidumbre de los fallos, ya que se crea un plan de mantenimiento basado en la prevención y detección.

También presenta ciertos inconvenientes:

- Se requiere de personal cualificado para llevar a cabo este tipo de mantenimiento.
- La inversión inicial que supone un elevado coste.

### **2.3.4. Métodos de detección de fallos**

El mantenimiento predictivo emplea tecnologías de detección de fallos con el objetivo de analizar el funcionamiento de los equipos o sistemas y de prever las averías. Estas tecnologías se aplican en función del tipo de equipo o sistema.

Las etapas en las que se basa el mantenimiento predictivo y que son comunes para una correcta monitorización de las tecnologías para la detección de los fallos son:

1. Detección
2. Análisis
3. Corrección

Las tecnologías que emplea este mantenimiento son las siguientes:

- Análisis de vibraciones
- Análisis de lubricantes
- Termografía
- Ensayos no destructivos

#### **2.3.4.1. Análisis de vibraciones**

El análisis de vibraciones es una técnica del mantenimiento predictivo cuyo objetivo principal es detectar y predecir cualquier anomalía que se pueda presentar en las máquinas rotativas a través de las mediciones de las vibraciones y el estudio de las frecuencias implicadas.

Uno de los conceptos para tener en cuenta es que todas las máquinas producen vibraciones, debido al conjunto de todos sus elementos constructivos. Las vibraciones que producen son consideradas como vibraciones normales, es decir, las que produce la máquina en condiciones normales de operatividad. Estas tolerancias de vibraciones proporcionan a la máquina unos valores de vibración característicos que se toman como referencia y que son indicados por el fabricante o por las normas técnicas. Por tanto, cuando las vibraciones sobrepasan de estos rangos de normalidad es síntoma de que se va a producir un fallo o avería.

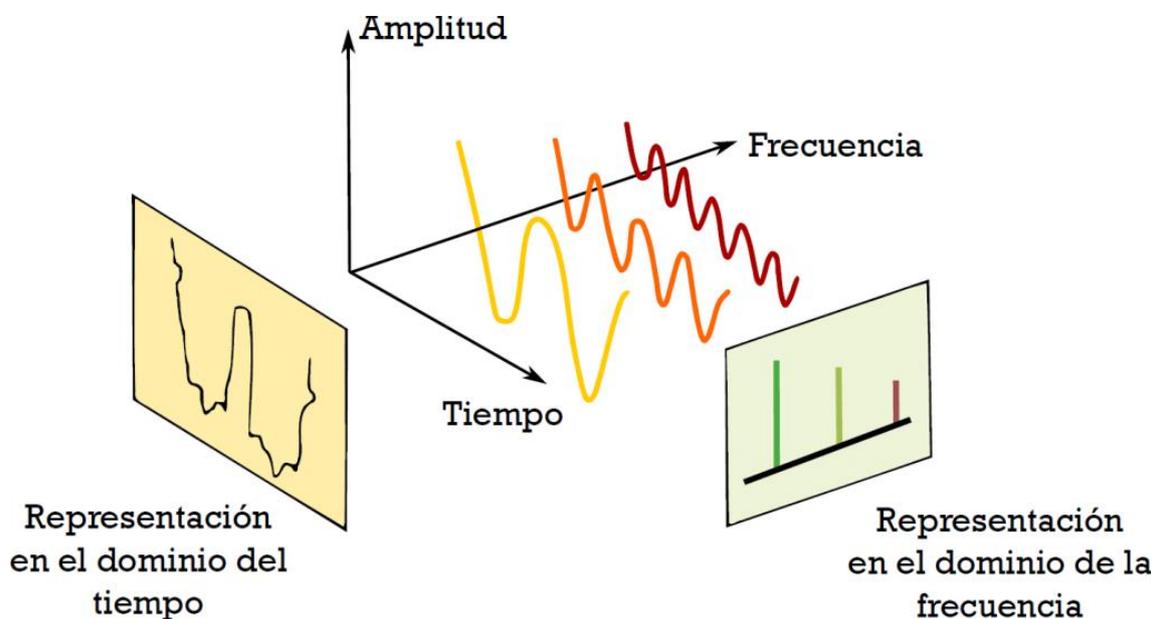
Se define como vibración a *“la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio.”* (White, 2010).

Las zonas escogidas para tomar vibraciones serán las que muestren mayor indicio de presentar defectos que afecten a la operatividad normal de la máquina. Estas zonas son las que se encuentran piezas como ejes, rodamientos, engranajes, holguras etc. En las zonas donde se va a medir se anotarán valores de aceleración, velocidad o desplazamiento.

Las características más importantes son: (Asensio Viseras, 2019)

- **La frecuencia:** definida como el número de ciclos completos en un intervalo de tiempo, o en el análisis de vibraciones se define como el número de vibraciones por unidad de tiempo.
- **El periodo:** es el tiempo que tarda en realizarse un ciclo completo.
- **La amplitud:** se corresponde con la intensidad de la vibración, indicando la gravedad del problema. Se puede medir la amplitud del desplazamiento (micras), que es la más adecuada para bajas frecuencias (10Hz), la amplitud de la velocidad (mm/s) para las vibraciones con rangos de frecuencias medias(10Hz-1000Hz), y la amplitud de la aceleración (mm<sup>2</sup>/s), se emplea para rangos de vibraciones muy altas (>1000HZ) ya que para frecuencias bajas la aceleración es demasiado pequeña.

Las vibraciones presentes en la máquina es la suma del conjunto de todas las señales de vibración de los elementos que la componen. Debido a la complejidad de analizar de que elemento procede cada señal de vibración, estas se descomponen en otras más sencillas, al dominio de la frecuencia, a través de las Transformadas de Fourier, donde la señal en el tiempo es convertida en una serie de señales sinusoidales y conducidas al dominio de la frecuencia. En la figura 5 se muestra este proceso.



*Figura 5. Transformación de una señal de vibración al dominio de la frecuencia.*

Para realizar los cálculos, se emplean ciertos aparatos que miden las señales de vibración por medio de sensores colocados directamente sobre la máquina.

Los transductores de vibración tienen como objetivo medir la velocidad lineal, el desplazamiento y la aceleración, en los equipos o sistemas que se ven sometidos a vibración. Estos aparatos convierten la energía mecánica que producen las vibraciones en energía eléctrica, produciendo una señal eléctrica en función de la vibración. (Pernia-Márquez, 2004)

Los tipos de transductores empleados para la medición de vibraciones son: (Pernia-Márquez, 2004)

- **Acelerómetros:** son dispositivos montados sobre el equipo o sistema, que convierten la aceleración de gravedad o del movimiento en una señal analógica, que puede ser de voltaje, corriente y frecuencia. Existen dos tipos de acelerómetros diferentes.
  - **Acelerómetros piezoeléctricos:** formados por un cristal piezoeléctrico pegado a una masa conocida. Un lado del cristal está conectado al poste rígido en la base del sensor, y el otro lado se halla un material llamado masa sísmica. Cuando ocurre una vibración se produce una fuerza sobre el elemento piezoeléctrico, y debido a su efecto se produce una salida de carga proporcional a la fuerza aplicada, siendo la masa sísmica constante, por tanto, la señal de salida es proporcional a la aceleración. Son muy usados para la supervisión de máquinas industriales.
  - **Transductores de velocidad:** son similares a los acelerómetros piezoeléctricos, incluyen un convertidor de velocidad y emplean un elemento sensor piezocerámico más una masa sísmica para producir una fuerza de salida proporcional a la aceleración.
- **Transductores de desplazamiento:** de corriente Eddy son dispositivos de desplazamiento sin contacto, es decir, basan su funcionamiento en la medición de la posición del elemento rotativo, que tiene un punto fijo de referencia, a través de la distancia con un sensor que consta de una bobina que al excitarla con una señal de alta frecuencia crea un campo electromagnético, originando una corriente denominada Eddy, cuya energía es proporcional a la interferencia con el campo magnético. De esta manera, midiendo el valor de la corriente se puede medir la posición y la vibración.



*Figura 6. Transductor. Fuente: Sanchez-Gerardo,P.G. (2004). Introducción a la medición de vibración.*

- **Transductor de velocidad:** los vibrómetros doopler láser emplean tecnología láser y la interferométría1 óptica para medir de forma remota, velocidades de superficie o vibraciones de puntos específicos en una estructura en vibración, con una alta resolución espacial, y un amplio rango de amplitud y frecuencias.

Los fallos que se pueden detectar a través del análisis de las vibraciones son:

- Desbalanceo
- Desalineamiento
- Ejes torcidos
- Defectos en los engranajes
- Problemas en bombas y ventiladores
- Defectos en rodamientos
- Desajuste mecánico

#### **2.3.4.2. Análisis de lubricantes**

El análisis de aceite lubricante es una de las técnicas del mantenimiento predictivo más importantes y simples, ya que proporcionan información sobre el estado de operación de los equipos o sistemas mecánicos, de los niveles de contaminación y sobre todo de los desgastes y con ello de la vida útil. El estudio se realiza a partir de las propiedades físicas y químicas del aceite lubricante.

El aceite lubricante es un componente esencial en los equipos o sistemas, ya que su función es la de disminuir al máximo el rozamiento entre dos superficies, con el fin de proteger frente al desgaste, sirve a la vez de refrigeración ya que controla la temperatura, y elimina las impurezas. Sin este elemento los equipos o los sistemas comenzarían a fallar.

Se define el desgaste como la pérdida de peso y en consecuencia de materia, sufrida por las superficies que frotan entre sí en el seno de cualquier mecanismo cuando se encuentran en condición de trabajo. (Casado De Diego: 2015)

El desgaste se puede clasificar en las siguientes categorías dependiendo de los procesos que sufran los equipos o sistemas: (Casado De Diego, 2015)

1. **Desgaste por adherencia:** se produce cuando existe fricción entre dos superficies de diferente composición, produciéndose un mayor desgaste y una pérdida de material en el metal más blando, cuando sus partículas quedan adheridas al metal más duro.
2. **Desgaste por abrasión:** se produce cuando hay presencia de partículas sobre dos metales que están en contacto entre sí, que son llevadas por el aire o que se producen por el trabajo entre los dos equipos o sistemas. Esto indica que existen rugosidades en el metal, aunque presenten buenos acabados superficiales.
3. **Desgaste por corrosión:** se produce cuando las partículas como las del aire, el agua, los ácidos orgánicos etc., en combinación con las superficies metálicas dan lugar a productos de reacción que originan corrosión.
4. **Desgaste por erosión:** se producen cuando en un fluido existen partículas abrasivas en suspensión e impactan sobre la superficie provocando el desgaste del material.
5. **Desgaste por fatiga superficial:** se produce cuando existen partículas de carga de manera periódica en el material, dando lugar a un desgaste por fatiga.
6. **Cavitación:** se produce cuando existen burbujas de vapor en el aceite lubricante debido a las variaciones de presión.

Los aceites lubricantes presentan propiedades tales como: (Buchelli y García, 2014)

- La viscosidad
- El índice de viscosidad
- La densidad
- El punto de inflamación
- El color

- La acidez (TAN)
- El índice de basicidad (TBN)
- Resistencia a la oxidación
- Resistencia a las altas presiones
- Untosidad o adherencia
- Punto de congelación
- Demulsibilidad

Pero los aceites lubricantes necesitan de ciertos componentes como son los aditivos para poder proteger a la fricción, es decir, mejorar sus propiedades fisicoquímicas. Estos aditivos se clasifican de acuerdo con: (Buchelli y García, 2014)

- **Aditivos de protección de superficies.** Su función es la de proporcionar resistencia superficial frente a la erosión y el desgaste, a través de agente anti-desgaste, inhibidores de corrosión, detergentes, dispersantes etc.
- **Aditivos de Desempeño.** Su función es mejorar el índice de viscosidad, sobre todo cuando se trabaja a temperaturas elevadas.
- **Aditivos para proteger el lubricante.** Su función es la de proteger al lubricante frente a las condiciones ambientales y agentes externos contaminantes, a través de antioxidantes, antiespumantes y demulsificantes.

La técnica de análisis de aceites se lleva a cabo en los laboratorios especializados a través de las muestras que se recogen en los equipos o sistemas, y permite cuantificar:

- El grado de contaminación, mediante técnicas de detección de contaminantes como:
  - El contaje de partículas
  - Examen microscópico
  - Karl Fischer
  - Análisis espectrométrico
  - Ferrografía analítica
- La degradación del lubricante, mediante técnicas como:
  - El índice de acidez (TAN)
  - Viscosidad cinemática
  - Ferrografía analítica
  - Reserva alcalina (TBN)
- El desgaste y la fatiga se detectan mediante:

- Análisis espectrométrico
- Ferrografía de lectura discreta
- Ferrografía analítica

La contaminación es uno de los factores más influyentes en las causas de fallos en los equipos y sistemas. Para controlar este fenómeno de desgaste se emplea el contaje de partículas contaminantes en el lubricante, así como su clasificación según el grado o concentración de contaminación y tamaño de las partículas. Para ello se debe conocer el grado de limpieza del lubricante.

A la hora de detectar o corregir los fallos en los equipos o sistemas ocasionados por los contaminantes se debe emplear una escala de referencia. Las más utilizadas son las ISO 4006 y NAS 1638. (Bilbao y Málaga, s.f.)

### **2.3.4.3. Termografía**

La termografía es una de las técnicas del mantenimiento predictivo que permite medir a distancia las temperaturas de equipos o sistemas para comprobar si su funcionamiento es correcto, o por el contrario si presentan cualquier fallo o avería, sin la necesidad de entrar en contacto con sus superficies.

La implementación de programas de inspección termográfica tiene como objetivos la reducción de las paradas no programadas, aumentar la productividad, mejorar la seguridad y obtener un histórico de datos de temperaturas. Aplicando este método en las instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, etc., es posible disminuir la ocurrencia de fallos en los equipos o sistemas y sus consecuencias, a la vez que proporciona una herramienta para el control de calidad de las reparaciones realizadas. (Madasse, 2019)

Todo equipo o sistema emite una energía en forma de ondas electromagnéticas que son captadas por equipos o instrumentos de mediada de infrarrojos, como son las cámaras termográficas o de termovisión, convirtiendo esta energía en información de las temperaturas.



Figura 7. Cámara termográfica. Fuente: <https://www.sincable.mx/camara-termografica/>

La implementación de este sistema se basa en aplicaciones como: (Peña Rodríguez et al ,2011)

- Sistemas eléctricos, como en líneas de baja y de alta tensión para detectar conexiones mal fijadas, defectos de aislantes, conexiones sobrecalentadas, daños en fusibles internos, corrosión de los conectores, etc.
- Sistemas mecánicos, como bombas sobrecargadas, sobrecalentamiento de motores, rodillos y cojinetes calientes, etc.
- Hornos, calderas e intercambiadores de calor.
- Uso y aplicaciones en construcciones.
- Uso y aplicaciones áreas.
- Uso y aplicaciones médicas.
- Construcción naval.

Existen dos métodos de inspección infrarroja: (Peña Rodríguez et al ,2011)

1. **Inspección termográfica cualitativa:** Consiste en obtener imágenes de la radiación infrarroja de un equipo o sistema para poder determinar anomalías o fallos, detectar su posición y detallar la información.

- 2. Inspección termográfica cuantitativa:** Miden los valores de temperatura de la imagen térmica para determinar la gravedad del problema o fallo, y de esta manera poder priorizar el mantenimiento correctivo.

Las ventajas que presenta este sistema son:

- Reducción de tiempo en la revisión de equipos o sistemas ya que mediante la termografía infrarroja se detecta que componentes necesitan de reparación.
- Una reducción de la probabilidad de fallo o avería.
- Se pueden tomar medidas sin la necesidad de estar en contacto con el equipo o sistema, lo que permite mayor seguridad y una toma de muestras casi instantánea sin la necesidad de parar los equipos o sistemas.
- Se pueden analizar grandes áreas de sistemas.
- Ayuda a prevenir incendios.
- La producción es elevada ya que se precisa de menos tiempo para analizar los equipos y los sistemas.
- Permite conocer el comportamiento de un equipo o sistema ya que se le realiza un seguimiento con la toma de datos de temperatura, pudiendo realizarse comparaciones antes y después de la reparación.

Sin embargo, aunque las ventajas que presenta este método consiguen aumentar la calidad y la confiabilidad del sistema, también presenta ciertos inconvenientes, entre los que destacan:

- Presenta una capacidad limitada para identificar fallo o averías internas en los equipos o sistemas.
- La inversión inicial es alta para adquirir los equipos de detección de fallos.
- Se necesita de personal cualificado para utilizar los aparatos y para dar los diagnósticos.

En la figura 8 se muestra un ejemplo de clasificación de fallos, teniendo en cuenta el rango de temperaturas a las que se ven sometidos los equipos o sistemas:

Delta Temperatura	Clase	Recomendación
$\Delta T > 80 \text{ }^\circ\text{C}$	<b>A</b>	Una anomalía muy grave que requiere atención inmediata.
$50 \text{ }^\circ\text{C} < \Delta T \leq 80 \text{ }^\circ\text{C}$	<b>B</b>	Una anomalía seria que necesita reparación en menos de 60 días.
$5 \text{ }^\circ\text{C} < \Delta T \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$	<b>C</b>	Una anomalía que requiere monitoreo periódicamente, pero que se reparará cuando sea conveniente
$\Delta T \leq 5 \text{ }^\circ\text{C}$	<b>D</b>	Condición aceptable

Figura 8. Ejemplo de clasificación de fallos.

#### 2.3.4.4. Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos son métodos que aparecen en la tecnología de los materiales con el fin de realizar controles de calidad y mantenimiento de los equipos y sistemas, con el fin de detectar discontinuidades internas o superficiales, o para determinar ciertas propiedades, a partir de técnicas que no afectan a la integridad física y a las propiedades químicas del material.

Las técnicas empeladas abarcan tres áreas claramente identificadas, como:

1. **Defectología.** Para la detección de impurezas, heterogeneidades, discontinuidades, para la determinación de tensiones, para la corrosión y deterioro de agentes ambientales.
2. **Caracterización de los materiales.** Propiedades mecánicas, físicas, químicas y estructurales.
3. **Metrología.** Control de espesores.

Dentro de los ensayos no destructivos se incluye técnicas como:

- Inspección visual.
- Líquidos penetrantes.
- Partículas magnéticas
- Ultrasonidos
- Corrientes inducidas
- Radiografías

Los **líquidos penetrantes** se emplean para la detección de discontinuidades que se localizan en las superficies de los materiales. Consiste en aplicar un líquido que penetra en la superficie del material por capilaridad en la zona que se quiere analizar, para posteriormente ser revelado

con un producto generalmente polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en la discontinuidad, una vez que se limpia la superficie. De esta manera, se evalúan de forma visual los posibles defectos que puedan aparecer.

Para la aplicación de líquidos penetrantes se realizan las siguientes operaciones:

1. Limpieza de la superficie del componente a analizar
2. La aplicación del penetrante.
3. La eliminación del exceso de penetrante.
4. Aplicación del revelador.
5. La interpretación y evaluación de los datos.
6. Limpieza final.

Las ventajas que presentan los líquidos penetrantes son las siguientes:

- Se pueden aplicar a cualquier tipo de material que no sea poroso.
- Es una técnica relativamente sencilla de realizar.
- Presentan buenos resultados.
- Es una técnica económica.

Las **partículas magnéticas** se aplican a los materiales ferromagnéticos con el objetivo de detectar grietas o discontinuidades presentes en las superficies o a una mayor profundidad. La técnica consiste en la formación de distorsiones del campo magnético o de los polos cuando se induce el campo magnético en el material, es decir, se magnetiza la zona de análisis, se le aplica partículas magnéticas cubiertas de un material fluorescente que son atraídas por el campo inducido acumulándose sobre la discontinuidad o las grietas, produciendo las indicaciones que son visualizadas mediante luz ultravioleta.

La siguiente figura muestra la aplicación de detección de grietas y fisuras por el procedimiento de partículas magnéticas:



*Figura 9. Detección de grietas y fisuras en el engranaje mediante el procedimiento de partículas magnéticas. Fuente: <https://www.tuv-nord.com/es/es/formacion/ensayos-no-destructivos/particulas-magneticas/curso-mt-nivel-2-directo/>*

Se emplean los siguientes equipos de magnetización:

- Yugo magnético
- Bobina o solenoide
- Puntas y cabezales.

Para la aplicación de partículas magnéticas se siguen las siguientes operaciones:

1. Limpieza del componente.
2. Magnetización.
3. Aplicación de las partículas magnéticas
4. Observación e interpretación de los resultados obtenidos.
5. Desmagnetización.
6. Limpieza final del componente.

Las ventajas que presenta la técnica por partículas magnéticas son:

- Es un método económico.

- Permite identificar las discontinuidades y las grietas tanto superficiales como a mayor profundidad.
- No hay limitaciones en cuanto al tamaño o forma de la pieza.
- No se precisa de una limpieza laboriosa.

Los **ultrasonidos** permiten la detección de graves problemas o fallos en las máquinas basándose en la tecnología de estudio de ondas de sonido de alta frecuencia de manera más rápida y con menos riesgo que otros métodos como son el análisis de vibraciones o la termografía, debido a la espera de vibraciones o de aumento de temperatura.

Para detectar los ultrasonidos se emplean instrumentos llamados detectores de ultrasonido o medidores de ultrasonidos, los cuales están formados por captadores de ondas ultrasónicas y convertidores de señal al rango de frecuencias del oído humano (20 Hz-20 KHz) para ser escuchados a través de audífonos o visualizarse en un display.

## 2.4. Plan de Mantenimiento

El plan de mantenimiento se puede definir como “*conjunto estructurado y documentado de tareas que incluyen las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para realizar el mantenimiento*”. (UNE EN 13306, 2017)

A través de un plan de mantenimiento se busca optimizar el rendimiento operativo del buque, prolongando la vida útil de los equipos y sistemas y reduciendo el mayor número de fallos posibles.

La elaboración de un plan de mantenimiento puede realizarse de tres formas: (García Garrido, 2003)

- 1. Plan de mantenimiento basado en instrucciones del fabricante.** Esta forma de mantenimiento es fácil de llevar a cabo, puesto que siguen las pautas y operaciones que dictan los manuales proporcionados por el fabricante. Previamente a la recopilación de información, se debe hacer una lista de todos los equipos que se quieren mantener, para asegurar que se obtendrán los manuales de estos equipos. El principal inconveniente que presenta este tipo de plan de mantenimiento es que ningún fabricante propone realizar un mantenimiento predictivo a los equipos.
- 2. Plan de mantenimiento basado en la recopilación de los técnicos.** Es un plan de mantenimiento basado en instrucciones genéricas y experiencia de los técnicos, es decir,

que los equipos se agrupan en equipos genéricos y en cada grupo genérico se establecen una serie de tareas de mantenimiento comunes, independientemente de quien sea el fabricante.

- 3. Plan de mantenimiento basado en el análisis de fallos.** Este tipo de plan de mantenimiento es el que contempla el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

## 2.5. Fases del Mantenimiento

Cada plan de mantenimiento se adecua a las necesidades del equipo o instalación que se desea analizar, realizando las etapas o pasos pertinentes en el desarrollo de una estrategia de mantenimiento que garantice el correcto funcionamiento y la más alta disponibilidad.

Es por ello por lo que, a pesar de la adecuación a cada equipo o sistema, se pueden definir unas etapas que conforman comúnmente a los planes de mantenimiento, o como es el caso, del plan de mantenimiento del buque de pesca de estudio del proyecto. Las etapas o secuencias son las siguientes: (Mármol Sáez, 2016)

- 1. Información:** Se recopila toda la información referente a los equipos y sistemas para poder definir todas las acciones de mantenimiento. Toda la información se recoge en las instrucciones de trabajo para llevar a cabo la conservación del buque, apoyándose en organismos como las Sociedades de Clasificación, planos y consultas facilitadas por el fabricante de los equipos o de la instalación, reglamentos y normativas como el SOLAS, experiencia por parte del personal, etc.
- 2. Planificación:** Son las actividades que se organizan de acuerdo con unas fechas o tiempos para llevar a cabo su ejecución. Para es necesario definir actividades en el contexto operativo como: (Salas, 2015)
  1. Analizar planes estratégicos.
  2. Definir objetivos y metas.
  3. Planificar y programas aquellas actividades del mantenimiento.
  4. Definir recursos como el personal, materiales, espacios y tiempos.
- 3. Asignación:** Se asignan las tareas de acuerdo con las condiciones de tiempos y espacios, así como la capacidad y experiencia del personal que va a realizar las actividades de mantenimiento. Se establecerá prioridad a las actividades que tienen

una fecha establecida, dejando para después las que no tienen fecha asignada. Se debe tener en cuenta si el mantenimiento se va a llevar a fuera del agua o en el mismo puerto, así como realizar las tareas de emergencia solo en condiciones de navegación.

4. **Ejecución:** Esta etapa es llevada a cabo solo por el personal responsable y asignado para tal caso, disponiendo de todos los recursos para poder desempeñar las acciones de mantenimiento. Aquí se refleja si se ha realizado una buena planificación y programación previa.
5. **Análisis de datos y archivo histórico:** Después de llevar a cabo las actividades establecidas en el plan de mantenimiento es importante recopilar toda la información sobre los resultados y los trabajos realizados a los equipos o sistemas con el fin de establecer un histórico que permita aumentar la fiabilidad y disponibilidad en un futuro, así como de la detección de posibles fallos repetitivos, o evaluar y tomar decisiones futuras en el plan de mantenimiento.

La figura 10 muestra las fases del mantenimiento anteriores:

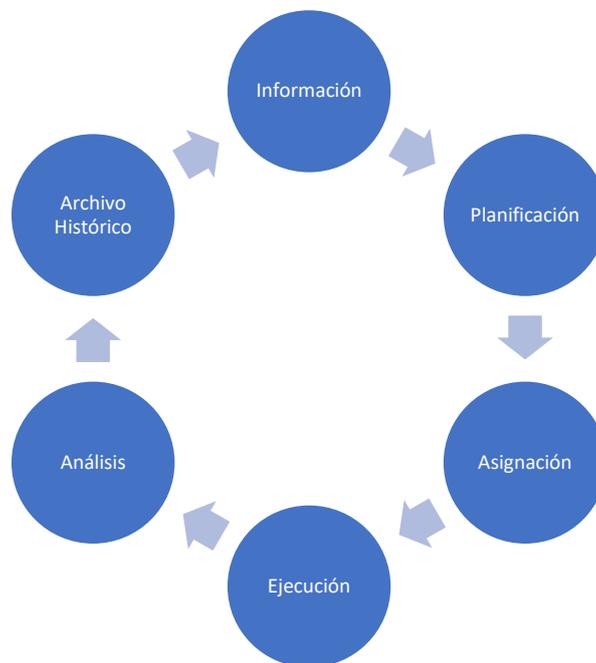


Figura 10. Fases del Mantenimiento. Fuente: Elaboración propia basado en Mármod-Sáez, J.M. (2016) Mantenimiento estructural y del casco de buques de carga.

## 2.6. Mantenimiento de barcos pesqueros

El objetivo del proyecto es llevar a cabo el mantenimiento de un barco de pesca polivalente, cuyas funciones operativas son las del arte de arrastre y arte de nasas.

El mantenimiento de los barcos de pesca debe cumplir con los requisitos mínimos legales que garanticen la seguridad y de operatividad en el mar, evitando cualquier tipo de incidente que perjudique o contamine el medio ambiente marino.

Es por ello, que según el **Real Decreto 1216/1997**, de 18 de Julio, en el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo a bordo de un buque de pesca, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos a la hora de llevar a cabo un mantenimiento del buque:

- 1. Navegabilidad y estabilidad.** El buque deberá mantenerse en óptimas condiciones de navegabilidad mediante la incorporación de equipos y sistemas que permitan llegar al destino correspondiente. Además, la información sobre la estabilidad deberá estar disponible a bordo y para todo el personal.  
Se debe llevar a cabo el mantenimiento de los equipos y sistemas que permiten mantener el buque en condiciones de estabilidad y navegabilidad, como son los equipos de puente, así como al sistema de gobierno y propulsión, imprescindibles para llegar a destino deseado, etc.
- 2. La estanqueidad.** Se deben mantener aquellos equipos y sistemas que permiten impedir la entrada de agua al buque, o por el contrario los que permiten achicar el agua en caso de una entrada excesiva. Estos equipos son las escotillas y portas, tubos de aireación, el guardacalor, las entradas de ventilación, etc. También se debe mantener la estructura del buque, como los mamparos y puertas, así como mantener y proteger el casco resistente de factores como la corrosión.
- 3. Instalación mecánica y eléctrica.** La instalación eléctrica tiene que proyectarse para cualquier situación de funcionamiento o emergencia en el buque, alimentando a todos los sistemas sin poner en riesgo a los equipos y tripulación. Se debe disponer de un generador de emergencia en la cubierta principal, por encima de la cámara de máquinas.

