Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis racional de repuestos de un Diésel-Generador en un buque militar mediante un proceso analítico jerárquico.

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Ignacio González-Aller Joly

DIRECTORES: Elena Arce Fariña

Andrés Suárez García

AN Lamas López

CURSO ACADÉMICO: 2020-2021

Universidade Vigo

Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis racional de repuestos de un Diésel-Generador en un buque militar mediante un proceso analítico jerárquico.

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

Universidade Vigo

RESUMEN

La sostenibilidad de los buques de la Armada está dirigida a garantizar la operatividad de los equipos y sistemas en el cumplimiento de sus misiones. Tan evidente es esta frase, como que esta sostenibilidad debe alcanzarse con la mayor eficacia y eficiencia posibles.

Este Trabajo Fín de Grado (TFG) tratará de aportar a la Armada una propuesta de solución que, relacionada con los modos de fallo, permita optimizar los repuestos que se deben embarcar y las acciones de mantenimiento a realizar sobre un motor diésel generador de una fragata de la Armada, en el cumplimiento de su misión.

Para ello se empleará la metodología FMECA, que proporciona los modos de fallo de los diferentes componentes del motor. Los relacionaré con sus piezas y repuestos que se componen dicho DDGG, para ello me basaré en las aplicaciones logísticas GALIA y SIGMA-WEB. Con programas en desarrollo como SOPRENE, que predice los fallos del motor asociado a anomalías de funcionamiento, se efectuarán estadísticas de los fallos más frecuentes. Una vez seleccionadas las variables más significativas, se procederá a aplicar un proceso analítico jerárquico (AHP) basado en encuestas, que las ponderará para su empleo en un algoritmo que permita priorizar la relación de las piezas que hay que embarcar y así mejorar el rendimiento del motor, para llevar a cabo lo mejor posible una misión de una duración determinada.

PALABRAS CLAVE

Sostenimiento, AHP, Encuestas, Repuesto, Eficiencia

AGRADECIMIENTOS

Como no podría ser de otra manera, las primeras palabras de agradecimiento son hacia mi prometida, la cual me ha dado un apoyo incondicional a lo largo de todos mis años en la Escuela Naval Militar, estando siempre en las buenas y en las malas, por consiguiente a mi familia, la cual siempre me ha arropado en todos mis estudios y nunca me ha faltado ese ánimo que alguna vez se necesita, gracias a ellos me encuentro escribiendo estas palabras de agradecimiento en mi Trabajo Fín de Grado.

Agradecer el apoyo de mis tutores en todo momento, a la señora Arce, quien ha hecho todo lo posible para ayudarme, sin notarse apenas que lo hacía estando a distancia, al señor Suárez con sus estadísticas y a mi oficial, el AN Paco Lamas, que a pesar de su intenso trabajo me ha proporcionado todo lo que necesitaba y siempre con una sonrisa.

Por último, a mis compañeros que han conseguido de mí que nunca me rinda ante las dificultades de la carrera y al Centro Universitario de la Defensa, del cual nunca me ha faltado recomendación, consejo y ánimos para seguir avante.

CONTENIDO

Contenido 1

Índice de Figuras 4

Índice de Tablas 6

1 Introducción y objetivos 8

1.1 Objeto y alcance del trabajo 8

1.2 Motivación 8

1.3 Organización de la memoria 9

2 Estado del arte 10

2.1 El Apoyo Logístico en la Armada. IPLOG -01 del AJAL 10

2.2 Concepto de sostenimiento 11

2.3 Organización del sostenimiento en la Armada 12

2.3.1 Dirección de sostenimiento (DISOS) 12

2.3.2 Coordinación de Apoyo Logístico Integrado 13

2.3.3 Servicio de Repuestos y Pertrechos 14

2.4 Evolución del mantenimiento logístico hasta la actualidad. CESADAR 14

2.5 Tipos de mantenimiento 17

2.5.1 Mantenimiento correctivo 18

2.5.2 Mantenimiento preventivo 18

2.5.3 Mantenimiento predictivo. RCM 19

2.6 Aplicaciones y programas relacionados con el sostenimiento 19

2.6.1 FMECA 20

2.6.2 SOPRENE 21

2.6.3 GALIA 22

2.6.4 SIGMA-WEB 23

2.7 Proceso Analítico Jerárquico 24

2.7.1 Origen y concepto 24

2.7.2 Teoría del AHP 24

2.8 Empleo de la Inteligencia artificial (IA) en el mantenimiento 25

2.8.1 Concepto Inteligencia Artificial 25

2.8.2 Aprendizaje automático y sus tipos 25

2.9 El alistamiento de las Unidades de la Flota. Antes de la misión 26

2.9.1 El Ciclo Operativo 26

2.9.2 . Las acciones de mantenimiento. Periodo de Inmovilización Programada 27

2.9.3 Los repuestos de primer escalón, las piezas a bordo 28

3 Metodología del desarrollo del TFG....30
3.1 Estudio....31
3.1.1 Elección del motor....31
3.1.2 Identificación de la información y datos en las aplicaciones logísticas. Correlación aplicaciones logísticas....31
3.1.3 Correlación entre las aplicaciones....37
3.1.4 IA. El programa SOPRENE....39
3.2 Ejecución de las fases....42
3.2.1 Elección y ponderación de las variables....42
3.2.2 Análisis SOPRENE....52
3.2.3 Algoritmo de apoyo a la decisión. Primera aproximación....53
3.3 Proceso Analítico Jerárquico AHP....54
3.3.1 Encuestas relacionadas al personal del DG....54
3.3.2 Resultados de la encuesta aplicados al NPR....58
3.4 Solución....59
4 Resultados....61
4.1 Algoritmo corregido aplicado a piezas....62
4.2 Resultados SOPRENE....63
4.3 Resultados de las encuestas. Componentes/subsistemas....64
4.3.1 AHP para los criterios de ocurrencia, severidad y detectabilidad.....64
4.3.1.1 Resultados globales AHP....64
4.3.1.2 Resultados AHP encuestados militares....65
4.3.1.3 Resultados AHP encuestados civiles....66
4.3.2 Análisis subsistemas....67
4.3.2.1 Resultados globales análisis subsistemas....67
4.3.2.1 Resultados análisis subsistemas para perfil militar....68
4.3.2.2 Resultados análisis subsistemas para perfil civil....71
4.3.3 Jerarquización final: combinación AHP con análisis subsistemas....74
4.3.3.1 Resultados globales de la jerarquización final....74
4.3.3.2 Resultados de jerarquización final para perfil militar....74
4.3.3.3 Resultados de jerarquización final para perfil civil....75
4.4 Comparativa resultados FMECA y encuestas AHP....76
4.4.1 AHP vs FMECA. NPR de los subsistemas....76
5 Conclusiones y líneas futuras....77
5.1 Conclusiones....77
5.1.1 Sobre propuestas de priorización de piezas a embarcar....77

5.1.2 Sobre el SOPRENE 77
5.1.3 Sobre el proceso analítico jerárquico, las encuestas al personal 77
5.2 Líneas futuras 78
6 Bibliografía 79
Anexo I: Siglas 81
Anexo II: Encuesta realizada 82
Anexo III: Excel AHP 90
Anexo IV: Excel piezas FMECA/ SIGMA-WEB 93
Anexo V: Excel algoritmo 96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Organigrama JAL. [3] 12
Figura 2-2 Organigrama DISOS (Armada Española) 12
Figura 2-3 Entorno conceptual Industria 4.0 [6] 15
Figura 2-4 Objetivos y finalidad del CESADAR. Armada 16
Figura 2-5 Dependencia funcional del CESADAR. [6] 16
Figura 2-6 Fases en desarrollo del CESADAR. 17
Figura 2-7 Tipos mantenimiento. 17
Figura 2-8 Diagrama de la metodología de análisis. [12] 20
Figura 2-9 Proceso elaboración de un FMECA [11]. 20
Figura 2-10 Apoyo GALIA a la Armada [6]. 23
Figura 2-11 Estructura AHP. [30] 24
Figura 2-12 Tipos aprendizaje IA. 26
Figura 2-13 Extracto Ciclo Operativo. 27
Figura 3-1 Metodología del desarrollo. 30
Figura 3-2 Componentes DG. SIGMA-WEB 33
Figura 3-3 Extracto características Arrancador Neumático. SIGMA-WEB 33
Figura 3-4 Extracto pieza Arrancador Neumático. SIGMA-WEB 34
Figura 3-5 Extracto del FMECA. Armada Española. 35
Figura 3-6 Extracto hoja GALIA. Armada Española 36
Figura 3-7 Pieza Motor de arranque del componente Arrancador del motor. GALIA 37
Figura 3-8 Correlación FMECA y SIGMA-WEB 38
Figura 3-9 Piezas del arrancador neumático con sus variables. FMECA 39
Figura 3-10 Portal SOPRENE. SOPRENE 39
Figura 3-11 Portal Analista, Predicción por modo de fallo. SOPRENE 40
Figura 3-12 Portal científico. Datos diarios. SOPRENE 41
Figura 3-13 Portal Consumidor. SOPRENE 41
Figura 3-14 Criterios NPR. FMECA 43
Figura 3-15 NPR. FMECA 43
Figura 3-16 Matriz Ocurrencia/Severidad. FMECA 44
Figura 3-17 Predicciones por buques. 52
Figura 3-18 Modelo de mapa jerárquico. 55
Figura 3-19 Ejemplo matriz comparaciones pareadas AHP [23] 57
Figura 3-20 Ejemplo cálculo peso relativo AHP. [23] 57
Figura 3-21 Ejemplo matriz normalizada y vector prioridades. [23] 57

Figura 4-1 Análisis de los resultados.....61
Figura A-5.11 Algoritmo Motor DG.....96
Figura A-5.2 Algoritmo Motor de arranque.....96
Figura A-5.3 Algoritmo Bomba Inyección.....96
Figura A-5.4 Algoritmos refrigeradores.....97
Figura A-5.5 Algoritmos conjunto turbosoplante.....97
Figura A-5.6 Algoritmo Bomba agua salada.....97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Escalones mantenimiento. 27
Tabla 3-1 Indicadores de las piezas SIGMA-WEB. 44
Tabla 3-2 Variable GRESP. 45
Tabla 3-3 Valores GRESP. 45
Tabla 3-4 Variable de reparabilidad. 46
Tabla 3-5 Variable mantenimiento. 46
Tabla 3-6 Valores Mantenimiento. 47
Tabla 3-7 Variable demora. 47
Tabla 3-8 Valores demora. 47
Tabla 3-9 Variable de obtención. 48
Tabla 3-10 Valores de fuente de obtención. 48
Tabla 3-11 Valores población. 49
Tabla 3-12 Variable código vida útil. 49
Tabla 3-13 Valores vida útil. 50
Tabla 3-14 Variable TOR. 50
Tabla 3-15 Valores TOR. 51
Tabla 3-16 Plan cronológico de Mantenimiento. 51
Tabla 3-17 Extracto Excel datos SOPRENE. 52
Tabla 3-18 Correspondencias Escala utilizada-Saaty 58
Tabla 3-19 NPR Encuestas. 58
Tabla 3-20 Factor de corrección del NPR por resultado de encuestas 59
Tabla 4-1 Prioridades de piezas 62
Tabla 4-2 Extracto datos SOPRENE de un buque. 63
Tabla 4-3 AHP general variables NPR. 64
Tabla 4-4 Resultado AHP criterios oficiales 65
Tabla 4-5 Resultado AHP criterios suboficiales 65
Tabla 4-6 Resultados AHP criterios marinería 65
Tabla 4-7 Resultados AHP criterio universitarios 66
Tabla 4-8 Resultados AHP criterio técnicos 66
Tabla 4-9 Resultados AHP criterios personal bachillerato 66
Tabla 4-10 Resultados encuestas subsistemas ocurrencia 67
Tabla 4-11 Resultados encuestas subsistemas severidad 67
Tabla 4-12 Resultados encuestas subsistemas detectabilidad 67
Tabla 4-13 Subsistemas. Severidad oficiales 68

Tabla 4-14 Subsistemas. Ocurrencia oficiales 68
Tabla 4-15 Subsistemas. Detectabilidad oficiales 68
Tabla 4-16 Subsistemas. Severidad suboficiales 69
Tabla 4-17 Subsistemas. Detectabilidad suboficiales 69
Tabla 4-18 Subsistemas. Ocurrencia suboficiales 69
Tabla 4-19 Subsistema severidad marinería 70
Tabla 4-20 Subsistema ocurrencia marinería 70
Tabla 4-21 Subsistemas detectabilidad marinería 70
Tabla 4-22 Subsistemas severidad universitarios 71
Tabla 4-23 Subsistemas ocurrencia universitario 71
Tabla 4-24 Subsistemas detectabilidad universitario 71
Tabla 4-25 Subsistemas severidad técnicos 72
Tabla 4-26 Subsistemas ocurrencia técnicos 72
Tabla 4-27 Subsistemas detectabilidad técnicos 72
Tabla 4-28 Subsistemas severidad personal de bachillerato 73
Tabla 4-29 Subsistemas ocurrencia personal bachillerato 73
Tabla 4-30 Subsistemas detectabilidad bachillerato 73
Tabla 4-31 Jerarquización final global. 74
Tabla 4-32 Jerarquización final oficiales 74
Tabla 4-33 Jerarquización final suboficiales 74
Tabla 4-34 Jerarquización final marinería 75
Tabla 4-35 Jerarquización final universitarios 75
Tabla 4-36 Jerarquización final técnicos 75
Tabla 4-37 Jerarquización final personal bachillerato 75
Tabla 4-38 NPR Turbosoplante. FMECA 76
Tabla 0-1 SIGLAS. Elaboración propia. 81
Tabla A-4.1 FMECA-SIGMA WEB.DG y Motor arranque 93
Tabla A-4.2 FMECA- SIGMA WEB. Sistema de alimentación de combustible 93
Tabla A-4.3 FMECA- SIGMA WEB. Refrigerador GEA y MTU 94
Tabla A-4.4 FMECA-SIGMA WEB. Turbosoplante 94
Tabla A-4.5 FMECA- SIGMA WEB. Sistema refrigeración 95

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Objeto y alcance del trabajo

El objetivo de este trabajo es el estudio de uno de los motores Diésel Generador (DG) de una de las fragatas de la Armada Española, con el fin de relacionar los fallos más frecuentes del motor con su plan de mantenimiento, los repuestos de primer escalón (aquellos repuestos que se encuentran en la unidad, en nuestro caso en el buque) más críticos que deberían llevarse a bordo en cada uno de los buques en el cumplimiento de sus misiones.

Se tratará de formular una solución que, mediante metodologías y programas como FMECA (Análisis modal de fallos y efectos) que describe los modos de fallo de cada uno de los componentes de dicho motor a través de una base de datos enlazándolo con SIGMA-WEB, programa informático logístico que me aporta todos los componentes y piezas de dicho motor, y a su vez mediante los outputs del programa SOPRENE, programa de Armada que determina las frecuencias de fallos de un motor y a su vez proporciona el estado real del motor, con todo ello se intentará sacar una relación en función del estado del motor en un horizonte temporal y poder así saber que piezas embarcar abordo en función de su misión.

Todo ello mediante el empleo de procesos analíticos, en este caso de carácter jerárquico a través de encuestas y posterior análisis estadístico. El trabajo complementa su fundamento con la normativa, los proyectos y realidad actual de los aspectos relacionados con el sostenimiento en la Armada.

1.2 Motivación

Con el desarrollo de este trabajo se podría aportar ideas que, en su caso, puedan resultar de interés a las líneas de acción que se llevan a cabo en la Armada relativas al sostenimiento de las unidades. Además, este trabajo pretende ofrecer posibles propuestas relativas a las piezas que deben embarcarse para una misión concreta en un periodo de tiempo determinado, y así poder mejorar la eficiencia en el sostenimiento de sistemas y equipos, y en la medida de lo posible contribuir a disminuir los repuestos apalancados a bordo.

Por otra parte, se pretende que este proyecto ayude a gestionar lo mejor posible los normalmente reducidos pañoles de repuestos de los barcos, aumentando la eficacia de la misión al disponer de aquellos repuestos más necesarios para los mantenimientos o reparación de las averías más comunes o esperables; esta es la finalidad y motivación. Finalmente, este trabajo podría suponer una referencia para su uso en futuros Trabajos de Fin de Grado.

1.3 Organización de la memoria

El presente trabajo está estructurado en cuatro apartados:

En el primer apartado se describe el estado del arte. En este apartado se explicará una breve explicación sobre el concepto de sostenimiento, su estructura y organización dentro de la Armada. También se presentarán los diferentes tipos de mantenimiento, las herramientas, aplicaciones y programas informáticos que se emplean en la actualidad. También se tratará el impacto que tiene la Inteligencia Artificial (IA) y se presentarán los desarrollos que está llevando a cabo el Armada en este campo. Finalizará con un breve recorrido por los ciclos de alistamiento y operativo de las unidades, así como los procedimientos de abastecimiento de repuestos.

En el tercer apartado, se comentará el proceso AHP el cual se ha aplicado a las soluciones de las encuestas que se han realizado al personal relacionado con el diésel-generador con el fin de obtener los subsistemas más críticos así como un algoritmo que pretende facilitar la toma de decisiones a la hora de embarcar piezas a bordo.

Por último, tras analizar los resultados en el cuarto apartado, se realizaran unas conclusiones del proyecto realizado así como unas líneas futuras.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 El Apoyo Logístico en la Armada. IPLOG -01 del AJAL

La logística es un concepto milenario, proviene del griego “logistikos” transformada posteriormente al latín “logisticus” cuyo significado era aptitud para el cálculo. [1] Prácticamente desde sus orígenes, la logística se ha definido como un componente de la técnica militar. En la actualidad, la logística en el ámbito de la defensa tiene un enfoque que se materializa a lo largo del ciclo de vida de una plataforma, sistema o equipo. De esta forma, se ocupa del desarrollo de sistemas, su mantenimiento, adquisición y movimiento de repuestos y pertrechos, de forma que puedan ser apoyados eficaz y eficientemente durante su periodo de utilización. Se puede observar la similitud, aunque con fines diferentes, de la logística en el ámbito comercial, donde se orienta más al transporte y distribución de bienes, constituida por la adquisición, implementación, y control de un flujo eficiente de las materias primas y productos finales desde un punto de origen al consumo [2] .

En el contexto de la defensa nacional, la Armada dispone de la Jefatura de Apoyo Logístico (JAL), que con dependencia directa del Almirante Jefe de Estado Mayor de la Armada (AJEMA), es el organismo responsable de la logística y del apoyo a la Fuerza en todo lo referente al recurso del material.

La JAL se encarga de la dirección, gestión, administración, control y seguimiento de todos los recursos de material con los que cuenta la Armada, en los que se encuadra entre ellos el sostenimiento (mantenimiento, abastecimiento y transporte) de todas las unidades, equipos y sistemas de la Armada [3].

La evolución del apoyo logístico AL, como tantas áreas productivas y tecnológicas, se reflejan en el término de ‘la cuarta revolución industrial’ conocida también como industria 4.0, basada en la aparición de diferentes áreas de desarrollo como híper-conectividad, Big Data o la Inteligencia Artificial. Las Líneas Generales de la Armada, documento base del AJEMA en vigor incorpora todas estas novedades como objetivos a alcanzar, y establece de forma explícita en el ‘Concepto del Apoyo Logístico’ (CONLOG) de 2017 [2] el nuevo modelo, principios y criterios conceptuales que han de orientar a las actividades del AL.

La Instrucción Permanente de Logística del 23 de Marzo de 2018, IPLOG 01/18, [2] desarrolla el concepto del AL y establece las directrices, líneas doctrinales, estructura y alcance del AL.

Los principios del mantenimiento se reorientaron, del anterior planeamiento enfocado a objetivos de fuerza, entendiéndose como fuerza los buques de la Armada, por el número de unidades, hacia objetivos por capacidades, conservando así las unidades en el nivel máximo de operatividad de acuerdo con su ciclo de vida, teniendo como referencia las que tenían al entrar en servicio.

Aspecto relevante de la Industria 4.0 es la sofisticación y mejora de los productos industriales, gracias al uso de datos digitales y empleo de sensores de monitorización de parámetros, tendiendo al mantenimiento predictivo.

La IPLOG 01/18 establece una serie de directrices relacionadas con este trabajo, se destacan las siguientes:

Directriz 28 "El objetivo del mantenimiento será la conservación de la eficacia y operatividad de una plataforma, y sus sistemas y equipos asociados, a lo largo de su ciclo de vida, de tal forma que le permita el cumplimiento de su misión…" [2]

Directriz 29: "Se potenciará los criterios de eficacia-coste el modelo de mantenimiento centrado en la fiabilidad aplicando la metodología RMC (mantenimiento basado en su confiabilidad), utilizando en cada caso la estrategia óptima de mantenimiento que resulte del análisis realizado" [2].

Directriz 31: "Se abordará la evolución del actual CESADAR (Centro de Supervisión y Análisis de Datos de la Armada) con el objetivo de hacer de él una herramienta con elevada capacidad de procesos de datos capaz de proporcionar apoyo en la toma decisiones..." [2]

Resumiendo, la IPLOG 01/18 fija objetivos por capacidades y hacer sostenible la operatividad de buques, plataformas y sus sistemas a un coste menor, se podría resumir en aplicar una buena eficiencia y eficacia.

2.2 Concepto de sostenimiento

El concepto de sostenimiento engloba toda acción en la que se llevan a cabo actividades de mantenimiento, aprovisionamiento, transporte de material y gestiones de coordinación necesarias para su ejecución. El sostenimiento se aplica a todas las unidades, sistemas y equipos de la Armada.

La finalidad del sostenimiento es garantizar la operatividad de las unidades durante su ciclo de vida. De este modo, el objeto es alcanzar el máximo número de días de mar de las unidades con sus capacidades operativas, y si es posible de la forma más eficiente posible. [3]

Se fundamenta en disponer de planes de mantenimiento que sean eficaces, y pueden ser apoyados por un sistema de gestión logística que, de forma eficiente, permitan la ejecución del plan con los repuestos y necesidades de material en el momento adecuado.

Si los procedimientos y ejecución de los planes de sostenimiento son óptimos, la toma de decisiones será la mejor posible.

2.3 Organización del sostenimiento en la Armada

2.3.1 Dirección de sostenimiento (DISOS)

Dentro de la Jefatura de Apoyo Logístico se encuadra la DISOS (Dirección de Sostenimiento) como podemos observar en el organigrama (Figura 2-1).

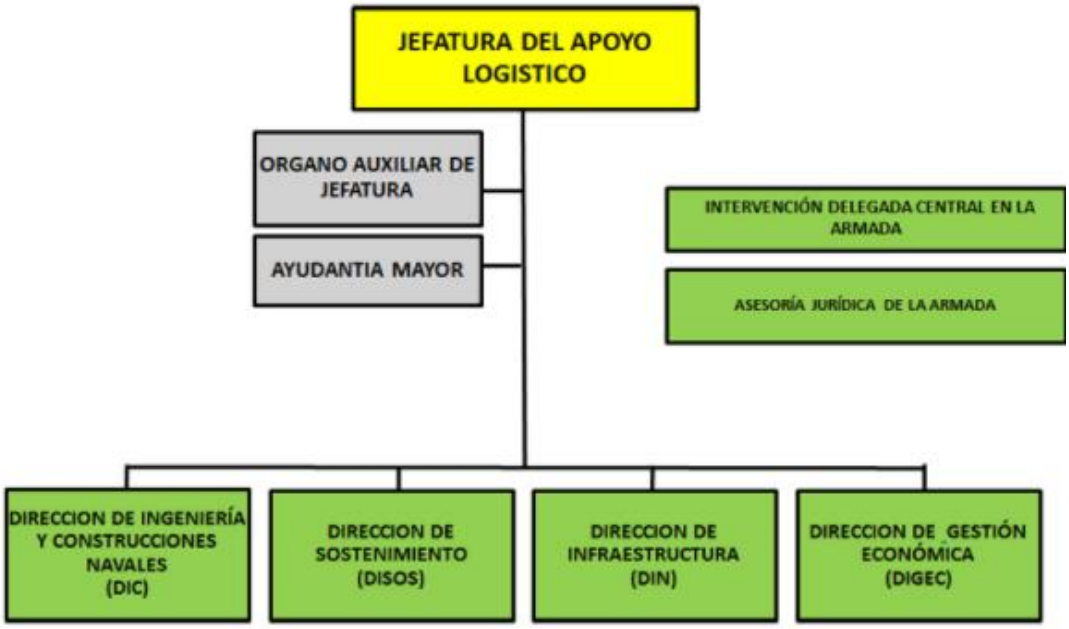


Figura 2-1 Organigrama JAL. [3]

La DISOS orienta su actividad a asegurar la operatividad de los medios y sistemas con los que cuenta la Armada para poder ejecutar el alistamiento adecuado de sus unidades. [3] [4]

Uno de sus principales cometidos:

- Dirigir los planes de mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida.
- Llevar a cabo el seguimiento de las tareas de mantenimiento de los Arsenales.
- Llevar a cabo la planificación, adquisición, administración, gestión, y control de los abastecimientos relacionados con la operatividad de la Fuerza como son los repuestos.

La DISOS cuenta con la Subdirección de Mantenimiento (SUBDEM) (Figura 2-2) para el seguimiento y control directo de sus objetivos, en coordinación con los Arsenales como ejecutores directos de las actividades previstas.

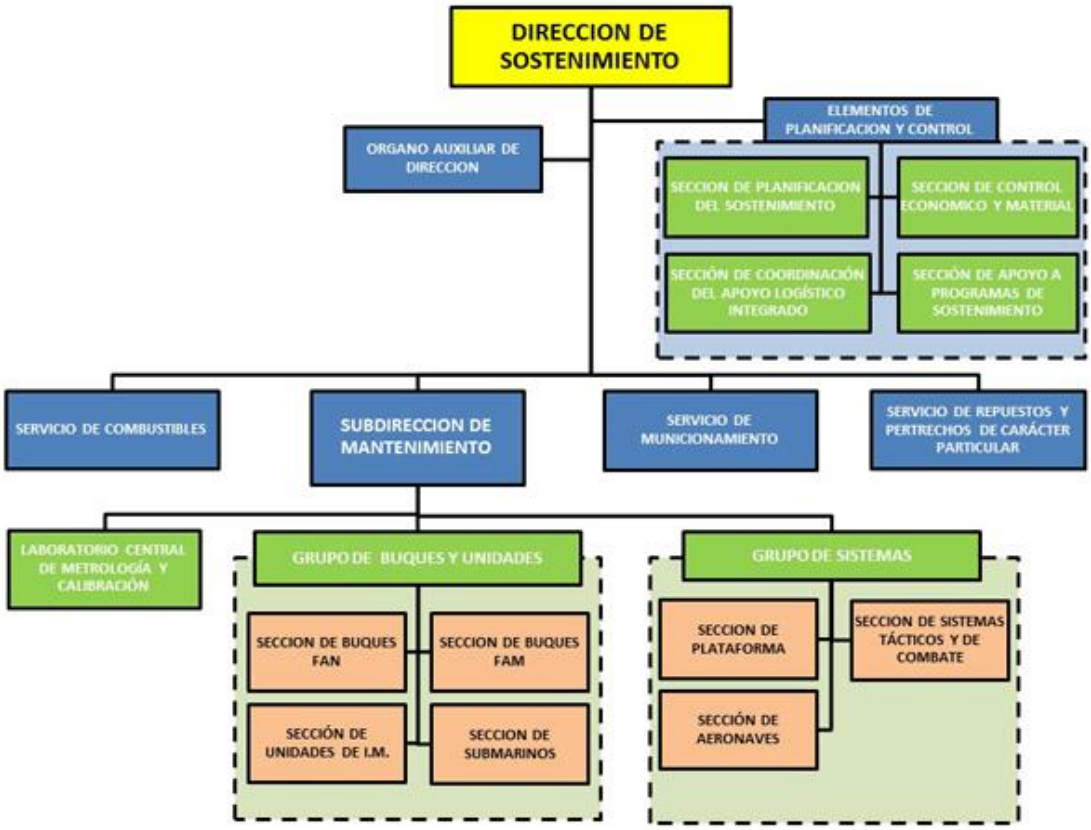


Figura 2-2 Organigrama DISOS. [3]

Entre sus principales cometidos destacan:

- Dirigir y controlar los procesos de mantenimiento preventivo, correctivo y sus modificaciones a lo largo de sus ciclos de vida todas y cada una de las unidades de la Armada.
- Elaboración de un programa de mantenimiento anual conforme al presupuesto asignado.

2.3.2 Coordinación de Apoyo Logístico Integrado

La JAL dispone de un departamento específico para la coordinación del Apoyo Logístico Integrado (ALI).

Sus cometidos principales son [3]:

- Llevar a cabo gestiones de conocimiento e información en cada una de las áreas y programas que afecten al apoyo logístico de las unidades, así como los sistemas a lo largo de su ciclo de vida
- La coordinación en la elaboración del Plan de Apoyo Logístico Integrado (PALI).
- Mantener actualizados la base de datos, así como sus mantenimientos necesarios de dichos equipos que proporcionan los datos.
- Desarrollo y mantenimiento del concepto de Gestión del Apoyo Logístico Integrado (GALIA), programa con el cual podemos acceder a los planes de mantenimiento y listados de piezas de sistemas, así como sus herramientas asociadas.
- Supervisión del desarrollo documental y la puesta en práctica de los Planes de Mantenimiento establecidos para las diferentes unidades.