Se debe llevar a cabo revisiones periódicas de las instalaciones eléctricas, como puede ser el cuadro principal o los alternadores; mediciones de los niveles de aceite, de agua y de combustible de los indicadores de los equipos, así como las alarmas de los mismos; revisiones de los sistemas de aceite, refrigeración, combustible, propulsión y de gobierno, de circuitos y cableado eléctrico, sensores, manómetros, maquinaria del arte de pesca, o de los equipos de fondeo y amarre, como son las maquinillas, ancla, cadena, escobén, chigres, grilletes, etc. También es importante mantener y revisar periódicamente la cámara frigorífica para que esté en buen estado, controlando los sensores e indicadores de temperaturas, así como del sistema de generación de frío.

- 4. Detección y lucha contra incendios.** Se deberán mantener en buen estado y funcionamiento todos los equipos y sistemas contra incendios tales como bombas, mangueras, extintores, colectores, tuberías, bocas de incendio, etc., así como de los sistemas automáticos de extinción de incendios y de las alarmas. Es también un factor de importancia la formación de la tripulación en la prevención de incendios y en el mantenimiento de los equipos y sistemas.
- 5. Disposición de los lugares de trabajo.** Las zonas de trabajo a bordo deben mantenerse limpias de cualquier residuo que pueda aparecer, utilizando los productos necesarios y puestos en conocimiento de todo el personal. Es necesario mantener los equipos de control para el traslado de cargas, como es en el caso de los arrastreros, revisar los mecanismos de bloqueo de la red de arrastre, mecanismos para controlar el balanceo de los copos de la red, etc. Es importante revisar las instalaciones de mecanismos de protección que acorten el recorrido de los cables de arrastre, los viradores y piezas móviles. Además, se deben supervisar los equipos de comunicación entre el puente y el parque de pesca o cubierta de trabajo.
- 6. Los equipos de salvamento.** Se deben supervisar los equipos de salvamento a menudo para su correcto funcionamiento, además de llevar el certificado de seguridad de equipo, que acredita que está en buen estado. Todo personal debe estar en conocimiento de utilizar los equipos de salvamento, y es su deber mantenerlos.

### 2.6.1. Mantenimiento de la estructura, casco y cubierta

El buque de pesca de estudio del proyecto presenta una fabricación de su estructura, casco y cubierta de material de acero. Este material es muy utilizado en la industria naval ya que presenta buenas propiedades mecánicas, es decir, es un material con buena resistencia mecánica, una dureza alta, buena ductilidad, etc., aparte de ser un material que pueden modificarse sus propiedades mediante tratamientos térmicos, mecánicos o aleaciones, de acuerdo con las necesidades de fabricación y a bajo coste. Todo ello hace que el acero sea un material ideal que cumple con los requisitos para alcanzar la seguridad marítima.

Sin embargo, el ambiente marino y el agua del mar son agentes muy destructivos para el acero. Uno de los principales problemas que afecta al casco y a la estructura es la corrosión, puesto que la obra viva está sumergida en el agua y expuesta a los agentes biológicos o fouling; y la obra muerta, la superestructura y el resto de la estructura y refuerzos están sometidos tanto al agua como a la humedad del ambiente. Todo ello provoca una disminución de la resistencia estructural, poniendo en serio peligro la integridad del buque.

Otro de los factores que influyen en la degradación de la estructura son los daños que se producen en consecuencia de las condiciones de trabajo, como los impactos debidos a movimientos de carga o de equipos de arte de pesca, la fatiga, impactos, etc.

Tanto la corrosión como la degradación por daños mecánicos afectan a los espesores de los refuerzos y planchas que conforman la estructura deteriorándolos, por lo que es necesario cada cierto tiempo medir aquellas zonas del barco que más afectadas se ven y que más sufren. Es por ello, que la ley de espesores es fundamental a la hora de mantener la estructura.

Para combatir contra la corrosión y los agentes biológicos, se emplean una serie de medidas anticorrosión, sistemas de recubrimientos, pinturas antiincrustantes, ánodos de sacrificio, etc.

Los elementos estructurales principales que conforman el buque de pesca y que hay que mantener son los siguientes:

*Tabla 1. Elementos estructurales principales. Fuente: Elaboración propia*

<b>Elementos estructurales principales</b>
Cubierta principal
Casco resistente de acero
Bulárcamas

Cuadernas
Quilla
Codaste
Roda
Cubierta superior
Superestructura

### 2.6.1.1. Corrosión

Se define la corrosión como “*reacción química o electroquímica de un metal o aleación con su medio circundante con el consiguiente deterioro de sus propiedades*”. (Universidad politécnica de Cartagena).

Como se ha mencionado anteriormente, la corrosión es uno de los principales problemas que afectan al deterioro del casco del buque y de la estructura. Las pérdidas económicas que ocasiona este factor son enormes, debido en gran parte a las sustituciones de tuberías, de estructuras corridas, de refuerzos, de chapas, etc., otras debido a las pinturas y recubrimientos de las estructuras, los gastos por pérdidas de tiempo de producción, etc.

Se debe tener en cuenta que la corrosión no siempre se produce de la misma manera, por lo que existen diferentes procesos de corrosión que pueden agruparse de acuerdo con las siguientes categorías: (Salazar-Giménez, 2015)

*Tabla 2. Tipos de corrosión. Fuente: Salazar-Jiménez, J.A. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales.*

<b>Corrosión generalizada</b>	Corrosión uniforme	Este tipo de corrosión ocurre de forma homogénea, en toda la superficie metálica deteriorándola por completo. Es el tipo que más afecta al material, pero es relativamente sencilla de prever y de controlar.
	Corrosión galvánica	Se produce cuando dos metales de diferente potencial entran en contacto con un electrolito (en el caso del casco con el agua de mar) forman una celda electroquímica, donde el metal con menor potencial electroquímico

		(carga negativa, metal base) se corroe, mientras que el metal con mayor potencial electroquímico (carga positiva, metal noble) se protege.
<b>Corrosión localizada</b>	Corrosión por fisuras	Es un tipo de corrosión similar a la galvánica, que se produce en zonas estrechas, donde la concentración de oxígeno es menor lo que propicia a que estas zonas actúen como un ánodo, dándose el factor de la corrosión.
	Corrosión por picaduras (pitting)	Es un tipo de corrosión que se presenta en materiales pasivados, donde por consecuencia de la rotura local de la película pasiva debido a la presencia de agentes oxidantes y el incremento del PH del medio, aparece el fenómeno de la corrosión bajo la picadura.
	Corrosión por cavitación	Se produce en los materiales pasivados por los que transportan líquidos, y que debido a los cambios de presión se producen flujos turbulentos formando burbujas de aire que impactan sobre el material deteriorando la capa pasiva y provocando la corrosión y picaduras.
	Corrosión microbiológica	Es un tipo de corrosión propiciada por microorganismos como las bacterias, hongos y algas, los cuales se sitúan entre el metal y el medio agresivo y modifican las condiciones que en las que se lleva a cabo el proceso de corrosión electroquímica.
<b>Corrosión combinada con un fenómeno físico</b>	Corrosión por erosión	Se produce en aquellos materiales pasivados en los que hay transporte de líquidos que contienen partículas de mayor dureza que erosionan la capa pasiva debido al movimiento permitiendo el proceso de corrosión.

	Corrosión por tensión	Se produce cuando un material está sometido a una tensión mecánica o esfuerzo de tensión y en contacto con un medio agresivo dando inicio al proceso de corrosión, formándose pequeñas fisuras o grietas provocando la rotura del material.
	Corrosión por fatiga	Se produce de manera similar a la corrosión por tensión, con la diferencia de que lo provocan esfuerzos cíclicos.
	Corrosión por deszincificación o desealeación	Es el que se produce en las aleaciones de latón, donde el zinc se separa del cobre frente a disoluciones acuosas, dejando una estructura porosa.
<b>Otros tipos de corrosión</b>	Corrosión filiforme	Es la que se presenta en ambientes de alta humedad sobre materiales con recubrimientos orgánicos, generalmente pinturas, que por defectos o rasguños mecánicos se inicia el proceso de corrosión como filamentos delgados.
	Corrosión por oxidación	Se desarrolla en procesos de alta temperatura, en presencia de un gas oxidante (oxígeno, azufre, etc.) No existe electrolito, por lo que la reacción es química, por lo que se conoce como reacción seca. Las moléculas del gas oxidante reaccionan con el material y debido a la temperatura, el compuesto formado se propaga al interior provocando una fragilización del material.

Hay diversos factores que afectan a la reacción de corrosión, entre los que caben destacar: (Salazar-Giménez, 2015)

- **La temperatura.** La reacción de corrosión tiende a aumentar con la temperatura, ya que hace que la difusión del oxígeno con el metal aumente llegando a fragilizarlo.

- **Velocidad del flujo.** A mayor aumento de velocidad del fluido en materiales que contienen líquidos, mayor es la capacidad de corrosión ya que las partículas actúan con mayor fuerza atacando zonas que aún no han sido afectadas, afectando a la formación de películas pasivas.
- **Acidez.** Las soluciones que contienen valores de PH bajos son soluciones ácidas, debido a que contienen una alta concentración de iones de hidrógeno libres, que reciben mayor número de electrones permitiendo que la zona anódica reaccione en mayor proporción.
- **Concentración de oxígeno.** Según si el metal es ferroso o no ferroso, la concentración de oxígeno aumenta o retarda el proceso de corrosión.
- **Sales disueltas.** Las sales disueltas al liberarse en un medio electrolito reducen el PH propiciando el proceso de corrosión por acidez.

#### **2.6.1.1.1. Protección contra la corrosión**

Se debe tener en cuenta el efecto de la corrosión en el plan de mantenimiento, debido a sus efectos negativos en el rendimiento económico del buque, por lo que es muy importante proteger aquellos equipos, sistemas y estructuras que se vean afectadas por su presencia.

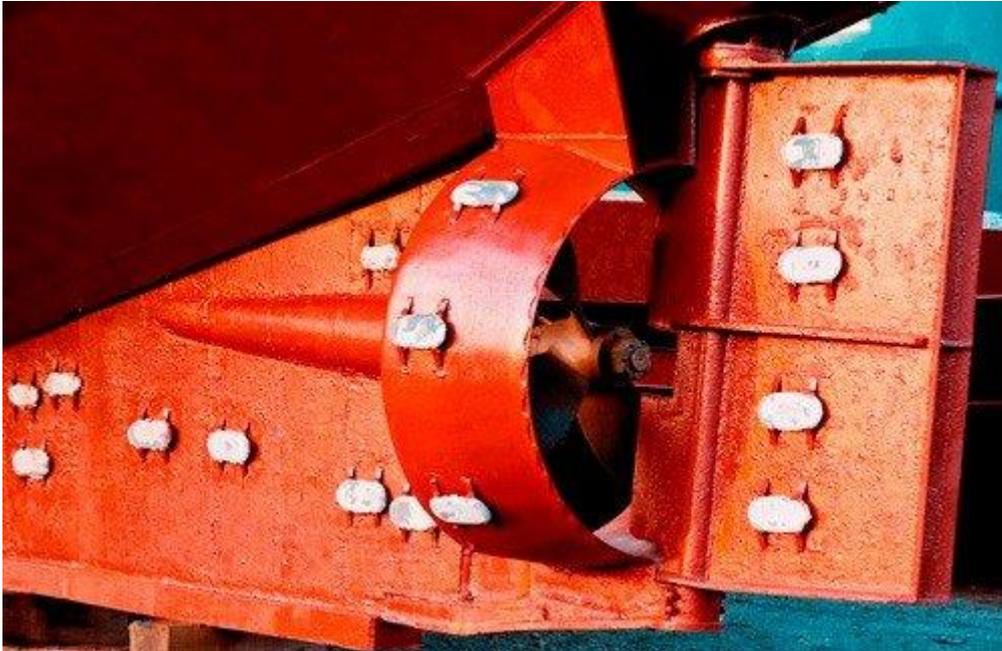
Para ello, existen diferentes métodos para evitar su aparición. Los dos métodos más empleados a nivel comercial son: (UNE EN 12473, 2014)

- 1. Protección mediante ánodos de sacrificio:** Los ánodos de sacrificio son los componentes que se emplean en la protección catódica galvánica de superficies que están sumergidas.

El fenómeno en el que se basan los ánodos de sacrificio es aquel en el que cuando dos metales diferentes entran en contacto entre sí en el mismo medio (electrolito) se crea una pila galvánica, donde al generarse una diferencia de potencial se crea una corriente eléctrica, en el metal más electronegativo se comporta como un ánodo y libera más electrones disolviéndose más rápidamente, mientras que el metal menos electronegativo se comporta como un cátodo protegiéndose de la corrosión.

La estructura para proteger está constituida de acero por lo que los ánodos de sacrificio pueden ser de material de zinc, aluminio o magnesio, ya que son menos electronegativos que el acero y se corroen antes.

En la figura 11 se muestran diversos ánodos de sacrificio colocados en el timón, y en la quilla:



*Figura 11. Protección del timón, la quilla y la tobera mediante ánodos de sacrificio. Fuente: <https://www.electronicanautica.es/navegacion/anodos-para-barcos-para-que-sirven>*

- 2. Protección mediante corriente impresa (ICCP):** Se basa en el mismo principio que el fenómeno de los ánodos de sacrificio. Se basa en la aplicación de una corriente eléctrica negativa a la estructura a proteger y polo positivo al medio electrolito, para conseguir reducir el potencial del metal a proteger, generando un gran ánodo, evitando de esta manera colocar ánodos de sacrificio (Sesé Rodríguez, 2014)

### **2.6.1.2. Ley de espesores**

Como se ha mencionado anteriormente, la ley de espesores es muy importante a la hora de realizar un plan de mantenimiento. Para llevar a cabo las mediciones de los espesores cada sociedad de clasificación emplea una serie de técnicas y herramientas según el tipo de buque. Las sociedades de clasificación más importantes son el DNV (Det Norske Veritas) y el Lloyd's Register Marine.

Según el DNV, se siguen los siguientes pasos para poder llevar a cabo la medición de espesores: (Mármol Sáez, 2016)

1. Requisitos de limpieza. Las zonas del buque que vayan a ser de objeto inspección de medición de espesores deben estar lo más limpias posibles, es decir, es requisito por parte del armador del buque eliminar cualquier sedimento o incrustación que impida poder llevar a cabo la labor de inspección por parte del inspector.
2. Los medios de acceso. Se deben asegurar todos los espacios que se vayan a inspeccionar y estén libres de gases, que estén en óptimas condiciones de ventilación e iluminación, y totalmente preparados con los dispositivos necesarios para que el inspector realice las mediciones pertinentes.
3. Proceso de medición de espesores a bordo. El inspector deberá verificar que los dispositivos y equipos estén calibrados de acuerdo con los estándares normalizados, y que toda la documentación y certificados requeridos esté aportada. Una vez verificados estos pasos, se proceden a realizar las operaciones de mediciones de aquellas partes seleccionadas por el inspector, a través del operador, bajo la supervisión de este.
4. El trabajo se dará por concluido cuando el inspector informe que no son necesarias más mediciones, y que estén todas las medidas reflejadas y verificadas a través de un informe.

### **2.6.1.3. Corrosión microbiológica**

La corrosión microbiológica, o fouling, se produce debido a la presencia de microorganismos como son las bacterias, los hongos y las algas, que se adhieren al casco o al metal interfiriendo entre el material y el medio electrolito en el que se encuentra sumergido, como es el caso del casco en el agua del mar, produciendo de esta manera la degradación del material.



*Figura 12. Corrosión microbiológica. Fuente: Jiménez-Ballesta, A.E. (s.f.), Selección de Materiales y Corrosión*

### **2.6.1.3.1. Protección contra la corrosión microbiológica**

La corrosión marina biológica tiene un efecto nocivo en el caso de los buques, no solo afecta a la integridad del casco, debido a que los microorganismos desprenden las pinturas antiincrustantes del metal dejándolo desprotegido y vulnerable a la corrosión, sino que también provoca una resistencia al avance, ya que debido a las incrustaciones aumenta el coeficiente de fricción respecto al agua del mar, disminuyendo de esta manera la velocidad de avance y aumentando el consumo.

Para evitar este tipo de corrosión, un método de mantenimiento sería el de aplicar al casco pinturas antiincrustantes o antifoulings.

Las pinturas antiincrustantes evitan que se formen estas capas de microorganismos en el casco, liberando sustancias biocidas que forman una capa de apenas un milímetro de espesor impidiendo que los microorganismos se adhieran al casco; o bien, se emplean compuestos como la silicona, que son muy lisos evitando de esta manera que los microorganismos se adhieran. (Universidad Politécnica de Cartagena)

Se distinguen cuatro tipos de pintura antiincrustantes: (Universidad Politécnica de Cartagena)

- 1. Convencionales.** Presentan la característica de que son antiincrustantes blandos, donde el bioactivo se libera en función de la temperatura del agua y de la salinidad. Se deben

quitar antes de volver a repintar el casco. Solamente pueden quedarse expuestos al ambiente exterior durante una semana.

2. **De larga vida.** Son antiincrustantes de matriz dura. Absorben el agua mientras la parte soluble de la resina se va desintegrando, dejando una estructura insoluble llena de agua donde por difusión las sustancias activas se disuelven evitando así las incrustaciones. Pueden quedarse expuestas al ambiente exterior durante al menos tres meses.
3. **Autopulimentables.** Actualmente son los más utilizados. No contienen biocidas y poseen un mecanismo pulimentante hidrodinámico, constituidos por siliconas que se disuelven en el agua a una velocidad que es controlada químicamente. Las propiedades pulimentantes hacen que se eviten las acumulaciones de capas y facilita la limpieza antes de repintar. Pueden permanecer hasta tres meses en ambiente exterior.
4. **Autopulimentables libres de estaño.** Son el futuro, puesto que dejan de emplear compuestos de estaño por motivos medioambientales.



# **Capítulo 3. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)**

### 3.1. Definición del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

Según John Moubray, define el mantenimiento centrado en confiabilidad como:

*“Mantenimiento Centrado en la garantía de funcionamiento: un proceso usado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo” (2004:4)*

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es un proceso que surge durante los años del 1960 y 1970, en la industria de aviación civil, la American Airlines de los Estados Unidos, cuya finalidad era la de aumentar la fiabilidad realizando un estudio de los activos físicos y analizando las causas de sus fallos, ya que los altos costes en la sustitución de las piezas afectaban a la sostenibilidad económica de las compañías aéreas. Es así como se llegó a cosechar un gran éxito en la implantación de un método que posteriormente fue adoptado por diversas industrias como las del transporte ferroviario y marítimo, el sector de la minería, en la industria de generación de energía, etc., llegando a conseguir en la actualidad una alta maduración del proceso de mantenimiento basado en fiabilidad.

El procedimiento RCM fue documentado por primera vez en un informe escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y que fue publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978, y que sirvió de base para el desarrollo del proceso RCM, evolucionando y mejorando con el paso del tiempo, siendo en 1999 cuando surgió la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012, con el fin de establecer una serie de criterios mínimos para que un proceso de mantenimiento basado en el análisis de fallos pueda ser llamado RCM.

La principal función es la de crear un marco estratégico que garantice que cualquier bien continúe funcionando de la manera más eficiente en condiciones de operatividad normal, tal y como los usuarios pretenden que lo haga, basando su metodología en el análisis de consecuencias y el costo de cada una de ellas, mediante acciones que deben ser justificadas de manera técnica y también económica.

Los principales fundamentos de la metodología se pueden resumir en cuatro características (Mokashi et al., 2002):

1. Preservar funciones.
2. Identificar modos de fallo que pueden anular las funciones deseadas.
3. Priorizar la necesidad de función (usando modos de fallo).
4. Seleccionar solo tareas aplicables y efectivas.

### 3.2. RCM: Siete preguntas básicas. Árbol Lógico de decisión.

Para poder aplicar el procedimiento RCM se debe detallar cuales son los equipos y sistemas que van a estar bajo revisión, formando de esta manera una estrategia de mantenimiento óptima. Por tanto, el RCM debe responder unas siete preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones y los respectivos estándares que el activo o bien a mantener desempeña en su contexto operativo normal?
2. ¿De qué forma puede fallar y no responder frente a sus funciones y estándares?
3. ¿Qué es lo que ocasiona cada fallo de sus funciones?
4. ¿Qué es lo que sucede cuando ocurre cada fallo?
5. ¿De qué modo puede afectar cada fallo?
6. ¿Qué se puede hacer para intentar prevenir o predecir cada fallo?
7. ¿Qué debe hacerse si no se puede prever cada fallo o no se encuentra el plan de acción apropiado?

La metodología en la que se basa RCM supone ir atravesando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la planta:

- **Fase 0:** Seleccionar los sistemas a analizar. Para ello, se realiza la codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Se pueden considerar los criterios de seguridad, baja confiabilidad, si tienen un mantenimiento correctivo o preventivo, etc. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.
- **Fase 1:** Ya seleccionado el sistema, se realiza un estudio completo de su funcionamiento, con un listado de funciones en su conjunto. Selección de funciones de cada subsistema y de cada equipo relevante que conforma cada subsistema.
- **Fase 2:** Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos. Para cada función se debe seleccionar los fallos más importantes.
- **Fase 3:** Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior. Éstos pueden ser los más probables, es decir los que puedan provocar graves consecuencias, y de los que se tiene mayor constancia.
- **Fase 4:** Estudiar los efectos y consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias. Los mecanismos de fallo se califican a partir de las matrices de riesgo.

- **Fase 5:** Determinación de medidas preventivas que minimicen o eliminen los efectos de los fallos.
- **Fase 6:** Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.
- **Fase 7:** Aplicación de las medidas preventivas.

Como determinar todas las medidas preventivas o estrategias de mantenimiento a cada mecanismo de fallo es un trabajo tedioso, lo primero que se debe definir son las estrategias de mantenimiento y la implantación por fases. Una vez hecho esto, se asigna una estrategia de mantenimiento a cada mecanismo de fallo que pertenece a dicha fase que se quiere implantar.

En la siguiente figura se ilustra el “árbol lógico de decisiones” según lo explicado anteriormente.

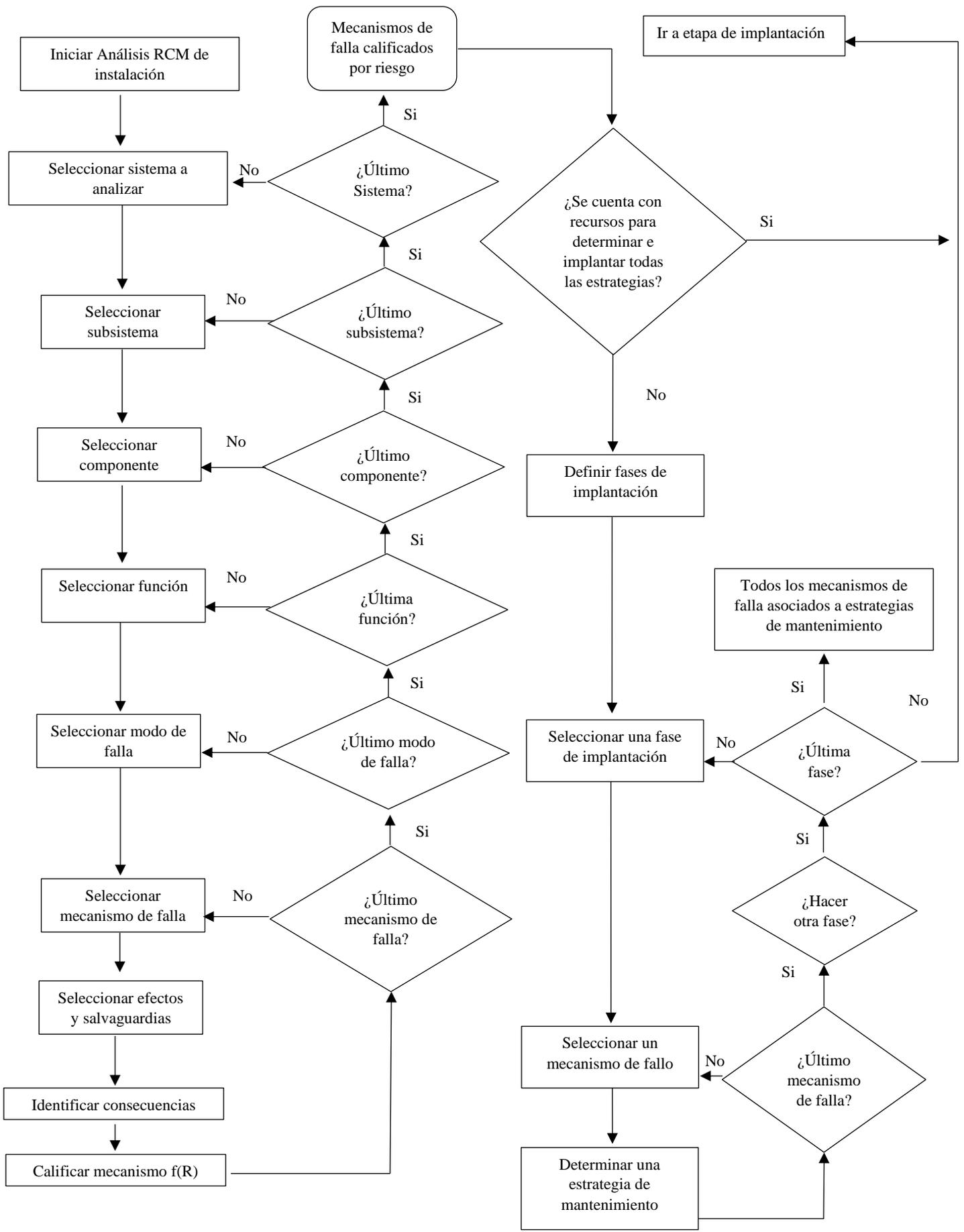


Figura 13. “Árbol lógico de decisión”. Fuente: (2012) Boletín IIE. Confiabilidad en los sectores energético y eléctrico.

### 3.3. Definición de Funciones.

Previamente de poder aplicar un proceso, necesario en la metodología RCM para determinar que cualquier bien físico continúe cumpliendo con el papel o función que debe desempeñar, o dicho de otra manera realizar los propósitos determinados para los que ha sido diseñado, se debe tener en cuenta una serie de aspectos, tales como:

1. Determinar cuál es la función que los usuarios quieren que desempeñe, es decir, la función de los bienes físicos o equipos en su contexto operacional.
2. El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto, es decir, que el bien físico o equipo sea capaz de comenzar con lo que los usuarios esperan.

Como resultado de lo mencionado anteriormente, el proceso de RCM comienza definiendo las funciones de cada bien físico o equipo en su contexto operativo de la misma manera que los estándares de desempeño deseados.

Dichas funciones que los usuarios esperan que los bienes físicos o equipos desempeñen se pueden clasificar en (Moubray, 2004):

- **Funciones primarias o principales:** se pueden definir como las funciones por las cuales ha sido adquirido el bien físico o equipo. Esta clase de funciones abarca ciertos temas tales como la producción, calidad del bien o equipo, velocidad y rendimiento, el servicio al cliente, así como la capacidad de almacenaje o transporte.
- **Funciones secundarias:** se pueden definir como aquellas funciones, a parte de las funciones primarias, que desempeña el bien físico o equipo, siendo las características necesarias para que se realicen dichas funciones primarias. Esta clase de funciones abarca temas como los de la economía, protección, seguridad y control, eficiencia operacional, integridad estructural, cumplimiento de las normas medioambientales, confort, contención y apariencia del bien físico o activo.

Es por esto, que es esencial que los usuarios deben estar presentes desde el inicio del proceso del RCM, ya que el conocimiento de las funciones de los bienes físicos o equipos permite tener conocimiento de cómo aportan al bienestar físico y económico de toda la organización.

### 3.4. Fallos funcionales.

Una vez establecido el primer paso que es definir y marcar el objetivo a cumplir por cada bien físico o equipo, definiendo las funciones de cada uno de ellos y el funcionamiento en su

contexto operativo, el siguiente paso es identificar de qué manera puede fallar cada bien físico o equipo en la realización de dichas funciones.

Se definen de esta manera los fallos funcionales como la pérdida total o parcial de las funciones que desempeña cada bien o equipo, de acuerdo con lo que el usuario considera aceptable, ya que según John Moubray *“una falla funcional se define como la incapacidad de todo bien de cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario”* (2004:48).

### **3.5. Modos de fallo.**

El proceso RCM define el modo de fallo como la causa de cada fallo funcional, pudiendo tener cada fallo funcional más de un modo de falla.

Se trata de identificar los modos de fallo que presentan mayor probabilidad de que den lugar a un fallo funcional, o lo que es lo mismo, causar la pérdida de una función. Es importante este paso, ya que de esta manera permite comprender al usuario que es lo que se está tratando de prevenir; al mismo tiempo que es importante tratar de identificar la causa origen de cada fallo. Todo esto asegura de que se traten las causas y no los síntomas, ahorrando de esta manera el tiempo y el esfuerzo que ello conlleva.

Por tanto, los modos de fallo se deben identificar a través de una serie de factores:

1. Deben tener una probabilidad de ocurrir razonable.
2. Se incluyen los modos de fallo que han ocurrido previamente, los que no han ocurrido, pero tienen una probabilidad de ocurrir razonable, y los que se previenen con el plan de mantenimiento actual.
3. Los modos de fallo relacionados con el desgaste, errores humanos durante la operación y el mantenimiento, así como los errores de diseño.

### **3.6. Efectos de fallo y consecuencias.**

Una vez definidos los fallos funcionales y los modos de fallo es importante detallar que sucede durante el proceso de cada modo de fallo, antes incluso de que se pueden definir las causas o consecuencias que tiene cada fallo funcional. A esta descripción del proceso se le conoce como efectos de fallo, los cuales indican lo que sucedería si tuviera lugar cada modo de fallo. De esta manera, se puede obtener el grado de importancia que presenta cada modo de fallo y adquirir el conocimiento del nivel de mantenimiento que precisan.

Hay que tener en cuenta una serie de factores cuando se describen los efectos de los fallos, que reúnen la información necesaria para evaluar las consecuencias de los fallos funcionales. Estos factores son:

- Obtener información o pruebas de que el modo de fallo se haya presentado, en caso de que las haya.
- Describir como un modo de fallo representa un riesgo para la seguridad de las personas y para la integridad del medio ambiente.
- Como puede afectar el modo de fallo a las operaciones y a la producción.
- Cuáles son los pasos que seguir para reparar los fallos, y de este modo restaurar la función del bien físico o equipo.

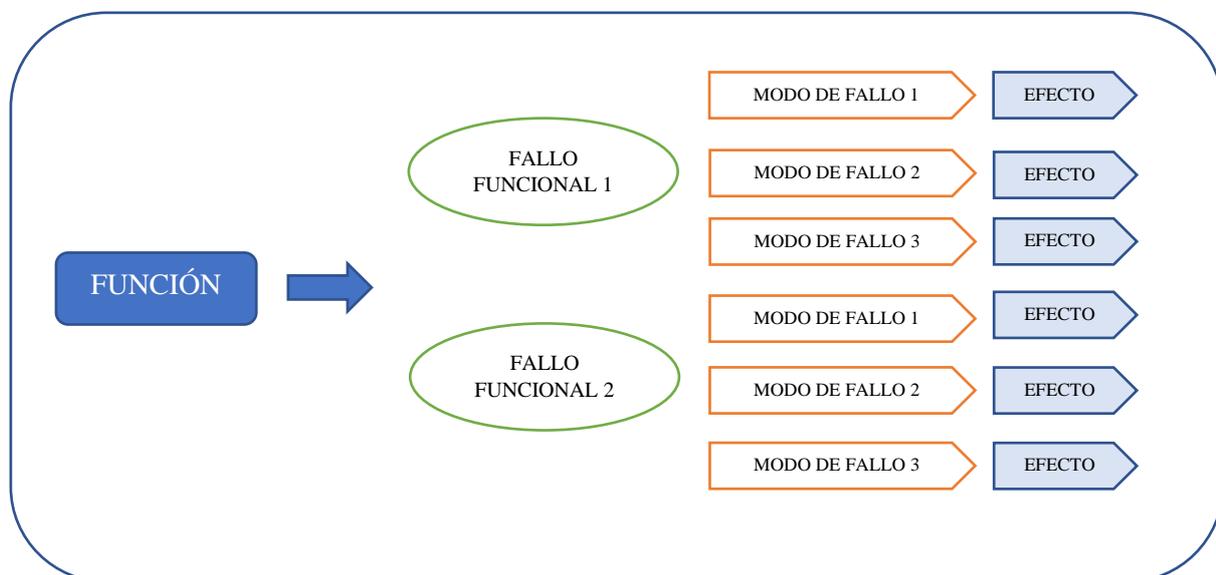


Figura 14. “Esquema de procesos de Análisis de modos de fallo y efectos”. Fuente: Elaboración propia sobre Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*

Ya definidos y analizados las funciones, los fallos funcionales, los modos de fallo y los efectos que estos provocan en cada bien o equipo, el siguiente paso del proceso RCM es evaluar las consecuencias de los fallos, es decir, el nivel de importancia de cada fallo, debido a que indica si es necesario tratar de prevenirlo.

El proceso RCM clasifica las consecuencias de los fallos en cuatro categorías: (Moubray, 2004)

- 1. Consecuencia de los fallos ocultos:** Los fallos ocultos o fallos no evidentes no se tienen en cuenta de una forma directa y concreta, pero sí que es importante otorgarles un alto

nivel de prioridad y reconocerlos como tal, adoptando un rápido acceso y coherente con relación a su mantenimiento, puesto que el efecto de cada uno de estos fallos no evidentes, pueden llevar a otros fallos y tener consecuencias muy negativas y serias. Por tanto, este es uno de los puntos fuertes que presenta el proceso RCM.

2. **Consecuencias en el medio ambiente y en la seguridad:** Los fallos pueden tener consecuencias muy graves en cuanto al ámbito de la seguridad, ya que pueden llegar a afectar físicamente a los usuarios, y en el medio ambiente, si llegan a incumplir las normativas implantadas que regulan este sector. Es por ello, que el proceso RCM tiene en cuenta los efectos de cada fallo sobre la seguridad y el medio ambiente antes incluso de tener en cuenta la operación de funcionamiento.
3. **Consecuencias operacionales:** Los fallos operacionales son aquellos que afectan a la producción (calidad del producto, servicio al cliente, capacidad etc), cuyas consecuencias afectan a la economía, debido al costo que implica tratar de prevenirlas.
4. **Consecuencias que no son operacionales:** En los fallos evidentes la única consecuencia a tener en cuenta es el gasto económico que precisan para ser reparados, ya que no afectan de ninguna manera a la seguridad ni a la producción.

Es por esto, qué en este paso del proceso RCM, si algún fallo presenta consecuencias significativas en cualquiera de las cuatro categorías, es necesario tratar de preverlas, al igual que si no se tratan de consecuencias graves, el proceso de mantenimiento a seguir es el que se ejecuta en condiciones normales.

### **3.7. Patrones de fallo.**

Otro aspecto que se debe destacar es que en el pasado se consideraba que cuando un bien o equipo era más viejo, presentaban mayor probabilidad de fallo. Es por esto, que numerosos estudios llevados a cabo por diferentes industrias, afirman que la relación que hay entre el tiempo durante la operación y la probabilidad de fallo es mucho más complejo de lo que antiguamente se pensaba, esto se resume en que según la manera en la que el bien o equipo presenta un fallo, se debe poder aplicar una estrategia u otra de mantenimiento, y que sea justificable. En la actualidad, se conoce que no existe un modelo de fallo, sino y según el libro de Nowlan y Heap en 1978, existen hasta seis patrones de fallo diferentes.

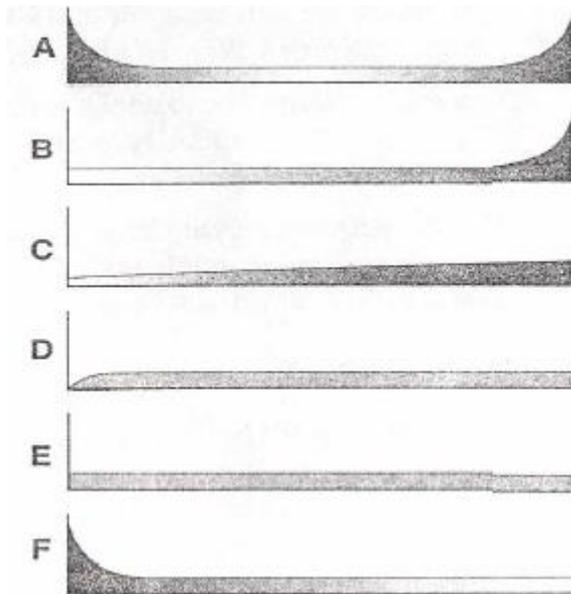


Figura 15. "Patrones de fallo". Fuente: Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance)*. RCM II. 433.

El gráfico muestra los seis patrones de fallo con relación al tiempo, que según J. Moubray se definen de la siguiente manera (Moubray, 2004):

- El **patrón A** hace referencia a la "curva de bañera", y como se observa en la figura, comienza con una alta incidencia de fallo, conocida como mortalidad infantil o desgaste de funcionamiento, seguido de un fallo condicional en constante crecimiento hasta llegar a una zona de desgaste.
- El **patrón B** muestra un crecimiento constante hasta llegar a la zona de desgaste.
- El **patrón C** muestra un continuo crecimiento de la probabilidad de fallo, sin mostrar una zona de desgaste.
- El **patrón D** inicialmente muestra una baja probabilidad de fallo, cuando el bien o equipo es nuevo, y aumenta hasta conseguir un nivel constante de fallo.
- El **patrón E** muestra una constante probabilidad de fallo (fallos casuales).
- El **patrón F** inicialmente muestra una probabilidad de fallo alta cuando el equipo es nuevo (mortalidad infantil), y que disminuye hasta una probabilidad de fallo constante y aleatorio.

### 3.8. Ventajas e Inconvenientes del proceso RCM.

Los beneficios de aplicar el proceso RCM según Moubray, son los siguientes: (Moubray:2004)

- 1. Mayor seguridad e integridad medioambiental:** Aplicar el proceso RCM significa que se consideran las condiciones medioambientales y de seguridad en cada fallo, antes de que se den lugar los efectos en cada operación. El objetivo es conseguir prevenir y eliminar cualquier riesgo medioambiental y de seguridad en los bienes y equipos.
- 2. Mayor funcionamiento operacional:** El proceso RCM define la mejor estrategia a seguir para llevar a cabo un mantenimiento adaptado según las necesidades del bien o equipo, centrándose en una mejora productiva, y aumentando de este modo los rendimientos, la calidad y el servicio al cliente.
- 3. Mejor relación costo-efectividad:** El proceso RCM analiza las actividades de mantenimiento eliminando todas aquellas que resultan ser innecesarias, evitando un coste económico elevado, ya que el hecho de realizar un mantenimiento más de lo necesario no contribuye ni a una mejora operativa ni tampoco a reducir los fallos, sino todo lo contrario, puede llevar a inducir fallos en los bienes o equipos que no presentaban de manera inicial.
- 4. Mayor vida útil en los componentes o equipos costosos:** El proceso RCM aplica medidas de mantenimiento “a condición”.
- 5. Una amplia base de datos:** Todo lo que se aplica con el proceso RCM es recogido y registrado, ayudando de esta manera a obtener un mejor y amplio conocimiento de los bienes y equipos, así como de su funcionamiento, haciendo posible adaptarse a circunstancias cambiantes, ya sea a nivel tecnológico o por rotación del personal quien se lleva la experiencia y competencia, sin la necesidad de volver a la base inicial del proceso de mantenimiento.
- 6. Mejora del trabajo en equipo y mayor motivación individual:** El proceso RCM facilita un lenguaje asequible y entendible para toda persona o grupo de personas involucradas en la acción de mantenimiento de cualquier bien o servicio, ya que el proceso RCM tiene una estructura de seguimiento paso a paso, mejorando la comunicación y la cooperación entre áreas, personal de diferentes niveles (departamentos, técnicos y operarios), y especialistas externos e internos (diseñadores, fabricantes, personal de mantenimiento). En el contexto individual, esta involucración ayuda a tener un mayor conocimiento del contexto operacional y con ello al entendimiento del bien o equipo.

Como ya se ha visto, el proceso RCM presenta numerosos beneficios a la hora de implantar su metodología en el mantenimiento de los bienes y equipos, logrando de esta manera un mayor

conocimiento sobre el contexto operativo y una mayor experiencia a la hora de detectar y corregir los fallos, disminuyendo la dependencia que se tiene con los fabricantes.

Sin embargo, el proceso RCM presenta ciertos inconvenientes. Uno de ellos tiene relación con el aspecto técnico, y es que el mantenimiento no se puede llevar a cabo por cualquier técnico, sino que necesariamente debe ser realizado por personal cualificado con alta experiencia. Otro de los inconvenientes a destacar tiene que ver con el tiempo que se necesita para realizar dicho mantenimiento, ya que se precisa de una gran dedicación, a lo que se suma el coste de llevar a cabo una estrategia de mantenimiento que requiere de una alta inversión inicial.

El entorno marítimo es un entorno desafiante desde el punto de vista de RCM, especialmente en comparación con las instalaciones en tierra. Operar en el océano crea un marco mucho más inestable, lo que no permite sacar las mismas conclusiones que se pueden sacar en tierra. (Wabakken, 2015)

Por ejemplo, las condiciones de los equipos, como la estanqueidad, la lubricación y la limpieza, a menudo se pueden dar por sentadas en otras industrias. Por el contrario, estos son una fuente constante de preocupación en un entorno marítimo. Además, la recopilación de datos de varios tipos de equipos es mucho más portátil en las industrias terrestres, ya que el entorno circundante no cambia constantemente. Además, no es fácil acceder a un banco de datos de fallas debido a razones de sensibilidad comercial. Algunas industrias requieren que los proveedores de equipos realicen análisis de modo de falla adecuados, lo que ayuda enormemente a implementar RCM. Sin embargo, esta no es una tendencia común en las operaciones de los barcos (Wang et al., 2010).

Otro inconveniente de aplicar RCM al barco, es que los resultados obtenidos pueden no ser transferibles a otro barco, ya que los contextos operativos a menudo cambian entre buques, incluso del mismo tipo. Cuando se opera en el mar, si existe algún tipo de fallo con algún equipo o sistema limita el poder reparar, y más si el fallo es crítico, además que la ubicación en mar hace aumentar el tiempo de reparación y esto deriva a pérdidas económicas. Por tanto, son factores que se deben tener en cuenta a la hora de realizar la estrategia de mantenimiento.

# **Capítulo 4. FMECA: Análisis de modo de fallo, efectos y criticidad**

## 4.1. Definición de FMECA.

Una vez explicada la metodología RCM, en el que se establecen las funciones y los fallos funcionales de cada equipo o sistema a estudiar, el siguiente paso a llevar a cabo, es el de analizar las fuentes que conllevan a los fallos funcionales y evaluar las etapas que siguen al fallo, es decir, evaluar el modo de fallo, los efectos que provoca y la criticidad.

Se define el análisis FMECA (*Failure Mode Effects and Criticality Analysis*) como una parte fundamental del proceso RCM, que consta de dos partes diferenciadas como son los modos de fallo y el análisis de efectos (FMEA), y el análisis de criticidad (CA).

El FMEA tiene como principal objetivo identificar los posibles fallos, los modos en los que se produce el fallo, y los efectos en el equipo o sistema, mientras que el análisis de criticidad, CA, clasifica los fallos según su severidad, y ocurrencia en el tiempo, es decir, la tasa de fallo. El CA puede establecerse según el histórico de fallos del sistema ya existentes, o a través de personal cualificado y con experiencia en el sistema, el cual atribuye los valores de criticidad.

Es un método que no solo debe implementarse durante las primeras fases de diseño, sino que también debe actualizarse durante la operatividad de los sistemas, para poder conseguir un documento lo más completo posible con el fin de garantizar los objetivos marcados de seguridad, de mantenibilidad, de desarrollo del plan de mantenimiento, de la detección de fallos, etc. Se puede decir que es un proceso iterativo, es decir, es una herramienta de mejora continua de toma de decisiones sobre las ventajas y desventajas que afectan al diseño. (Madasse, 2019)

FMECA persigue la máxima confiabilidad en los equipos y sistemas, basándose en la cuantificación de características y parámetros, que permiten identificar elementos críticos y definir las prioridades de intervención.

El FMECA consiste en las siguientes etapas: (Aguilar-Otero et al, 2010)

- 1. Definición de la intención de diseño.** Consiste en entender de qué manera opera un sistema, subsistema o equipo, para aclarar las condiciones en las que trabaja, es decir, para saber cómo falla, primero es necesario saber cuál o cuáles son las funciones de operatividad que desempeña.
- 2. Análisis funcional.** Es imprescindible para la evaluación correcta de los modos de fallo conocer cuáles son las funciones esperadas por los sistemas, subsistemas o equipos.

- 3. Identificación de los modos de fallo.** Los modos de fallo, definidos como acciones en las que un equipo o sistema pierde la capacidad de realizar sus funciones o de trabajar de forma correcta. Es necesario su investigación para determinar cómo han de suceder o si ya han sucedido anteriormente.
- 4. Efectos y consecuencias de los fallos.** Es la manera en la que un fallo se manifiesta, es decir, son los síntomas que determinan que un equipo o sistema se encuentra fuera de los parámetros en los que debe operar.
- 5. Jerarquización del riesgo.** Es la forma en la que se cuantifica la criticidad de los fallos, aplicando el Número de Prioridad de Riesgo, RPN, en función del producto de los parámetros de severidad, ocurrencia y detectabilidad. Con esto, es posible determinar los planes de mantenimiento de los equipos o sistemas de estudio.

## 4.2. Método de evaluación de riesgos

En la realización de un estudio de FMECA se determinan todos los posibles fallos que se pueden producir en un equipo o sistema, así como el impacto en seguridad, medio ambiente, calidad, costes en la producción y en el mantenimiento. Como se ha mencionado anteriormente, para valorar todos estos fallos, el FMECA emplea el método de Número de Prioridad de Riesgo (NPR), con el fin de cuantificar el riesgo que suponen los fallos, en un rango de 1 a 10, donde el 1 equivale a una consecuencia sin efecto, y el 10 una consecuencia grave. Emplea tres parámetros:

- Gravedad o Severidad (S): Indica la gravedad del fallo y el efecto que tiene sobre el equipo o sistema.
- Ocurrencia (O): Indica la probabilidad de que ocurra el fallo.
- Detectabilidad (D): Mide la dificultad a la hora de detectar el fallo.

El Número de Prioridad de Riesgo, NPR, se obtiene a partir de la multiplicación de estos tres parámetros:

$$NPR = S \times O \times D$$

Este valor de RPN se emplea para identificar los riesgos que son más severos con el objetivo de aplicar las acciones correctivas o preventivas pertinentes, o acciones recomendadas, es decir, los modos de fallo son ordenados de acuerdo con los valores obtenidos por el RPN por su criticidad con el fin de eliminar o minimizar el riesgo del modo de fallo.

A continuación, se muestran en las siguientes figuras un ejemplo de una tabla de gravedad, ocurrencia y detectabilidad.

Efecto	Rango	Criterio
No	1	Sin efecto
Muy poco	2	Cliente no molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Poco	3	Cliente algo molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Menor	4	El cliente se siente algo insatisfecho. Efecto moderado en el desempeño del artículo o sistema.
Moderado	5	El cliente se siente algo insatisfecho. Efecto moderado en el desempeño del artículo o sistema.
Significativo	6	El cliente se siente algo inconforme. El desempeño del artículo se ve afectado, pero es operable y está a salvo. Falla parcial, pero operable.
Mayor	7	El cliente está insatisfecho. El desempeño del artículo se ve seriamente afectado, pero es funcional y está a salvo. Sistema afectado.
Extremo	8	El cliente muy insatisfecho. Artículo inoperable, pero a salvo. Sistema inoperable
Serio	9	Efecto de peligro potencial. Capaz de discontinuar el uso sin perder tiempo, dependiendo de la falla. Se cumple con el reglamento del gobierno en materia de riesgo.
Peligro	10	Efecto peligroso. Seguridad relacionada - falla repentina. Incumplimiento con reglamento del gobierno.

Figura 16. Tabla de Gravedad.

Ocurrencia	Rango	Criterios	Probabilidad de Falla
Remota	1	Falla improbable. No existen fallas asociadas con este proceso o con un producto casi idéntico.	<1 en 1,500,000
Muy Poca	2	Sólo fallas aisladas asociadas con este proceso o con un proceso casi idéntico.	1 en 150,000
Poca	3	Fallas aisladas asociadas con procesos similares.	1 en 30,000
Moderada	4	Este proceso o uno similar ha tenido fallas ocasionales	1 en 4,500
	5		1 en 800
	6		1 en 150
Alta	7	Este proceso o uno similar han fallado a menudo.	1 en 50
	8		1 en 15
Muy Alta	9	La falla es casi inevitable	1 en 6
	10		>1 en 3

Figura 17. Tabla de Ocurrencia

Probabilidad	Rango	Criterio	Probabilidad de detección de la falla.
Alta	1	El defecto es una característica funcionalmente obvia	99.99%
Medianamente alta	2-5	Es muy probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia.	99.7%
Baja	6-8	El defecto es una característica fácilmente identificable.	98%
Muy Baja	9	No es fácil detecta la falla por métodos usuales o pruebas manuales. El defecto es una característica oculta o intermitente	90%
Improbable	10	La característica no se puede checar fácilmente en el proceso. Ej: Aquellas características relacionadas con la durabilidad del producto.	Menor a 90%

Figura 18. Tabla de Detectabilidad:

Para determinar el alcance de la criticidad en los equipos y sistemas se establece una matriz de riesgo o matriz frecuencia/consecuencia de fallos. La matriz presenta un código de colores para distinguir los niveles más severos de los de menos riesgo relacionados con el valor de criticidad de los equipos y sistemas. En el caso del ejemplo de la figura 18 se establece un rango de valores del 1 al 5, es decir, de menor a mayor severidad. (Pablo-Romero Carranza, 2013)



Figura 19. Matriz de frecuencia/consecuencia de fallos. Fuente: Pablo-Romero Carranza, 2013

### 4.3. Ventajas y desventajas de FMECA

El método de FMECA presenta ciertas ventajas: (Mascorro Armando, 2005)

- Es una herramienta que permite identificar los modos de falla, sus efectos y consecuencias de los equipos y sistemas, y que permite integrarlo tanto en la fase de diseño como durante la operatividad de los equipos y sistemas, garantizando así una reducción en los costos y una mejora en la implantación de medidas preventivas y correctivas en el plan de mantenimiento.
- Por tanto, es un método útil para realizar comparaciones en la etapa de diseño, lo que ayuda a seleccionar alternativas durante el desarrollo del diseño.
- Permite clasificar los fallos potenciales y severos mediante su índice de riesgo, con el objetivo de abordar mediante acciones recomendadas aquellos fallos o problemas que son más severos.
- Proporciona un documento detallado para la recomendación de acciones que reduzcan el riesgo, haciendo un seguimiento de estas.

También presenta ciertas desventajas, de entre las que destacan:

- El alto coste inicial, debido al tiempo que se necesita para desarrollar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, utilizando el método FMECA.
- Se necesita de personal cualificado y con experiencia para poder llevar a cabo la elaboración del plan de mantenimiento.

## **Capítulo 5. Descripción de un barco de pesca polivalente**

## 5.1. Actividad pesquera

La actividad de la pesca se puede considerar un arte que va arraigado a lo largo de la evolución de la civilización, formando parte de la vida social, económica y de carácter político.

Para numerosos países supone una parte importante de la economía y uno de los principales componentes del producto interior bruto, P.I.B. En el caso de España se sitúa en un 1%, siendo más llamativa y significativa la contribución por parte de aquellos sectores regionales que dependen en gran medida de la pesca, puesto que su contribución al producto interior bruto local supone más de un 15%, ya que es en estas zonas geográficas dónde hay que añadir numerosas actividades que se benefician de la presencia de este sector, entre las que destacan la industria naval, con las infraestructuras portuarias, los varaderos y astilleros con sus respectivos talleres dedicados a la construcción y a las reparaciones; la comercialización y distribución, con fabricantes de equipos y suministradores de bienes navales; la transformación de productos pesqueros, centros de investigación y de formación, etc.(Díaz-Casas et col, 2009)

Desde el punto de vista político, la pesca es un sector que establece numerosas comunicaciones entre diversos países, debido a la necesidad de consumir pescado por parte de aquellos que no pueden obtener este producto de sus aguas propias, por lo que conlleva a firmar acuerdos con aquellos países que tienen excedente de pescado en sus aguas territoriales, o que no son grandes consumidores de pescado.

La flota española es la más importante en la Unión Europea, y una de las más influyentes en el resto del mundo. Sin embargo, según el informe anual más reciente de la actividad pesquera española en el que se analiza la flota española a lo largo de los últimos 11 años se puede constatar que año tras año desciende el número de buques, por lo que la potencia (**limitación de KW**) y el arqueo (**limitación de Gt**) también disminuyen, no siendo el caso del volumen de las capturas, el cual se mantiene o aumenta. Esto es debido a que la flota menos eficiente es la que tiende a abandonar la actividad pesquera, generalmente buques de menos de 12 metros de eslora o de pesca artesanal. En la figura 19 se muestra con detalle la evolución de la capacidad de pesca con el volumen de pesca obtenidos durante los 11 últimos años (Ministerio de Agricultura, 2020)

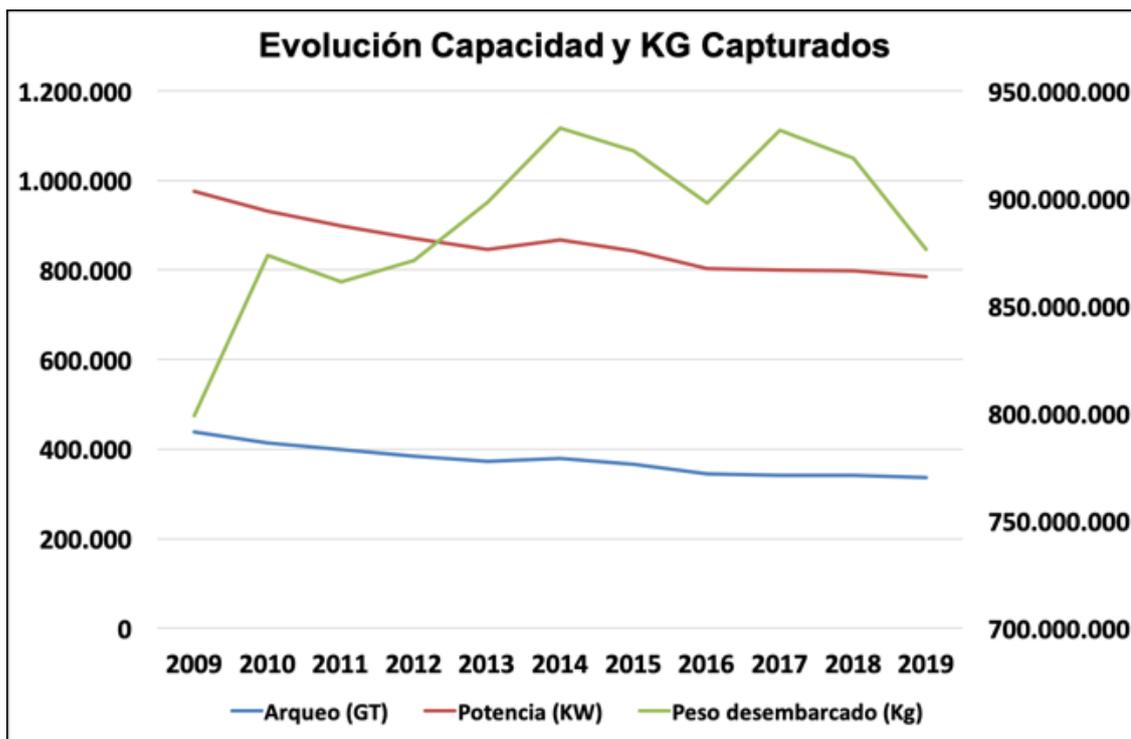


Figura 20. Evolución de la capacidad pesquera y KG capturados. Fuente: (Ministerio de Agricultura, 2020)

La flota pesquera española se estructura en gran medida en flota artesanal, ya que el 71,64% son buques de menos de 12 metros de eslora, el 19,97% corresponden a barcos de 12-24 metros de eslora, y el 8,39% tienen más de 24 metros de eslora, siendo el caso de los buques dedicados al arrastre, cerco, palangre y enmalle.