2.3.3 Servicio de Repuestos y Pertrechos

La ejecución de las acciones que conducen a garantizar la operatividad de las unidades, necesita una coordinación y engranaje de todas las partes implicadas en el proceso. Para ello en la JAL también se encuentra la Subdirección de Abastecimiento y Transportes (SUBDAT), entre sus cometidos se encuentran los siguientes:

- Realizar el abastecimiento de repuestos, pertrechos, consumos y materiales necesarios para el mantenimiento.
- Elaboración de propuestas en la adquisición de materiales que fuesen necesarios para el mantenimiento, basados en pedidos de reposición y de forma concurrente con los programas de mantenimientos.
- Ejercer el inventario de todos los materiales gestionados por los Arsenales.

Aplicaciones como SIGMA2 y SIGAPEA, los cuales son programas logísticos a los que se acede a las fichas técnicas de todos los componentes de los equipos integrados en los buques e instalaciones de la Flota, las cuales son gestionadas desde la SUBDAT.

2.4 Evolución del mantenimiento logístico hasta la actualidad. CESADAR

Hace 300 años aproximadamente, en la Armada se produjo una gran transformación en la logística de la Flota, el resultado fue una sustancial mejora en el ciclo de vida de los buques. Protagonista fue el Intendente General de la Armada José Patiño, su Majestad el Rey Felipe V, le encomendó la misión de levantar económicamente el Estado, y así lo hizo, comenzando por las reformas de los Arsenales, dando así un mejor cuidado a los buques mejorando su rendimientos a flote [5].

A comienzos del siglo XIX, la situación en la Armada era insostenible debido a una gran falta de presupuesto que impedía la reforma de los buques de la Fuerza así como sus instalaciones [5].

Tras el desastre del 98, la Armada inició de nuevo un proceso de reconstrucción con la Ley de Escuadra de Maura-Ferrándiz en el 1908. La cesión de buques por parte de la Marina Americana junto sus capacidades logísticas, lo que supuso un aumento en los repuestos y pertrechos de la Flota [5].

En 1953 se produjo el siguiente gran salto en el aprovisionamiento naval, gracias a un gran convenio con los Estados Unidos que supuso un avance tecnológico, dicho acuerdo se conoce como “la llamada americana” La Armada encomendó al Cuerpo de Intendencia llevar a cabo la actualización de los procesos de aprovisionamiento [5].

Al paso de los años se hizo frente a los nuevos conceptos logísticos acordes a las unidades y sistemas para poder así lograr un mejor aprovechamiento de los recursos, no solos humanos y económicos, sino también industriales [5]. Comienza el verdadero cambio hacia un modelo que apostaba por la industria nacional y disminuir la dependencia de los EEUU.

Ya en la actualidad, en relación a la conocida Industria 4.0, la Armada ha apostado desde el principio por no quedarse atrás en su aplicación. Las tres primeras áreas afectadas se orientaban a la mecanización, generación y distribución eléctrica, y a las tecnologías de la información. La cuarta y más innovadora, es la aparición de nuevos conceptos como el Internet de las cosas (IoT), Bigdata, Inteligencia Artificial (IA), etc...

Una de las primeras acciones de la Armada la encontramos en la recopilación de datos de los equipos y sistemas de plataforma de las unidades de la Flota. Se materializó en 2007 con la creación del Centro de Supervisión y Análisis de Datos de la Armada (CESADAR), ubicado en el Arsenal de Cartagena. Su finalidad, proporcionar apoyo a las decisiones relacionadas con el mantenimiento. En la Instrucción permanente del AJAL 01/2011 de 15 de Marzo de 2011 se determinan los cometidos, organización, estructura y bases de funcionamiento del CESADAR [6].

En el CESADAR se consideró la Industria 4.0 como una oportunidad para poder crear grandes flujos regulares de información, compartiéndolos a grandes velocidades, permitirían la toma de decisiones de una forma más rápida y segura a partir del análisis de los datos. Por ello, una de sus misiones principales es la obtención del máximo número posible de datos de todas las unidades, siendo así su "unidad" más valiosa el "Dato". Su entorno conceptual en la Industria 4.0 es el siguiente (Figura 2-3).

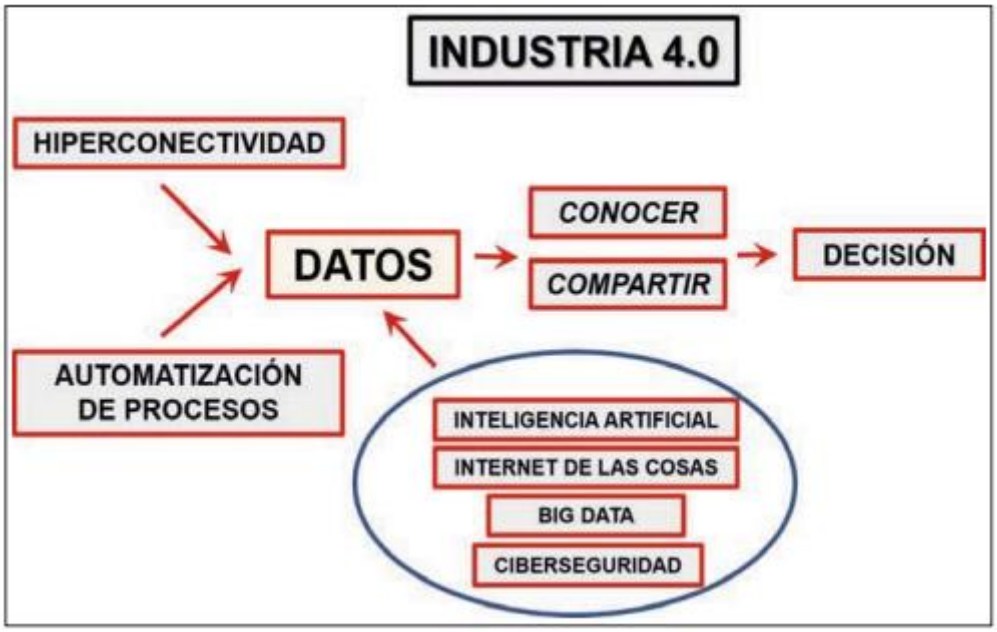


Figura 2-3 Entorno conceptual Industria 4.0 [7]

CESADAR cuenta con un gran número de datos de equipos y sistemas de plataformas navales monitorizados desde 2010. Los objetivos iniciales están vigentes a día de hoy: evitar averías con resultados catastróficos, modificar las programaciones de mantenimientos dependiendo de su condición y conseguir mayor eficiencia en el mantenimiento, la finalidad superior del CESADAR se resume en proporcionar a la Flota el mayor números de días en la mar de calidad, es decir con garantía de operatividad de cada uno de sus equipos y sistemas de las unidades [7]. En la (Figura 2-4) se muestran de forma esquemática dichos objetivos.

Figura 2-4 Objetivos y finalidad del CESADAR. Armada

CESADAR cuenta con una central que se encarga de establecer los procedimientos de recogida, organización, mantenimiento y análisis de los datos en relación al comportamiento mecánico de los equipos que se encuentra a bordo de las unidades de la Flota. El sistema lo complementan tres centros periféricos, en los arsenales de Las Palmas, Cádiz y Ferrol, en ellos reciben diariamente las copias de las bases de datos (BBDD) de los sensores instalados en los barcos. CESADAR depende funcionalmente de la DISOS, tal y como se muestra en la (Figura 2-5). La sede de la central de CESADAR está en Cartagena y orgánicamente depende de la Jefatura de Mantenimiento del ARCART [7].

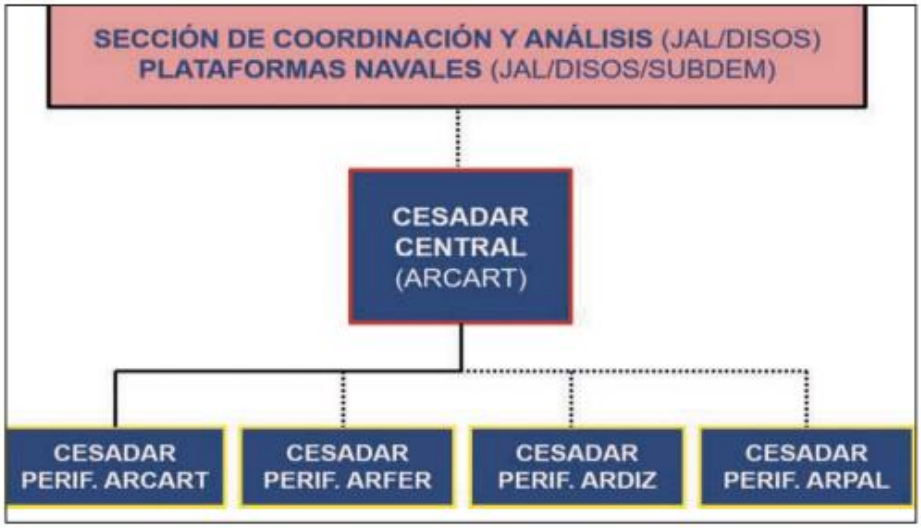


Figura 2-5 Dependencia funcional del CESADAR. [7]

CESADAR se enmarca en un proceso de proceso de mejora continua, un esquema de este desarrollo se presenta en la (Figura 2-6) [7].

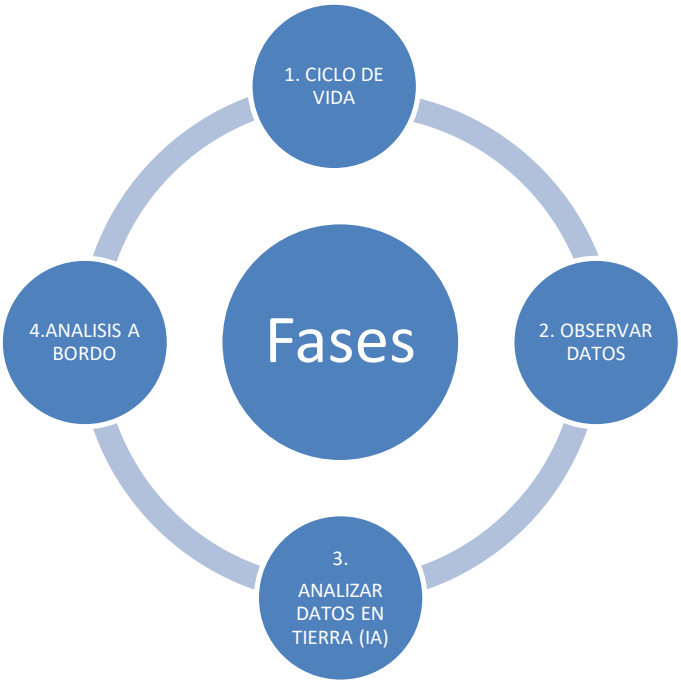


Figura 2-6 Fases en desarrollo del CESADAR.

2.5 Tipos de mantenimiento

En cuanto al mantenimiento, se plantean diferentes tipos de acuerdo con su naturaleza, planificación, criticidad o la severidad de funcionamiento de un equipo en concreto [8]. Los más empleados, normalmente de forma complementaria, son el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo (Figura 2-7).

Figura 2-7 Tipos mantenimiento.

2.5.1 Mantenimiento correctivo

Conjunto de tareas técnicas que están destinadas a poder corregir los fallos del equipo que presenten la necesidad de una reparación o, si no es reparable, su reemplazo [8].

Trata de corregir los fallos del equipo a través de una intervención que permita recuperar lo antes posible su función inicial. Las acciones a realizar no dependen del plan de mantenimiento establecido, por lo que puede llegar ocasionar la falta de piezas de repuesto necesarias para subsanar la avería [9].

Este tipo de mantenimiento, cuando los fallos se producen en la ejecución de una misión, puede no poder llevarse a cabo por falta de personal cualificado a bordo.

Se distinguen dos tipos:

- Correctivo no planificado/ Impredecible: El fallo se produce cuando un equipo sufre una avería dejándolo inoperativo. El mantenimiento no planificado suele ser el resultado de un error prematuro del material, por la falta de supervisión o error humano. Dichos fallos pueden tener resultados catastróficos, pudiendo afectar a la seguridad del equipo o el propio buque y ser necesaria una actuación de emergencia [9].

- Correctivo planificado: Las correcciones no se consideran de emergencia, ya que se planifican en cuanto se detecta una mínima caída en el rendimiento de un sistema o equipo. Una vez detectado, se realiza un análisis y se decide la planificación del alcance y momento de la corrección [9].

Las características más destacables de este enfoque de mantenimiento son:

- Las averías se producen en momentos imprevisibles.
- Incrementa el número de elementos dañados en el equipo, reduciendo su vida útil.
- Disminuye la disposición de repuestos en stock. [8]

2.5.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo de un equipo/sistema es aquel en el que, después de cierto periodo de operación, se procede a realizar el desmontaje total o parcial para su inspección y en su caso recorrido o sustitución de sus componentes.

Este tipo de mantenimiento pretende anticiparse al fallo antes de que este se produzca. Para ello es muy importante determinar los periodos de inspección, de tal forma que no se produzcan fallos en ese intervalo de tiempo. Es importante que haya un equilibro entre el coste (prioridad) y la efectividad de las acciones preventivas.

Una de las diferencias con el correctivo es el tiempo que se emplea en la reparación del equipo/sistema, además en el correctivo solo se emplea cuando se identifica el fallo o la avería, en cambio en el preventivo posee planes de mantenimiento con los que puedes llegar a prevenir así los fallos que son más complejos [8].

Normalmente son establecidos por el fabricante y modificados a lo largo del ciclo de vida de acuerdo con la experiencia y evolución del propio equipo.

Características principales del mantenimiento preventivo se pueden resumir en:

- Establece planes de mantenimiento, lo cual implica una mayor organización y rentabilidad de los materiales y medios humanos.
- Las reparaciones se realizan sin urgencia, sueles ser muy fructíferas.
- Conocimiento del coste del mantenimiento.

En contra partida, este mantenimiento sus costes son muy elevados.

2.5.3 Mantenimiento predictivo. RCM

Se centra en el conocimiento del estado de los equipos/sistemas mediante una medición periódica de una serie de parámetros significativos: las vibraciones, temperatura, viscosidad y presión.

Trata de buscar una detección rápida de los posibles síntomas de un fallo o avería mediante técnicas avanzadas, como puede ser IA o análisis o procesos estadísticos /probabilísticos.

Una gran ventaja es que permite que se analice el sistema/equipo sin necesidad de desmontarlo ni de detenerlo para su diagnóstico.

Características principales del mantenimiento predictivo [8]:

- Económicamente rentable.
- Permite planificar las intervenciones, permitiendo el seguimiento continuo de la anomalía de funcionamiento, e intervenir en el momento más oportuno.
- Obtener un historial del equipo/sistema y del comportamiento a la hora de operar.
- Requiere poco personal pero muy cualificado.
- Aumenta la seguridad del personal e instalaciones.

Mantenimiento centrado en la fiabilidad del inglés *Realiability Centred Maintenance* (RCM), es una técnica relacionada con el mantenimiento predictivo. Se trata de una metodología que se emplea para identificar y seleccionar aquellas políticas de gestión de fallo que ayuden a alcanzar de una manera eficaz y eficiente los niveles requeridos en cuanto a la seguridad, disponibilidad y coste de explotación. [10]

El RCM permite disponer de un proceso de decisión para identificar los principales factores que influyen en la elaboración de un plan aplicable y eficaz sobre los equipos y sistemas de un buque. Para ello se tienen en cuenta las consecuencias sobre la operatividad, la economía y seguridad de fallos identifícales y de los mecanismos de degradación responsables de dichos fallos [9].

Las etapas básicas de un RCM son [9]:

- Inicio y planificación.
- Análisis de los fallos funcionales.
- Definición de las tareas.
- Implementación y ciclo de mejora continua.

En la Armada, en la actualidad se aplica en una clase de fragatas de la Flota. El mantenimiento en estas unidades se fundamenta en efectuar las reparaciones mediante sustitución de módulos y en la aplicación de un mantenimiento correctivo a bordo. Con este procedimiento, se obtiene un equilibro más eficiente entre disponibilidad del material y del coste. En este sentido, la monitorización de sistemas se encuentra en fase de implantación lo que permitirá un diagnóstico de mantenimiento predictivo propios de la industria 4.0 [9] [10].

2.6 Aplicaciones y programas relacionados con el sostenimiento

En 1974 la Armada genera el programa SIGMA (Sistema Integrado de Gestión de Mantenimiento), fue una referencia a partir de la cual aparecieron programas y aplicaciones más específicos con relación entre ellos mejorando la gestión del mantenimiento, los pertrechos y repuestos, los más destacados son GALIA, SOPRENE, SIGMA-WEB, y FMECA [12].

2.6.1 FMECA

De las siglas en ingles FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality), en castellano AMFEC (Análisis de Modos de Fallos, Efectos y su Criticidad). Es una metodología diseñada para identificar y analizar los modos de fallos de los diferentes componentes de un equipo/sistema, las consecuencias respecto a la operatividad, y evaluar cómo evitar o corregir dichos efectos en los equipos [11].

FMECA permite identificar, priorizar y descartar posibles anomalías en un equipo/sistema. (Figura 2-8) Inicialmente a los FMECA se les denominaba AMFE o FMEA, posteriormente se incorpora un nuevo parámetro, la "C", sometida aún a una profunda evolución y estudio, permite identificar el nivel de criticidad o gravedad los fallos, por lo que constituye un importante factor de priorización en cuanto a la gestión de repuestos.

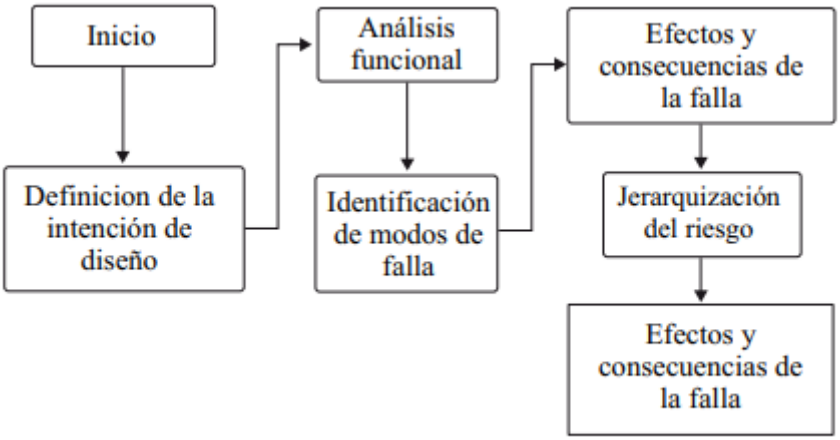


Figura 2-8 Diagrama de la metodología de análisis. [12]

Son varios los motivos para recomendar implementar la metodología FMECA [11]:

- Permite crear un objetivo de que alternativas de diseño se van a seleccionar en las fases iniciales en el desarrollo de un equipo/sistema.
- Disponer de un método para conocer los posibles modos de fallo y su grado de ocurrencia.
- Identificar con una cierta facilidad la gravedad de sus efectos.
- Obtener un historial para futuros desarrollos y cambios que se puedan considerar oportunos.
- Crear una base de datos que sirva de ayuda en la planificación del mantenimiento.

Un FMECA se conforma en cuatro pasos, tal y como se muestra en la (Figura 2-9).

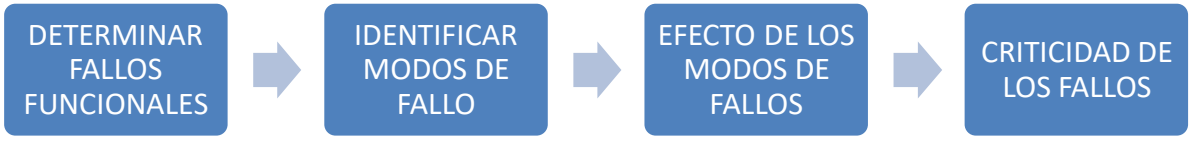


Figura 2-9 Proceso elaboración de un FMECA [11].

- Paso 1: Preparación del FMECA.

Determinar el equipo/sistema que se quiera analizar conociendo sus limitaciones, es decir que características se debe incluir en el FMECA y cuáles no. También se deben conocer las condiciones ambientales y operativas conocidas, como pueden ser la temperatura o el estrés mecánico, de vital importancia en los modos de fallo del equipo/sistema.

Disponer de la información del equipo objeto del análisis, cómo sus diagramas, lista de componentes, descripciones funcionales, etc. El FMECA se realiza con el conocimiento del funcionamiento del equipo/sistema, ya que tendrá que detectar las consecuencias de los fallos en el correcto funcionamiento del equipo.

- Paso 2: Estudio de la estructura del sistema.

Para simplificar el FMECA se debe de dividir el sistema en unidades o componentes manejables, debido a la complejidad que puede llevar la evaluación del sistema completo.

De esta forma, se obtendrán FMECAS de los diferentes bloques o componentes, identificando los modos de fallo de cada uno de ellos.

- Paso 3: Análisis de los fallos y creación de las tablas FMECA.

Se deberá tener en cuenta todas las funcionalidades de cada elemento y sus modos de fallo, así como establecer el efecto que podría causar cualquier fallo. Normalmente se suele resumir en columnas de una hoja de cálculo, como puede ser una EXCEL.

Es recomendable ampliar dos columnas en cuanto a la seguridad y el efecto sobre la fiabilidad.

- Paso 4: Revisar el FMECA ejecutado y las acciones correctivas.

Cuando se haya realizado el análisis FMECA completo, se debe llevar a la práctica para verificar su funcionalidad, y en caso de detectarse errores proceder a mejorarlos.

En resumen, un FMECA proporciona la capacidad de conocer si el equipo/sistema se encuentra bajo control en cuanto a los riesgos que se puedan producir, y lo más importante, conocer de qué manera falla el equipo/sistema pudiendo así adelantarse al fallo o solucionarlo con el menor impacto posible.

2.6.2 SOPRENE

El proyecto de I+D SOPRENE fue una de las primeras iniciativas financiadas por el Ministerio de Defensa para avanzar en la trasformación digital de las Fuerzas Armadas y en el concepto de Industria 4.0, pieza clave para el desarrollo futuro del Sistema Integrado de Sostenimiento en la Armada 4.0. La Dirección General de Armamento y Material (DGAM), la Armada y la empresa INDRA, han sido los principales propulsores que han hecho posible la evolución del sostenimiento en el ámbito de técnicas de IA [13].

Con el empleo de la IA, la Armada pretende avanzar de forma sustancial en el mantenimiento predictivo de los equipos y sistemas de plataforma de los buques, el objetivo, ya presentado en anteriores apartados es el mismo: evitar averías que no sean predecibles hasta el momento para aumentar la disponibilidad de la Flota, mejorando así la eficiencia en el sostenimiento.

Para ello, SOPRENE trata de automatizar parte de las tareas de diagnósticos de los equipos/sistemas de los buques en la clasificación y la detección de anomalías. Este tipo de inteligencia aprende a detectar las anomalías, y aplicar las operaciones lógicas para llegar a la solución con los medios informáticos disponibles, disminuyendo la intervención humana en muchas de las tareas [14].

SOPRENE podrá llegar a entender el "mal funcionamiento" de los motores con un elevado grado de detalle y precisión, conocimiento clave para predecir y detectar las anomalías en el funcionamiento de dichos motores. Los datos que se utilizarán para este proceso son proporcionados por el CESADAR.

El potencial de la tecnología que no es supervisada es enorme respecto a la tecnología supervisada, y proporcionará ventajas para el sostenimiento de los buques más sofisticados, como pueden ser [14]:

- Capacidad de obtener resultados que no han sido predefinidos inicialmente, aprendiendo así de sus errores y aciertos, como haría un humano para mejorar el rendimiento y eficacia de un equipo/sistema.

- El sistema puede llegar a detectar los fallos que sean de mayor gravedad, debido a que no dependen de un registro de fallos anterior, será capaz de prever averías que el buque no ha sufrido con anterioridad.

El empleo de esta tecnología en la Armada supondrá una gran ventaja operativa, ya que se podrán planificar de forma más real las acciones de mantenimiento, adelantando o retrasando las reparaciones, embarcando las piezas más críticas o las que se prevén se vayan a necesitar en futuras averías durante el cumplimiento de la misión.

2.6.3 GALIA

GALIA es una aplicación informática que responde a las siglas de Gestión de Apoyo Logístico Integrado en la Armada. GALIA es un desarrollo tecnológico específicamente orientado al sostenimiento y uso de sistemas y equipos militares.

A día de hoy, es empleado por más de 3000 usuarios al año, con una estructura que dispone de prácticamente todas unidades de la Flota y dependencias de apoyo, en las cuales se llegan a gestionar más de 60.000 actuaciones de mantenimiento al año [14].

GALIA cuenta con funcionalidades que apoyan la gestión de los recursos económicos, la configuración de los equipos y sistemas de las unidades, la planificación, implantación, control del mantenimiento y la gestión y acceso a las publicaciones técnicas. Los principales servicios que proporciona son: aplicaciones web, base de datos relacionales, servicios web, servicio Windows, utilidades varias, procesos programados así como la documentación del producto [16].

Podemos distinguir dos subsistemas:

- GALIA-ARSENALES, orientado más a la gestión del sostenimiento de los buques de la Flota, unidades de Infantería de Marina e instalaciones.

- GALIA-AERONAVES, orientado a la gestión del sostenimiento de las Aeronaves de la Flotilla de Aeronaves (FLOAN) [16].

El apoyo que proporciona GALIA a la Armada se muestra de forma esquematizada en la (Figura 2-10) pudiendo ser resumido en los siguientes tres objetivos [10]:

- Desarrollo y mantenimiento de la configuración de las unidades y equipos/sistemas.
- Implantación de planes de mantenimiento en las unidades, materializados en las tareas y procedimientos de mantenimiento.
- Planificación de las reparaciones de los buques actuales y futuras.

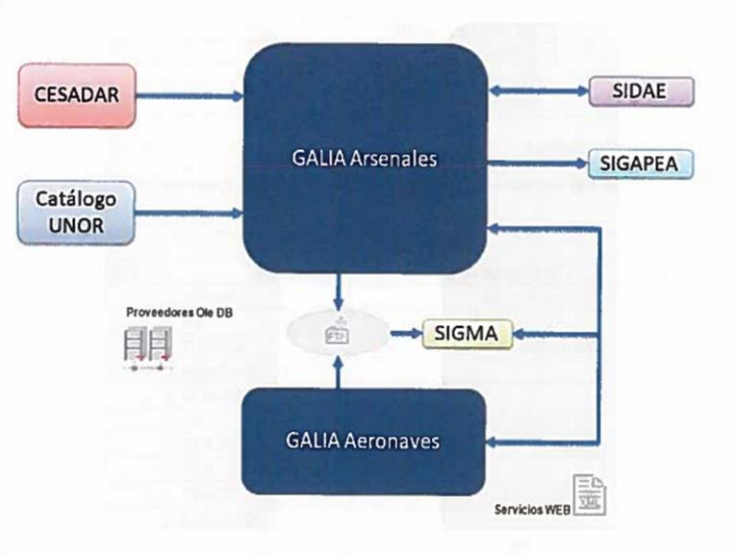


Figura 2-10 Apoyo GALIA a la Armada [7].

2.6.4 SIGMA-WEB

El cuerpo de intendencia en los años 70 a través de la JAL, fue pionero en el desarrollo del primer Sistema Integrado de Gestión de Material en la Armada (SIGMA), aprobado por OM 17/05/1979. Este sistema está basado en un procedimiento mecanizado, pensado en el aprovisionamiento, almacenamiento y distribución de material, bajo el principio de dirección centralizada.

Posteriormente, a principios del año 2000, se creó el Sistema Integrado de Gestión del Aprovisionamiento de Primer Escalón, el primero de los cuatros, el cual indica la procedencia del repuesto, conocido por SIGAPEA. Esta aplicación informática gestiona el aprovisionamiento en los buques y en las dependencias de la Armada. Se encuentra ubicada en la red de área local, conteniendo la información referente al mantenimiento de las unidades.

Estas aplicaciones implantadas para el Primer y Segundo escalón de aprovisionamiento, SIGAPEA y SIGMA, abarcan todo el material de la Armada que es objeto de mantenimiento [5].

SIGMA nunca dejo de evolucionar, en 2005 se actualiza con el SIGMA-DOS, pasando a convertirse en el eje vertebrador de la cadena logística del material de la Armada. SIGMA-DOS tiene un alcance de carácter general y tanto horizontal, abarcando todo tipo de materiales, y vertical, ya que sustenta todos los procesos realizados con dicho material. La novedad más característica respecto a SIGMA es la implantación del concepto del Almacén Virtual Único (AVU), con lo que se consigue una visión única y global de las existencias [5].

En 2008 el AJEMA publica una instrucción titulado “Concepto del Apoyo Logístico del Recurso de Material”, reforzando la apuesta de los últimos años por el desarrollo de los sistemas de información y aplicaciones informáticas para la gestión de logística en La Armada. Como ya se ha comentado, en 2017 se modifica el Concepto del Apoyo Logístico, donde recoge el concepto de “Almacén Virtual Único de la Armada”, y el uso del comercio electrónico en los procesos de aprovisionamiento [17].

Entre los últimos desarrollos de los servicios web, es de gran utilidad la interfaz de usuario SIGMA -WEB la cual sustituye a la antigua SIGMA2, SIGMA-WEB trabaja igual que SIGMA2, pero adaptado a las actuales capacidades de redes, ejemplo de ello son los Almacenes de Repuestos del Arsenal de Cartagena, en los que se ha implantado un sistema de radio frecuencia WIFI para poder así registrar las entradas y salidas del material en tiempo real y la digitalización de los Libros de Cargo, como puede ser el Reglamento General de Pertrechos, RGP [5].

2.7 Proceso Analítico Jerárquico

2.7.1 Origen y concepto.

En la década de los setenta, el profesor Thomas L. Saaty propuso un método llamado Proceso Analítico Jerárquico del inglés, Analytic Hierarchy Process (AHP), surgió de la necesidad de la escasa información a la hora de tomar decisiones reales, teniendo en cuenta aspectos cualitativos difíciles de valorar. En un principio se creó con el fin de ayudar a la toma de decisiones en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos [17].