### 5.1.1. Situación actual de la actividad pesquera

En la actualidad, la pandemia ocasionada por el COVID-19, ha golpeado la economía mundial de una forma imprevisible y generando un impacto de gran envergadura en el sector pesquero, devaluando en primer lugar los precios de venta, y continuando con la dificultad de acceso al comercio internacional y al relevo por parte de la tripulación en puertos extranjeros, llegando a incrementar la reducción de puestos de trabajo. Es por ello, que la Unión Europea ha respondido con una rápida movilización de capital y de financiación para intentar impulsar una reforma en la industria pesquera, alcanzando una mayor competitividad, modernidad y sostenibilidad.

**CEPESCA** (Confederación Española de Pesca) está al tanto de esta gran oportunidad, y a través del Gobierno de España en su plan de *#PlanEspañaPuede*, ha puesto en marcha un Plan de Recuperación desde el año 2021 hasta el año 2023, identificando cuales son las prioridades

necesarias para llevar a cabo una modernización del sector pesquero y establecer unas estrategias que marque el camino a seguir para la sostenibilidad del ámbito de la pesca, afectando a toda la cadena de valor, no solo a los armadores sino desde la captura en el mar, pasando por el puerto y la lonja, la transformación, el transporte, la distribución llegando así al cliente.



Figura 21. Cadena de valor sector pesquero. Fuente: Cepesca (2020). Plan de recuperación 2021-2023.

Las estrategias, que rigen el Plan de Recuperación, proponen una serie de medidas que ayudan a potenciar la cadena de valor. CEPESCA se basa en los siguientes proyectos:

- **Una transformación tecnológica del sector.** El objetivo es el desarrollo tecnológico en el ámbito digital, para poder adaptar las empresas a un contexto más innovador y de esta manera alcanzar mayor competitividad (análisis de datos, conectividad a bordo de los buques, etc.)

Tabla 3. Transformación tecnológica del sector. Fuente: Cepesca (2020). Plan de recuperación 2021-2023.

Línea estratégica	Objetivos estratégicos	Proyectos
<b>Transformación tecnológica del sector</b>	<b>Captura, gestión y análisis de datos de la cadena de valor</b>	<b>P1. Incorporación de tecnología blockchain o similar para mejorar la trazabilidad de los productos de la pesca</b>
		<b>P2. Mejora y aprovechamiento del tratamiento de datos en el sector pesquero</b>
	<b>Automatización y digitalización de los procesos productivos y de soporte</b>	<b>P3. Mejora de los procesos productivos</b>
		<b>P4. Plataforma de formación online</b>
		<b>P5. Telemedicina</b>
		<b>P6. Barco Digital</b>

A continuación, se muestra el impacto que tienen estos proyectos a lo largo de la cadena de valor:

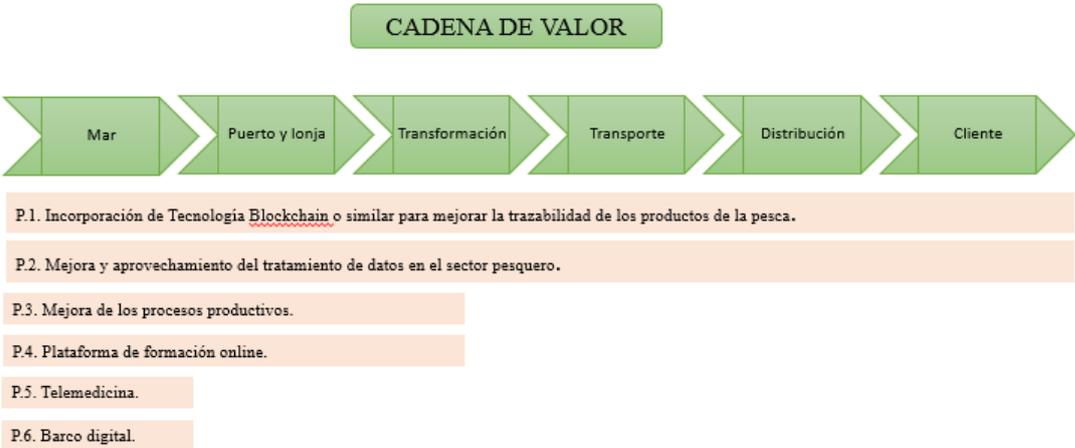


Figura 22. Impactos de los proyectos de la estrategia tecnológica del sector en la cadena de valor. Fuente: Cepesca (2020). Plan de recuperación 2021-2023.

- Una sostenibilidad en las actividades pesqueras.** Una estrategia para poder reducir las emisiones (descarbonizar el modelo energético) y con ello la contaminación marina. También el reutilizar las redes de pesca, así como llevar a cabo una modernización energética de los buques, incluso la utilización de energías renovables en las infraestructuras pesqueras. Todo ello para garantizar una mayor sostenibilidad medioambiental y el suministro de alimento sano y saludable.

Tabla 4. Sostenibilidad de las actividades pesqueras. Fuente: Cepesca (2020). Plan de recuperación 2021-2023.

Línea estratégica	Objetivos estratégicos	Proyectos
Sostenibilidad de las actividades pesqueras	Impulso de la economía circular	<b>P7. Reducción de la contaminación marina</b> <b>P8. Reutilización de redes y plásticos</b>
	Descarbonización	<b>P9. Modernización y transición</b>

	<b>P10. Mejora energética de la flota</b>
<b>Fomento de la producción de alimentos sostenibles</b>	<b>P11. Promoción de la actividad pesquera como fuente de alimentos sostenibles</b>

A continuación, se muestra el impacto que tienen estos proyectos a lo largo de la cadena de valor:

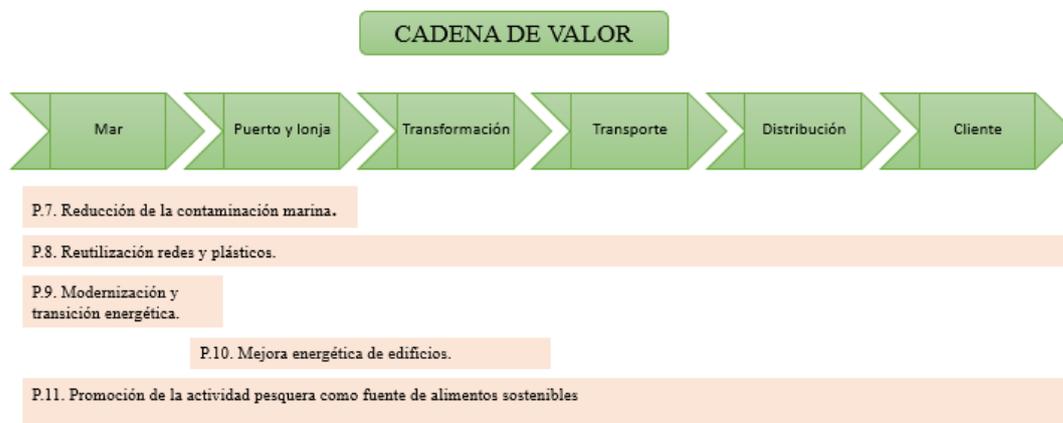


Figura 23. Impactos de los proyectos de la estrategia Sostenibilidad de las actividades pesqueras. Fuente: Cepesca (2020). Plan de recuperación 2021-2023.

- **Una cohesión social y continuidad del sector pesquero.** La pesca tiene un fuerte impacto social y económico en las zonas o regiones costeras, por lo que, hoy en día, se necesita que se refuerce el sector pesquero para cubrir la falta de relevo personal y cualificado, al mismo tiempo que se deben tomar medidas para garantizar una mayor presencia de la mujer en el sector, mejorando por ejemplo las condiciones a bordo de los buques.

Tabla 5. Cohesión social. Fuente: Cepesca (2020). Plan de recuperación 2021-2023.

Línea estratégica	Objetivos estratégicos	Proyectos
Cohesión social	Igualdad de Oportunidades	P12. Fomentar la incorporación de la mujer en los buques pesqueros
		P13. Mejora de las condiciones a bordo
		P14. Relevo generacional

A continuación, se muestra el impacto que tienen estos proyectos a lo largo de la cadena de valor:



Figura 24. Impacto de los proyectos de la estrategia Cohesión social. Fuente: Cepesca (2020). Plan de recuperación 2021-2023.

## 5.2. Buques de pesca

Los buques de pesca son definidos, tanto por el Convenio Internacional de Torremolinos para la Seguridad de los Buques Pesqueros de 1977, como por los reglamentos que rigen el marco legislativo español, como “aquellas embarcaciones utilizadas comercialmente para la captura de peces, ballenas, focas, morsas u otros recursos vivos del mar”. (1977: 3)

Las características que definen a un buque de pesca son: (Sánchez, 2010)

- Es un **centro de producción**, puesto que se explotan los recursos del mar para uso comercial.
- Son buques de **transporte**, ya que su labor es la de desplazar el producto obtenido hacia los puertos o a otros buques.

- Están sometidos a una **gran inestabilidad** debido a que son buques diseñados para realizar sus labores en adversas condiciones climatológicas, por ejemplo, cuando faenan en alta mar.
- Según el arte de pesca pueden presentar una **maniobrabilidad limitada**, como es el caso de los buques de pesca de arrastre.
- La **habitabilidad** presenta un grado alto de importancia, ya que hay campañas que suelen durar meses, sobre todo para los buques de gran altura, por lo que se tiene en cuenta a la hora de diseñar el buque; al mismo tiempo que se tienen en cuenta los diversos fungibles y respetos necesarios, y considerar un plan de mantenimiento y reparaciones a bordo para que el buque navegue en las mínimas condiciones de seguridad.
- La **propulsión** depende de cuál sea el tipo de operación que desempeñe el buque, esto es un factor que determinará principalmente la potencia y el tipo de hélice que montará a bordo.

Las características anteriores hacen referencia a todo tipo de buques de pesca, existiendo diversas clases diferentes atendiendo a según su tamaño, el tiempo de permanencia en el mar, y el tipo de pesca. Si se atiende a la distancia de las zonas donde ejercen su actividad, el Real Decreto 543/2007, en el que se determinan las *normas de seguridad y prevención de la contaminación a cumplir por los buques pesqueros de menos de 24 metros de eslora (L)*, distingue cuatro tipos de pesca: (2007:4)

1. **Pesca Local:** Son las que ejercen su actividad sin alejarse de la costa más de 10 millas.
2. **Pesca de litoral:** Embarcaciones de pesca litoral, que son las que ejercen su actividad dentro de la zona comprendida entre el litoral y la línea de 60 millas paralela al mismo y entre los paralelos 52° N y 20° N.
3. **Pesca de altura:** Buques y embarcaciones de pesca de altura, que son los que ejercen su actividad fuera de la expresada línea de 60 millas y en la zona comprendida entre los paralelos 60° N y 35° S y los meridianos 52° E y 20° O.
4. **Pesca de gran altura:** que son los que ejercen su actividad sin limitación de mares ni distancias a la costa fuera de las zonas comprendidas anteriormente.

Una vez explicadas las características generales que presentan los buques de pesca, y atendiendo a los diferentes tipos que hay, de acuerdo con las distancias de los caladeros donde

faenan, se distingue el buque de pesca en el que se centra el proyecto y sobre el que se va a aplicar la metodología de mantenimiento basado en confiabilidad, RCM, siendo combinación de dos tipos de buques pesqueros:

- Buque de pesca de arrastre, o arrastrero.
- Buque de pesca con nasas (Palangre).

### **5.3. Buque Arrastrero**

En primer lugar, se define como Arte de Arrastre al conjunto o aparejo constituido por cables, puertas, malletas, flotadores, plomos y redes de grandes dimensiones, que se arrastra por el fondo o a media agua (pelágico) para recoger peces que viven sobre el fondo o en sus proximidades. (Martínez, et al., s.f.)

Las artes de arrastre se consideran como artes activas debido a que no esperan a que las capturas vengan a ellas sino todo lo contrario, van en busca de las capturas. No es un arte selectivo, puesto que, al realizar la maniobra de arrastre, barren grandes extensiones del mar, por lo que, a pesar de ser el arte más rentable y versátil de la pesca, y presentar un gran rendimiento, tienen el inconveniente de que no sólo capturan las especies deseadas, sino también las no deseadas, produciendo así graves daños ecológicos en los fondos marinos.

El buque arrastrero utiliza redes de arrastre como equipos de pesca, y cuenta con motores que suministran la potencia necesaria para llevar a cabo su labor operacional en las debidas condiciones de seguridad, y con ello remolcar las redes a la velocidad de arrastre deseada. Los tamaños de los buques arrastreros, así como su distribución estructural depende de la forma en la que se arrastra el arte, distinguiendo así dos tipos de buques:

- Arrastreros clásicos o de costado.
- Ramperos, que pueden ser de una sola cubierta o de dos cubiertas.

Dentro de los arrastreros se distinguen sub-clasificaciones tales como:

- Arrastreros con tangones.
- Arrastreros mediante dos buques o pesca a la pareja.
- Arrastreros según el almacenamiento del pescado, como son los arrastreros de pescado fresco y los arrastreros congeladores.

El buque de estudio se caracteriza por ser en parte de tipo rampero, cuya característica principal es la popa en forma de rampa pronunciada, donde se localizan las maquinillas. Se

caracterizan por tener gran puntal y gran obra viva, con el fin de que las hélices puedan ejercer el empuje necesario para desempeñar la labor de arrastre sin ningún tipo de inconveniente.



*Figura 25. Buque arrastero. Fuente:*

*[https://es.wikipedia.org/wiki/Arrastrero#/media/Archivo:Minchos\\_Octavo\\_44\\_\(231986272\).jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Arrastrero#/media/Archivo:Minchos_Octavo_44_(231986272).jpg)*

### **5.3.1. Maniobra de arrastre**

La pesca de arrastre consiste en una red conforma ovalada que cuenta a su vez con dos alas extremas para aumentar de esta manera el área barrida para un mayor volumen de pesca, y que es remolcada por la embarcación para mantenerla abierta. Dispone a lo largo del borde de la red de una relinga inferior, provista de plomo o material similar (cadenas o bolas metálicas) con el fin de mantener la red pegada en el fondo, y de una relinga superior con flotadores. En el arrastre a media agua la red se diferencia de las de fondo, en que la abertura vertical es mucho mayor debido a que están diseñadas para la captura de peces que no viven en el fondo, y por tanto mayor desplazamiento, por lo que el arte de arrastre se realiza a mayores velocidades que las de fondo.

La apertura horizontal de la red es llevada a cabo por las puertas laterales, que están unidas mediante el cable y la malleta, que a su vez van unidas a la ala o extremo lateral a través de los

calones, que son dispositivos de engrilletado. Cuando se ejerce el arte de arrastre, la velocidad y el ángulo de ataque sobre las puertas deflectoras provocan una fuerza sustentadora horizontal hacia los lados, evitando de esta manera que puedan enredarse. El copo es la parte final de la red, tiene forma de saco, y es cerrado en la parte posterior, y sirve para concentrar las capturas. (Martínez, et al., s.f.)

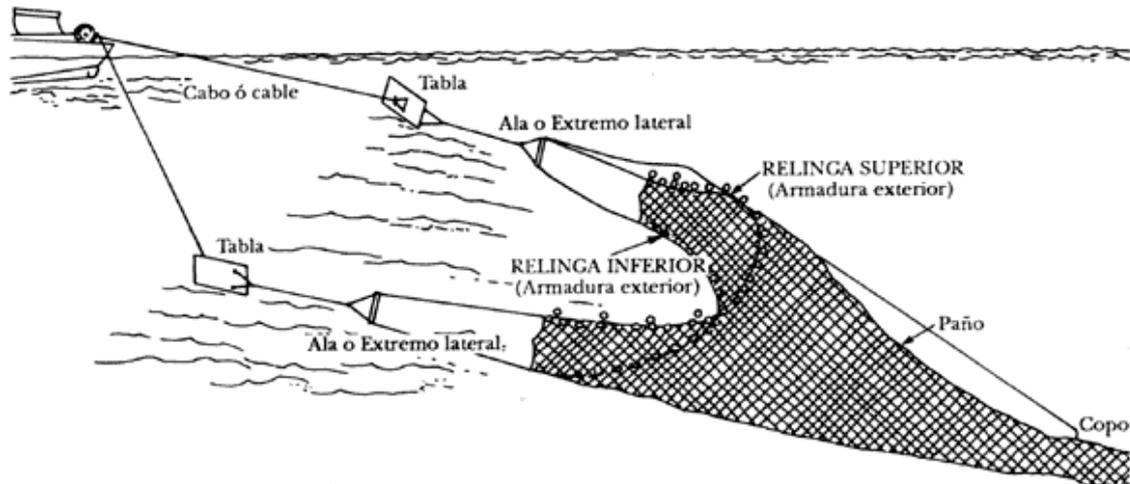


Figura 26. Elementos de arte de arrastre. Fuente: Martínez, A.V., Sánchez, A.; Colomer, V. y Sánchez, S. (s.f.). Análisis y optimizado de maquinillas de cubierta en buques arrastreros mediterráneos

## 5.4. Buque Nasero

A diferencia del Arte de Arrastre, que se considera un arte de pesca activo debido a la forma de maniobra en la que la red se arrastra por el fondo o a media altura capturando todo tipo de pescado; el arte de las nasas y palangre se puede considerar como arte de pesca pasiva o selectiva, es decir, logra dicha selectividad debido a la adecuación de la geometría del arte (distancia entre líneas, tamaño de los anzuelos y número), la adecuación del tamaño de cebo usado de acuerdo al mínimo de tamaño de captura, así como la adecuación del tipo de cebo a la especie de captura, teniendo en cuenta la profundidad de calado de arte. (Díaz-Obregón, 2002).

### 5.4.1. Maniobra de nasas

La maniobra de pesca utilizando nasas consiste básicamente en colocar el cebo en las nasas a bordo de la embarcación, se transportan hasta el caladero donde se va a efectuar la pesca, se largan las nasas, se pesca y se recogen.

La nasa como se ha mencionado anteriormente es un arte de pesca selectivo, que debido a la geometría que presenta y quedando de manera estática sobre el fondo del mar, atrae a las

especies a su interior gracias al cebo también depositado en su interior, el cual queda libremente suspendido o se coloca en bolsas perforadas para evitar que sea devorada por especies no deseadas.

La faena de nasas consta principalmente de tres operaciones (Bañón et al, 2007)

1. **Cebado:** se trata de la operación de colocar el cebo en la nasa antes de que sean lanzadas y depositadas en el fondo del mar. Normalmente las nasas se ceban a bordo del buque una vez que se ha establecido el rumbo hacia el caladero deseado o cuando se está en puerto antes de zarpar. Las nasas caladas durante la noche se ceban a medida que se viran antes de estibarlas a bordo.
2. **Largada:** es la operación en la que se echan las nasas al mar. Dependiendo del tipo de fondo, si es suelo arenoso se disponen de forma vertical, mientras que si es suelo rocoso las nasas se disponen por encima o alrededor según convenga.
3. **Virada:** es la operación de recogida de las nasas, empujando para ello un halador mecánico. Una vez viradas las nasas se procede a la recogida de la captura que se haya en su interior, y llevando a cabo de nuevo la operación de cebado, o por el contrario estibándolas a bordo si ya no se van a volver a largar.

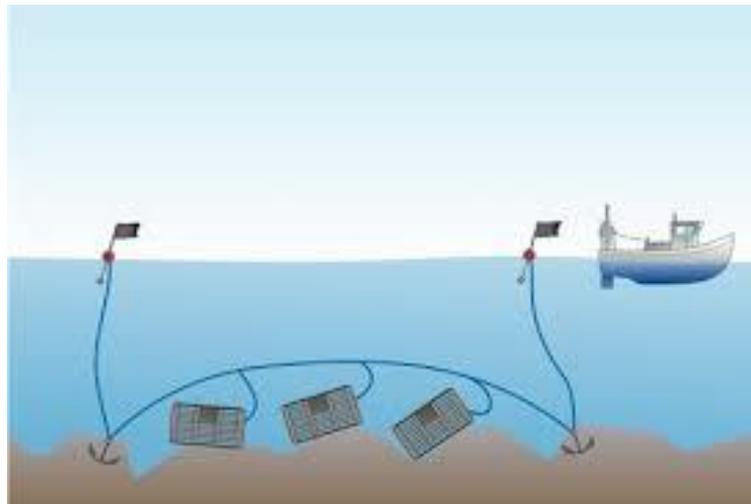


Figura 27. Maniobra de nasas. Fuente: <https://nuevamisraaalmar.blogspot.com/2016/09/pesca-con-nasas.html?m=1>

## 5.5. Sistemas, subsistemas y equipos del barco

Para poder desempeñar la función operativa a la que está destinado el buque, en concreto a las labores de pesca de arrastre y arte de nasas, es necesario llevar a cabo un estudio en el diseño de este, con el fin de adaptar los sistemas, subsistemas y equipos destinados a realizar dichas funciones en las condiciones de seguridad y de operatividad mínimas establecidas por las Sociedades de Clasificación y la normativa vigente.

A continuación, se describen aquellos sistemas, subsistemas y equipos principales que constituyen al buque de estudio.

### 5.5.1. Sistema de propulsión

El sistema de propulsión tiene como principal objetivo suministrar la potencia necesaria al eje y a la hélice del buque para que realice sus funciones operativas de manera segura y eficiente en todas las condiciones de navegabilidad.

Está constituido por tres conjuntos claramente diferenciados: el conjunto motor, el cual está constituido por el motor principal y la reductora; el conjunto transmisión, formado por la bocina y el eje acoplado a la reductora; y el conjunto propulsor, formado por la hélice. Para la elección del sistema propulsor es necesario realizar un estudio de potencia previo mediante ensayos de propulsor aislado y ensayos de remolque, para poder proyectar la hélice y la potencia del motor necesaria.

Está ubicado en la cámara de máquinas del buque a popa de la bodega de congelación y de refrigeración.

Los sistemas que forman el sistema de propulsión son los siguientes:

*Tabla 6. Elementos del sistema propulsor. Fuente:Elaboración propia*

<b>Sistema de propulsión y equipos</b>
Motor principal SF 360TA/SPA15
Reductora R360
Toma de fuerza PTO
Baterías de arranque
Baterías de emergencia
Bocina

---

Chumacera de empuje

---

Eje de cola

---

Timón

---

Hélice

---

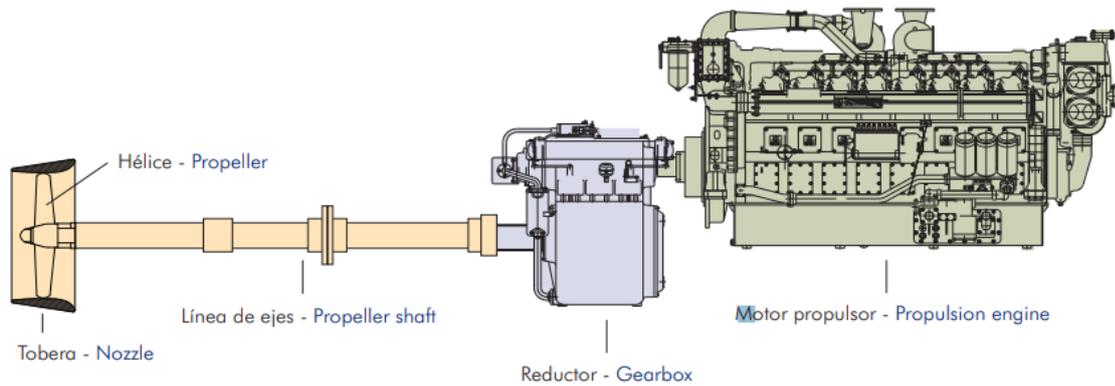


Figura 28. Esquema del sistema de propulsión con el motor principal, la reductora acoplada, la línea de ejes y la hélice. Fuente: Guascor power. Presentación general de los motores guascor

### 5.5.1.1. Conjunto motor

El conjunto motor está formado por el motor principal Guascor y las baterías de arranque, situados en la cámara de máquinas del buque, y de baterías de emergencia situadas fuera de la cámara de máquina.

El motor principal que instala el buque es un motor Guascor, modelo F360 TA/SPA 15, diésel de 4 tiempos y turbosobrealimentado con dos turbocompresores alimentados mediante los gases de exhaustación del motor, consta de 12 cilindros con 152 mm de diámetro por cilindro, y 165 mm de carrera de pistón, y cilindrada 35,93 litros, montando una disposición de los cilindros en V. Presenta una potencial nominal de 375 CV y un régimen de vueltas de 1800 rpm. Se halla en crujía, y su arranque lo proporcionan las baterías que alimentan al motor de arranque que lleva acoplado.

Por tanto, los datos técnicos del motor son: (Guascor Power,2009)

Tabla 7. Datos técnicos motor principal Guascor F 360TA-SPA15. Fuente: Elaboración propia

Motor principal	
Nº cilindros	12
Ciclo	4 tiempos/ diésel

<b>Diámetro del cilindro (mm)</b>	152
<b>Carrera del pistón (mm)</b>	165
<b>Cilindrada total (L)</b>	35,93
<b>Relación de compresión</b>	13,5:1
<b>Sistema de aspiración</b>	Turbosobrealimentado
<b>Peso del motor (Kg)</b>	4630



Figura 29. Motor Guascor F 360TA. Fuente: Guascor power. Presentación general de los motores guascor

#### **5.5.1.1.1. Subsistema de aceite de lubricación**

El subsistema de aceite de lubricación del motor tiene como principal función la de proporcionar aceite limpio a una temperatura constante a cada componente del motor a la presión correcta, y de reducir al máximo la fricción que se origina cuando dos componentes entran en contacto.

El aceite se bombea desde el cárter, que es el depósito de aceite instalado en la base del motor, a través de la bomba de aceite, y atravesando la válvula de sobrepresión para evitar daños en el circuito de presión, pasa al enfriador de aceite para ser refrigerado y disminuir la temperatura. Del enfriador de aceite llega a la válvula reguladora de presión de aceite que esta tarada a la presión de funcionamiento, donde pasa a los filtros de aceite, con el fin de eliminar cualquier residuo o elemento contaminante que esté en suspensión, y por presión se envía a los

cojinetes principales, a través de los orificios de paso de aceite del bloque del motor llegando al cigüeñal y de este al cojinete de la biela, y también a los ejes de levas, que se encargan de accionar los taqués que conectan con los balancines de la culata para abrir y cerrar las válvulas de admisión y escape; a los cilindros para lubricar las paredes y al mismo tiempo el pistón, para que la operación de combustión se realice de forma segura, y exista el mínimo contacto con las paredes del cilindro, evitando de esta manera el gripaje, y al sistema hidráulico.

El aceite que sobra retorna al cárter por gravedad una vez que lubrica los componentes del motor.

El circuito está formado por una bomba de aceite, una válvula de sobrepresión, una válvula reguladora de presión, filtros de aceite, filtro centrifugo (para eliminar las partículas procedentes de la combustión), enfriador de aceite y los canales de circulación del fluido.

El aceite se degrada con el paso del tiempo perdiendo sus propiedades lubricantes, ya que se ve afectado por diversos factores entre los que destaca la temperatura, produciendo la pérdida de sus aditivos, por lo que es muy importante cumplir con las especificaciones de cambio de aceite según indique el fabricante.

#### **5.5.1.1.2. Subsistema de líquido refrigerante**

El subsistema de refrigeración del motor está compuesto por un circuito cerrado de agua dulce o agua glicerada (agua tratada con anticongelante y anticorrosivos), cuyo objetivo es refrigerar aquellas zonas susceptibles de altas temperaturas, como son el aceite, a través del intercambiador de aceite, las camisas o cilindros, y las culatas. A su vez, el circuito de agua dulce de refrigeración del motor es refrigerado por el subsistema de agua externa.

Se trata de un circuito abierto, donde el agua del mar, proveniente del exterior del buque y absorbida a través de las tomas de mar e impulsada por las bombas con previo paso por los filtros, llega al motor donde pasa al intercambiador de calor tubular, en el que el agua dulce pasa por el interior de los tubos y el agua salada por el exterior de ellos, evitando mezclarse y produciéndose la transferencia de calor. También pasa por el refrigerador de aire, para posteriormente ser de nuevo expulsada al mar.

Para la regulación de la temperatura del refrigerante, se coloca en la parte superior del motor los termostatos.

Es muy importante llevar a cabo un mantenimiento del sistema de refrigeración, se debe controlar periódicamente y prestar atención a las posibles fugas, limpiar cada cierto tiempo los colectores para evitar partículas contaminantes, o proteger los componentes en los que circula agua externa debido a que son propensos a que se forme corrosión galvánica, por lo que se deberá emplear ánodos de sacrificio para evitarlo.



*Figura 30. Ánodos de sacrificio para evitar corrosión en los componentes del sistema de refrigeración.*

*Fuente: Miguel Ángel Campos*

### **5.5.1.1.3. Subsistema de inyección de combustible**

El subsistema de inyección de combustible es el encargado de suministrar el combustible desde el tanque almacén del buque hasta los cilindros para que se lleve a cabo el proceso de combustión.

El combustible es trasladado del tanque del servicio diario mediante la bomba de alimentación o bomba nodriza, a través de la purificadora, para eliminar restos de agua, y de los filtros de combustible para eliminar impurezas o partículas en suspensión, llegando de esta manera a la bomba de inyección con reguladora, que se encarga de suministrar el combustible necesario a los inyectores alojados en las culatas y cuya misión es la de introducir el combustible pulverizado para que se produzca la combustión.

Es importante llevar a cabo un buen mantenimiento de los componentes que forman el subsistema de inyección, buena limpieza de las bombas, así como de los filtros, y prestar

atención a los inyectores, ya que un mal funcionamiento puede introducir el combustible sin pulverizar provocando mala combustión con los numerosos problemas que ello ocasiona, o se puede producir corrosión debido a que pueden quedar restos de combustible en la boca de salida del inyector.



*Figura 31. Inyectores en mal estado. Fuente: Miguel Ángel Campos*

#### **5.5.1.1.4. Subsistema de aire de arranque**

El arranque del motor se encarga de transformar la energía eléctrica en energía mecánica al proporcionar las primeras vueltas al cigüeñal del motor.

El arranque se produce a través de unas baterías, conectadas en serie y en paralelo, las cuales van asociadas a los motores del buque, el principal y los auxiliares, donde seleccionando las del motor principal, se encargan de suministrar la energía eléctrica al arrancador que va acoplado al motor, que transforma la energía eléctrica mediante un rotor o piñón, a rotación lenta, engrane con el volante de inercia del motor que acopla al cigüeñal o eje motor, produciéndose el arranque del motor. Una vez se haya producido el arranque, el piñón del arrancador desengrana del volante de inercia. El proceso de arranque no suele durar más que unos segundos, ya que se podría llegar a quemar el arrancador.



*Figura 32. Seleccionador de las baterías de arranque. Fuente: Elaboración propia*



*Figura 33. Compartimento de las baterías con el seleccionado manual de encendidas o apagadas. Fuente: Elaboración propia*

#### **5.5.1.1.5. Subsistema de aire de admisión**

El sistema de admisión de aire del motor tiene la función de suministrar la cantidad de aire necesario a los cilindros del motor para que se pueda llevar a cabo el proceso de combustión.

El sistema está formado por los turbocompresores que se encargan de absorber el aire de la cámara de máquinas proveniente del sistema de ventilación. Para ello dispone de unos filtros a su entrada para eliminar cualquier tipo de impureza y así evitar que pueda entrar al cilindro provocando problemas en la combustión. Estos turbocompresores son accionados mediante el flujo de los gases de escape, basando su funcionamiento en el aumento de la presión del aire para de esta manera incrementar la potencia del motor sin necesidad de tener que aumentar la cilindrada. Al aumentar la presión de aire de admisión se quemará más combustible.

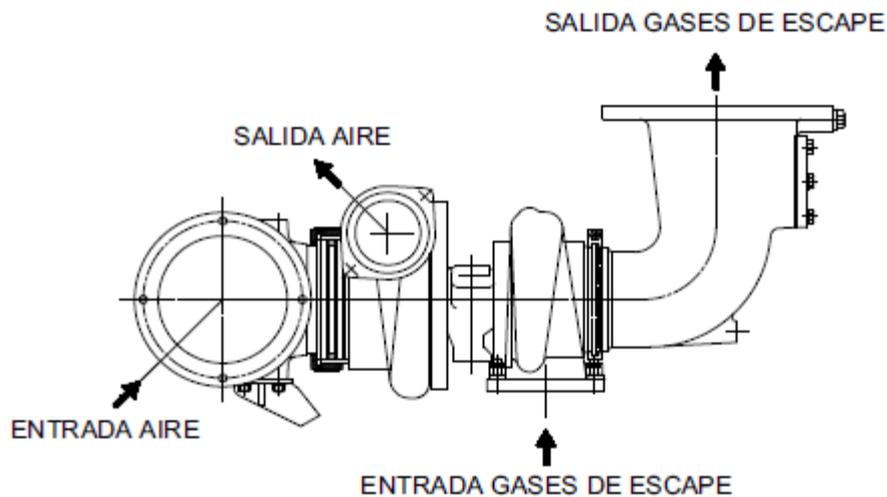
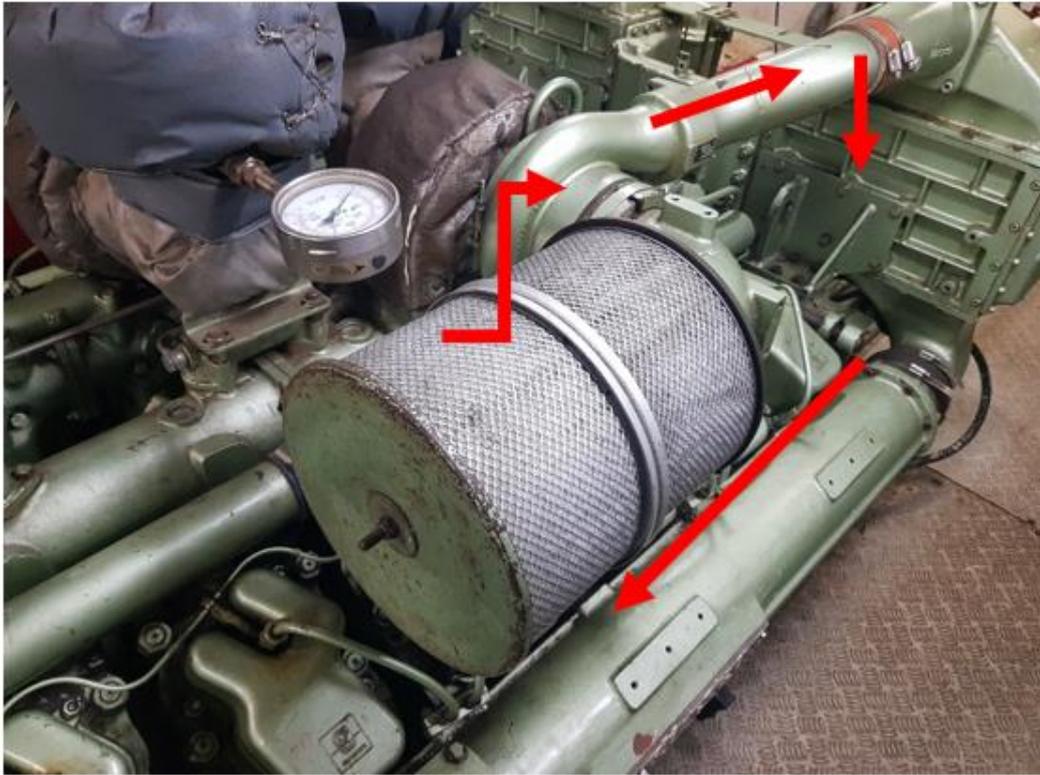


Figura 34. Turbocompresor accionado mediante gases de escape: GUASCOR Power (2009), Manual de uso y funcionamiento.

A la salida del turbocompresor, el aire pasa al enfriador de aire, y de este al colector de admisión para introducirlo en los respectivos cilindros.



*Figura 35. Elementos del sistema de admisión. Circuito del aire de admisión hasta llegar a los cilindros.  
Fuente: Elaboración propia.*

#### **5.5.1.1.6. Subsistema de gases de exhaustación**

Este sistema se encarga de expulsar los gases de escape provenientes de la combustión en los cilindros, al colector de escape, donde son guiados al conducto de exhaustación ya atraviesan el silencioso de escape, hasta las chimeneas, donde son expulsados al exterior del buque.

El colector de escape como se ha mencionado anteriormente es refrigerado por el agua dulce del sistema de refrigeración del motor, con el fin de disminuir las elevadas temperaturas de los gases de la combustión y evitar situaciones de riesgo. El conducto de exhaustación está protegido mediante aislantes, para evitar transferencia de calor a la cámara de máquinas y mantener unas condiciones óptimas en su interior.



*Figura 36. Conductos de exhaustación de los gases de escape. Fuente: Elaboración propia.*

### **5.5.1.2. Conjunto transmisión**

La transmisión es mecánica con reductora. Está formada por la reductora R360, la bocina y chumacera de empuje, y en su interior el eje de cola.

El objetivo es transmitir la velocidad originada por el cigüeñal del motor a la hélice. El acoplar una reductora al motor no es más que reducir la velocidad de giro originado por el cigüeñal del motor, para poder adaptarla a la velocidad de giro del eje. Está formada por un conjunto de engranajes que se encargan de variar la velocidad de giro que le transmite la rueda del volante de inercia acoplado al cigüeñal.

El eje de cola está acoplado a la reductora, y se encarga de transmitir el movimiento a la hélice. Cuando la hélice gira genera una fuerza de empuje hacia el casco a través de la chumacera de empuje para evitar que se produzcan esfuerzos y daños en el motor y en la línea de ejes. Además, se encuentran las chumaceras de apoyo que se encargan de soportar el eje de cola. Como la cámara de máquinas se encuentra a popa del buque, la línea de ejes es de corta longitud, y atraviesa el casco por el interior de la bocina hasta acoplar con la hélice.

La reductora cuenta con una salida de fuerza hidráulica, PTO, cuya función es la de transmitir la potencia generada a una bomba hidráulica que genera la presión y el flujo de aceite

para conducirlo a través de la línea de presión a los equipos hidráulicos, como las maquinillas de arrastre para las maniobras de redes situadas en la cubierta principal.



*Figura 37. Reductora R360 acoplada al cigüeñal del motor principal. Fuente: Elaboración propia*



*Figura 38. Toma de fuerza hidráulica PTO. Fuente: Elaboración propia*

### **5.5.1.3. Conjunto propulsor**

El elemento que se emplea para la propulsión del buque es la hélice. El buque monta una única hélice tobera conectada a la línea de ejes y al motor principal.

La hélice es de material de bronce, y va instalada sobre una tobera a modo de carcasa exterior con el fin de conseguir un aumento de la velocidad, un aumento de la fuerza de tracción a punto fijo impidiendo la rotura de la red, y una gran capacidad de maniobra a velocidades bajas, ya que se puede controlar el flujo. Este aumento de rendimiento permite un ahorro en el combustible.

Como se muestra en la figura 38, la tobera y el timón están protegidos frente a la corrosión mediante el empleo de ánodos de sacrificio.



*Figura 39. Hélice tobera. Fuente: <https://www.nauticexpo.es/prod/becker-marine-systems/product-30793-192527.html>*

### **5.5.2. Sistema eléctrico**

El sistema eléctrico es el encargado de suministrar la energía eléctrica necesaria para alimentar todos aquellos sistemas y equipos del buque. Para ello, es necesario disponer de generadores autónomos capaces de suministrar la energía eléctrica necesaria a todos los consumidores, en todas las condiciones de navegación, y además se debe disponer de una toma de corriente a puerto, para que el buque pueda ser alimentado con las tomas de corriente del puerto en condición de atraque.

La energía eléctrica del buque en estudio se consigue a través de tres grupos diésel alternadores, de la marca Guascor para los grupos diésel, y SINCRO para los alternadores. Se encuentran instalados a bordo de la cámara de máquinas, dos en la banda de babor y el otro en la banda de estribor.

Los grupos diésel-alternadores con sus características principales se muestran a continuación: (García López, 2020)

Tabla 8. Características de los grupos diésel. Fuente: Elaboración propia

<b>Grupo Diésel</b>	
<b>Modelo del Motor</b>	<b>Potencia</b>
H44	41 KW
H44	41 KW
H74	134 KW

Tabla 9. Características de los grupos alternadores Fuente: Elaboración propia

<b>Grupo Alternador</b>		
<b>Modelo del Motor</b>	<b>Potencia</b>	<b>Régimen de giro</b>
IB4M S/N 709001138	32 KW	1500 RPM
IB4M S/N 709001139	32 KW	1500 RPM
SK225 ML-4 S/N C111	80 KW	1500 RPM

407

Los grupos diésel-alternadores suministran una corriente alterna trifásica de 380V a unos 50HZ y 1500 rpm. Esta corriente pasa a los transformadores que se encargan de proporcionar corriente a una tensión de 220V, con el fin de alimentar a los equipos que trabajan a estas tensiones. Los equipos como el alumbrado de emergencia, las alarmas o equipos electrónicos de abordaje, como los equipos de comunicaciones y control, trabajan con corriente continua a 24V, a través de baterías alimentadas por los transformadores, donde la tensión alterna pasa a corriente continua mediante rectificadores. (García López, 2020)

Los cuadros eléctricos están instalados en distintos locales del buque, y desde donde se transfiere la energía eléctrica hacia todos los consumidores del buque. Se dispone de un cuadro eléctrico principal, instalado en la cámara de máquinas, al que van conectados los equipos de mayor consumo y principales. A este cuadro eléctrico se conectan otros cuadros eléctricos secundarios, situados en diferentes locales como en puente de gobierno, pasillos, habitación, etc., que proporcionan energía eléctrica a otros consumidores, consiguiendo así aumentar la seguridad, ya que se distinguen por grupos y en diferentes cuadros cada uno con sus protecciones eléctricas como son los relés, para que en caso de ocurrir alguna emergencia proteger los sistemas que son vitales o fundamentales del buque para que éste pueda continuar siendo operativo.

Para ello, durante la fase de proyecto se ha diseñado un balance eléctrico que establece la demanda de energía eléctrica a bordo del buque para que éste pueda desempeñar con su función operativa.

Para la elaboración del balance eléctrico se han tenido en cuenta las diferentes condiciones de funcionamiento del buque:

- Puerto
- Fondeo
- Navegación
- Funcional, en este caso se distinguen dos tipos, faenando y congelando, o solo faenando.
- Emergencia
- Velocidad máxima

El generador de mayor potencia es el que abastece la cámara frigorífica y la bodega de congelación que el buque lleva instalada a bordo para almacenar las capturas durante las épocas de faena. Los otros dos generadores se encargan de abastecer el resto de los consumidores a bordo.

En la condición de emergencia se ha dimensionado el generador de emergencia. El control del buque en condición de emergencia incluye los equipos y sistemas siguientes:

- Sistema de gobierno
- Sistemas auxiliares vitales para la propulsión
- Sistema de ventilación
- Sistemas de comunicaciones
- Alumbrado de emergencia
- Bombas contraincendios

Por normativa se dispone de un generador de emergencia a bordo situado fuera de la cámara de máquinas, sobre la cubierta principal, con el fin de abastecer de energía en caso de inutilidad de la cámara de máquinas.

### 5.5.3. Sistema de gobierno

El sistema de gobierno del buque tiene como objetivo controlar y dirigir los movimientos del buque en el agua. Está formado por el timón y por los sistemas de accionamiento, en este caso, las bombas hidráulicas y el servomotor, además de los equipos de puente de gobierno.

El servomotor que instala es de tipo electrohidráulico. Es un mecanismo consistente en una caña de doble brazo articulada en una pieza llamada cruceta, que hace de conexión con la mecha del timón. El sistema dispone de dos bombas hidráulicas independientes, cumpliendo así con la normativa establecida, funcionando siempre con las dos bombas arrancadas, una trabajando y la otra en posición de espera o stand by. Además, por razones de emergencia, el sistema tiene un circuito hidráulico manual, donde accionando la bomba manual se consigue introducir aceite en los cilindros del servomotor, moviendo el timón a la posición deseada. Las bombas hidráulicas van conectadas al cuadro eléctrico que va instalado en el local del servomotor, y que a su vez está conectado al cuadro eléctrico principal de la cámara de máquinas.



*Figura 40. Bombas Hidráulicas que accionan el servomotor. Fuente: Elaboración propia*



*Figura 41. Servomotor. Fuente: Elaboración propia*

El servomotor es controlado en el puente de gobierno por el piloto automático, que controla el movimiento del timón.

#### **5.5.4. Sistema de combustible**

El sistema de combustible del buque tiene como función alimentar tanto al motor principal como a los grupos diésel-alternadores, y está formado por los tanques almacén, los tanques de servicio diario, la purificadora, la bomba de trasiego, las líneas de alimentación de combustible.

Consta de las siguientes etapas: (Otón Tortosa, s.f.)

- Sistema de recepción, almacenamiento y trasiego.
- Sistema de limpieza y tratamiento.
- Sistema de alimentación.

El buque consume combustible ligero, por lo que con los datos de viscosidad, densidad y porcentaje de azufre proporcionados por el fabricante es más que suficiente para valorar si el combustible es de calidad y cumple con las normativas.

El buque dispone de dos tanques de almacenamiento de combustible en popa, uno a babor y otro a estribor, además consta de otros dos tanques a babor y otros dos a estribor, más un tanque en crujía, todos ellos situados en el doble fondo. Se dispone también de dos tanques de servicio diario situados en cámara de máquinas, lo que hace un total de nueve tanques.

Los tanques se llenan desde el exterior, en puerto, es lo que se denomina recepción y almacenamiento de combustible. Se tiene en cuenta una secuencia de llenado de tanques para

mantener la estabilidad del buque, además de que cada tanque dispone de un conducto de venteo para controlar la presión que se pueda crear en el interior, con salida al exterior. El combustible pasa de los tanques almacén a los tanques de servicio diario mediante la bomba de trasiego, a través de las válvulas de piano, y pasando a través de la purificadora (bomba centrífuga), que permite eliminar sólidos en suspensión y agua, para que el combustible llegue lo más limpio posible. No es necesario disponer en el buque de tanques de sedimentación ya que se emplea combustible ligero.

De esta manera, el combustible sale del tanque de servicio diario hacia el motor principal y grupos diésel-alternadores.



*Figura 42. Bomba centrífuga de combustible o purificadora. Fuente: Elaboración propia*

### **5.5.5. Sistema de exhaustación**

El sistema de exhaustación es el encargado de expulsar los gases de escape provenientes de la combustión al exterior del buque en condiciones de seguridad y eficiencia.

El recorrido de los gases de escape empieza en los conductos de exhaustación del motor que se recubren de aislante térmico para evitar la radiación de calor. Estos atraviesan la cámara de máquinas hasta el guardacalor, que es la zona que va desde la cámara de máquinas hasta las chimeneas, que montan el silencioso de escape para disminuir las vibraciones y atenuar los ruidos, y seguidamente se expulsan a la atmósfera exterior. Las chimeneas montan rejillas para evitar la entrada de impurezas o de agua exterior a los conductos de escape. Para facilitar la salida de los gases de escape hay colocados ventiladores extractores.

El sistema de exhaustación del buque es del tipo de escape húmedo, es decir, los gases de escape son refrigerados por agua del mar proveniente del sistema de refrigeración del motor para disminuir las temperaturas con el fin de proteger el circuito de exhaustación. Los conductos montan un sistema de purga de condensados para expulsar el agua al exterior y evitar que se queden en el interior y se mezclen con los gases de escape.

### **5.5.6. Sistema de Achique**

El agua puede introducirse a bordo del buque por muchas causas, como pueden ser los golpes de mar, vías de agua en el casco, por circuitos interiores del buque, etc. Es por ello, que las Sociedades de Clasificación y el *Convenio de la Seguridad de la vida Humana en la Mar*, establecen que deben prestarse atención a tres clases de espacios diferentes: (Otón Tortosa, s.f.)

- Los tanques que se instalan abordo para contener el agua, como son los tanques de lastre, los de agua potable, etc.
- Los compartimentos situados debajo de la cubierta de francobordo o espacios dentro de la superestructura.
- Resto del buque.

El sistema de achique está destinado a evacuar el agua de los compartimentos o zonas en los que se acumula agua, con el fin de expulsarlos al exterior o transportarlos a otras zonas destinadas a almacenar agua.

Según la normativa, el buque debe montar una instalación que sea eficaz para poder achicar cualquier local estanco, por lo menos por una aspiración, cuando el buque, con asiento normal, esté adrizado o escorado no más de 5°.

Por tanto, de acuerdo con la normativa, el buque dispone de un sistema de achique formado por el colector principal, dos bombas de achique centrífugas y autocebantes conectadas a este colector principal, y los ramales de tuberías de achique, que son los que achican de los locales o lugares deseados. También se monta otra bomba de achique de emergencia y se dispone independiente de las otras. Las bombas están conectadas a la red eléctrica, y se pueden utilizar simultáneamente mediante la válvula selectora de accionamiento, que se disponen de un interruptor en el cuadro eléctrico principal. El piano de válvulas es el que dirige los movimientos del agua.

Se colocan pozos de achique, que son los extremos de los ramales de achique, se colocan a lo largo del buque de manera que ningún espacio quede sin achicar

Los locales que en los que se desea achicar agua son los siguientes:

- Servicio de achique en cámara de máquinas.
- Servicio de achique en el local del servomotor.
- Servicio de achique en la caja de cadenas.
- Servicio de achique en la bodega de capturas.
- Servicio de achique en el parque de pesca.
- Servicio de achique en las bodegas de congelación y frigorífica.

### **5.5.7. Sistema Contraincendios**

Un incendio a bordo del buque es uno de los mayores factores de riesgo que se pueden dar debido a que compromete la integridad estructural y de seguridad del buque y de las personas que se hallen a bordo.

Es por eso, que desde la fase de proyecto se debe realizar un buen estudio del sistema de prevención de incendios, y no solo contemplando los equipos y medios que se instalarán en el buque y que actúan directamente sobre el incendio para extinguirlo, sino también la parte estructural, con la presencia de mamparos y cubiertas cuyos materiales soporten temperaturas elevadas, recubrimientos y aislantes de tanques que sean incombustibles, la disposición de conductos de ventilación, en el caso de atravesar mamparos o locales y puestos de control, los cuales deben ser de acero e ir aislados térmicamente, etc. Es por ello, que se debe cumplir con el *Capítulo II del Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS)*.

El sistema contra incendios es de vital importancia a bordo del buque. Su función es la de eliminar cualquier incendio que se produzca a bordo del buque, por mínimo que sea, jugando un papel importante tanto los medios activos como los pasivos, según lo mencionado anteriormente.

Se colocan entonces sistemas de detección de incendios como sensores de temperaturas o detectores de humo, y alarmas y sirenas, en los distintos alojamientos del buque, para detectar cualquier incendio que se pueda producir lo más rápido posible, con el fin de minimizar los riesgos, y poder prevenir a la tripulación en caso de producirse uno.

Por la normativa expuesta, el buque monta dos bombas contra incendios más una bomba de emergencia. La normativa permite el uso de las bombas de achique como bombas contra incendios siempre que dispongan de conexión a la red contra incendios, por lo que en el

buque se emplean las bombas de achique como bombas contra incendios. La bomba de emergencia se monta en un local distinto e independiente.

La red contra incendios dispone de colectores que llegan a todos los puntos y locales del buque, por donde el agua de mar es impulsada a través de las bombas, para que lleguen con el caudal y la presión necesaria. La presión y el caudal que proporcionan las bombas han sido estudiados en la fase de proyecto y calculados de acuerdo con la normativa expuesta en el SOLAS y las normativas de Sociedades de Clasificación.

A la salida de los colectores contra incendios, hay conectados unos boquiles o hidrantes, dispuestos de manera accesible y que permiten dirigir dos chorros de agua de diferentes bocas a un mismo punto. Los hidrantes están colocados en la cubierta principal y en la superior, y en la cámara de máquinas.

A estos hidrantes se conectan las mangueras flexibles y de gran movilidad, para llegar a cualquier punto donde se produzca el fuego. Cada manguera lleva su propia lanza, para poder expulsar el agua tanto en forma de chorro como de spray. Es necesario realizar un mantenimiento adecuado tanto a la red contra incendios como a las mangueras, ya que soportan presiones elevadas estando expuestas a la erosión de material o en el caso de las mangueras a agentes externos como rozaduras.



*Figura 43. Hidrante y puesto de incendio. Fuente: <https://www.dreamstime.com/water-hose-hydrant-box-fire-protection-system-ship-fire-protection-system-ship-service-station-factory-industry-image205223306>*

Los locales y puestos de control, así como los pasillos, escaleras y vías de evacuación, dispone de un sistema automático de rociadores de agua pulverizada.

Se instala también un sistema contraincendios por CO<sub>2</sub> o anhídrido carbónico, situado en la cámara de máquinas. Para ello, en la fase de proyecto se ha determinado la cantidad de volumen de CO<sub>2</sub> necesaria para cubrir la cámara de máquinas. El CO<sub>2</sub> se almacena en botellas de 45 kg cada uno, por lo que, al realizar los cálculos, el resultado dio un volumen que se cubre con la instalación de dos botellas de CO<sub>2</sub>.

Ante una situación de incendio, antes de descargar el CO<sub>2</sub>, ya sea manual o automáticamente, se activa la señal acústica de alarma para avisar al personal que debe evacuar la zona en la que se va a proceder la descarga, puesto que el gas es nocivo para la salud, se deben cerrar todas las puertas y zonas de entrada de aire y ventilación, para crear hermeticidad y de esta manera ser más efectivo el sistema. Para ello, el sistema dispone de un retardador de disparo de unos segundos.

Por tanto, los componentes que forman el sistema contraincendios del buque se resumen en:

*Tabla 10. Componentes del sistema contraincendios.*

<b>Sistema Contraincendios</b>
Bomba Contraincendios 1
Bomba Contraincendios 2
Bomba Contraincendios de emergencia
Red o colectores contraincendios
Boquiles o Hidrantes
Mangueras
Alarmas
Detectores de humo y sensores de temperaturas
Sistema contraincendios por CO <sub>2</sub>

Es muy importante revisar periódicamente los equipos y sistemas contraincendios para que estén en las debidas condiciones de funcionamiento. Se deben revisar la presión y la cantidad de CO<sub>2</sub> que contienen las botellas y recargarlas según los tiempos que indica el fabricante. Así mismo, se deben revisar la integridad de los mamparos

### 5.5.8. Sistema de fondeo

El sistema de fondeo permite al buque mantener una posición estática sin la necesidad de gobierno o propulsión, si su operativa lo requiere.

Para poder elegir los componentes que forman el sistema de gobierno se debe realizar en la fase de proyecto los cálculos correspondientes de acuerdo con la normativa del *Real Decreto 543/2007* para buques de pesca. Es necesario pues realizar el cálculo del numeral de equipo, que depende de las dimensiones del buque y de ciertas características de este, y donde una vez obtenido este valor se entra a las tablas que proporcionan las Sociedades de Clasificación obteniéndose el equipo de fondeo y amarre mínimo exigido para el buque

El sistema de fondeo que monta el buque de pesca está instalado en la proa, y está formado por los siguientes elementos: (Esteve Pérez, s.f.)

- **Dos anclas sin cepo.** El buque monta dos anclas sin cepo cada uno a cada banda en proa. Es un tipo de ancla que permite una estiba más sencilla ya que no cuenta con el cepo en la parte superior de la caña. El ancla es de tipo Hall, presenta un alto poder de agarre y está construida de material de acero.