El método AHP selecciona alternativas en función de una serie de variables o criterios, que suelen estar jerarquizados y en conflicto entre ellos. En la estructura jerárquica el nivel más alto es el objetivo que se desea alcanzar, siendo los criterios y sub-criterios los niveles inferiores, como se puede observar en (Figura 2-11). El resultado del AHP es una jerarquización con unas propiedades que muestran preferencia global para cada una de las alternativas de decisión [18].

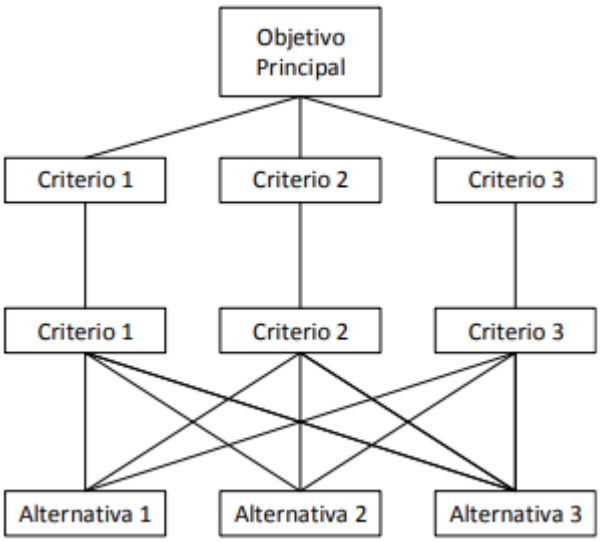


Figura 2-11 Estructura AHP. [29]

2.7.2 Teoría del AHP

Ante una incertidumbre, el AHP facilita la posibilidad de incluir datos cuantitativos a las diferentes alternativas viables para la decisión. Una de las ventajas del AHP es la incorporación de aspectos cualitativos que normalmente se quedan fuera de dicho análisis debido a su complejidad a la hora de medirlo, y que puedan ser relevantes en ciertas ocasiones [17].

El AHP mediante el modelo jerárquico, permite de manera eficiente y a su vez gráfica organizar la información respecto a un problema, descomponerla y poder analizarla por partes, considerando todos los efectos producidos por los cambios en los diferentes niveles. Se podría decir que trata de desmenuzar el problema, y posteriormente unir las soluciones de las diferentes alternativas en una única conclusión [17].

El AHP se fundamenta en [18]:

- Estructura modelo jerárquico (representación mediante identificación de meta, criterios y alternativas).
- Prioriza elementos.
- Comparaciones binarias entre las alternativas.
- Evalúa las alternativas mediante una asignación de pesos.
- Clasifica las alternativas respecto a los pesos asignados.
- Síntesis.

Ventajas del AHP frente a otros métodos de decisión multicriterio [18]:

- Sustento matemático.
- Desglosa y analiza el problema por partes.
- Medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.
- Añade información sobre la participación de personas o grupos de interés relacionados con el tema a analizar generando un consenso.
- De uso sencillo y permite que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

2.8 Empleo de la Inteligencia artificial (IA) en el mantenimiento

2.8.1 Concepto Inteligencia Artificial

Se podría definir la Inteligencia Artificial como la capacidad que poseen las máquinas para emplear diferentes tipos de algoritmos, aprender de los datos y poder utilizarlos a la hora de tomar una decisión de forma similar a un humano.

A diferencia de las personas, las maquinas no necesitan descansar, pudiéndose analizar una enorme cantidad de información simultáneamente, asimismo, el número de errores que cometen en las maquinas es sumamente menor que los que pueden producir los humanos.

2.8.2 Aprendizaje automático y sus tipos

El aprendizaje automático (en inglés, *Machine Learning*) es una de las ramas de la IA más importantes a día de hoy. Podría conceptualizarse como la capacidad de aquellos ordenadores y equipos que, computarizando grandes cantidades de datos, tienen de aprender sin estar programados previamente para ello, siendo uno de sus muchos resultados posibles, las sugerencias o predicciones de una situación en particular [19]

El aprendizaje automático emplea algoritmos para aprender de los patrones de datos. Se puede encontrar tres tipos de subconjuntos dentro del aprendizaje automático (Figura 2-12): aprendizaje supervisado, no supervisado y de aprendizaje reforzado.

Figura 2-12 Tipos aprendizaje IA.

- Aprendizaje supervisado: los algoritmos usan datos que han sido etiquetados u organizados con anterioridad para indicar como tendría que ser categorizada la nueva información.
- Aprendizaje no supervisado: Este método requiere de la intervención humana [19] ya que los algoritmos no usan los datos etiquetados previamente para indicar como tendría que ser categorizada la nueva información, sino que tienen que encontrar ellos mismos la manera de hacerlo [19].
- Aprendizaje por refuerzo: en este tipo de aprendizaje los algoritmos aprenden de la experiencia. Por así decirlo, hay que darles un "refuerzo positivo" cada vez que aciertan. Podríamos poner como ejemplo de cuando la "recompensa" que se le da a un perro cuando aprende algo [19].

2.9 El alistamiento de las Unidades de la Flota. Antes de la misión

2.9.1 El Ciclo Operativo

La Guía de Preparación de la Flota (cambio 3), entre otras directrices para el alistamiento de la Flota, los Ciclos Operativos de las diferentes unidades de la Armada.

El objetivo fundamental de establecer los Ciclos Operativos es disponer de una herramienta que permita determinar las actividades relacionadas con la preparación y empleo de las unidades. La primera actividad es precisamente la que se ocupa del apoyo logístico necesario para alistar sus equipos y sistemas. Posteriormente, se realizan aquellas que afectan al personal, su adiestramiento y evaluación de capacidades [21].

Todas las actividades del Ciclo Operativo deben de ser las adecuadas para la misión que se va a realizar en la etapa operativa en lo que se refiere al recurso del material, es un factor esencial para establecer las necesidades de mantenimiento, así como de la adquisición de los repuestos y pertrechos que garanticen el correcto funcionamiento de equipos y sistemas durante la misión [21].

Los ciclos operativos de los buques de superficie están delimitados entre los periodos de inmovilización programada en los que se realizan las obras normales, revisión de motores y varada cuando correspondas. Esta fase Logística suele comprender los primeros meses del ciclo. Con carácter general la duración del Ciclo Operativo de un buque es de dos años [21].

Un Ciclo Operativo genérico se compone de las fases e hitos indicados en la (Figura 2-13). Los periodos en meses son orientativos.

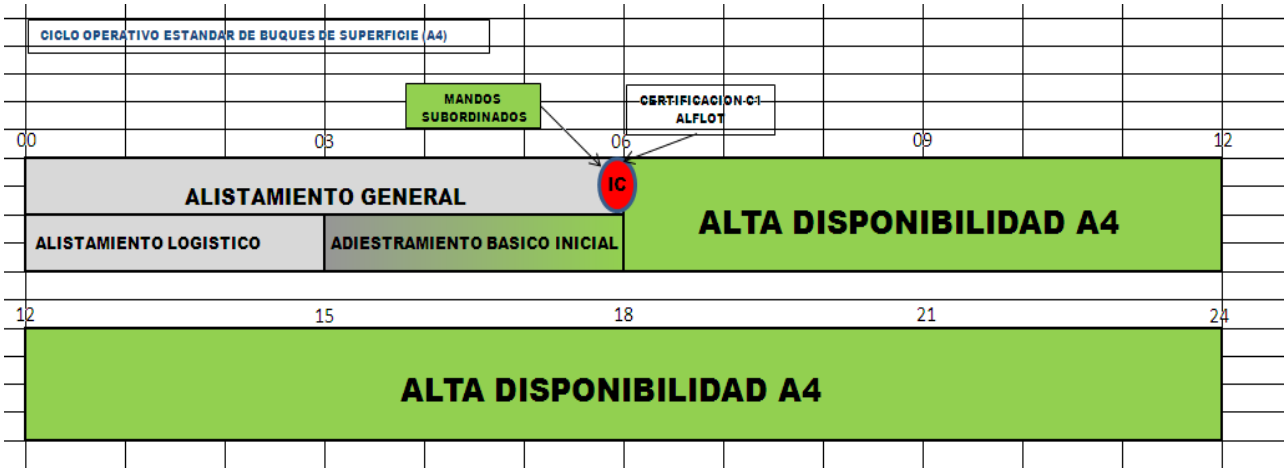


Figura 2-13 Extracto Ciclo Operativo.

2.9.2 . Las acciones de mantenimiento. Periodo de Inmovilización Programada

Las acciones de mantenimiento se llevan a cabo a lo largo de la vida de un buque a través de los diferentes escalones de mantenimiento (Tabla 2-1).

ESCALÓN	RESPONSABLE
PRIMERO	UNIDAD (BUQUE)
SEGUNDO	ARSENAL
TERCERO	INDUSTRIA
CUARTO	FABRICANTE

Tabla 2-1 Escalones mantenimiento.

Pero es en el Periodo de Inmovilización Programada (PIP) donde empieza el Ciclo Operativo, en dicho periodo se efectuarán todas aquellas actuaciones de mantenimiento programado e incidental que se consideran necesarias para garantizar su operatividad.

Durante la preparación y ejecución del PIP es cuando se toman las decisiones de qué obras acometer y que repuestos adquirir. En escenarios de recursos y tiempo limitados, es fundamental ser eficientes en su implementación. Herramientas de apoyo a la decisión basadas en la fiabilidad y con capacidad de predicción son de vital importancia para optimizar los recursos disponibles [21].

El objetivo es acertar en que mantenimientos realizar y que repuestos adquirir para llevar a bordo durante la misión para ser capaces de atender a averías, este segundo objetivo es el que trataré de aportar en este trabajo a través de un algoritmo de priorización apoyado en proceso analítico jerárquico a través de encuestas.

2.9.3 Los repuestos de primer escalón, las piezas a bordo

Las Unidades de la Flota disponen de un Libro de Cargo en el que se define su Primer Escalón de Aprovisionamiento de Repuestos y Pertrechos. Estos Libros de Cargo se elaborarán para cada buque y Periodo de Autonomía Logística (PAL). En los Buques el Libro de Cargo es tipo COSAL [22].

El COSAL *Consolidate Supply Allowance List* se genera a partir de la configuración buque (Árbol de Elementos Configurados - AEC). Consultando las APL y AEL de Carácter Particular y General configuradas, se establecen las necesidades de materiales de aprovisionamiento de cada uno de los Sistemas, Equipos o Componentes (S/E/C): repuestos consolidados y pertrechos susceptibles de ser utilizados en las acciones de mantenimiento necesarios para el cumplimiento de la misión.

La Instrucción de AJEMA 4/97, viene a reconocer que los valores para determinar el Cargo, al establecerse sin una base estadística de garantía, han de considerarse iniciales y susceptibles de revisión cuando se dispongan de datos fiables de coeficiente de demanda.

Para realizar el cálculo inicial de apoyo recomendado para un BUI (Repuestos a bordo) para el PAL establecido, se parte de un Coeficiente de Demanda (CD) basado en el Factor Técnico de Reemplazo fijado inicialmente por el Contratista (TRF), es decir el número de unidades que se estima técnicamente reemplazar de un repuesto por artículo instalado y año.

Una vez que dicho repuesto ha estado en la cadena logística el tiempo suficiente para establecer un modelo de demanda, el TRF pasa a ser calculado en base a datos reales del sistema generando el Factor Óptimo de Reemplazo o Best Replacement Factor (BRF) del repuesto. Este BRF debe ser objeto de una continua depuración a partir de los datos reales de utilización, fundamentados en la experiencia del sistema de mantenimiento o en la estadística de consumos.

Para la determinación de la profundidad o número de piezas de cada pieza, de los Cargos se seguirá la fórmula establecida en la Instrucción AJAL 4/97, ajustándose al criterio de consolidación para los de Gran Demanda y para los repuestos de Baja Demanda que por criterios técnicos (Technical Override Requirement -TOR) deban figurar en el cargo.

La determinación de los Repuestos y Pertrechos que deben incluirse en el COSAL, tanto en alcance como en profundidad, responderá se efectúa de la siguiente forma:

- Los Repuestos y Pertrechos de Carácter Particular que apoyan a equipos instalados en una Unidad se determinan, por las indicaciones que hace el fabricante/proveedor del S/E/C a través de la correspondiente Propuesta Inicial de Apoyo (PIDA), cuya elaboración es de obligado cumplimiento.
- La PIDA permite establecer la lista de Repuestos y Pertrechos de Carácter Particular que apoyan a un S/E/C. Una vez aprobadas por las distintas Direcciones de la JAL, se crean así las APL para los repuestos. 1 TOR (*Technical Override Requirement*): indica el tipo de imposición técnica por la que se ha incluido el artículo sin tener en cuenta la fórmula de cálculo de la cantidad a cargo.

Los repuestos que serán incluidos en el cargo (COSAL) responderán a los siguientes criterios [23]:

- Repuestos de Gran Demanda. Son aquellos que por su consumo deben almacenarse en la Unidad. Como se ha indicado, a lo largo de la vida del S/E/C, por ser desinstalado el equipo o en base a los datos de consumo reales, se producen modificaciones de forma que un repuesto deje de estar al cargo completamente (desaparece del alcance) o bien varíe la cantidad a cargo del mismo (varía su profundidad). La Unidad debe ir revisando esa información, con objeto de devolver o solicitar el material que exceda o falte al cargo, respectivamente.
- Repuestos de Baja Demanda. Son aquellos que, teniendo en cuenta exclusivamente su consumo, no deberían ir a cargo en el BUI. Sin embargo, se incluyen en el cargo por criterios técnicos.

- Repuestos y Pertrechos de Seguridad. Son aquéllos que, pese a su baja demanda, son esenciales para la misión de la Unidad o para la seguridad de la dotación.

De acuerdo con el Nivel Inferior de Mantenimiento (NIM) de un buque respecto al equipo instalado a bordo, el personal de la dotación podrá o no realizar los mantenimientos de primer escalón. Con carácter general, una Unidad que no pueda realizar los mantenimientos de un determinado equipo por medios propios, no debería tener los repuestos del mismo en su cargo. Como excepción, se encuentran los repuestos y pertrechos de seguridad, que corresponden a equipos vitales o que afectan a la seguridad.

Actualmente, de acuerdo con las directrices de la Subdirección de Abastecimiento y Transportes (SUBDAT) de la JAL, se está procediendo a revisar los *stocks* de los repuestos de primer escalón a bordo de las unidades, ya que se ha detectado un considerable exceso, que se van incrementando durante el periodo de alistamiento del barco previo a la misión.

La gran mayoría de estos criterios y niveles de referencias están contemplados en SIGMAWEB y GALIA y serán incluidos como variables en este estudio.

3 METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL TFG

La metodología empleada para el desarrollo de este trabajo consta de varias fases o procesos diferenciados y llevados a cabo de una forma secuencial, se representa en (Figura 3-1).

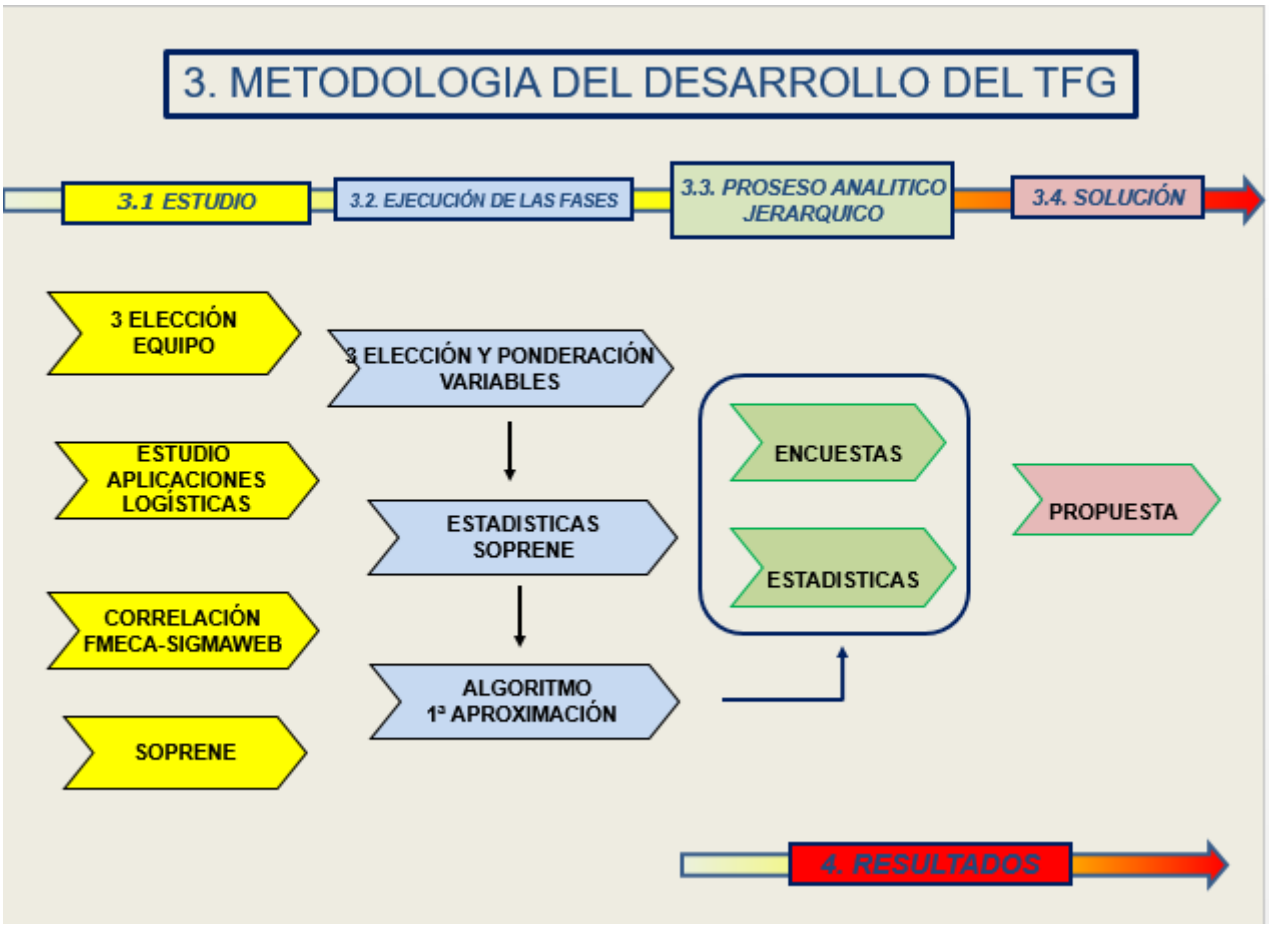


Figura 3-1 Metodología del desarrollo.

A continuación, se describen las diferentes fases y procesos que se han llevado a cabo en el presente trabajo.

3.1 Estudio

3.1.1 Elección del motor

La elección de este tipo de Diésel Generador, de las fragatas de la Armada Española, está basada en una serie de factores que han llevado a trabajar sobre dicho DG, a continuación, destacar los que más han influido en la decisión:

- La edad del equipo, dado a que son motores modernos y tienen un buen rendimiento, sus horas de funcionamiento las cuales permiten actualizar datos constantemente y la capacidad que tiene en un futuro de desplegarse de la unidad en la que está instalado.
- La información disponible en la documentación propiamente dicha, como puede ser;
  - Los planes e historial de mantenimiento durante su ciclo de vida.
  - Datos diarios a través de CESADAR.
- Catálogo e identificación de cada uno de los componentes y piezas del DG, el COSAL. Las aplicaciones GALIA y SIGMA–WEB permiten evaluar el alcance del apoyo del equipo o sistema.
- La posibilidad de poder disponer de los principales modos de fallo a través de las tablas FMECA, las cuales estaban ya elaboradas previamente por la Armada en el CESADAR [21].
- La cantidad de datos históricos de las señales que proporcionan los sensores instalados en el DG, estos datos se almacenar en el CESADAR, y puede ser empleados en programas o herramientas como el SOPRENE que, con el empleo de IA, permiten llegar a obtener las frecuencias de las anomalías y los posibles fallos, entre otras soluciones de cómo se encuentra el motor y futuras anomalías que puedan llegar a producirse.
- Es un motor conocido por el personal de la Armada, lo llevan a bordo algunas fragatas clase Santa María y todas las de la clase Álvaro de Bazán, favoreciendo así la difusión de las encuestas por las mismas.

Por supuesto, es fundamental que este Diésel Generador cuenta con el apoyo de la Cadena Logística de la Armada.

3.1.2 Identificación de la información y datos en las aplicaciones logísticas. Correlación aplicaciones logísticas

Identificación y compresión de la información reflejada en las diferentes aplicaciones logísticas empleadas:

- FMECA: modos de fallo, subsistemas y equipos afectados, grado de criticidad de las piezas NPR etc.
- GALIA: Historial de mantenimiento, la descripción de las instrucciones de servicio, los catálogos de repuestos y piezas, prescripción de los lubricantes, aditivos, el combustible necesario para su funcionamiento.

- SIGMA-WEB: Descripción completa de los componentes y piezas que están apoyadas por la Cadena Logística a través de su APL correspondiente, con la identificación a través de su Nº de Referencia y NIIN, así como los detalles sobre la disponibilidad que disponen las piezas, el índice GRESP (Grado de Esencialidad de la Pieza), población, durabilidad, la relación con otros componentes y piezas de equipos apoyadas por la Armada.

Posteriormente se procede a la búsqueda y correlación de aquellas piezas que pueden afectar de una manera u otra a alguno de los modos de fallos reflejados en el FMECA. Para ello, se trabaja sobre la plataforma SIGMA-WEB, se selecciona entre los trece (13) componentes por los que está formado el DG, los que tengan una relación directa con los subsistemas y equipos del FMECA. A continuación, estos componentes, con una muestra de sus piezas asociadas, se añaden en diferentes columnas a las tablas Excel del FMECA. Dichas columnas mostraran el NIIN, el Nº de referencia y las diferentes características de las piezas que nos proporcionen información relevante con sus valores ponderados para ser empleados como variables en el algoritmo.

GALIA proporciona información del plan de mantenimiento específico para el DG objeto de estudio. Las diferentes actuaciones de mantenimiento preventivo, su alcance e intervalo de horas de funcionamiento y/o periodos máximos de tiempo para llevarlos a cabo, serán empleados como una variable a tener en cuenta en el algoritmo.

En esta primera fase se trata de encontrar y evaluar la información disponible en las aplicaciones que tenga relación con el DG objeto de estudio:

SIGMA-WEB

Una vez dentro del programa SIGMA-WEB, se ha llevado a cabo la consulta del fabricante/proveedor, la cual se ha llegado a un fabricante alemán con un NCAGE “MTU FRIEDDRICHSMAHAFEN GMBH´”. Una vez elegido el fabricante, dentro de todos los motores/equipos que dicho fabricante ofrece, veintiocho, se ha elegido concretamente el MOTOR DIESEL MTU 12V 396 TE 54, siendo su referencia (NCAGE) D8266 12V 396TE 54 y si NIIN 12-353-4852, y APL M660701.

Dentro de la ficha técnica del motor en cuestión, se observa que el MOTO DIESEL MTU 12V 396 TE 54 está compuesto por un total de 2272 piezas, distribuidas en 13 componentes, los cuales se observan en la (Figura 3-2).

Componentes de la APL

APL	M6600701	MOTOR DIESEL MTU 12V 396 TE54

APL	Descripción	Población
M0100484	BOMBA INYECCION BOSCH MOD.PE12ZWM170/100RS3063	1
M0100485	BOMBA ROTATIVA WERDOHLER MOD.R2-2.75/64 FL-SO	1
M0100486	CONJUNTO BOMBA DE AGUA SALADA (BOMBA DE AGUA EXTERNA)	1
M0100488	BOMBA MTU MOTOREN MOD.SA062084	1
M0100490	BOMBA ROTATIVA MTU MOTOREN MOD.5581801501	1
M0100491	CONJUNTO BOMBA VOEGELE MOD.SA062310	1
M0100493	ELECTROBOMBA AZCUE MOD.BT-HM32D2+M2VA80B-4	1
M0300021	REFRIGERADOR MTU MOTOREN MOD.5581801465	1
M0300022	REFRIGERADOR GEA MOD.S 79-16 K 122	1
M0300023	REFRIGERADOR MTU MOTOREN MOD.SA062524	1
M0500011	CONJUNTO TURBOSOPLANTE MTU MOTOREN MOD.ZR 170/44	1
M3400128	MOTOR DIESEL MTU 12V 396 TE54. ARRANCADOR NEUMATICO	1
M6600702	CENTRIFUGADORA FILTERWERK MOD.69.712.65.161	1

Figura 3-2 Componentes DG. SIGMA-WEB

A continuación, se selecciona uno de los componentes, se abre una nueva página con sus características y piezas del componente seleccionado, como se puede ver en la (Figura 3-3), donde se observa que el Arrancador Neumático está formado por 29 piezas.

Consulta de la APL M3400128

ARMADA ESPAÑOLA **J.A.L.** **SIGMA-WEB**

APL

Número de Identificación	M3400128	
Tipo	A	LISTA DE REPUESTOS (APL)
Descripción		MOTOR DIESEL MTU 12V 396 TE54. ARRANCADOR NEUMATICO
Marca		
Modelo		24303
Tipo		
Nivel Inferior Mant.	7	SEGUNDO ESCALON DE MANTENIMIENTO
Organismo Técnico	RPN	SUBDING - RAMO TEC. PLAT. NAVALES (RTPN)

Relaciones

Número de Piezas	29	Ver Lista
Número de Componentes	1	Ver Lista
APL Aplicado	1	Ver Lista
APL Configurado		Ver Lista

Figura 3-3 Extracto características Arrancador Neumático. SIGMA-WEB

Para poder evaluar las características de cada una de las 29 piezas, se pueden seleccionar de forma individual en la lista de piezas de cada componente, al hacerlo, se abre una nueva página con toda la información. En la (Figura 3-4) se muestra el Motor de Arranque Neumático y se identifican, además de sus referencias y NIIN, sus diferentes propiedades que influirán en la disponibilidad, escalón de mantenimiento en caso de ser reparable, población, criticidad, etc.

ARMADA ESPAÑOLA **J.A.L.** **SIGMA-WEB**

APL

Número de Identificación	**M3400128**	MOTOR DIESEL MTU 12V 396 TE54. ARRANCADOR NEUMATICO
Tipo	A	

Identificación

NCAGE	D8266	MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH
Referencia	0001744102	STARTER,MOTOR
COA	6110	Equipos de Control Eléctrico.
NIIN	01-541-2320	MOTOR DE ARRANQUE, PARA MOTOR ELECTRICO
Identificador Material Especial		

Detalle Pieza en la APL

Número de Plano	SA062056	
Marca de Plano	001	
Símbolo Circuito		
GRESP	7	SU FALLO DEJA INOPERATIVO EL EQUIPO
Unidad Mínima de Reemplazo (UMR)	1	
Factor Técnico de Reemplazo (TRF)	0,0079	
TOR1ES		
Cantidad TOR1ES	0	
TOR2ES		
Cantidad TOR2ES	0	
Nivel Inferior de Mantenimiento (NIM)	8	TERCER ESCALON DE MANTENIMIENTO
Población	1 EA	Unidad
Demora	C	3 meses
Obtención	N	COMERCIAL NACIONAL
Caducidad	0	No se deteriora
Reparabilidad	C	Artículo reparable Tercer Escalón de Man
Precio	11095,79	

Figura 3-4 Extracto pieza Arrancador Neumático. SIGMA-WEB

En resumen, a través de la aplicación SIGMA-WEB se visualiza información de interés con las características de los componentes y piezas apoyadas del motor DG MTU 12V 396 TE54.

FMECA

FMECA nos proporciona todos los posibles modos de fallos, que han sido elaborados por personal militar y civil en el CESADAR mediante predicciones y una matriz de impacto donde se calcula el NPR de los subsistemas. FMECA está dividido en doscientos ocho modos de fallo, los cuales son aquellos que pueden llegar a producirse en dicho DG, dentro de cada modo de fallo están divididos en subsistemas, en este presente trabajo se destacan los cinco más relevantes a estudio dado sus piezas que hemos podido obtener en SIGMA-WEB.

- Sistema de arranque.
- Motor básico.
- Sistema de alimentación y combustible.
- Cierre de admisión.
- Sistema de aceite lubricante.

Del FMECA además de mostrar los subsistemas de dónde se pueden producir los supuestos fallos, también permite obtener información importante, como puede ser: Modo de fallo, función de dicho subsistema, el ITEM por el que está compuesto, efecto de los fallos (qué ocurre),estado del motor, sus consecuencias, pieza de repuesto necesaria, Índice de prioridad del riesgo actual (NPR) con una escala del 1 al 270, así como la ejecución que hay que llevar a cabo una vez que se haya producido el supuesto fallo. Podemos observar una parte del FMECA en (Figura 3-5).

	DENOMINACIÓN				FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL			MODO DE FALLO (CAUSA)		EFECTO DE LOS FALLOS (QUÉ OCURRE)	
Id	Sistema	Subsistema	Item	Equipo	Id.	Descripción	Id.	Descripción	Repuestos asociados	Id.	Descripción 1er Nivel	Id.	Descripción de efecto inmediato	Descripción de consecuencias del efecto
1	Motor generador	Sistema de arranque	Aire comprimido	N/A		Aire de arranque del motor		El cigüeñal no gira cuando se conecta el conmutador	N/A		Baja presión de aire		El motor no arranca	Sistema electrico fuera de servicio
2	Motor generador	Sistema de arranque	Válvula de presión de aceite	N/A		Prelubricación y arranque del motor		El cigüeñal no gira cuando se conecta el conmutador	Válvula de presión de aceite		Válvula de presión de aceite no funciona correctamente		El motor no arranca	Sistema electrico fuera de servicio
3	Motor generador	Sistema de arranque	Conmutador detector de aceite	N/A		Prelubricación y arranque del motor		El cigüeñal no gira cuando se conecta el conmutador	Conmutador detector de aceite		Conmutador detector de aceite no trabaja correctamente		El motor no arranca	Sistema electrico fuera de servicio

Figura 3-5 Extracto del FMECA. Armada Española.