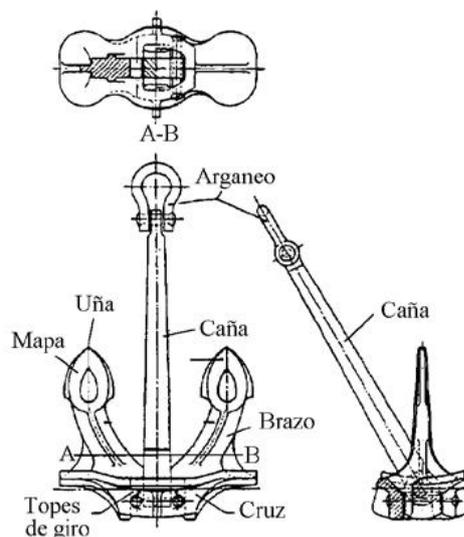


Figura 44. Ancla de tipo Hall. Fuente: Esteve-Pérez, J.A (s.f.). Construcción Naval

- **Largos de cadena.** O línea de fondeo, está constituida por los largos de cadena, formados por varios eslabones con concreto y un eslabón desmontable tipo Kenter. Cada largo de cadena tiene una longitud de 27,5 metros, y se unen al ancla en un extremo llamado de estalingadura, y el otro extremo opuesto que une con el buque

llamado ramal de arraigado. Las cadenas se estiban en el interior de la caja de cadenas, y se largan cayendo por gravedad a través del molinete. Los largos de cadena también son calculados en la fase de proyecto.

- **Escobén.** El buque monta dos escobenes. Es un tubo cilíndrico que atraviesa la cubierta y el forro en el costado, sirve de estiba del ancla y es por donde se canaliza la salida de la cadena y el ancla en la maniobra de arriado e izado durante el fondeo.
- **Estopor.** Es el elemento de sujeción o trincado de la cadena y del ancla, situado en la regala de cubierta y el molinete.
- **Molinete.** Está instalado en la cubierta en la proa y es una máquina de levar que consta de dos tambores o cabirones y dos barbotenes.

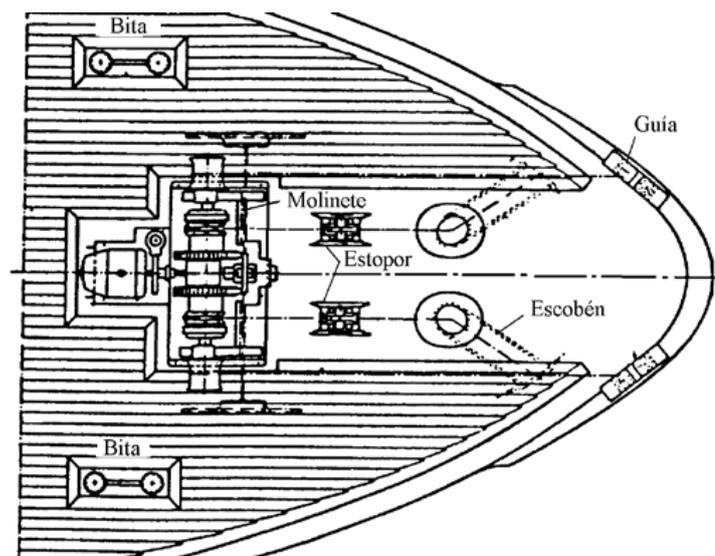


Figura 45. Vista en planta de la disposición del molinete sobre cubierta de proa. Fuente: Esteve-Pérez, J.A (s.f.). *Construcción Naval*

- **Caja de cadenas.** Es el compartimento destinado a la estiba de la cadena del ancla. Como el buque lleva dos anclas, la caja de cadenas está dividida en dos partes mediante un mamparo longitudinal.

### **5.5.9. Máquinas de arte de pesca**

El buque de pesca como se ha mencionado anteriormente trabaja como buque arrastrero y con el arte de nasas. Es por ello por lo que dispone de diversos equipos para poder realizar las labores de pesca, y poder estibar las capturas a bordo de las bodegas frigoríficas y de congelación.

Para la maniobra de arrastre el buque monta los siguientes equipos:

- Maquinilla de arrastre
- Tambor de red
- Pastecas
- Pescantes
- Palos bípodes

El método de pesca de arrastre consiste en izar la red mediante la tracción de la maquinilla, y a través de la rampa que está situada en popa, se extiende en toda la cubierta. Para la maniobra de izado y arriado se dispone de un pórtico donde se suspenden las pastecas y de un segundo pórtico o palo bípode situado en proa para las pastecas de los aparejos cuando viran la red por la rampa.

La maquinilla de arrastre es de accionamiento hidráulico, donde la bomba hidráulica que alimenta al circuito de presión de aceite de la maquinilla se sitúa en cámara de máquinas. Es de tipo monobloque, combina dos carreteles para el cable, con guiador de cable asistido hidráulicamente y motor hidráulico.



*Figura 46. Maquinilla de arrastre. Fuente: <https://www.bastantecnologies.com/producto/maquinillas-de-arrastre/>*

Para las maniobras de nasas se emplea un halador que va colgado de un pescante y se localiza en cubierta una banda, con accionamiento hidráulico. Es de línea continua con carrete plano de goma y correa de presión, donde la correa presiona la línea contra el carrete motriz en la mitad de su perímetro permitiendo el tiro con o sin tensión de la línea.



*Figura 47. Halador de nasas. Fuente: <https://www.bastantecnologies.com/producto/halador-de-nasas-pulpos-montera-320-100/>*

### **5.5.10. Instalación Frigorífica y de Congelación**

El buque dispone de dos túneles de congelación o cámaras frigoríficas, instaladas en la cubierta principal y contigua al compartimento donde se ubican los compresores y equipos de generación de frío, con el fin de congelar las capturas. Dispone también de una bodega frigorífica de mayor volumen, localizada en la zona central del buque bajo la cubierta principal, delimitada por la cámara de máquinas en el mamparo de popa, y por la habitación en el mamparo de proa, y por la que se accede a través de una escotilla en cubierta, donde se almacenan las capturas que provienen de los túneles de congelación.

El pescado se congelará en dos túneles de congelación, empleando para ello el uso del refrigerante R-404A con sistema de inyección de expansión directa con compresor semi-hermético de dos etapas. Los túneles tienen una capacidad para congelar aproximadamente 1500 kg/día.

El sistema de congelación está formado por los siguientes componentes: (Morocho Abigail, 2019)

- Dos compresores de la marca Bitzer y modelo S4G-12.2Y, con una capacidad de potencia de 8,49 Kw.
- Dos unidades enfriadoras de aire, para los dos túneles de congelación, de tubos de acero de aletas planas y fijas.
- Cuatro electroventiladores, repartidos dos en cada túnel.
- Dos estaciones de válvulas con el fin de dar entrada y salida al refrigerante.

La instalación de la bodega frigorífica se divide en dos compartimentos, uno de ellos debe mantenerse a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$ , y la otra debe mantenerse a una temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ . Para ello, se emplea de nuevo el refrigerante R-404A con compresor semi-hermético de dos etapas.

El sistema de congelación está formado por los siguientes componentes: (Morocho Abigail, 2019)

- Un compresor de la marca Bitzer, modelo S4T-5.2Y con potencia 4,74 Kw
- En las bodegas se instalan serpentines, cuyos tubos son de acero.
- Dispone de dos condensadores que están refrigerados por agua de mar.
- Dos electrobombas centrífugas que actúan sobre los condensadores.

- Dos estaciones de válvulas para controlar la entrada y salida de refrigerante.
- Un cuadro eléctrico donde se monitorean los equipos de los sistemas frigoríficos y de congelación. Este cuadro es secundario, estando conectado al cuadro principal del buque en cámara de máquinas.

### **5.5.11. Sistema de Habilitación**

La habilitación de un buque depende básicamente del tipo de función operativa que desempeñe, así como la duración de los viajes y de las zonas de navegación.

El buque de pesca dispone de los medios de iluminación, ventilación, ubicación y mobiliario de acuerdo con los requisitos que expone la normativa de Orden del Ministerio de Comercio, de 17 de agosto de 1970, sobre el *“Reglamento para el reconocimiento de los alojamientos a bordo de buques pesqueros en la parte que afecta a la construcción naval”*.

Es importante definir en la fase de proyecto los espacios destinados a la habilitación, puesto que es fundamental, a pesar del medio operativo del buque, el considerar que un medio agradable compense los inconvenientes y la vida a bordo del buque, por lo que es acertado proporcionar máximas comodidades en la medida de lo posible. (Esteve Pérez, s.f.)

Se debe pues tener en cuenta cuando se realiza el balance eléctrico del buque, todos los consumidores destinados al sistema de habilitación.

En la cubierta principal, debajo del puente de gobierno, se sitúa la cocina. Está fabricada con materiales de acero inoxidable, para facilitar su limpieza, presenta una ventilación forzada, con mayor caudal de extracción con el fin de evitar que los gases y olores se dispersen hacia otros alojamientos, además de disponer de filtros de lana desmontables para su fácil limpieza. El piso está formado por baldosas cerámicas antideslizantes, con imbornales de desagüe. La ventilación está forrada y aislada, y presentan detectores de humo para que en caso de incendio se activen automáticamente los rociadores al mismo tiempo que se detiene la ventilación de extracción para que no active el fuego.

Contiguo a la cocina se dispone de la gambuza o la despensa, que está dividida en alimentos secos y en alimentos refrigerados en cámaras frigoríficas. Se colocan armarios y estanterías para la estiba de los alimentos.

Los camarotes se localizan a proa, y disponen de literas con dimensiones adecuadas, con un espesor de laminado suficientes, y soldadas al casco del buque. Además, se disponen de taquillas individualizadas. La ventilación en este caso es tanto natural como forzada, y presenta un buen diseño con respecto a la iluminación.

## **Capítulo 6. Aplicación y análisis de FMECA**

## 6.1. Aplicación y análisis de FMECA

La instalación de estudio seleccionada del buque para aplicar el mantenimiento basado en confiabilidad, o RCM, es el sistema propulsor, formado por el motor y sus subsistemas, la línea de ejes y la hélice.

Para analizar el sistema, se realiza un análisis FMECA, donde posteriormente, se va a implementar una estrategia de mantenimiento, con el fin de establecer una serie de tareas de mantenimiento asignadas a cada equipo que conforma el sistema propulsor.

Como se explicado anteriormente, el análisis FMECA es un método cuya finalidad es la de analizar los modos de fallo, sus efectos y analizar su criticidad. Para poder aplicar el método FMECA, se ha establecido un límite de detalle, entendiendo como detalle o alcance: componente, equipo, subsistema y sistema, donde se ha considerado como límite de estudio el nivel de equipo.

Una vez establecido el nivel de detalle, se puede proceder a la elaboración del análisis FMECA. Para ello, se ha elaborado una tabla para cada subsistema de estudio. En cada subsistema, lo primero que se ha determinado es la definición de cada una de las funciones que realiza, donde cada una de ellas, deben dar a conocer de la forma más clara el propósito de estas.

A continuación, se han descrito los fallos funcionales que presenta cada función del subsistema, considerando fallo funcional, como la incapacidad que presenta el equipo para desempeñar su función operativa de una manera total o parcial. El siguiente paso ha sido determinar los modos de fallo, es decir, los diferentes fallos que impiden que se realice la función operativa. Los modos de fallo provocan efectos sobre otros equipos, subsistemas o sistemas del buque. Estos efectos o consecuencias se han diferenciado en efectos locales y efectos globales. Una vez establecidos los modos de fallo, se han analizado las causas que los provocan. Es aquí, donde aparece el concepto de análisis de criticidad, explicado en el Capítulo 4, que ayuda a establecer una serie de prioridades a través de la severidad, la ocurrencia y la detectabilidad de todas las causas de los modos de fallos.

Se evalúan de forma cuantitativa o paramétrica, la severidad de los fallos, clasificándolos de acuerdo con los efectos que provocan sobre la integridad de los equipos, subsistemas o sistemas del buque, en función del alcance que tienen sobre estos.

Tal y como se ha mencionado en el Capítulo 4, para la evaluación del riesgo o de los efectos, se cuantifica la severidad, así como la ocurrencia del fallo, mediante un rango que va del 1 al 10, de menor a mayor severidad, siendo el número 10 el más severo, en ambos casos.

La severidad o la gravedad viene determinada en función de tres parámetros como son la indisponibilidad, la seguridad y el coste. Se entiende como indisponibilidad al tiempo de inoperatividad del equipo o tiempo no productivo; el coste referido al valor económico de la reparación de la avería, y la seguridad con respecto a la vida humana. Estos parámetros se han englobado como valor medio al establecido a la columna de severidad.

En el caso de la evaluación de los fallos y efectos en el sistema propulsor se establece la siguiente tabla de severidad:

*Tabla 11. Severidad de los fallos y efectos del sistema propulsor. Fuente: Elaboración propia*

<b>INDICE</b>	<b>Efecto</b>	<b>SEVERIDAD DEL EFECTO</b>
<b>10</b>	Peligroso sin aviso	El fallo resulta en efectos peligrosos casi ciertos
<b>9</b>	Peligroso con aviso	El fallo resulta en efectos peligrosos muy probables
<b>8</b>	Muy alto	Sistema inoperable pero seguro
<b>7</b>	Alto	Función del sistema afectada severamente
<b>6</b>	Moderado	Sistema operable y seguro operable, pero con función degradada
<b>5</b>	Bajo	Se reduce la función con una degradación gradual
<b>4</b>	Muy bajo	Efectos mínimos en la función del sistema
<b>3</b>	Menor	Ligeros efectos en la función. Se notan fallos no vitales la mayoría del tiempo.
<b>2</b>	Muy menor	Efectos insignificantes en la función del sistema
<b>1</b>	Ninguno	Sin efecto

En el caso de la ocurrencia, se establece la siguiente tabla:

*Tabla 12. Ocurrencia de los fallos y efectos del sistema propulsor. Fuente: Elaboración propia*

<b>INDICE</b>	<b>OCURRENCIA DEL FALLO</b>
<b>10</b>	Muy alta, fallo casi inevitable

9	Alta, fallos repetitivos
8	
7	Moderada, fallos ocasionales
6	
5	
4	Baja, relativamente pocos fallos
3	
2	Remota, fallo improbable
1	

Una vez establecidos los valores de severidad y ocurrencia, es importante determinar, para cada modo de fallo, como se logra detectar el fallo y el medio empleado. Para ello, en el Capítulo 2 se explicaron una serie de técnicas de detección de fallos, que se han aplicado en FMECA para poder conseguir el objetivo de detección de fallos.

Para la detección de fallos, también se ha establecido un rango de valores del 1 al 10, siendo el 10 el valor con mayor detectabilidad de fallos. Por tanto, se establece la siguiente tabla:

*Tabla 13. Detectabilidad de los fallos y efectos del sistema propulsor. Fuente: Elaboración propia*

INDICE	DETECCIÓN	CRITERIO
10	Absolutamente imposible	No existen controles conocidos para detectar el modo de fallo o la causa.
9	Muy remota	Un cambio muy remoto en los controles detecta la posible causa y el posible fallo.
8	Remota	Un cambio remoto en los controles detecta la posible causa y el posible fallo.
7	Muy baja	Un cambio muy pequeño en los controles detecta la posible causa y el posible fallo.
6	Baja	Un cambio pequeño en los controles detecta la posible causa y el posible fallo.
5	Moderada	Un cambio moderado en los controles detecta la posible causa y el posible fallo.

4	Moderadamente alta	Un cambio muy moderado en los controles detecta la posible causa y el posible fallo.
3	Alta	Un cambio grande en los controles detecta la posible causa y el posible fallo.
2	Muy Alta	Un cambio muy grande en los controles detecta la posible causa y el posible fallo.
1	Casi segura	Los controles pueden detectar la posible causa y el posible fallo de forma casi segura.

### 6.1.1. Aplicación del Número de Prioridad de Riesgo

Una vez establecidos los valores de severidad, ocurrencia y detectabilidad, se lleva a cabo el método cuantitativo de análisis de criticidad. Como se explicó en el Capítulo 4, el Número de Prioridad de Riesgo se establece de acuerdo con la multiplicación de estos tres parámetros:

$$NPR = Severidad \times Ocurrencia \times Detectabilidad$$

Se ha determinado una matriz que acota en intervalos de valores de RPN de acuerdo con el grado de criticidad, en el que se han establecido una serie de colores para evaluar el riesgo, que va del más severo (color rojo) al menos severo (color azul).

Tabla 14. Grado de criticidad y evaluación de riesgo. Fuente: Elaboración propia

Grado de Criticidad	Intervalo de RPN y Color según el riesgo
Muy alta	De $\geq 100$
Alta	De $75 \leq 100$
Media	De $30 \leq 75$
Baja	De $15 \leq 30$
Muy baja o casi nula	De $1 \leq 15$

El número de prioridad de riesgo, NPR, aparte de establecerse para evaluar los modos de fallo, la magnitud del valor obtenido está influenciada por el valor de la severidad de los fallos, es decir, que, si hay modos de fallo con el mismo NPR o idénticos, se considerarán los modos de fallo que presenten mayor valor de severidad, y también se priorizarán los fallos que a pesar de tener un valor de RPN bajo, tengan un valor de severidad alta. Seguidamente, se tendrán en cuenta los fallos con fácil detectabilidad y severidad media. Este es el criterio que se aplica a la

hora de evaluar la matriz de riesgo en función de la severidad/ocurrencia que se mencionaba en el Capítulo 4, y que es característica del método FMECA.

Las tablas FMECA elaboradas para el sistema propulsor del buque pesquero polivalente están descritas en el **Anexo**.

### **6.1.2. Elaboración del plan de mantenimiento**

Para la elaboración del FMECA, es necesario realizar una serie de métodos de control o acciones correctivas, preventivas y predictivas recogidas en un plan de mantenimiento. Así pues, para el FMECA realizado al sistema propulsor del buque estudio se ha elaborado un mantenimiento basado en estas acciones.

El mantenimiento predictivo se ha basado en el monitoreo de parámetros y condiciones operativas del equipo o subsistema, en la medición de vibraciones con el uso de acelerómetros para detectar vibraciones que puedan ocasionar el desgaste o rotura de los componentes; en el análisis de aceites y combustibles, que estén libres de partículas que puedan degradar los componentes; en valores prefijados de alarma y de sensores de presión, temperatura, etc., en los puntos necesarios donde puedan ser propensos a averías o de disminución de alguno de los parámetros de funcionamiento.

Las acciones del mantenimiento preventivo tienen como objetivo mantener unas condiciones de servicio para los equipos, donde se programan cada cierto intervalo de tiempo interviniéndose, aunque no se haya dado ningún problema o avería.

El plan de mantenimiento consiste en la elaboración de una serie de tareas de mantenimiento programadas, donde se recogen las acciones y operaciones pertinentes para llevar a cabo el proceso de reparación o de reacondicionado de cada uno de los equipos que componen los diferentes subsistemas, a modo de ficha explicativa detallándose el procedimiento y estableciendo las medidas y comprobaciones que se deben realizar y anotar en un chek-list por parte de los operarios que llevan a cabo los reacondicionamientos, para tener un histórico de datos y asegurar de que se han realizado las operaciones.

Es por ello, que se establecen las diferentes gamas, denominadas por las siglas QL, de acuerdo con los intervalos de tiempo programados en los que se van a llevar a cabo las distintas tareas de mantenimiento. Estas gamas se engloban en lo que se denominan escalones de mantenimiento. El escalón de mantenimiento recoge las tareas de acuerdo con un intervalo de

tiempo, contemplando todas las tareas asociadas a las gamas que coincidan con ese intervalo de tiempo.

*Tabla 15. Gamas de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia*

<b>Gamas de Mantenimiento</b>	<b>Intervalo de tiempo</b>
QL1	Periódicamente
QL2	1000 horas
QL3	6000 horas
QL4	12000 horas u Overhaul

*Tabla 16. Escalones de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia*

<b>Escalones de Mantenimiento</b>	<b>Intervalo de tiempo</b>
Escalón A	Periódicamente
Escalón B	Cada 1000 horas
Escalón C	Cada 6000 horas
Escalón D	Cada 12000 horas u Overhaul

Estos 4 escalones de mantenimiento anteriores aseguran el correcto funcionamiento de los equipos del sistema propulsor. Se detalla:

1. **Escalón A:** Comprobaciones diarias. En este escalón se determinan aquellas operaciones que están destinadas a comprobaciones del funcionamiento de equipos, subsistemas o sistemas, tales como calibración de sensores, comprobaciones de aceite, agua y combustible, etc., con el fin de evitar cualquier fallo antes de que se produzca.
  
2. **Escalón B.** Cada 1000 horas de funcionamiento. En este escalón de mantenimiento se realizan aquellas acciones que no tienen gran alcance, pero son necesarias para evitar fallos. Se realizan cambios de filtros de aceite y combustible, engrase de componentes como la línea de ejes o de componentes mecánicos, inspecciones visuales del estado de los equipos y componentes, limpiezas superficiales, etc.

- 3. Escalón C.** Cada 6000 horas de funcionamiento. En este escalón se contemplan aquellas acciones que son necesarias para no comprometer el estado del sistema, realizando la inspección de todos aquellos equipos que precisen de supervisión. Acciones como desmontajes, limpiezas, mediciones, comprobaciones, análisis de grietas mediante ensayos no destructivos.
- 4. Escalón D.** Cada 12000 horas u overhaul. Son las acciones que se realizan a todos los equipos o componentes críticos del sistema, es decir, desmontaje, limpieza, inspecciones visuales, mediciones, comprobaciones, ensayos no destructivos.

Por tanto, a partir de las tareas recogidas tras el análisis FMECA, para conseguir una mayor trazabilidad de las tareas de mantenimiento que se deben realizar, y para facilitar al personal que va a llevar a cabo los mantenimientos, es necesario agrupar todas las tareas de acuerdo con las gamas, que como se ha mencionado anteriormente, estas gamas se englobarán en los diferentes escalones de mantenimiento según corresponda. Es por ello, que se dispone de las siguientes tablas organizadas según las diferentes gamas de mantenimiento:

*Tabla 17. Tabla de referencia de tareas asociadas a QL1. Fuente: Elaboración propia*

<b>Intervalo de tiempo</b>	<b>Tareas que realizar</b>
Periódicamente	Comprobación del correcto funcionamiento de los sensores
	Comprobación de las aperturas de válvulas (aceite lubricación, líquido refrigerante, inyección, etc.)
	Verificación del nivel de aceite
	Verificación de la presión de aceite
	Comprobación de las fugas de aceite, líquido refrigerante, de combustible, de aire de admisión y gases de exhaustación

*Tabla 18. Tabla de referencia de tareas asociadas a QL2. Fuente: Elaboración propia*

<b>Escalón de mantenimiento</b>	<b>Tareas que realizar</b>
Cada 1000 horas de funcionamiento	Tomar muestras de agua
	Tomar muestras de aceite
	Tomar muestras de combustible
	Cambio de los filtros de aceite
	Cambios de los filtros de combustible
	Engrase de los ejes

	Reacondicionar los conductos de aceite, agua de refrigeración (Desmontaje, limpieza e inspección visual)
	Cambio de aceite

Tabla 19. Tabla de referencia de tareas asociadas a QL3. Fuente: Elaboración propia

Intervalo de tiempo	Tareas que realizar
Cada 6000 horas de funcionamiento	Comprobación de funcionamiento de la válvula de sobrepresión de aceite e inspección visual.
	Reacondicionar los conductos de exhaustación (Desmontaje, limpieza e inspección visual)
	Reacondicionar el tanque de expansión (Desmontaje, limpieza e inspección visual)
	Alineación de la reductora con el motor principal
	Comprobación de las camisas
	Reacondicionamiento de la hélice (Equilibrado de la hélice)

Tabla 20. Tabla de referencia de tareas asociadas a QL4. Fuente: Elaboración propia

Intervalo de tiempo	Tareas que realizar
Cada 12000 horas de funcionamiento	Reacondicionamiento de los pistones (Sustitución de los segmentos del pistón y de las cabezas de pistón)
	Reacondicionamiento de las camisas del motor (Desmontaje, limpieza, ensayos no destructivos y bruñido. Sustitución de los anillos tóricos)
	Reacondicionamiento del enfriador de aceite (Desmontaje, limpieza, inspección visual, prueba de presión y estanqueidad)
	Reacondicionamiento de la bomba de aceite de lubricación.
	Reacondicionar bomba de agua de refrigeración (Desmontaje, limpieza, inspección visual, ensayos no destructivos, prueba hidráulica)
	Reacondicionamiento de la hélice (Equilibrado de la hélice)
	Reacondicionar la bomba de inyección (Desmontaje, limpieza, y comprobación mediante ensayos no destructivos)
	Reacondicionar bomba de alimentación de combustible
	Reacondicionamiento de los inyectores
	Reacondicionamiento de las tuberías de baja y de alta presión de combustible
	Reacondicionamiento del regulador
	Reacondicionamiento del turbocompresor
	Reacondicionamiento del intercooler

	Reacondicionamiento de las culatas
	Reacondicionamiento del cigüeñal
	Reacondicionamiento de las bielas
	Reacondicionamiento del eje de levas
	Comprobación del estado de los cojinetes (Desmontaje, limpieza, control dimensional)
	Reacondicionar bomba de lubricación de la reductora
	Reacondicionar bomba de agua de refrigeración de la reductora
	Reacondicionamiento del eje intermedio
	Reacondicionamiento del eje de cola
	Reacondicionamiento de la camisa

La siguiente tabla recoge la planificación de todas las tareas que se deben realizar para llevar a cabo el plan de mantenimiento del sistema propulsor, diferenciadas según al escalón de mantenimiento donde se llevan a cabo:

*Tabla 21. Plan de mantenimiento preventivo. Fuente: Elaboración propia*

<b>Plan de Mantenimiento Preventivo</b>				
<b>Tareas que realizar</b>	<b>E.A (Diario)</b>	<b>E.B (Cada 1000 horas)</b>	<b>E.C (Cada 6000 horas)</b>	<b>E.D (Cada 12000 horas)</b>
Comprobación del correcto funcionamiento de los sensores	X	X	X	X
Comprobación de las aperturas de válvulas (aceite lubricación, líquido refrigerante, inyección, etc.)	X	X	X	X
Tomar muestras de agua		X	X	X
Tomar muestras de aceite		X	X	X
Tomar muestras de combustible		X	X	X
Cambio de los filtros de aceite		X	X	X
Cambios de los filtros de combustible		X	X	X
Verificación del nivel de aceite	X	X	X	X
Verificación de la presión de aceite	X	X	X	X
Comprobación de funcionamiento de la válvula de sobrepresión de aceite e inspección visual.			X	X
Comprobación de las fugas de aceite, líquido refrigerante, de combustible, de aire de admisión y gases de exhaustación	X	X	X	X
Cambio de aceite		X	X	X
Reacondicionar bomba de aceite de lubricación				X

Reacondicionamiento de los pistones (Sustitución de los segmentos del pistón y de las cabezas de pistón)				X
Comprobación de las camisas			X	X
Reacondicionamiento de las camisas del motor (Desmontaje, limpieza, ensayos no destructivos y bruñido. Sustitución de los anillos tóricos)				X
Reacondicionamiento del enfriador de aceite (Desmontaje, limpieza, inspección visual, prueba de presión y estanqueidad)				X
Reacondicionar bomba de agua de refrigeración (Desmontaje, limpieza, inspección visual, ensayos no destructivos, prueba hidráulica)				X
Reacondicionar los conductos de aceite, agua de refrigeración (Desmontaje, limpieza e inspección visual)		X	X	X
Reacondicionar los conductos de exhaustación (Desmontaje, limpieza e inspección visual)			X	X
Reacondicionar el tanque de expansión (Desmontaje, limpieza e inspección visual)			X	X
Reacondicionar la bomba de inyección (Desmontaje, limpieza, y comprobación mediante ensayos no destructivos)				X
Reacondicionar bomba de alimentación de combustible				X
Reacondicionamiento de los inyectores				X
Reacondicionamiento de las tuberías de baja y de alta presión de combustible				X
Reacondicionamiento del regulador				X
Reacondicionamiento del turbocompresor				X
Reacondicionamiento del intercooler				X
Reacondicionamiento de las culatas				X
Reacondicionamiento del cigüeñal				X
Reacondicionamiento de las bielas				X
Reacondicionamiento del eje de levas				X
Comprobación del estado de los cojinetes (Desmontaje, limpieza, control dimensional)				X
Reacondicionar bomba de lubricación de la reductora				X
Alineación de la reductora con el motor principal			X	X
Reacondicionar bomba de agua de refrigeración de la reductora				X
Reacondicionamiento del eje intermedio				X
Engrase de los ejes		X	X	X

Reacondicionamiento del eje de cola				X
Reacondicionamiento de la camisa				X
Reacondicionamiento de la hélice (Equilibrado de la hélice)			X	X

En cuanto al mantenimiento correctivo, que consiste en corregir los fallos en el momento en el que suceden, y que presenta costos de reparación y presupuestación no planificados ni planteados en la estrategia de mantenimiento, es importante disponer de un stock a bordo de sensores y alarmas, como son los de presión, temperatura y caudal, válvula de apertura del tanque de combustible, juego de válvulas de admisión y escape, juego de inyectores, juegos de juntas de diferentes componentes como los colectores de admisión, escape, agua de refrigeración, combustible y aceite, entre otros.