La información más valiosa que se obtiene del FMECA, una vez detectado el modo de fallo, saber cuál es la pieza de repuesto, pudiendo así darle un peso a esa pieza en la creación del algoritmo.

GALIA.

Dentro del programa GALIA, se accede al motor MTU 12V 396 TE 54 proporcionando la documentación referente al catálogo de piezas y repuestos, Descripción e Instrucciones de Servicio, así como las prescripciones de materias de servicio.

La documentación que más se empleará será la de catálogo de piezas y repuestos, así como su instrucción de servicio, la aportará los planes de mantenimiento.

Dentro del catálogo de piezas y repuestos, se visualizan todas las piezas del motor en concreto, así como todas sus referencias, las cuales nos hace posible poder relacionarlas con el SIGMA-WEB y a su vez con los modos de fallo del FMECA. Podemos ver un ejemplo de un despiece en concreto en (Figura 3-6).

Bazán MOTORES

12V396-TE54 - FRAGATAS
DESPIECE DE 0010927701
Filtro de laminas

FECHA 6-09-2001
HOJA 1

MARCA	CODIGO DE PIEZA	DESCRIPCION	CANTIDAD
001	DIN939-M8X30-8.8	Esparrago	4,00
002	DIN910-R1-2''A-ST	Tornillo de obturacion	1,00
003	DIN7603-A21X26-CU	Frisa anular	1,00
004	5131030182	Caja filtradora	1,00
005	DIN934-M8-8	Tuerca exagonal	4,00
006	8699970171	Anillo junta	1,00
007	DIN1481-3X14	Pasador elastico	1,00
008	0009970737	Manilla	1,00
009	0000920471	Tornillo de junta	1,00
010	0009907951	Contratuerca	1,00
011	0019908740	Arandela	1,00
012	0001842180	Junta filtro combust.	1,00

Imagen IGNACIO GONZALEZ-ALLER

Figura 3-6 Extracto hoja GALIA. Armada Española

A su vez, se asocian las piezas del SIGMA-WEB con las de GALIA mediante su NIIN o su Nº de Referencia, para poder así analizar sus características con más profundidad y poder hacernos una idea más visual de la pieza en sí y de la localización de dicha pieza en el motor. Se aprecia en (Figura 3-7) la pieza Arrancador Neumático, con las características que previamente nos ha aportado SIGMA-WEB.

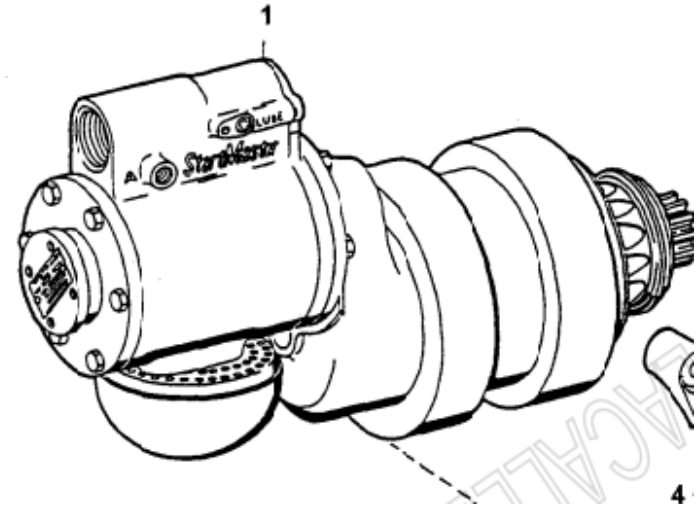


Figura 3-7 Pieza Motor de arranque del componente Arrancador del motor. GALIA

El sistema de mantenimiento para los diferentes motores y productos MTU consiste en un sistema de mantenimiento preventivo que comprende diferentes actuaciones o escalones desde el W1 al W6. De esta forma, se programan los trabajos, garantizando a su vez un elevado grado de disponibilidad.

En el caso de los motores MTU, las principales características de los diferentes mantenimientos son los siguientes:

- W1. Vigilancia del servicio, a diario efectuado por la unidad.
- W2, W3 y W4. Trabajos periódicos que pueden ser realizados sin despiece del motor en horas de servicio.
- W5. Es necesario un despiece parcial del motor, normalmente realizado por arsenal o industria.
- W6. Revisión general. Necesario desarmar por completo el motor Industria.

Los intervalos de mantenimiento y el alcance de las actividades a llevar a cabo en cada uno de ellos, están basados en las experiencias acumuladas en el servicio, y serán diferentes para cada motor. Si las condiciones de servicio son especiales, la recomendación será cambiar los planes de mantenimiento.

3.1.3 Correlación entre las aplicaciones

Una vez efectuado el estudio del alcance de los programas y aplicaciones a emplear, se procede a trabajar con el FMECA y SIGMA-WEB, tratando de correlacionar de una forma directa los modos de fallo que nos muestra el FMECA con las piezas que tengan alguna relación con dichos fallos, se realizara una correlación como aparece en la (Figura 3-8).

Para ello, de los trece componentes de los que está formado el MOTOR DG MTU 396 12V 54TE de SIGMA-WEB, se han relacionado con aquellos los modos de fallo de la FMECA que se corresponden con los subsistemas afectados por dichos componentes.

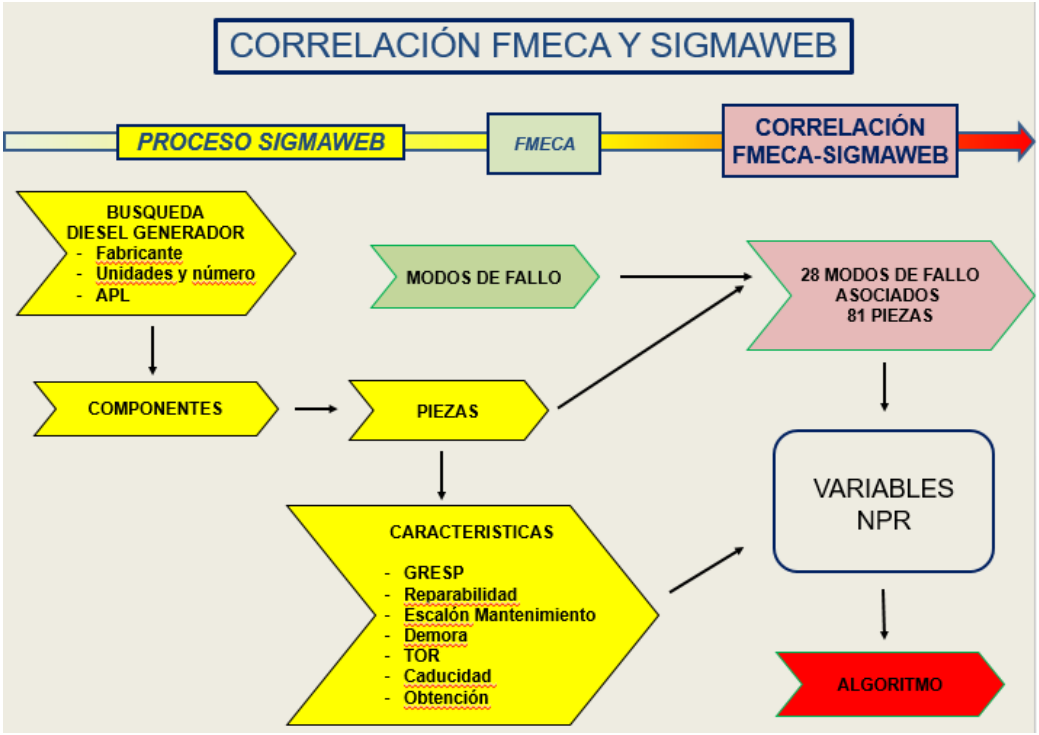


Figura 3-8 Correlación FMECA y SIGMA-WEB

Los componentes y piezas seleccionados se pueden resumir en:

- Los modos de fallo 6, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200 y 201 del FMECA se han relacionado con el Componente del DG número 12 en SIGMA-WEB, ARRANCADOR NEUMATICO. Está formado por 29 piezas, de las cuales se han contemplado siete, el propio conjunto arrancador, el motor de arranque y cinco piezas más de diferentes características. válvula solenoide.

- Los modos de fallo 15, 19, 26, 48 y 65, se han relacionado con la BOMBA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE, componente 1 de SIGMAWEB, está formado por 88 piezas, de las cuales se han seleccionado diez.

- Los modos de fallo 171 al 176, se han relacionado con la BOMBA DE AGUA SALADA, componente 3 de SIGMAWEB, está formada por 21 piezas, de las cuales se han seleccionado siete.

- Los modos de fallo 77, 139 y 159, se han relacionado con el CONJUNTO TURBOSOPLANTE, componente 11 de SIGMAWEB, está formado por 23 piezas del propio Conjunto Turbosoplante más 36 piezas de cada una de las Turbosoplantes, un total de 95, de las cuales se han seleccionado diecinueve.

- Los modos de fallo 76 y 88 se han relacionado con sistemas de REFRIGERACIÓN cuyos componentes son el 8, 9 y 10 de SIGMAWEB, está formado por 97, 23 y 103 piezas respectivamente, habiéndose seleccionado un total de treinta y dos.

- Finalmente, del Motor Básico se han seleccionado trece de piezas de los subsistemas y equipos periféricos, lo compones diversos KITs para los distintos niveles de mantenimiento programado del DG. Estás piezas están asociadas al modo de fallo número 7 de FMECA.

Las piezas con sus correlaciones correspondientes pueden observarse con más exactitud en el Anexo IV.

Un ejemplo de la presentación de las piezas seleccionadas se visualiza en (Figura 3-9).

PIEZAS	NIIN	REF/APL	RELACIONADOS	ABORDO	POBLACIÓN	ESCALÓN MTO	DETERIORO	PRECIO
MOTOR DE ARRANQUE	01-541-2320	1744102	5	0	1	3	NO	11095,79
CONJUNTO ARRANCADOR		SA062056	2	0	1	2	NO	500
VALVULA SOLENOIDE	33-203-5132	5550600578	5	0	1	No Reparable	NO	728,25
JUNTA ESTANQUEIDAD	12-325-5468	705057013	9	2?	2	No Reparable	9 M	0,58

Figura 3-9 Piezas del arrancador neumático con sus variables. FMECA

Destacar que la aplicación SIGMA-WEB no proporciona listados completos en formatos exportables a programas para poder tratarlos, por lo que se ha procedido a la selección de las piezas y sus características de forma manual, se puede apreciar de una manera completa en el Anexo IV.

3.1.4 IA. El programa SOPRENE

Se empleó el programa SOPRENE, para ello, es necesario acceder a través de una VPN (Red Privada Virtual), tal y como se muestra en la (Figura 3-10). De esta forma, se podrá acceder al portal de SOPRENE, el cual a través de una cuenta proporcionada por CESADAR permite acceder a la información de las bases de datos.

Una vez en SOPRENE, se dispone de tres accesos a la información relevante para el trabajo, se puede observar en (Figura 3-10), portales de: Analista, Consumidor y el portal Científico.

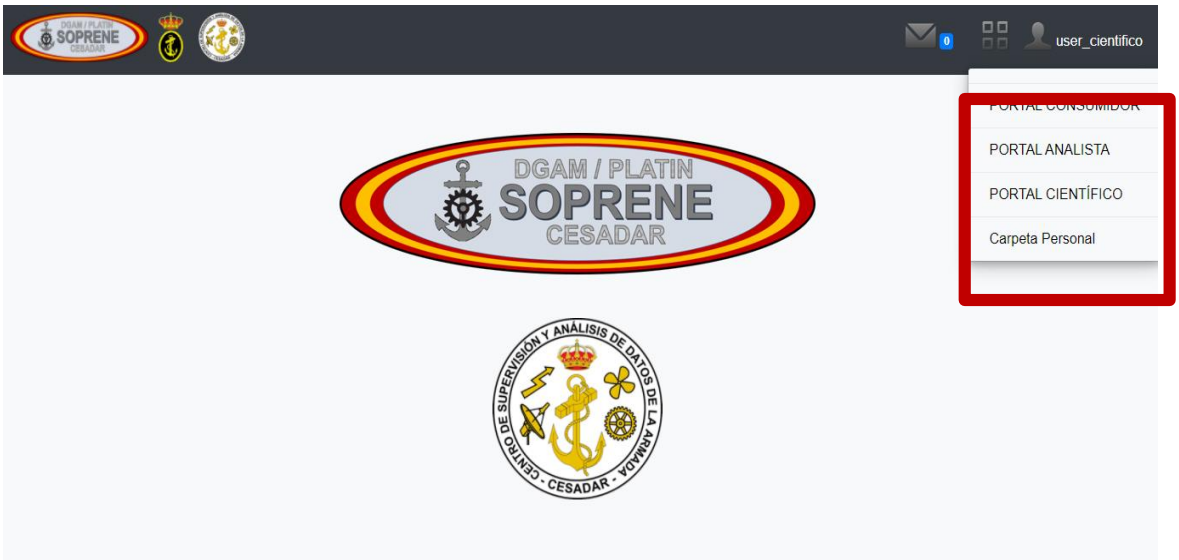


Figura 3-10 Portal SOPRENE. SOPRENE

- Portal Analista:

Permite acceder a los motores eléctricos de todos los buques de las fragatas F-100 de clase Álvaro de Bazán, así como a los cuatro primeros buques BAM de la clase Meteoro.

Accediendo al motor, mediante una predicción y anomalías, se pueden analizar los modos de fallos que se han producido en una fecha concreta, aportando información sobre el estado actual de la Flota, un resumen del Buque seleccionado, Datos químicos de la Flota, una predicción por modo de fallo, predicción por Subsistema, predicción por variable, así como correlaciones y validación.

Se puede ver un ejemplo en (Figura 3-11) un sistema generador eléctrico de un buque, siendo el motor elegido el 2A, y aplicando una predicción de algoritmo por días, mostrándonos su predicción por subsistema, entre otros.

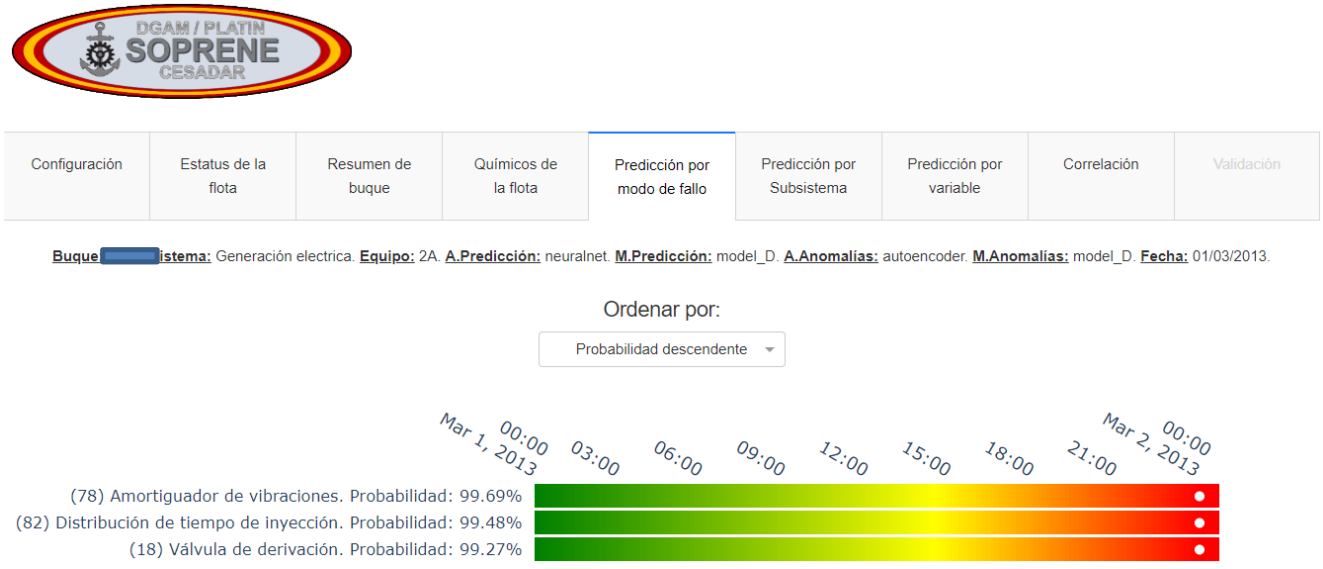


Figura 3-11 Portal Analista, Predicción por modo de fallo. SOPRENE

- Portal Científico:

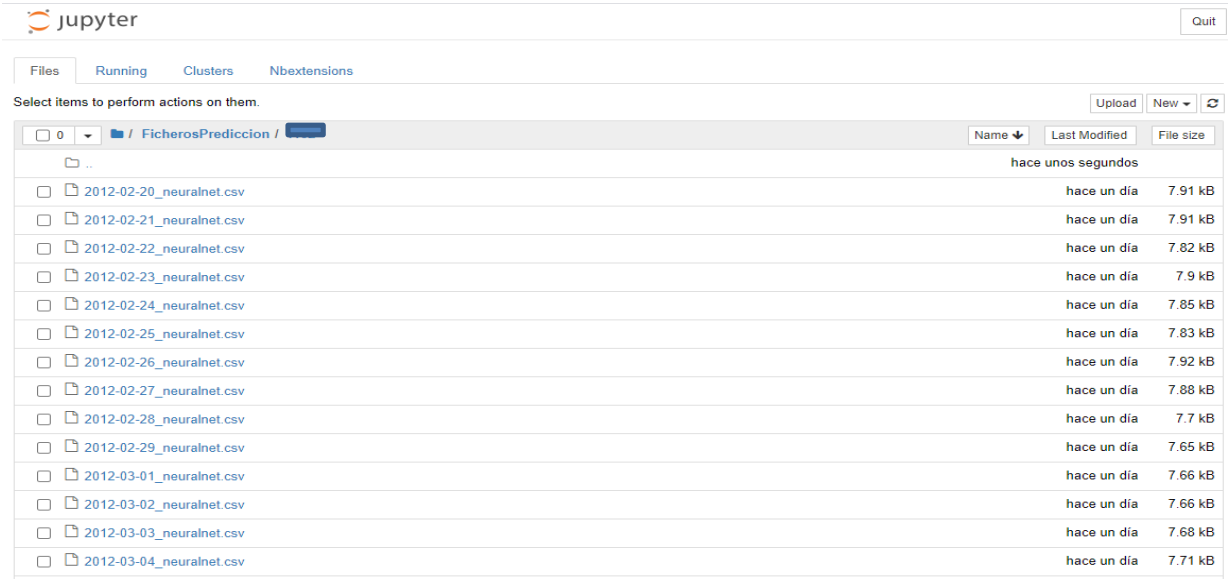


Figura 3-12 Portal científico. Datos diarios. SOPRENE

Desde de este portal, se accede con más detalle los datos de los motores buques seleccionados, esos datos son obtenidos día a día como se aprecia en (Figura 3-12), se pueden descargar en archivos “csv”.

- Portal Consumidor:

Se presenta la información a modo de sumario, nos permite escoger entre los buques con datos disponibles y acceder a los estados de salud de sus equipos, se pueden seleccionar por fechas, semestres, tipo de algoritmo a aplicar y el periodo temporal.

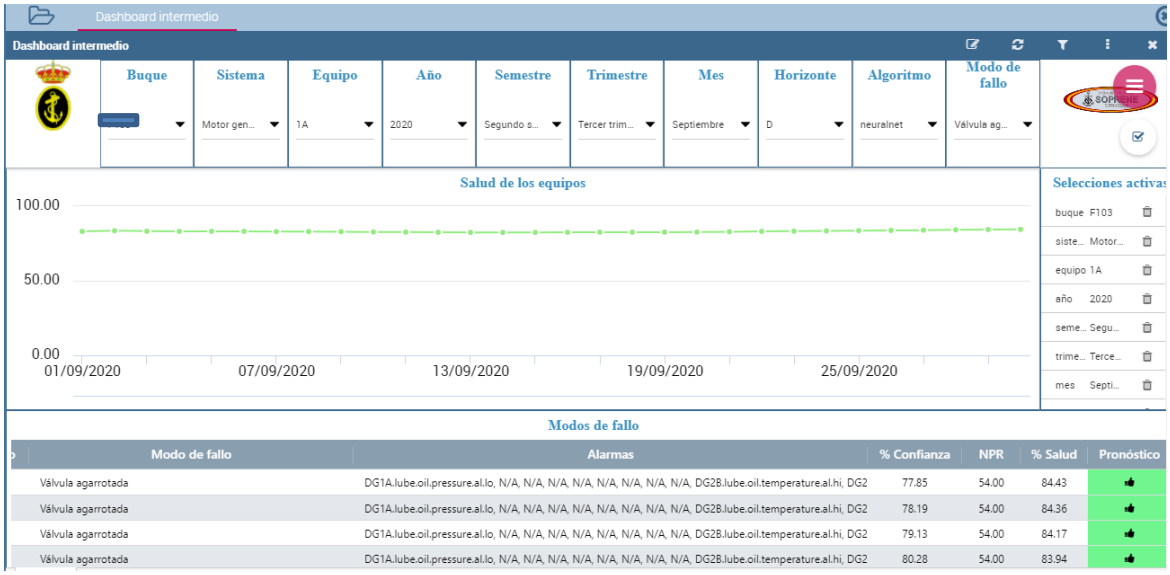


Figura 3-13 Portal Consumidor. SOPRENE

Como se puede observar en (Figura 3-13) se ha escogido como ejemplo una fragata , referido al sistema Motor generador para el año determinado en el segundo semestre, en un mes cualquiera, aplicándole un horizonte temporal de días y un algoritmo tipo ``neurona´´ para el modo de fallo de la válvula.

Como resultados, se aprecia en la parte inferior de (Figura 3-13) en el que aparece una serie de información relativa al modo de fallo, con sus alarmas que saltarían en caso de fallo, el grado de confianza que aporta dicho equipo y por último un estatus evaluándolo como apto.

3.2 Ejecución de las fases

3.2.1 Elección y ponderación de las variables

Para su elaboración, en primer lugar, procederemos a la elección y evaluación de las variables a emplear de SIGMA-WEB, GALIA y SOPRENE.

Dentro de los diferentes aplicaciones y programas que se están empleando en el desarrollo del trabajo, se pueden obtener diferentes características de cada una de las piezas, entre ellas, se ha efectuado una selección de que las más pueden influir en la priorización de su disponibilidad, y serán las que formarán parte del algoritmo de decisión, que proporcionará un coeficiente que determine si la necesidad de embarcar una pieza concreta o no.

A continuación, se describen las variables seleccionadas en las diferentes aplicaciones:

- **FMECA**

Variable Número Prioritario de Riesgo (NRP).

De la Excel del FMECA se destaca la variable NRP, indica la importancia que tiene la pieza en el funcionamiento del conjunto / componente en el que está montada, permite conocer el grado en que se ve afectado el funcionamiento del motor, llegando a dejarlo totalmente inoperativo o solamente de forma parcial.

El NRP se obtiene del producto de los índices de Severidad, Ocurrencia y Detectabilidad, es decir,

$$NRP = IS * IO * ID$$

El intervalo del NRP va desde 1 siendo hasta 270, siendo este el peor de los casos.

A continuación se muestra en (Figura 3-14) una tabla con los criterios NRP.

IS: SEVERIDAD			IO: OCURRENCIA			ID: DETECTABILIDAD		
Valor	Carácter	Explicación	Valor	Carácter	Explicación	Valor	Carácter	Explicación
1	Despreciable	Lesiones inexistentes o muy leves. Mínimo o nulo impacto medioambiental. Impacto operacional nulo. Daños valorados entre 2 y 10 kl.	1	Improbable	No se tiene constancia de que haya sucedido en los últimos 5 años	1	Predecible	Existen mecanismos de predicción implantados que permiten anticiparse al fallo
3	Marginal	Lesiones o enfermedad leve. Impacto medioambiental mitigable. Impacto operacional: paro < 15 min Daños valorados entre 10 y 200 kl.	3	Remoto	Es probable su ocurrencia a lo largo del año	3	Siempre detectable	Resulta muy improbable que no se detecte por los controles existentes
6	Grave	Lesiones o enfermedad grave. Impacto medioambiental medio reversible. Impacto operacional: paro > 15 min y < 1h Daños valorados entre 200 y 500 kl.	6	Ocasional	Sucede mensualmente	6	Probablemente detectable	Existe la posibilidad de escapar a un primer control, siendo detectado posteriormente
10	Crítico	Lesiones o enfermedad muy graves. Impacto medioambiental grave reversible. Impacto operacional: paro > 1h y < 3h Daños valorados entre 500 y 1000 kl.	10	Probable	Sucede semanalmente	10	Difícilmente detectable	Difícilmente detectable con los métodos actuales de control
15	Catastrófico	Pérdida de vidas humanas. Impacto medioambiental grave irreversible. Impacto operacional: paro > 3 h Daños valorados > 1000 kl	15	Frecuente	Sucede diariamente	15	No detectable	Imposible de detectar

Figura 3-14 Criterios NPR. FMECA

Dicho valor se encuentra en la Excel del FMECA, mostrando el NRP de la pieza y la manera en la que afecta al subsistema en el que se encuentra, a su vez, muestra la acción que hay que tomar de acuerdo con el modo de fallo y sus consecuencias, podemos ver un ejemplo en (Figura 3-15).

	DENOMINA	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL			MODO DE FALLO (CAUSA)	IS	IO	ID	NPR
Id	Sistema	Id.	Descripción	Id.	Descripción	Repuestos asociados	Id.	Descripción 1er Nivel				
6	Motor generador		Arranque del motor.		El cigüeñal no gira cuando se conecta el conmutador	Motor de arranque neumático		Motor de arranque neumático tiene un defecto.	15	6	3	270
ACCIÓN												
Hacer las reparaciones necesarias o reemplazar el motor de arranque neumático.												

Figura 3-15 NPR. FMECA

Como se ha podido ver en, el modo de fallo número seis (6) de los doscientos ocho (208) que muestra el FMECA del motor DG MTU 396 12V TE54, el cual tiene como función el arranque de motor, tiene un NRP de 270, dejando el motor inoperativo, debido a que el cigüeñal no gira cuando se conecta el conmutador, la acción a ejecutar es el recambio del motor de arranque neumático.

Variable Severidad y Ocurrencia (SO).

La FMECA proporciona una matriz en función de la ocurrencia de cuándo puede llegar a producirse un fallo y de la severidad que puede tener dicho fallo, como se muestra en (Figura 3-16).

Dicha matriz permitirá tener en cuenta la severidad y la ocurrencia en el algoritmo de decisión, dándole un peso dependiendo de la circunstancia/ misión que se esté llevando a cabo; por ejemplo, continuar navegando con máxima disponibilidad a pesar del estado del motor (en combate), o navegar sin ninguna amenaza, pero con el motor funcionando en el mejor rendimiento posible.

		OCURRENCIA				
		Improbable	Remoto	Ocasional	Probable	Frecuente
SEVERIDAD		1	3	6	10	15
Despreciable	1	1	3	6	10	15
Marginal	3	3	9	18	30	45
Grave	6	6	18	36	60	90
Crítico	10	10	30	60	100	150
Catastrófico	15	15	45	90	150	225

Figura 3-16 Matriz Ocurrencia/Severidad. FMECA

Su rango de valoración se encuentra entre 1 y 225. Forma parte del NPR.

- **SIGMA-WEB**

Las fichas técnicas de cada pieza de la aplicación SIGMA-WEB muestran una serie de indicadores, con distintos niveles y criterios de valoración. Los más relevantes para poder ser empleados como variables en el algoritmo figuran en la (Tabla 3-1).

VARIABLES	DEFINICIÓN
GRESP	GRADO ESENCIALIDAD DE LA PIEZA
DP02	CÓDIGOS NIVEL MANTENIMIENTO
AE(HYBAE06)	CÓDIGO DE REPARABILIDAD
AC29	CÓDIGO VIDA ÚTIL
CLFO	CÓDIGO DE FUENTE DE OBTENCIÓN
AE (HYB03)	CÓDIGOS DE DEMORA

Tabla 3-1 Indicadores de las piezas SIGMA-WEB.

De estos indicadores, se han seleccionado como variables los que se relacionan a continuación, con sus diferentes niveles de evaluación. Se han dado un carácter a cada variable:

- CÓDIGOS DE GRADO DE ESENCIABILIDAD DE LA PIEZA: GRESP (G)

Está variable es importante para el proceso ya que proporciona la información relativa a la operatividad del equipo y/o sistemas que quedan inoperativos con avería de la pieza como podemos ver en (Tabla 3-2) el valor máximo tendremos el que además de la operatividad, afecta a la seguridad física de personal y material.

GRESP	GRADO ESENCIALIDAD DE LA PIEZA	N	SU FALLO NO DEJA INOPERATIVO EL EQUIPO
		V	SU FALLO NO DEJA INOPERATIVO EL EQUIPO
		6	NO DEJA INOPERATIVO SISTEMA/EQUIPO
		7	SU FALLO DEJA INOPERATIVO EL EQUIPO
		8	SU FALLO AFECTA A LA SEGURIDAD

Tabla 3-2 Variable GRESP.

El GRESP es proporcionado de forma obligatoria por el contratista y será avalado por la Subdirección de Ingeniería de la JAL (SUBDING).

Para ponderar está variable, se ha valorado entre 1-4, estableciendo como valores extremos en los que el fallo no afecta a la operatividad (1) y cuando afecta a la seguridad (4), para los valores intermedios se ha diferenciado el que solo afecte al equipo (2) y el caso en que además deje inoperativo el sistema (3) se observa sus valores en (Tabla 3-3).

GRESP	VALOR
NO AFECTA	1
DEJA INOPERATIVO EQUIPO	2
DEJA INOPERATIVO SISTEMA	3
AFECTA A LA SEGURIDAD	4

Tabla 3-3 Valores GRESP.

- REPARABILIDAD. (R)

AE (HYBAE06)	CÓDIGO DE REPARABILIDAD	C	ARTÍCULO REPARABLE. TERCER ESCALÓN MAN.
		G	ARTÍCULO REPARABLE. SEGUNDO ESCALÓN MAN.
		N	ARTÍCULO NO REPARABLE. CUANDO ESTÉ INUTIL
		O	ARTÍCULO REPARABLE. PRIMER ESCALÓN MAN.

Tabla 3-4 Variable de reparabilidad.

Solamente será tenida en cuenta cuando sea y su valor corresponderá al de la variable Escalón de Mantenimiento que se describe a continuación.

- ESCALÓN DE MANTENIMIENTO (EM)

Caso de que la pieza sea reparable, está variable nos indicará que escalón de Mantenimiento puede afrontar la reparación de la pieza afectada. Los seis primeros códigos de la tabla corresponden al primer escalón, divididos por clase de unidad, por lo que tendrán el mismo valor. Cuando se está en misión, caso de ser necesario el segundo escalón o superior, el personal del barco no podrá efectuar la reparación, siendo necesaria su reposición o ir a puerto. (Tabla 3-5).

DP02	CÓDIGOS NIVEL MANTENIMIENTO	0	DEPENDENCIAS, NO APLICABLE A BUQUES
		2	DRAGAMINAS,PATRULLEROS Y MAYORES
		3	SUBMARINOS Y MAYORES
		4	BUQUES AUX,APA Y MAYORES
		5	DESTR.,FRAGATAS,ESCOLTAS Y MAYORES
		6	GRANDES BUQ.,CRUC.,PORTAAERONAVES
		7	SEGUNDO ESCALÓN DE MANTENIMIENTO
		8	TERCER ESCALÓN DE MANTENIMIENTO
		9	CUARTO ESCALÓN DE MANTENIMIENTO

Tabla 3-5 Variable mantenimiento.

Como se aprecia en (Tabla 3-6) es un aspecto fundamental, no solamente la condición de reparable, sino el escalón de mantenimiento que puede acometer la reparación. Caso de NO poder ser reparado a bordo, la prioridad debe disminuir, de ahí que en su ponderación se ha dado el peso fundamental al primer escalón de mantenimiento.

ESCALÓN DE MANTENIMIENTO	VALOR
PRIMER ESCALÓN	5
SEGUNDO ESCALÓN	2
TERCER ESCALÓN	1
CUARTO ESCALÓN	0

Tabla 3-6 Valores Mantenimiento.

- DEMORA (D)

Tiempo estimado en disponer de la pieza en los almacenes de la Armada desde que se inicia el proceso de solicitud. Este periodo deberá ser tenido en cuenta por los responsables del aprovisionamiento en la fase de alistamiento y, una vez en misión, para evaluar la conveniencia de solicitar la pieza y tener la certeza de recibirla durante el despliegue (Tabla 3-7).

AE (HYB03)	CÓDIGOS DE DEMORA	A	INMEDIATO
		B	1 MES
		C	3 MESES
		D	6 MESES
		E	12 MESES
		F	MÁS DE 12 MESES

Tabla 3-7 Variable demora.

Su valor se ve incrementado de acuerdo con el aumento del tiempo de demora estimado. Como la fase de alistamiento no suele exceder a tres meses, para periodos de demora entre tres y seis meses se ha otorgado el mismo peso y a partir de 12 meses se considera el mismo valor (4) (Tabla 3-8).

TIEMPO DEMORA ESTIMADO	VALOR
INMEDIATO	1
1 MES	2
3 MESES	3
6 MESES	3
12 MESES	4
MÁS DE 12 MESES	4

Tabla 3-8 Valores demora.

- FUENTE DE OBTENCIÓN (F)

Aunque aparentemente no debería de afectar a la operatividad y cumplimiento de la misión, ya que sabiendo la demora o tiempo de entrega de la pieza sería suficiente, independientemente del cómo se efectúe la adquisición (convenio entre países, acuerdo comercial,…) y quien es el proveedor (nacional, extranjero, UE…..), lo cierto es que, tras consultar a expertos de las oficinas de contratación, aseguran que en muchas ocasiones la falta de convenios, el ser fabricante no país OTAN o UE, trámites aduaneros…, afectan o modifican la demora e incluso impiden su obtención.

En el proceso de obtención, se consideran ocho diferentes casos relativos a la fuente o proveedor. (Tabla 3-9).

CLFO	CÓDIGO DE FUENTE DE OBTENCIÓN		PTE. DETERMINAR F.O.
		C	GESTIÓN CUIS
		F	ACUERDO LOGÍSTICO FRANCIA
		I	COMERCIAL NACIONAL IMPORTACIÓN
		L	GESTIÓN COMERCIAL LOCAL
		N	COMERCIO NACIONAL
		U	USA ACUERDO LOGÍSTICO
		Z	NAMSA

Tabla 3-9 Variable de obtención.

Para su valoración, se han agrupado en cuatro que se diferencian de forma más explícita, el resultado es el siguiente: (Tabla 3-10).

FUENTE DE OBTENCIÓN	VALOR
LOCAL	1
NACIONAL	2
USA CONVENIO	3
EXTRANJERO	4

Tabla 3-10 Valores de fuente de obtención.

- PRECIO (P)

El precio refleja el coste de la pieza que figura en su descripción. No será empleado en el algoritmo.

- POBLACIÓN (N)

Indica el número de componentes que se debe de disponer para su reparación / sustitución, esté cantidad o profundidad viene determinada en el Libro de Cargo del barco, y también está afectada por el Periodo de Autonomía Logística (PAL).

Para simplificar su valor en el algoritmo, se ha establecido un límite de porcentaje respecto a la cantidad que debe de estar en el almacén del barco respecto de las que existen, dando solamente dos valores según supere o no el 50% (Tabla 3-11).

POBLACIÓN: EXISTENCIA/CARGO	VALOR
MAYOR 50%	1
MENOR 50%	0

Tabla 3-11 Valores población.

- CÓDIGO DE VIDA ÚTIL (C)

Indica si la pieza se deteriora, y en su caso, el tiempo estimado que tarda en deteriorarse, así como el límite de vida útil recomendado en el almacén, a partir de ese momento no se garantiza que se encuentre en buen estado. Es proporcionado por el Contratista de acuerdo con la (Tabla 3-12).

AC29	CÓDIGO VIDA ÚTIL	!	5 DÍAS (LÍMITE DE VIDA EN ALMACÉN NO PRO)
		A	1 MES
		B	2 MESES
		C	3 MESES
		D	4 MESES
		E	5 MESES
		F	6 MESES
		G	9 MESES
		H	12 MESES
		I	72 MESES
		J	15 MESES
		K	18 MESES
		L	21 MESES
		M	24 MESES
		N	27 MESES
		P	30 MESES
		Q	36 MESES
		R	48 MESES
		S	60 MESES
		T	84 MESES
		U	96 MESES
		V	VARIABLES TALES COMO: 90,132,216,228
		W	120 MESES
		X	FECHA DE CADUCIDAD SUPERIOR A 60 MESES P
		Y	180 MESES
		Z	240 MESES
		0	NO SE DETERIORA
		1	3 MESES (LÍMITE DE VIDA EN ALMACÉN PROR)
		2	6 MESES (LÍMITE DE VIDA EN ALMACÉN PROR)
		3	9 MESES (LÍMITE DE VIDA EN ALMACÉN PROR)
		4	12 MESES (LÍMITE DE VIDA EN ALMACÉN PROR)
		5	18 MESES (LÍMITE DE VIDA EN ALMACÉN PROR)
		6	24 MESES (LÍMITE DE VIDA EN ALMACÉN PROR)
		7	36 MESES (LÍMITE DE VIDA EN ALMACÉN PROR)
		8	48 MESES (LÍMITE DE VIDA EN ALMACÉN PROR)
		9	60 MESES (LÍMITE DE VIDA EN ALMACÉN PROR)

Tabla 3-12 Variable código vida útil.

El PAL medio de una fragata oscila entre 60 y 90 días, por lo el criterio para la ponderación de esta variable debe contemplar este aspecto. En el caso de que la duración del despliegue previsto supere al PAL, existe la posibilidad de solicitar los repuestos en concepto de auxilio, una vez finalizada la misión, caso de no haberse empleado, se devuelven a los almacenes del Arsenal de apoyo para ser empleados por el segundo escalón de mantenimiento, o despliegues de otras unidades.

Teniendo en cuenta lo anterior y agrupando los periodos en cinco grupos, la propuesta de valoración de esta variable es la siguiente (Tabla 3-13).

VIDA ÚTIL	VALOR
NO DETERIORO	0
1 MES	1
3 MESES	2
3 – 6 MESES	3
MÁS DE 6 MESES	4

Tabla 3-13 Valores vida útil.

- REQUISITOS TÉCNICOS DE DECISIÓN (TOR).

Otra característica de las piezas que proporciona SIGMA - WEB son los Criterios Técnicos de Decisión, que responden a las siglas inglesas Technical Override Requirement (TOR). En determinadas piezas añade un criterio por el que deben llevarse a bordo, estos son los siguientes: (Tabla 3-14).

TOR	CÓDIGOS TDE TIPO TOR	B	IMPOSICION FIJA POR BUQUE
		C	DEBE SER ALMACENADO EN 2 ESCALÓN
		D	BASADA EN LA DEMANDA DEL ARTICULO
		E	IMPOSICION FIJA POR EQUIPO
		I	POR SEGURIDAD DEL EQUIPO
		L	POR LIMITACIONES FISICAS O TECNICAS
		N	POR NO AJUST.DEM.A LA DISTR. NORMAL
		P	POR MANTENIMIENTO PROGRAMADA
		S	POR SEGURIDAD DEL BUQUE
		T	IMPOSICION TECNICA

Tabla 3-14 Variable TOR.

El TOR es una imposición técnica para un repuesto de baja demanda que adquiere la condición de Repuesto de Seguridad, por lo que pasa a incluirse como repuesto de primer escalón de mantenimiento. El establecimiento de esta imposición es revisada en la SUBDEM y puede modificarse, por lo que sus conceptos y códigos pueden cambiar, normalmente de acuerdo con criterios basados en la propia situación del equipo y experiencia previamente adquirida en su sostenimiento [22]. De los tipos de TOR, se han considerado los cuatro más diferenciados por su importancia y obligatoriedad, el resto no serán considerados con valor (Tabla 3-15).

TIPO DE TOR	CÓDIGO	VALOR
VARIOS	C,P,D,L,N,O	0
IMPOSICIÓN FIJA DEL BUQUE	B,E	1
IMPOSICIÓN TÉCNICA	T	2
SEGURIDAD DEL BUQUE Y EQUIPO	S,I	3

Tabla 3-15 Valores TOR.

- **GALIA**

Trata de identificar una variable que nos introduzca en el algoritmo el estado del motor, en relación con el último mantenimiento que se le ha efectuado, cuál y desde cuándo. Una vez conocido, dependiendo de su alcance, podremos estimar las piezas que han sido reemplazadas / reparadas y las que, hasta el próximo mantenimiento, es más prioritario llevar a bordo.

La siguiente tabla refleja los niveles de mantenimiento descritos anteriormente, pero ahora los que corresponden al DG con sus intervalos y límites respecto de horas de servicio y tiempo transcurrido desde el anterior mantenimiento.

El Plan cronológico de mantenimiento es (Tabla 3-16).

NIVEL MANTENIMIENTO	ACTIVIDAD/ HORAS DE SERVICIO	VALOR LÍMITE	VALOR PONDERADO
W1	**Vigilancia del servicio**	**A diario**	**0**
W2	**Intervalos, hora de servicio**	**250**	**1**
	Valor límite, meses	**6**	
W3	**Intervalos, hora de servicio**	**1000**	**2**
	Valor límite, meses	**1**	
W4	**Intervalos, hora de servicio**	**2000**	**2**
	Valor límite, meses	**2**	
W5	**Intervalos, hora de servicio**	**10000**	**5**
	Valor límite, meses	**6**	
W6	**Intervalos, hora de servicio**	**30000**	**10**
	Valor límite, meses	**8**	

Tabla 3-16 Plan cronológico de Mantenimiento.

Para considerar está información como variable (W), se tendrá en cuenta el tiempo que ha transcurrido desde el último mantenimiento programado y su alcance: cuanto mayor es el nivel de mantenimiento y menor el tiempo transcurrido, menor será la prioridad de embarque de piezas.

La descripción de las actuaciones a llevar a cabo en cada mantenimiento se encuentra en la documentación técnica del DG [25].

El Plan de Mantenimiento de cada equipo o sistema es proporcionado por el fabricante. Posteriormente podrá modificarse de acuerdo a criterios técnicos y la experiencia en el ciclo de vida.

3.2.2 Análisis SOPRENE

En esta fase, a través de la VPN se accede a SOPRENE y en el portal del consumidor se recopila todos los datos de los DG de las fragatas de la Flota. Dichos datos muestran la fecha en la que se ha calculado la predicción, el ID (el Modo de fallo que va a ocurrir), la fecha predicha, el día en el que se va a producir desde la primera muestra y su probabilidad, como se observa en (Tabla 3-17).

1	FechaDePrediccion	Id	FechaPredicha	día	Probability
4	23/06/2019	78	28/06/2019	3051	0,792201638
8	23/06/2019	78	01/07/2019	3054	0,792280555
12	17/12/2011	78	26/12/2011	310	0,792679131
16	23/06/2019	78	26/06/2019	3049	0,793709755
20	23/06/2019	78	27/06/2019	3050	0,794632316
24	23/06/2019	78	30/06/2019	3053	0,794736862
28	23/06/2019	78	29/06/2019	3052	0,795069754
32	23/06/2019	78	25/06/2019	3048	0,796399355

Tabla 3-17 Extracto Excel datos SOPRENE.

De cada uno de las anteriores fragatas se tienen predicciones anómalas desde los años 2011 hasta 2020 dependiendo de qué buque.

Los modos de fallo que más se esperan que tengan fallos anómalos son el 14, 18, 44, 78, 82, 85, 87, 88, 104, 125, 140, 141, 145, 169, 174, 179, 181, 182

En (Figura 3-17) observa que todos los modos de fallos posibles en cada una de las cuatro fragatas se componen al final en solo cinco subsistemas, siendo estos: Sistema de alimentación de combustible, Motor Básico, Sistema de alimentación del lubricante, Sistema de refrigeración y Sistema de Admisión y escape.

		BUQUES							
		BUQUE 1		BUQUE 2		BUQUE 3		BUQUE 4	
MODO FALLO	SUSBSITEMA	PREDICCIÓN	PROBABILIDAD(%)	PREDICCIÓN	PROBABILIDAD(%)	PREDICCIÓN	PROBABILIDAD(%)	PREDICCIÓN	PROBABILIDAD(%)
14	SIST.ALIMET.COMB	19291	90	731	88	2051	98	-	-
18	SIST.ALIMET.COMB	74141	91	63761	94	93331	91	6321	95
82	SIST.ALIMET.COMB	55436	96	45878	97	55910	95	5279	98
44	MOTOR BÁSICO	99264	62	19179	61	43031	61	1079	59
78	MOTOR BÁSICO	93431	93	64491	95	95381	93	6231	97
124	MOTOR BÁSICO	278	65	21	54	258	61	-	-
125	MOTOR BÁSICO	36085	56	17225	55	38699	56	932	55
85	SIST. ACEITE LUB	847	71	519	62	4840	67	6	54
87	SIST. ACEITE LUB	27619	70	24405	70	22335	74	3261	73
104	SIST. ACEITE LUB	87	88	1	50	107	71	-	-
140	SIST. ACEITE LUB	7248	63	4209	61	10294	69	475	57
141	SIST. ACEITE LUB	29345	70	25897	70	23670	75	3458	71
145	SIST. ACEITE LUB	69	92	-	-	92	69	-	-
181	SIST. ACEITE LUB	1242	55	202	51	2633	55	13	51
182	SIST. ACEITE LUB	4458	60	2082	61	6885	66	165	55
88	SIST. REFRIG.	237	64	1	52	157	66	-	-
169	SIST. REFRIG.	979	55	34	50	1285	53	-	-

Figura 3-17 Predicciones por buques.

- BUQUE 1

De dicho buque se tienen predicciones desde 2011 hasta 2020 con un total de 390.647 predicciones tomadas diariamente.

Como muestra (Figura 3-17), el sistema de refrigeración del combustible es el subsistema que más probabilidad tiene de ocurrir y siendo los menos probables los subsistemas de sistema de refrigeración y sistema de admisión y escape.

- BUQUE 2

De este buque se tienen registradas 268.712 predicciones desde el 2012 hasta el 2015, como muestra (Figura 3-17) el subsistema de sistema de refrigeración de combustible es el más probable para que suceda una anomalía. Destacar que del subsistema de admisión de escape se cuenta con muy pocas predicciones.

Resaltar el modo de fallo número 78 “amortiguadores de vibraciones” del motor básico con un pronóstico del 95% de que ocurra.

- BUQUE 3

Cuenta con un valor total de 402.620 predicciones medidas desde el 2012 hasta el 2015. Siendo de nuevo el subsistema alimentación del combustible el que más probabilidad tiene de surgir.

Dicho buque es del cual se tienen más datos registrados de predicciones anómalas.

- BUQUE 4

Este último buque cuenta con 273.12 predicciones desde el 2011 hasta 2015. Es el buque con el menor número de predicciones tomadas, destacando una vez más el sistema alimentación del combustible con la mayor probabilidad de que se produzca la anomalía.

Como un resumen a lo analizado en esta parte de SOPRENE, se sacan las siguientes reflexiones:

- El subsistema Alimentación de combustible es el que más probabilidad tiene de ocurrir en las cuatro fragatas, con una probabilidad aproximada del 90%.
- El modo de fallo 14, es debido al arranque, se puede despreciar (fallo electrónico).
- El buque 3 es el que cuenta con un mayor número de datos registrados.
- De todos los subsistemas, acaban repercutiendo solo en los cinco anteriores.

3.2.3 Algoritmo de apoyo a la decisión. Primera aproximación

Esta primera aproximación dará como solución un número que, cuanto más alto/bajo sea, indicará el nivel/grado de prioridad para así poder decidir que piezas deberán de ser embarcadas en los pañoles de repuestos del buque, para una misión determinada.

El proceso de su determinación ha sido el siguiente:

- Emplear las variables de SIGMA-WEB, GALIA y SOPRENE y sus valoraciones previamente establecidas en el apartado 3.2.1.

- Asociar dichas variables mediante operadores matemáticos, para ello se han establecido los siguientes criterios:

- Diferenciar con claridad las variables de cada una de las aplicaciones, agrupándolas de acuerdo a la afinidad, como es el caso de las obtenidas de SIGMAWEB y GALIA.
- Las variables que más peso tienen son los que afectan a la criticidad y seguridad, posteriormente los que retarden su disponibilidad.
- El NPR, al afectar a la severidad, ocurrencia y detectabilidad del fallo, se ha empleado directamente el que da la FMECA del DG. Se ha dividido por 10 para que su influencia, aunque es la que tiene más peso, permita ser afectada de forma cuantitativa por el resto de variables.
- El código de recomendación Técnica para Repuestos a bordo (TOR), se considera de forma independiente ya que es un código que puede ser cambiado por los responsables del mantenimiento, de acuerdo a lo mencionado en la explicación del apartado 3.2.1.
- Las variables que se alejen de las capacidades de reparación o sustitución por parte de la unidad durante la misión, en este caso solamente afecta a los niveles de mantenimiento, (W) y el escalón de mantenimiento (EM) disminuyen la prioridad. Por tal motivo pasa al denominador, esta multiplicada por 1000 para que la combinación FMCA y SIGMAWEB (segundo término) tenga valores de la misma magnitud que los otros dos términos, NPR y TOR.

De acuerdo con lo anterior, la primera aproximación propuesta es la siguiente:

$$PP = NPR/10 + \left(\frac{GRESP * \left(r + \frac{EM}{10} + D + F + C \right)}{1000 * W} \right) + TOR$$

PP: Prioridad de la pieza.

W se contempla siempre que la acción programada de mantenimiento sea mayor que W1.

Esta solución será corregida en su variable NPR, de acuerdo con el proceso analítico jerárquico a través de las encuestas a personal con conocimiento de los DDGG.

3.3 Proceso Analítico Jerárquico AHP

3.3.1 Encuestas relacionadas al personal del DG

Se han efectuado encuestas con el fín de poder estimar que criterios son más importantes, como son la Severidad, Ocurrencia y la Detectabilidad, a su vez se tratará de saber el nivel de importancia que se les da a esas variables aplicadas a cuatro subsistemas del DG. Dichas encuestas se han distribuido entre el personal que tiene conocimiento en motores o trabajan a bordo o en los diferentes escalones de mantenimiento. Este ámbito incluye a los Jefes de Maquinas de los buques de la Flota, así como todo su personal del destino de máquinas, que incluye personal de la Armada de las tres escalas Oficiales, suboficiales y marinería. También han sido respondidas por personal civil y militar de Arsenales.

La encuesta se divide en varias partes:

- Información del encuestado: profesión, civil y militar, en este último caso a que escala pertenece.
- Evaluación de los modos de fallo en cuanto a la importancia relativa entre las variables que componen el NPR, Severidad, Ocurrencia o Detectabilidad.
- Evaluación las variables del NPR de los cuatro modos subsistemas de fallos empleados en el estudio; Sistema de arranque, Bomba de alimentación del combustible, Sistema de refrigeración y turbosoplantes. Dichos subsistemas han sido elegidos por tener una media de los más frecuentes y a los menos frecuentes y por hacer una reducción de los 208 modos de fallos existentes.

Con la información obtenida, se estimará que variable del NPR es más importante para cada encuestado, así podremos agrupar los resultados por escalas y analizarlos en profundidad, con el fín de obtener la variable más crítica para tenerla en cuanta a la hora de estimar que piezas embarcar.

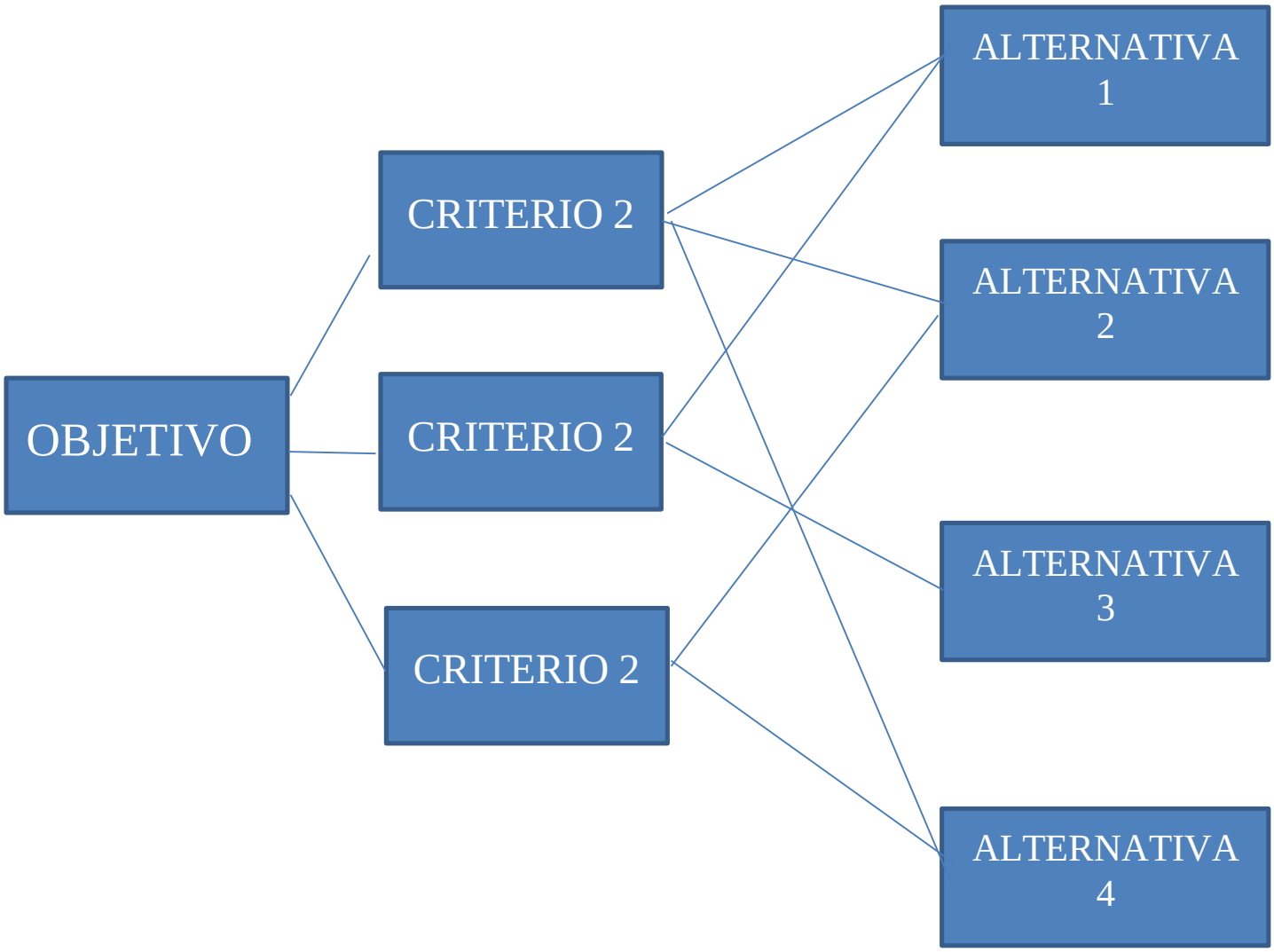
Para ver por completo las encuestas realizadas, así como sus respuestas, se encuentran en Anexo II y Anexo III.

En este apartado se explicará los pasos que son necesarios para poder aplicar el Proceso Analítico Jerárquico a las respuestas obtenidas en la encuesta.

Tras consultar los resultados de las encuestas, se procede a realizar el método AHP, para ello se ha aplicado lo siguiente:

- Lo primero definir el problema y construcción del mapa jerárquico indicando el objetivo final conformando por el nivel más alto, nivel intermedio por los criterios que, a su vez, están formados por el nivel inferior con las opciones que se pueden tomar en la decisión. La jerarquía se crea de tal forma que, los elementos de un mismo nivel sean del mismo orden de magnitud y puedan relacionarse con algunos de los elementos del siguiente nivel (Figura 3-18).

NIVEL 0 **NIVEL 1** **NIVEL 2**



- A continuación, se realiza la matriz de las comparaciones pareadas. Cada uno de los elementos establecidos en los diferentes niveles jerárquicos son valorados, realizándose una comparación.

- Por parejas mediante una escala del 1 – 9. Cuando dos de los elementos tienen la misma importancia se le asigna el valor 1; si es moderadamente parecido se le asigna valor 3, si dichas variables son fuertemente parecidos será de valor 5 y siendo 9 una variable extremadamente preferida, el resultado de estas comparaciones será una matriz cuadrada, recíproca y positiva, llamada, "matriz de comparaciones pareadas" en la que se muestran en cada uno de los componentes la intensidad de preferencia frente a otros aspectos del objetivo considerado, ejemplo en (Figura 3-19).

	A	b	c
a	1	3	2
b	1/3	1	7
c	½	1/7	1

Figura 3-19 Ejemplo matriz comparaciones pareadas AHP [23]

- Posteriormente, se hace el cálculo de los pesos relativos (Figura 3-20) para cada uno de los elementos. Para ello, se suman cada columna y se obtiene el recíproco del total.

	a	B	c
a	1	3	2
b	1/3	1	7
c	½	1/7	1
Total=	1.83	4.14	10
1/ Total=	0.55	0.24	0.10

Figura 3-20 Ejemplo cálculo peso relativo AHP. [23]

- Como secuencia de los pasos anteriores, a continuación se procede a la creación de la matriz normalizada realizando el cálculo del vector de prioridades (Figura 3-21), para ello se genera la matriz auxiliar en la que se complementa cada celda con el resultado reciproco total anterior por el juicio del valor. Posteriormente, se si se suma cada fila se obtiene el total normalizado de cada uno de los elementos. Y, por último, el vector de prioridad principal se obtiene con el promedio de los valores de las columnas normalizadas.

	a	b	c	Total normalizado	Vector de prioridades
a	0.55	0.72	0.20	1.47	0.49
b	0.18	0.24	0.70	1.12	0.37
c	0.27	0.03	0.10	0.41	0.14
				3.00	1.00

Figura 3-21 Ejemplo matriz normalizada y vector prioridades. [23]

- Finalmente se realiza la Identificación de las prioridades, en la cual, se sintetiza el resultado obtenido a través del aporte relativo de cada alternativa a cada uno de los criterios y a su vez del nivel de preferencia relativo atribuido a éstos, para poder así alcanzar un objetivo final [23].

En el presente trabajo se tomará como el objetivo el conocer cuál de las variables es más crítica y de cara a simplificarlo, se le ha aplicado la media a cada una de las respuestas obtenidas en las encuestas, tanto de manera conjunta (todos los grupos sociales) como de manera individual. Se seguirá el siguiente criterio de valores con el fin de simplificar la matriz pareada.