En resumen, para elaborar el programa de mantenimiento basado en confiabilidad, se ha aplicado la técnica de FMECA, donde a partir de su análisis, se ha realizado una planificación de todas las tareas que se deben llevar a cabo para realizar el mantenimiento. Estas tareas están organizadas en intervalos de tiempo, definiendo de esta manera las diferentes gamas, obteniendo una trazabilidad al personal destinado a llevarlas a cabo. A partir de aquí, se define el programa de mantenimiento, basado en los diferentes escalones de mantenimiento anteriormente citados, así como el personal destinado a realizarlo.



Figura 48. Etapas programa de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia

## **Capítulo 7. Conclusiones**

## 7.1. Conclusiones

La metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad, RCM, permite identificar todos los posibles fallos funcionales que presenta un sistema o un equipo, así como los modos de fallo y los efectos que estos provocan de manera local y global. A partir de la técnica de FMECA, se puede llevar a cabo un análisis de estos modos de fallo y sus efectos, así como de analizar su criticidad en base al sistema o equipo en estudio. Esto determina la importancia de llevar a cabo una serie de acciones y tareas, que, de una manera planificada, ya sea en las fases previas del proyecto del buque o durante su operatividad, conduzca a elaborar una estrategia de mantenimiento basada en el mayor grado de confiabilidad, con el fin de prever los fallos y anticiparse a ellos, con el único fin de alargar la vida útil de los componentes, equipos o sistemas, consiguiendo una rentabilidad económica.

Se ha comprobado que, a pesar de que la metodología RCM es más utilizada en otros sectores de la industria, en el ámbito naval se es capaz de establecer una estrategia de mantenimiento que consiga aumentar la vida útil de las instalaciones, sistemas y equipos que componen al buque, a través del análisis de fallos y su criticidad.

Para ello, se ha realizado el análisis FMECA al sistema propulsor del buque, en concreto a los subsistemas que lo componen, donde a través del análisis de fallos y a la criticidad se han determinado todos los fallos funcionales, modos de fallo, causas y efectos, destacando aquellos fallos con mayor severidad, siendo estos los que comprometen la integridad del sistema y en consecuencia la del buque.

Con ello se es capaz de elaborar un plan de mantenimiento, basado en acciones correctivas, que hacen disponer de aquellos componentes o equipos de respeto susceptibles al cambio, que se deben llevar a bordo del buque para realizar el mantenimiento correctivo necesario ya previsto gracias al análisis de fallos a través de FMECA; también de acciones predictivas a través de componentes o sensores y alarmas conectadas o programadas mediante un estudio previo de los parámetros del sistema, y de aquellas acciones de mantenimiento preventivas, que se realizan cada cierto intervalo de tiempo, en este caso de horas de funcionamiento, para evitar las averías y anticiparse a los fallos antes de que ocurran.

Todas estas acciones, o tareas a realizar, se programan en intervalos de tiempo, y se recogen en las distintas gamas, agrupando según convenga y facilitando toda la información necesaria para llevar a cabo el mantenimiento al personal destinado a realizarlo. Tras la planificación de las tareas y su agrupación en gamas, se procede a llevar a cabo el programa de mantenimiento

basado en escalones de mantenimiento, establecidos en intervalos de tiempo. Con ello, se consigue una mayor disponibilidad de los equipos, subsistemas y sistemas que conforman el sistema propulsor del buque, aumentando de esta manera la rentabilidad económica.

Para llevar a cabo un mantenimiento centrado en confiabilidad, a través de la aplicación de FMECA, es requisito la realización de dicho estudio por personal cualificado para ello, siendo este uno de los principales inconvenientes para el armador del buque, quien debe realizar una inversión inicial importante. Pero a pesar de ello, esta metodología evita tener que reponer o instalar de nuevo equipos o sistemas que han sufrido averías o que han llegado al final de vida útil, o simplemente porque puedan suponer la parada del buque, lo que si sería un inconveniente bastante grave.



## **Capítulo 8. Bibliografía**

- Aguilar-Otero, J.R., Torres-Arcique, R. y Magaña-Jiménez, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia, Educación* 1(25), 15-26.
- Arias Pardilla, J. (s.f.), Selección de Materiales y Corrosión, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena.
- Asensio-Viseras, F.J. (2018), Implementación del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) en los motores de las lanchas de instrucción. Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar.
- Bañón-Díaz, R. et al (2007) La pesca de pulpo común con nasas en la costa gallega, 199-2004. *Los recursos marinos de Galicia. Serie técnica nº 6*
- Bilbao, M. y Málaga, A. (s.f.). Contaje de partículas. IK4-Tekniker Research Alliance.
- Buchelli-Carpio, L. y García-Granizo, V. (2015). Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diésel mediante la técnica de análisis de aceites. *Revista ciencia UNEMI* 8(15), 84-95.
- Capa Morocho, Y.A. (2019), Plan de Mantenimiento del Barco Pesquero Ciudad de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena.
- Casado de Diego, A. (2015), Estudio quimiométrico de aceites lubricantes marinos. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao.
- Convenio Internacional de Torremolinos para la Seguridad de los Buques Pesqueros de 1977.
- Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974.
- Díaz-Casas, V., Martínez-López, A. y Míguez-González, M. (2013). Ahorro y Eficiencia energética en buques de pesca. *Ahorro y Eficiencia energética en la agricultura*. IDAE. 1-88
- Esteve-Pérez, J.A (s.f.). Construcción Naval. Universidad Politécnica de Cartagena.
- García-Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento: Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial*. Díaz de Santos, S. A. [https://www.academia.edu/41042547/Organizacion\\_y\\_gestion\\_integral\\_de\\_mantenimiento](https://www.academia.edu/41042547/Organizacion_y_gestion_integral_de_mantenimiento)
- García-Soutullo, R. (s.f.). Mantenimiento del buque. 1º Parte, Introducción al plan de mantenimiento. Ingeniero Marino, 1-23.
- García-López, S.M. (2020), Transformación de un buque de pesca a buque de enseñanza de ingeniería. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena.
- GUASCOR Power (2009), Manual de uso y funcionamiento. F/SF series

- Hidalgo-Mascorro, A. (2005). Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales. <https://www.gestiopolis.com/manual-amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/>
- Isaza-Castro, J.F. (2018), Diseño e implementación de la estrategia RCM a los equipos más críticos de la compañía arquitectura y concreto. Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín-Colombia.
- Jiménez-Ballesta, A.E. (s.f.), Selección de Materiales y Corrosión, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena.
- Linares-Depestre, L.O. (2012). Del Mantenimiento Correctivo al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. *Centro Azúcar* 39(3), 7-14.
- Martínez, A.V., Sánchez, A.; Colomer, V. y Sánchez, S. (s.f.). Análisis y optimizado de maquinillas de cubierta en buques arrastreros mediterráneos. *12th International Conference on Project Engineering*.
- Madasse, A. (2019), Aplicación de la metodología RCM en motores de propulsión marina, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena.
- Mármol Sáez, J.M. (2016), Mantenimiento Estructural y del Casco de Buques de Carga, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020). Informe anual de la actividad de la flota pesquera española. Gobierno de España
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Biddles Books Ltd. <https://dokumen.tips/documents/02-rcm-ii-john-moubray-libro-completo.html>
- Moubray, J. (2004). Introducción al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*, (pp 1-19). Biddles Books Ltd. <https://dokumen.tips/documents/02-rcm-ii-john-moubray-libro-completo.html>
- Moubray, J. (2004). Fallas funcionales. *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*, (pp 48-49). Biddles Books Ltd. <https://dokumen.tips/documents/02-rcm-ii-john-moubray-libro-completo.html>
- Mokashi, A. J., Wang, J. y Verma, A. K. (2002). *A study of reliability-centred maintenance in maritime operations*. *Marine Policy*, 26, 325-335
- Norma UNE EN 13306, de Julio de 2018, de Mantenimiento. Terminología del mantenimiento. Repositorio de la Universidad Politécnica de Cartagena.
- Norma UNE EN 12473, de junio de 2014, de Principios generales de la protección catódica en agua de mar. Repositorio de la Universidad Politécnica de Cartagena.
- Otón Tortosa, J.E. (2018), Sistemas Auxiliares, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena.
- Pernía-Márquez, D.A. (2004), Introducción a la medición de la vibración. Postgrado Universidad de los Andes.

- Peña-Rodríguez, E.O. y Neita-Duarte, L-Y. (2011), Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Pablo-Romero Carranza, J.L. (2013), Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- Ramírez-Flores, F.A. (2014), Implementación del Método de las 5S Taller de Fabricación de Recubrimiento Aster Chile Ltda. Universidad del BIO-BIO.
- Real Decreto 543/2007, de 27 de abril, por el que se determinan las normas de seguridad y de prevención de la contaminación a cumplir por los buques pesqueros menores de 24 metros de eslora (L). <https://www.boe.es/boe/dias/2007/06/01/pdfs/A23806-23891.pdf>
- REAL DECRETO 1216/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo a bordo de 105 buques de pesca. <https://www.boe.es/boe/dias/1997/08/07/pdfs/A24070-24078.pdf>
- Ruiz de Aguiar-Díaz-Obregón, P. (2009), Buque pesquero polivalente: palangrero congelador y nasero para especies vivas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Universidad Politécnica de Madrid.
- Salas, A. (2015), Mantenimiento General. UNEFA.
- Salazar-Jiménez, J.A. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales. *Tecnología en marcha* 3(28), 127-136.
- Sesé-Rodríguez, E. (2014). Mantenimiento preventivo de la corrosión aplicado a la obra viva del buque. Escuela Técnica Superior de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval. Universidad De La Laguna.
- Velázquez-Sánchez, J.A. (2010). Arrastrero congelador factoría de fondo y pelágico. Escuela técnica Superior de Ingenieros Navales. Universidad de Gijón.
- Wabakken, I. (2015), Application of RCM to Construct a Maintenance Program for a Maritime Vessel, Norwegian University of Science and Technology.
- Wang, J., Pillay, A. y Mokashi, A. (2010). Application of reliability centred maintenance in ship operations. Safety and Reliability of Industrial Products, Systems and Structures. CRC Press.
- White, G. (1990). *Introducción al Análisis de Vibraciones*. Azlma DLI. <https://docplayer.es/34327882-Introduccion-al-analisis-de-vibraciones.html>
- (3 de junio de 2016). Mantenimiento Industrial con Realidad Aumentada [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=MfxAzMpDmFA>

## **Capítulo 9. Anexos**

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO LOCAL DEL FALLO	EFECTO GLOBAL DEL FALLO	GRAVEDAD (S)	CAUSAS	OCURRENCIA	MÉTODO DE CONTROL	PERIODO DE CONTROL	MÉTODO DE DETECCIÓN	DETECTABIL	NPR		
<b>SUBSISTEMA DE ACEITE DE LUBRICACIÓN</b>														
Lubricar las partes o componentes móviles del motor para evitar la fricción o el desgaste	Incapacidad de transferir el aceite para llevar a cabo la lubricación de las partes móviles y eliminar la fricción entre componentes	1,1	Falta de presión en la línea	1,1,1	Nivel bajo de aceite en la línea	Sobrecalentamiento del motor y pérdida de rendimiento	10	Bomba de aceite dañada	2	Mantenimiento Preventivo. Desmontar la bomba, inspeccionar visualmente los componentes dañados	Inspección de la bomba cada 12000 horas	Medición de la presión de la línea de aceite	4	80
							8	Viscosidad del aceite inferior a la adecuada	6	Mantenimiento Preventivo. Cambiar el aceite lubricante.	Análisis de aceites cada 1000 horas	Análisis de la viscosidad del aceite	1	48
			Alta presión de aceite en la línea	1,1,2	Exceso de aceite en la línea	Presencia de humo negro (gases de escape contaminados)	8	Viscosidad del aceite elevada	6	Mantenimiento Preventivo. Cambiar el aceite lubricante	Análisis de aceites cada 1000 horas	Análisis de la viscosidad del aceite	1	48
							7	Resorte de la válvula de alivio dañada o válvula de alivio dañada	4	Mantenimiento Preventivo. Desmontar, limpiar e inspeccionar resorte y válvula de alivio	Desmontaje, limpieza cada 6000 horas. Prueba de funcionamiento cada 12000 horas	Medición de la presión de la línea de aceite	3	84
			Bajo nivel de aceite	1,1,3	Aceite insuficiente en el circuito. Falta de lubricación de los componentes	Sobrecalentamiento del motor y pérdida de rendimiento	8	Pérdida de aceite en el damper	3	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar e inspeccionar componentes del damper. Inspección del retén del cigüeñal, y comprobación de desgaste o grietas mediante ensayos no destructivos	Desmontar y limpiar cada 12000 horas. Inspección visual cada 6000 horas	Inspección visual	3	72
							7	Fugas en el circuito de aceite del motor. Conductos de aceite perforados. Cáster de aceite dañado.	3	Mantenimiento Preventivo. Desmontar conductos, limpieza e inspección visual.	Desmontar y limpiar cada 12000 horas. Inspección visual cada 6000 horas	Inspección visual de los conductos de lubricación y del cárter	4	84
			Aceite en el escape	1,1,4	Contaminación de los gases de escape	Emisiones contaminantes a la atmósfera	9	Fallo en la lubricación de las culatas o asientos de válvulas de admisión y escape desgastados, permitiendo entrada de aceite en cámara de combustión	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y mediciones de los asientos de válvulas. Si no es posible deben sustituirse por otros nuevos.	Cada 12000 horas.	Análisis de aceite	5	90
							6	Actividad operativa del motor sin carga durante un periodo de tiempo elevado	2	Mantenimiento predictivo. No hacer funcionar el motor sin carga durante tiempos prolongados. Especificación del fabricante.	Pruebas de funcionamiento del motor variando las revoluciones	2	24	
			Bomba de aceite dañada o desgastada	1,1,5	No hay circulación de aceite en la línea	Parada del motor	6	Fuga de aire en el conducto de aspiración de la bomba de aceite	2	Mantenimiento Preventivo. Sustitución de las juntas de estanqueidad	Sustituir juntas cada 12000 horas	Control de presión de la línea	6	72
							7	Distribución o piñón desgastado	3	Mantenimiento predictivo. Control del caudal de la bomba mediante sensor de presión y caudalímetro a la salida de la bomba. Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección mediante ensayos no destructivos.	Comprobación periódica de los sensores y caudalímetro. Desmontaje, limpieza y ensayos no destructivos cada 12000 horas.	Comprobación de presión con sensor de presión en la línea y caudalímetro a la salida de la bomba	2	42

							9	Válvulas de regulación o de sobrepresión dañadas	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar y limpiar la válvula. Realizar prueba de funcionamiento. Control de presión mediante sensores o caudalímetro a la salida de la bomba	Comprobación periódica de los sensores y caudalímetro. Desmontaje, limpieza, inspección visual y prueba de funcionamiento cada 12000 horas.	Comprobación de presión con sensor de presión en la línea. Realizar una prueba de funcionamiento	4	72
			Desealineación del pistón con la camisa	1,1,6	Gripaje en el motor	Parada del motor	7	Segmentos o aros del pistón dañados	2	Mantenimiento preventivo. Sustituir los aros de pistón	Sustitución de los aros de pistón cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	6	84
			Conductos de aceite taponados	1,1,7	No hay circulación de aceite en la línea	Pérdida de presión en el circuito	6	Partículas contaminantes transportadas por el aceite	3	Mantenimiento preventivo. Desmontar y limpiar los conductos de aceite. Mantenimiento correctivo. Cambiar el aceite	Análisis de aceites cada 1000 horas	Análisis de aceite	2	36
			Filtro de aceite dañado	1,1,8	Incapacidad de filtrar todo el caudal de aceite que entra al filtro	Contaminación de la línea de aceite	3	Cartuchos o papel filtrante desgastados	4	Mantenimiento preventivo. Sustituir los cartuchos o papel filtrante	Sustituir los cartuchos cada 1000 horas	Análisis de aceite	2	24
Mantener la temperatura del aceite en los rangos óptimos de operatividad	Temperatura demasiado elevada del aceite o fuera de los rangos o valores óptimos	2,1	Formación de depósitos	2,1,1	Contaminación del aceite y contaminación de la línea de aceite y componentes	Pérdida de rendimiento del motor	8	Contaminación excesiva del aceite en el cárter por sustancias procedentes de las cámaras de combustión	4	Mantenimiento preventivo. Tomas de muestras	Análisis de aceites cada 1000 horas	Análisis de aceite	2	64
							9	Contaminación del aceite por agua	4	Mantenimiento preventivo. Tomas de muestras	Análisis de aceites cada 1000 horas	Análisis de aceite	2	72
			Mezcla de combustible con aceite en el cárter	2,1,2	Pérdida de aditivos y propiedades del aceite	Parada del motor	5	Fugas en las tuberías de alta presión de combustible o en la bomba de inyección	3	Mantenimiento preventivo. Reacondicionar fugas en las tuberías o sustituir por unas nuevas. Cambio de los anillos tóricos de estanqueidad de la bomba	Desmontaje, limpieza, inspección visual y sustitución de juntas cada 12000 horas.	Análisis de aceite	5	75
							8	Holgura entre el pistón con la camisa o cilindro demasiado grande	2	Mantenimiento preventivo. Sustituir los pistones por unos nuevos y/o la camisa	Sustitución de los pistones cada 12000 horas	Análisis de aceite. Medición de holgura con dispositivo	7	112
			Temperatura de la pared del cilindro demasiado elevada	2,1,3	Daño en la película de aceite	Pérdida de rendimiento del motor	7	Falta de aceite en las paredes del cilindro	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar, ensayos no destructivos y bruñir camisas.	Desmontar, limpiar y bruñir cada 12000 horas	Termografía	4	56
			Sensor de temperatura dañado	2,1,4	Falta de información de la temperatura del motor	Parada del motor	7	Cortocircuito	2	Mantenimiento preventivo. Prueba de funcionamiento periódica. Mantenimiento correctivo. Cambiar el sensor	Periódicamente	Comprobación del funcionamiento del sensor mediante prueba de voltaje	2	28
			Refrigerar el motor	Sobrecalentamiento de las partes móviles del motor	3,1	Mezcla de agua y aceite	3,1,1	Sobrecalentamiento del motor	Pérdida de rendimiento del motor	9	Junta de estanqueidad de agua de refrigeración de la culata dañada	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza e inspección visual.	Desmontaje, inspección visual y sustitución de la junta cada 6000 horas
9	Enfriador de aceite está dañado	2								Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar e inspección visual. Prueba de presión y estanqueidad del enfriador.	Desmontaje, limpieza, inspección visual y prueba hidráulica cada 12000 horas.	Inspección visual	7	126

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFFECTO LOCAL DEL FALLO	EFFECTO GLOBAL DEL FA	GRAVEDAD	CAUSAS	OCURENCI	MÉTODO DE CONTROL	PERIODO DE CONTROL	MÉTODO DE DETECCIÓN	DETECTABIL	NPR		
<b>SUBSISTEMA DE LÍQUIDO REFRIGERANTE</b>														
Refrigeración: Refrigerar todos los sistemas del motor (aceite de lubricación, de combustible, de admisión de aire, de gases de escape, de las cámaras de combustión)	Incapacidad de refrigerar total o parcialmente los sistemas del motor y sus componentes	1,1	La bomba de la bomba de agua dulce está averiada o dañada	1,1,1	El equipo es incapaz de suministrar la presión de agua mínima para que llegue el caudal necesario a todos los sistemas y componentes del motor	Pérdida de rendimiento del motor y sobrecalentamiento del mismo debido a la incapacidad de refrigerar correctamente todos los sistemas y componentes	10	El rotor está dañado	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar y realizar ensayos no destructivos. Mantenimiento predictivo. Colocación de caudalímetro a la salida de la bomba y sensor de presión al final del sistema.	Desmontaje, limpieza, y ensayos no destructivos cada 12000 horas.	Análisis de vibraciones. Comprobación sensor de presión de la línea	3	60
							8	El piñón o el engranaje está desgastado	3	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar y realizar ensayos no destructivos	Desmontaje, limpieza y ensayos no destructivos cada 12000 horas..	Inspección visual	6	144
							7	Anillos o juntas de estanqueidad están desgastados	4	Mantenimiento preventivo. Sustituir anillos o juntas de estanqueidad	Sustituir anillos o juntas de estanqueidad cada 12000 horas	Se puede realizar una inspección visual o realizar una prueba de estanqueidad de la bomba	6	168
							6	Se producen vibraciones debido a componentes mal fijados o por entrada de aire al interior de la bomba	4	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar, inspección visual y comprobación de los pares de apriete de los componentes y la estanqueidad de las zonas de aspiración para evitar la entrada de aire.	Desmontar, limpiar y comprobar pares de apriete y estanqueidad de las zonas de aspiración cada 12000 horas.	Análisis de vibraciones	2	48
							7	Los conductos de aspiración están obstruidos	4	Mantenimiento preventivo. Desmontar los conductos y limpieza	Desmontar y limpiar cada 1000 horas.	Control de presión de la línea	5	140
		1,1	Enfriador de aceite de lubricación está dañado o averiado	1,1,2	No hay transferencia de calor entre el aceite y el agua lo que ocasiona que el aceite no tenga las condiciones optimas de funcionamiento. Se puede producir también la mezcla de agua y aceite.	Se produce un sobrecalentamiento del motor por la falta de aceite en el circuito y la mala refrigeración de este, provocando la pérdida de rendimiento del motor o incluso la parada del mismo.	9	Fugas internas o externas a través de los tubos de refrigeración mezclándose agua y aceite	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar haz de tubos y carcasa, inspección visual, realizar prueba hidráulica y de presión.	Desmontar, limpiar y prueba hidráulica y de presión cada 12000 horas. Inspección visual cada 6000 horas	Control de presión de la línea. Análisis de agua y aceite	4	72
							7	Suciedad en el haz tubular	3	Mantenimiento preventivo. Desmontar y limpieza	Desmontaje y limpieza cada 12000 horas	Análisis de aceite	3	63
							3	Grietas o daños superficiales en la carcasa del enfriador de aceite	5	Mantenimiento preventivo. Inspección visual	Inspección visual cada 1000 horas	Inspección visual	2	30
		1,1,3	Fallo en la válvula termostática o termostato	1,1,3	No puede regular correctamente la temperatura del líquido refrigerante para enfriar los sistemas y componentes del motor	Pérdida de rendimiento debido a la falta de refrigeración	8	Fugas en la válvula termostática	2	Mantenimiento preventivo. Inspección visual	Desmontaje, limpieza y prueba cada 1000 horas	Inspección visual	2	32
							7	Resorte está dañado o desgastado	3	Mantenimiento preventivo. Desmontar válvula, limpieza y sustitución del resorte.	Desmontaje, limpieza y prueba cada 1000 horas	Análisis de vibraciones	5	105
							9	Mal ajuste del tornillo de tarado está desgastado o dañado (filetes de rosca desgastados por apriete excesivo o insuficiente)	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpieza, y prueba de funcionamiento	Desmontaje, limpieza y prueba cada 1000 horas	Análisis de vibraciones	5	90

			Los conductos o tuberías están dañadas o desgastadas	1,1,4	Pérdida de estanqueidad en la línea provocando pérdida del líquido refrigerante	Pérdida de rendimiento en el motor por falta de refrigeración	8	Fugas en los conductos	2	Mantenimiento preventivo. Inspección visual	Inspección visual cada 1000 horas	Inspección visual	2	32	
							7	Se producen grietas o daños en las tuberías y conexiones	3	Mantenimiento preventivo. Inspección visual	Inspección visual cada 1000 horas	Inspección visual	2	42	
							8	Las bridas de unión entre conductos están desgastadas o mal apretadas	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar, inspección visual	Inspección visual cada 1000 horas	Inspección visual	4	64	
				El enfriador de aire o intercooler está dañado o sufre alguna avería en sus componentes	1,1,5	Incapacidad de refrigerar el aire para su correcto uso en el sistema	Falta de refrigeración del aire de admisión	9	Fugas en los conductos	3	Mantenimiento preventivo. Desmontar e inspección visual	Desmontaje cada 12000 horas.	Comprobación de presión de la línea	3	81
			Fallo en las camisas del motor	1,1,6	Pérdida de aceite de lubricación en las camisas provocando que no haya una transferencia de calor con el líquido refrigerante. Además, se produce filtraciones de agua en la cámara de combustión.	Rotura del motor por entrada de agua a la cámara de combustión. Consumo excesivo de aceite, y mezcla de agua con aceite.	9	Se producen cavitaciones en la pared exterior de las camisas debido a las vibraciones	2	Mantenimiento preventivo. Comprobación de las camisas	Comprobación de las camisas cada 6000 horas	Análisis de vibraciones	3	54	
							9	Se producen grietas debido al movimiento axial	2	Mantenimiento preventivo. Comprobación de las camisas	Comprobación de las camisas cada 6000 horas	Análisis de vibraciones	3	54	
Protege los elementos del sistema de refrigeración (bombas y tuberías principalmente)	No protege de forma adecuada los componentes frente a los posibles daños que puedan aparecer	2,1	Fallo en el filtro	2,1,1	Intrusión de elementos contaminantes	Daños en la bomba de agua	8	Se producen fugas del interior del filtro	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar e inspección visual	Inspección visual cada 1000 horas	Inspección visual	3	48	
			El tanque de expansión está dañado	2,1,2	Incapacidad de producir una presión suficiente a la bomba de agua para evitar la cavitación	Daños en la bomba de agua	7	Se detecta un fallo en el medidor de nivel debido a fugas o que el detector está dañado	2	Mantenimiento preventivo. Inspección visual. Mantenimiento correctivo: sustituir detector de nivel	Inspección visual cada 1000 horas	Inspección visual	3	42	
							8	Fugas del líquido ocasionadas por corrosión o incorrecta unión de uniones embridadas	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar, Limpieza e inspección visual	Mantenimiento cada 6000 horas	Inspección visual	4	64	