ESCALA UTILIZADA	CORRESPONDENCIA ESCALA SAATY
1	1 / 9
2	1 / 5
3	1
4	5
5	9

Tabla 3-18 Correspondencias Escala utilizada-Saaty

Con los valores de (Tabla 3-18) se tratará de simplificar la matriz, mediante el uso de la media a las respuestas de las encuestas se rellenara la mitad de la matriz pareada. Para calcular la otra mitad de la matriz simplemente vale con calcular el inverso de las casillas que estén enfrentadas dando asi una solución jerarquizada [24]. [27]

3.3.2 Resultados de la encuesta aplicados al NPR

Tras obtenerse los resultados de las encuestas se realizan una serie de estadísticas con ellos, primeramente se realizará un AHP general a las variables del NPR (Severidad, Ocurrencia y Detectabilidad) como se ha comentado anteriormente en 3.3.1, este primer proceso se ha realizado de una forma general, es decir, una media de lo que les resulta más importante a todos los grupos encuestados.

Con el resultado de dicha encuesta, se calcula un nuevo NPR, el cual será utilizado en un segundo algoritmo, el cual se muestra en 3.4, donde el valor del anterior NPR del primer algoritmo se variará en función de las respuestas de las encuestas.

Realizado el AHP en cada una de las variables de las respuestas de los cien encuestados se obtienen los siguientes resultados.

CRITERIOS	SEVERIDAD	DETECTABILIDAD	OCURRENCIA	vector prioridad	**RANKING**
SEVERIDAD	1,00	0,99	3,60	43,43%	2º
DETECTABILIDAD	1,00	1,00	3,74	44,56%	1º
OCURRENCIA	0,28	0,27	1,00	12,01%	3º
SUMA	2,28	2,26	8,34	100,00%	
TOTAL	15,40				

Tabla 3-19 NPR Encuestas.

Como se observa en (Tabla 3-19) se saca en claro que la SEVERIDAD y la DETECTABILIDAD, son las variables más importantes para los encuestados. Con esas variables, se modificará el nuevo NPR en nuestro segundo algoritmo, dándole así un mayor peso a la severidad y a la detectabilidad y disminuyendo el valor de la ocurrencia, ya que es de menor importancia para los encuestados.

Comparándose el NPR obtenido en las encuestas con el de Armada (FMECA), se puede apreciar que hay ciertas discrepancias, de los tres criterios del FMECA el menos valorado es la detectabilidad siendo más valorada por los encuestados en la misma proporción que la severidad.

Finalmente, de esta parte de la encuesta, llama la atención el escaso valor dado a la ocurrencia, cuya importancia es fundamental en la determinación de los mantenimientos programados y su implicación en la necesidad de piezas para ejecutarlos.

3.4 Solución

Con el resultado de la parte general de las encuestas, apartado 3.3.2, referida a los criterios que forman el NPR de FMECA: Severidad (S), Ocurrencia (O), y Detectabilidad (D), se planteará una solución en la que es modificado el NPR proporcionado por el FMECA.

Se parte de la primera aproximación planteada en el apartado 3.2.3.

$$PP = NPR/10 + \left(\frac{GRESP * \left(r + \frac{EM}{10} + D + F + C \right)}{1000 * W} \right) + TOR$$

Se recuerda que $NPR = S * O * D$

Para modificar los criterios de S, O y D del NPR, se consideran dichos valores como el 100% y se aplicará una variación porcentual proporcional al resultado de la encuesta. En este sentido se propone la siguiente ponderación suavizada respecto a los porcentajes obtenidos (Tabla 3-20)

	Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad
ENCUESTA	43,43%	12,01%	44,56%
FACTOR CORRECCIÓN	1,1	0,7	1,2
NPR	$S * O * D$		
NPR PROPUESTO	$1{,}1\ S * O, 7\ O * 1{,}2\ D$		

Tabla 3-20 Factor de corrección del NPR por resultado de encuestas

El nuevo algoritmo propuesto, con el primer término modificado, sería el siguiente;

$$PP = \frac{\left((1{,}1 * S) * (1{,}2 * D) * (0{,}7 * O)\right)}{10} + \left(\frac{GRESP * \left(r + \frac{EM}{10} + D + F + C\right)}{1000 * W} \right) + TOR$$

Estos coeficientes de corrección se basan en una aproximación que no tiene en cuenta los resultados que se obtendrán de la encuesta relativa a los componentes contemplados. Previsiblemente, para cada componente podrían tener diferentes resultados. Por lo que esta solución sería la de un criterio general, con un valor solamente a efectos de trabajo que aporta una posible solución de priorización de las piezas a embarcar.

Los cálculos del algoritmo pueden verse en su Excel correspondiente en el Anexo V.

4 RESULTADOS

Para el desarrollo de este TFG se han aplicado diferentes líneas de trabajo, alguna de ellas previamente planteadas como metodología, y otras que han ido surgiendo motivadas por recomendaciones de los tutores, sugerencias del personal de la Armada consultado y finalmente debido a ciertas dificultades de acceso a las aplicaciones y base de datos. Se seguirá un proceso como aparece en (Figura 4-1).

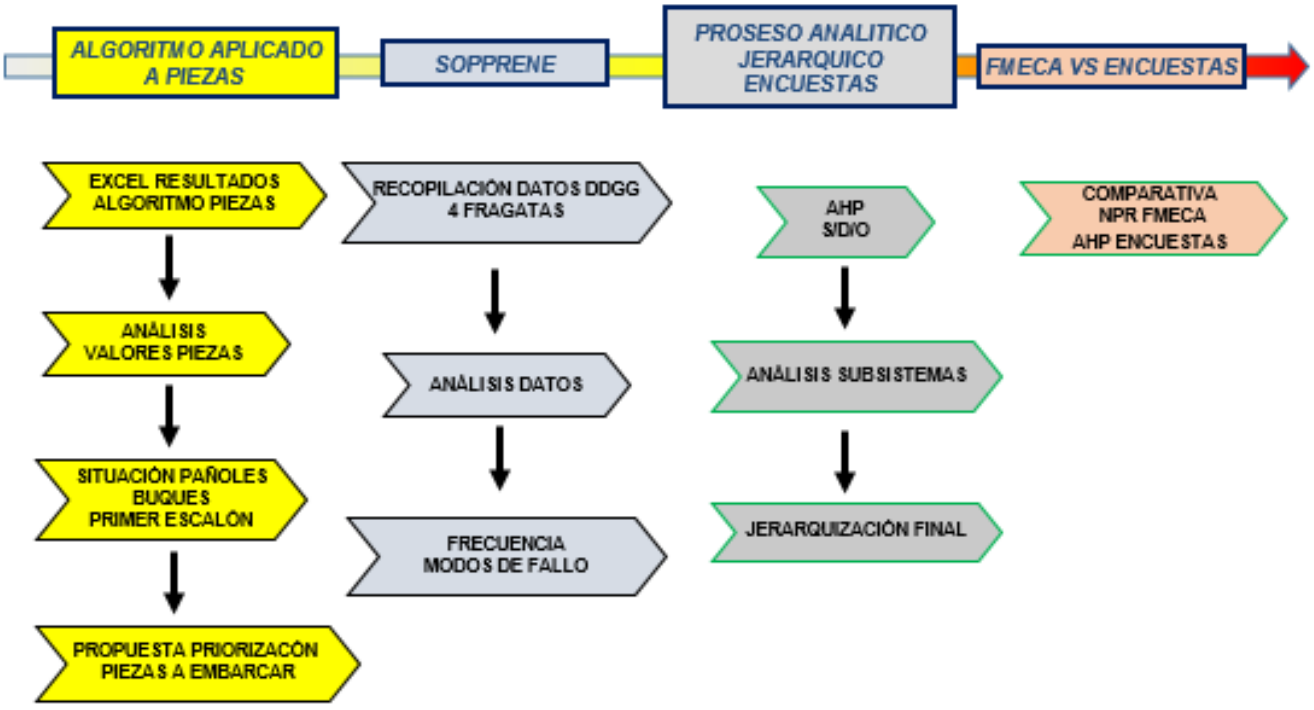


Figura 4-1 Análisis de los resultados

En consecuencia, los resultados obtenidos son de diferente naturaleza, para presentarlos de la manera lo más clara y concisa posible, se han dividido en cuatro apartados:

- Algoritmo corregido a las piezas.
- SOPRENE.
- Encuestas por componentes.
- Comparativa resultados FMEVA y AHP encuestas.

4.1 Algoritmo corregido aplicado a piezas

Como primer resultado, se trata de evaluar la solución obtenida con las diferentes metodologías aplicadas a lo largo del trabajo, y presentar una propuesta de priorización de piezas a embarcar entre las contempladas en el estudio.

La propuesta y su justificación es la siguiente:

- Resultado de aplicar el algoritmo a las piezas seleccionadas. que contiene un Excel donde se aplican los valores de las variables a cada una de las piezas.

Los valores obtenidos son bastante uniformes (Tabla 4-1) se pueden agrupar en cuatro franjas de valores:

PRIORIDAD	NUM. PIEZAS	VALOR MEDIO	COMPONENTES
1	40	4-10	SISTEMAS REFRIGERACIÓN BOMBA AGUA SALADA TURBOSOPALTE
2	7	11-18	TURBOSOPLANTE
3	7	18-22	CONJUNTO TURBOSOPLATE
4	28	23-25	BOMBA INYECCIÓN MOTOR BÁSICA

Tabla 4-1 Prioridades de piezas

No se han contemplado por componentes y modo de fallo ya que las encuestas relativas a los componentes no han influido en la modificación del NPR del FMECA.

Dos piezas se consideran con valores superiores a los intervalos propuestos, ambos de 28 puntos aproximadamente, son las Juntas de Estanqueidad del Arrancador y el Ventilkegel de la Bomba de Inyección.

- Situación real de los stocks embarcados:

Para la propuesta debería considerarse la situación real de los pañoles de repuestos de las unidades de la Flota. En el caso de las fragatas contempladas en el TFG, tienen entre 3.000 y 5.000 voces al cargo diferentes, sin embargo, de acuerdo con la información disponible en la aplicación SIGMA-WEB (SIGAPEA), la realidad es que tienen entre 5.000 Y 10.000. Este nivel de stock, representa un importante inmovilizado de unos 14MEuros [25].

Resulta evidente que la priorización de las piezas es fundamental.

- Propuesta de piezas a embarcar de acuerdo los resultados;

De acuerdo con los valores obtenidos por el algoritmo, se propone embarcar las piezas clasificadas dentro del nivel 4. Las de los niveles 2 y 3 solamente después de una rigurosa comprobación de las piezas de los pañoles, y no embarcaría las de nivel 1.

4.2 Resultados SOPRENE

Como se ha analizado en el apartado 3.1.4 IA el programa SOPRENE se han sacado una serie de conclusiones:

- Gracias a SOPRENE se disponen de una base de datos de millones de ellos, los cuales permite poder realizar predicciones con mayor precisión.
- Se recogen diariamente los datos enviándoselo a CESADAR.
- Se disponen datos desde 2011 hasta 2021.
- No todos los buques disponen el mismo número de datos.
- Se comprueba la salud actual de los buques de los que se tienen datos.
- Portal del consumidor es de dónde se obtienen más datos de un buque, concretando el tipo, motor, subsistema, año, mes, día y el tipo del algoritmo a emplear.
- A través de la VPN permite acceder a los datos desde cualquier punto geográfico en el que nos encontremos.

FechaDePrediccion	Id	FechaPredicha	DÍA	Probability
19/02/2011	18	20/02/2011	1	0,819657683
19/02/2011	44	20/02/2011	1	0,562494755
19/02/2011	78	20/02/2011	1	0,895528197
19/02/2011	125	20/02/2011	1	0,513775587
19/02/2011	18	21/02/2011	2	0,801234305
19/02/2011	44	21/02/2011	2	0,546154141
19/02/2011	78	21/02/2011	2	0,8867383
19/02/2011	125	21/02/2011	2	0,500160873
19/02/2011	18	22/02/2011	3	0,815779626
19/02/2011	44	22/02/2011	3	0,523825288
19/02/2011	78	22/02/2011	3	0,901537418

Tabla 4-2 Extracto datos SOPRENE de un buque.

Como se aprecia en (Tabla 4-2) gracias a SOPRENE se ha podido crear una tabla que permite acceder a las predicciones de un buque en concreto, con una fecha establecida, eligiendo el modo de fallo de entre los doscientos ocho 208 posibles y obteniendo como resultado cuando se producirá dicho modo de fallo y su probabilidad de que suceda.

Se ha comprobado que el modo de fallo 18, relacionado con el arranque eléctrico del motor, se produce en los cuatro buques estudiados, llegando a la conclusión de poder despreciarlo debido a que es un error eléctrico a pesar de su elevada probabilidad y sin ningún riesgo alguno.

4.3 Resultados de las encuestas. Componentes/subsistemas

En este apartado se analizarán los resultados obtenidos en las encuestas mediante la metodología explicada con anterioridad en 3.3.2.

4.3.1 AHP para los criterios de ocurrencia, severidad y detectabilidad.

En este apartado se analizara los resultados obtenidos tras el proceso AHP para los criterios del NPR.

4.3.1.1 Resultados globales AHP.

Una vez realizado el AHP en cada una de las variables de las respuestas de los cien encuestados se obtienen los siguientes resultados que se muestran en la (Tabla 4-3).

CRITERIOS	SEVERIDAD	DETECTABILIDAD	OCURRENCIA	vector prioridad	**RANKING**
SEVERIDAD	1,00	0,99	3,60	43,43%	2º
DETECTABILIDAD	1,00	1,00	3,74	44,56%	1º
OCURRENCIA	0,28	0,27	1,00	12,01%	3º
SUMA	2,28	2,26	8,34	100,00%	
TOTAL	15,40				

Tabla 4-3 AHP general variables NPR.

Como se puede apreciar en la (Tabla 4-3) se ha obtenido como criterio más importante para los encuestados la DETECTABILIDAD con un 44,56% seguido de la SEVERIDAD con un porcentaje muy parecido 43,43% y como criterio menos votado la OCURRENCIA con un porcentaje del 12,01%.

Se puede comprobar que a pesar de que han optado por tomar la detectabilidad como variable más crítica, está muy seguida de la severidad.

4.3.1.2 Resultados AHP encuestados militares

Una vez analizadas las encuestas del personal militar, en general se puede apreciar que el criterio más votado es la severidad. Pero a su vez dentro de las distintas escalas hay ciertas discrepancias.

CRITERIOS	SEVERIDAD	DETECTABILIDAD	OCURRENCIA	vector prioridad	RANKING
SEVERIDAD	1,00	1,07	3,80	52,58%	1º
DETECTABILIDAD	1,00	1,00	0,84	25,44%	2º
OCURRENCIA	0,26	1,19	1,00	21,98%	3º
suma	2,26	3,26	5,64	100,00%	
total	11,16				

Tabla 4-4 Resultado AHP criterios oficiales

CRITERIOS	SEVERIDAD	DETECTABILIDAD	OCURRENCIA	vector prioridad	RANKING
SEVERIDAD	1,00	0,86	3,17	41,81%	2º
DETECTABILIDAD	1,00	1,00	3,39	44,80%	1º
OCURRENCIA	0,32	0,29	1,00	13,39%	3º
suma	2,32	2,15	7,56	100,00%	
total	12,03				

Tabla 4-5 Resultado AHP criterios suboficiales

CRITERIOS	SEVERIDAD	DETECTABILIDAD	OCURRENCIA	vector prioridad	RANKING
SEVERIDAD	1,00	1,05	0,87	32,13%	2º
DETECTABILIDAD	1,00	1,00	0,87	31,58%	3º
OCURRENCIA	1,15	1,15	1,00	36,30%	1º
suma	3,15	3,20	2,74	100,00%	
total	9,09				

Tabla 4-6 Resultados AHP criterios marinería

Se aprecia que ninguna de las tres escalas tiene el mismo rango de prioridad, siendo algo llamativo. En cuanto a oficiales (Tabla 4-4), han tomado la severidad como variable más crítica, siendo los únicos de los militares en hacerlo. Observando las tablas (Tabla 4-5) y (Tabla 4-6), los suboficiales y marinería han optado por la detectabilidad y la ocurrencia respectivamente.

4.3.1.3 Resultados AHP encuestados civiles

Analizados los resultados del personal civil de una manera general, se observa que los tres grupos en cuanto a niveles de estudios, tanto los universitarios, como los técnicos y personal de bachillerato han optado por tomar de mayor importancia la SEVERIDAD y la OCURRENCIA.

CRITERIOS	SEVERIDAD	DETECTABILIDAD	OCURRENCIA	vector prioridad	RANKING
SEVERIDAD	1,00	0,96	1,00	32,98%	2º
DETECTABILIDAD	1,00	1,00	0,88	32,08%	3º
OCURRENCIA	1,00	1,14	1,00	34,94%	1º
suma	3,00	3,10	2,88	100,00%	
total	8,98				

Tabla 4-7 Resultados AHP criterio universitarios

CRITERIOS	SEVERIDAD	DETECTABILIDAD	OCURRENCIA	vector prioridad	RANKING
SEVERIDAD	1,00	1,03	0,92	32,57%	2º
DETECTABILIDAD	1,00	1,00	0,87	31,69%	3º
OCURRENCIA	1,09	1,15	1,00	35,74%	1º
suma	3,09	3,18	2,79	100,00%	
total	9,06				

Tabla 4-8 Resultados AHP criterio técnicos

CRITERIOS	SEVERIDAD	DETECTABILIDAD	OCURRENCIA	vector prioridad	RANKING
SEVERIDAD	1,00	3,38	3,38	85,69%	1º
DETECTABILIDAD	1,00	1,00	0,84	31,36%	2º
OCURRENCIA	0,30	1,19	1,00	27,45%	3º
suma	2,30	5,57	5,22	144,50%	
total	13,09				

Tabla 4-9 Resultados AHP criterios personal bachillerato

Observando en (Tabla 4-7) y (Tabla 4-8) se aprecia una misma opinión de los universitarios y técnicos, los cuales se han decantado por la ocurrencia al contrario que el personal de bachillerato (Tabla 4-9) que ha centrado su preocupación en la ocurrencia.

4.3.2 Análisis subsistemas

4.3.2.1 Resultados globales análisis subsistemas

Este apartado se centra en el análisis de los resultados de los encuestados en cuanto a los subsistemas de una manera general, aplicándole la media a las respuestas de los encuestados. Se llega a los siguientes resultados:

SEVERIDAD				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		3,60	0,2620	3º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		3,62	0,2635	2º
SISTEMA REFRIGERACION		3,70	0,2693	1º
TURBOSOPLANTES		2,82	0,2052	4º
	SUMA	13,74		

Tabla 4-11 Resultados encuestas subsistemas severidad

OCURRENCIA				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		3,60	0,2618	3º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		3,63	0,2640	2º
SISTEMA REFRIGERACION		3,70	0,2691	1º
TURBOSOPLANTES		2,82	0,2051	4º
	SUMA	13,75		

Tabla 4-10 Resultados encuestas subsistemas ocurrencia

DETECTABILIDAD				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		2,13	0,2187	4º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		2,23	0,2290	3º
SISTEMA REFRIGERACION		2,46	0,2526	2º
TURBOSOPLANTES		2,92	0,2998	1º
	SUMA	9,74		

Tabla 4-12 Resultados encuestas subsistemas detectabilidad

Analizándose los resultados de una forma general se llega a la conclusión que el subsistema más determinado es el turbosoplante, siendo el más votado en los tres criterios del NPR.

Se aprecia en (Tabla 4-11) y (Tabla 4-10) que los subsistemas tienen el mismo valor en cuanto a la severidad y ocurrencia.

4.3.2.1 Resultados análisis subsistemas para perfil militar

A continuación se analizaran los subsistemas en cuanto a la severidad, detectabilidad y ocurrencia de las tres escalas de los militares.

- OFICIALES.

SEVERIDAD OFICIALES			RANKING
SISTEMA ARRANQUE	2,44	0,4872	2º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE	2,46	0,4923	2º
SISTEMA REFRIGERACION	2,67	0,5333	1º
TURBOSOPLANTES	2,26	0,4513	2º

Tabla 4-13 Subsistemas. Severidad oficiales

OCURRENCIA OFICIALES			RANKING
SISTEMA ARRANQUE	3,31	0,6620	3º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE	3,32	0,6640	2º
SISTEMA REFRIGERACION	3,33	0,6660	1º
TURBOSOPLANTES	2,41	0,4820	4º
SUMA	12,37		

Tabla 4-14 Subsistemas. Ocurrencia oficiales

DETECTABILIDAD OFICIALES			RANKING
SISTEMA ARRANQUE	2,56	0,2403	3º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE	2,29	0,2150	4º
SISTEMA REFRIGERACION	2,85	0,2676	2º
TURBOSOPLANTES	2,95	0,2771	1º
SUMA	10,65		

Tabla 4-15 Subsistemas. Detectabilidad oficiales

Se aprecia que los oficiales, en cuanto a la severidad tienen como subsistema más preciado el Sistema de Refrigeración, en cuanto a la ocurrencia se vuelven a decantar por el sistema de refrigeración. Por el contrario, solo se ha destacado en detectabilidad el turbospoplante.

- SUBOFICIALES.

SEVERIDAD SUBOFICIALES				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		2,15	0,4308	4º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		2,35	0,4692	2º
SISTEMA REFRIGERACION		2,38	0,4769	1º
TURBOSOPLANTES		2,23	0,4462	3º
	SUMA	9,12		

Tabla 4-16 Subsistemas. Severidad suboficiales

DETECTABILIDAD SUBOFICIALES				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		2,00	0,2222	2º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		2,00	0,2222	2º
SISTEMA REFRIGERACION		2,00	0,2222	2º
TURBOSOPLANTES		3,00	0,3333	1º
	SUMA	9,00		

Tabla 4-17 Subsistemas. Detectabilidad suboficiales

OCURRENCIA SUBOFICIALES				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		3,54	0,7077	3º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		3,65	0,7308	2º
SISTEMA REFRIGERACION		3,85	0,7692	1º
TURBOSOPLANTES		3,19	0,6385	4º
	SUMA	14,23		

Tabla 4-18 Subsistemas. Ocurrencia suboficiales

En suboficiales, se aprecia claramente, que dependiendo del criterio se les da un valor diferente a casa subsistema.

- MARINERIA

SEVERIDAD MARINERIA				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		2,15	0,4308	2º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		2,31	0,4615	3º
SISTEMA REFRIGERACION		2,62	0,5231	1º
TURBOSOPLANTES		2,00	0,4000	4º
	SUMA	9,08		

Tabla 4-19 Subsistema severidad marinería

OCURRENCIA MARINERIA				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		4,08	0,8154	3º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		4,31	0,8615	1º
SISTEMA REFRIGERACION		4,23	0,8462	2º
TURBOSOPLANTES		3,62	0,7231	4º
	SUMA	16,23		

Tabla 4-20 Subsistema ocurrencia marinería

DETECTABILIDAD MARINERIA				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		1,69	0,1880	4º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		2,00	0,2222	2º
SISTEMA REFRIGERACION		1,77	0,1966	3º
TURBOSOPLANTES		2,62	0,2906	1º
	SUMA	8,08		

Tabla 4-21 Subsistemas detectabilidad marinería

La marinería es la única escala que para cada criterio del NPR ha tomado un subsistema diferente como crítico.

4.3.2.2 Resultados análisis subsistemas para perfil civil

-UNIVERSITARIOS

SEVERIDAD UNIVERSITARIO				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		3,00	0,6000	1º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		2,63	0,5250	3º
SISTEMA REFRIGERACION		2,88	0,5750	2º
TURBOSOPLANTES		2,25	0,4500	4º
	SUMA	10,75		

Tabla 4-22 Subsistemas severidad universitarios

OCURRENCIA UNIVERSITARIO				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		3,63	0,7250	1º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		3,13	0,6250	3º
SISTEMA REFRIGERACION		3,50	0,7000	2º
TURBOSOPLANTES		2,63	0,5250	4º
	SUMA	12,88		

Tabla 4-23 Subsistemas ocurrencia universitario

DETECTABILIDAD UNIVERSITARIO				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		2,00	0,2051	3º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		2,25	0,2308	2º
SISTEMA REFRIGERACION		2,25	0,2308	2º
TURBOSOPLANTES		3,25	0,3333	1º
	SUMA	9,75		

Tabla 4-24 Subsistemas detectabilidad universitario

Se aprecia según las tablas (Tabla 4-22) y (Tabla 4-23) que los universitarios tienen como subsistema más importante el sistema de arranque, considerando el turbosoplante como subsistema más detectable.

- TÉCNICOS

SEVERIDAD FP/ TÉCNICO				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		1,86	0,3714	4º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		2,14	0,4286	2º
SISTEMA REFRIGERACION		2,43	0,4857	1º
TURBOSOPLANTES		2,00	0,4000	3º
	SUMA	8,43		

Tabla 4-25 Subsistemas severidad técnicos

OCURRENCIA FP/ TÉCNICO				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		4,43	0,8857	1º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		4,43	0,8857	1º
SISTEMA REFRIGERACION		4,14	0,8286	2º
TURBOSOPLANTES		3,14	0,6286	3º
	SUMA	16,14		

Tabla 4-26 Subsistemas ocurrencia técnicos

DETECTABILIDAD FP/ TÉCNICO				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		1,71	0,2182	2º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		1,71	0,2182	2º
SISTEMA REFRIGERACION		1,57	0,2000	3º
TURBOSOPLANTES		2,86	0,3636	1º
	SUMA	7,86		

Tabla 4-27 Subsistemas detectabilidad técnicos

Los técnicos son los primeros en tomar dos subsistemas con la misma importancia en relación a la ocurrencia (Tabla 4-26). Se puede considerar que el resto de personas de diferentes niveles de estudios, toman el sistema de refrigeración y los turbosoplantes como subsistemas a tener en cuenta.

- PERSONAL DE BACHILLER

SEVERIDAD BACHILLER				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		1,75	0,3500	2º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		2,50	0,5000	1º
SISTEMA REFRIGERACION		1,75	0,3500	2º
TURBOSOPLANTES		1,50	0,3000	3º
	SUMA	7,50		

Tabla 4-28 Subsistemas severidad personal de bachillerato

OCURRENCIA BACHILLER				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		3,75	0,7500	2º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		3,75	0,7500	2º
SISTEMA REFRIGERACION		4,00	0,8000	1º
TURBOSOPLANTES		4,00	0,8000	1º
	SUMA	15,50		

Tabla 4-29 Subsistemas ocurrencia personal bachillerato

DETECTABILIDAD BACHILLER				RANKING
SISTEMA ARRANQUE		1,25	0,1852	4º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE		1,75	0,2593	2º
SISTEMA REFRIGERACION		1,50	0,2222	3º
TURBOSOPLANTES		2,25	0,3333	1º
	SUMA	6,75		

Tabla 4-30 Subsistemas detectabilidad bachillerato

En relación al personal de bachillerato se puede apreciar en las diferentes tablas que se obtiene un resultado muy similar al resto de grupos sociales, en cambio se debe de tener en cuenta que su participación ha sido la más baja en relación al resto, pudiendo variar la estadística de sus respuestas.

4.3.3 Jerarquización final: combinación AHP con análisis subsistemas

4.3.3.1 Resultados globales de la jerarquización final

A continuación se muestra el resultado final de la jerarquización de todos los encuestados, tanto militares como civiles.

	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECTB	JERARQUIZACIÓN FINAL	RANKING FINAL
SIST ARRA	3,60	3,60	2,13	9,3300	3º
BOMB ALIMT	3,62	3,63	2,23	9,4800	2º
SIST REFRG	3,70	3,70	2,46	9,8600	1º
TURBOSOP	2,82	2,82	2,92	8,5600	4º

Tabla 4-31 Jerarquización final global.

Como jerarquización final se ha obtenido como subsistema más importante el sistema refrigerante, donde se puede apreciar en la (Tabla 4-31) que ha sido el más votado, seguido de la bomba de alimentación, sistema de arranque y por último los turbosoplantes.

4.3.3.2 Resultados de jerarquización final para perfil militar

- OFICIALES

	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECTB	JERARQUIZACIÓN FINAL	RANKING FINAL
SIST ARRA	1,12	3,31	2,5600	6,9900	4º
BOMB ALIMT	2,33	3,32	2,2900	7,9433	3º
SIST REFRG	2,92	3,33	2,8500	9,0967	1º
TURBOSOP	3,33	2,41	2,9500	8,6933	2º

Tabla 4-32 Jerarquización final oficiales

- SUBOFICIALES

	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECTB	JERARQUIZACIÓN FINAL	RANKING FINAL
SIST ARRA	2,15	3,54	2,00	7,6900	3º
BOMB ALIMT	2,35	3,65	2,50	8,5000	2º
SIST REFRG	2,38	3,85	2,69	8,9200	1º
TURBOSOP	2,23	3,19	3,08	8,5000	4º

Tabla 4-33 Jerarquización final suboficiales

- MARINERIA

	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECTB	JERARQUIZACIÓN FINAL	RANKING FINAL
SIST ARRA	2,15	4,08	1,69	7,9231	3º
BOMB ALIMT	2,31	4,31	2,00	8,6154	1º
SIST REFRG	2,62	4,23	1,77	8,6154	1º
TURBOSOP	2,00	3,62	2,62	8,2308	2º

Tabla 4-34 Jerarquización final marinería

En este apartado podemos apreciar el resultado final del proceso de jerarquización aplicado al personal militar sobre los subsistemas, se aprecia que las tres escalas, tanto oficiales como suboficiales y marinería han tomado como subsistema más crítico el sistema de refrigeración.

4.3.3.3 Resultados de jerarquización final para perfil civil

- UNIVERSITARIOS

	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECTB	JERARQUIZACIÓN FINAL	RANKING FINAL
SIST ARRA	3,00	3,63	2,00	8,6250	3º
BOMB ALIMT	2,63	3,13	2,25	8,0000	1º
SIST REFRG	2,88	3,50	2,25	8,6250	1º
TURBOSOP	2,25	2,63	3,25	8,1250	2º

Tabla 4-35 Jerarquización final universitarios

- TÉCNICOS

	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECTB	JERARQUIZACIÓN FINAL	RANKING FINAL
SIST ARRA	1,86	4,43	1,71	8,0000	3º
BOMB ALIMT	2,14	4,43	1,71	8,2857	1º
SIST REFRG	2,43	4,14	1,57	8,1429	2º
TURBOSOP	2,00	3,14	2,86	8,0000	3º

Tabla 4-36 Jerarquización final técnicos

- PERSONAL BACHILLERATO

	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECTB	JERARQUIZACIÓN FINAL	RANKING FINAL
SIST ARRA	3,75	3,75	1,25	8,7500	4º
BOMB ALIMT	3,75	3,75	1,75	9,2500	3º
SIST REFRG	4,00	4,00	1,50	9,5000	2º
TURBOSOP	4,00	4,00	2,25	10,2500	1º

Tabla 4-37 Jerarquización final personal bachillerato

Se puede observar que ningún grupo social prioriza los mismos subsistemas, donde más se puede notar diferencias con el resto de resultados es con el personal de bachillerato (Tabla 4-37).

4.4 Comparativa resultados FMECA y encuestas AHP

4.4.1 AHP vs FMECA. NPR de los subsistemas

Una vez analizados todos los resultados, se realizó el proceso AHP sobre los criterios del NPR (detectabilidad, Ocurrencia y Severidad) y posteriormente a los cuatro subsistemas seleccionados, se identifican ciertas diferencias entre FMECA y el AHP.

En FMECA, el turbosoplante tiene un NPR bajo en comparación con el resto de subsistemas del que está compuesto el DG. Sin embargo, los resultados de las encuestas muestran que el subsistema más valorado es precisamente el turbosoplante como se muestra en (Tabla 4-31).

Como objetivo del trabajo, se ha pretendido mediante el AHP, tratar modificar el NPR proporcionado por el FMECA, al objeto de poner en valor la experiencia del personal conocedor del motor Diésel Generador y sus necesidades de mantenimiento.

En este sentido, se ha comprobado a través de las soluciones de las encuestas que el AHP nos proporciona un valor del NPR más funcional y puede ser, en determinados casos un factor de corrección que permitirá optimizar el grado de criticidad del modo de fallo.

Id	Sistema	Subsistema	Item	Equipo	IS	IO	ID	NPR
139	Motor generador	Sistema de admisión y escape	Turbosoplantes	Cierre de aceite	3	6	3	54

Tabla 4-38 NPR Turbosoplante. FMECA

En (Tabla 4-38) se observa el NPR del turbosoplante con un valor muy bajo, con la misma opinion que los encuestados (Tabla 4-31).

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Tras realizar el presente trabajo, se obtienen las siguientes conclusiones:

5.1.1 Sobre propuestas de priorización de piezas a embarcar

- El almacenamiento y gestión de las piezas de repuestos de primer escalón de mantenimiento que deben formar parte de los pañoles de los barcos no es el adecuado, normalmente por un notable exceso. [28]

- La priorización de las piezas a embarcar por criterios de operatividad es fundamental para la eficacia de la misión y la eficiencia del sostenimiento.

- La solución de priorización propuesta está basada en la información obtenida de las aplicaciones logísticas FMECA, GALIA y SIGMAWEB, y el resultado de 100 encuestas entre personal civil y militar relacionado con el mantenimiento de DG. Ampliando la muestra de piezas estudiadas y el número de encuestados, y una vez validado con los datos reales, podría proporcionar una herramienta útil de apoyo a la decisión.

5.1.2 Sobre el SOPRENE

- Escasa información aportada por el programa SOPRENE, se esperaba obtener unas mayores predicciones pudiéndolas relacionar así con los modos de fallo de FMECA.

5.1.3 Sobre el proceso analítico jerárquico, las encuestas al personal

- Una vez analizadas las respuestas de la encuesta, se llega a la conclusión que la opinión de los encuestados discrepa con la predicción tomada por Armada en FMECA a la hora de estimar el valor del NPR. El ejemplo más significativo es la discrepancia está en el conjunto Turboso plante, en el que el bajo valor del NPR no coincide con el resultado de la encuesta que le da la mayor importancia entre los subsistemas seleccionados.

- La opinión de los suboficiales y la marinería, a diferencia de la de los oficiales, es muy parecida a la hora de determinar que subsistemas pueden llegar a ser más críticos. Dicha disputa de opiniones puede ser debido a que el personal de marinería y suboficiales trabajan diariamente con el DG directamente en sus correspondientes destinos.

- La mayoría del personal encuestado considera la DETECTABILIDAD y la SEVERIDAD como variables más importantes para el NPR, algo superior la primera. Respecto a la OCURRENCIA, es claramente el de menor impacto, aunque sea un criterio muy importante a la hora de diseñar los planes de mantenimiento y los repuestos asociados.

- A la hora de trabajar con el Excel, se comenzó trabajando con la mediana de los resultados, pero vistas a múltiples empates se estimó a trabajar con la media.

- A pesar de que un alto nivel de respuestas es de oficiales, se observa que no tienen muchas en común entre sus respuestas, esto se puede deber a que los oficiales pueden llegar a tener un conocimiento más general del mantenimiento del DG, sin tener el conocimiento práctico que pueden llegar a tener sus subordinados suboficiales y marinería.

5.2 Líneas futuras

Como posibles líneas futuras que complementen el presente TFG, puedan aportar ideas de trabajo para futuros trabajos y consideraciones de mejora en la gestión logística de la Armada, se plantean las siguientes propuestas:

- Tras obtener la información de SIGMA-WEB, se comprobó que es muy tedioso el formato de obtener las características de las piezas, es decir, sacar manualmente una a una las características de las piezas, por ello se propone una automatización del acceso a las características de las piezas de SIGMA-WEB en una hoja Excel o programa para su uso en futuros trabajos o investigaciones de tal forma que sea sencillo poder trabajar con sus múltiples características.

- Analizadas las encuestas y visto su gran ayuda que nos ha aportado, se sugiere fomentar más la opinión de los subordinados y de aquellas personas que trabajan diariamente con el mantenimiento de equipos y sistemas de plataforma a la hora de crear nuevos o modificar los FMECAS.

- Apostar por la disponibilidad de datos y archivos informáticos sobre las dimensiones de las piezas que puedan ser impresas en 3D a bordo de los buques, ahorrando así costes y almacenamiento de repuestos innecesarios.

- Establecer un control más exhaustivo para cada buque, sistema y equipo, sobre las piezas necesarias en sus pañoles, estableciendo un criterio de decisión basado en la eficiencia y eficacia.

- Optimizar las soluciones aportadas por SOPRENE al objeto de ser empleadas tanto para la toma de decisiones, como para mejorar los procesos y aplicaciones logísticas de la Armada.

6 BIBLIOGRAFÍA

[1] «DeBuen genio,» 2011. [En línea]. Available: debuengenio.blogspot.com.

[2] Excmo. Almirante Jefe de Apoyo Logístico, «Intrucción permanente de Logística,» 2018.

[3] «Armada Española,» [En línea]. Available: armada.defensa.gob.es.

[4] A. J. d. A. Logístico, «Instrucción Permanente de Organización de la Jefatura de Apoyo Logístico 01/19,» 2019.

[5] Excmo General de Brigada Don Jesus Franco Manso., «Ayer y hoy en el aprovisionamiento de la Armada,» *Revista General de Marina,* pp. 37-44, 2017.

[6] Excmo. Almirante Jefe de Apoyo Logístico., «Intruccion Permanente,» 2011.

[7] Ilmo CN Don Daniel González-Aller Lacalle, AN Don Francisco Lamas Lopez, «Evolución del Centro de Supervisión y Análisis de Datos de la Armada,» *Revista General de Marina,* vol. 275, 2018.

[8] «Ingeniero Marino, introducción al Plan de mantenimiento del Buque,» [En línea]. Available: ingenieromarino.com.

[9] Blog aener, «Aener. Qué es el mantenimiento correctivo.,» [En línea]. Available: aener.com.

[10] « Mantenimiento Centrado en Fiabilidad: Análisis de mejoras en el mantenimiento y explotación de un sistema industrial,» [En línea]. Available: predictiva21.com.

[11] Laura Vitalia González Martínez, Ángel Fernánddez Rodríguez, Guillermo Rey, Elena Arce Fariña, Pedro Carrasco Pena,Miguel Álvarez Feijoo, Andrés Suárez García, «DYNA Management . Mantenimiento basado en fiabiliad en la la Armada.,» 2018.

[12] leedeo, «leedeo.FMECA,» [En línea].

[13] «Denfensa,» [En línea]. Available: www.defensa.es.

[14] C.F Escondrillas y AN Lamas Lopez, «Programas en marcha en CESADAR,» *Revista General de Marina,* pp. 333-346, 2018.

[15] Sistema de gestion del apoyo logístico integrado en la Armada, «ISDEFE,» [En línea].

[16] IImo CN Nieto Manso, «Pliego de Prescripciones Técnicas (PPT)para la asistencia tecnica y mantenimiento del sistema GALIA».

[17] Excmo General de Brigada D. Franco Suanzes, «Ayer y hoy en el aprovisionamiento de la Armada,» *Revista General de Marina.*

[18] Victor Yepes Piqueras., «Universidad Politécnica de Valencia,» [En línea].

[19] Toskano Hurtado., «El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herraminta para la toma de decisiones en la selección de proveedores.».

[20] Lasse Rouhiainen , «Inteligencia Artificial,» 2018.

[21] Excmo. Almirante de la Flota, «Guía de Preparación de la Flota (Cambio III),» 2011.

[22] Excmo. Almirante Jefe del Apoyo Logístico., «Instrucción permanente de Abastecimiento y Transporte sobre la Propuesta Inicial de Apoyo (PIDA),» 2018.

[23] Almirante Jefe del Apoyo Logístico, «Instrucción 4/97,» 1997.

[24] *Proyecto SOPRENE,* Armada Española.

[25] «Publicación Técnica Mantenimiento 12 V 396 TE54,» GALIA, 2006.

[26] Liliana Márquez-Benavides y Eduardo Baltierra-Trejo, «El proceso análitco jerárquico como metodología para seleccionar revistas científicas en el área biotecnológica,» 2017.

[27] J. O. Maiz, *Aplicación de decisión multicriterio para la selección de un buque anfibio para la Armada.,* 2018.

[28] Subdirector Aprovisionamiento y Transporte de la JAL, «Estudio de Stocks de las unidades de la flota.,» 2021.

[29] [En línea]. Available: semanticscholar.org.

[30] Excmo Almirante Jefe de Logística, «Instrucción permanente de Logística.,» 2018.

[31] IIlo. Cornonel (CINA) Victor Gallán Millán, «Aplicaciones logísticas de gestion del material en la Armada.,» *Revista General de Marina,* vol. 261, pp. 359-370, 2011.

ANEXO I: SIGLAS

AEC	ÁRBOL DE ELEMENTOS CONFIGURADOS
AJAL	ALMIRANTE JEFE DE APOYO LOGÍSTICO DE LA ARMADA
AJEMA	ALMIRANTE JEFE DE ESTADO MAYOR DE LA ARMADA
ALL	ALLOWANCE EQUIP LIST (LISTA DE EQUIPOS DE SUBSIDIO)
AMFEC	ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS, EFECTOS Y SU CRITICIDAD
APL	ALLOWANCE PARTS LIST (LISTA DE PIEZAS DE SUBSIDIO)
ARCART	ARSENAL DE CARTAGENA
AVU	ALMACÉN VIRTUAL ÚNICO
BAM	BUQUE DE ACCIÓN MARÍTIMA
BRF	BEST REPLACEMENT FACTOR
BUI	REPUESTO A BORDO
CD	COEFICIENTE DE DEMANDA
CONLOG	CONCEPTO DEL APOYO LOGÍSTICO
COSAL	*CONSOLIDATE SUPPLY ALLOWANCE* LIBRO DE RESPUESTOS
DG	DIESEL GENERADOR
DGAM	DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL
DISOS	DIRECCIÓN DE SOSTENIMIENTO
EM	ESCALÓN DE MANTENIMIENTO
FLOAN	FLOTILLA DE AERONAVES
FMECA	AFILARE MODE EFFECRS AND CRITICALITY ANALYSYS
GALIA	GESTIÓN DEL APOYO OGÍSTICO INTEGRADO DE LA ARMADA
GRESP	GRADO DE ESENCIALIDAD DE LA PIEZA
IA	INTELIGENCIA ARTIFICIAL
IPLOG	INSTRUCCIÓN PERMAMANETE DE LOGISTICA
JAL	JEFATURA DEL APOYO LOGÍSTICO
NIM	NIVEL INFERIOR DE MANTENIMIENTO
NPR	ÍNDICE DE PRIORIDAD DEL RIESGO
PAL	PERIODO DE AUTONOMÍA LOGÍSTICA
PALI	PLAN DE APOYO LOGÍSTICO INTEGRADO
PIDA	PROPUESTA INICIAL DE APOYO
PIP	PERIODO DE INMOVILIZACIÓN PROGRAMADA
RCM	MANTENIMIENTO BASADO EN LA FIABILIADAD
RGP	REGLAMENTO GENERAL DE PERTRECHOS
SIGMA	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
SO	SEVERIDAD Y OCURRENCIA
SOPRENE	SOSTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN REDES
SUBDEM	SUBDIRECCIÓN DE MANTENIMIENTO GENERAL
TOR	TECHNICAL OVERRIDE REQUIREMENT
TRF	FACTOR TÉCNICO DE REEMPLAZO
VPN	RED PRIVADA VIRTUAL

Tabla A-1 SIGLAS. Elaboración propia.

ANEXO II: ENCUESTA REALIZADA

En el presente anexo se muestran tanto las preguntas como las respuestas del personal encuestado, tanto militares como civiles.

- PREGUNTAS

Encuesta voluntaria sobre fallos de motores en los buques de la Armada. TFG Escuela Naval Militar

Esta encuesta no le llevará mas de 5 minutos en responderla. Se realiza con el fín de poder contribuir a un TFG, estimando así el NPR (Número Prioritario de Riesgo) de alguno de los modos de fallos más comunes que puede tener un motor.

*Obligatorio

1. Persona *

Marca solo un óvalo.

- ◯ Militar
- ◯ Civil

2. En caso de ser militar, indique escala

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Oficiales
- ☐ Suboficiales
- ☐ Marinería

3. En caso de ser civil, indique nivel de estudios

Selecciona todos los que correspondan.

- [ ] Universitario
- [ ] Técnico/FP
- [ ] Bachillerato/ESO

4. En un modo de fallo, ¿qué considera más importante? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Severidad	◯	◯	◯	◯	◯	Detectabilidad

5. *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Severidad	◯	◯	◯	◯	◯	Ocurrencia

6. *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Detectabilidad	◯	◯	◯	◯	◯	Ocurrencia

7. Elija el nivel de OCURRENCIA de modos de fallo de los siguientes subsistemas, en base a la descripción de la tabla: *

Nivel	Descripción
1	**Remota**. Más de 10 años.
2	**Baja**. De 2 a 10 años
3	**Moderada**. 6 meses a 2 años
4	**Alta**. 3 a 6 meses
5	**Muy alta**. Menos de 3 meses

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5
Sistema de arranque	◯	◯	◯	◯	◯
Bomba de alimentación de combustible	◯	◯	◯	◯	◯
Sistema de refrigeración	◯	◯	◯	◯	◯
Turbosoplantes	◯	◯	◯	◯	◯

8. Elija el nivel de DETECTABILIDAD de modos de fallo de los siguientes subsistemas, en base a la descripción de la tabla *

Nivel	Descripción
1	**Muy alta** probabilidad de detectar el fallo
2	**Alta** probabilidad de detectar el fallo
3	Probabilidad **media** de detectar el fallo
4	**Baja** probabilidad de detectar el fallo
5	**Muy baja** probabilidad de detectar el fallo

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5
Sistema de arranque	◯	◯	◯	◯	◯
Bomba de alimentación de combustible	◯	◯	◯	◯	◯
Sistema de refrigeración	◯	◯	◯	◯	◯
Turbosoplantes	◯	◯	◯	◯	◯

9. Elija el nivel de SEVERIDAD de modos de fallo de los siguientes subsistemas, en base a la descripción de la tabla *

Nivel	Descripción
1	El usuario **no percibe** el fallo
2	El usuario **percibe** el fallo, pero **no incomoda**
3	El usuario **percibe** el fallo e **incomoda**
4	El usuario está **incomodado,** pero su **seguridad no** se ve **afectada**
5	El usuario está **incomodado** y su **seguridad** se ve **afectada**

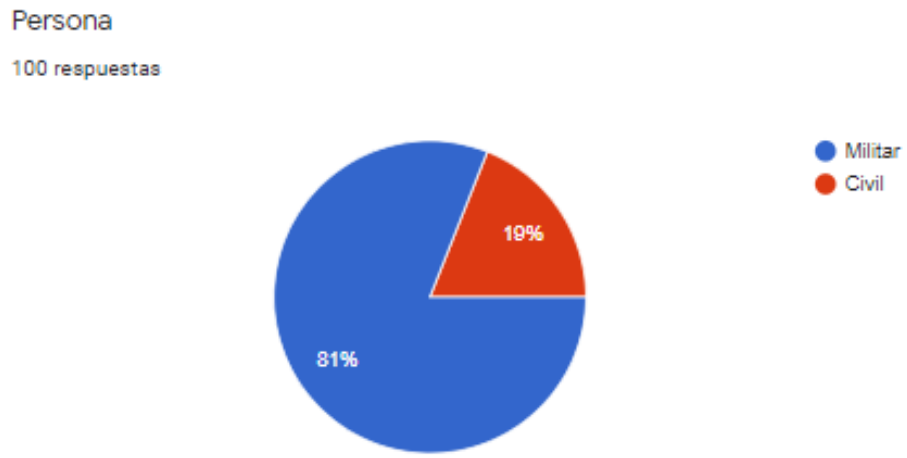
Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5
Sistema de arranque	◯	◯	◯	◯	◯
Bomba de alimentación de combustible	◯	◯	◯	◯	◯
Sistema de refrigeración	◯	◯	◯	◯	◯
Turbosoplantes	◯	◯	◯	◯	◯

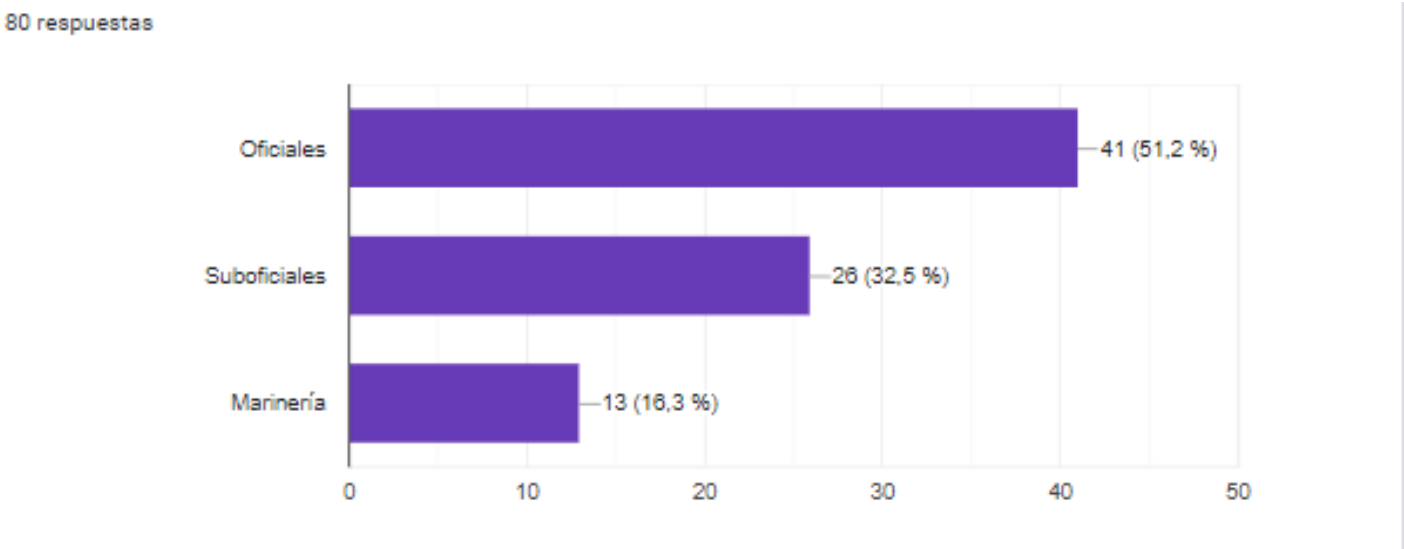
Muchas gracias por su participación

- RESPUESTAS

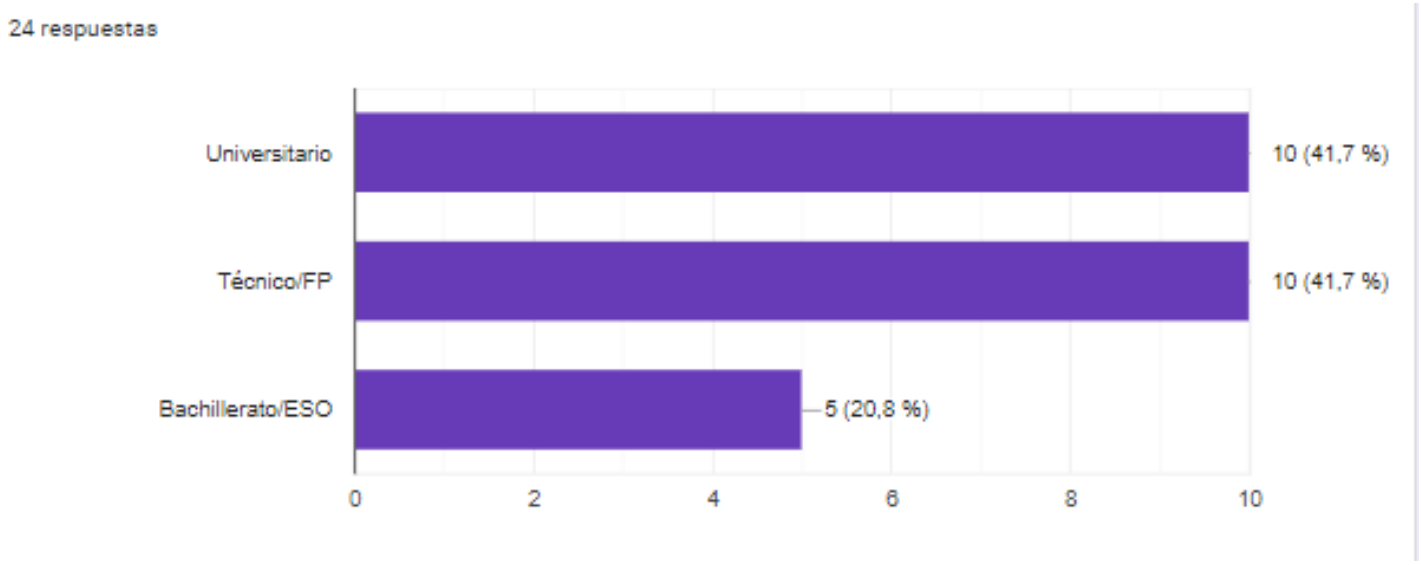
- Porcentaje personal militar y civil.



- Porcentaje personal MILITAR.

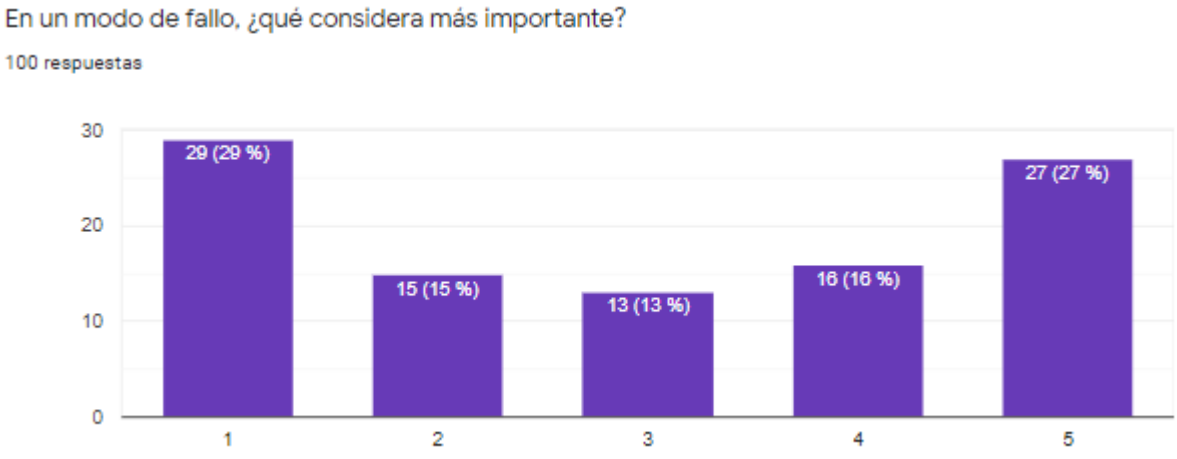


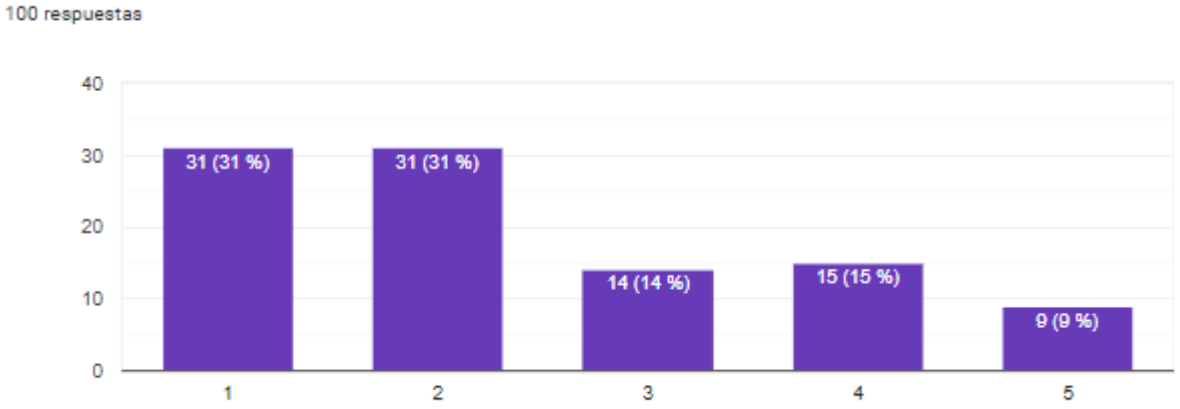
- Porcentaje personal CIVIL.

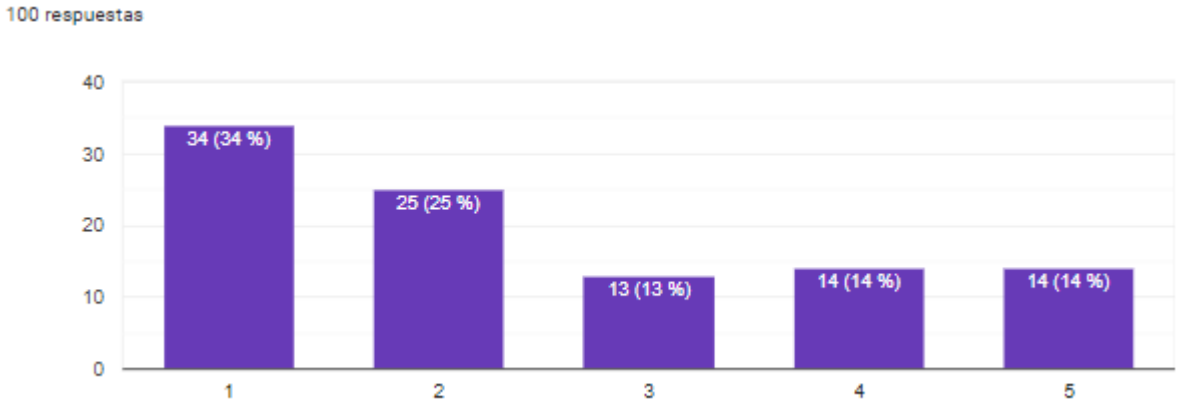


Destacar en los gráficos anteriores, que el personal militar perteneciente a la escala de oficiales, algunos de ellos poseen tambien titutlos universitarios.