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFFECTO LOCAL DEL FALLO	EFFECTO GLOBAL DEL FALLO	GRAVEDAD	CAUSAS	OCURRENCIA	MÉTODO DE CONTROL	PERIODO DE CONTROL	MÉTODO DE DETECCIÓN	DETECTABILIDAD	NPR	
<b>SUBSISTEMA DE COMBUSTIBLE</b>													
Suministrar el cadual de	No se consigue	Presión baja en la línea de combustible	1,1,1	Cantidad insuficiente de combustible en las cámaras de combustión	Pérdida de rendimiento del motor por mala combustión	10	La bomba de inyección está dañada o no funciona correctamente	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpieza, inspección visual y comprobación de componentes mediante ensayos no destructivos	Desmontaje, limpieza, y comprobación de componentes mediante ensayos no destructivos cada 12000 horas.	Análisis de vibraciones	4	80
						8	El filtro de combustible está obstruido	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y sustitución de cartucho filtrante.	Desmontaje, limpieza y sustitución del filtro cada 1000 horas	Medición de presión con manómetro	3	72
						10	La bomba de alimentación está dañada o no funciona correctamente	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpieza, inspección visual y comprobación de componentes mediante ensayos no destructivos	Desmontaje, limpieza, y comprobación de componentes mediante ensayos no destructivos cada 12000 horas.	Análisis de vibraciones	4	80
						9	La válvula de apertura del tanque de combustible está dañada o desgastada	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual y comprobación de apertura de válvula diraria. Mantenimiento correctivo. Sustituir la válvula de apertura del tanque	Comprobación apertura de la válvula periódicamente. Inspección visual cada 1000 horas.	Inspección visual	6	108
						8	Sensor de alarma de presión de combustible dañado	2	Mantenimiento preventivo. Calibración de sensores. Inspección visual del cableado. Prueba de funcionamiento periódica. Mantenimiento correctivo. Sustitución de sensores	Calibración cada 6000 horas	Inspección visual	1	16
						9	Viscosidad del combustible baja	2	Mantenimiento preventivo. Cambio del combustible	Análisis de combustible cada 1000 horas	Análisis de combustible	1	18
						8	Mal tarado del inyector	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y comprobación de apertura de inyectores.	Comprobación de apertura cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	5	80
						7	Fugas en las tuberías de baja presión o de alta presión de combustible	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, inspección visual y limpieza. Mantenimiento correctivo. Reparar fugas	Inspección visual cada 1000 horas. Desmontaje y limpieza cada 12000 horas.	Inspección visual	2	42
						9	Viscosidad del combustible alta	2	Mantenimiento preventivo. Cambio del combustible	Análisis de combustible cada 1000 horas	Análisis de combustible	1	18
						8	La aguja del inyector está pegada por lo que necesita mayor presión de combustible	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y comprobación de apertura de inyectores.	Comprobación de apertura cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	5	80
						8	Mal tarado del inyector	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y comprobación de apertura de inyectores.	Comprobación de apertura cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	5	80

combustible desde el depósito a las cámaras de combustión	suministrar el caudal necesario a las cámaras de combustión	1.1	Alta presión de combustible en la línea	1,1,2	Cantidad de combustible elevada en las cámaras de combustión. Presencia de combustible en el cárter, ocasionando la mezcla de aceite y combustible	Pérdida de rendimiento del motor por mala combustión	8	Sensor de alarma de presión de combustible dañado	2	Mantenimiento preventivo. Calibración de sensores. Inspección visual del cableado. Prueba de funcionamiento periódica. Mantenimiento correctivo. Sustitución de sensores	Calibración cada 6000 horas	Comprobación del sensor de alarma	2	32		
								9	Tobera del inyector está parcialmente obstruida	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza e inspección visual	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	5	135	
									8	Presión alta de tarado de la válvula de retorno de la bomba al tanque	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual y comprobación de apertura de la válvula de retorno.	Comprobación de apertura de la válvula cada 12000 horas	Comprobación de la presión con sensor de presión o manómetro	2	32
			Fallo en la bomba de inyección	1,1,3	Cantidad insuficiente de combustible en las cámaras de combustión	Parada del motor	9	El regulador de inyección está averiado	2	Mantenimiento preventivo. Ajustar el regulador de inyección. Mantenimiento correctivo. Sustituir el regulador de inyección.	Comprobación del funcionamiento del regulador cada 12000 horas		5	90		
							8	Suciedad o partículas contaminantes en la bomba	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza e inspección visual	Cada 12000 horas	Análisis de combustible	1	24		
							7	Aire en las tuberías de combustible	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza e inspección visual. Mantenimiento correctivo. Purgar el aire de las tuberías	Purgar el aire de las tuberías periódicamente. Inspección visual cada 1000 horas. Desmontaje y limpieza cada 12000 horas	Manómetro de presión	3	42		
							8	Árbol de levas de la bomba desgastado	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual y ensayos no destructivos y medición de valores y holguras.	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	4	64		
							8	Casquillos desgastados	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual y ensayos no destructivos y medición de valores y holguras.	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	4	64		
							9	Rueda dentada desgastada	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual y ensayos no destructivos y medición de valores y holguras.	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	4	72		
							7	Filtro de combustible está obstruido	4	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y sustitución de cartucho filtrante.	Desmontaje, limpieza y sustitución del filtro cada 1000 horas	Medición de presión con manómetro	2	56		
			Mala pulverización del combustible en la cámara de combustión	1,1,4	Cantidad de combustible elevada en las cámaras de combustión. Presencia de combustible en el cárter, ocasionando la mezcla de aceite y combustible	Pérdida de rendimiento del motor por mala combustión	9	Tobera del inyector está parcialmente obstruida	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza e inspección visual	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	5	135		
							8	Resorte del inyector está desgastado	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza e inspección visual	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	2	48		
			Fugas de combustible en las tuberías de inyección	1,15	Falta de presión de combustible en la bomba de inyección	Mala combustión y por tanto pérdida de rendimiento en el motor	8	Racores de conexión con tuberías dañados	3	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar e inspección visual. Mantenimiento correctivo. Sustitución de racores	Cada 12000 horas	Inspección visual	3	72		



Suministrar el caudal de aire necesario a las cámaras de combustión para que se pueda realizar el fenómeno de combustión	Incapacidad de suministrar el caudal de aire necesario a las cámaras de combustión	1,1	Humo negro o azulado en el escape	1,1,3	Cotaminación de los colectores de escape y suciedad en el turbocompresor	Emision de parículas contaminntes al exterior. Mala combustión y contaminación del aceite de lubricación	9	Inyectores están desgastados o dañados	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza e inspeccion visual	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	4	72
							9	Válvulas de admisión y escape desgastadas	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspeccion visual. Mantenimiento correctivo. Sustitucion de las válvulas	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	4	72
							8	Aceite en los conductos de admision	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza e inspeccion visual	Cada 12000 horas	Inspeccion visual	2	32
			Contaminacion o suciedad en la línea de admisión	1,1,4	Partículas contaminantes o extrañas llegan a los cilindros	Mala combustión y formación de carbonilla. Perdida de rendimiento del motor	8	Filtro de Aire obstruido	3	Mantenimiento preventivo. Cambiar cartuchos filtrantes	Cada 1000 horas	Inspeccion visual	3	72
							8	La juntas de estanqueidad de los colectores están desgastadas	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y sustitucion de juntas	Cada 6000 horas	Medicion de presión de caudal de aire con manómetro	3	48
			Fuga en la camisa del cilindro	1,1,5	Falta de aire en las cámaras de combustión	Perdida de potencia y rendimiento. Parada del motor	9	Grietas o daños en as paredes del cilindro	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual y bruñido de las camisas	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	4	72
							9	Cabeza del pistón está desgastada	3	Mantenimeinto preventivo. Sustituir pistones	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	5	135
			Fallo en las culatas	1,1,6	Falta de aire en las cámaras de combustión	Perdida de potencia y rendimiento	10	Asientos de válvulas de admision y escape desgastados	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y mediciones de los asientos de válvulas. Si no es posible deben susituirse por otros nuevos.	Desmontar, limpiar, control dimensional cada 12000 horas.	Analisis de vibraciones	4	80
							9	Mal reglaje de los taqués y empujadores de válvulas	2	Mantenimeinto preventivo. Inspeccion de los taqués y limpieza	Cada 6000 horas	Analisis de vibraciones	4	72
							8	Resorte de las válvulas está dañado	2	Mantenimiento preventivo. Sustituir los resortes	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	4	64



FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFEECTO LOCAL DEL FALLO	EFEECTO GLOBAL DEL FALLO	GRAVEDAD	CAUSAS	OCURRENCIA	MÉTODO DE CONTROL	PERIODO DE CONTROL	MÉTODO DE DETECCIÓN	DETECTABILIDAD	NPR		
<b>SUBSISTEMA DE EXHAUSTACIÓN</b>														
Transportar los gases de escape desde las cámaras de combustión y expulsarlos a la atmósfera	Incapacidad de evacuar los gases de la combustión	1,1	Fugas en los colectores de escape	1,1,1	Daños en la línea de exhaustación, daños en los componentes externos del motor como consecuencia de las elevadas temperaturas, pérdida de caudal de gases de escape para alimentar al turbocompresor	Aumento de temperatura del motor y del medio exterior, pérdida de rendimiento del motor, parada del motor	9	Juntas o conexiones dañadas o desgastadas	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar, inspección visual y sustitución de juntas	Cada 6000 horas	Inspección visual	4	72
							9	Exceso de vibración que provoca desajuste de fijaciones de los conductos	3	Mantenimiento preventivo. Sustitución de los tornillos de las fijaciones de los conductos	Cada 6000 horas	Inspección visual	3	81
			Temperatura elevada de los gases de escape	1,2,1	Puede dañar los álabes de la turbina del turbocompresor, produce un sobrecalentamiento de la línea de exhaustación, incapacidad del sistema de refrigeración de disminuir la temperatura, daños en el silenciador	Sobrecalentamiento del motor	10	Bomba de líquido de refrigeración dañada	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, control de holguras y ensayos no destructivos	Desmontaje, limpieza, control de holguras y ensayos no destructivos cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	4	80
							9	Fugas en los conductos de líquido de refrigeración	2	Mantenimiento preventivo. Inspección visual	Cada 1000 horas	Inspección visual	2	36
							8	Presión del caudal del líquido refrigerante baja	2	Mantenimiento preventivo. Comprobar presión de la línea de refrigeración	Periodicamente	Sensor de presión a la salida de la bomba	1	16

Alimentar al turbocompresor para que realice la función de admisión de aire	Fallo de alimentación del turbocompresor	1,2					8	Válvula de descarga de gases de escape dañada	2	Mantenimeinto preventivo. Comprobación de apertura de la válvula de descarga	Periódicamente	Sensor de presión a la salida de la válvula de descarga	1	16
							8	Aceite en las cámaras de combustión debido a fugas en la culatas	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza e inspección visual.	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	4	64
			Aceite en los colectores de escape	1,2,2	Emision de humos al exterior, disminucion del nivel de aciete en el sistema provocando perdida de lubricacion de los componenets del motor	Perdida de rendimiento del motor y parada del motor	8	Grietas en los colectores	3	Mantenimiento preventivo. Inspeccion visual	Cada 1000 horas	Inspeccion visual	1	24
							8	Juntas de estanqueidad dañadas	3	Mantenimeinto preventivo. Sustituir juntas de estanqueidad	Cada 6000 horas	Analisis de vibraciones	3	72
Control de la contaminación porvocada por la quema del combsutible	Mala combustión de los gases de escape en las camaras de combustion	1,3	Filtro de aire obstruido	1,3,1	Contaminación de los colectores de escape y suciedad en el turbocompresor	Emision de partículas contaminantes al exterior. Mala combustión y contaminación del aceite de lubricación	8	Partículas o sustancias extrañas contaminantes	3	Mantenimiento preventivo. Cambiar cartucho filtrante	Cada 1000 horas	Inspeccion visual	3	72
							9	Fugas en el inyector de la culata al estar dañados o desgastados	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza e inspeccion visual	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	4	72
			Humo negro o azulado a la salida de los gases de escape	1,3,2	Problemas en el filtro de aire, en el regulador de combustible, disminución del nivel de aceite del motor como consecuencia de fugas y mezcla con gases de escape	Pérdida de rendimiento del motor y parada del motor	9	Aceite en el interior de la turbina como consecuencia de falta de estanqueidad ocasionada por el desgaste de los casquillos	2	Mantenimiento preventivo. Sustitución de casquillos.	Cada 6000 horas	Inspección visual	2	36

							<b>9</b>	Válvulas de admisión y escape desgastadas	<b>2</b>	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual. Mantenimiento correctivo. Sustitución de las válvulas	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	<b>4</b>	<b>72</b>
Disminuir el ruido provocado por el motor	Exceso de ruido del motor	1,4	Silenciador de gases de escape averiado	1,4,1	Salida de gases de escape sin atenuación de ruido. Contaminación acústica	Vibraciones y ruido excesivos en el motor	<b>8</b>	Obstrucciones en el silenciador	<b>3</b>	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar e inspección visual	Cada 6000 horas	Análisis de ultrasonidos	<b>2</b>	<b>48</b>

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO LOCAL DEL FALLO	EFECTO GLOBAL DEL FALLO	GRAVEDAD (	CAUSAS	OCURRENCIA	MÉTODO DE CONTROL	PERIODO DE CONTROL	MÉTODO DE DETECCIÓN	DETECTABILID	NPR		
<b>COMPONENTES MECÁNICOS</b>														
			Fallo ocasionado por el mal funcionamiento del cigüeñal	1,1,1	Pérdida de rendimiento, no se transmite correctamente el movimiento rotativo al eje de la reductora, desgaste de casquillos o rodamientos	Parada del motor	9	Corrosión por picaduras en las muñequillas y/o apoyos	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual, ensayos no destructivos. Mantenimiento correctivo. Rectificado del cigüeñal	Cada 12000 horas	Análisis de aceite	5	90
							9	Desgaste de las muñequillas y/o apoyos	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual, ensayos no destructivos, control dimensional y pulido del cigüeñal	Cada 12000 horas	Análisis de aceite	3	54
							10	Desequilibrado del cigüeñal	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual, ensayos no destructivos y equilibrado del cigüeñal	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	3	60
							9	Rotura del retén de aceite	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual, ensayos no destructivos.	Cada 12000 horas	Inspección visual	4	108
							9	Desgaste en los casquillos de cabeza de biela	3	Mantenimiento preventivo. Ssutición de los casquillos de cabeza de biela.	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	4	108
							8	Falta de lubricación en el pie de biela y por tanto en el bulón que une la biela y pistón	2	Mantenimiento preventivo. Verificación de la presión de aceite en la línea	Periódicamente	Sensores de presión de aceite	2	32

Se encargan de transformar la energía que proviene de la combustión en energía rotativa	Incapacidad de transmitir el movimiento rotativo	1,1	Fallo ocasionado en el tren alternativo (biela-pistón)	1,1,2	Pérdida de rendimiento, incapacidad de que se produzca la combustión en las cámaras de combustión, pérdida de compresión debido al desgaste de los segmentos de pistón, mezcla de aceite con combustible	Parada del motor	9	Desequilibrio de paralelismo y reviro entre los centros de cabeza de biela y pie de biela, ocasionando desequilibrio en el tren alternativo	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, ensayos no destructivos, medición tridimensional	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	4	72
							8	Grietas en el cuerpo de la biela ocasionadas por el exceso de vibración	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, ensayos no destructivos, medición tridimensional	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	6	96
							10	Rotura de los pernos de biela ocasionados por el exceso de vibraciones	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, ensayos no destructivos, medición tridimensional. Mantenimiento correctivo. Sustitución de los pernos de cabeza de biela	Cada 12000 horas	Análisis de ultrasonidos	4	80
							7	Segmentos o aros del pistón desgastados	2	Mantenimiento preventivo. Sustitución de los aros de pistón	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	6	84
							9	Cabeza del pistón desgastada	3	Mantenimiento preventivo. Sustitución de las cabezas de pistón	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	5	135
			Fallo en el árbol de levas	1,1,3	Pérdida de rendimiento, mal contacto con los empujadores y taqués, apertura incorrecta de las válvulas de admisión y escape	Parada del motor	9	Desgaste en las levas	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, control dimensional y ensayos no destructivos	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	3	54
							9	Corrosión en los apoyos	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, control dimensional, ensayos no destructivos y pulido de los apoyos	Cada 12000 horas	Análisis de aceite	5	90

				10	Desequilibrado del árbol de levas	2	Mantenimiento preventivo. Equilibrado del eje de levas	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	3	60
Fallo en las culatas	1,1,4	Incapacidad de que se lleve a cabo el fenómeno de combustión	Parada del motor	9	Válvulas de admisión y escape desgastadas	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual. Mantenimiento correctivo. Sustitución de las válvulas	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	4	72
				10	Junta de la culata en la cara de compresión dañada	2	Mantenimiento preventivo. Sustituir la junta de culata	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	5	100
				9	Corrosión por cavitaciones	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, bruñido, ensayos no destructivos. Mantenimiento correctivo. Rectificado de las camisas	Cada 12000 horas	Termografía	4	108
Fallo en las camisas	1,1,5	Problemas en las cámaras de combustión, aumento de la temperatura del motor, fugas de agua de refrigeración y mezcla de agua y aceite en el cárter	Parada del motor	9	Anillos tóricos de estanqueidad dañados provocando fugas de agua de refrigeración	3	Mantenimiento preventivo. Sustitución de los anillos tóricos	Cada 12000 horas	Análisis de aceite	3	81
				7	Falta de lubricación de aceite en las paredes de la camisa provocando gripaje	2	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar y bruñir camisas.	Cada 12000 horas	Termografía	4	56
Fallo en el sistema de distribución	1,1,6	No hay movimiento de los componentes móviles	Parada del motor	9	Rotura de las correas de distribución	5	Mantenimiento preventivo. Sustitución de las correas de distribución	Cada 1000 horas	Inspección visual	3	135

Reducir el rozamiento que se produce entre los ejes y las piezas sobre las que rotan	Desgaste de la película antifricción de los componentes	1,2	Fallo en los cojinetes	1,2,1	Falta de lubricación de las muñequillas y apoyos del eje de levas provocando desgaste, gripado del propio cojinete, vibraciones y ruidos	Pérdida de rendimiento	8	Aceite contaminado	2	Mantenimiento preventivo. Toma de muestras de aceite	Cada 1000 horas	Análisis de aceite	4	64
							9	Holgura entre superficie cojinete y eje excesiva	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y control dimensional	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	5	90
							9	Suciedad debido a la falta de limpieza durante el montaje de los cojinetes a motor	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y control dimensional	Cada 12000 horas	Inspección visual	2	36
							9	Daño por fatiga del cojinete	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y control dimensional	Cada 12000 horas	Análisis de vibraciones	3	54

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO LOCAL DEL FALLO	EFECTO GLOBAL DEL F	GRAVEDAD	CAUSAS	OCURREN	MÉTODO DE CONTROL	PERIODO DE CONTROL	MÉTODO DE DETECCI	DETECTABI	NPR		
<b>REDUCTORA</b>														
			Engranajes dañados o desgastados	1,1,1	Vibraciones en los componentes de la reductora, ruidos de los componentes	Pérdida de rendimiento y parada de la reductora	9	Desgaste ocasionado por la falta de lubricacion	3	Mantenimiento preventivo.Revisar el nivel de aceite	Periodicamente	Analisis de vibraciones y analisis de ultrasonidos	3	81
							9	Holgura de dientes excesiva	2	Mantenimiento preventivo. Medicion de holguras de dientes.	Cada 6000 horas	Analisis de vibraciones y analisis de ultrasonidos	4	72
							9	Grietas o fisuras internas y externas	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspeccion visual y ensayos no destructivos.	Cada 6000 horas	Analisis de vibraciones y analisis de ultrasonidos	4	72
							9	Desquilibrio ocasionado por las vibraciones	2	Mantenimiento preventivo. Comprobación de equilibrado de engarnajes	Cada 6000 horas	Analisis de vibraciones y analisis de ultrasonidos	3	54
			Fallo en la bomba de lubricacion	1,1,2	Incapacidad de lubricar los componentes moviles de la reductora, aumento de la temperatura de la reductora	Perdida de rendimiento, rotura de engranajes y piezas móviles, aumento de la temperatura, parada de la reductora	10	Eje dañado o desgastado	3	Mantenimiento preventivo. Limpieza, inspeccion visual y ensayos no destructivos	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	3	90
							9	Junta de estanqueidad dañada o desgastada	3	Mantenimietno preventivo. Sustitucion de la junta de estanqueidad	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	3	81
							9	Válvula de sobrepresión dañada	3	Mantenimietno preventivo. Desmontaje, limpieza y comprobacion de la presion de la valvula. Mantenimiento correctivo. Sustituir la valvula de sobrepresión	Desmontaje, limpieza y comprobacion de presion de funcionamiento cada 12000 horas.	Sensor de presión a la salida de la bomba	2	54

Reducir la velocidad de giro originada por el cigüeñal del motor principal y transmitirla al eje de la hélice	Incapacidad de reducir la velocidad de giro	1,1				9	Engranajes dañados o desgastados	3	Mantenimiento preventivo. Limpieza, inspección visual, comprobación de holguras y ensayos no destructivos	Cada 6000 horas	Analisis de vibraciones	3	81	
			Desequilibrio con el eje del cigüeñal del motor	1,1,3	Rotura del eje de acoplamiento	Parada de la reductora y del motor principal	10	Acoplamiento elastico mal montado	2	Mantenimiento preventivo. Comprobación de la correcta alineación del eje de la reductora con el acoplamiento elastico	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	3	60
			Temperatura elevada de cojinetes y casquillos	1,1,4	Desgaste de los componentes, gripaje de los componentes	Pérdida de rendimiento, sobrecalentamiento o para del reductor	9	Nivel de aceite es demasiado bajo	3	Mantenimiento preventivo, Medicion de nivel de aceite	Periodicamente	Alarma de bajo nivel de aceite	1	27
							9	Contaminación del aceite	3	Mantenimiento preventivo. Tomar muestras de aceite	Periodicamente	Analisis de aceite	1	27
			Fallo en el sistema de liquido de refrigeración	1,1,5	Aumento de temperatura de todos los componentes de la reductora	Parada de la reductora y del motor principal	9	Presión elevada o baja de la línea de refrigeración	3	Mantenimiento preventivo. Verificación de la presión de la línea de refrigeración	Periodicamente	Sensor de presión o manómetro	2	54
							9	Fugas en los conductos de refrigeración	3	Mantenimiento preventivo. Desmontar, limpiar, inspección visual y sustitución de juntas	Cada 1000 horas	Inspección visual	2	54
							10	Bomba de liquido refrigerante esta dañada o averiada	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual y ensayos no destructivos.	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	3	90
			Fallo en el sistema de distribución	1,1,6	No hay movimiento de los componentes móviles	Parada de la reductora y del motor principal	9	Las correas de la distribución esta dañada	5	Mantenimeinto preventivo. Sustitucion de las correas de distribucion	Cada 1000 horas	Inspección visual	3	135
							10	Bomba de inyección dañada o averiada	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje,limpieza, inspección visual y prueba de funcionamiento	Cada 12000 horas	Sensor de presión o manómetro. Analisis de vibraciones	2	60

			Fallo en el sistema de inyección de combustible	1,1,7	Problemas en la combustión, y desgaste en el resto de componentes	Parada de la reductora y del motor principal	9	Mezcla de aceite y combustible	3	Mantenimiento preventivo. Sustitución de las juntas de la bomba de inyección	Cada 12000 horas	Analisis de combustible	2	54
							9	inyector está averiado	3	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza, inspección visual y prueba de funcionamiento	Cada 12000 horas		4	108

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFFECTO LOCAL DEL FALLO	EFFECTO GLOBAL DEL FALLO	GRAVEDAD	CAUSAS	OCURRENCIA	MÉTODO DE CONTROL	PERIODO DE CONTROL	MÉTODO DE DETECCIÓN	DETECTABILIDAD	NPR		
<b>EJE DE COLA</b>														
Transmitir la potencia de giro desde el motor principal hasta la hélice	Incapacidad de transmitir la potencia de giro a la hélice	1,1	Rotura del eje de cola	1,1,1	Pérdida de la hélice del buque	Parada del buque	10	Desalineación con la hélice	2	Mantenimiento preventivo. Comprobar alineación del eje con la hélice	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	4	80
							9	Vibraciones torsionales altas	3	Mantenimiento preventivo. Comprobar alineación del eje con la hélice	Cada 6000 horas	Analisis de vibraciones	2	54
							9	Las camisas del arbotante estan desgastadas	2	Mantenimiento preventivo. Rectificado de las camisas	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	4	72
							9	Grietas y fisuras ocasionadas por las vibraciones	3	Mantenimiento preventivo. Limpieza, Inspeccion visual y ensayos no destructivos	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	2	54
							10	Daños o ruptura en la parte cónica del eje que se fija a la hélice	2	Mantenimiento preventivo. Inspeccion visual y ensayos no destructivos del eje	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	4	80
		Rotura del eje intermedio	1,1,2	Pérdida de la hélice del buque	Parada del buque	9	Grietas y fisuras ocasionadas por las vibraciones	3	Mantenimiento preventivo. Limpieza, Inspeccion visual y ensayos no destructivos	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	2	54	
10	Desealineacion con la reductora					2	Mantenimiento preventivo. Comprobacion de la alineacion con la reductora	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	2	40			
Transmitir el empuje por la hélice al casco	Problemas para transmitir el empuje al casco del buque	1,2	Picaduras y corrosion en el eje	1,2,1	Perdida del eje	Parada del buque	9	Fallo en la estanqueidad de la bocina	2	Mantenimiento preventivo. Inspeccion de las juntas de estanqueidad de la bocina	Cada 1000 horas	Inspeccion visual	4	72
							9	Fallo del sello de estanqueidad del alojamiento de la camisa de bronce con el eje	2	Mantenimiento preventivo. Inspeccion visual y comprobacion de estanqueidad	Cada 6000 horas	Inspeccion visual	4	72
		Desealineacion de la hélice con el eje	1,2,2	Rotura del eje, pérdida de la helice	Parada del buque	10	Pernos de bronce y chavetas desgastadas o mal apretadas	2	Mantenimiento preventivo. Inspeccion visual y comprobacion de pares de apriete.	Cada 6000 horas	Analisis de vibraciones	3	60	
Soportar la hélice	Problema de soportado de la hélice	1,3	Fatiga de los rodamientos	1,3,1	Aumento de las vibraciones, perdida de alineacion	Parada del buque	9	Sobrecarga debido a un periodo de tiempo elevado	2	Mantenimiento preventivo. Comprobación del nivel de aceite de lubricacion		Analisis de vibraciones	2	36
							9	Falta de lubricación	3	Mantenimiento preventivo. Comprobación del nivel de aceite de lubricacion	Cada 1000 horas	Analisis de aceite	3	81
		Fatiga de los cojinetes de apoyo o chumaceras	1,3,2	9			Vibraciones altas	3			Analisis de vibraciones	2	54	
				8			Presencia de particulas solidas	2	Mantenimiento preventivo. Desmontaje, limpieza y cambio de aceite	Cada 1000 horas	Analisis de aceite	3	48	

			Arbotante dañado	1,3,3			9	Golpes con objetos flotantes, a la deriva o cadenas	3	Mantenimietnto preventivo. Inspeccion visual	Cada 1000 horas	Analisis de vibraciones	4	108
No formar vibraciones peligrosas	Se producen vibraciones	1,4	Vibraciones ocasionadas en el eje	1,4,1	Tensiones en el eje y en los cojinetes y rodamientos	Parada del buque	9	Perdida de la rigidez del eje por acoplamiento	2	Mantenimiento predictivo. Comprobacion de dureza de acoplamiento rígidos	Cada 6000 horas	Analisis de vibraciones	3	54
							10	Desealineamiento del eje	2	Mantenimiento preventivo. Equilibrado del eje	Cada 12000 horas	Analisis de vibraciones	2	40

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFEECTO LOCAL DEL FALLO	EFEECTO GLOBAL DEL FALLO	GRAVEDAD	CAUSAS	OCURRENCIA	MÉTODO DE CONTROL	PERIODO DE CONTROL	MÉTODO DE DETECCIÓN	DETECTABILIDAD	NPR		
<b>HÉLICE</b>														
Transmitir la energía de rotación que le transmite el motor en energía de empuje	Incapaz de transmitir el empuje necesario para el movimiento del barco	1,1	Se produce cavitación	1,1,1	Vibraciones y ruidos, erosión en las palas, pérdida de propiedades de la hélice	Perdida de rendimiento del buque, consumo alto de combustible, pérdida de velocidad	10	Formas geométricas de la hélice mal diseñadas	2	Mantenimiento correctivo. Sustitución de la hélice		Analisis de vibraciones	4	80
							9	Incrustaciones en las palas	4	Mantenimiento preventivo. Limpieza de la hélice.	Cada 6000 horas	Inspección visual. Analisis de ultrasonidos	3	108
			Daños mecánicos	1,1,2	Rotura de las palas, cavitación	Perdida de rendimiento del buque, parada del buque	10	Golpes con objetos flotantes, a la deriva o cadenas	3	Mantenimiento correctivo. Reparar las zonas dañadas		Inspección visual. Analisis de ultrasonidos	3	90
			Desequilibrio de las palas con el núcleo	1,1,3	Cavitaciones, pérdida de potencia	Parada del buque	9	Golpes o manipulación incorrecta	2	Mantenimiento predictivo. Protección de la hélice mediante cobre, caucho para evitar contacto con eslingas			2	36
			Desgaste de las palas	1,1,4	Vibraciones y ruidos, erosión en las palas, pérdida de propiedades de la hélice	Perdida de rendimiento del buque, consumo alto de combustible, pérdida de velocidad	9	Erosión superficial	3	Mantenimiento preventivo. Limpiar, inspección visual y aplicación capa protectora epoxy	Cada 6000 horas	Analisis de vibraciones. Analisis de ultrasonidos	4	108
			Rotura del núcleo	1,1,5	Vibraciones y ruidos, erosión en las palas, pérdida de propiedades de la hélice	Parada del buque	10	Golpes con objetos flotantes, a la deriva o cadenas	2	Mantenimiento predictivo. Colocación de una tobera protectora. Mantenimiento correctivo. Enderezar y pulir la hélice, realizar prueba de equilibrio		Analisis de vibraciones	3	60