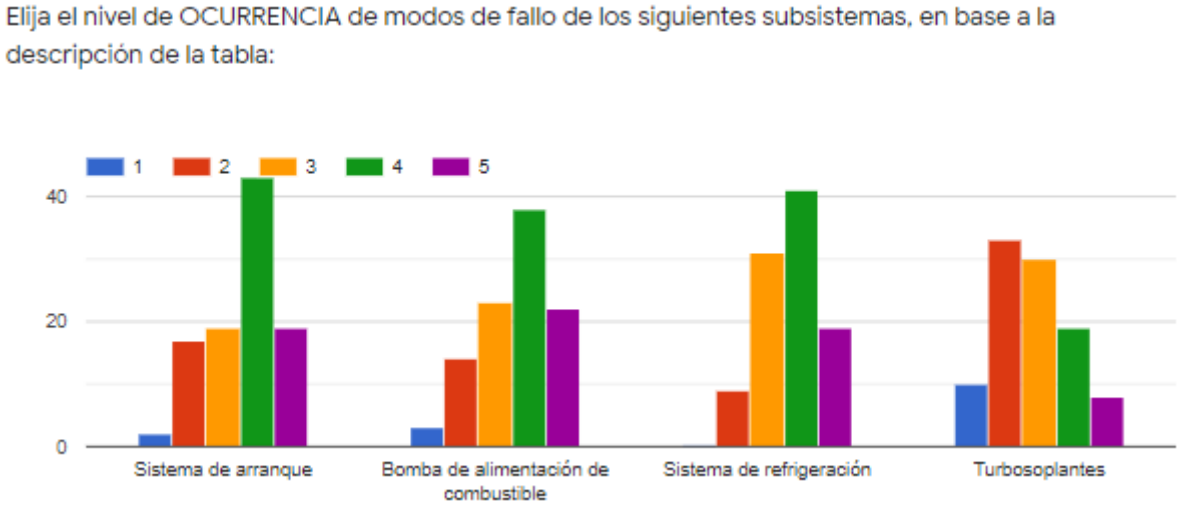
- Preguntas en relación a las variables NPR.



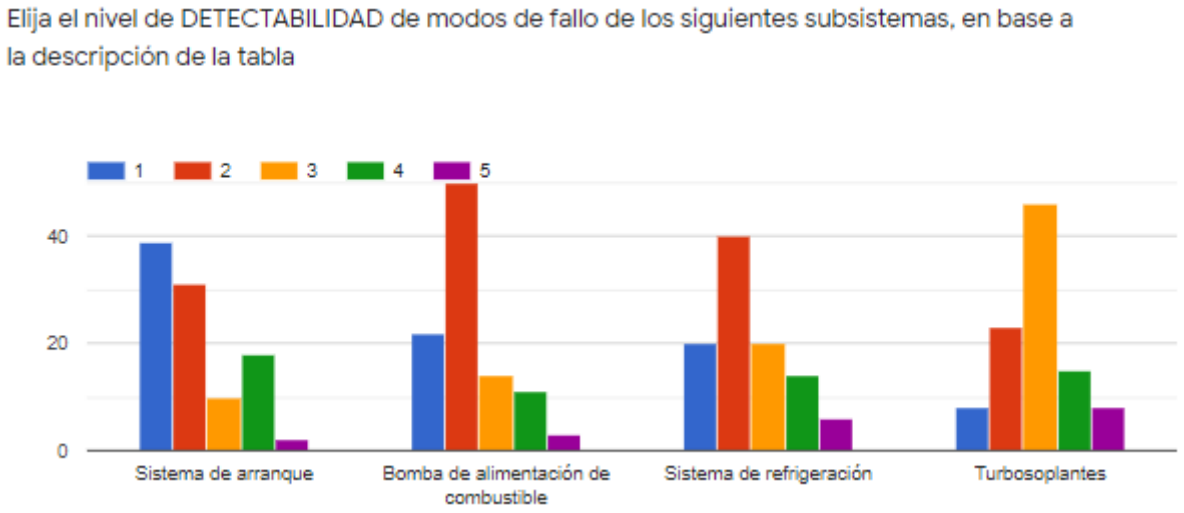




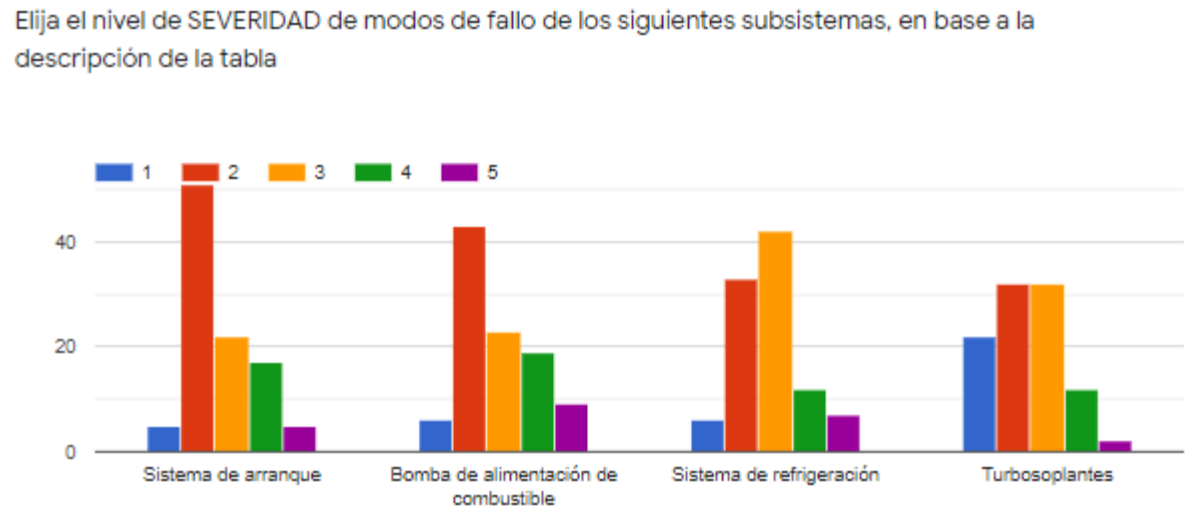
- Preguntas en relación a la OCURRENCIA.



- Preguntas en relación a la DETECTABILIDAD.



- Preguntas en relación a la SEVERIDAD.



ANEXO III: EXCEL AHP

En el Anexo III se expone las hojas de Excel que han sido empleadas para la elaboración del proceso analítico jerárquico (AHP).

PASO 1: ANALIZAR AHP GENERAL

CRITERIOS	SEVERIDAD	DETECTABILIDAD	OCURRENCIA	vector priorida d	**RANKING**
SEVERIDAD	1,00	0,99	3,60	43,43%	2º
DETECTABILIDAD	1,00	1,00	3,74	44,56%	1º
OCURRENCIA	0,28	0,27	1,00	12,01%	3º
suma	2,28	2,26	8,34	100,00%	
total	12,87				

PASO 2: ANÁLISIS DE SUBSISTEMAS GENERAL

	SEVERIDAD		RANKING
SISTEMA ARRANQUE	3,60	0,2620	3º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE	3,62	0,2635	2º
SISTEMA REFRIGERACION	3,70	0,2693	1º
TURBOSOPLANTES	2,82	0,2052	4º
SUMA	13,74		

OCURRENCIA			RANKING
SISTEMA ARRANQUE	3,60	0,2618	3º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE	3,63	0,2640	2º
SISTEMA REFRIGERACION	3,70	0,2691	1º
TURBOSOPLANTES	2,82	0,2051	4º
SUMA	13,75		

DETECTABILIDAD			RANKING
SISTEMA ARRANQUE	2,13	0,2187	4º
BOMBA ALIMENTACION COMBUSTIBLE	2,23	0,2290	3º
SISTEMA REFRIGERACION	2,46	0,2526	2º
TURBOSOPLANTES	2,92	0,2998	1º
SUMA	9,74		

PASO 3: JERARQUIZACIÓN FINAL GLOBAL

	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECTB	JERARQUIZACIÓN FINAL	RANKING FINAL
SIST ARRA	3,60	3,60	2,13	9,3300	3º
BOMB ALIMT	3,62	3,63	2,23	9,4800	2º
SIST REFRG	3,70	3,70	2,46	9,8600	1º
TURBOSOP	2,82	2,82	2,92	8,5600	4º

RESPUESTAS	100		
MILITARES	81	OFICIALES	41
		SUBOFICIALES	26
		MARINERIA	13
CIVIL	19	UNIVERSITARIO	8
		FP	7
		BACHILLERATO	5

ANEXO IV: EXCEL PIEZAS FMECA/ SIGMA-WEB

A continuación se muestra el Excel empleado para relacionar las piezas de SIGMA-WEB con los modos de fallo de FMECA.

Para ello se ha sacado la información pieza a pieza de la plataforma SIGMA-WEB.

Dicha información es introducida en el Excel del Algoritmo para obtener un valor que nos ayudara en la toma de decisión a la hora de embarcar piezas.

DENOMINACIÓN		PIEZAS	NIIN	REF/APL	F OBTENCIÓN	POBLACIÓN	REPARABILIDAD	ESCALÓN MTO	VIDA ÚTIL	DEMORA	GRESP	TOR
Sistema	Subsistema											
Motor generador	Motor básico	**MOTOR DIESEL MTU 12V 396 TE54**	12-353-4852	12V 396TE 54	NACIONAL-2	1EA	R-1	3_2	ND-0	3M-2	7_2	0
		BLOQUE DEL MOTOR	12-355-1747	5580107406	NACIONAL-2	1AY	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	0
		CULATA	12-345-1076	5550105241	NACIONAL-2	11EA	R-1	3_2	ND-0	3M-2	7_2	0
		KIT ARRANCADOR	12-206-8722	MKT0L395	NACIONAL-2	1KT	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	0
		KIT BBA ACEITE ASIENTO VÁLVULAS	33-206-8727	MKT0L525	NACIONAL-2	1KT	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	0
		KIT CULATA	33-207-2205	906502	NACIONAL-2	6KT	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		KIT W2	33-207-3958	906462	NACIONAL-2	7KT	NR-0		ND-0	3M-2	N	B
		KIT W3	33-207-3963	906764	NACIONAL-2	2KT	NR-0		ND-0	3M-2	N	B
		KIT W4	33-207-3964	906765	NACIONAL-2	1KT	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		KIT PORTA INYECTOR	33-207-4210	906507		1KT	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		REGULADOR DE VELOCIDAD	12-382-8129	275305060	NACIONAL-2	1EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		KIT REFRIGERADOR AGUA TANQUE	33-212-4723	MKT0L491		1KT	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		KIT W6	33-212-4745	ME907796	NACIONAL-2	1KT	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
Motor generador	Sistema de arranque	**MOTOR DE ARRANQUE**	01-541-2320	1744102	NACIONAL-2	1EA	R-1	3_2	NO-0	3M-2	7_2	0
		CONJUNTO ARRANCADOR		SA062056		1AY	R-1	2_2	NO-0	3M-2	7_2	0
		VALVULA SOLENOIDE	33-203-5132	5550600578	NACIONAL-2	1EA	NR-0		NO-0	3M-2	7_2	0
		JUNTA ESTANQUEIDAD	12-325-5468	7,05057E+11	USA-3	2EA	NR-0		9M-4	3M-2	6_1	S-
		BRIDA DE RETENCION	12-359-7526	MMN325-1/1D9-10	NACIONAL-2	4EA	NR-0		NO-0	3M-2	6_1	0
		CASQUILLO ACOPLADOR	12-320-6193	N15004-B50X32	NACIONAL-2	4EA	NR-0		NO-0	1M-1	6_1	IT-
		KIT-REPUESTOS	33-206-8722	MKT0L395	NACIONAL-2	1KT	NR-0		NO-0	3M-2	6_1	0

Tabla A-4.1 FMECA-SIGMA WEB.DG y Motor arranque

DENOMINACIÓN		NIIN	REF/APL	F OBTENCIÓN	POBLACIÓN	REPARABILIDAD	ESCALÓN MTO	VIDA ÚTIL	DEMORA	GRESP	TOR
Sistema	Subsistema										
Motor generador	Sistema alimentación de combustible	12-156-4806	D7603A1013C	NACIONAL-2	12 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
			2410020901		1EA	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	0
		01-443-1849	000N05333/1		12 EA	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	0
		01-438-4506	869 074 02 09	USA -3	2 EA	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	0
		12-385-4733	869 993 00 08	USA -3	12 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		12-144-6214	2416060009	NACIONAL-2	1EA	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	0
		12-342-5142	DIN934-M8-8DBL8	USA -3	6 EA	NR-0		ND-0	1M-1	6_1	0
		12-342-5141	869 074 0183	NACIONAL-2	12 EA	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	0
		12-359-2600	869 074 0181	NACIONAL-2	12 EA	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	0
			2413124280	NACIONAL-2	1EA	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	S-

Tabla A-4.2 FMECA- SIGMA WEB. Sistema de alimentación de combustible

DENOMINACIÓN		PIEZAS	NIIN	REF/APL	F OBTENCIÓN	POBLACIÓN	:PARABILID	CALÓN M	VIDA ÚTIL	DEMORA	GRESP	TOR
Sistema	Subsistema											
		REFRIGERADOR GEA										
		REFRIGERADOR GEA EQUIP(		0030986120/31		1 AY	R	3_2	ND-0	3M-2	7_2	0
		REFRIGERADOR DE AIR		20983120		1 AY	R	2_2	ND-0	3M-2	7_2	0
		BLOQUE REFRIGERADOR		1310023901		1 EA	NR	2_3	ND-0	3M-2	7_2	0
		ARANDELA PLANA	12-344-7874	DIN433	USA-3	76 EA	NR	2_3	ND-0	3M-2	6_1	T
		TORNILLO	12-193-1600	DIN912	NACIONAL-2	16 EA	NR	2_3	ND-0	3M-2	6_1	S
Motor generador	Sistema de refrigeración	CÁMARA INTERIOR		8690980150		1 EA	NR	2_3	ND-0	3M-2	6_1	0
		TUERCA	12-156-4982	DIN934	USA-3	4 EA	NR	2_3	ND-0	3M-2	6_1	0
		ANILLO DE JUNTA	12-156-4526	7603018101	NACIONAL-2	2 EA	NR	2_3	ND-0	3M-2	6_1	S
		JUNTA TORICA		MMN429		1 EA	NR	2_2	ND-0	3M-2	6_1	0
		REFRIGERADOR MTU MOTOREN MOD.5581801465										
		REFRIGERADOR EQUIPO		SA062524		1 AY	R	2_2	ND-0	3M-2	7_2	0
		ADAPTADOR	12-181-3390	8N15013DBL8451	USA-3	1 EA	NR-0	2_3	ND-0	3M-2	6_1	S
		MUTTER	12-144-6214		USA-3	2 EA	NR-0	2_2	ND-0	1M-1	6_1	0
		PERNO	12-179-5077	BM12X120MMN209	NACIONAL-2	4 EA	NR-0	2_2	ND-0	3M-2	6_1	0
		NUCLEO	12-344-7120	000 203 19 99	NACIONAL-2	27 AY	NR-0	2_2	ND-0	3M-2	7_2	S
		VALVULA ACCIÓN DIRECTA	12-337-2715	49976736	NACIONAL-2	1 EA	NR-0	2_2	ND-0	3M-2	6_1	S
		NIVEL DE AGUA	12-318-1580	5502030060	NACIONAL-2	1 EA	NR-0	2_2	ND-0	3M-2	6_1	S
		RACOR	12-344-7101	5552030262	NACIONAL-2	1 EA	NR-0	3	ND-0	3M-2	6_1	0
		COMPONENTES DEL SISTEM	12-344-7098	556 200 04 85	NACIONAL-2	1 EA	NR-0	2_3	ND-0	3M-2	7_2	0
		FRISA TORICA	12-162-9994	70X5MMN429	USA-3	2 EA	NR-0	2_3	ND-0	1M-1	6_1	S
		TORNILLOS	12-156-4865	DIN933	USA-3	12 EA	NR-0	3	ND-0	3M-2	6_1	0

Tabla A-4.3 FMECA- SIGMA WEB. Refrigerador GEA y MTU

DENOMINACIÓN		PIEZAS	NIIN	REF/APL	F OBTENCIÓN	POBLACIÓN	:PARABILID	CALÓN M	VIDA ÚTIL	DEMORA	GRESP	TOR
Sistema	Subsistema											
		ADAPTADOR COLECTOR	2-355-3183	5590903317		2 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		TURBO COMPRESOR	2-344-4800	5110209307	NACIONAL-2	1 EA	R-1	3_2	ND-0	3M-2	7_2	0
		DICHTUNG	2-344-7804	5590982680	NACIONAL-2	2 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	S
		ACCESORIOS DIVERSOS	12-156-4531	556 140 11 09	NACIONAL-2	2 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		ELEMENTOS EMPAQUETADU	2-344-7316	DIN7603-A30X36-CU	NACIONAL-2	2 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		BRIDA	2-198-8877	5560980440	NACIONAL-2	2 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		ADAPTADOR RECTO		N15013-25-DBL8451.2	USA-3	2 EA	NR-0		ND-0	1M-1	6_1	0
Motor generador	Sistema de refrigeración	**TURBOSOPLANTE**	12-132-9100	SA062702		1 AY	R-1	2_2	ND-0	3M-2	7_2	0
		TUERCAS Y ARANDELAS	12-330-8879	DIN137-B10DBL8400.(	NACIONAL-2	8 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	S
		VALVULA CONTROL CAUDA	12-400-5302	5110200278	NACIONAL-2	1 EA	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	S
		ROTOR TURBINA	12-382-0778	5110809421	NACIONAL-2	1 EA	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	0
		TURBO COMPRESOR	12-316-2440	5110257001	NACIONAL-2	1 AY	NR-0		ND-0	1M-1	7_2	0
		COJINETE PLANO	12-124-0269	5110250050	USA-3	2 EA	NR-0		ND-0		6_2	S
		DISPOSITIVO SUJECIÓN	12-389-3977	DIN472-34X1,5	USA-3	2 EA	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	S
		CARTER	12-315-8680	12-389-3977		1 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		PLACA FRENO	12-373-6729	12-315-8680	NACIONAL-2	6 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	0
		ESPARRAGO	12-334-9464	12-373-6729	NACIONAL-2	12 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	T
		SEGMENTO DE PISTÓN		511 085 00 60	NACIONAL-2	2 EA	NR-0		ND-0	3M-2	7_2	S

Tabla A-4.4 FMECA-SIGMA WEB. Turbosoplante

DENOMINACIÓN		PIEZAS	NIIN	REF/APL	F OBTENCIÓN	POBLACIÓN	PARABILID	CALÓN M	VIDA ÚTIL	DEMORA	GRESP	TOR
Sistema	Subsistema											
Motor generador	Sistema de refrigeración	SEPARADOR	12-344-4584	558 203 14 39	NACIONAL-2	2 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	T
		VERTEILER	12-344-7505	558 203 23 22	NACIONAL-2	1 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	S
		BOMBA CENTRIFUGA	12-325-5215	5582001101	NACIONAL-2	1 EA	R-1	3_2	ND-0	1M-1	7_2	0
		JUNTA DE ESTANQUEIDAD	12-322-7836	5582031580	NACIONAL-2	1 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	S
		JOIN PROPULSOR FREGATE	12-156-4531	12-156-4531	NACIONAL-2	1 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	S
		MUTTER	12-124-3857	DIN934-M16-8	NACIONAL-2	8 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	S
		ANILLO SEPARADOR	12-171-5444	DIN988-S63X80	NACIONAL-2	1 EA	NR-0		ND-0	3M-2	6_1	S

Tabla A-4.5 FMECA- SIGMA WEB. Sistema refrigeración

ANEXO V: EXCEL ALGORITMO

En el presente anexo se muestra la hoja Excel que ha sido empleada para elaborar los algoritmos, en el que se han insertado los datos obtenidos del Excel en el que se correlaciona las piezas de SIGMA-WEB con los valores del FMECA.

A su vez están divididos por componentes, y cada uno de ellos por sus piezas por las que están formadas.

COMPONENTE	PIEZAS	F OBTENCIÓN	REPARABILIDAD	ESCALÓN MTO	VIDA ÚTIL	DEMORA	GRESP	TOR	NPR	W	ID	IS	IO	1ª APROX	2ª ALGORT
EQUIPOS Y MOTOR DG	MOTOR DIESEL MTU 12V 396														
	BLOQUE DEL MOTOR	2	0	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0294	24,9774
	CULATA	2	1	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0364	24,9844
	KIT ARRANCADOR	2	0	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0294	24,9774
	KIT BBA ACEITE ASIENTO	2	0	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0294	24,9774
	KIT CULATA	2	0	2	0	2	6	0	270	1	3	15	6	27,0252	24,9732
	KIT W2	2	0	2	0	2	7	1	270	1	3	15	6	28,0294	25,9774
	KIT W3	2	0	2	0	2	6	1	270	1	3	15	6	28,0252	25,9732
	KIT W4	2	0	2	0	2	6	0	270	1	3	15	6	27,0252	24,9732
	KIT PORTA INYECTOR	2	0	2	0	2	6	0	270	1	3	15	6	27,0252	24,9732
	REGULADOR DE VELOCIDAD	2	0	2	0	2	6	0	270	1	3	15	6	27,0252	24,9732
	KIT REFRIGERADOR AGUA TANQUE		0	2	0	2	6	0	270	1	3	15	6	27,0132	24,9612
	KIT W6	2	0	2	0	2	6	0	270	1	3	15	6	27,0252	24,9732

Figura A-5.11 Algoritmo Motor DG

COMPONENTE	PIEZAS	F OBTENCIÓN	REPARABILIDAD	ESCALÓN MTO	VIDA ÚTIL	DEMORA	GRESP	TOR	NPR	W	ID	IS	IO	1ª APROX	2ª ALGORT
ARRANCADOR	MOTOR DE ARRANQUE	2	1	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0364	24,9844
	CONJUNTO ARRANCADOR	2	1	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0364	24,9844
	VALVULA SOLENOIDE	2	0	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0294	24,9774
	JUNTA ESTANQUEIDAD	3	0	2	4	2	6	3	270	2	3	15	6	30,1104	28,0584
	BRIDA DE RETENCION	2	0	2	0	2	6	0	270	1	3	15	6	27,0252	24,9732
	CASQUILLO ACOPLADOR	2	0	2	0	1	6	0	270	1	3	15	6	27,0192	24,9672
	KIT-REPUESTOS	2	0	2	0	2	6	0	270	1	3	15	6	27,0252	24,9732

Figura A-5.2 Algoritmo Motor de arranque

COMPONENTE	PIEZAS	F OBTENCIÓN	REPARABILIDAD	ESCALÓN MTO	VIDA ÚTIL	DEMORA	GRESP	TOR	NPR	W	ID	IS	IO	1ª APROX	2ª ALGORT
B.INYECCION	RETEN ANULAR	2	0	2	0	2	6	0	270	1	3	15	6	27,0252	24,9732
	DISCO GRADUADO	2	0	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0294	24,9774
	TORNILLO DE APRIETE	2	0	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0294	24,9774
	COJINETE DE FRICCIÓN	3	0	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0364	24,9844
	CAJA DE RETENCIÓN	3	0	2	0	2	6	0	270	1	3	15	6	27,0312	24,9792
	CREMALLERA	2	0	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0294	24,9774
	MUTTER	3	0	2	0	1	6	0	270	1	3	15	6	27,0252	24,9732
	STOESFEL KRAFTSTOF	2	0	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0294	24,9774
	MANGUERA DE CONTROL	2	0	2	0	2	7	0	270	1	3	15	6	27,0294	24,9774
	VENTILKEGEL	2	0	2	0	2	7	3	270	1	3	15	6	30,0294	27,9774

Figura A-5.3 Algoritmo Bomba Inyección

COMPONENTE	PIEZAS	F OBTENCIÓN	REPARABILIDA	ESCALÓN MTC	VIDA ÚTIL	DEMORA	GRESP	TOR	NPR	W	ID	IS	IO	1ª APROX	2ª ALGORT
REFRIGERADOR	VÁLVULA VENTILGEHAUESE	2	0	2	0	2	1	0	54	1	3	3	6	5,4042	4,9938
	VÁLVULA KEGEL	2	0	2	0	2	1	2	54	2	3	3	6	7,4084	6,998
	ARANDELA PLANA	2	0	2	0	2	1	0	54	2	3	3	6	5,4084	4,998
	BOBINA	2	0	2	0	2	1	3	54	2	3	3	6	8,4084	7,998
	DISPOSITIVOS DE SUJECIÓN	3	0	2	0	2	1	3	54	1	3	3	6	8,4052	7,9948
	PLACA DE MONTAJE	2	0	2	0	2	1	2	54	1	3	3	6	7,4042	6,9938
	SUJECIÓN	3	0	2	0	2	2	3	54	1	3	3	6	8,4104	8
	JUNTAS	3	0	2	0	2	1	3	54	2	3	3	6	8,4104	8
	KIT REACONDICIONAMIENTO	2	0	2	0	2	1	0	54	2	3	3	6	5,4084	4,998
	REFRIGERADOR GEA														
	REFRIGERADOR GEA EQUIPO	3	1	2	0	2	2	0	54	1	3	3	6	5,4124	5,002
	REFRIGERADOR DE AIR	3	1	2	0	2	2	0	54	1	3	3	6	5,4124	5,002
	BLOQUE REFRIGERADOR	2	0	2	0	2	2	0	54	1	3	3	6	5,4084	4,998
	ARANDELA PLANA	3	0	2	0	2	1	2	54	2	3	3	6	7,4104	7
	TORNILLO	2	0	2	0	2	1	3	54	2	3	3	6	8,4084	7,998
	CÁMARA INTERIOR	2	0	2	0	2	1	0	54	2	3	3	6	5,4084	4,998
	TUERCA	2	0	2	0	2	1	0	54	1	3	3	6	5,4042	4,9938
	ANILLO DE JUNTA	3	0	2	0	2	1	3	54	2	3	3	6	8,4104	8
	JUNTA TORICA	3	0	2	0	2	1	0	54	1	3	3	6	5,4052	4,9948
	REFRIGERADOR MTU MOTOREN MOD.5581801465														
	REFRIGERADOR EQUIPO	2	1	2	0	2	2	0	54	1	3	3	6	5,4104	5
	ADAPTADOR	3	0	2	0	1	1	3	54	1	3	3	6	8,4042	7,9938
	MUTTER	3	0	2	0	1	1	0	54	1	3	3	6	5,4042	4,9938
	PERNO	2	0	2	0	1	1	0	54	2	3	3	6	5,4064	4,996
	NUCLEO	2	0	2	0	2	2	3	54	2	3	3	6	8,4168	8,0064
	VALVULA ACCIÓN DIRECTA	2	0	2	0	1	1	3	54	1	3	3	6	8,4032	7,9928
	NIVEL DE AGUA	2	0	2	0	1	1	3	54	2	3	3	6	8,4064	7,996
	RACOR	2	0	2	0	1	1	0	54	2	3	3	6	5,4064	4,996
	COMPONENTES DEL SISTEMA	2	0	2	0	2	2	0	54	2	3	3	6	5,4168	5,0064
	FRISA TORICA	3	0	2	0	1	1	3	54	1	3	3	6	8,4042	7,9938
	TORNILLOS	3	0	2	0	1	1	0	54	1	3	3	6	5,4042	4,9938

Figura A-5.4 Algoritmos refrigeradores

CONJUNTO TURBOSOPLANTE	**CONJUNTO TURBOSOPLANTE**														
	ADAPTADOR COLECTOR	2	0	2	0	2	6	0	180	2	3	10	6	18,0504	20,592
	TURBO COMPRESOR	2	1	2	0	2	7	0	180	1	3	10	6	18,0364	19,192
	DICHTUNG	2	0	2	0	2	6	3	180	1	3	10	6	21,0252	21,072
	ACCESORIOS DIVERSOS	2	0	2	0	2	6	0	180	1	3	10	6	18,0252	18,072
	ELEMENTOS EMPAQUETADURA	2	0	2	0	2	6	0	180	1	3	10	6	18,0252	18,072
	BRIDA	2	0	2	0	2	6	0	180	1	3	10	6	18,0252	18,072
	ADAPTADOR RECTO	3	0	2	0	1	6	0	180	1	3	10	6	18,0252	18,072
	TURBOSOPLANTE		1	2	0	2	7	0	180	2	3	3	6	18,0448	9,1456
	TUERCAS Y ARANDELAS	2	0	2	0	2	6	3	54	2	3	3	6	8,4504	12,7056
	VALVULA CONTROL CAUDAL	2	0	2	0	2	7	3	54	2	3	3	6	8,4588	13,5456
	ROTOR TURBINA	2	0	2	0	2	7	0	54	2	3	3	6	5,4588	10,5456
	TURBO COMPRESOR	2	0	2	0	1	7	0	54	2	3	3	6	5,4448	9,1456
	COJINETE PLANO	3	0	2	0		6	3	54	2	3	3	6	8,4384	11,5056
	DISPOSITIVO SUJECIÓN	3	0	2	0	2	7	3	54	2	3	3	6	8,4728	14,9456
	CARTER		0	2	0	2	6	0	54	2	3	3	6	5,4264	7,3056
	PLACA FRENO	2	0	2	0	2	6	0	54	2	3	3	6	5,4504	9,7056
	ESPARRAGO	2	0	2	0	2	6	2	54	2	3	3	6	7,4504	11,7056
	SEGMENTO DE PISTÓN	2	0	2	0	2	7	3	54	2	3	3	6	8,4588	13,5456

Figura A-5.5 Algoritmos conjunto turbosoplante

CONJUNTO TURBOSOPLANTE	**BOMBA AGUA SALADA**														
	SEPARADOR	2	0	1		2	1	2	54	1	3	3	6	7,4041	7,0756
	VERTEILER	2	0	1		2	1	3	54	1	3	3	6	8,4041	8,0756
	BOMBA CENTRIFUGA	2	1	2		1	2	0	54	2	3	3	6	5,4168	6,3456
	JUNTA DE ESTANQUEIDAD	2	0	1		2	1	3	54	2	3	3	6	8,4082	8,4856
	JOIN PROPULSOR FREGATE	2	0	1		2	1	3	54	2	3	3	6	8,4082	8,4856
	MUTTER	2	0	1		2	1	3	54	1	3	3	6	8,4041	8,0756
	ANILLO SEPARADOR	2	0	1		2	1	3	54	1	3	3	6	8,4041	8,0756

Figura A-5.6 Algoritmo Bomba agua salada